KONUTLARDA ISIL VE GÖRSEL KONFOR KOŞULLARININ SAĞLANMASINA YÖNELİK ENERJİ OPTİMİZASYONU ÜZERİNE BİR TASARIM DESTEK MODELİ

Egemen KAYMAZ

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONUTLARDA ISIL VE GÖRSEL KONFOR KOŞULLARININ SAĞLANMASINA YÖNELİK ENERJİ OPTİMİZASYONU ÜZERİNE BİR TASARIM DESTEK MODELİ

Egemen KAYMAZ
0000-0002-9435-8411

Prof. Dr. Filiz ŞENKAL SEZER
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

BURSA – 2023
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Egemen KAYMAZ tarafından hazırlanan "KONUTLARDA ISIL VE GÖRSEL KONFOR KOŞULLARININ SAĞLANMASINA YÖNELİK ENERJİ OPTİMİZASYONU ÜZERİNE BİR TASARIM DESTEK MODELİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

B.U.Ü. Danışman: Prof. Dr. Filiz ŞENKAL SEZER

Başkan	**:**	Prof. Dr. Filiz ŞENKAL SEZER 0000-0002-8376-5177 Bursa Uludağ Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Anabilim Dalı	İmza
Eş danışman	**:**	Prof. Dr. Banu MANAV 0000-0002-0709-5570 Kadir Has Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Anabilim Dalı	İmza
Üye	**:**	Prof. Dr. Mehmet Şener KÜÇÜKDOĞU 0000-0001-5403-0318 İstanbul Gelişim Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık, Planlama ve Tasarım Anabilim Dalı	İmza
Üye	**:**	Prof. Dr. Nilüfer AKINCITÜRK 0000-0003-3015-3318 Bursa Uludağ Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Anabilim Dalı	İmza
Üye	**:**	Prof. Dr. Türkan ÖZBALTA 0000-0001-5195-0741 Balıkesir Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Anabilim Dalı	İmza
Üye	**:**	Prof. Dr. Yasemin ERBİL 0000-0002-2290-3097 Bursa Uludağ Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Anabilim Dalı	İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali KARA
Enstitü Müdürü
../../….

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

…/…/……

Egemen KAYMAZ

TEZ YAYINLANMA
FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığını ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan "**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**" kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Prof. Dr. Filiz Şenkal Sezer	Egemen Kaymaz
Tarih	Tarih
İmza Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.	İmza Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

ÖZET

Doktora Tezi

KONUTLARDA ISIL VE GÖRSEL KONFOR KOŞULLARININ SAĞLANMASINA YÖNELİK ENERJİ OPTİMİZASYONU ÜZERİNE BİR TASARIM DESTEK MODELİ

Egemen KAYMAZ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Filiz ŞENKAL SEZER
Eş Danışman: Prof. Dr. Banu MANAV

Konut sektörü, sanayi ve ulaşımdan sonra fosil yakıt tüketimi ile ilişkili karbon emisyonunun %9'undan, elektrik tüketiminin %21'inden ve toplam nihai enerji tüketiminin %20'sinden sorumludur. Bu bakımdan konutlar, iklim değişikliğiyle mücadelede ve karbon nötr hedeflere ulaşmakta önemli bir potansiyele sahiptir. Bu çalışmada Bursa ili Nilüfer ilçesinde yer alan, mevcut üç konut sitesinin ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi performansı, çevresel etkileri, ilk yatırım, bakım-onarım, yenileme, hurda, işletme ve kullanım dönemi enerji maliyetlerini içeren global maliyeti ile konut mekanlarının ısıl ve görsel konfor koşulları, kullanıcı tercihleri göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte Bursa'nın yanı sıra Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde de tasarlanacak konut projeleri için enerji ve maliyet odaklı optimal çözümlerin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Yaklaşık sıfır enerjili ve maliyet etkin enerji verimli bina performans hedefleri doğrultusunda konutlarda enerji optimizasyonu üzerine bir tasarım destek modeli önerisinde bulunulmuştur. Önerilen model ile konutların ön tasarım kararları bina, mekan ve yapı kabuğu ölçeğindeki mimari (pasif) ve bina alt sistem (aktif) tasarım değişkenleri üzerinden analiz edilmiştir. Önerilen model çerçevesinde binalarda enerji performansını iyileştirmeye yönelik oluşturulan senaryolar; iklim bölgesi, cephe yönlenimi, kat yüksekliği, dış duvar ısı yalıtımı, saydamlık oranı ve cephe kuruluşu, pencere camının termofiziksel ve optik özellikleri, doğrama türü, güneş kontrol elemanları, yapı kabuğu hava sızdırmazlığı, iç aydınlatma tasarımı ve kontrolü, ısıtma ve soğutma sistemi işletim takvimi, iç ortam ayar sıcaklığı ve güneş panelleri olmak üzere 15 değişken altında toplam 183 farklı seçeneği içermektedir. Tasarım değişkenlerinin ısıtma, soğutma, aydınlatma, birincil enerji tüketimi, CO_2 emisyonu ve uzun dönem maliyetlere olası etkileri bina performans ölçütleri arasındaki ödünleşim dikkate alınarak simülasyon ve BES tabanlı optimizasyon yöntemi ile değerlendirilmiştir. Yenilenebilir enerji sistemlerinin enerji ve maliyet optimal çözümlerde mimariye entegre edilmesiyle, güneş panellerinin yıllık aydınlatma ve soğutma enerjisi ihtiyacını karşılama oranı hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Konutlar, enerji verimliliği, ısıl ve görsel konfor, bina performans simülasyonları, BES tabanlı optimizasyon, genetik algoritma, global maliyet
2023, vii + 334 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

A DESIGN SUPPORT MODEL TO PROVIDE THERMAL AND VISUAL COMFORT CONDITIONS FOR ENERGY OPTIMIZATION IN RESIDENTIAL BUILDINGS

Egemen KAYMAZ

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Architecture

Supervisor: Prof. Dr. Filiz ŞENKAL SEZER
Co-Advisor: Prof. Dr. Banu MANAV

After industry and transportation in Turkey, the third sector responsible for 9% of carbon emissions, 20% of total end-use energy and 21% of electricity consumption is the residential sector. In this respect, residential buildings have a significant potential in combating climate change and achieving carbon neutrality targets. In this study, the heating, cooling and lighting energy performance, environmental impact and global cost (including initial investment, maintenance, running, replacement, energy, operational costs and residual value) of three gated community in the Nilüfer district of Bursa province were evaluated considering the thermal and visual comfort conditions of residential areas and user preferences. In addition to Bursa, it is also aimed to develop energy-oriented and cost-oriented optimal solutions for residential projects to be designed in different climatic regions of Turkey. A design support model is proposed for energy optimization in residential buildings, in line with nearly zero energy and cost-effective energy efficient building performance goals. With the proposed model, pre-design decisions were analyzed at building block, residential space and envelope scales through architectural (passive) and building services (active) design variables. Within the framework of the proposed model, scenarios were created to improve the energy performance of buildings. The scenarios include 183 options under 15 variables: climate zone, facade orientation, floor height, external wall thermal insulation, transparency ratio, thermophysical and optical properties of windows, material and size of glazing profiles, solar shading, airtightness of building envelope, light reflection of interiors, interior lighting design and control, building service systems operating schedules, indoor set-point temperatures and onsite electricity generation with solar panels. The impact of these design parameters on heating, cooling, lighting and primary energy energy consumption, CO_2 emission and long-term costs were evaluated with the simulation and BES-based optimization methods, considering the trade-offs between building performance measures. In energy and cost-optimal solutions, renewable energy systems are also integrated into the architecture.

Key words: Residence, energy efficiency, thermal and visual comfort, building performance simulations, BES-based optimization, genetic algorithm, global cost
2023, vii + 334 pages.

Anneme ve Babama,

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim ve tez çalışmam süresince benden yardımını ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve tecrübeleriyle bana yol gösteren değerli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Filiz ŞENKAL SEZER'e, aydınlatma konusunda çalışmamı doktora düzeyine taşınmasını sağlayan ve akademik çalışmalarıyla bana ışık tutan değerli hocam ve tez eş danışmanım Prof. Dr. Banu MANAV'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, tezimle aynı başlıklı DDP(MM)-2019/6 no'lu BAP Projesi kapsamında maddi desteğinden dolayı B.U.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine'ne teşekkürü borç bilirim.

Değerli görüş ve önerileri ile tezime katkıda bulunan doktora tez izleme komitesi üyeleri sayın Prof. Dr. Mehmet ŞENER KÜÇÜKDOĞU ve Prof. Dr. Nilüfer AKINCITÜRK'e teşekkürlerimi sunarım. Tezimde yer alan maliyet ve istatistiksel analizlere katkıda bulunan Prof. Dr. Erkan IŞIĞIÇOK'a, Prof. Dr. Değer ALPER'e, Dr. Öğretim Üyesi Burcu Çiğdem YILMAZ'a, biyoinformatik uzmanı Zeynep ÖZKESERLİ'ye, dostum Nur PALANDUZ'a ve makale yazımındaki destekleri için Doç. Dr. Güven DEMİREL'e içten teşekkür ederim.

Çalışmamda yardımlarını esirgemeyen Deniz ÖZÜŞ'e, DesignBuilder ile ilgili her türlü soruma cevap veren ve simülasyon programında uzmanlaşmama katkı sağlayan Dr. Öğretim Üyesi Alpay AKGÜÇ'e ve İnşaat Mühendisi Eren BAŞTANOĞLU'na, anket çalışmamda yanımda olan meslektaşlarım Merve DURUSAN ve Çağıl GÖYMEN'e, piyasa araştırmama bilgi ve şantiye tecrübesiyle katkı sağlayan Mimar Kenan SABIRLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın acı tatlı her döneminde önemli kararlarımda bana yol gösteren, bugünlere gelmemde büyük emekleri olan ve varlıkları ile bana güç veren annem Mimar Ayşegül SARITABAK, babam Mimar Akif Erhan SARITABAK ve kardeşim Efe SARITABAK'a, doktora tez sürecimdeki destek ve sabırlarından dolayı eşim Oğuz KAYMAZ, annem Mukaddes KAYMAZ ve canım oğlum Doğa Onat KAYMAZ'a teşekkür ederim.

Egemen KAYMAZ
28/08/2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR iv
İÇİNDEKİLER v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vii
ŞEKİLLER DİZİNİ xi
ÇİZELGELER DİZİNİ xvii
1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI 13
2.1. Isıl Konfor ve Değerlendirme Yaklaşımları 14
2.2. Görsel Konfor ve Değerlendirme Yaklaşımları 32
2.3. Binalarda Enerji Verimliliği ve Değerlendirme Yaklaşımları 47
2.4. Simülasyon Tabanlı Optimizasyon Yaklaşımları 69
2.4.1. Bina performans modelleme ve simülasyonları 70
2.4.2. Simülasyon tabanlı optimizasyon 75
2.4.3. Optimizasyon araçları ve metodları (algoritmalar) 80
3. MATERYAL ve YÖNTEM 93
3.1. Konutlarda Enerji Optimizasyonu Üzerine Bir Tasarım Destek Modeli Önerisi 94
3.2. Bina Performans Değerlendirme Ölçütlerinin Belirlenmesi 95
3.2.1. Isıl konfor analizi 95
3.2.2. Görsel konfor analizi 99
3.2.3. Enerji performans analizi 101
3.2.4. Maliyet analizi 102
3.3. Bina Performans Hesaplama Araç ve Yöntemlerinin Belirlenmesi 106
3.3.1. Simülasyon programlarının seçimi 107
3.3.2. Optimizasyon metod ve aracının seçimi 108
3.4. Alan Çalışması ve Referans Binaların Belirlenmesi 109
3.4.1. Bina tanıtım formunun hazırlanması 110
3.4.2. Konut kullanıcıları için kullanım sonrası değerlendirme anketi 114
3.4.3. Simülasyon hesap verilerinin eldesi ve kabullerin yapılması 129
3.4.4. Referans bina modelinin oluşturulması ve simülasyon adımları 137
3.5. İyileştirme Senaryolarına Ait Simülasyon Hesaplamaları 142
3.5.1. Tasarım değişkenlerinin belirlenmesi 142
3.5.2. Duyarlılık analizi 144
3.6. BES Tabanlı Optimizasyon Hesaplamaları 145
3.7. Global maliyet analizi 146
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 152
4.1. Referans Bina Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi 152
4.1.1. Enerji performans sonuçları 153
4.1.2. Isıl konfor sonuçları 158
4.1.3. Görsel konfor sonuçları 163

4.2. İyileştirme Senaryolarının Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi 178
4.2.1. Enerji performans sonuçları 179
4.2.2. Duyarlılık analizi sonuçları 238
4.3. BES Tabanlı Optimizasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi 247
4.3.1. Enerji ve maliyet odaklı (optimal) tasarım seçenekleri 249
4.3.2. Optimal çözümlere ait konfor sonuçları 297
4.4. Çalışmanın Bulgularının Değerlendirilmesi 310
5. SONUÇ 327
KAYNAKLAR 333
EKLER 350
ÖZGEÇMİŞ 410

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
$	Dolar
%	Yüzde
°C	Santigrat derece
°F	Fahrenheit
€	Avro
ac	Hava debisi
cd	Kandela
Clo	Giysi ısıl direnç faktörü
CO_2	Karbondioksit
CO_a	Yıllık işletme maliyeti
CO_{CO2}	CO_2 emisyon maliyeti
$CO_{fin(TLS)}$	Yıkım maliyeti
CO_{INIT}	İlk yatırım maliyeti
D_ f	İskonto oranı
$\bar{E}^a$	Asgari (required) aydınlık düzeyi
$\bar{E}^b$	Değiştirilmiş (modified) aydınlık düzeyi
E_h	Yatay (horizontal) aydınlık düzeyi
E_{ort}	Ortalama (maintained) aydınlık düzeyi
eşd	Eşdeğer
E_v	Dikey (vertical) aydınlık düzeyi
g	Solar faktör (güneş ışınımı geçirgenliği)
H_2O	Su
HFCs	Hidrofloroflorokarbonlar
Hz	Hertz
K	Kelvin
Kg	Kilogram
kWh	KiloWattsaat
L	Parıltı
L_B	Arka plan parıltısı
lm	Lümen
L_s	Kaynak plan parıltısı
lx	lüks
m	Metre
m^2	Metrekare
met	Metabolik oran
Mt	Milyon ton
N_2O	Diazotmonoksit
nm	Nanometre,
p	Guth indisi
PB	Geri ödeme süresi (*payback*)
RAT_{xx}	Fiyat değişimi (oran)
Rh	Bağıl nem
s	Saniye

SHGC	Solar faktör (solar heat gain coefficient)
sr	Steradyan
T_0	Hesap süresi başlangıç yılı
T_d	Dış ortam sıcaklığı
T_i	İç ortam sıcaklığı
TL	Türk Lirası
T_o	Operatif sıcaklık
T_{vis}	Toplam gün ışığı geçirgenliği
U_o	Aydınlığın düzgün yayılmışlığı
Va	Hava akım hızı
$VAL_{ft(TC)}$	Nihai (artık) değer maliyeti
W	Watt
Wp	Watt power (kurulu güç)
λ	Dalgaboyu (lamda)
CH_4	Metan

Kısaltmalar	**Açıklama**
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ADF	Average Daylight Factor – Ortalama Günışığı Faktörü
ASE	Annual Sunlight Exposure – Yıllık Günışığı Alımı
ASHREA	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
AYM	Avrupa Yeşil Mutabakatı
BEP	Binalarda Enerji Performansı Standardı
BEP-TR	Binalarda Enerji Performansı Yazılımı
BES	Bina Enerji Simülasyonu
BREEAM	BRE Environmental Assessment Method
CAT	Climate Action Tracker – İklim Eylem Takipçisi
CBE	Center for the Built Environment – Yapılı Çevre Merkezi
CCT	Correlated Color Temparature – Renk Sıcaklığı Değeri
CER	Commission for Energy Regulation – Enerji Düzenleme Komisyonu
CG	Global Cost – Global Maliyet
CIBSE	The Chartered Institution of Building Services Engineers – Bina Hizmetleri Mühendisleri Yeminli Kurumu
CIE	Commission Internationale de L'Eclairage – Uluslararası Aydınlatma Komisyonu
ÇŞİDB	Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
DALI	Digital Addressable Lighting Interface – Dijital Adreslenebilir Aydınlatma Arayüzü
DGP	Daylight Glare Probability – Günışığı Kamaşma Olasılığı
DIE	Devlet istatistik Enstitüsü
DOE	Department Of Energy – Enerji Bakanlığı
EC	European Comission – Avrupa Komisyonu
EIE	Elektrik İsleri Etüt idaresi
EKB	Enerji Kimlik Belgesi
EN	European Standarts - Avrupa Birliği Standartları

EPA	Environmental Protection Agency – Çevre Koruma Ajansı
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive – Binalarda Enerji Performansı Direktifi
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EU	European Union – Avrupa Birliği
EVK	Enerji Verimliliği Kanunu
GA	Genetik Algoritma
GES	Güneş Enerji Santrali
GSYH	Gayrı Safi Yurtiçi Hasıla
HVAC	Heating, Ventilation, Air Conditioning – Adaptif İklimlendirme Sistemi
IEA	International Energy Agency – Uluslararası Enerji Ajansı
IES	Illuminating Engineering Society– Aydınlatma Mühendisleri Derneği
IESNA	The Illuminating Engineering Society of North America – Kuzey Amerika Aydınlatma Mıühendisleri Birliği
IMF	Uluslararası Para Fonu
INDC	Intended Nationally Determined Contributions – Ulusal Katkı Niyet Beyanı
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change – Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
ISO	International Standards Organization – Uluslararası Standartlar Teşkilatı
İZODER	Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
NASA	National Aeronautics and Space Administration – ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NBD	Net Bugünkü Değer
NIST	National Institute of Standards and Technology – Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü
NSEB	Neredeyse Sıfır Enerjili Bina
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development – Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı
PA	Paris Anlaşması
PMV	Predicted mean Vote – Tahmini Ortalama Oy
PPD	Predicted Percentage Dissatisfied – Tahmini Memnuniyetsizlik Yüzdesi
PV	Photo Voltaic – Fotovoltaik
REF	Referans
SDA	Spatial Daylight Autonomy – Mekansal Günışığı Otonomisi
SLL	Society of Light and Lighting
SO	Saydamlık oranı
TEP	Tonne Equivalent Petrole – Ton Eşdeğer Petrol
TS	Türk Standartları
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UDI	Useful Daylight Illuminance – Faydalı Günışığı Aydınlığı
UEVEP	Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı
UEVEP	Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı
UGR	Unified Glare Rating – Kamaşma İndisi

UİDEP	Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı
UİDS	Ulusal İklim Değişikliği Stratejisi
UNFCCC	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
WEC	World Energy Council – Dünya Enerji Konseyi
WWR	Window-to-wall ratio – Saydamlık Oranı
YDD	Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 2.1.	ASHRAE-55 (2017) ve BS EN ISO 7730'a (2005) göre ısıtma ve soğutma döneminde farklı giysi yalıtım dirençleri için kabul edilebilir operatif sıcaklık ve bağıl nem aralıkları	18
Şekil 2.2.	Soğutma döneminde 0,1 – 0,8 m/s bağıl hava hızı aralığında kabul edilebilir iç ortam koşulları	20
Şekil 2.3.	Farklı aktivite düzeyleri için kabul edilebilir konfor koşulları aralığı.	24
Şekil 2.4.	PMV'nin bir fonksiyonu olarak PPD (Castilla vd., 2014)	28
Şekil 2.5.	(a) ASHRAE-55 (2017) ve (b) EN 16798-1'e (2019) göre adaptif (uyarlanabilir) modelde konfor aralıkları	30
Şekil 2.6.	(a) Olgyay'ın biyoiklimsel konfor grafiği (Olgyay, 1992; Auliciems & Szokolay, 2007); (b) Givoni'nin psikometrik diyagramı örneği (Castilla vd., 2014)	31
Şekil 2.7.	Bina sektöründe AB politikaları ve 2050 hedefleri	54
Şekil 2.8.	Türkiye'nin iklim değişikliği etkilerinin azaltılmasındaki politika, strateji ve eylem planlarının yıllara göre gelişimi	56
Şekil 2.9.	Bina performans simülasyon (benzetim) araçlarında genel veri akışı	72
Şekil 2.10.	Simülasyon tabanlı optimizasyon döngüsü.	77
Şekil 2.11.	Pareto cephesi, baskın çözümler, oluşturulan son tasarım seçenekleri/jenerasyon	80
Şekil 2.12.	Genetik algoritmanın temel adımları	86
Şekil 2.13.	Çaprazlama (genetik değişim) örneği	87
Şekil 2.14.	Mutasyon örneği	87
Şekil 3.1.	Önerilen modelin iş akış şeması	96
Şekil 3.2.	EN 15149-1 (2017) standardına göre global maliyet hesabı kategorileri	104
Şekil 3.3.	Çalışma kapsamında kullanılan bilgisayar programları, kullanım alanları ve analiz türleri	107
Şekil 3.4.	Sosyo-demografik veriler – Cinsiyet dağılımı	115
Şekil 3.5.	Sosyo-demografik veriler – Yaş dağılımı	115
Şekil 3.6.	Anket katılımcılarının eğitim durumu	116
Şekil 3.7.	Sosyo-demografik veriler – Meslek/Konum	116
Şekil 3. 8.	Konutta ikamet eden sayısı	116
Şekil 3.9.	Sosyo-demografik veriler – Konutta ikamet eden çocuk sayısı	117
Şekil 3.10.	Sosyo-demografik veriler – Hanede çalışan kişi sayısı	117
Şekil 3.11.	Sosyo-demografik veriler –Mülkiyet durumu	117
Şekil 3.12.	Konut kullanıcı profili – Yazın hafta içi evde bulunma süreleri	118
Şekil 3.13.	Konut kullanıcı profili – Kışın hafta içi evde bulunma süreleri	118
Şekil 3.14.	Konut kullanıcı profili – Yazın hafta sonu evde bulunma süreleri	119
Şekil 3.15.	Konut kullanıcı profili – Kışın hafta sonu evde bulunma süreleri	119
Şekil 3.16.	Konut kullanıcı profili – En sık kullanılan mekân	119
Şekil 3.17.	Konut kullanıcıların aydınlatma aygıtı tercihleri – Mutfak	120
Şekil 3.18.	Konut kullanıcıların aydınlatma aygıtı tercihleri – Salon	121

Şekil 3.19. Konut kullanıcıların aydınlatma aygıtı tercihleri – Ebeveyn yatak odası 121
Şekil 3.20. Konut kullanıcıların aydınlatma aygıtı tercihleri – Banyo/WC 122
Şekil 3.21. Konut kullanıcıların aydınlatma aygıtı tercihleri – Odalar 121
Şekil 3.22. Konut kullanıcıların lamba tercihleri 122
Şekil 3.23. Konut kullanıcıların ışık rengi tercihleri 122
Şekil 3.24. Konut kullanıcıların boya rengi tercihleri- Duvarlar 123
Şekil 3.25. Konut kullanıcıların boya rengi tercihleri- Döşeme 123
Şekil 3.26. Konut kullanıcıların boya rengi tercihleri- Mobilya ve donatılar 123
Şekil 3.27. Isıl konfor bileşenleri- Kış aylarında iç mekan sıcaklıkları 124
Şekil 3.28. Isıl konfor bileşenleri- Yaz aylarında iç mekân sıcaklıkları 125
Şekil 3.29. Yaz aylarında iç mekânın iklimlendirilmesi için tercih edilen yöntemler 125
Şekil 3.30. Konut kullanıcılarının enerji tüketim verileri – Doğalgaz (kış) 126
Şekil 3.31. Konut kullanıcılarının enerji tüketim verileri – Elektrik (kış) 126
Şekil 3.32. Konut kullanıcılarının enerji tüketim verileri – Elektrik (yaz) 126
Şekil 3.33. Bursa, Ankara, Diyarbakır, Erzurum ve İzmir illeri için kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem ve global güneş radyasyonu ortalamasının karşılaştırılması 130
Şekil 3.34. Hafta içi ve hafta sonu konut mekan kullanım süresi ve sıklığı (%) ... 132
Şekil 3.35. Konut siteleri için soğutma sisteminin hafta içi ve hafta sonu işletim takvimi 134
Şekil 3.36. Konut siteleri Örnek 1 (a), Örnek 2 (b), Örnek 3'e (c) ait DIALux Evo modeli, salon ve mutfak yapma aydınlatma senaryoları 140
Şekil 3.37. Konut sitelerine ait DesignBuilder enerji modeli: (a) Örnek 1, (b) Örnek 2, (c) Örnek 3 141
Şekil 3.38. Global maliyet analizinde ekonomik değerlendirme ölçütlerini belirlemek için kullanılan MS Excel hesap cetveli 148
Şekil 4.1. Blok bazında yıllık nihai enerji tüketimi (kWh/m^2.y) 153
Şekil 4.2. Blok bazında ısıtma, soğutma, aydınlatma enerjisi nihai tüketim oranları (%) 154
Şekil 4.3. Blok bazında yıllık enerji tüketim maliyetleri (TL/m^2.y) 154
Şekil 4.4. Blok bazında ısıtma, soğutma, aydınlatma enerjisi maliyeti oranları (%) 155
Şekil 4.5. Blok bazında birincil enerji tüketimi ve CO_2 emisyonu 155
Şekil 4.6. ASHRAE-55 (2017) ve EN 16798-1'e (2019) göre referans duruma ait (a) ısıtma dönemi ve (b) soğutma dönemi için psikometrik diyagramlar 159
Şekil 4.7. Anket sonuçlarına göre kullanıcıların aydınlatma sistemi ve renk tercihleri 164
Şekil 4.8. Örnek konut sitelerinin vaziyet planı üzerinde gölge analizi 170
Şekil 4.9. Örnek 1'e ait aDF ve UDI hesap sonuçları 171
Şekil 4.10. Örnek 1'e ait sDA ve ASE hesap sonuçları 172
Şekil 4.11. Örnek 2'ye ait aDF ve UDI hesap sonuçları 173
Şekil 4.12. Örnek 2'ye ait sDA ve ASE hesap sonuçları 174
Şekil 4.13. Örnek 3'e ait aDF ve UDI hesap sonuçları 175
Şekil 4.14. Örnek 3'e ait sDA ve ASE hesap sonuçları 176

Şekil 4.15. Örnek 1, Örnek 2 ve Örnek 3 için iklim bölgesi senaryolarına bağlı yıllık toplam birincil enerji tüketimi, enerji maliyeti ve CO_2 emisyonundaki değişim oranları 181
Şekil 4.16. 3 konut sitesi için birincil enerji tüketimi bakımından en iyi 5 cephe yönlenimi senaryosunun referans bina ve en kötü cephe yönlenimi senaryosuna göre bina performans değerlendirme ölçütleri için iyileştirme oranları 183
Şekil 4.17. Örnek 1'e ait dış dolgu duvar kesiti ve malzemelerin termofiziksel özellikleri 186
Şekil 4.18. Örnek 2'ye ait dış dolgu duvar kesiti ve malzemelerin termofiziksel özellikleri 186
Şekil 4.19. Örnek 2'ye ait dış dolgu duvar kesiti ve malzemelerin termofiziksel özellikleri 186
Şekil 4.20. Isı yalıtım senaryolarının referans binaya göre iyileştirme oranları ve yatırımın geri ödeme süresi 189
Şekil 4.21. 3 konut sitesindeki 4 bloğun ortalaması için SO senaryolarına bağlı birincil enerji tüketimi, enerji maliyeti ve CO2 emisyonundaki iyileştirme oranları 195
Şekil 4.22. Pencere camı senaryolarının referans bina Örnek 1'e göre enerji tüketimi, enerji maliyeti ve CO_2 emisyonundaki iyileştirme oranları ve yatırımın geri ödeme süresi 197
Şekil 4.23. Pencere camı senaryolarının referans bina Örnek 2'ye göre enerji tüketimi, enerji maliyeti ve CO_2 emisyonundaki iyileştirme oranları ve yatırımın geri ödeme süresi 197
Şekil 4.24. Pencere camı senaryolarının referans bina Örnek 3'e göre enerji tüketimi, enerji maliyeti ve CO_2 emisyonundaki iyileştirme oranları ve yatırımın geri ödeme süresi 198
Şekil 4.25. Doğrama malzemesi ve profil boyutlarındaki değişimin referans binalara göre yıllık toplam birincil enerji tüketimi, enerji tüketim maliyeti ve CO_2 salımına etkisi 202
Şekil 4.26. Güneş kontrol elemanlarının referans binaya göre birincil enerji tüketimi, enerji maliyeti, CO_2 emisyonundaki iyileştirme oranları ve yatırımın geri ödeme süresi 205
Şekil 4.27. Referans bina yapı kabuğunun sızdırmazlık faktörüne bağlı bina performans ölçütlerindeki değişim oranları 207
Şekil 4.28. 3 konut sitesindeki 4 bloğun ortalaması için yıllık toplam birincil enerji tüketimi, enerji maliyeti – kat yüksekliği ilişkisi 209
Şekil 4.29. Blok ortalamaları için yansıtma çarpanlarına bağlı birincil enerji tüketimi, enerji maliyeti ve karbon emisyonundaki iyileştirme oranları ve geri ödeme süreleri 211
Şekil 4.30. Referans binalara göre aydınlatma senaryolarının birincil enerji tüketimi, enerji maliyeti ve CO_2 emisyonundaki iyileştirme oranları ve yatırımın geri ödeme süresi 219
Şekil 4.31. Gün ışığına bağlı (a) kademeli ve (b) lineer aydınlatma kontrol stratejileri çalışma prensibi. 222
Şekil 4.32. Gün ışığına bağlı aydınlatma kontrolü stratejilerinin referans duruma göre iyileştirme oranları ve geri ödeme süreleri 223

Şekil 4.33. İç mekan ayar sıcaklığı senaryolarının ASHRAE Standart 55'e (2017) göre (a) ısıtma dönemi ve (b) soğutma dönemi için psikometrik diyagramları 224
Şekil 4.34. İç mekan ayar sıcaklığı senaryolarının EN 16798-1'e (2019) göre (a) ısıtma dönemi ve (b) soğutma dönemi için psikometrik diyagramları 225
Şekil 4.35. İç ortam ayar (termostat) sıcaklıkları senaryolarının referans binaya göre iyileştirme oranları ve yatırımın geri ödeme süresi 226
Şekil 4.36. Tüketici türü (konut) ve yıllara göre Bursa ilinde elektrik tüketimi ve aboneliğinin aylık değişimi 228
Şekil 4.37. S1 (pandemi öncesi), S2 (pandemi süreci) ve S3 (pandemi sonrası) senaryoları için hafta içi ve hafta sonu mutfak kullanım sıklığı ve süresi 229
Şekil 4.38. S1 (pandemi öncesi), S2 (pandemi süreci) ve S3 (pandemi sonrası) senaryoları için hafta içi ve hafta sonu salon kullanım sıklığı ve süresi 230
Şekil 4.39. S1 (pandemi öncesi), S2 (pandemi süreci) ve S3 (pandemi sonrası) senaryoları için hafta içi ve hafta sonu ebeveyn yatak odası kullanım sıklığı ve süresi 230
Şekil 4.40. S1 (pandemi öncesi), S2 (pandemi süreci) ve S3 (pandemi sonrası) senaryoları için hafta içi ve hafta sonu çocuk odası kullanım sıklığı ve süresi 231
Şekil 4.41. S1 (pandemi öncesi), S2 (pandemi süreci) ve S3 (pandemi sonrası) senaryoları için hafta içi ve hafta sonu banyo/WC kullanım sıklığı ve süresi 231
Şekil 4.42. S1 (pandemi öncesi), S2 (pandemi süreci) ve S3 (pandemi sonrası) senaryoları için hafta içi ve hafta sonu antre/koridorun kullanım sıklığı ve süresi 232
Şekil 4.43. 3 konut sitesinde yer alan 4 bloğun ortalamasına kıyasla mekan kullanım senaryolarının CO2 emisyonu, birincil enerji tüketimi, enerji maliyeti için değişim oranları 232
Şekil 4.44. Örnek 1 (a), Örnek 2 (b) ve Örnek 3'e (c) ait PV1 senaryosu BES modelleri 235
Şekil 4.45. Piyasa araştırması doğrultusunda seçilen PV panelin teknik özelliklerinin DesignBuilder programına girilmesi 235
Şekil 4.46. Örnek 1 için PV1 ve PV2 senaryolarının yıllık elektrik tüketimini (aydınlatma + soğutma) karşılama oranı (%) ve geri ödeme süreleri (yıl)..... 236
Şekil 4.47. Örnek 2 için PV1 ve PV2 senaryolarının yıllık elektrik tüketimini (aydınlatma + soğutma) karşılama oranı (%) ve geri ödeme süreleri (yıl)..... 237
Şekil 4.48. Örnek 3 için PV1 ve PV2 senaryolarının yıllık elektrik tüketimini (aydınlatma + soğutma) karşılama oranı (%) ve geri ödeme süreleri (yıl)..... 237
Şekil 4.49. Referans binalara göre yıllık toplam ısıtma enerjisi tüketiminde iyileştirme sağlayan senaryolar ve iyileştirme oranları (%) 241
Şekil 4.50. Referans binalara göre yıllık toplam soğutma enerjisi tüketiminde iyileştirme sağlayan senaryolar ve iyileştirme oranları (%) 242

Şekil 4.51. Referans binalara göre yıllık toplam aydınlatma enerjisi tüketiminde iyileştirme sağlayan senaryolar ve iyileştirme oranları (%) 243
Şekil 4.52. Örnek 1'in farklı yöne bakan 4 bloğunun ortalamasına kıyasla birincil enerji tüketimi, enerji tüketim maliyeti ve CO_2 emisyonunda iyileştirme sağlayan senaryoların iyileştirme oranları (%) ve geri ödeme süreleri (yıl) 244
Şekil 4.53. Örnek 2'nin farklı yöne bakan 4 bloğunun ortalamasına kıyasla birincil enerji tüketimi, enerji tüketim maliyeti ve CO_2 emisyonunda iyileştirme sağlayan senaryoların iyileştirme oranları (%) ve geri ödeme süreleri (yıl) 245
Şekil 4.54. Örnek 3'ün farklı yöne bakan 4 bloğunun ortalamasına kıyasla birincil enerji tüketimi, enerji tüketim maliyeti ve CO_2 emisyonunda iyileştirme sağlayan senaryoların iyileştirme oranları (%) ve geri ödeme süreleri (yıl) 246
Şekil 4.55. Optimizasyon analizi kapsamında ele alınan değişken ve seçenekler 248
Şekil 4.56. Örnek 1'in Bursa ili (ılımlı – nemli/2. DGB) için optimal çözüm kümesi 251
Şekil 4.57. Örnek 1'in Ankara ili (ılımlı – kuru/3. DGB) için optimal çözüm kümesi 251
Şekil 4.58. Örnek 1'in Diyarbakır ili (sıcak – kuru/ 2.DGB) için optimal çözüm kümesi 252
Şekil 4.59. Örnek 1'in Erzurum ili (soğuk/4. DGB) için optimal çözüm kümesi. 252
Şekil 4.60. Örnek 1'in İzmir ili (sıcak – nemli/1. DGB) için optimal çözüm kümesi 253
Şekil 4.61. Bursa ili için optimizasyon çözümleri içinde en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) seçenekler 254
Şekil 4.62. Ankara ili için optimizasyon çözümleri içinde en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) seçenekler 256
Şekil 4.63. Diyarbakır ili için optimizasyon çözümleri içinde en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) seçenekler 259
Şekil 4.64. Erzurum ili için optimizasyon çözümleri içinde en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) seçenekler 261
Şekil 4.65. İzmir ili için optimizasyon çözümleri içinde en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) seçenekler 264
Şekil 4.66. Örnek 2'nin Bursa ili (ılımlı – nemli/2. DGB) için optimal çözüm kümesi 267
Şekil 4.67. Örnek 2'nin Ankara ili (ılımlı – kuru/3. DGB) için optimal çözüm kümesi 267
Şekil 4.68. Örnek 2'nin Diyarbakır ili (sıcak – kuru/ 2.DGB) için optimal çözüm kümesi 268
Şekil 4.69. Örnek 2'nin Erzurum ili (soğuk/4. DGB) için optimal çözüm kümesi 268
Şekil 4.70. Örnek 2'nin İzmir ili (sıcak – nemli/1. DGB) için optimal çözüm kümesi 269
Şekil 4.71. Bursa ili için optimizasyon çözümleri içinde en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) seçenekler 269

Şekil 4.72. Örnek 2 Ankara ili için en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) optimizasyon sonuçları 272
Şekil 4.73. Örnek 2 Diyarbakır ili için maliyet odaklı (M) ve enerji odaklı (E) çözümler..... 274
Şekil 4.74. Örnek 2 Erzurum ili için en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) optimizasyon sonuçları 277
Şekil 4.75. Örnek 2'nin İzmir ili için en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) optimizasyon sonuçları 279
Şekil 4.76. Örnek 3'ün Bursa ili (ılımlı – nemli/2. DGB) için optimal çözüm kümesi..... 282
Şekil 4.77. Örnek 3'ün Ankara ili (ılımlı – kuru/3. DGB) için optimal çözüm kümesi..... 283
Şekil 4.78. Örnek 3'ün Diyarbakır ili (sıcak – kuru/ 2.DGB) için optimal çözüm kümesi 283
Şekil 4.79. Örnek 3'ün Erzurum ili (soğuk/4. DGB) için optimal çözüm kümesi..... 284
Şekil 4.80. Örnek 3'ün İzmir ili (sıcak – nemli/1. DGB) için optimal çözüm kümesi..... 284
Şekil 4.81. Bursa ili için optimizasyon çözümleri içinde en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) seçenekler 285
Şekil 4.82. Ankara ili için optimizasyon çözümleri içinde en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) seçenekler 288
Şekil 4.83. Diyarbakır ili için optimizasyon çözümleri içinde en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) seçenekler 290
Şekil 4.84. Erzurum ili için optimizasyon çözümleri içinde en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) seçenekler 293
Şekil 4.85. İzmir ili için optimizasyon çözümleri içinde en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) seçenekler 295
Şekil 4.86. Örnek 1'in optimal çözümlerine ait aDF ve UDI hesap sonuçları..... 304
Şekil 4.87. Örnek 1'in optimal çözümlerine ait ASE ve sDA hesap sonuçları..... 305
Şekil 4.88. Örnek 2'nin optimal çözümlerine ait aDF ve UDI hesap sonuçları.... 306
Şekil 4.89. Örnek 2'in optimal çözümlerine ait ASE ve sDA hesap sonuçları..... 307
Şekil 4.90. Örnek 3'ün optimal çözümlerine ait aDF ve UDI hesap sonuçları..... 308
Şekil 4.91. Örnek 3'in optimal çözümlerine ait ASE ve sDA hesap sonuçları..... 309

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Türkiye'deki yeni ve mevcut konut bina stoğu..... 3
Çizelge 2.1. Isıl konforu etkileyen değişkenler (ASHREA, 2009)..... 16
Çizelge 2.2. Çeşitli giysilere ait yalıtım değerleri (ASHRAE, 2009). 21
Çizelge 2.3. Farklı aktivitelere bağlı metabolik oran (BS EN ISO 7730, 2005).... 23
Çizelge 2.4. BS EN ISO 7730 (2005), ASHRAE-55 (2017) ve EN 16798-1 (2019) standartlarındaki ısıl çevre kategorileri..... 28
Çizelge 2.5. Adaptif modelde ASHRAE-55 (2017) ve EN 16798-1 (2019) standartları için ısıl çevre kategorileri ve uyarlanabilir konfor sınırları..... 30
Çizelge 2.6. İşleve bağlı aydınlık düzeyleri (IESNA, 2011)..... 35
Çizelge 2.7. İşleve bağlı minimum aydınlık düzeyi, maksimum kamaşma değerleri ve renksel geriverim özellikleri (BS EN 12464-1, 2021)... 36
Çizelge 2.8. Hedef ve çevre yüzeylerin aydınlık düzeyi ilişkisi (BS EN 12464-1, 2021)..... 37
Çizelge 2.9. Çeşitli ışık kaynaklarının renk sıcaklıkları (IES, 2008; CIBSE, 2018)..... 41
Çizelge 2.10. BS EN 12464-1 (2021) standardında tavsiye edilen ışık yansıtma katsayısı aralıkları..... 44
Çizelge 2.11. Çeşitli simülasyon araçları ve özellikleri..... 72
Çizelge 3.1. Konut sitelerine ait hava fotoğrafı (Googlemaps, n.d.) ve inşaat alanına göre sınıflandırılması (ÇEDBİK, 2019)..... 112
Çizelge 3.2. Konut sitelerinin mimari ve bina alt sistemi genel özellikleri 113
Çizelge 3.3. Kullanım sonrası değerlendirme anketi katılımcı sayısı ve oranı..... 114
Çizelge 3.4. Kullanıcıların ısıl – görsel konfor memnuniyet ve enerji tasarrufuna ilişkin ilgi düzeyleri..... 128
Çizelge 3.5. 3 kişilik (1 çocuklu, 1 çalışan) bir aile için hafta içi ve hafta sonu günleri konut mekan kullanım senaryosu ve aktivite düzeyleri (Yılmaz, 2015; ASHRAE-55, 2017). 131
Çizelge 3.6. 2017 - 2021 yılları için bir önceki yılın aynı ayına göre yıllık enflasyon oranları - Yıllık TÜFE'deki değişim ve beş yıllık ortalama (T.C. Merkez Bankası, 2022) 136
Çizelge 3.7. Doğalgaz ve elektriğin 2017 – 2022 yılına ait vergi ve fonlar dahil birim fiyatları ve bir önceki yıla göre artış oranları Uludağelektrik, 2022; Bursagaz, 2022)..... 136
Çizelge 3.8. Global maliyet hesabında kullanılan finansal parametrelere ait değerler..... 136
Çizelge 3.9. İyileştirme senaryolarına ait sabit (S) ve değişkenler (D) 142
Çizelge 3.10. Mimari tasarım ve bina alt bileşenleri için birim fiyat analizi ve ortalama yıllık bakım maliyetleri (ÇŞİDB, 2022; BS EN 15459-1, 2017; NIST, 2022a; NIST, 2022b)..... 149
Çizelge 4.1. 1 no'lu konut sitesinin örnek mekanlarına ait yıllık ısıl konfor ortalamaları……... 160
Çizelge 4.2. 2 no'lu konut sitesinin örnek mekanlarına ait yıllık ısıl konfor ortalamaları……... 160

Çizelge 4.3. 3 no'lu konut sitesinin örnek mekanlarına ait yıllık ısıl konfor ortalamaları…….. 160
Çizelge 4.4. Referans binalarda kullanılan aydınlatma aygıtlarının teknik özellikleri ……..... 160
Çizelge 4.5. Örnek 1 için aydınlatma sistemi yerleşim planı ve simülasyon sonuçları…….. 160
Çizelge 4.6. Örnek 2 için aydınlatma sistemi yerleşim planı ve simülasyon sonuçları 168
Çizelge 4.7. Örnek 3 için aydınlatma sistemi yerleşim planı ve simülasyon sonuçları 169
Çizelge 4.8. İklim bölgesi senaryoları ve tavsiye edilen azami U değerleri 180
Çizelge 4.9. İklim bölgesi senaryolarında 3 konut sitesinde yer alan ve farklı yöne bakan 4 blok ortalamasının referans binaya göre bina peformans ölçütleri için değişim oranları 181
Çizelge 4.10. Örnek konut bloklarında ele alınan mekanların cephe yönlenimleri 182
Çizelge 4.11. 3 Örnek bina için en düşük birincil enerji tüketimi ile sonuçlanan 5 cephe yönlenim senaryosunun en yüksek enerji tüketimine sahip cephe yönlenim senaryosu ve referans binaya göre iyileştirme oranları..... 185
Çizelge 4.12. Isı yalıtım senaryosu bileşenleri ve dış duvarın toplam ısıl geçirgenlik değeri 187
Çizelge 4.13. Isı yalıtım senaryolarının bina performans ölçütleri için referans binaya göre iyileştirme oranları ve yatırımın geri ödeme süresi 188
Çizelge 4.14. BES senaryolarında kullanılan cephe kuruluşu ve saydamlık oranları..... 191
Çizelge 4.15. SO ve cephe kuruluşu senaryolarının bina performans ölçütleri için referans binaya göre iyileştirme oranları ve yatırımın geri ödeme süresi 193
Çizelge 4.16. İyileştirme senaryoları için seçilen pencere camlarına ait özellikler 196
Çizelge 4.17. 3 konut sitesindeki farklı yöne bakan 4 bloğun ortalaması için cam senaryolarının iyileştirme oranları ve geri ödeme süreleri 199
Çizelge 4.18. BES senaryoları için seçilen pencere doğraması ve özellikleri 201
Çizelge 4.19. Doğrama senaryolarının referans binaya göre iyileştirme oranları.... 202
Çizelge 4.20. BES senaryoları için seçilen iç ve dış gölgeleme elemanları ve özellikleri..... 203
Çizelge 4.21. 3 konut sitesindeki farklı yöne bakan 4 bloğun ortalamasına kıyasla güneş kontrol elemanları senaryolarının bina performans ölçütleri için değişim oranları..... 205
Çizelge 4. 22. Yapı kabuğu sızdırmazlık (infiltrasyon) katsayısı senaryoları 206
Çizelge 4.23. 3 konut sitesindeki farklı yöne bakan 4 bloğun ortalamasına kıyasla yapı kabuğu sızdırmazlık katsayındaki değişimin bina performans ölçütlerine etkisi 208
Çizelge 4.24. Referans binalara ait mevcut kat yükseklikleri ve kat yüksekliği senaryoları 208
Çizelge 4.25. 3 konut sitesindeki farklı yöne bakan 4 bloğun ortalaması için kat yüksekliği senaryolarının iyileştirme oranları 210
Çizelge 4.26. BES senaryoları için seçilen iç yüzey ışık yansıtma çarpanları senaryoları 210

Çizelge 4.27. İç mekan yansıtma çarpanları senaryolarının bina performans ölçütleri için referans binaya kıyasla iyileştirme oranları 212
Çizelge 4.28. Konut iç mekan aydınlatma senaryoları 213
Çizelge 4.29. L1, L2 ve L3 senaryolarının kurulu güç değerleri (W/m^2) ve hedeflenen işleve bağlı aydınlık düzeyleri (lx) 214
Çizelge 4.30. Referans binalarda kullanılan aydınlatma aygıtlarının teknik özellikleri..... 215
Çizelge 4.31. Örnek 1 için aydınlatma sistemi yerleşim planı ve simülasyon sonuçları 217
Çizelge 4.32. Örnek 2 için aydınlatma sistemi yerleşim planı ve simülasyon sonuçları 217
Çizelge 4.33. Örnek 3 için aydınlatma sistemi yerleşim planı ve simülasyon sonuçları 218
Çizelge 4.34. Aydınlatma senaryolarının referans binaya göre iyileştirme oranları..... 219
Çizelge 4.35. Gün ışığına bağlı aydınlatma kontrol senaryoları..... 221
Çizelge 4.36. Referans binalara mukayese ile gün ışığına bağlı aydınlatma kontrolü senaryolarının bina performans ölçütlerine etkisi..... 222
Çizelge 4.37. Isıtma ve soğutma dönemi için iç mekan ayar sıcaklıkları senaryoları 224
Çizelge 4.38. İç mekan ayar sıcaklığı senaryolarının ısıtma ve soğutma dönemine ait PMV, PPD, ASHRAE-55 (2017) ısıl his ve EN 16798-1 (2019) kategori değerleri..... 225
Çizelge 4.39. İç ortam ayar (termostat) sıcaklıkları senaryolarının bina performans ölçütleri için referans binaya göre değişim oranları..... 227
Çizelge 4.40. Konut mekan kullanım senaryoları..... 229
Çizelge 4.41. 3 konut sitesindeki farklı yöne bakan 4 bloğun ortalamasına kıyasla mekân kullanım sıklığı ve süresindeki değişimin bina performans ölçütlerine etkisi 233
Çizelge 4.42. Güneş paneli senaryoları ve panel eğim açıları 236
Çizelge 4.43. 0° güney yönlenimi için PV1 ve PV2 senaryolarının yıllık elektrik üretimi, yıllık aydınlatma ve soğutma enerjisi tüketimini karşılama oranı ve yatırımın geri ödeme süresi..... 238
Çizelge 4.44. Referans binaya göre birincil enerji tüketiminde genel olarak en yüksek iyileştirme sağlayan senaryoların ele alınan diğer bina performans ölçütlerine etkisi 240
Çizelge 4.45.Referans binaya göre birincil enerji tüketimi ve karbon emisyonunda en yüksek iyileştirme sağlayan seçenekler, iyileştirme oranları ve geri ödeme süreleri..... 247
Çizelge 4.46. Bursa ili için Örnek 1'in enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) çözümlerini oluşturan değişkenlerin kombinasyonu..... 254
Çizelge 4.47. Referans duruma kıyasla Çizelge 4. 46'daki en iyi 10 çözümün bina performans ölçütlerindeki iyileştirme oranları (%) 255
Çizelge 4.48. Örnek 1'in Ankara ili için enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) ilk 10 çözümünü oluşturan değişkenler (seçeneklerin kombinasyonu) 257
Çizelge 4.49. Çizelge 4. 48'deki optimizasyon çözümlerine ait iyileştirme oranları..... 257

Çizelge 4.50. Örnek 1'in Diyarbakır ili için enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) ilk 10 çözümünü oluşturan değişkenler 259
Çizelge 4.51. Çizelge 4. 50'deki optimizasyon çözümlerine ait iyileştirme oranları 260
Çizelge 4.52. Erzurum ili için Örnek 1'in enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) ilk 10 çözümünü oluşturan seçeneklerin kombinasyonu 262
Çizelge 4.53. Çizelge 4. 52'deki optimizasyon çözümlerine ait iyileştirme oranları 262
Çizelge 4.54. İzmir ili için Örnek 1'in enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) optimal çözümlerine ait değişkenleri 264
Çizelge 4.55. Çizelge 4. 54'teki optimizasyon çözümlerine ait iyileştirme oranları 265
Çizelge 4.56. Bursa ili için Örnek 2'nin enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) optimizasyon çözümlerini oluşturan değişkenlerin kombinasyonu 270
Çizelge 4.57. Referans duruma kıyasla Çizelge 4. 56'daki en iyi 10 çözümün bina performans ölçütlerindeki iyileştirme oranları (%) 270
Çizelge 4.58. Ankara ili için Örnek 2'nin enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) optimizasyon çözümlerini oluşturan değişkenler 272
Çizelge 4.59. Çizelge 4. 58'deki optimizasyon çözümlerine ait iyileştirme oranları 273
Çizelge 4.60. Diyarbakır ili için Örnek 2'nin enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) optimizasyon çözümlerini oluşturan değişkenler 275
Çizelge 4.61. Çizelge 4. 60'taki optimizasyon çözümlerine ait iyileştirme oranları 275
Çizelge 4.62. Erzurum ili için Örnek 2'nin enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) optimizasyon çözümlerini oluşturan değişkenler (seçeneklerin kombinasyonu) 277
Çizelge 4. 63. Çizelge 4. 62'deki optimizasyon çözümlerine ait iyileştirme oranları 278
Çizelge 4.64. İzmir ili için Örnek 2'nin enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) optimizasyon çözümlerini oluşturan değişkenler 280
Çizelge 4.65. Çizelge 4. 64'teki optimizasyon çözümlerine ait iyileştirme oranları 280
Çizelge 4.66. Bursa ili için Örnek 3'ün enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) optimizasyon çözümlerini oluşturan değişkenler 286
Çizelge 4.67. Referans duruma kıyasla Çizelge 4. 66'daki en iyi 10 çözümün bina performans ölçütlerindeki iyileştirme oranları (%) 286
Çizelge 4.68. Ankara ili için Örnek 3'ün enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) optimizasyon çözümlerini oluşturan değişkenler 288
Çizelge 4.69. Çizelge 4. 68'deki optimizasyon çözümlerine ait iyileştirme oranları 289
Çizelge 4.70. Diyarbakır ili için Örnek 3'ün enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) optimizasyon çözümlerini oluşturan değişkenler (seçeneklerin kombinasyonu) 291
Çizelge 4.71. Çizelge 4. 70'teki optimizasyon çözümlerine ait iyileştirme oranları 291
Çizelge 4.72. Erzurum ili için Örnek 3'ün enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) optimizasyon çözümlerini oluşturan değişkenler 293

Çizelge 4.73. Çizelge 4. 72'deki optimizasyon çözümlerine ait iyileştirme oranları 294
Çizelge 4.74. İzmir ili için Örnek 3'ün enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) optimizasyon çözümlerini oluşturan seçeneklerin kombinasyonu ... 296
Çizelge 4.75. Çizelge 4. 74'teki optimizasyon çözümlerine ait iyileştirme oranları 296
Çizelge 4.76. 1 no'lu konut sitesinin 3. katta yer alan örnek dairesinin yıllık ortalama T_o, Rh, PMV, PPD değerleri ve karşılanmayan yük saati toplamı 298
Çizelge 4.77. 2 no'lu konut sitesinin 3. katta yer alan örnek dairesinin yıllık ortalama T_o, Rh, PMV, PPD değerleri ve karşılanmayan yük saati toplamı 299
Çizelge 4.78. 3 no'lu konut sitesinin 4. katta yer alan örnek dairesinin yıllık ortalama T_o, Rh, PMV, PPD değerleri ve karşılanmayan yük saati toplamı 299
Çizelge 4.79. ASHRAE-55 (2017) ve EN 16798'e (2019) göre adaptif konfor alt ve üst sınır değerleri 300
Çizelge 4.80. Referans binaya göre birincil enerji tüketimi ve karbon emisyonunda en yüksek iyileştirme sağlayan değişkenler ve iyileştirme oranları 311
Çizelge 4.81. Referans binalara ait birincil enerji, CO_2 emisyonu, global maliyet değerleri 311
Çizelge 4.82. Enerji odaklı (E) ilk 10 çözümün referans binaya göre yıllık birincil enerji tüketimindeki tasarruf oranları ortalaması (%) 313
Çizelge 4.83. Maliyet odaklı (M) ilk 10 çözümün referans binaya göre toplam global maliyetteki tasarruf oranları ortalaması (%) 313
Çizelge 4.84. Enerji odaklı ve maliyet odaklı en iyi 10 çözümde enerji – işletme maliyetinin toplam global maliyet içindeki payının ortalaması (%) 313
Çizelge 4.85. Referans durum (R) ve enerji odaklı (E) ilk 10 çözümün ortalaması için PV1 ve PV2 senaryoları yıllık elektrik (aydınlatma + soğutma) enerjisini karşılama oranları (%) 314
Çizelge 4.86. Maliyet optimal ilk 10 çözümün PV1 ve PV2 senaryoları ile birlikte global maliyetteki iyileştirme oranları ortalaması (%) 315
Çizelge 4.87. Referans binaya göre birincil enerji tüketimi ve global maliyette en yüksek iyileştirme sağlayan enerji (E) ve maliyet odaklı (M) ilk 10 seçeneğin bina performans ölçütleri için iyileştirme oranları ortalaması 315
Çizelge 4.88. Enerji odaklı en iyi çözümlerin (E) referans binaya göre 50 yıllık enerji tasarrufu (MWh.50y) ve karbon emisyon (Ton.eşd.CO_2.50y) azaltım değerleri 316
Çizelge 4.89. En düşük enerji tüketimi (E) ve global maliyete (M) sahip seçenekler ve bu seçeneklere ait toplam yıllık birincil enerji tüketimi (kWh/m^2.y), karbon emisyonu (kg.eşd.CO_2/m^2.y), global maliyet (TL/m^2.30y) ve iyileştirme oranları (%) 317
Çizelge 4.90. Tüm illerdeki enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) en iyi 100 çözümün (yaşam alanı/yatak odaları) cephe yönlenimi frekans dağılımı (%) 319

Çizelge 4.91. Tüm illerdeki en iyi 100 çözümün yapı kabuğu sızdırmazlık (infiltrasyon) kat sayısının (ac/h) frekans dağılımı (%) 320
Çizelge 4.92. Tüm illerdeki en iyi 100 çözümün yalıtım malzemesi sıklık dağılımı (%)..... 321
Çizelge 4.93. Tüm illerdeki en iyi 100 çözümün yalıtım kalınlığı sıklık dağılımı (%) 321
Çizelge 4.94. Tüm illerdeki en iyi 100 çözümün saydamlık oranı sıklık dağılımı (%) 322
Çizelge 4.95. Tüm illerdeki en iyi 100 çözümün cephe kuruluşu sıklık dağılımı (%) 322
Çizelge 4.96. Tüm illerdeki 100 optimal çözümde kullanılan cam tipi ve sıklık dağılımı..... 323
Çizelge 4.97. Tüm illerdeki en iyi 100 çözümün güneş kontrol elemanı seçeneği ve sıklık dağılımı (%) 324
Çizelge 4.98. Tüm illerdeki en iyi 100 çözümün gün ışığına bağlı aydınlatma kontrolü stratejisi frekans dağılımı (%)..... 325

1. GİRİŞ

Enerji, ekonomik ve sosyal kalkınmanın önemli gerekliliklerden biridir ve insanların yaşam standartlarının yükseltilmesinde büyük bir öneme sahiptir. Ülkelerin sosyal ve ekonomik kalkınma potansiyelini yansıtan temel göstergelerden birisi olan enerji tüketimi, teknolojik gelişmelere bağlı olarak kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılamak ve konfor koşullarını sağlamak için refah artışıyla birlikte artmaktadır. Uluslararası Para Fonu (IMF) araştırması, ülkelerin gayri safi yurtiçi hasılası (GSYİH) ile kişi başına elektrik tüketimi arasında doğrusal bir ilişki olduğunu ve sanayileşmiş tüketim toplumlarında enerji tüketiminin diğer ülkelerden yüksek olduğunu göstermektedir (Hegger vd., 2008). Öte yandan dünya çapında artan nüfus ve enerji talebine karşılık fosil yakıtların kullanımı, küresel iklim değişikliğine ve buna bağlı iklimsel aşırılıklara, kuraklığa, sellere, gıda yetersizliğine, kitlesel göçlere, biyolojik çeşitliliğin azalmasına, türlerin yok olmasına ve kentlerin daha kırılgan olmasına yol açmaktadır.

İklim değişikliği tüm sosyo-ekonomik yönleriyle günümüzün en büyük küresel riski haline gelmiştir. Dünya Bankası 2023 raporunda derinleşen iklim krizinin ülkelerin ekonomik gelişmesini yavaşlatacağı, iklim değişikliğine bağlı çevresel felaketlerin ülke ekonomileri için ciddi maliyetlere yol açacağı ve 2030 yılına kadar 68 -135 milyon kişinin daha yoksullaşacağı tahmin edilmektedir (World Bank, 2023). Küresel sıcaklıklardaki değişiklikleri azaltmak, dünya çapında yaşam standartlarını korumak ve gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakmak için iklim değişikliği mücadele etmek başta enerji üretimi ve tüketiminden sorumlu sanayi, ulaştırma ve inşaat sektörleri olmak üzere hepimizin ortak ve bireysel sorumluluğudur.

21. yüzyılda küresel sıcaklık artışlarını 1,5°C'nin altında tutmak ve en fazla 2°C ile sınırlandırmak için 2016 yılında imzalanan "Paris İklim Anlaşması'na (PA)'' Ekim 2021'de taraf olunması Türkiye açısından emisyon azaltımında bir dönüm noktasıdır. Global iklim krizinin bugün geldiği durumu değelendiren, ülkemizin de üyesi olduğu Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli beşinci çalışma grubu raporunda, iklim değişikliğinin insan kaynaklı olduğu tartışmasız bir şekilde ortaya konmuştur. Aynı raporda 1901-2012 döneminde küresel ortalama yüzey sıcaklıklarında 0,9 °C bir artışın

olduğu ve 1983-2012 döneminin büyük olasılıkla son 800 yılın en sıcak 30 yıllık dönemi olduğu ve 21. yüzyılın ilk 10 yılının 1850'den beri kaydedilen en sıcak 10 yıl olduğu yer almaktadır. Aynı raporda karbondioksit (CO_2), metan (CH_4) ve diazotmonoksit (N_2O) gazlarının konsantrasyonlarının son 800 000 yıllık dönemde hiç olmadığı kadar yüksek düzeye ulaştığı, buzulların küresel ölçekte küçülmeyi sürdürdüğü, okyanusların insan kaynaklı karbon emisyonu nedeniyle asitlendiği, küresel ortalama deniz düzeyinin 1901-2010 döneminde 19 cm yükseldiği ve bu yükseliğin devam ettiği, birçok aşırı hava ve iklim olayının kaydedildiği, küresel ölçekte soğuk gün ve gecelerin sayısının azaldığı, sıcak gün ve gecelerin sayısının arttığı ve küresel yüzey sıcaklığı değişikliğinin 21. yüzyılın sonuna kadar sanayi öncesi döneme göre güncel senaryolarda 2°C'yi aşacağı öngörülmektedir (IPCC, 2014). NASA, 2023 yılı Temmuz ayını 1880'den bu yana kaydedilen en sıcak ay olarak belirlemiştir (NASA, 2023).

Küresel sıcaklıkların 1,5°C üzerine çıkmasını önlemek için inşaat sektöründeki çevresel etkilerin kent plancısı, tasarımcı, uygulayıcı, malzeme üreticisi gibi tüm sektör paydaşları tarafından dikkate alınmasına ve son kullanıcıların bilinçlendirilmesine, sürdürebilir uygulamalar geliştirilmesine ve olumlu değişimin diğer sektörleri yönlendirmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu anlamda binalarda enerji verimliliği ve enerji tasarruf tedbirlerinin yenilenebilir enerji stratejileriyle bütünleştirilmesi bilimsel ve teknik açıdan geniş bir yelpazede incelenen disiplinlerarası bir konudur.

Enerji krizi ve iklim değişikliğiyle mücadeleye yönelik uluslararası mevzuat ve düzenlemelerle dünya genelinde önde gelen sektörlerin enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları sınırlandırılmaktadır. Günümüzde binalardan kaynaklı enerji tüketimi, dünya genelindeki toplam enerji tüketiminin yaklaşık %40'ını temsil etmektedir ve binalar küresel karbon emisyonunun yaklaşık %37'sından sorumludur (IEA, 2023). Avrupa Birliği'ndeki (AB) enerji tüketiminin %40'ı ve CO_2 emisyonlarının %36'sı bina sektörü kaynaklıdır (Avrupa Komisyonu, 2019). Gayri safi yurt içi hasılanın %6,6'sını oluşturan inşaat sektörü, ülkenin nihai enerji tüketimin %34'lük önemli bir bölümünden sorumludur (IEA, 2021). Tekil olarak bina sektörleri (kamu, sanayi, ticaret ve hizmet) incelendiğinde, konut sektörü ülke ekonomisinde, kalkınmada ve enerji tüketimi kaynaklı çevresel kirlilikte en önemli paya sahip olduğu görülmektedir (ÇŞİDB, 2021).

Ülkelerin sera gazı emisyonlarını takip eden bağımsız kuruluş İklim Eylem Takipçisi'nin (CAT - *Climate Action Tracker*) 2019 yılı raporuna göre, Türkiye'nin PA hedeflerine uyumlu olarak iklim eylemine ivme kazandırabileceği üç temel alandan biri konut sektörüdür (CAT, 2019). Paris Anlaşması ve 1,5°C hedefiyle uyumlu senaryolarla; yeni binaların NSEB (neredeyse sıfır enerjili bina) olarak inşa edilmesine yönelik standartların güçlendirilmesi ve mevcut yapı stokunun kapsamlı bir dönüşüm sürecinden geçirilmesi ile konut kaynaklı sera gazı emisyonu 2015 yılına kıyasla, 2030 yılına kadar %41'e ve 2050 yılına kadar %93'e varan oranlarda düşürülebilir. Bu durumun inşaat ve imalat sektörü için yeni iş olanakları sunması ve yenilenebilir enerji alanında istihdam yaratması beklenmektedir (CAT, 2019). Diğer yandan ülkemizde sıfır emisyona geçiş süreci yeni başlamıştır ve inşaat sektörü için ortaya konan hedefler AB'ye kıyasla sınırlı ve kısa vadelidir. Bu bağlama CAT, bugün Türkiye'nin 2053 yılı için net sıfır karbon ve diğer uzun vadeli hedeflerine yönelik politika ve eylemlerinin derecesini "kritik derecede yetersiz" olarak notlandırmıştır (CAT, 2023).

Uluslararası Enerji Ajansı'nın Türkiye raporunda (IEA, 2021) konut sektörünün sanayi ve ulaşımdan sonra toplam nihai enerji tüketimin %20'sinden, toplam elektrik tüketiminin %21,1'inden ve fosil yakıt tüketimi ile ilişkili karbon emisyonunun %9'undan sorumlu olduğu belirtilmiş. TÜİK istatistiklerine göre, Ekim 2019 itibariyle Türkiye'de 9,5 milyon bina bulunmakta, yılda 100 000'den fazla yeni bina inşa edilmekte ve mevcut bina stokunun yaklaşık %90'ını 24 milyon hane ile konutlar oluşturmaktadır (TÜİK, 2022). TÜİK 2000 – 2017 istatistiklerine göre derece gün bölgeleri (DGB) için mevcut ve 2010 sonrası inşa edilmiş (yeni) konut sayısı Çizelge 1. 1'de görülmektedir (ÇŞİDB, 2021).

Çizelge 1. 1. Türkiye'deki yeni ve mevcut konut bina stoğu

Konut tipi		**1. DGB**	**2. DGB**	**3. DGB**	**4. DGB**	**Toplam**
Yeni	Tek Haneli	1 156 277	2 131 329	1 179 912	418 630	4 886 148
	Çok Haneli	224 549	501 932	232 566	55 436	1 014 483
Mevcut	Tek Haneli	89 672	122 851	71 385	16 767	300 675
	Çok Haneli	87 279	214 766	100 948	19 718	422 711

Nüfus artışı ve kentleşmeye bağlı olarak hızla büyüyen ve dönüşen bina stoğu nedeniyle konutlarda enerji tüketimi son on yılda %12 artmıştır ve konut stokunun 2050 yılı itibariyle toplamda %50'nin üzerinde büyümesi beklenmektedir (ÇŞİDB, 2021). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) 2018 tüketim istatistiklerine göre bina kategorileri arasında en yüksek tüketim 21,3 milyon ton eşdeğer petrol (TEP) ile konutlara aittir (ETKB, 2018). Büyüyen konut stoğu ve buna bağlı enerji tüketimindeki artış trendi, bu yapı grubunun büyük ölçüde ithal ve fosil yakıtlara bağımlı olan Türkiye ekonomisi üzerinde gelecekte de önemli bir etkiye sahip olacağını göstermektedir. Bu nedenle konutlarda enerji verimliliği, Ulusal Katkı Niyet Beyanı'nında (UNFCCC, 2022) yer alan (246 Mt ile %21 azaltım) ve PA'nın imzalanmasıyla güncellenen (500 Mt ile %41 azaltım) 2030 ve 2053 yılı sera gazı azaltım hedeflerine ulaşmakta önemli dayanaklardan biridir.

Konutlarda tüketilen enerjinin önemli bir bölümü iç ortamda konforu sağlamak amacıyla; ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi olarak kullanılmaktadır. Genel olarak, uygun ısıl konfor, görsel konfor, akustik konfor ve iç ortam hava kalitesi şartlarının sağlanabildiği bir ortam konforlu kabul edilmektedir. İnsanların yaşamlarının %80-90'ını kapalı mekanlarda geçirdiği ve konfor koşullarının binaların enerji performansı üzerinde etkili olduğu düşünülerek çeşitli eylemlerin gerçekleştiği mekanları bir arada barındıran konutlarda, farklı işlevlerin gerektirdiği iklimsel ve görsel konfor bileşenleri detaylı analiz edilmeli, iç ortam konfor koşulları minimum enerji tüketimi ile sağlanmalıdır. Bu sayede binaların işletme ve enerji maliyetleri düşürülebilir ve fosil yakıtlardan kaynaklanan karbon emisyonu ve çevre kirliliği azaltılabilir.

Mimari tasarım ve yapım sürecinde alınan kararlar, binanın enerji tüketiminin yanı sıra kullanıcı konforu üzerinde uzun vadeli bir etkiye sahiptir. Tasarım çok sayıda değişkeni içeren karmaşık bir süreçtir ve ön tasarım aşaması optimum maliyetle enerji verimli bina çözümlerine ulaşmakta en önemli potansiyelin bulunduğu aşamadır. Kullanım aşamasındaki binaların performansını geliştirmeye yönelik enerji etkin iyileştirme ya da yenileme (*retrofit*) uygulamaları tasarım aşamasında alınabilecek önlemlere göre daha kısıtlıdır. Bu nedenle, binaların tüm yaşam döngüsünü etkileyen kararların tasarım aşamasında detaylı analizi önem arz etmektedir. Öte yandan ülkemizde tasarım

alternatiflerinin binaların enerji, konfor ve çevresel etki gibi performans göstergelerine nasıl etki edeceği uygulama alanında çoğunlukla bilinememektedir. Proje paydaşlarının karşılaştığı bu önemli problemi çözmekteki karar mekanizması çoğunlukla tasarımcının sezgilerine, geçmişte edindiği tecrübeye veya mevcut uygulamaların tekrarlanmasına dayanmaktadır (Flager vd., 2009; Schlueter ve Thesseling, 2009, Ulukavak Harputlugil , 2009; Şenel Solmaz, 2015). Bu noktada temel problem, tasarımda mevcut karar verme mekanizmasının yerini bina performans değerlendirme ölçütlerine dayanan sistematik bir yaklaşımın almasının gerekliliğidir.

Mimar ve mühendislerin yapı ve bileşenlerinin performansını ve binaların enerji etkinliğine yönelik stratejileri değerlendirmede kullanılabileceği hesap yöntemleri ve görüntüleme yöntemi, küçük ölçekli modeller gibi çeşitli deneysel değerlendirme yaklaşımları bulunmaktadır. Bilişim teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde günümüzde uzun dönem bina performans araştırmalarında bilgisayar tabanlı modelleme ve simülasyon (benzetim) araçları sıklıkla kullanılmakta; bu araçların deneysel düzeneklerle yapılan ölçme yöntemlerine göre daha düşük maliyetli olması, aynı koşullar altındaki farklı bina davranışlarını karşılaştırılabilmesi, ısı köprüleri, hava sızıntıları, enerji kayıp ve kazançlarının öngörülebilmesi ve pasif (edilgen) ve aktif (etken) tasarım bileşeni alternatiflerinin uygunluğunun test edilebilmesi gibi özellikleri öne çıkmaktadır. Simülasyon yöntemi ile yapı yaşam döngüsünün tasarım, yapım ve kullanım süreçleri gibi farklı aşamalarını belirlenen bina performans ölçütlerine göre değerlendirmek mümkündür. Binalarda birden fazla performans hedefine aynı anda ulaşmak için ise simülasyon tabanlı optimizasyon araçlarından yararlanılmaktadır. Matematiksel olarak değişkenlerin en iyi değerini seçerek bir fonksiyonun minimum veya maksimum değerini bulma işlemi olan optimizasyon, bir tasarım kararını mümkün olduğunca etkili hale getirme süreci veya yöntemi olarak tanımlanabilir (Webster, 2018; Gassar vd., 2021). Literatürde bina performans optimizasyon araçlarının farklı tasarım alternatiflerini karşılaştırmak ve en uygun çözüme ulaşmak için tasarım aşamasında yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür.

Konutlarda konfor koşullarını ve enerji verimliliğini eş zamanlı sağlamak, yapılı çevre üzerine etki eden tüm değişkenlere ait optimum bir değer kümesinin elde edilmesiyle ile

mümkündür. Öte yandan ülkemizde, binalarda doğru ve etkin tasarım kararları alınarak ulusal ve uluslararası enerji verimliliği ve karbonsuzlaştırma hedeflerine yönelik stratejiler geliştirilmesini sağlayan simülasyon tabanlı bina performans optimizasyonu araçlarının kullanımı yaygın değildir ve bu alanda yapılan çalışmalar genellikle üniversite veya akademik kuruluşlarla sınırlıdır. Bu nedenle, maliyet, konfor, enerji tüketimi, gün ışığı alımı ve çevresel etkiler gibi farklı ölçütler için bina performansını geliştirmede tasarım parametreleri (girdi) ile simülasyon sonuçlarının (çıktı) etkileşimine yönelik bilgi desteği sağlayabilecek, başta mimarlar olmak üzere proje paydaşlarına yol gösterebilecek ve pratikte kullanılabilecek bütüncül bir tasarım destek modelinin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmanın amacı, konutlarda iç mekan konfor koşulları ve kullanıcı tercihleri dikkate alınarak, yeni tasarlanacak konutlar için maliyet optimum enerji verimliliği sağlayacak bir konut tasarım destek modeli oluşturmaktır. Araştırma hedefleri bu doğrultuda aşağıda özetlenmiştir:

- Marmara Bölgesi'nin İstanbul'dan sonra en yüksek nüfusa sahip ikinci şehri olan Bursa'da (2. DGB, ılımlı – nemli iklim), enerji kimlik belgesine sahip çok katlı apartman bloklarından oluşan kapalı konut sitelerinde kullanıcıların yapılı çevredeki iklimsel ve görsel konfor bileşenlerine ilişkin tercihlerini, memnuniyet düzeyini ve enerji tasarruf algısını kullanım sonrası değerlendirme yöntemiyle araştırmak,
- Farklı yönlere bakan referans binaların birim alan başına düşen yıllık ısıtma, soğutma, aydınlatma enerjisi, nihai ve birincil enerji tüketimi ile nihai enerji tüketimine bağlı yıllık CO_2 emisyonu ve enerji maliyetlerini hesaplamak,
- Seçili konut mekanlarının ısıl konfor koşullarını; tahmini ortalama oy (PMV) ve tahmini memnuniyetsizlik yüzdesi (PPD) yöntemi, adaptif (uyarlanabilir) yöntem ve karşılanmayan yük saati indislerine göre analiz etmek,
- Seçili konut mekanlarının görsel konfor koşullarını ortalama aydınlık düzeyi, aydınlığın düzgünlüğü ve kamaşma indisine göre analiz etmek,
- Seçili konut mekanlarının gün ışığı alımını ortalama gün ışığı faktörü (aDF) statik yöntemi ve faydalı günışığı aydınlığı (UDI), mekânsal günışığı otonomisi (sDA),

yıllık günışığı alımı (ASE) olmak üzere iklime dayalı dinamik değerlendirme yöntemleriyle analiz etmek,

- Referans binalarda bina, mekan ve yapı kabuğu ölçeğindeki çeşitli mimari (pasif) tasarım ve bina alt sistemleri (aktif) tasarım parametrelerinin enerji tasarruf potansiyelini belirlemek,
- İyileştirme senaryolarına ait seçeneklerin ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi tüketimindeki ağırlığını (duyarlılığını) ve enerji yükleri arasındaki ödünleşimi (*trade-off*) incelemek,
- İyileştirme senaryolarının ekonomik etkinliğini sınamak; her bir tasarım seçeneği için finansal göstergelere bağlı yatırımın geri ödeme süresini hesaplamak,
- Türkiye'deki TS 825'e (TSE, 2008) göre dört farklı derece gün bölgesi (DGB) ve Zeren tarafından yapılan sınıflandırmaya göre (Zeren, 1962) beş farklı iklim bölgesi için ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi toplam tüketimi bakımından en iyi sonucu veren (optimal) çözüm kümesini elde etmek ve enerji etkin bu tasarım seçeneklerinin global maliyetini hesaplamak
- İklim bölgelerini temsil eden iller için maliyet odaklı ve enerji odaklı çözümlerin değişkenlerin hangi seçeneklerinin kombinasyonundan meydana geldiğini belirlemek; bu tasarım çözümlerinin referans duruma göre enerji tüketimi, karbon emisyonu ve global maliyetteki iyileştirme oranlarını hesaplamak,
- Neredeyse sıfır enerjili (NSEB) ve karbon-nötr bina hedefleri doğrultusunda optimal çözümler ile yenilenebilir enerji stratejilerini birleştirmek, farklı iller için güneş paneli senararyolarının elektrik üretimi değerlerini ve yıllık aydınlatma ve soğutma enerjisi ihtiyacını karşılama oranını hesaplamak,
- Maliyet odaklı ve enerji odaklı çözümlerin ısıl konfor, görsel konfor ve gün ışığı performansı bakımından bütüncül olarak değerlendirmektir.

Optimizasyon mühendislik dallarının yanı sıra güncel mimarlık pratiğinde de önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Bu çalışmadaki diğer bir hedef optimizasyon problemlerinde kullanılan araç ve algoritmaların incelenmesi; grafik ara yüzü mimarların kullanımına uygun, incelenen bina değerlendirme ölçütleri için sonuç verebilen bina enerji simülasyon (BES) tabanlı optimizasyon yönteminin seçilmesidir. Uygun araç ve metodun (algoritmanın) seçimi, kullanıcılar için karar verme sürecini

kısaltacak ve sonuçların güvenilirliğini arttıracaktır. Kullanım aşamasındaki konutların enerji tüketiminin düşürülmesi ve yeni konutların enerji etkin yapılar olarak tasarlanması için güncel konut projeleri üzerinden tasarım kararlarının sorgulanarak optimizasyon algoritmaları ile çok sayıda tasarım alternatifi üretilmesi bu bağlamda önemli görülmektedir.

Çalışma kapsamında, Türkiye'nin artan nüfusuna bağlı olarak konut ihtiyacının artması, mevcut yapı stokunun nicelik olarak en büyük bölümünü oluşturan konutların enerji verimliliği ve deprem güvenliği açısından yeterli düzeyde olmaması ve kentsel dönüşümle yenilenmeyi bekleyen niteliksiz binaların sayısı göz önüne alınarak konut binaları ele alınmıştır. Önerilen modelin yeni tasarlanacak konutların yanı sıra, mevcut konutların enerji performansının iyileştirilmesinde de kullanılabilmesi hedeflenmiştir.

Yapılı çevrenin sağladığı iç ortam konfor koşulları kullanıcıların fizyolojik ve psikolojik sağlığı ile de doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmanın başlangıç noktasını Covid-19 pandemisi öncesinde konutların uzun dönem performansının incelenmesi, insan sağlığı ve konforundan ödün vermeden hem mevcut yapı stoku hem yeni binalar için enerji tüketimini en aza indirgeyecek tasarım çözümlerinin geliştirilmesi oluşturmaktadır. Çalışmanın başlamasından kısa bir süre sonra dünya genelinde ve ülkemizde ortaya çıkan Covid-19 pandemisi, salgın boyunca konutların çalışma, eğitim, eğlence gibi farklı işlevlere de hizmet ederek milyonlarca insan için günlük yaşamın odak noktası haline gelmiştir. Pandeminin kısıtlayıcı etkileri konut yaşam alanlarında geçirdiğimiz süreyi uzatarak insan hayatı için iç ortam koşullarının ne kadar önem arz ettiğini bize yeniden hatırlatmış ve bu durum çalışmaya yeni konut kullanıcı senaryoları eklenmesine neden olmuştur.

Modelin uygulama alanı için seçilen çok katlı kapalı konut siteleri, Bursa ilinde (2. DGB, ılımlı – nemli iklim) yer almaktadır. Bursa kentine ait 2015 yılı sera gazı envanter analizine göre, konutlar karbon emsiyonunda (2,6 Mt CO_2 eşd. ile) sanayi ve ulaşım sektöründen sonra üçüncü sıradadır (Fidan vd., 2015). Alan çalışması Nilüfer ilçesinde konut üretiminin yoğun olduğu ve kentsel dönüşüm çalışmalarının devam ettiği Ahmet Yesevi ve Balat mahallelerinde gerçekleştirilmiştir. ÇEDBİK konut sertifika kılavuzunda yer alan sınıflandırmaya göre (ÇEDBİK, 2019) standart apartman blokları

ve rezidans - lüks konut stokunu temsil eden 3 örnek konut sitesi seçilmiştir. Referans binalar 2010 yılı sonrasında yapı ruhsatı almış ve asgari C sınıfı enerji kimlik belgesine sahip, bölgenin yapı karakterine ve güncel inşaat pratiklerine uygun, kullanım aşamasındaki binalardır. Benzer konut projelerinin Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde yer alabileceği kabulü yapılmış, BES modelleri 1.DGB (İzmir, sıcak nemli), 2. DGB (Diyarbakır, sıcak kuru), 3. DGB (Ankara, ılımlı kuru) ve 4. DGB (Erzurum, soğuk) olmak üzere toplamda dört DGB (beş iklim bölgesi) için Binalarda Enerji Performansı (BEP) revize Yönetmeliği (2010) ve TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardındaki (2008) asgari koşullara uygun hale getirilerek simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir.

Konut binalarının ekonomik ömrünün yaklaşık 50-70 yıl olduğu düşünüldüğünde, çevresel etkiler ve enerji tüketimi açısından en büyük önem binaların kullanım (işletme) aşamasına verilmektedir çünkü bu aşama yapı yaşam döngüsündeki en uzun, enerji tüketimi ve sera gazı emisyonunun en yüksek olduğu süreçtir. Bu bağlamda, tez çalışmasında binaların kullanım evresine odaklanılmış, yapının üretimi, nakliyesi, bakım onarımı, yıkım ve geri dönüşümü esnasındaki enerji tüketimi ve gömülü (*embodied*) karbon değerleri çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Bina performans değerlendirme ölçütleri olarak ısıl konfor, görsel konfor, nihai ve birincil enerji tüketimi, yatırım geri ödeme süresi ve uzun dönem global maliyetleri incelenmiştir. Çevresel etkiler kapsamında sera gazı emisyonunun büyük kısmını oluşturan CO_2 dışındaki hava, su ve toprak kirliliğine ilişkin diğer etmenler (CH_4, HFCs, N_2O, vb.) tez kapsamı dışında tutulmuştur.

Binalarda enerji verimliliğinin arttırılmasına yönelik iyileştirme senaryoları ile mimari tasarım ve bina alt sistemlerine ilişkin 15 değişkene (parametre) ışık tutulması amaçlanmıştır. Belirlenen mimari (pasif) tasarım değişkenleri kentsel ölçekte; iklim ve konum, bina ve mekan ölçeğinde; cephe yönlenimi, iç mekan duvar, döşeme, tavan ışık yansıtma çarpanları ve kat yüksekliği, yapı kabuğu ölçeğinde; dış duvar ısı yalıtım malzemesi ve kalınlığı, cephe kuruluşu ve saydamlık oranı, pencere camının termofiziksel ve optik özellikleri, doğrama malzemesi ve profil boyutu, yapı kabuğu sızdırmazlık değeri, iç ve dış güneş kontrol elemanlarıdır. Enerji tüketimi ile doğrudan

ilişkili mekanik ve elektrik sistemi (aktif) değişkenleri ise iç aydınlatma tasarımı ve kurulu gücü, gün ışığına bağlı aydınlatma kontrol stratejileri, iç mekanın ısıtıldığı ve soğutulduğu dönem için ayar (termostat) sıcaklıkları, bina alt sistemleri işletim takvimi ve yenilenebilir enerji sisteminden (çatı tipi güneş panelleri) meydana gelmektedir.

Çalışmada bilgisayar destekli modelleme ve BES tabanlı optimizasyon yapılarak konut tasarım destek modeli geliştirilebilmesi için farklı plan kurgusu ve mekan organizasyonuna sahip dairelerden oluşan apartman blokları modellenmiş, cephe yönlenimi ve dış engellerin bina enerji performansı ve gün ışığı alımına etkisinin hesaba katılarak her siteden yaşam alanı kuzey, güney, doğu ve batılı yönlere bakan dört apartman bloğunun ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi tüketim değerleri ortalaması referans kabul edilmiştir. Mevcut durumu temsil eden sıhhi sıcak su sistemi, elektrikli ev aletleri, pompa ve fanların tipi ve sistem özellikleri enerji modeline girilerek bu ekipmanlardan kaynaklanan iç ısıl kazançlar ısıtma ve soğutma yüklerine dahil edilmiş, ancak bu ekipmanların binanın toplam yıllık enerji tüketimindeki payına çalışma kapsamında ayrıca yer verilmemiştir. NSEB hedefleri doğrultusunda, Türkiye'nin farklı enlemlerinde yer alan enerji odaklı ve maliyet odaklı tasarım çözümleri için mevcut ve optimal çatı eğimleri kullanılarak, PV (fotovoltaik) panellerden elde edilen elektrik üretiminin binanın yıllık toplam aydınlatma ve soğutma enerjisi tüketimini karşılama payı hesaplanmıştır.

AB Komisyonu tarafından yayınlanan ve revize edilen Binalarda Enerji Performansı Direktifleri (EPBD, 2010/31/AB; EPBD, 2018/844/AB) ile ortaya konulan "maliyet optimum enerji verimliliği" kavramı doğrultusunda (AB, 2010; AB, 2018a) , enerji etkin çözümlerin global maliyetinin hesaplanmasında "Binalarda Enerji Sistemleri için Ekonomik Değerlendirme Prosedürü" adlı BS EN 15459-1 (2017) standardı kullanılmıştır. Pasif ve aktif tasarım değişkenlerinin farklı kombinasyonlarından oluşan optimal seçeneklerin ilk yatırım, bakım-onarım, işletim, enerji tüketimi gibi çeşitli maliyet kategorilerini içeren toplam global maliyeti hesaplanarak, 2017 – 2021 yıllarına ait ortalama enflasyon oranı, piyasa faiz oranı ve enerji birim fiyatlarındaki artışı gibi finansal verilere bağlı maliyet optimum enerji verimliliği seviyesinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu sayede, Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde mimari tasarım ve bina

alt sistemleri bileşenlerine yapılacak enerji verimliliği yatırımının konutların ekonomik ömrü içerisindeki global maliyetine etkisi değerlendirilmiştir.

Çalışmanın yöntemi açıklanacak olursa; bina performans değerlendirme ölçütlerini karşılaması ve uygulanabilirliği göz önünde alınarak sayısal yöntemler ile gerçekleştirilmiş; referans binaların uzun dönem performansının tahmini için bilgisayar tabanlı simülasyon araçları kullanılmıştır. Birden fazla bilgisayar programı belirli bir amaca yönelik entegre edilerek konutlarda ısıl ve görsel konfor koşullarının sağlanmasına yönelik enerji optimizasyonu üzerine tasarım destek modeli geliştirilmiştir.

Çalışma kapsamında ele alınan konut siteleri öncelikle DIALux Evo ve DesignBuilder programlarında modellenmiştir. Basit saatlik (statik) aydınlatma simülasyonları DIALux Evo'da gerçekleştirilirken, iklime dayalı yıllık (detaylı dinamik) enerji ve gün ışığı simülasyonları için Lawrence Berkeley Laboratuarı tarafından açık kaynaklı olarak geliştirilen ve DesignBuilder grafik arayüzü ile bütünleşik olarak çalışabilen EnergyPlus ve Radiance simülasyon programları kullanılmıştır. BES tabanlı optimizasyon adımları DesignBuilder ara yüzü kullanılarak EnergyPlus simülasyon motorunda gerçekleştirilmiştir. Yönteminin uygulanmasında mimarlık alanında ve bina performans araştırmalarına sıklıkla kullanılan ve evrim prensiplerine dayanan olasılıksal bir araştırma metodu olan genetik algoritmalar (GA) kullanılarak çok sayıda tasarım alternatifi üretilmiştir. GA, mevcut popülasyondaki bireylerini, diğer bir deyişle optimizasyon hedefine ulaştıracak değişken seçeneklerini rastgele olarak seçmekte ve bu işlem sayesinde her bir simülasyonda farklı tasarım kombinasyonları oluşmaktadır. Farklı iklim bölgeleri için enerji etkin tasarım çözümlerini bulmaya yönelik simülasyon iterasyonları (ardışık işlemleri) sonunda elde edilen sonuçlar, minimum ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi tüketimine sahip çözüm kümesini sunmaktadır.

Binaların kullanım sürecinde ısıtma, soğutma ve aydınlatma için sarf edilen yıllık enerji miktarı birincil enerji cinsinden hesaplanmıştır. Birincil enerji ve bu enerjiye karşılık gelen maliyet ve karbon emisyonu, doğal gaz ve elektriğin birim fiyatına ve yakıt tipine bağlı dönüşüm katsayılarına göre MS Excel programında hesaplanmıştır. Yaşam

döngüsü sürecinde gerçekleşen ilk yatırım, bakım onarım, yenileme, hurda, işletme ve kullanım dönemi enerji maliyetleri için MS Excel programında global maliyet hesap cetveli oluşturulmuştur.

Tez çalışmanın aktarımı şu şekilde kurgulanmıştır; Tez çalışmasının kuramsal temeller ve kaynak araştırması bölümünde binalarda ısıl konfor, görsel konfor, binalarda enerji verimliliği ve simülasyon tabanlı optimizasyon yöntemi konularına yer verilmiştir.

Materyal ve yöntem bölümünde konut tasarım destek model önerisi sunulmuş ve ele alınan bina performans değerlendirme ölçütleri açıklanarak BES modeli üzerinde test edilecek mimari tasarım ve bina alt sistem değişkenleri sınıflandırılmıştır. Aynı bölümde, tez kapsamında kullanılan bina performans hesaplama araç ve yöntemlerinin seçim kriterleri, kullanım sonrası değerlendirme anketi sonuçları, simülasyon, duyarlılık analizi ve BES tabanlı optimizasyon adımları, global maliyet hesap cetveli ve hesaplamalar için yapılan kabullere yer verilmiştir.

Bulgular ve tartışma bölümünde konut tasarım destek model önerisinin uygulanabilirliği test edilmiş ve öncelikle referans binaların enerji performansı, ısıl ve görsel konfor koşulları ve gün ışığı alımı simülasyon sonuçlarına bağlı olarak değerlendirilmiştir. Ardından iyileştirme senaryolarının bina enerji performans ölçütlerine etkisi analiz edilmiş ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Çalışmanın bir sonraki aşamasında duyarlılık analizi ile BES tabanlı optimizasyon çalışmasında kullanılacak seçenekler belirlenmiş, GA yöntemiyle optimizasyon analizi gerçekleştirilmiş, maliyet odaklı ve enerji odaklı optimal çözümlerin hangi tasarım seçeneklerinin kombinasyonundan meydana geldiği sunulmuştur. Bölüm sonunda beş farklı iklim bölgesi için optimal çözümler ısıl ve görsel konfor değerlendirme ölçütlerine göre ele alınarak tasarım alternatifleri bütüncül olarak değerlendirilmiştir. Sonuç bölümünde çalışmanın çıktıları özetlenerek yorumlanmış, konut tasarım destek modelinin muhtemel kazanımları, kısıtları ve gelecekte bu konuda yapılacak araştırmalar için öneriler sunulmuştur.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Konfor durumu, fizyolojik açıdan insanın çevresine minimum düzeyde enerji harcayarak uyum sağlayabildiği ve psikolojik açıdan çevresinden hoşnut olduğu şartların bütünü olarak tanımlanabilir. Dounis ve Caraiscos'a göre (2009) konfor koşulları kullanım aşamasında olan bir yapma çevrenin sağlaması gereken en iyi veya kabul edilebilir iklimsel, görsel, işitsel ve iç hava kalitesi şartlarıdır. İç mekanda ideal konfor koşullarını sağlandığında kullanıcıların fizyolojik, fiziksel ve entelektüel performansı maksimum düzeye erişmektedir (Berköz vd., 1995).

Binalarda enerji tüketimi önemli ölçüde yapma çevre kalitesini belirleyen konfor koşullarına bağlıdır. Öte yandan güncel çalışmalar, kötü bir yapma çevrenin topluma maliyetinin, binaların enerji maliyetinden genellikle çok daha yüksek olduğunu göstermiştir (Olesen, 2012). ABD Çevre Koruma Ajansı (United States Environmental Protection Agency - EPA) verilerine göre, insanların zamanının %90'ını kapalı mekanlarda geçirdiği (Roberts, 2016) ve konutlar için bu sürenin Covid-19 pandemisi ile birlikte uzadığı düşünüldüğünde, mimari tasarım bileşenleri ve ısıtma, havalandırma, soğutma (HVAC) ve aydınlatma amaçlı bina alt (servis) sistemlerinin kullanıcılara sağlıklı ve konforlu bir iç mekan sunması daha da önemli hale gelmiştir. Nitekim dünyadaki sınırlı fosil yakıt rezervleri, küresel ısınma, iklim krizi ve pandemiyle birlikte, mimarlık alanındaki tasarım ve araştırma faaliyetlerinde enerji tüketimi, sürdürülebilirlik, konfor, sağlık ve iç çevre kalitesi gibi konulara artan bir odaklanmanın olduğundan söz edilebilir (Du & Wang, 2020, Agarwal vd., 2021; Abouleish, 2021; Moghadam vd., 2023). Güncel araştırmalar binalardaki pasif ve aktif tasarım bileşenleri seçiminin, konfor koşullarını sağlamaya ve binanın enerji tüketimini azaltmaya yönelik çok amaçlı bir optimizasyon analizinin sonucunda yapılması gerektiğini göstermektedir. Bu alanda daha fazla bilgi üretildikçe ve deneyim kazanıldıkça, yüksek performanslı, sürdürülebilir ve aynı zamanda konforlu mekan tasarım hedeflerine ulaşmak pratikte gerçekleştirilebilecektir.

Bu çalışmanın ilk bölümünde binalarda konfor, enerji ve simülasyon tabanlı optimizasyon konunlarına yer verilmiştir. Bölüm 2.1 ve Bölüm 2.2'de ısıl konfor ve görsel konfor kavramının tanımı, iç mekanda konforu etkileyen faktörler ve değerlendirme yaklaşımları sırasıyla sunulmuştur. Bölüm 2.3'te binalarda binalarda enerji performans kavramı, enerji performansını etkileyen faktörler ve değerlendirme yaklaşımları kısaca tanıtılarak Bölüm 2.4'te bina enerji simülasyon ve BES tabanlı optimizasyon yöntemi literatürdeki çalışmalar üzerinden detaylandırılmıştır.

2.1. Isıl Konfor ve Değerlendirme Yaklaşımları

İnsanlar, tropikal iklim bölgelerinden yüksek enlemlere kadar bir dizi farklı iklimde yaşayabilmektedir. Bu nedenle ısıl konfor algısı değişkendir ve ısıl konfor kavramı çeşitli etmenler ve sınır değerler üzerinden tanımlanmaktadır. ASHRAE Standart 55 (2004) "Yaşam alanları için ısıl çevresel şartlar" (*Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*) standardında ısıl konfor, kullanıcıların %80 veya daha fazlasının iç çevre koşullarından tatmin olma durumu olarak tanımlanmıştır. Fanger (1970), ısıl konfor algısının fiziksel, fizyolojik ve psikolojik süreçlerden etkilenen bilişsel bir süreç olduğunu vurgulamıştır.

Tarihsel süreç içinde ısıl konfor alanındaki çalışmalara bakıldığında, Straaten (1967) konforun öznel olduğunu ve kişilere göre değişebildiğini savunmuştur. Givoni'ye (1976) göre ısıl konforun birincil amacı, insanla çevre arasındaki ısıl dengenin sağlanması ve vücut sıcaklığının korunmasıdır. Givoni iç mekan ısıl konfor düzeyinin yapı kabuğu yoluyla, iç ve dış ortam arasındaki ısı alışverişine bağlı olduğunu ve kullanıcıların kendilerini iyi hissetmesi ve sağlığı açısından ısıl konforun önemini belirtmiştir. Evans (1980) ısıl konforun öznel bir algılama olduğunu, optimal koşullar elde edildiğinde bile, aynı anda tüm kullanıcıları memnun etmenin mümkün olmadığını; dolayısıyla ısıl konfor koşullarının "mükemmel bir kombinasyonu" diye bir şeyin mümkün olmadığını vurgulamıştır. Evans'a göre ısıl konfor bedensel duyumlar açısından sıcak, ılık, biraz ılık, nötr, biraz serin, serin veya soğuk hissidir ve objektif olarak ölçülemez. Limb (1992), ısıl konforu "bina

kullanıcısı tarafından ısıl çevre için ifade edilen memnuniyet koşulu" olarak tanımlarken, Morris (2004) kullanıcının ısıl çevreyi rahatsızlık duymadan ne çok soğuk ne de çok sıcak olarak nitelendirdiği "nötr" durumdan söz etmiştir.

Matzarakis ve Mayer (1996), kullanıcıların "ısıl çevreden duyulan memnuniyet"in objektif bir kriter olup olmadığını araştırmıştır. Oseland ve Raw'a göre (1994), ısıl konfor araştırmaları bina ve iç mekan tasarımına rehberlik edilebilir ve iç hava kalitesi iyileştirilebilir; hasta bina sendromu riski azaltılarak kullanıcı sağlığı, iş verimi ve yaşam kalitesi arttırılabilir. Heijs (1994), psikolojik açıdan bakıldığında ısıl konforun "zihinsel duyumun" ya bir algısal sürecin ya da bir biliş halinin veya genel bir duygu veya tutumun bir sonucu olabileceğini ve dolayısıyla kullanıcının refahı, aktivite biçimi ya da giydikleri gibi pek çok farklı durumla ilişkilendirilebileceğine değinmiştir. Sonuçta, ısıl konforun fizyolojik ve psikolojik olarak kullanıcı memnuniyetini belirleyen iklimsel ve çevresel bir özellik olarak düşünülmesi gerektiğini söylemiştir. Daniels (1997) binaların insanlar için bir yapılı çevre oluşturduğuna değinmiş, bir konfor bölgesi oluşturulurken yapının kullanıcılarına sağladığı iklimsel koşulların yanı sıra, iç mekandaki akustiğin, gün ışığı alımının, hava kalitesinin ve dış görüşün de ısıl konfor kriterleriyle birlikte ele alınması gerektiğini vurgulamıştır.

İnsan vücudundaki ısı alışverişi kişiyi çevreleyen yüzeylerlerden iletim, ışınım (radyasyon), ortamdaki havadan taşınım (konveksiyon) ve buharlaşma (terleme ve solunum) yoluyla gerçekleşmektedir. İnsan vücudu ışınım ve taşınım yoluyla ısı yayarken aynı zamanda çevredeki yüzeylerden gelen ısı ışınlarını ve hava akımını hisseder. Koenigsberger vd. (1975), McIntyre (1980) ve Fanger'in (1985) çalışmalarında insan vücudu ve çevre arasındaki ısı transferi ilkeleri açıklanmıştır. "Hissedilen sıcaklık" veya "operatif sıcaklık" vücut ısı transfer mekanizmalarıyla; yani odadaki ortalama hava sıcaklığı ve mekanı çevreleyen yüzeylerden yayılan ortalama ışınım (radyant) sıcaklığına bağlı olarak ölçülmektedir.

Ortamın hava sıcaklığı, nemi ve hava hareketinin istenen aralıkta olduğu durum genellikle "konfor bölgesi" olarak tanımlanmaktadır. Hava hareketinin neredeyse olmadığı (0,1 m/s) ve bağıl nemin yaklaşık %50'de tutulduğunda durumda, iç ortam sıcaklığı ısıl konforu sağlamak için en önemli etmendir. Bununla birlikte, sıcaklık tercihleri bireyler arasında büyük farklılık göstermektedir. Fanger (1970) ısıl konfor durumunu etkileyen en önemli altı değişkeni şu şekilde sıralamıştır: i) aktivite düzeyi (vücuttaki ısı üretimi), ii) giysilerin ısıl direnci (clo değeri), iii) iç hava sıcaklığı, iv) ortalama ışınım sıcaklığı, v) bağıl hava hızı, vi) ortamdaki su buharı basıncı (bağıl nem). Fanger (1970), ısıl konforun yukarıdaki değişkenlerin birçok farklı kombinasyonu ile elde edilebileceğini ve temelde pek çok farklı yöntemin kullanılmasının mümkün olduğunu öne sürerek, insan vücudu üzerinde ısıl konfor değişkenlerinin bütünleşik etkisini araştırmış ve bu hipotezini koşullu konfor denklemi üzerinden şu şekilde açıklamıştır: "Isıl konforu etkileyen herhangi bir fiziksel etmeni bağımsız olarak düşünmek olanaksızdır; çünkü her bir değişkenin etkisi ve gerekli şartlar diğer değişkenlerin seviyesine ve ortam koşullarına bağlıdır".

ASHRAE El kitabında (*Handbook: Fundamentals)* (2009) ısıl konforu etkileyen faktörler üç gruba ayrılmış ve Çizelge 2. 1'deki bu değişkenler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Çizelge 2. 1. Isıl konforu etkileyen değişkenler (ASHREA, 2009)

Çevresel Etmenler	**Kişisel Etmenler**	**Diğer Etmenler**
İç ortam sıcaklığı	Aktivite düzeyi	Yiyecek ve içecekler
Ortalama ışınım sıcaklığı	Giysilerin ısıl direnci	Vücut şekli
Bağıl hava hızı	Sağlık durumu	Deri altı yağı
Bağıl nem	İklimsel uyum	Yaş ve cinsiyet

a) İç ortam sıcaklığı (T_i, °C): İnsanın çevresiyle taşınım (konveksiyon) yoluyla yaptığı ısı alışverişi miktarını belirleyen en önemli değişken iç ortam (kuru termometre) sıcaklığıdır. İnsan ile çevresi arasındaki ısı taşınımı, vücut yüzey sıcaklığı ile hava sıcaklığı dengeleninceye kadar devam eder. ASHRAE Standart 55 (2017) konutlarda ısıl konfor amacıyla iç ortam sıcaklığının yaklaşık 19,4º (67 °F) ile 27,8º C (82 °F) arasında

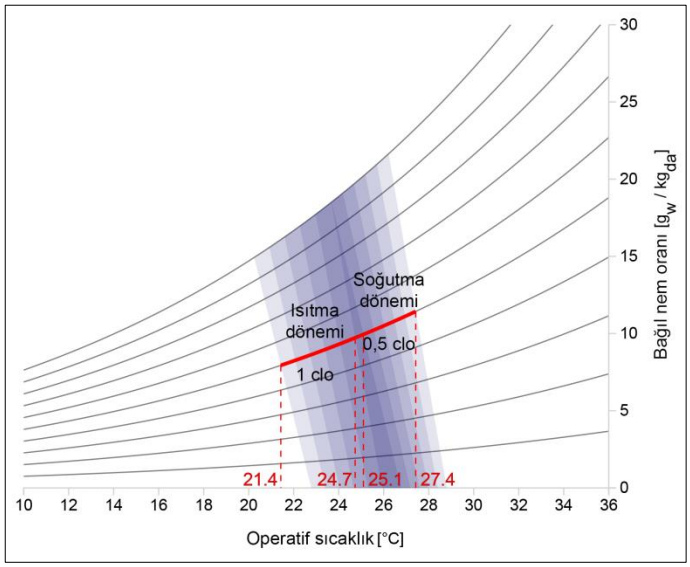
değişebileceğini, daha spesifik bir aralık belirlemek için mevsim, bağıl nem, giysi düzeyi ve aktivite seviyesi gibi diğer etmenlerin göz önüne alınması gerektiğini belirtmektedir.

BS EN ISO 7730:2005 "Isıl çevrenin ergonomisi" (*Ergonomics of the thermal environment*) adlı standartta ısıl konfor için gerekli ortam şartları, ısıtma ve soğutma dönemlerini ayrı ayrı kapsayacak şekilde önerilmiştir. BS EN ISO 7730'da (2005) tavsiye edilen iç ortam sıcaklık aralığı ısıtma dönemi için T_i: 22°C (± 2°C), soğutma dönemi için T_i: 24,5°C (±1,5°C)'dir. EN 16798-1 "Binaların enerji performansı" (*Energy performance of buildings*) Avrupa standardında (2019) konutlar için (yatak odası, mutfak, salon) ısıtma sezonunda kabul edilebilir ortam sıcaklığı T_i: 20 – 25°C, soğutma sezonunda T_i: 23 – 26°C aralığındadır (*M*: 1,2 met, *Rh*:%40, V_a <0,1 m/s, $I_{cl\ kış}$: 1,0 clo, $I_{cl\ yaz:}$ 0,5 clo).

Uygulama alanı olarak konutları da kapsayan TS 825 (2008) "Binalarda Isı Yalıtım Standardı" konutlar için yıllık ısı ihtiyacı hesabında kullanılacak aylık ortalama iç sıcaklık değeri T_i: 19°C olarak almaktadır. Ülkemizdeki enerji verimliliği mevzuatına bakıldığında, binalarda enerji performans uygulaması (BEP-TR 2) ile yapılan bina enerji performans hesaplamaları TS 2164 (1983) "Kalorifer Tesisat Projelendirme Kuralları" standardında yer alan kabuller ve referans değerlere göre yapılmaktadır. Isıtma sistemi projelendirmesinde, ısıtılan konut mekanları için iç ortam hava sıcaklıkları oturma odası ve salon için T_i: 22°C, yatak odaları T_i: 20°C, antre, WC, mutfak için T_i: 18°C, banyo için T_i: 26°C, ortak mahaller için T_i: 10°C, alınmaktadır.

İç mekanın ısıl konfor açısından değerlendirilmesinde yalnızca kuru termometre sıcaklığını değil aynı zamanda ısıl konforu etkileyen diğer çevresel etmenleri dikkate alan ve bireylerin mekan içinde deneyimlediği, algılanan sıcaklığı temsil eden operatif sıcaklık (T_o, °C) kavramı kullanılmaktadır. Şekil 2.1'de ısıl konfor değişkenleri Berkeley Üniversitesi'nde Tartarini ve ekibi tarafından geliştirilen (2020) web tabanlı ısıl konfor hesaplama aracı CBE'ye (*Center for the Built Environment Thermal Comfort Tool*) girilerek, mevsime uygun giyimli ($I_{cl\ kış}$: 1,0 clo, $I_{cl\ yaz:}$ 0,5 clo) ve hafif ve çoğunlukla

oturarak aktivite yapan bir kişi için (*M*: 1 met) *Rh*: %50 ve durgun hava (V_a: 0,1 m/s) koşullarında kabul edilebilir iç mekan operatif sıcaklığının ASHRAE-55 (2017) ve BS EN ISO 7730'a (2005) göre ısıtma döneminde 21,4ºC – 24,7ºC, soğutma döneminde ise 25,1ºC – 27,4ºC aralığında olduğu görülmektedir. Hesaplanan bu değerler, burada belirlenen iç ortam koşulları ve kıyafetlerin ısıl direnci için geçerlidir.



Şekil 2. 1. ASHRAE-55 (2017) ve BS EN ISO 7730'a (2005) göre ısıtma ve soğutma döneminde farklı giysi yalıtım dirençleri için kabul edilebilir operatif sıcaklık ve bağıl nem aralıkları (*CBE ısıl konfor hesaplama aracında yazar tarafından oluşturulmuştur)*

Yazın hava sıcaklığının yüksek olması kişilerin daha ince giysiler giymelerini gerekli kılar. Vücut yüzey sıcaklığı sabit kaldığı ve çevreye aynı miktardaki ısı yaydığı esas alınırsa, yazın ısıl konforun sağlandığı iç çevre sıcaklığı daha yüksektir (Şekil 2.1). Ulrich, Knaack vd. yaptığı çalışmalarda (2007) iç ortam sıcaklığının yükselmesinin kullanıcıların yorgun hissetmesine, sıcaklığın düşmesi ise kullanıcıların dikkatinin dağılmasına ve huzursuz hissetmelerine neden olduğu belirtilmiştir.

b) Ortalama ışınım sıcaklığı (T_r, °C): İnsan vücudunu çevreleyen yüzeylerin ortalama ışınım (radyant) sıcaklığının birleşik etkisini veren, birey ile mekan arasında uzun dalga ışınımı yoluyla gerçekleşen ısı transferini belirleyen değişkendir. Dış ortamda ve açık mekanlarda güneş ışınımının etkisi yüzey sıcaklıklarını belirlemede önemli iken, kapalı

ortamlarda mekanı çevreleyen yüzey sıcaklıkları ısıl konforu belirlemede önem kazanmaktadır.

İç yüzey ile iç ortam arasındaki sıcaklık farkının artması hava sürkülasyonunu artıracağından, iç ortam sıcaklığı istenen düzeyde olsa bile hissedilen sıcaklık düşer ve konforsuzluk ortaya çıkabilir. ASHRAE-55'e göre (2017) baş seviyesi ile ayak bileği seviyesi arasındaki hava sıcaklığı farkı, oturanlar için 3°C'yi, ayakta duranlar için 4°C'yi aşmamalıdır. BS EN ISO 7730'da (2005) zeminden 0,1 m ve 1,1 m yükseklikler arasındaki düşey hava sıcaklığı farkının 3°C den az olması, zemindeki yüzey sıcaklığının 19°C ile 26°C arasında kalması, yerden ısıtma sistemleri için azami döşeme sıcaklığı 29°C, pencereler vb. ısı köprüsü oluşturabilecek yüzeylerden dolayı ışınım sıcaklığı asimetrisinin 10°C'den az olması önerilmektedir. Uluslararası standarlara benzer şekilde TS 825'te (2008) de, konfor şartlarının korunması için iç yüzey sıcaklıkları (çatı, duvar vb. bütün yüzeyler) ile iç ortam sıcaklığı farkının 3ºC'yi aşmaması gerektiği belirtilmiştir.

c) Bağıl nem (*Rh,* %): Havadaki su buharı kısmi basıncının, aynı şartlarda doygun haldeki havanın su buharı kısmi basıncına oranı olarak tanımlanabilir. Hava sıcaklığı ve yüzey sıcaklıkları belirli sınırlar içinde kaldığı sürece bağıl nem değişimi ısıl konforu etkileyen ikincil bir etmendir. ASHRAE-55 (2017) iklimlendirme sistemleri ile konutlarda 0,012 kg.H_2O/kg kuru hava veya altında bir nem oranını muhafaza edebilmesi gerektiğini belirtmektedir. Bu değer, düşük ortam sıcaklıklarında %80'in üzerinde bir bağıl nem düzeyine karşılık gelmektedir. Bağıl neminin artması, kişinin vücudundan buharlaşma yoluyla ısı kaybının artmasına neden olmaktadır. Ayrıca, yüksek bağıl nem seviyeleri konutlarda toz akarları, küf ve mantar oluşumunu teşvik edebilir. Mikrobiyal büyümeye yol açabilecek koşulların olasılığını azaltmak amacıyla ASHRAE-62.1'de (2016) iç ortam bağıl neminin %65'in altında kalması önerilmektedir. BS EN ISO 7730 (2005) ve ASHRAE-55'te (2017) bağıl nem için bir alt limit bulunmamakla birlikte, %30'un altındaki bağıl nem oranlarında deri ve göz kuruluğu, burun tıkanıklığı ve statik elektrik üretimi gibi konforsuzluk durumlarının ortaya çıkabileceğinden söz edilmiştir. BS EN ISO 7730'da (2005) tavsiye edilen *Rh*: %30 – %70'tir.

d) Hava hızı (V_a, m/s): Hava akım hızı bileşeni ısıl konfor üzerinde etkili olmakla birlikte özellikle kapalı mekanlar için ikincil bir etmendir. Hava hızının artması durumunda iç ortamda sıcaklık değişimine bağlı olarak ısıl konforsuzluk meydana gelebilir. İnsan vücudu ile çevresi arasındaki ısı alışverişi hava hızına bağlı olarak değişmekte, buharlaşma ve konveksiyon (taşınım) yoluyla ısı kaybı artmaktadır. ASHRAE-55'te kullanıcı kontrolünün olmadığı koşullarda, 23°C'nin altındaki operatif sıcaklıklar için önerilen ortalama hava hızı sınırı V_a: 0,2 m/s, 25,5°C'nin üzerindeki operatif sıcaklıklar için ise V_a: 0,8 m/s olarak verilmiştir. T_o: 23,0°C – 25,5°C sıcaklık aralığında V_a limitini bulabilmek için eşitlik kullanılmaktadır.

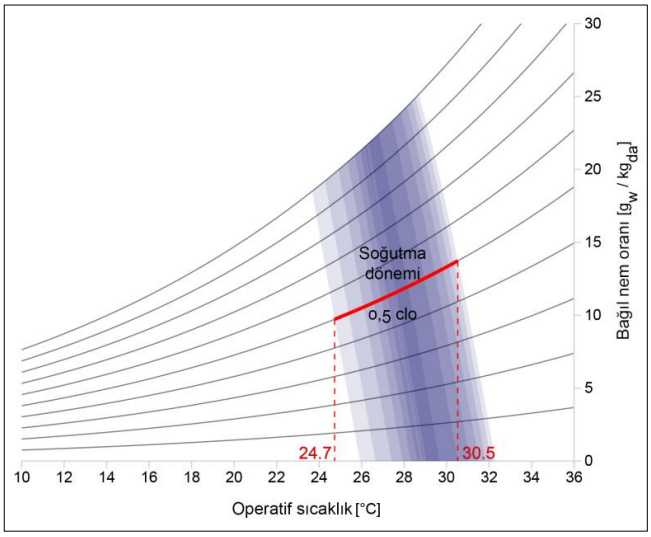
$$Va = 50.49 - 4.4047(To) + 0.096425(to)^2 \ (\mathrm{m/s}, °\mathrm{C}) \qquad \textbf{(2.1)}$$

Burada;

Va: hava akım hızı (m/s)

T_o: iç ortam operatif sıcaklığıdır (°C)

Şekil 2. 2'de BS EN ISO 7730'a (2005) göre iç mekanın soğutulduğu dönemde, *Rh*: %50 olan bir mekanda oturularak yapılan aktiviteler (*M:* 1 met) ve V_a: 0,1 – 0,8 m/s için uygun T_o aralığı görülmektedir. Artan hava hızı, kabul edilebilir operatif üst sıcaklık limitini de arttırmaktadır.



Şekil 2. 2. Soğutma döneminde 0,1 – 0,8 m/s bağıl hava hızı aralığında kabul edilebilir iç ortam koşulları (*CBE ısıl konfor hesaplama aracında yazar tarafından oluşturulmuştur)*

e) Giysilerin ısıl direnci (I_{cl}, clo): Isıl konforunu etkileyen fizyolojik faktörler kişiden kişiye, gerçekleştirilen aktivitiye ve giysilerin yalıtım düzeyine bağlı olarak değişmektedir. Giysiler, ısıl direnç özelliklerine göre insan vücudundaki ısı alışverişi ve konfor açısından tamamlayıcıdır. Bu anlamda giysiler ısıl ortama uyum açısından en önemli değişkenlerden biridir. Giysilerin ısıl direnci malzeme özelliklerinin yanı sıra içerdikleri durgun havanın bir sonucudur ve sayısal olarak Clo (1 Clo = 0.155 K m^2/W) değeri ile ifade edilmektedir. 1 clo değeri, V_a: 0,1 m/s ve T_o: 21°C sahip bir ortamda dinlenen bir kişinin ısıl dengeyi korumasına izin veren yalıtım miktarıdır. Fanger (1970) çeşitli kombinasyonlar için giysilerin ısıl direnç değerlerini kışlık giysi (I_{cl}: 1 – 1,13 clo), hafif – yazlık giysi (I_{cl}: 0,5 – 0,6 clo) ve ağır – yünlü giysi ($I_{cl:}$ 3 – 4 clo) olarak sınıflandırmıştır. Çizelge 2. 2'de ASHRAE El kitabındaki (2009) giysi kombinasyonları ve yalıtım değerlerinden örnekler görülmektedir.

Çizelge 2. 2. Çeşitli giysilere ait yalıtım değerleri (ASHRAE, 2009).

Giysi Türü	**(clo)**
Çıplak	0
Şort, kısa kollu gömlek	0,36
Diz boyu etek, kısa kollu gömlek, külotlu çorap, sandalet	0,54
Pantolon, kısa kollu gömlek	0,57
Pantolon, uzun kollu gömlek	0,61
Eşofman altı ve üstü	0,74
Pantolon, tişört, uzun kollu gömlek, uzun kollu kazak,	1,01
Bilek boyu etek, uzun kollu gömlek, ceket, külotlu çorap	1,10
Yalıtımlı tulum, uzun alt ve üst termal içlik	1,37

BS EN ISO 7730'da (2005) yaz mevsimi için giysilerin ısıl direnci ortalama 0,5 clo, kış mevsimi için 1 clo olarak kabul edilmiştir. Şekil 2. 1'de tipik iç mekan yaz ve kış giysileri ile, V_a: 0,1 m/s, *Rh*: %50'ye sahip bir mekanda oturularak yapılan aktiviteler (*M:* 1 met) için en fazla kullanıcıyı memnun eden iç ortam sıcaklık aralığı verilmiştir. Kullanıcıların en az %90'ının ısıl konfor açısından kabul edilebilir bulduğu ortam şartları grafikteki taralı alanın sınırlarını oluşturmaktadır.

f) Aktivite düzeyi (*M*, met): İnsan vücudu genetik kodu gereği ve yaşam fonksiyonlarını sürdürebilme otonom davranışları sonucu, ısı üreten ve bu ısıyı belli sıcaklıkta tutabilen homojen olmayan bir ortamdır. Vücut ile çevre arasında hem madde, hem enerji transferi vardır. Enerji transferinin dinamik davranışının fizyolojik ve psikolojik değerlendirilmesi konfor hissini-duyumunu belirlemektedir (Toksoy, 1993).

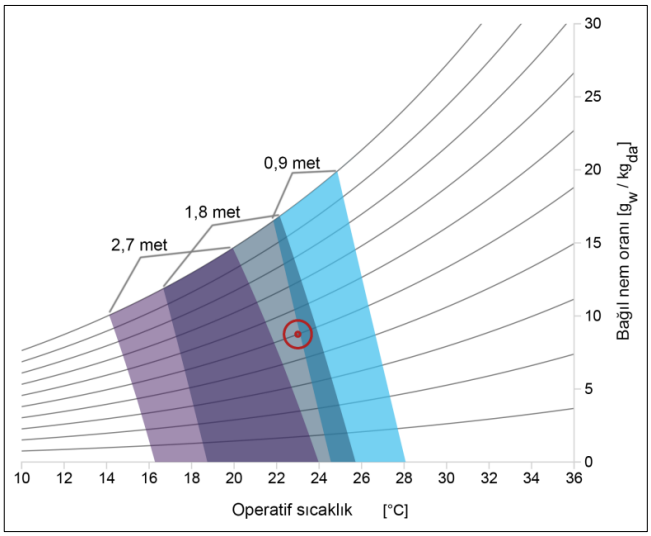
İnsan vücudunun "iç ısıl yükü" aktivite düzeyine (metabolizma hızına) bağlıdır ve yaşam sürecinin bir parçası olarak büyük ölçüde değişiklik gösterir. Besinler metabolize edilirek elektrokimyasal enerjiye dönüştürülür ve bu enerji, bedensel işlevlerimizi yerine getirmemizi sağlar. Bir enerjinin başka bir enerji formuna dönüşmesinde enerjinin korunumu kanununda olduğu gibi belli bir verimliliği vardır. Yiyeceklerde depolanan potansiyel enerjinin yalnızca %20'si faydalı enerjiye dönüşürken, enerjinin diğer %80'lik bölümü bir yan ürün olarak ısıya dönüştürülür. Bu durum, vücut sıcaklığının sürekli olarak artmaması adına dış çevreye ısı transferi (ışınım, taşıma veya iletim) yoluyla veya vücut sıvılarının buharlaşması (terleme) yoluyla atılmasına neden olur. Solunum, kan dolaşımı, iç organlarımızın çalışması gibi (bazal metabolizma) sürekli bir enerji tüketiminin varlığına ek olarak, zihinsel veya fiziksel bir aktivite yapıldığında gerekli enerjiyi sağlamak üzere metabolizma hızı ve ayn zamanda vücudun ısı üretimi artar. Bu amaçla kullanılacak yakıt mevcut sindirilmiş yiyeceklerden veya gerektiğinde yağ depoların karşılanmaktadır.

Aktivite düzeyi insan vücudunun birim yüzey alanında (Du-Bois metoduna göre bir insanın ortalama yüzey alanı 1,8 m^2) birim zamanda üretilen enerji miktarıdır. Metabolik enerji üretimi (metabolik oran) "met" birimiyle ifade edilmekte, 1 met oturarak dinlenmekte olan bir insanın birim vücut yüzeyi alanında birim zamanda üretilen ısı enerjisi miktarını temsil etmektedir. Gıdalardaki enerjinin insan vücudunda ısıya dönüşme hızı ise watt (W) cinsinden ifade edilmektedir (1 Met = 58,2 W/m^2). Genel olarak vücuttaki toplam ısı üretimi aktivite düzeyi ile doğru orantılıdır ve bireyin sağlık durumuna, cinsiyetine, yaşına, giysi türüne ve bulunduğu çevrenin ısıl ve atmosferik koşullarına bağlıdır. Çizelge 2. 3'te insan vücudunun farklı aktivitelere bağlı metabolizma hızı (met) örnekleri görülmektedir (BS EN ISO 7730, 2005).

Çizelge 2. 3. Farklı aktivitelere bağlı metabolik oran (BS EN ISO 7730, 2005)

Aktivite türü	**Metabolik oran (met)**
Uzanma, uyuma	0,8
Oturma, sakin	1,0
Ayakta durma, sakin	1,2
Hareketsiz aktiviteler (ofis, konut, okul, laboratuvar)	1,2
Ayakta, hafif aktivite (alışveriş, laboratuvar, sanayi)	1,6
Ev işleri (tıraş olmak, yıkanmak ve giyinmek	1,7
Düz yolda yürümek, 2 km/s	1,9
İnşaat sektörü - Tuğla döşeme	2,2
Ayakta bulaşık yıkamak	2,5
Ev işleri (elde yıkamak ve ütülemek)	2,9
İnşaat sektörü - kalıp yapmak	3,1
Düz yolda yürümek, 5 km/s	3,4
Voleybol, bisiklete binmek	4,0
Aerobik Dans, Yüzme	6,0
Spor yapmak, 15 km/sa hızla koşma	9,5

Vücut ısısı üretimi aktivite düzeyine bağlı olarak arttığı için, insan sağlığı ve çalışma verimi açısından optimal iç çevre koşullarının belirlenmesinde mekanın kullanım amacı ve kullanıcıların rutin fiziksel aktiviteleri tespit edilmelidir. Yukarıda bahsedildiği gibi, giyim ve aktivite düzeyi kişinin konfor bölgesi üzerinde etkilidir ve bu değişkenler kabul edilebilir sıcaklık aralığını da etkiler. Şekil 2. 3'te BS EN ISO 7730'a (2005) göre I_{cl}: 1 clo, V_a: 0,1 m/s, Rh: %50 ve $T_{i=}$ T_o: 23°C olan bir mekanda üç farklı aktivite düzeyi için ($M_{dinlenme}$: 0,9 met, $M_{yemek\ pişirme}$: 1,8 met, $M_{temizlik}$: 2,7 met) konfor aralıkları görülmektedir. Konforlu bir ortam sağlanabilmesi için gerekli operatif sıcaklık aktivite düzeyine bağlı olarak değişmektedir. Fiziksel açıdan aktif olan bir kişi daha büyük sıcaklık farklarına tolerans gösterirken uyku/dinlenme durumunda olan bir kişi sıcaklık farklarına daha duyarlıdır.



Şekil 2. 3. Farklı aktivite düzeyleri için kabul edilebilir konfor koşulları aralığı (*CBE ısıl konfor hesaplama aracında yazar tarafından oluşturulmuştur)*

g) Sağlık durumu: İç ortam ve dış ortam arasındaki, özellikle binaların iklimlendirildiği koşullarda meydana gelebilecek önemli farklar, kullanıcı sağlığı açısından olumsuz olabilir. Örneğin, bir hastanede yatan hasta ya da aşırı gürültü ve stres altındaki kullanıcı, bir restoran kullanıcısına göre iç ortam konfor koşullarına karşı daha duyarlı olduğu söylenebilir (Gut, 1993).

h) İklimsel uyum (*Acclimatization*): İnsanlar belli bir dereceye kadar yaşadıkları ortam koşullarına ve iklime uyum göstermektedir. Bu sayede, sert iklim koşullarında ikamet eden bir toplum, sıcak bir iklim bölgesinden gelen bir ziyaretçiye göre yaşadığı bölgenin koşullarından daha az etkilenmektedir. Benzer bir durum mevsimsel iklim değişiklikleri için de söylenebilir. Aynı sıcaklık değeri yaz aylarında serin, kış aylarında sıcak hissedilebilir (Gut, 1993).

i) Diğer etmenler: Vücudun aktivite ve çevre değiştirme süreçleri iklimsel uyum bakımından önemlidir. Uyum süreci, değişen ortam sıcaklığındaki dalgalanmaların periyoduna benzer kısa süreli olabileceği gibi, iklim koşullarının ve giyim alışkanlıklarının

tamamen değiştiği coğrafi yer değiştirmeler sonucu geliştirilen iklimsel uyum süreleri gibi daha uzun bir zaman dilimini (4-6 ay) kapsayabilir (Toksoy, 1993).

Çevresel ve kişisel faktörlerin dışında kalan psikososyal durum, yaş, cinsiyet, sağlık durumu, vücuda alınan gıdalar, cilt rengi ve iç hava kalitesi, akustik ve optik etkiler gibi diğer faktörler de kullanıcıların ısıl konfor algısını etkilemektedir. Bu faktörler iç ortam konfor şartları iyileştirmese de kullanıcıların sıcaklık toleransını bir ölçüde değiştirebilmektedir. Koenigsberger vd. göre (1975), yaşlandıkça metabolizma hızı düştüğü için, yaşlılar gençlere göre daha yüksek ortam sıcaklıklarını tercih edebilmektedir. Ayrıca kadınların metabolizma hızı erkeklere göre biraz daha yavaş olması nedeniyle, kadınlar erkeklere kıyasla ortalama 1°C daha yüksek bir sıcaklık seviyesini tercih edebilmektedir. Öte yandan, Fanger (1982) tarafından pek çok kullanıcı ile yapılan çalışmalarda, tercih edilen sıcaklıklar ile cinsiyet arasında dikkate değer bir ilişkinin olmadığı görülmüştür. İklimler, yaşam koşulları ve kültürler dünya çapında büyük farklılıklar gösterse de, insanların benzer giyim, aktivite, bağıl nem ve hava hızı koşullarında konforlu olabilmek için tercih ettikleri iç ortam sıcaklığının benzer olduğu görülmüştür (Fanger, 1970; DeDear, Leow & Ameen, 1991; Busch, 1992).

1970'lerden bu yana, insanların çevreye karşı ısıl algılarına dayalı bir dizi konfor modeli oluşturulmuş ve ısıl konfor araştırmaları giderek fiziksel çevre kontrolü alanının önemli bir parçası haline gelmiştir. Bir mekanda seçilen bölge içerisinde belirli sayıda noktada ısıl konforu etkileyen çevresel değişkenleri deneysel olarak ölçmek mümkündür, ancak seçilen bölgedeki konfor düzeyini belirlemek için ölçümleri yorumlamak gerekmektedir. Kişisel tercihleri de içeren ısıl konfor değişkenleri nedeniyle, bir ısıl konfor noktası tanımlamaktansa bir konfor bölgesi (zonu) oluşturmanın daha doğru olacağı Taleghani vd. (2013) yaptığı literatür araştırmasındaki çeşitli çalışmalarda ifade edilmiştir. Isıl zonlar oluşturulurken yukarıda bahsedilen çevresel ve kişisel etmenler temel değişkenler olarak ele alınmaktadır.

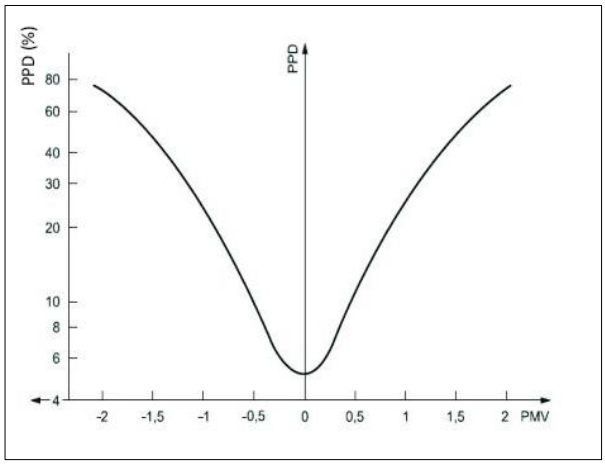
İklim, yaşam koşulları ve kültürel farklılıklara rağmen bu alanda yapılan çalışmalar dünya genelinde insanların benzer giyim koşullarında, fiziksel aktivite düzeyinde, bağıl nem ve hava hızında konfor için tercih ettiği sıcaklıkların benzer olduğunu göstermiştir (ASHRAE, 2009). Birçok araştırmacı, ısıl konfor koşullarını temsil etme ve hesaplama problemleri üzerinde çalışmış, kullanıcıların fizyolojik ve psikolojik tepkileri ölçülerek mevcut bir hacmin ısıl konfor koşullarını değerlendirmek için geçmişte çeşitli deneysel ve analitik yöntemler geliştirmiştir (Sherman, 1985; Van Hoof, 2008; Orosa, 2009; Wan vd., 2009).

Deneysel ısıl konfor modellerinde, varolan bir hacimdeki ısıl konfor kriterlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan alan çalışmaları sonucunda elde edilen istatistiksel bilgiler regresyon denklemleri ile değerlendirilmektedir (Toksoy, 1993). Analitik konfor modellerinin çıkış noktası ise insan vücudu ile çevresi arasındaki enerji dengesinin ısıl konfor açısından önemli bir fiziksel mekanizma olduğunun fark edilmesidir. Bu noktadan hareketle, vücut ile çevre arasındaki enerji akışını gösteren denklemler oluşturulmuş ve bu denklemlerin deneysel olarak elde edilen ve kabul edilebilir sınırlar içinde kalan çözümleri ısıl konfor bölgesi olarak tanımlanmıştır (Toksoy, 1993). Analitik modellerde kullanılan bağımsız değişkenlerin sayıca çok olması, her zaman geçerli olabilecek tek bir çözümün elde edilmesini mümkün kılmamaktadır. Öte yandan ısı transferi algoritmalarının bilgisayar ortamında hesaplanması yaygınlaşmış ve analitik konfor modellerine yönelik iç ortamda ayrıntılı analiz ve tahmin yapabilen çeşitli yazılım araçları (COMFORT, CBE vb.) ve simülasyon programları üretilmiştir.

Günümüzde kararlı durumdaki iç ortam koşullarında, ısıl konfor için kabul edilebilir aralıklar ASHRAE Standart 55 (2017) ve BS EN ISO 7730 (2005) ve güncellen EN 15251 (2007) standardı yerine gelen, konut ve konut dışı binaları kapsayan EN 16798-1'de (2019) yer almaktadır. Isıl konfor alanında geliştirilen bu standartların temelini oluşturan analitik modeller; 1970 yılında Fanger tarafından geliştirilen statik PMV-PPD modeli ve 1997 yılında de DeDear, Brager ve Cooper tarafından oluşturulan adaptif (uyarlamalı) konfor modeldir. Aşağıda bu iki analitik modelin temel aldığı değişkenler ve hesaplama metotları açıklanmış ve diğer ısıl konfor modellerine de kısaca yer verilmiştir.

a) PMV - PPD Statik Modeli: Günümüzde sıklıkla kullanılan deneysel ısıl konfor modeli Fanger tarafından geliştirilmiş olan Tahmini Ortalama Oy (PMV) ve Tahmini Memnuniyetsizlik Yüzdesi (PPD) indisleridir. İklimlendirme sistemi ile şartlandırılan binalarda ısıl konfor düzeyinin incelenmesinde kullanılan statik yöntem, insan vücudu ile dış ortam arasındaki kararlı ısı enerji dengesini göz önüne almakta, vücuttaki sıcaklık değişimleri ihmal edilmektedir. Vücudu iç bölge (*core*) ve deri olmak üzere iki elemandan oluşan bir ortam olarak kabul eden Fanger modeli ile (CEN ISO 7730, 1994) aktivite (metabolizma) düzeyi (M: 0,8 – 4 met), giysi düzeyi (I_{cl}: 0 – 2 clo) , iç ortam sıcaklığı (T_i: 10 – 30ºC), ortalama ışınım sıcaklığı (T_o: 10 – 40ºC), iç hava hızı (V_a: 0 – 1 m/s) ve bağıl nem (*Rh:* %30 - 70) olmak üzere altı değişkeni içeren bir konfor denklemi geliştirilmiştir. Bu denklem ile belirli bir aktivite düzeyi ve giysi yalıtım değeri için, sabit koşullar altında insanın konforlu olduğu hava sıcaklığını, bağıl nemi, ortalama ışınım sıcaklığını veya bağıl hava hızı değerlerini, diğer parametreler bilindiği takdirde hesaplamak mümkündür. Fanger'in PMV ve PPD modeline dayanarak CEN ISO 7730 (1994) standardı geliştirilmiştir.

PMV indisi, kapalı deney ortamında belirli ısıl koşullara uzun süre maruz kalmış geniş bir kitlenin ısıl konfor duyumuna dayanan istatistiksel verilere dayanmaktadır (Castilla vd., 2014). Fanger modeli iklimlendirme sistemi ile şartlandırılan ve kullanıcı müdahalesine (örneğin doğal havalandırmaya) izin verilmeyen kontrollü şartlarda geliştirilmiştir. Bu model ile kullanıcıların ısıl ortamla ilgili hissi ya da duyumu (PMV) 7 noktalı ısıl duyum ölçeği ile değerlendirilerek anlamlandırılmaktadır (+3: aşırı sıcak, +2: sıcak, +1: biraz sıcak, 0: nötr konforlu, -1: biraz serin, -2: serin, -3: soğuk). Negatif değerler soğuk hissi nedeniyle, pozitif değerler ise sıcak hissi nedeniyle konforsuzluğu göstermektedir. Sıfır, konfor durumunu temsil eden nötr durumdur. Isıl ortamda rahatsız hisseden insan sayısını tahmin etmekte kullanılan PPD indisi, PMV değerinden yola çıkarak hesaplanmaktadır. PPD ve PMV indisleri arasındaki ilişki Şekil 2. 4'te görülmektedir.



PMV 7 noktalı ısıl duyarlılık ölçeği:

-3: Soğuk

-2: Serin

-1: Biraz serin

0: Nötr

+1: Biraz ılık

+2: Ilık

+3: Sıcak

Şekil 2. 4. PMV'nin bir fonksiyonu olarak PPD (Castilla vd., 2014)

PPD indisine göre optimal konfor koşullarına ulaşılmasına rağmen, insanların tamamının da ısıl çevreden tatmin olması imkansızdır. Psikolojik konfor algısı göz önüne alındığında, sıfıra eşit bir PMV indisi için, insanların yaklaşık %95'inin ısıl çevreden memnun olmaları gerekmektedir. Isıl konfor kategorileri BS EN ISO 7730 (2005), ASHRAE-55 (2017) ve EN 16798-1'e göre (2019) Çizelge 2. 4'te sınıflandırılırmıştır.

Çizelge 2. 4. BS EN ISO 7730 (2005), ASHRAE-55 (2017) ve EN 16798-1 (2019) standartlarındaki ısıl çevre kategorileri

Standart	**PMV**	**PPD**	**Açıklama**
BS EN ISO 7730 (2005) EN 16798-1 (2019)	±0,2	<%6	Kategori A (I)
	±0,5	<%10	Kategori B (II)
	±0,7	<%15	Kategori C (III)
ASHRAE 55 (2017)	±0,5	<%10	Yüksek standart (%90)
	±0,85	<%20	Tipik uygulamalar (%80)

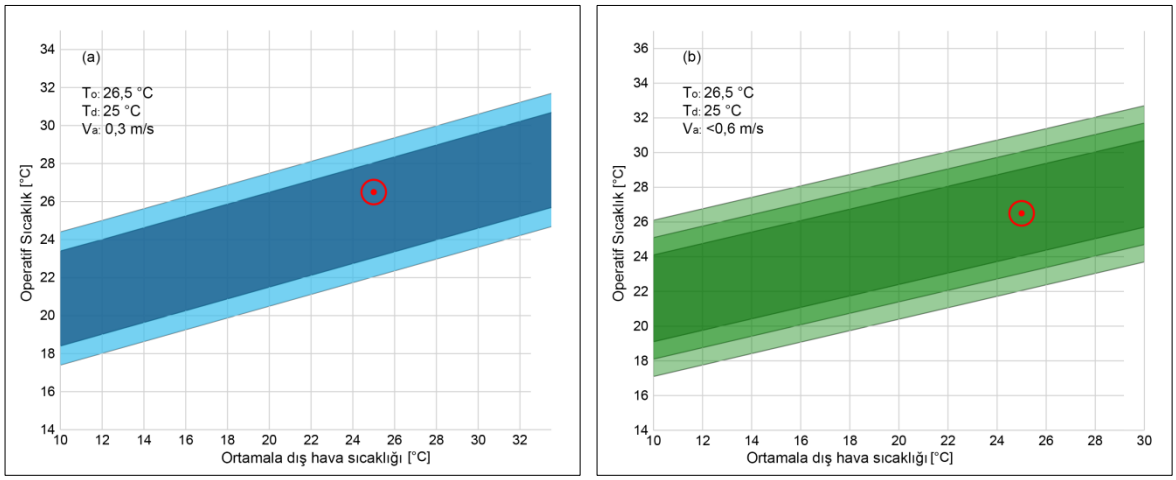
Her üç standarda göre PMV değerinin ±0,5 değerleri arasında kalması ısıl konforun sağlandığını, ortamdaki memnuniyetsiz kişilerin oranı PPD'nin %10'u aşmadığı anlamına gelmektedir. EN 16789-1'de (2019) ısıl konfor açısından en yüksek memnuniyet seviyesinin sağlandığı I. kategori engelli, yaşlı ve çocukların bulunduğu hacimler için tavsiye edilmiştir. II. kategori yeni binalar ve tadilat görmüş mevcut binalarda sağlanması tavsiye edilen memnuniyet düzeyini ifade etmektedir. Kategori III kabul edilebilir orta

düzeyde bir ısıl çevre beklentisini ifade ederken, kategori IV ısıl çevreye ilişkin konforsuz, yılın yalnızca sınırlı bir bölümünde kabul edilebilir durumu tanımlamaktadır.

b) Adaptif (uyarlanabilir) model: İnsanların ısıl konfor algılarının iç ortam ve dış ortam sıcaklığı arasındaki ilişkiye bağlı olduğunu ortaya koyan ve pratikte bulundukları ortam koşullarına göre davranış ve eylemlerini (giyim, aktivite düzeyi, duruş, çalışma hızı, beslenme, havalandırma, hava hareketi gibi) bilinçli olarak değiştirmelerini ve uyum sağlamalarını esas alan bir konfor modelidir (ASHRAE, 2009). Fanger modelindeki mekanik olarak kontrol edilen binalardan farklı olarak, adaptif yöntem kullanıcı tarafından pencerelerin kontrol edildiği, doğal havalandırma yapılabilen mekanların konfor koşullarının tespitinde kullanılmaktadır.

Kullanıcıların gerçek ortamdaki ısıl konfor koşullarının ve konfor algısının değerlendirilmesi amacıyla 1995 yılında başlayan ASHRAE RP-884 projesi kapsamında 4 kıtada, farklı iklim bölgelerinde yer alan 160 binadan 21 000 veri toplanmıştır (Orosa, 2009). DeDear ve Brager ve Coopeer (1997) iklimlendirme sistemine sahip binalarda iç ortam konfor sıcaklığı ile aylık ortalama dış hava sıcaklığı arasındaki korelasyonu, regresyon modeli kullanılarak matematiksel bir denklem haline getirmiştir. Daha sonra Humphreys ve Nicol (2000) aynı veri tabanını kullanarak, hen doğal havalandırmalı (mekanik soğutma sistemi bulunmayan) hem de iklimlendirme sistemine sahip binalar iç ortam operatif sıcaklığı ile konfor sıcaklığı arasındaki ilişkiyi veren bağıntıyı ortaya koymuştur.

Şekil 2. 5'te adaptif konfor modeline göre ASHRAE-55 (a) ve EN 16798-1 (b) standartları için ısıl konfor bölgeleri (*zone*) görülmektedir. Dış ortam sıcaklığının T_d: 25°C olduğu koşullarda örneklem olarak alınan $T_{o:}$ 26,5 °C konfor bölgesinde kalmaktadır. Sonuçlar kullanıcıların kişisel tercihlerine göre doğal havalandırma yapabildiği, mekanik soğutma sistemi ve ısıtma sisteminin devre dışı olduğu, M: 1,0 – 1,3 met, I_{cl}: 0,5 – 1 clo, V_a: 3 m/s şartları için geçerlidir.



Şekil 2. 5. (a) ASHRAE-55 (2017) ve (b) EN 16798-1'e (2019) göre adaptif (uyarlanabilir) modelde konfor aralıkları (*CBE ısıl konfor hesaplama aracında yazar tarafından oluşturulmuştur)*

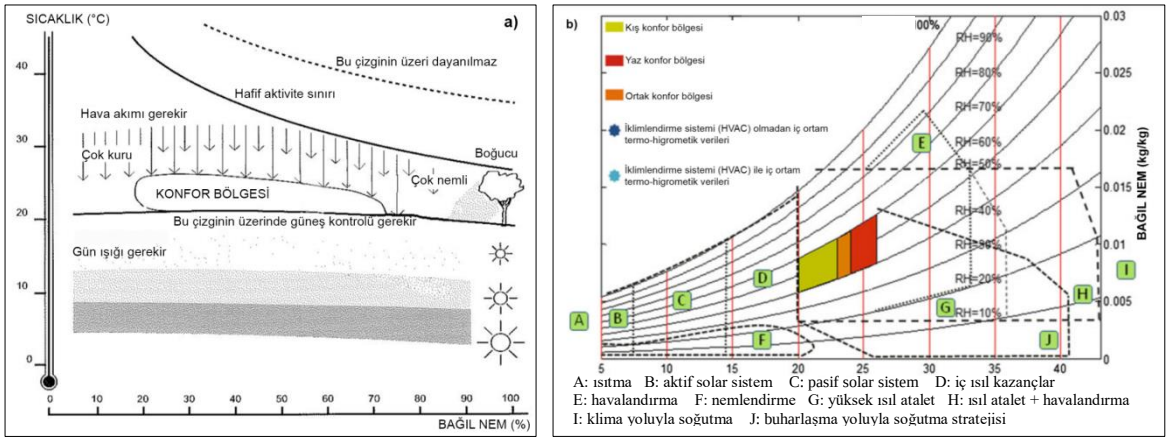
Kullanıcılar kendilerini davranışsal, psikolojik ve fizyolojik olarak dış ortam şartlarına adapte ettiği bu dinamik modelde konfor aralığı Fanger modeli ile elde edilen konfor aralığına göre daha geniştir. Diğer bir deyişler, adaptif modelde PMV-PPD modeli ile belirlenen operatif sıcaklık aralığından daha geniş bir aralıkta kişiler kedilerini konforlu hissedebilmektedir. Bu yönteme göre ASHRAE-55 (2017) 10°C – 33,5°C, EN 16798-1 (2019) 10°C – 30°C dış ortam sıcaklık aralığını kapsamaktadır. ASHRAE-55'te kullanıcıların %80'i ve %90'ının kabul edilebilir bulduğu ve EN 16798-1'de I, II, III olarak sınıflandırılan operatif sıcaklık cinsinden ($\boldsymbol{T_o}$) üst ve alt konfor sınırları, dış ortam sıcaklıklarına ($\boldsymbol{T_d}$) bağlı olarak Çizelge 2. 5'teki kat sayılara göre hesaplanmaktadır (M: 1,0 – 1,3 met, I_{cl}: 0,5 – 1 clo, V_a: 3 m/s). Pencere açılarak iç ortamın hava hızının arttırıldığı (V_a > 3 m/s) durumda kabul edilebilir sıcaklık aralığı yükselmektedir.

Çizelge 2. 5. Adaptif modelde ASHRAE-55 (2017) ve EN 16798-1 (2019) standartları için ısıl çevre kategorileri ve uyarlanabilir konfor sınırları

Kabul edilebilirlik	**Üst konfor sınırı (°C)**	**Alt konfor sınırı (°C)**
ASHRAE-55 **%80**	0,31 $\boldsymbol{T_d}$ **(°C)** + 21,3	0,31 $\boldsymbol{T_d}$ **(°C)** + 14,3
ASHRAE-55 **%90**	0,31 $\boldsymbol{T_d}$ **(°C)** + 20,3	0,31 $\boldsymbol{T_d}$ **(°C)** + 15,3
EN 16798 **Kategori I**	0,33 $\boldsymbol{T_d}$ **(°C)** + 18,8 + 2°C	0,33 $\boldsymbol{T_d}$ **(°C)** + 18,8 - 2°C
EN 16798 **Kategori II**	0,33 $\boldsymbol{T_d}$ **(°C)** + 18,8 + 3°C	0,33 $\boldsymbol{T_d}$ **(°C)** + 18,8 - 3°C
EN 16798 **Kategori III**	0,33 $\boldsymbol{T_d}$ **(°C)** + 18,8 + 4°C	0,33 $\boldsymbol{T_d}$ **(°C)** + 18,8 - 4°C

c) Diğer modeller: Çevre niteliğine ve eylem türlerine bağlı olarak insanların hangi çevre koşullarında konforlu hissedebileceğine ilişkin deneysel çalışmaların sonuçlarından yararlanılarak Olgyay ve Givoni ısıl konfor zonlarını tanımlamıştır. Şekil 2. 6 (a)'daki biyoiklimsel (*bioclimatic*) konfor grafiğinde Olgyay (1992), düşey eksende kuru termometre sıcaklığı ve yatay eksende bağıl nem olacak şekilde 40° enlemi, 0,8 clo giyim düzeyi, 1,3 met aktivite düzeyi için iki iklim değişkenine bağlı olarak konfor bölgesini ifade etmiştir. Isıl çevre verilerinin grafikte tanımlanan konfor sınırlarının dışına çıkması durumunda, ısıl çevreyi oluşturan fiziksel bileşenlerden biri veya birkaçı değiştirilerek konfor durumunun yeniden sağlanması gerekmektedir. Konfor bölgesi %30 ile %65 bağıl nem aralığındadır. Konfor bölgesinin üstündeki çizgiler rüzgarın etkisini, altındaki çizgiler ise düşük sıcaklıklar için güneş ışınımı seviyesinin artması gerektiğini göstermektedir (Auliciems & Szokolay, 2007).

Şekil 2. 6 (b)'deki'de Givoni tarafından geliştirilen bir diğer ısıl konfor modeli görülmektedir. Yaz ve kış için konfor bölgelerini çakıştıran psikometrik diyagramda ısıl duyum ve konforu değerlendirmek için bağıl nem ve sıcaklık verileri kullanılmaktadır (Castilla vd., 2014). Model bir veri noktasını konfor zonuna getirmek için uygulanması önerilen stratejiyi de içermektedir. Örneğin E bölgesini konfor zonuna getirmek için önerilen strateji havalandırmayı çalıştırmaktır.



Şekil 2. 6. (a) Olgyay'ın biyoiklimsel konfor grafiği (Olgyay, 1992; Auliciems & Szokolay, 2007); (b) Givoni'nin psikometrik diyagramı örneği (Castilla vd., 2014)

İç mekandaki ısıl konfor düzeyinin tahmini için ayrıca CIBSE TM52, CIBSE TM59, Passive House gibi İngiltere ve Almanya menşeli ve ulusal düzeyde kullanılan ısıl konfor standartları da bulunmaktadır. CIBSE TM52 standardındaki statik ve uyarlanabilir konfor sınırları ASHRAE ile paralellik göstermekte, ısıl konfor koşullarının sağlanması için aşım saatleri, günlük aşım ve üst sınır sıcaklık kriterlerinin sağlanması beklenmektedir. Pasif Hause standardında ise statik veya adaptif konfor sıcaklık sınırları bulunmamakla birlikte operatif sıcaklık için azami değer 25°C olarak tanımlanmış ve iç ortamda bu eşik değerin yılın %10'unundan fazla gerçekleşmemesi hedeflenmiştir. Isıl konforla ilgili literatür ayrıca kararsız analitik modeli (Gagge denklemi), polinomsal regresyon analizi, yapay sinir ağları (ANNs - *Artificial Neural Networks*) ve veriye dayalı bulanık mantık (*fuzzy logic*) tabanlı dinamik modellerinin kullanıldığı çeşitli çalışmaları içermektedir (Atthajariyakul & Leephakpreeda, 2005).

2.2. Görsel Konfor ve Değerlendirme Yaklaşımları

Yaşamın vazgeçilmez öğesi olan ışık, bir hacmin niteliğinin algılanması ve hacimde gerçekleştirilecek eylemlere bağlı olarak uygun görme koşullarının sağlanması için önşarttır. Gözümüzün görme işlevini devam edebilmesi için gereken koşulların bütünü "görsel konfor" olarak tanımlanmaktadır. CSN EN 12665 (2018) standardı görsel konforu görsel çevrenin sağladığı görsel refahın öznel bir durumu olarak tanımlamıştır. Konfor duyumu psikolojik bir bileşen olmasına rağmen, görsel ortamın fiziksel özellikleri sayesinde konfor nesnel bir şekilde değerlendirilebilmektedir (Frontczak ve Wargocki, 2011). Görsel konforda amaç bir ortamda (örneğin ofis, okul, hastane) gerçekleştirilen eylem için gerekli görme koşullarının sağlanması ve bu koşulların kullanıcıyı yormadan ve verimliliğini etkilemeden uzun süre aynı performansta sürdürmesini sağlamaktır. Bir mekanın görsel açıdan konforlu olması, kullanıcıların fizyolojik ve psikolojik gereksinimlerine karşılık veren bir aydınlatma tasarımı ile gerçekleştirilebilir (Nicklas & Atre, 2009). Bu bağlamda aydınlatma tasarımı yalnızca kullanıcıların görsel performası etkilemez; hatırlama, mantık yürütme, odaklanma gibi zihinsel faaliyetler üzerinde de etkili olmaktadır (Güvenkaya & Küçükdoğu, 2009). Mekan işlevlerine göre, uygun görme

koşullarını sağlayan bir aydınlatma tasarımı; gözün görme yeteneği ve görsel performansı artar, göz sağlığı korunur, kazalar azalır, yapılan işin verimi ve ekonomik verim artar, güvenlik sağlanır, görsel (*visual – photopic*) ve görsel olmayan (*nonvisual – melanopic*) gereksinimlerine yanıt verilebilir (Baker & Steemers, 2002; CIBSE, 2012).

İç mekan aydınlatmasında görsel konfor koşullarının sağlanması açısından temel prensip, kullanıcıların görsel performansını ve iş verimini arttıran, göz sağlığının korunmasını hedefleyen, uluslararası standartlara uygun bütünleşik bir aydınlatma sistemi tasarımıdır. Manav, Kutlu Güvenkaya ve Küçükdoğu'ya göre (2010), "*kullanıcının görsel açıdan konforlu olabilmesi, görsel konfor durumunun sürekliliğinin sağlanabilmesi, göz sağlığının korunması ve kullanıcı performansı ile yapılan işteki verimin arttırılması bakımından, bu etkenlerin belli değerlere ulaşması ve bu değerlerin belli sınırlar içinde tutulması gerekmektedir*".

Bir mekandaki eylemlerin gerçekleştirilmesinde aydınlatmanın niceliğinin yanı sıra niteliği de önemlidir. Yapma aydınlatma ve doğal aydınlatma için başlıca tasarım kritereleri olan aydınlık düzeyi (*illuminance*) ve parıltı (ışıklılık, *luminance*) dağılımı aydınlatmanın niceliğiyle; gün ışığı ya da lamba ışığının yol açtığı konforsuzluk kamaşması (*discomfort glare*), kapalı bir mekandaki ışığın doğrultusu, ışık kaynakları ve yüzeylerin renksel özellikleri aydınlığın niteliğiyle ilgilidir.

Farklı bina tipolojileri ve mekanlara ait görsel konfor değişkenleri için optimal değerler CIE (*Commission Internationale de L'Eclairage* – Uluslararası Aydınlatma Komisyonu), SLL (*Society of Light and Lighting* – Işık ve Aydınlatma Topluluğu), IES (*Illuminating Engineering Society* – Aydınlatma Mühendisliği Topluluğu) ve EN (*European Standarts* – Avrupa Standartları) gibi kuruluşların geçmişten günümüze çalışmalarıyla ortaya konmuştur. Bu kuruluşların yayınladığı uluslararası standartlarca belirlenmiş kriterler ışığında aydınlatmanın niteliği ve niceliğine ilişkin görsel konfor konuları ele alınmaktadır.

Avrupa Standartlar komitesinin ilk kez 2002'de yayınladığı referans kaynaklar olan BS EN 12464-1 (2011) "Işık ve Aydınlatma -Çalışma Yerlerinin Aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı Çalışma Alanları" standardı, 2021 yılında güncellenerek yayınlanmıştır (BS EN 12464-1, 2021). Standartta sağlıklı (görme organı normal çalışan veya düzeltilmiş) bireylerin görsel konfor ve performans ihtiyaçları için aydınlatma gereksinimleri belirtilmiştir. Standart endüstri ve ulaşım alanları, ofisler, kamusal alanlar, eğitim ve sağlık yapıları gibi konut dışı kapalı çalışma alanlarını kapsamakla birlikte, konutlara ilişkin aydınlatma gereksinimlerine doğrudan yer vermemektedir.

Kapalı hacimlerde sağlanması gereken görsel konfor koşulları IESNA "Aydınlatma El kitabı" (2011) (*Lighting Handbook: Reference & Application*), IES "Aydınlatma + Tasarım" (2008) (*Light + Design: A Guide to Designing Quality Lighting for People and Buildings*), CIBSE "Aydınlatma El kitabı" (*SLL Lighting Handbook,* 2018), SLL-LG9 "Ortak konut binaları için aydınlatma" (*Lighting for communal residential buildings,* 2022) gibi kılavuzlarda yer almaktadır. Kullanıcının mekanı algılaması, mekanın kullanımından hoşnutluk duyması ve eylemlerin yerine getirilmesi açısından fizyolojik ve psikolojik görsel konfor kriterleri aşağıda açıklanmıştır.

a) Aydınlık düzeyi ($\bar{E}_m$, lm/m^2 veya lx): Görme eylemenin greçekleştiği mekanlarda konforlu bir görsel ortam oluşturabilmek için öncelikle yeterli bir aydınlık düzeyi sağlanmalıdır. Aydınlık düzeyi, birim alana düşen ışık akısı olarak tanımlanmaktadır. Bu değer, hacmin işlevi ve görsel eylemin zorluk ve hassasiyet derecesi, nesnelerin ışık yansıtma katsayıları, nesne ile çevresi arasındaki parıltı (kontrast) farkı, görsel algılama süresi, kişinin yaşı ve görme yeteneği gibi etkenlere bağlı olarak değişmektedir.

Konut iç mekan aydınlatılma tasarımında kullanıcıların yaşı, görsel iş ve aktivite çeşidi, mekan kullanım saatleri, gün ışığı alımı, mimari/iç mimariyle uyum ve kişisel tercihler gibi birçok etmen bulunmaktadır. IESNA (2011) el kitabında konut iç mekan kullanıcılarının en az yarısının 25'ten küçük, 65'ten büyük ve 25-65 yaş arası yetişkin ve

sağlıklı bireylerden oluştuğu üç farklı durum için yatay (E_h) ve dikey (E_v) çalışma düzlemi üzerindeki tavsiye edilen ortalama aydınlık düzeyi değerleri Çizelge 2. 6'da yer almaktadır.

Çizelge 2. 6. İşleve bağlı aydınlık düzeyleri (IESNA, 2011)

Konut Mekanları	**İşlev**	**E_h (lx)**			**E_v (lx)**		
		< 25	**25-65**	**> 65**	**< 25**	**25-65**	**> 65**
Banyo – WC	Duş – küvet (zemin düzlemi)	25	50	100	10	20	40
	Tuvalet- bide (armatür düzlemi)	50	100	200	15	30	60
Yatak odası	Genel	25	50	100	15	30	60
	Giyinme odası	150	300	600	50	100	200
	Okuma - yatak başucu	100	200	400	50	100	200
Koridorlar	Bağımsız birim (zemin düzlemi)	15	30	60	3	6	12
Yemek odası (masa düzlemi)	*Formal*	25	50	100	10	20	40
	Informal	50	100	200	10	20	40
	Çalışma	100	200	400	25	50	100
Yaşam alanı (zemin düzlemi)	Genel	15	30	60	15	30	60
	Family room	50	100	200	20	40	80
Giriş (*foyer*) (zemin düzlemi)	Gündüz	50	100	200	15	30	60
	Gece	15	30	60	5	10	20
	Merdivenler (basamak düzlemi)	25	50	100	-	-	-
Mutfak (tezgah/masa düzlemi)	Genel (zemin düzlemi)	25	50	100	10	20	40
	Kahvaltı alanı	100	200	400	25	50	100
	Mutfak dolapları	-	-	-	25	50	100
	Yıkama - pişirme	150	300	600	25	50	100
	Hazırlık - tezgah	250	500	1000	37,5	75	150
Eğlence alanı	Analog oyunlar (masa düzlemi)	100	200	400	25	50	100
	Dijital oyunlar (zemin düzlemi)	3	6	12	2	4	8
	Müzik odası (zemin düzlemi)	25	50	100	10	20	40
Çamaşırhane	Yıkama - kurutma - ütü	100	200	400	25	50	100
Medya – TV (zemin düzlemi)	LCD – LED - Plazma	10	20	40	5	10	20
	Projeksiyon	1	2	4	1	2	4
Çalışma alanları (masa düzlemi)	*Household Office* Kısa süreli, az eforlu işler	100	200	400	15	30	60
Depo – kiler (zemin düzlemi)	Sık kullanım	25	50	100	10	20	40
	Seyrek kullanım	15	30	60	5	10	20

Çizelge 2. 7'de BS EN-12464-1 (2021) standardında yer alan genel kullanım alanları, gıda endüstrisi, sağlık ve eğitim yapıları, kamu alanları, kütüphane, ofis, otel ve restoran bölümlerine ait birimlerinin aydınlık düzeyi gereksinimleri konutların yaşama, çalışma, ıslak hacim ve sirkülasyon alanları ile ilişkilendirilmiştir.

Çizelge 2. 7. İşleve bağlı minimum aydınlık düzeyi, maksimum kamaşma değerleri ve renksel geriverim özellikleri (BS EN 12464-1, 2021)

Görsel görev - faaliyet alanı	**İşlev**	$\bar{E}_m$ **(lx)**	U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$ **(lx)**	$\bar{E}_{m,\ duvar}$ **(lx)**	$\bar{E}_{m,\ tavan}$ **(lx)**
Koridor ve sirkülasyon	Bina içi dolaşım bölgeleri (zemin düzlemi)	100[a] - 150[b]	0,40	40	28	50	50	30
Merdiven, asansör ve rampa		100[a] - 150[b]	0,40	40	25	50	50	30
Asansör önü		200[a] - 300[b]	0,40	40	25	75	75	50
Gölgelikli bina girişi		30[a] - 50[b]	-	-	-	-	-	-
Genel kullanım Dinlenme, genel temizlik, bakım, ilk yardım *(Aynadan 0,5 m mesafede, baş hizası)*	Dinlenme	100[a] - 200[b]	0,40	80	22	50	50	30
	Giyinme alanı	200[a] - 300[b]	0,40	80	25	75	75	50
	Banyo/WC	200[a] - 300[b]	0,40	80	25	75	75	50
	Ayna önü (dikey düzlem)	200[a] - 300[b]	0,40	80	-	-	-	-
Gıda maddeleri ve lüks gıda endüstrisi	Yıkama – temizleme	300[a] - 500[b]	0,60	80	25	100	100	50
	Kesme – doğrama	300[a] - 500[b]	0,60	80	25	100	100	50
	Üretim – pişirme	500[a] - 750[b]	0,60	80	22	150	150	75
Perakende satış alanları	Giyinme bölümü	300[a] - 500[b]	0,40	90	-	-	-	-
Otel ve restoran	Mutfak	500[a] - 1000[b]	0,60	80	22	100	100	75
	Self-servis restoran	200[a] - 300[b]	0,40	80	22	75	75	50
Kütüphane	Okuma alanı	500[a] - 750[b]	0,60	80	19	100	100	50
Eğitim tesisleri	Oyun alanı	300[a] - 500[b]	0,40	80	22	100	100	75
	Yalnız bilgisayar kullanımı	300[a] - 500[b]	0,60	80	19	100	100	75
Sağlık tesisleri *(aydınlatma kontrol edilebilir olmalıdır*)*	Koridor (gündüz, zeminde)	100[a] - 200[b]	0,40	80	22	50	50	30
	Koridor (gece, zeminde)	50[a]	0,40	80	22	-	-	-
	Okuma aydınlatması*	300[a] - 750[b]	0,70	80	19	100	100	75

Referans yüzeylerdeki yatay, düşey ya da eğimli hesap düzlemlerinde sağlanması gereken asgari aydınlık düzeyi $\bar{E}^{a}$ ile ifade edilmiştir. Aynı standartta, görsel işteki doğruluk, üretkenlik ve konsantrasyonun kritik, işin ayrıntıları alışılmadık derecede küçük boyutlu, düşük kontrastlı ve uzun sürüyor olması, görev alanı düşük gün ışığına sahip ve kişinin görme kapasitesi normalin altında olması gibi varsayımların normal görsel koşullardan farklı olması durumunda değiştirilmiş (*modified*) aydınlık düzeyi değerleri olan $\bar{E}^{b}$'nin sağlanması tavisye edilmektedir. Ayrıca kapalı hacmin işlevine ve yapılan eylem türüne göre duvar ($\bar{E}_{m,\ duvar}$), tavan ($\bar{E}_{m,\ tavan}$) ve silindirik yüzeylerde ($\bar{E}_{m,z}$) sağlanması gereken en az aydınlık düzeyi değerleri belirtilmiştir (Çizelge 2. 7).

b) Aydınlığın düzgünlüğü (U_o): Aydınlık düzeyine bağlı bir diğer kriter aydınlığın düzgünlüğüdür ve mekanlarda gerçekleşen minimum aydınlık düzeyinin ortalama aydınlık düzeyine oranı (E_{imin}/E_{ort}) olarak tanımlanmaktadır. Farklı bina tipolojileri ve hacimler için tavsiye edilen aydınlığın düzgünlüğü değerleri BS EN 12464-1 (2021) standardında yer almaktadır. Konutlarda uygulanabilecek, hacmin işlevine ve yapılan eylem türüne göre aydınlık düzeyinin en az düzgünlük değerleri ($\boldsymbol{U_o}$) Çizelge 2. 7'de görülmektedir. Çizelge 2. 8'de iç mekanda aydınlığın düzgünlüğünün sağlanabilmesi için belli boyut ve konumdaki hedef alanın yakın çevre alanı (hedef alanın en az 0,5 m genişliğindeki çevresi) ile aydınlık düzeyi ilişkisi verilmiştir. BS EN 12464-1'de (2021) lamba ışığıyla aydınlatılan kapalı alanlarda arka plan, duvar ve tavan için $\boldsymbol{U_o} \geq 0{,}10$ olarak belirtilmiştir.

Çizelge 2. 8. Hedef ve çevre yüzeylerin aydınlık düzeyi ilişkisi (BS EN 12464-1, 2021).

Hedef aydınlık düzeyi $\bar{E}_m$ (lx)	**Yakın çevre alanındaki aydınlık düzeyi (lx)**
≥750	≥500
500	300
300	200
200	150
<150	hedef aydınlık düzeyi

c) Parıltı ve kamaşma (*L*, cd/m^2): Parıltı yüzeyin birim alanından belirli bir doğrultuda yayılan ışık şiddetinin görünen alana bölümüne eşittir. Parıltı kontrastı ise görme eyleminin gerçekleştiği yerde bir parıltı değerinin diğerine oranı şeklinde tanımlanmaktadır (CIE 190, 2010; CIBSE, 2012). Parıltı ve parıltı kontrastı görsel iletişimin sağlanmasında önemli birer unsurdur. Görme eyleminin sağlıklı bir şekilde gerçekleşmesi için parıltı farklılıklarının olması gerekmektedir (Robbins, 1986). Parıltı kontrastı odaklanmayı sağlar, dikkat dağınıklığını önler ve görünürlüğü artırır. Parıltı kontrastlarının değerlendirilmesi, kamaşma indisi (*glare index*) büyüklükleri hesaplanarak ve standartlardaki farklı işlevlere sahip mekanlar için belirlenen sınır değerler ile karşılaştırılarak yapılmaktadır. Aydınlatma tasarımında yüzeylerin parıltı değerleri görsel çevreyi önemli ölçüde etkilemekte, yüzeylerin parıltı farklılıklarına göre algılanan değerler değişmektedir (Egan ve Olgyay, 2002). Görsel konfor açısından çalışma düzlemi ile görme alanı içindeki yüzeylerin parıltıları arasında bir denge kurulmalıdır. Yüksek parıltı kontrastı kamaşmayı arttıracağından ve yüksek parıltı değişimleri göz yorgunluğuna, hatalara ve kazalara yol açacağından çalışma ortamlarında parıltı farklılıkları kontrol altına alınmalıdır (BS EN 12464-1, 2021). Berköz ve Küçükdoğu'ya göre (1983), hedef, birincil ışık kaynaklarının parıltı değerlerinin düşürülmesi, ikincil ışık kaynağı olan çevre yüzeylerin parıltı değerlerinin yükseltilip kamaşma indisi sınır değerlerinin aşılmamasıdır.

Kamaşma istenmeyen ışığın bakış doğrultusunda kalması, görsel çevrede yer alan yüzeylerin parıltısının gözün alışık olmadığı derecede yüksek olması ve lambaların uygun olmayan yerleşimleri gibi durumlarda meydana gelmektedir. (Sirel, 1997; Özkaya, 2004). İç mekanda görsel konforun azalmasına neden olan kamaşma doğal (gün ışığı) veya yapma aydınlatma (lamba ışığı) kaynaklı bir ışık kaynağından (doğrudan kamaşma) veya dolaylı olarak yansıyan bir yüzeyden (yansıyan kamaşma) kaynaklanabilmektedir (ANSI/IES, 2019). Parıltı farklılıklarına bağlı yetersizlik kamaşması ve konforsuzluk kamaşması olmak üzere iki tür kamaşmadan sözetmek mümkündür.

Yetersizlik kamaşması (*disability glare*) konforsuzluğa neden olmaksızın insanın görüş yeteneğinin azalmasına sebep olan fizyolojik kamaşma türüdür (Robbins, 1986). Bu durum,

ışığın retina üzerinde saçılmasından kaynaklanmakta olup gözün kontrast duyarlılığının düşmesi ile açıklanmaktadır. Bu kamaşma türü ışık kaynağının parıltısı ve alanı ile doğru orantılı, göze göre kaynakla görsel hedef arasındaki açıyla ters orantılı olarak değişim göstermektedir (Berköz ve Küçükdoğu, 1983). Bir mekanda konforsuzluk kamaşması kontrol altına alınabiliyor ve gerekli sınır değerlerin altında tutulabiliyorsa oluşan yetersizlik kamaşması ihmal edilebilmektedir (BS EN 12464-1, 2011). Konforsuzluk kamaşması (*discomfort glare*) ise bir mekanda görsel alan içindeki kamaşma kaynağının parıltısının diğer bölümlere oranla çok yüksek olması ile ortaya çıkmaktadır (BS EN 12464-1, 2021). Konforsuzluk kamaşması meydana geldiği durumda kamaşmaya maruz kalanların görüş kabiliyetlerinde ani bir düşüş yaşanmakta ve görsel işlerin yerine getirilmesi engellenmektedir (IES, 2008). Konforsuzluk kamaşmayı ilgili değişkenler, kamaşma kaynağının parlaklığını, kamaşma kaynağının boyutunu ve kamaşma kaynağının görüş hattından sapmasını içermektedir. Kamaşma kaynağının parlaklığı, boyutu ve sayısı arttıkça kamaşma kaynaklı rahatsızlığın büyüklüğü de artar. Arka planın parlaklığı ve görüş hattından sapma arttıkça görsel konforsuzluk azalır (IES, 2008).

İç mekanda aydınlatma aygıtlarından kaynaklanan konforsuzluk kamaşmasının değerlendirmesinde "birleşik kamaşma oranı" UGR (*Unified Glare Rating*) tablo yöntemi kullanılmaktadır (CIE 190, 2010; CIBSE, 2012; BS EN 12464-1, 2021). Bir yüzeyde hesaplanan UGR'nin değerlendirilebilmesi için, belirli sınır değerlere ihtiyaç vardır. Jakubiec ve Reinhart (2010) konforsuzluk kamaşması değer aralıklarını hissedilmeyen kamaşma (UGR<13), hissedilebilir kamaşma (13<UGR<22), rahatsızlık verici kamaşma (22<UGR<28) ve katlanılmaz kamaşma (UGR>28) olarak sınıflandırmıştır. Çizelge 2. 7'de konutta geçen eylemleri içeren benzer mekanlar için verilen R_{UGL} sınır değerleri, gözlemci konumu, bakış doğrultusu, mekan boyutları, yüzeylerin ışık yansıtma çarpanları gibi değişkenlerin belli değerlerine göre Eşitlik 2.2'ye göre hesaplanmaktadır (BS EN 12464-1, 2021).

$$R_{UG} = 8\ \log_{10}\left(\frac{0{,}25}{L_B}\sum\frac{L^2\omega}{p^2}\right) \qquad \textbf{(2.2)}$$

Burada;

L_B: arka plan (fon) parıltısı (cd/m^2),

L: aydınlatma elemanlarının gözlemcinin görüş alanına giren parıltısı (cd/m^2),

ω: aydınlatma elemanlarının pozisyonuna bağlı uzay açı (steradyan),

p: aydınlatma elemanlarının pozisyonuna bağlı Guth konum indisidir.

IES Aydınlatma ve Tasarım kitabında (2008) 12 000 cd/m^2'den büyük parıltıya sahip ışık kaynaklarının kamaşma kaynağı olarak algılanabildiğini, parıltı değerinin 16 000 cd/m^2'yi aştığında çoğunlık tarafından göz kamaştırıcı olarak değerlendirileceğini yer almaktadır. Yapma aydınlatma tasarımında uygun armatür seçimi (parabolik reflektörlü, lamelli, difüzörlü, fresnel lensli vb. optik tasarım özelliklere sahip) ve yerleşiminin yanı sıra dolaylı ışık kullanımı ve loşlaştırma ile parıltı farklılıkları kontrol altına alınabilmekte, düzgünlük ve kamaşma sınır değerleri sağlanabilmektedir. Işık kaynağının doğrudan görülebilir olduğu veya optikler tarafından engellendiği durumda armatürün kaynak parıltısına bağlı minimum perdeleme ve düşey ışık ölçümsel açılarına BS EN 12464-1 (2021) standardında yer verilmiştir.

UGR yöntemi yapma aydınlatma koşullarında kamaşmanın değerlendirilmesi için uygun olmakla birlikte, EN 17037 (2019) standardında doğal aydınlatma kaynaklı kamaşma "günışığı kamaşma olasılığı" DPG (*Daylight Glare Probability*) yöntemi ile hesaplanmaktadır. DGP indisi iç mekanda ölçülen aydınlık ve parıltı değerleri ile kullanıcıların mekandaki aydınlatma koşullarından etkilenme durumu arasındaki ilişkiye dayanmaktadır (EN 17037, 2019).

Doğal aydınlatma kaynaklı kamaşmanın önlenebilmesi mekanan günışığı alım süresi, miktarı ve zamanının kontrol edilebilmesiyle mümkündür. Bu da gün ışığını mekan içerisine almayı sağlayan saydam bileşenlerin tasarımı ve cephe yönlenimine, iç ve/veya dış gölgeleme elemanlarının kullanımına ve uygun cam türü seçimine bağlıdır (Şener Yılmaz, 2019; BS EN-12464-1, 2021). Okuma, yazma ya da bilgisayar kullanımı gibi eylemlerinin gerçekleştirildiği örnek bir mekan için çalışma düzlemi üzerinde hesaplanan DGP kamaşma

kategorileri; hissedilmeyen kamaşma (DGP <35), hissedilebilir kamaşma (35<DGP<40), rahatsızlık verici kamaşma (40<DGP<45) ve katlanılmaz kamaşmadır (DGP>45). EN 17037 (2019) standardına göre, günışığına bağlı kamaşmanın kontrol altına alınması için binanın yıllık kullanım süresinin en fazla %5'inde DGP <45 olmalıdır.

d) Işık kaynaklarının renksel özellikleri: Renk elektromanyetik tayfın 380 nm (nanometre, λ) ile 760 nm aralığındaki yani insan gözünün görebildiği dalga boyuna sahip ışınların beyninde yaptığı çağrışımlardır ve kısaca bir ışık kaynağının görme sistemimizde uyandırdığı etki olarak tanımlanabilir (CIBSE, 2012). Renk, tür, değer, doymuşluk olmak üzere üç bileşenden meydana gelmektedir. Renk çemberlerinde yer alan her bir renk farklı birer türdür (*hue*). Değer (*value*) renklerin parıltısını ya da açıklık - koyuluğunu belirleyen özelliğidir. Doymuşluk (*saturation*) ise renklerin solgunluk veya canlılığını belirleyen özelliğidir. Bir ışık kaynağından çıkan görünür ışığın rengi ve tayfsal özellikleri aydınlatılan yüzey renklerinin doğru algılanması bakımından önemli bir görsel konfor gereksinimidir. Işık kaynaklarının renksel özellikleri, renk sıcaklığı ve renksel geriverim olarak iki başlıkta ele alınmaktadır.

Işık kaynağının renk sıcaklığını tanımlayan "ilişkili renk sıcaklığı" CCT değeri (*Correlated Color Temparature*) ışığın görünen rengiyle ilişkin olup, renk sıcaklığını derecelendirmek için Kelvin (K) ölçü birimi kullanılmaktadır. Işık kaynaklarının renkleri, kırmızımsı sıcak beyaz (<3300 K) doğal ya da nötr beyaz (3300 – 5300 K) ve mavimsi soğuk beyaz (>5300 K) olmak üzere üç grupta incelenmektedir (CIBSE, 2012). Çizelge 2. 9'da çeşitli ışık kaynaklarına ait renk sıcaklıkları görülmektedir (IES, 2008; CIBSE, 2018).

Çizelge 2. 9. Çeşitli ışık kaynaklarının renk sıcaklıkları (IES, 2008; CIBSE, 2018).

Işık kaynağının türü	**CCT Işık renk sıcaklığı (K)**
Günışığı (mavi-beyaz, kuzey gün ışığı)	10 000
Günışığı (öğlen mavimsi beyaz gök ışığı)	6500
Günışığı (öğlen güneş ışığı)	5300
Flüoresan (günışığı)	6000 - 6500
Flüoresan (soğuk beyaz)	4000
Flüoresan (doğal beyaz)	3500

Çizelge 2. 9. Çeşitli ışık kaynaklarının renk sıcaklıkları (IES, 2008; CIBSE, 2018) (devamı)

Işık kaynağının türü	**CCT Işık renk sıcaklığı (K)**
Flüoresan (sıcak beyaz)	2700 - 3000
Tungsten halojen (sıcak beyaz)	2800
Kompakt metal halide	3000 - 4400
LED (Işık yayan diyot)	2700 - 6500
Mum ışığı, batan güneşin ışığı (turuncumsu)	1800

Bilimsel araştırmalar ışık kaynaklarının renk sıcaklıklarının mekan algısında oldukça önemli olduğunu ve görsel keskinlikte farklılık yarattığını göstermektedir. Düşük aydınlık düzeylerinde soğuk ışık kaynakları kullanılan bir mekan soğuk, kasvetli ve basık olarak tanımlanırken, yüksek aydınlık düzeylerinde sıcak ışık kaynaklarının kullanılması ile aynı mekan fazla yapay ve renkli olarak tanımlanmaktadır (Sümengen, 2015). Farklı ırklardan katılımcıların yer aldığı diğer bir araştırmada, katılımcılara farklı renk sıcaklığına sahip ışık kaynakları altında ciltlerinin görünümünü değerlendirmeleri istenmiştir. Katılımcılar ayna önünde 3000 - 4100 K renk sıcaklığına sahip ışık kaynaklarının kullanımını uygun bulmuş ve çoğunluk 3500 K renk sıcaklığını tercih ettiği belirlenmiştir. Sıcak (2850 K) ve soğuk (5000 K) ışık kaynaklarının en az oyu almıştır (Quellman & Boyce, 2002). Özellikle günışığının olmadığı mekanlarda, psikolojik açıdan kullanıcıların memnun hissetmesi için, renksel özellikleri gün ışığını tamamlayıcı nitelikte ışık kaynakları tercih edilebilir (CIE, 2003). Çalışma ortamlarında soğuk beyaz ışık odaklanmayı ve iş verimini artırabilirken, konutlarda 6500 K'den düşük renk sıcaklığına sahip ışık kaynaklarının kullanılması önerilmektedir (CIBSE, 2012).

Aydınlatılan yüzey rengi üzerinde etkili olan ve ışık kaynaklarının renksel geriverimini tanımlayan renksel geriverim indisi "R_a" ölçü birimi ile derecelendirilir (veya CRI - *Color Rendering Index*). Gün ışığında renklerin %100 algılandığı kabul edilir ve gün ışığı için bu değer 100'dür. Lamba ışığı altında objelerin renk kayıpları (renk görme) gün ışığına göre yüzdesel olarak hesaplanır. Yapma ışık kaynağının görünür ışık spektrumunu ve dalga boyu bileşimini gösteren spektral güç dağılımında ışık spektrumunun sürekli olması renksel geriverim açısından önem taşımaktadır.

BS EN 12464-1'e göre (2021) konutlarla ilişkilendirilen mekanlardaki görsel eylemlere bağlı olarak, kullanıcıların renkleri doğru olarak görmesi ve algılaması açısından yaşam alanlarında $R_a \geq 80$ olan ışık kaynaklarının kullanılması tavsiye edilmektedir (bkz. Çizelge 2. 7) Renkleri doğru görmenin zorunluğu olduğu veya hassas renk ayrımı gerektiren butik, kuaför, tekstil atölyesi, müze ve galeri gibi mekanlarda $R_a \geq 90$ olan ışık kaynaklarının kullanılması tavsiye edilmektedir (CIBSE, 2012).

e) Yüzeylerin renksel özellikleri: Renk konusu aydınlatma tasarımı ile doğrudan ilişkili olup, iç mekan tasarımında ve mekanı meydana getiren öğelerde kullanılan yüzey ve ışık renklerinin seçimi görsel konfor koşullarının sağlanmasında göz önünde bulundurulması gereken etmenlerden biridir. Bir yüzeyin renksel görünümü, yüzeyi aydınlatan ışık kaynağının renksel özellikleri, aydınlanan yüzeyin renksel özellikleri ve insan renk görme sistemi olmak üzere üç bileşene bağlı olarak değişim göstermektedir (Yavuz ve Ünver, 2009).

İç mekanda kullanılan yüzey renkleri ve malzemelerin yüzeysel özelliklerine bağlı ışık yansıtma biçimleri, mekan içerisindeki ışığın yayılımını, parıltı farklılıklarını ve enerji tüketimini etkileyebilmektedir. İç mekan ve mekanı oluşturan öğelerin yüzey renkleri ile sıcak/soğuk, aydınlık/karanlık, geniş/dar, çekici/itici, ferah/kasvetli, samimi/resmi, özgür/sınırlı, sade/karmaşık, seyrek/sıkışık gibi etkiler yaratılabilmektedir. Mekan tasarımında ayrıca kullanıcıların yaş, cinsiyet, kültür ve estetik anlayışlarına ve yaşadıkları iklime göre renk tercihleri de söz konusudur (IESNA, 2011).

Düzgün bir parıltı dağılımı ve aydınlatma enerjisi tüketimi için, hacimlerde tavan, duvar, döşeme ve donatı yüzeylerinin rengin değer bileşenini temsil eden ışık yansıtma katsayısıları (ρ) standartlara uygun olarak seçilmelidir. Çizelge 2. 10'da BS EN 12464-1 (2021) standardındaki hacim iç yüzeyleri ve donatılar için önerilen ışık yansıtma katsayısı aralıkları görülmektedir.

Çizelge 2. 10. BS EN 12464-1 (2021) standardında tavsiye edilen ışık yansıtma katsayısı aralıkları

Yapı Elemanı	Yansıtıcılık Oranları
Tavan	0,7-0,9
Duvar	0,5-0,8
Döşeme	0,2-0,6
Donatılar	0,2-0,7

f) Gün ışığı alımı: İnsanoğlunun görsel tepkisine en yakın ışık kaynağı olarak kabul edilen gün ışığının iç mekanda kullanımının sağlık, esenlik ve üretkenlik üzerindeki olumlu etkileri bilinmektedir (Konis, 2013; Yu ve Su, 2015). Günışığı alımı pek çok yapı tipolojisinde olduğu gibi konutlarda da görsel konforunun sağlanması ve çevresel sürdürülebilirlik bakımından önem taşımaktadır. Ön tasarım aşamasından itibaren mimaride gün ışığının doğru ve etkin biçimde kullanımı, aydınlatmaya yönelik elektrik enerjisi tüketimi ve maliyetinin en aza indirgenmesini sağlar. Öte yandan, gün ışığını maksimize ederken kamaşma ve soğutma yüklerinin artması gibi ısıl ve görsel konfor sorunlarının önünde geçmek için bina geometrisi, pencere özellikleri, saydamlık oranı, cephe yönlenimi, dış engeller gibi tasarım girdilerini optimize etmek gerekmektedir (Boyce, Hunter & Howlett, 2003; Boubekri, 2008; Sahin vd., 2014; Rea ve Figueiro, 2018). Son yıllarda Radiance, Daysim vb. simülasyon programları aracılığıyla tasarım değişkenlerinin günışığı alımına etkisi değerlendirilebilmektedir. Statik ve iklime dayalı dinamik olarak nitelendirilen bu yöntemlerden gün ışığı çalışmalarında en sık kullanılanları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Ortalama gün ışığı faktörü (aDF): İç mekanda çalışma düzlemi üzerinde düşen toplam günışığı akısının düzlem alanına oranının, CIE kapalı gökyüzü modeli kullanılarak gök bileşeni, dış yansımış bileşen ve iç yansımış bileşene göre hesaplanmakta ve dış ortam aydınlık düzeyine oranla (%) ifade edilmektedir (Littlefair, 2011). aDF'nin %5 ve üzeri olması, mekanda ek bir yapma aydınlatma gerektirmeyecek yeterli gün ışığı varlığını göstermektedir. Konut yaşam alanlarında bu değerinin asgari %1,5, çalışma alanlarında %2 ile %5 arasında olması önerilmektedir (BS 8206-2, 2008). Ayrıca TS EN 17037 (2019) standardında, günışığının farklı tipolojilerdeki binaların aydınlatma gereksinimlerine

katkısının olması gerektiği vurgulanmış, Ankara dahil olmak üzere (100 lx için % 0,5, 300 lx için %1,6 ve 500 lx için %2,6) çeşitli Avrupa ülkeleri başkentleri için hedeflenen aydınlık düzeyine bağlı sağlanması istenen günışığı faktörü değerleri verilmiştir.

Mekansal günışığı otonomisi (sDA): IES tarafından çalışma alanları için ortaya konan bu dinamik ölçütte, minimum aydınlık düzeyi olarak kabul edilen 300 lüksün mekanın kullanım saatlerinde (08.00 – 18.00, 10 saatlik süreyle), hacim taban alanının %50'sinde gün ışığı tarafından karşılanmasını istenmektedir (IESNA, 2012). sDA değeri, zemin alanının %0 ile %100'ü arasında değişebilir. %55 ile %74 arasındaki bir sDA değeri, gün ışığının kullanıcılar tarafından "nominal olarak kabul edildiği" bir alanı gösterirken, %75 veya daha yüksek sDA değerlerine kullanıcıların daha az yapma aydınlatmaya ihtiyaç duyacağına işaret etmektedir (Mardaljevic, Heschong ve Lee, 2009; Heschong vd., 2012;). Bu anlamda sDA ölçütü, mekanın gün ışığı alımına ilişkin sezgisel bir bakış açısı sunarak tasarımcının aydınlatma enerjisi tasarrufunu tahmin etmesine yardımcı olmaktadır.

Faydalı gün ışığı aydınlığı (UDI): Nabil ve Mardaljevic (2006) tarafından ortaya konan bu yöntemde iç mekanda çalışma düzlemi üzerindeki gün ışığı aydınlığının faydalı olduğu alt ve üst eşik değerler belirlenmiştir. Bu değerler aşağıda görülmektedir:

- Yetersiz günışığı aydınlığı (<100 lx)
- Ek bir yapma aydınlatma ilavesi ile yeterli aydınlık düzeyi (100lx<x<500lx)
- Yeterli günışığı aydınlığı (500lx<x<2000lx)
- Görsel ve/veya ısıl konforsuzluğa neden olabilecek günışığı aydınlığı (2000lx<)

Öte yandan faydalı günışığı aydınlığı değerlendirme aralıklarının bina tipolojisine, kullanıcı profiline ve eylem çeşidine göre farklılık gösterebilmekte, binanın kullanım saatlerinin yanı sıra gün ışığının etkin olduğu zaman dilimi üzerinden de değerlendirme yapılabilmektedir (Reinhart ve Wienold, 2011).

Yıllık Güneş Işığı Alımı (aSE): Bu ölçüt ile mekân kullanım saatleri içerisinde güneş ışığına doğrudan maruz kalınan saatlerin sayısı hesaplanarak, potansiyel olarak görsel

konforsuzluğa, kamaşmaya ve istenmeyen ısıl kazançlara neden olabilecek durumlar tespit edilmektedir. Güneş ışığı kaynaklı 1000 lx aydınlık düzeyinin mekânın kullanım saatleri içerisinde taban alanının %10'nundan fazla ve yılda 250 saatten fazla gerçekleşmesi hedeflenmektedir (IESNA, 2012).

g) Dış görüş ve mahremiyet: Dış görüş, iç mekanın dış mekanla görsel olarak bağlantı kurma isteği olarak tanımlanabilir. Binalarda dış görüş parametresinin optimal bir değerde sağlanması kullanıcıyı fizyolojik ve psikolojik olarak olumlu etkilemektedir (Şener Yılmaz, 2019). TS EN 17037 (2019) standardı kapsamında dış görüşe ilişkin ölçütler yatay görüş açısı, dış görüş mesafesi ve görünür katman özellikleri başlıklarıyla ele alınmıştır. Aynı standartta yapma veya doğal çevrenin yapı kabuğundaki açıklıkların en az en az %75'inden görünürlüğünün sağlanması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca, saydam bileşeni oluşturan malzemelerin dış görüşün algılanmasını kolaylaştırması, kullanım alanındaki referans noktalar için yatay görüş açısı (min ≥ 14°, orta ≥ 28° yüksek ≥ 54°) ve görünür katman uzaklığının (min > 6 m, orta > 20 m, yüksek > 50 m) asgari ölçütleri sağlaması gerekmektedir (TS EN 17037, 2019).

h) Işığın titremesi (*flicker*): Aydınlatma aygıtlarındaki ışık titremelerini ifade eden ve genellikle istenmeyen olumsuz bir durum olan *flicker* ışık parlarklığının hızının anlık ve tekrarlayan değişimlerinden kaynaklanmaktadır. Işık titremelerinin ne kadar belirgin olduğu, titreme hızına ve lambanın parlak/loş döngüsündeki genlik farkına (modülasyona) bağlıdır (ANSI/IES, 2019). Belirli bir şebeke frekansında, lambaların ışık çıktısının dalga biçimi ve döngüsel varyasyonu 0 ile 1 arasında bir değer almaktadır ve bu *flicker* indisi ile değerlendirilmektedir (IESNA, 2011). Bireylerin ışık titremelerine karşı duyarlılığı farklılıklar göstermekle birlikte fotometrik flickera uzun süre maruz kalmanın (özellikle 50 Hz altında) görsel performansı ve sağlığı etkilediği, ışık titremelerinin yorunluk, dikkati dağınıklığı, baş ağrısına yol açtığı ve migreni tetiklediği, göz yanılmasına (stroboskobik etki) neden olabileceği bilinmektedir. Fotometrik flikerin azaltılması için elektronik balastlı flüoresan lambalar, kaliteli sürücüye (*driver*) sahip LED sistemler, uygun soket, kablolama ve topraklamaya sahip armatürler kullanılmalıdır (IES, 2008).

i) Işığın değişkenliği: Günümüzde aydınlatma sisteminin insan sağlığı, hormon sistemi ve sirkadiyen ritmi üzerindeki görsel (*photopic*) ve görsel olmayan (non-visual, melanopic) etkilerinin güncel araştırmalarla ortaya konmasıyla birlikte insan odaklı aydınlatma (*human centric lighting*) kavramı ortaya çıkmıştır (Rea ve Figuera, 2018; Jarboe, Snyder ve Figueiro, 2020). LED teknolojisinin aydınlatma kontrol sistemi ve sensörlerle birlikte kullanılmasıyla birlikte ışık akısı ve renk sıcaklığı ayarlanabilen, kullanıcıların biyolojik ritmiyle uyumlu, fizyolojik ve psikolojik sağlığı ve görsel konfor koşullarını destekleyen biyo-dinamik (akıllı - *smart lighting*) aydınlatma sistemleri geliştirilmiştir. Göze giren ışığın niceliği, niteliği ve maruz kalınan süreyle ilgili literatürde farklı modeller bulunmakla birlikte, çalışma ve yaşama ortamlarında ışığın değişkenliği konusuna güncel aydınlatma standartlarında da yer verilmiş, dikey aydınlığa ilişkin çeşitli eşik değerler yayınlanmıştır (CIE S 026/E, 2018; TS EN 12464-1, 2021; IWBI, 2022).

2.3. Binalarda Enerji Verimliliği ve Değerlendirme Yaklaşımları

Enerji, günlük hayatımızın önemli bir bileşeni olmakla birlikte, üretimi ve tüketimi sırasında meydana gelen dünyadaki toplam sera gazı emisyonunun üçte ikisini oluşmaktadır (IEA, 2023). Bu olumsuz durum küresel iklim değişikliğini, çevre kirliliği, insan sağlığının bozulması ve ekonomik sorunları beraberinde getirmektedir (EPA, 2017; Brown vd., 2017).

Enerji sektöründe öne çıkan diğer bir sorun fosil enerji kaynaklarının kısıtlılığıdır. 2023 yılı verilerine göre dünyadaki toplam birincil enerji arzının %80'i fosil yakıtlar aracılığı ile tedarik edilmektedir (IEA, 2023). Dünya enerji konseyi (*World Energy Council* – WEC) tüketimin mevcut seyrinde devam ettiği varsayıldığında, fosil yakıt rezervlerinin 100 yıldan kısa bir sürede tükeneceğini belirtmiştir (WEC, 2017). Bu açıdan yenilenebilir enerji kaynakları ve mevcut kaynakların verimli kullanımını öngören enerji politikaları pek çok ülkenin sürdürülebilir kalkınma hedefleri arasına girmiştir. 1970'lerdeki petrol krizinden bu yana, dünya çapında enerji tüketen sektörlerin tüketiminin sınırlandırılması, enerji tasarrufu

ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı konusunda are-ge çalışmaları ve bilimsel araştırmalar yürütülmektedir.

Türkiye fosil enerji kaynakları bakımından dışa bağımlı, güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynakları bakımından ise zengin bir ülkedir. Öte yandan, dünya genelinde fosil yakıtlar kaynaklı enerji tüketimi son 40 yılda (1982 – 2022) %98 artarken, gelişmekte olan ülkemizde bu oran (287 TWh'den 1581 TWh'ye çıkarak) %450'dir (EIA, 2023). Türkiye'de kişi başına düşen fosil yakıt tüketimi (18,523 kWh) AB ortalamasının altında (25,755 kWh) olsa da dünya ortalamasının (17,208 kWh) üzerindedir. 2022 yılı verilerine göre, toplam birincil enerji arzının %81'i, elektrik enerjisinin %58'i fosil yakıtlardan (doğal gaz, kömür ve petrol) elde edilmektedir ve yenilenebilir enerji kaynaklarının birincil enerjideki payı %18,85 seviyesindedir. Tükiye'de kişi başına düşen karbon emisyonu (karbon ayak izi) son 40 yılda ortalama %199 artarken (1,76 t'den 5,26 t'ye çıkmış) bu oran AB için %-33,85 ve dünya ortalaması için %11,6'dır (Ritchie & Roser, 2023).

Enerji tüketimi konusunda dünya genelinde önde gelen üç sektör sanayi, bina ve ulaşım sektörleridır. Enerji tüketiminde pay sahibi olan sektörler içinde konutlar büyük oranda enerji korunumu potansiyeli barındırması açısından önemlidir. Kamu, sanayi, ticaret, hizmet ve konut binaları toplam küresel enerji tüketiminin %40'ından, sera gazı emisyonlarının %30'undan sorumlu olduğu bilinmektedir. IEA verilerine göre toplam nihai enerji tüketiminin yaklaşık üçte biri konutlar ve ticari binalarda gerçekleşmektedir (IEA, 2023).

Binalardan kaynaklı enerji tüketimi son yıllarda dünya genelinde çarpıcı bir biçimde artmış ve artmaya devam etmektedir. IEA 2023 yılı raporuna göre, binalardaki enerji tüketiminin 2012'den 2040'a kadar yılda ortalama %1,5 artması beklenmektedir. Cao, Dai ve Liu'nun çalışmalarında (2016), küresel çapta enerji tüketiminin ana nedenlerinin kullanıcıların iç mekanlarda geçirdikleri zamanın artması ve kullanıcıların artan iç çevre kalitesi ve konfor ihtiyaçları olduğunu belirtmektedir. Küresel iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılması için, inşaat sektörüne bağlı enerji tüketimi ve sera gazı emisyonlarının sınırlandırılması

kaçınılmazdır. Bu bağlamda binalar enerji etkin şekilde tasarlanmalı, inşa edilmeli, işletilmeli ve minimum karbon emisyonuna sahip olmalıdır.

BEP yönetmeliğine göre, binalarda enerji verimliliği, kullanıcıların yaşam standardı ve hizmet kalitesinin düşmesine neden olmadan enerji tüketiminin azaltılmasıdır (Baydındırlık ve İskan Bakanlığı, 2010). Enerji tasarrufu ise kullanıcılar tarafından alınan önlemler sonucunda enerji tüketimindeki azaltımdır ve enerji verimliliği ile karıştırılmamalıdır. Binalarda enerji verimliliği, ÇŞİDB Binalarda Enerji Verimliliği AB ve Türk Mevzuatı el kitabında şu şekilde tanımlanmıştır (ÇŞİDB, 2016):

"*Binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan, birim hizmet veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılmasıdır. Her bireyin, ısıtma, aydınlatma ve ulaşım ihtiyaçlarını karşılarken, elektrikli ev eşyalarını kullanırken, kısacası günlük yaşantının her safhasında, ihtiyaçlarından kısıtlama yapmadan aile bütçesine, ülke ekonomisine ve çevresinin korunmasına katkı sağlaması mümkündür*".

Avrupa Birliği'nin (AB) enerji mevzuatının tarihsel süreçteki gelişimi incelendiğinde, enerji politikalarının topluluğun rekabet edebilirliğine katkı sağlamak, enerji arz güvenliğini temin etmek, sürdürülebilir kalkınma temelinde çevrenin korunmasına katkıda bulunmak ve iklim değişikliği ile mücadele için sürdürülebilir politikalar geliştirmeyi hedeflediği görülmektedir (AB Başkanlığı, 2023). Bu bağlamda enerji politikasının başlangıcı olarak 2007 yılında AB Konseyi tarafından AB Enerji Eylem Planı kabul edilmiş ve ardından 2009 yılında AB 20/20/20 Enerji ve İklim Paketi ile bütünleşik enerji ve iklim hedefleri belirlemiştir. Bu hedefler 2020 yılına kadar AB sera gazı emisyonunun 1990 seviyelerine göre en az %20 azaltılmasını, enerji verimliliğinin en az %20 arttırılarak birincil enerji tüketiminin %20 azaltılmasını ve AB enerji arzında yenilenebilir enerji kaynaklarının payının en az %20'ye çıkarılmasını içermektedir (AB, 2015).

Enerji verimli bir AB oluşturma yolunda, son on içerisinde enerji mevzuatının zeminini hazırlayan "Enerji Yol Haritası-2050 (EC, 2011)'', "Enerji Birliği Çerçeve Stratejisi (EC, 2015)'' ve "Tüm Avrupalılar İçin Temiz Enerji Paketi (EC, 2019a)'' strateji belgeleri yayınlanmış ve onaylanmıştır. Temiz Enerji Paketi'nde AB'nin PA bağlamında taahhüt ettiği sera gazı emisyonunda 2030 yılına kadar 1990 seviyesine kıyasla en az %40 oranında azaltım sağlama hedefini destekleyen yenilenebilir enerjilerin enerji tüketimi içindeki payının %32'ye çıkarılması ve enerji verimliliğinin minimum %32,5 artırılmasına yönelik bağlayıcı hedefler yer almaktadır. Ayrıca, AB komisyonu üye ülkeleri "Ulusal Enerji ve İklim Planlarını'' hazırlamaya davet etmektedir (AB Başkanlığı, 2023). Enerji Yol Haritası-2050'de, binalarda ve ulaşımda yüksek enerji verimliliği ve akıllı enerji teknolojilerinin kullanımı, yenilenebilir enerji sistemlerinin desteklenmesi, merkezi olmayan sistemlerde yenilenebilir ısıtma ve soğutmanın teşvik edilmesi, kömür, doğalgaz gibi fosil yakıt kaynaklarının daha temiz hale getirilmesi yolu ile 2050 yılına kadar AB sera gazı emisyonunun 1990 seviyelerinin %80-95'ine kadar azaltılması taahhüt edilmiştir (EC, 2011). 2018 yılında yayınlanan "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımının Artırılmasına İlişkin Yönetmelik'te'' (AB, 2018b) enerji arz güvenliği ve iklim değişikliği ile mücadelede yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi temel öncelikler arasına alınmış ve bu teknolojilere yönelik endüstrinin gelişmesi ve yeni istihdam alanları açılması değerlendirilmiştir. Bu direktif ile 2030 yılında yenilenebilir enerjinin AB'deki payının %32'ye çıkarılması hedeflenmiştir.

AB, 2019 yılında Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM – *EU Green Deal*) ile birlikte enerji sistemlerinin karbondan arındırılmasını, uzun vadede kömür (2040 yılı sonun kadar) ve petrol (2050 yılı sonun kadar) kullanımının sonlanmasını ve Avrupa kıtasını iklim-nötr hale getirmeyi amaçlayan önemli bir dönüşüm sürecine girmiştir (EC, 2019b). 2030 ve 2050 iklim hedeflerine ulaşılması açısından kritik AYM'nin ardından 2021 yılında Avrupa'nın iklim-nötr kıta haline gelme hedefinlerini ve AB'nin 2030 yılına kadarki net sera gazı emisyonlarını en az %55 oranında azaltmaya ilişkin orta vadeli hedeflerini açıklayan Avrupa İklim Yasası yayınlanmıştır (AB, 2021). Bu yasa ile Avrupa'nın 2030 yılına kadar 1990 seviyesine kıyasla minimum %55'lik azaltım sağlanması ve 2050'de iklim nötr olma

hedefi kanun nezdinde ortaya konmuştur. AYM kapsamında öngörülen ve İklim Yasası ile bağlayıcı hale getirilen sera gazı emisyonu için 2021 yılında "Fit-for-55" paketi yayınlanmıştır. Bu paket kapsamında enerji, binalar ve diğer sektörlere ilişkin mevzuat değişikleri ve öneriler (mevcut 2030 hedeflerinin enerji verimliliği için %36-39, yenilenebilir enerji kaynakları için %40 olması) yer almaktadır (EC, 2021). 2020 yılı itibariyle AB ülkelerinde tüketilen enerjinin %22,1'i yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmiştir (EU Infographics, 2023). Şubat 2022'de başlayan Ukrayna-Rusya Savaşı'nın tetiklediği enerji krizi nedeni ile karbonsuzlaşma hedefleri bazı AB ülkelerinde kömür kullanımı nedeniyle sekteye uğramış olsa da, Rusya'ya olan fosil yakıt bağımlılığını azaltmak için 2030 yılına kadar %32'ye çıkarılması hedeflenen yenilenebilir enerji payı %45'e güncellenmiştir (EC, 2022).

Enerji verimliliği başlığı altında yer alan güncel AB mevzuatı Enerji Verimliliği Direktifi (EED - 2018/2002/AB) (AB, 2018c), Binalarda Enerji Performansı Direktifi (EPBD-2018/844/AB) (AB, 2018a), Enerji Etiketlemesi Tüzüğü (2017/1369/AB) (AB, 2017) ve Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklerine İlişkin Direktif'ten (2009/125/EC) (AB, 2009) meydana gelmektedir. İlgili mevzuat enerji tüketen ürünlerin eko-tasarım gereksinimleri, binaların enerji performansı, yaz saati uygulamaları ve enerji etiketlemesi konularını kapsamaktadır.

AB'nin enerji verimliliği, yenilenebilir enerji ve karbon nötr hedeflerine ulaşması için bina sektörü vazgeçilmezdir. AB enerji mevzuatı bina sektörü özelinde incelendiğinde, Kyoto Protokolü'nün ardından ilk olarak 2002 yılında binaların enerji performansını arttırmak ve çevresel etkilerini değerlendirmek amacıyla Binaların Enerji Performansı Direktifi'nin (EPBD - 2002/91/AB) yürürlüğe girdiği görülmektedir (AB, 2002). AB üyesi ülkelerin binalarda enerji politikalarına ilişkin inşaat yönetmeliklerini, minimum performans gereksinimlerini ve enerji performans belgelerini düzenleyen bu yönetmelik 2010 yılında revize edilmiştir (EPBD -2010/31/AB). Revize direktif ile AB Üye Devletleri'nin ulusal imar yönetmelikleri tarafından minimum enerji performansı gereksinimleri için hedefleri belirlenmiş ve yerel iklim koşullarına göre maliyet optimal enerji verimliliği seviyelerinin

hesaplanması için metodolojik bir çerçeve geliştirmiştir. Yönetmelikte asgari enerji tasarrufu için karşılaştırmalı bir sistem ortaya koymanın, binaları oluşturan elemanlar için minimum standartları oluşturmanın, minimum enerji performans şartlarını en uygun maliyet seviyelerini sağlayacak şekilde belirlemelerinin ve belirlenen şartların beş yıldan uzun olmayan aralıklarla gözden geçirmenin üye ülkelerin sorumluluğunda olduğu ifade edilmiştir. Kiralama, alım-satım ve yeni yapımda 500 m^2'nin üzerinde olan binaların enerji performans sertifikası alması ve bu sertifikanın açık olarak sergilenmesi zorunluluğu getirilmiştir. Ayrıca, revize direktifin birinci ve dokuzuncu maddelerinde "neredeyse sıfır enerjili bina (NSEB)" kavramına yer verilmektedir (AB, 2010).

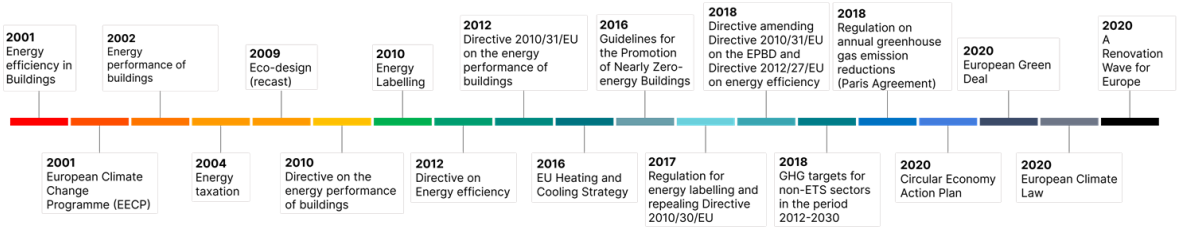
NSEB (*nearly net zero energy building - nnZEB*), düşük miktarda enerji tüketen, bu enerjiyi yenilenebilir kaynaklardan sağlayan yüksek enerji performansına sahip bina olarak tanımlanmıştır (EPBD - 2010/31/AB). Bu tür binalarda enerji ihtiyacının bir bölümü binada üretilen yenilenebilir enerjiden sağlanırken, bir miktar fosil yakıt tüketilir. 2019 itibariyle AB üyesi ülkelerde inşa edilecek tüm kamu binalarının ve 2021 yılı itibariyle tüm yeni binaların yüksek enerji performansı ve belli oranda yenilenebilir enerji entegrasyonuna sahip binalar olması hedeflenmiştir. Net sıfır enerjili binalar (*net zero energy building – nZEB*) ise yüksek performanslı, düşük birincil enerji kullanan ve üretilen yenilenebilir enerjinin bir kısmını satarak, yıllık enerji bilançosunu sıfır yapabilen binalardır. Diğer bir deyişle, binanın yıllık birincil enerji tüketiminin 0,0 kwh/m^2.y olmasıdır.

AB'nin 2020 stratejisi ile uyumlu olarak 2012 yılında Enerji Verimliliği Direktifi (EED - 2018/2002/AB) yayınlamıştır. EED, merkezi hükümet binalarının daha enerji verimli inşa edilmesi, bina stokunun yenilenmesi için AB üye devletlerinin ulusal planlar hazırlaması, EPBD'deki asgari enerji performans kriterlerine uymayan ve 500 m^2 üzerinde kullanım alanına sahip mevcut kamu binalarının her yıl en az %3'ünün yenilemeye tabi tutulması, elektrik, doğal gaz, merkezi ısıtma ve soğutma için bireysel akıllı sayaçların kullanılması gibi binalarda enerji verimliliği sağlayacak hükümleri içermektedir.

Sera gazı emisyonlarını azaltmak ve binalarda yenilenebilir enerji kullanımını teşvik etmek amacıyla 2018 yılında EPBD'de (2018/844/AB) de önemli revizyonlar yapılmıştır (AB, 2018a). Bina performans hedefleri, 2020 yılına kadar 1990 yılına göre sera gazı emisyonunda %20 azaltım sağlamak, enerji verimliliğini %20 arttırmak ve yeni binalarda yaklaşık sıfır enerji (NSEB) seviyesine ulaşmaktan, 2050 yılına kadar 1990 yılına göre sera gazı emisyonunu %55 azaltmak, 2028 yılından itibaren tüm kamu binalarının, 2030 yılından itibaren tüm yeni binaların ve 2050 yılından itibaren tüm mevcut binaların sıfır emisyonlu (iklim-nötr) binalara dönüştürülmesi yönünde güncellenmiştir (EC, 2022).

Yeşil Mutabakat uygulaması ile ilişkili olarak Avrupa Komisyonu binaları yeşillendirme, istihdam yaratma ve yaşam koşullarını yükseltme amaçları doğrultusunda 2020 yılında "AB Yenileme Dalgası Stratejisi Belgesi''ni (*Renovation Wave*) yayımlamıştır (EC, 2020). Bu belgedeki "İklim-nötrlük ve binaların yenilenmesi sürecine ivme kazandırılması" başlığı altında AB'deki mevut bina stokunun %85'inin 20 yaşından büyük olduğu ve 220 milyondan fazla mevcut binanın 2050 yılına kadar %85-95 oranındaki kısmının varlığını koruyacağından bahsedilmektedir. Tebliğde fosil yakıt kullanan ve AB'nin toplam enerji tüketiminin %40'ından sorumlu olan konut ve konut dışı binaların 2030 yılına kadar yıllık enerji yenileme oranını en az iki katına çıkarılması (AB üye devletlerdeki bina stokunun yıllık yenilenme oranı %0,4 – 1,2), kamu ve özel kredi finansmanları aracılığıyla derin enerji yenilemelerine ivme kazandırılması ve 35 milyon birimin yenilenmesi hedeflenmektedir. Ayrıca derin yenileme ile binalarda %60 ve üzerinde enerji tasarrufu sağlanması ve enerji verimliliği açısından A – G olarak sınıflandırılan mevcut binaların 2030 yılına kadar asgari E sınıfı EKB'ye sahip olması hedeflenmiştir. AB Yenileme Dalgası Stratejisinde binaların yenilenmesindeki temel ilkeler enerji verimliliği, karbondan arındırma ve yenilenebilir enerji kaynaklarının bütünleştirilmesi, yapı yaşam döngüsü, yüksek sağlık ve çevre standartları, yeşil ve dijital dönüşüm, estetiğe ve mimari niteliğe saygı; özel odak alanları ise enerji yoksulluğuyla mücadele, en kötü performans gösteren binalar, kamu binaları, akıllı - verimli sistemlerle ısıtma ve soğutmanın karbondan arındırılması olarak belirlenmiştir (EC, 2020).

2021 yılında AB politikalarının Avrupa Parlamentosu tarafından kabul edilen iklim hedefleri ile uyumlu olmasını sağlamayı ve mevzuatın gözden geçirilerek yeni girişimlerin hayata geçirilmesini amaçlayan "55'e Uyum Paketi" (*Fit-for-55)* yayınlanmıştır (EC, 2021). 2030 yılına kadar net sera gazı emisyonlarını en az % 55 azaltma hedefini ifade eden 55'e Uyum Paketi çerçevesinde AB, adil, insan odaklı, kaynakları verimli kullanan, sağlıklı, karbondan arındırılmış, dayanıklı ve sürdürülebilir bir ekonomiye ulaşmayı hedeflemektedir. AB Konseyi 55'e Uyum Paketiyle binaların enerji performansı için daha katı kurallar üzerinde anlaşmış, mevcut binalarda derin yenileme yapılarak 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarının %60 azaltılması ve 2050 yılına kadar karbon nötr binalara geçişteki yol haritası ortaya konmuştur. Pakette dijital teknolojilerle binaların yaşam döngüsü boyunca verimliliğinin arttırılması, yenilenebilir enerjinin şebekeye entegrasyonunun kolaylaştırılması, binalarda atık ısı kullanımının teşvik edilmesi ve ısı pompası kullanımının arttırılması gibi inşaat sektörüyle ilgili stratejiler yer almaktadır (EC, 2021). Bina sektöründe AB politikaları Şekil 2. 7'de bir arada görülmektedir.



Şekil 2. 7. Bina sektöründe AB politikaları ve 2050 hedefleri (*Hazırlayan: Egemen Kaymaz*)

Ulusal enerji verimliliği politika ve eylemleri, ülkemizin iklim hedeflerine ulaşması ve inşaat sektöründe enerji tasarrufu sağlanması açısından önemlidir. Türkiye 2004 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne (UNFCCC) taraf olmuş ve 2009 yılında Kyoto Protokolü'nü imzalamıştır. 2010 yılında İklim Değişikliği Kordinasyon Kurulu tarafından kısa, orta ve uzun vadeli stratejileri ortaya koyan 2011 – 2023 yıllarını kapsayan Ulusal İklim Değişikliği Stratejisi (UİDS) geliştirilmiş (ÇŞB, 2010), bina sektöründe enerji kimlik belgesi (EKB) uygulanması ve kamu binalarında enerji verimliliğinin arttırılması gibi kısa vadeli hedefler gündeme gelmiştir. UİDS'leri uygulamak üzere geliştirilen ve 2012 yılında UNFCCC'ye sunulan Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı (UİDEP) inşaat sektöründe sera gazı etkisini azaltmaya yönelik enerji

verimliliği ve binalarda yenilenebilir enerji entegrasyonunu içeren eylem planlarını kapsamaktadır (ÇŞB, 2012). Sivil toplum kuruluşlarıyla özel sektör arasında işbirliğini arttırmaya yönelik bir yol haritası olarak değerlendirilen Ulusal Enerji Verimliliği Strateji Belgesi'nde binalar için önerilen stratejik amaç aşağıda kısaca özetlenmiştir (ÇŞİDB, 2021):

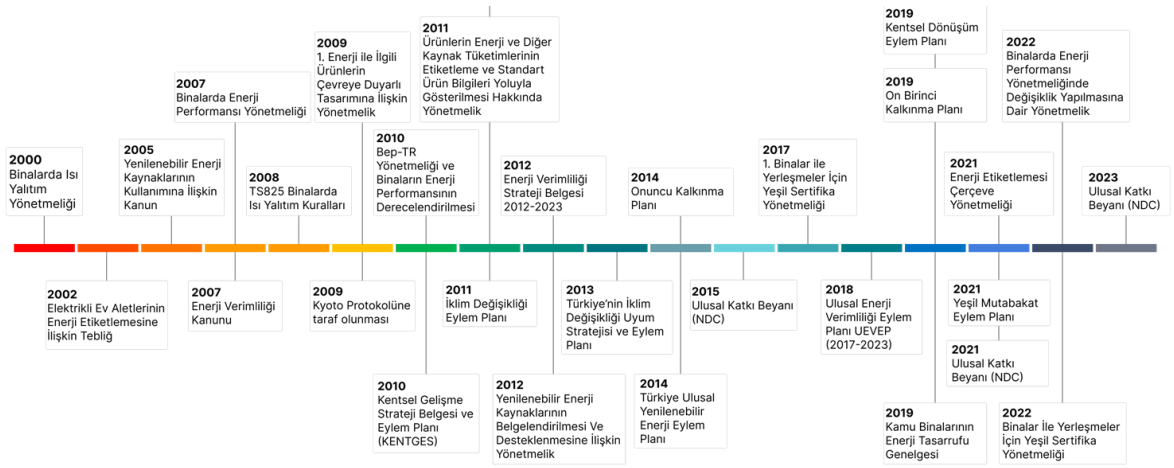
- Binaların enerji talebi ve karbon emisyonlarını azaltmak, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak sürdürülebilir çevre dostu binaları teşvik etmek,
- 2023 yılına kadar bina stokunun en az dörtte birini sürdürülebilir bina haline getirmek,
- Konutlarla birlikte 10 000 m^2'nin üzerinde toplam kullanım alanına sahip tüm ticari ve hizmet binalarında yalıtım ve verimli ısıtma sistemlerini tesis etmek,
- Enerji verimli ürünlerin (lamba, soğutucu ve elektrikli motorların) pazar dönüşümünü AB uygulamalarına uygun olarak yapmak,
- Kamu sektöründe enerji verimliliği sağlamak; kamu binalarında enerji tüketimini 2023 yılına kadar %20 oranında azaltmak,
- Enerji verimli danışmanlık şirketleri ve sertifikalı enerji yöneticilerinin sayısını yükseltmektir.

Onuncu kalkınma planı (2014-2018) enerji verimliliğine yönelik tedbirlere, akıllı şehir yaklaşımına ve akıllı binalara atıfta bulunmaktadır (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2013). Eylem 24'te ile "Enerji verimliliği yüksek ve iklime duyarlı kentsel ulaşım stratejileri hazırlanacak ve uygulanacaktır" denmektedir. 2018 yılında yürürlüğe giren Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'nda (UEVEP) 2023 yılına kadar birincil enerji tüketiminin %14 azaltımı hedeflenmiştir (ETKB, 2018). UEVEP'te yer alan binalara ilişkin tedbirler aşağıda sıralanmıştır (ETKB, 2018; ÇŞİDB, 2021):

- İnşaat sektöründe kullanılan malzeme ve teknolojiye ilişkin en iyi uygulamaların tespiti,
- Binalarda enerji kullanım bilgilerini içeren bir veritabanı oluşturulması,
- Kamu binaları için enerji tasarrufu hedeflerinin tanımlanması ve mevcuttaki enerji verimliliğinin arttırılması,

- Mevcut binaların iyileştirilmesi ve enerji verimliliğinin geliştirilmesi,
- Merkezi ve bölgesel ısıtma/soğutma teknolojilerinin kullanımının özendirilmesi,
- Mevcut binaların enerji kimlik belgesi sahiplik oranının artırılması,
- Sürdürülebilir yeşil binalar ile yerleşmelerin belgelendirilmesinin özendirilmesi,
- Yeni binalarda enerji verimliliğinin teşvik edilmesi,
- Binalarda yenilenebilir enerji ve kojenerasyon sistemlerinin kullanımının yaygınlaştırılması,
- Kobi niteliğindeki binalara yönelik enerji verimliliği etüt programları ve etütler için kaynak tahsisi.

Türkiye'nin iklim değişikliği etkilerinin azaltılmasında son 20 yıla ait politika, strateji ve eylem planları Şekil 2. 8'de özetlenmiştir.



Şekil 2. 8. Türkiye'nin iklim değişikliği etkilerinin azaltılmasındaki politika, strateji ve eylem planlarının yıllara göre gelişimi (*Hazırlayan: Egemen Kaymaz*)

Ülkemizin iklim politikaları uluslararası anlaşmalar doğrultusunda belirlenmiş ve inşaat sektöründe enerji verimliliğiyle ilgili yasal çerçeve özellikle Avrupa Birliği (AB) yasal alt yapısına uyumlaştırılmıştır. Bu kapsamda ilk olarak 2007 yılında enerji verimliliği tedbirlerinin uygulanmasını düzenleyen Enerji Verimliliği Kanunu (EVK) yürürlüğe girmiştir. EVK'da binalar ile ilgili aşağıdaki yasal bağlayıcı önlemler yer verilmiştir (ETKB, 2007):

- 2 000 m^2'nin üzerinde alana sahip yeni binalarda merkezi ısıtma tesis edilmelidir.

- Toplam inşaat alanı 10 000 m^2'nin üzerinde ve yıllık enerji tüketimi 250 TEP'in üzerinde olan kamu binalarında her 10 yılda bir ve toplam inşaat alanı 20 000 m^2'nin üzerinde olan hizmet binalarında her 4 yılda bir enerji etütleri zorunludur.
- Kamu binalarının enerji tüketimi, 2010 yılındaki seviyelere mukayaese ile 2023 yılına kadar az %20 oranında azaltılmalıdır.

2000 yılında yürürlüğe giren TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Gereksinimleri Hakkında Standart 2008'de revize edilerek binalardaki duvar, çatı, döşeme ve pencerelerin ısı iletimi katsayıları ve derece günlük bölgeler başına maksimum enerji tüketimi seviyeleri güncellenmiştir (TSE, 2008). AB enerji politikalarına uyumlı olarak EVK çerçevesinde Binalarda Enerji Performansı (BEP) Yönetmeliği (2008), Enerji İle İlgili Ürünlerin Çevreye Duyarlı Tasarımına İlişkin Yönetmelik (2010), Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik (2011) gibi çeşitli yasal düzenlemeler yapılmıştır.

BEP yönetmeliği binalarda enerjinin ve enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılmasına, enerji israfının önlenmesine ve çevrenin korunmasına ilişkin usul ve esasları düzenlemektir. BEP yönetmeliği ile Enerji Kimlik Belgesi (EKB) uygulamaya konmuş; ilgili metadolojiye göre binalarda enerji tüketimi ve sera gazı emisyonu modellenerek sınıflandırılmıştır (BEP, 2010). Yönetmelik mimari proje, ısıtma, soğutma, havalandırma ve sıhhi sıcak su, bina otomasyonu, elektrik tesisatı ve aydınlatma sistemleri ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımına (hava, toprak veya su kaynaklı ısı pompası, kojenerasyon sistemleri) ilişkin tasarım, uygulama, işletim ve bakım ilkelerini içermektedir. Yönetmelik kapsamda, 2011 yılından itibaren 50 m^2 üzerindeki yeni inşa edilecek binaların asgari C sınıfı EKB'ye sahip olması ve 2020 yılından itibaren mevcut binaların satış ve kiralama işlemlerinde (A-G sınıfı) EKB ile enerji performansının belgelendirilmesi zorunluluğu getirilmiştir.

AB normları ve EPBD revize direktiflerine paralel olarak, ÇŞİDB BEP yönetmeliğinin ilgili bendini 2022 yılında revize etmiş, yeni binalarda, mevcut binaların önemli tadilat

projelerinde ve mekanik ve elektrik tesisat değişikliklerinde 2025 yılı itibariyle yeni binaların birincil enerji ihtiyacının en az %10'unun yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması zorunluluğu getirilmiştir. Yönetmeliğe dahil edilen NSEB tanımı ve uygulaması ile toplam yapı inşaat alanı 2000 m^2 ve üzerinde olan yeni binaların NSEB niteliğinde inşa edilmesi ve yapı ruhsatı başvurularında asgari B sınıfı EKB'ye sahip olması gerekmektedir (BEP, 2022).

Bu yüzyılın ortasına kadar net sıfır emisyon hedefine ulaşmak için Türkiye'nin de içinde bulunduğu Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) ülkelerinde binalarda enerji verimliliği yoluyla enerji tüketiminde önemli ölçüde azaltımlar yapılması ve kişi başına düşen enerji kullanımı küresel ortalamasının 2025 yılına kadar en az %10'a düşürülmesi gerekliliği açıktır (IEA, 2023). 2050 yılına kadar küresel sıcaklığın 2°C yükselmesini engellemek için bina sektörü toplam karbon ayak izini %60'tan fazla azaltmak zorundadır (Saffari vd., 2016). Uluslararası sahnede öncü olan ve rol model görevi üstlenen AB, 2030 yılına kadar %55 emisyon azaltımı ve 2050 yılında karbondan tamamen arındırılmış kıta olma hedeflerine ulaşmak için kritik adımlar atmaya devam etmektedir. 55'e Uyum Paketi kapsamında yasal düzenlemeler kademeli olarak devreye girmiş ve EPBD'nin (2018/844/AB) revizyonu gündeme gelmiştir (EC, 2021). EPBD direktifinde yapılacak revizyon ile fosil yakıtlar için verilen teşviklerin sonlanması, mevcut binaların asgari enerji performans standartlarının belirlenmesi ve derin yenileme hızının (*deep renovation*) artması, tüm binalarda otomasyon sistemlerinin ve yenilenebilir enerji kullanımınının yaygınlaşması ve yeni binalar için sıfır-emisyon uygulamanın yürürlüğe girmesi beklenmektedir (EC, 2022) Türkiye'nin Paris İklim Anlaşması ile verilen emisyon azaltım taahhütü ve 2053 net sıfır emisyon hedefi, Avrupa İklim Yasası ve Yeşil Mutabakat çerçevesinde ulusal politikalarda radikal düzenlemeler yapılacağına ve iklim değişikliğine neden olan sera gazı seviyelerindeki artışın başlıca sorumlularından biri olan inşaat sektöründe daha sıkı yasal önlemlerin hayata geçirileceğine işaret etmektedir. Ülkemizin en büyük ticari ortağı olan AB'ye benzer hazırlıklar yapılması, uzun vadeli hedef ve stratejiler geliştirilmesi, başta konutlar olmak üzere tüm binalarda enerji verimliliği ile ilgili mevzuatın yeniden ele alınması ve somut politikalarla desteklenmesi gerekmektedir.

Enerji verimli binalar içinde barındırdığı işlevlere ve kullanıcı ihtiyaçlarına göre, iç mekân konfor koşullarını en az enerji harcayarak karşılayabilen binalardır. Binaların enerji performansı ise enerji kullanımının azaltılması için olanaklar ve önlemlere ilişkilidir. Bu bağlamda, binalarda enerji tüketimini etkliyen dış çevreye ait (doğal) bileşenler ve yapma çevre (fiziksel) bileşenleri aşağıda kısaca açıklanmıştır.

a) İklim bölgesi: İklim sıcaklık, nem, yağış miktarı, rüzgar hızı ve yönü, güneşlenme süresi, güneş ışınımı verileri ve atmosferik kirlilik gibi kullanıcı konforunu etkileyen öğelerin ulaştığı değerlerin bir bileşkesidir. Binanın yer aldığı iklim bölgesi, yapma çevreyi oluşturan tasarım parametreleri üzerinde doğrudan etkilidir. Binayı çevreleyen iklim; makro ve mikro iklim (mikroklima) şeklinde tanımlanabilir. Makro iklim, belirli bir alan veya bölgenin karakteristiğini tanımlayan iklimsel verilerden oluşurken, mikro iklim binanın yakın çevresindeki iklimi ifade etmektedir. Arazinin topoğrafik verileri **(**arazi durumu, eğim, nehir, vadi, tepeler vb.) ve jeolojik özellikleri (tektonik durum, fay hattı varlığı, zemin taşıma kapasitesi, yer altı maden ve su kaynakları vb.) iklim öğelerinin etki ve süreleri değişmesine ve mikroiklim oluşmasına neden olabilir. Ayrıca, binanın farklı yöne bakan cephelerinde de mikroiklimler meydana gelebilir. Örneğin hakim rüzgar doğrultusundaki cepheler, güneye veya kuzeye bakan cepheler farklı mikro iklime sahiptir (Goulding, Lewis ve Steemers, 1993; Bayraktar & Yılmaz, 2007).

Zeren (1962), Türkiye'deki iklim bölgelerini sıcak kuru, sıcak nemli, ılıman nemli, ılıman kuru ve soğuk olmak üzere beş kategoride sınıflandırmıştır. Köppen-Geiger ana iklim tipleri haritasına göre Türkiye'de kurak iklim (B); ılıman nemli orta enlem iklimi (C) ve soğuk nemli orta enlem (karasal) iklim tipi (D) egemendir. Ayrıca, Köppen Geiger sınıflandırmasında yağış rejimi ve sıcaklık periyoduna bağlı olarak Türkiye 10 alt iklim tipine bölünmüştür (Öztürk, Çetinkaya & Aydın, 2017). TS 825 standardında ise ısıtma uygulamaları için Türkiye 4 derece-gün bölgesine (DGB) ayrılmıştır (TSE, 2008).

b) Binanın konumu, cephe yönlenimi ve mekan organizasyonu: Binanın yerküre üzerindeki yeri ve cephe yönelimi, mekanlara ulaşan güneş ışınımı miktarını (doğrudan ve yaygın ışınımı) ve yıllık toplam güneşlenme süresini dolayısıyla pasif ısıl kazançları ve doğal aydınlık düzeyini belirlemektedir. Binanın arazi üzerindeki konumu yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmak, istenmeyen güneş ışınımı (örn: sıcak iklim) ve hava akımından (örn: kuru iklim) korunmak gibi bölgenin mevsimsel ve iklimsel özelliklerine göre belirlenmelidir. Binalar enerji tasarrufu açısından gün ışığından azami derecede yararlanılmalı; optimal yerleşimde gün ışığına erişim ısıtma döneminde engellenmemeli ve soğutma döneminde kontrol edilebilmelidir.

Yaz ve kış güneşinin yükseliş açısına bağlı olarak, binalarda mekan organizasyonun yapılması; benzer işlevlere sahip mekanların bir arada tasarlanarak binanın ısıl zonlara ayrılması, konut binaları içerisinde daha sık kullanılacak mekanların kuzey yarım küre için güneş ışınımı ve doğal havalandırmadan optimumda faydalanacak şekilde güney cepheye (±30º), daha az kullanılan mekanların (koridor, wc, depo) kuzey cepheye yerleştirilmesi pasif enerji kazanımı açısından önemli görülmektedir (Bayraktar ve Yılmaz, 2007).

Ön tasarım aşamasında binalar pasif tasarım kriterleri açısından değerlendirildiğinde takdirde aktif sistemlerin kullanımına daha az ihtiyaç duyulmaktadır. BEP yönetmeliğine göre bina enerji performansı açısından mimari proje tasarımı ve uygulamalarında imar ve ada/parsel konumu, güneş, nem ve rüzgar etkisi dikkate alınarak ısıtma, soğutma, doğal havalandırma, aydınlatma ihtiyacı asgari seviyede tutulmalı ve doğal imkanlarından azami derecede yararlanılmalıdır. Binaların mekan organizasyonu ve cephe yönlenimi iklim verileri dikkate alınarak tasarım yapılması, istenmeyen ısıl kazanç ve kayıpların önlenmesi veya asgari düzeyde tutulmasını sağlayacaktır (BEP, 2010).

c) Doğal ve yapay engeller: Binaya ulaşan güneş ışınımı miktarını etkiledikleri, rüzgarı kestikleri veya yönünü değiştirebildikleri için doğal ve yapay engeller iç mekan konfor koşulları ve bina enerji performansını etkilemektedir (Zorer Gedik, 2014). Topografik yapı içerisinde florayı oluşturan yeşil doku ve peyzaj elemanları gibi doğal engeller ve

yerleşimin çevresinde bulunan bina ve duvarlar, güneş kontrol elemanları, balkon ve teras gibi binaya özgü yapay engeller yerleşim alanlarının ısıtma, soğutma ve aydınlatma yükleri üzerinde rol oynayabilir. Dolayısıyla vaziyet planı kararlarında binayı çevreleyen dış engellerin boyutları, yönlenimi, aralıkları ve optik özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır.

d) Bina formu: Geometrik değişkenler aracılığı ile tanımlanan form erken tasarım aşamasında alınan en önemli kararlardan biridir. Bina formu bir binanın sadece estetiğini ve işlevini belirlemekle kalmaz, aynı zamanda enerji tüketimini ve gün ışığı performansını da etkiler. Bu açıdan, bina yüksekliği ve genişliğinin binanın derinliğine oranı, dış ortam şartlarına açık yapı kabuğu yüzey alanının bina hacmine oranı, bina yüksekliği, çatı ve cephe eğimi gibi tasarım kararlarının iklimsel verilere bağlı alınması binanın enerji etkinliği açısıdan önemlidir. Taban alanları aynı olan ve farklı biçim faktörlerine sahip binaların güneş ışınımı kazançları ve gün ışığı alımı birbirinden farklıdır. Kompakt veya kübik formlarda yapı kabuğu aracıyla gerçekleşen ısı transferi en aza indiğinden binanın ısıtma ve soğutma yükleri azalmaktadır (Lechner, 2009).

e) Yapı kabuğu: İklimlendirilmiş iç ortamı dış ortamdan ayıran; duvar, döşeme, pencere, kapı ve çatı gibi yatay, düşey ve eğimli yapı elemanlarından oluşan yapı bileşenidir. Bina kabuğunun yapım maliyeti toplam inşaat maliyetinin %15-%40'ına denk gelirken, yaşam dönemi maliyeti ve özellikle enerji tüketimine katkısı %60 civarındadır (Lechner, 2009). Bundan ötürü, mimarın tasarrufunda olan yapı kabuğunun tasarım aşamasında doğru detaylandırılması konfor koşulları ve enerji verimliliği açısından önemli görülmektedir (Zorer Gedik, 2014).

Opak ve saydam bileşenlerin termofiziksel ve optik özellikleri yapı kabuğundan gerçekleşen ısı transferinde, gün ışığı ve güneş ışınımı kazancında belirleyici özelliğe sahiptir. Yapı kabuğundan gerçekleşen ısı kaybı; iç ve dış ortam sıcaklığına, yapı kabuğunun yüzey alanına ve bileşenlerin toplam ısı geçirgenlik katsayısına (U değeri, W/m^2K) bağlıdır. Opak bileşenin ısıl kütle kapasitesi, buna bağlı zaman geciktirmesi ve

genlik küçültme faktörü, bileşeni oluşturan malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları (λ), kalınlıkları (d), yoğunlukları (ρ) ve özgül ısılarının (c) bir fonksiyonudur. Yapı kabuğundan gerçekleşen ısı kaybını azaltmaya yönelik yaygın yaklaşım ısı yalıtımı uygulamasıdır. Dört farklı derece-gün bölgesi için tavsiye edilen U değerleri TS 825:2008 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standartında verilmiştir. Isı yalıtım uygulamasının doğru yapılması, tavsiye edilen kalınlıklara uyulması ve ısı köprülerinin engellenmesi ısıtma ve soğutma enerjisi tüketiminin azaltılması için önemlidir. BEP yönetmeliğinde (2010) çatı-duvar, duvar-pencere, duvar-taban ve taban-döşeme-duvar bileşim detaylarını içerecek şekilde ısı yalıtımında sürekliliğin sağlanması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca, opak bileşenlerin optik özelliklerinden yüzey rengi ve prüzlülüğü, yüzey üzerine gelen güneş ışınlarının soğurularak ısıl kazanca dönüşmesinde rol oynamaktadır.

Saydam bileşen, gün ışığının ve güneş enerjisinin iç mekana alınmasını sağlayan; çerçeve, kanat, denizlik, cam (boşluk, boşluğu dolduran hava veya asal gazlar, film tabakaları) ve sızdırmazlık malzemelerinden meydana gelen bir diğer yapı kabuğu bileşenidir. Saydam bileşen, iç ve dış ortam arasında görsel bağlantı kurmak, doğal havalandırma sağlamak, doğrama bileşenlerinin birleşiminindeki (kasa/denizlik, kasa/kanat, kanat/kanat vb.) istenmeyen hava sızıntılarını (infiltrasyon) önlemek gibi ısıl ve görsel konfor ve iç hava kalitesine yönelik çeşitli performans özelliklerine sahip olmalıdır. Saydam bileşene ait saydamlık oranı (SO, %), camın ısıl iletkenlik katsayısı (U değeri, W/m^2K), toplam gün ışığı geçirgenliği (T_{vis}, %) ve güneş ışınımı geçirgenlik değerleri (g değeri ya da solar faktör *SHGC*, %) binanın toplam yıllık enerji tüketimini ve kullanıcı konforu üzerinde etkildir. TS 825 Standardında (2008), 4 farklı derece gün bölgesinde pencere sisteminin ısıl geçirgenlik katsayısının 2,4 W W/m^2K değerinden düşük olacak şekilde tasarlanması tavsiye edilmektedir.

Saydam bileşenin yüzey alanının arttırılması, opak bileşenlere kıyasla genellikle daha yüksek U değerine sahip olduğundan, iç mekanın ısıtıldığı dönemde taşınım (konveksiyon) ve ışınım (radyasyon) yoluyla gerçekleşen ısı kayıplarının artmasına, iç mekanın soğutulduğu dönemde ise güneş ışınımı kazancı yoluyla soğutma yüklerinin artmasına

neden olmaktadır. Diğer yandan saydamlık oranındaki artış gün ışığı alımını arttırırarak iklim bölgesi, konum, cephe yönlenimi ve dış engellere bağlı olarak aydınlatma enerjisi tüketimini azaltmaktadır. Saydamlık oranının yanı sıra, bu oranın nasıl bir cephe kuruluşu ve pencere geometrisi ile oluşturulduğu da binanın toplam enerji tüketimini etkilemektedir. Saydam bileşenlerden istenmeyen ısıl kazancın azaltılması ve güneş kontrolü amacıyla iç mekanda, dış ortamda veya çok katmanlı cam ünitelerinin arasında yer alan, sabit veya hareketli gölgeleme elemanları kullanılmaktadır.

f) Bina alt sistemleri: İnşaat sektöründe makine ve elektrik mühendisliğinin etkinlik alanına giren ve enerji tüketimi ile doğrudan ilişkili olan ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma temiz ve pis su, sıhhi sıcak su ve yangın söndürme sistemleri bina alt (servis) sistemleri olarak tanımlanmaktadır. Binalarda enerji tüketen hizmetler için talep çoğunlukla ısıtma, soğutma, havalandırma, sıhhi sıcak su ve aydınlatma sistemleri için harcanmaktadır.

İklimlendirme sistemleri BEP Yönetmeliği'nde (2010) iç ortam havası, nemi ve sıcaklığının bir arada kontrol edildiği ve taze hava ihtiyacının karşılandığı sistemler olarak adlandırılmıştır. Konforlu bir iç mekan yaratmak ve ısıl çevreyi sürdürmeyi sağlayan bu sistemler ısıtma, mekanik havalandırma ve soğutma (HVAC) sistemlerinden oluşmaktadır. Genellikle kombi, yoğuşmalı/katı yakıtlı kazan, split/multi-split klima, VRV, hava/toprak kaynaklı ısı pompası gibi bileşenlerden oluşan iklimlendirme sistemlerinin verimi (COP/EER değerleri), iç mekanın ısıtıldığı ve soğutulduğu dönem için ayar (termostat) sıcaklıkları ve aktif sistemlerin kontrol stratejileri (bina otomasyonu, uzaktan izleme – ölçüm sensörleri vb.) binanın enerji verimliliğiyle doğrudan ilişkilidir. Mekanik sistemlerin iklim bölgesi ve bina tiplerine göre seçimi ve konvansiyonel enerji talebinin fotovoltaik panel, sıcak su kollektörü, kojenerasyon gibi yerinde (*on-site*) yenilenebilir enerji teknolojileriyle desteklenmesi sayesinde yüksek performanslı - NSEB binalara ulaşmak mümkündür.

Yapma aydınlatma sistemi yapılı çevrede önemli miktarda enerji tüketimini temsil etmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA, 2021) raporunda, "dünya genelinde, şebekeye

dayalı elektrik aydınlatmasının toplam küresel elektrik üretiminin %19'unu tükettiği" yer almaktadır. Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) ülkelerinde aydınlatmanın konut enerji tüketimin yaklaşık %14'ünü oluşturduğu ve OECD üyesi olmayan ülkelerde bu payın genellikle daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Waide & Tanishima, 2006). Bu alandaki bilimsel yayınlarda aydınlatmanın enerji tüketimindeki payı için benzer değerler bildirilmiştir. (Krarti, Erickson & Hillman, 2005; Hinnells, 2008; Pohl ve Werner, 2010).

Yapma aydınlatma sisteminin nihai enerji tüketimini genel olarak dört ana unsur etkilemektedir. Bunlar; elektrik gücünü (aydınlatma için kullanılan toplam kurulu gücü) ışık akısına dönüştüren lamba ve balastlar, ışığın mekan içinde dağılımını sağlayan armatürler, yüzey yansımaları ile armatürden çıkan ışığı görünür parlaklığa (ışıklılık) dönüştüren iç mekan tasarım özellikleri ve aydınlatma sisteminin çalışma süresidir. Enerji verimli bir aydınlatma sistemi tasarımında toplam kurulu güç (lamba tipi ve sayısı), ışıksal verim (lamba etkinlik faktörü, lm/W), armatür geri verimi (%), oda geometrisi, yüzeylerin yansıtma özellikleri ve lamba bakım faktörünün yanı sıra mekanın gün ışığından yararlanma potansiyeli ve aydınlatma kontrol - otomasyon sistemlerinin kullanımı dikkate alınmalıdır (Pohl ve Werner, 2010). Aydınlatmada enerji performans kriterleri TS EN 15193-1 (2017) "Binalardaki enerji performansı – Aydınlatma ile ilgili enerji gerekleri" (*Energy performance of buildings - Energy requirements for lighting*), CIBSE Guide F (2012)"Binalarda enerji verimliliği" (Energy efficiency in buildings) ve ISO/CIE 20086 (2019) Işık ve Aydınlatma – Binalarda Aydınlatmanın Enerji Performansı (*Light and lighting - Energy performance of lighting in buildings*) standartlarında yer almaktadır.

Bir mekanda istenen aydınlık düzeyini elde etmenin enerji tüketimi açısından en verimli yolu günışığından azami ölçüde faydalanmaktır (Koçlar vd., 2004; Kim ve Kim, 2010). Mekandaki doğal aydınlatma düzeyi, SO ve cephe yönlenimi, yüzeylerin ışık yansıtma çarpanları gibi tasarım değişkenlerine bağlıdır. Öte yandan, sadece gün ışığını kullanarak iç mekanda farklı eylemlerin gerçekleştirilmesi ve iyi görme koşullarının sağlanabilmesi için gereken aydınlık düzeyini gün boyu sürdürmek mümkün olmadığından, yapma aydınlatma sistemleri ile genel ve bölgelik (lokal) aydınlatma uygulamalarına ihtiyaç vardır. Bölgelik

aydınlatma çalışma düzlemi üzerindeki daha yüksek aydınlık düzeyi gereksinimini karşılarken genel aydınlık düzeyinin de daha düşük seviyede tutulması yoluyla enerji tasarrufuna olanak sağlar.

Son yıllarda hem lamba ve armatürler hem de aydınlatma otomasyonu için birçok yeni ürün geliştirilmiştir. LED sistemler aydınlatma sektöründe hızla yayılan ve enerji tasarrufu sağlayan en önemli teknolojik yeniliktir. Özellikle hizmet ve ticari amaçlı binalarda akıllı LED teknolojileri ve otomasyon sistemleri elektrik enerjisinden tasarruf sağlamada aydınlatma projelerinin önemli bir parçası haline gelmiştir. Hareket (varlık) ve ışık sensörleri aracılığıyla binanın iç mekan aydınlatma sistemini tekil veya eşzamanlı olarak yönetmek; aydınlatma kontrol sistemleri aracılığıyla kullanıcı senaryoları oluşturmak, lambaların ışık akısı (loşlaştırma - karartma) ve elektriksel güç değişimini ayarlamak ve ışık rengini kontrol etmek (bio-dinamik, insan odaklı aydınlatma) mümkün hale gelmiştir.

Yenilenebilir enerji sistemleri; rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle, dalga gibi fosil olmayan enerji kaynaklarından elde edilebilen enerji ile çalışan sistemleri ifade etmektedir. Binalarda yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynağı güneş enerjisidir. Çoğunlukla evsel sıcak su eldesi ve elektrik üretimi için güneş kollektörleri ve güneş panelleri (PV paneller) kullanmaktadır.

Binaların NSEB ve karbon-nötr yapılar olabilmesi için yenilenebilir enerji teknolojilerine ihtiyaç vardır. Günümüzde özellikle AB üyesi ülkelerde devlet teşviklerine bağlı olarak yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanımı yaygınlaşmıştır; örneğin Yunanistan'da 2020 yılına kadar %20 yenilenebilir enerji hedefine ulaşmakta, sıcak su ihtiyacını kısmen karşılamak amacıyla güneş kollektörlerinin kullanımı zorunlu hale getirilmiştir (Dimoudi ve Zoras, 2016). Avrupa Birliğinin 2010/31/EU direktifine benzer şekilde ülkemizde de revize edilen BEP Yönetmeliği ile yenilenebilir enerji kaynaklarının binalarda kullanılmasının artırılması hedeflenmiştir. Yönetmelikte binanın inşa edileceği yerdeki yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması imkanının araştırılması ve bu doğrultuda

hazıralanacak raporların mimari çözümlerde öncelikle dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir (BEP, 2022).

Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları konusunda önemli bir avantaja sahiptir. 2019 yılı verilerine göre çatı ve cephe uygulamalarında PV sistemlerin kullanımı için yapılan başvuruların toplam kapasitesi 622 MW'a ulaşmıştır. Bu rakamın büyük kısmını sanayi tesislerinin oluştururken, başvuruların yalnız 12 MW'lık kısmının konutlar için yapılmış olması bina sektöründe henüz kullanılmayan önemli boyutta yenilenebilir enerji (özellikle de güneş enerjisi) potansiyeli olduğunu göstermektedir (Yeşil Ekonomi, 2019). Güneş kolektörleri, güneş enerjisi santralleri (GES) ve rüzgar türbinlerinin verimliliği, yenilenebilir teknolojilere yapılan yatırım ve ar-ge çalışmalarına bağlı olarak hızla gelişmekte ve maliyetleri düşmektedir.

g) Kullanıcı faktörü: Aynı anda birçok parametre binalarda enerji tüketimini etkilemekte ve enerji tasarruf potansiyelini oluşturan performans kriterleri özellikleri bir binadan diğerine değişmektedir. Bu anlamda aktif ve pasif sistemlerin yanı sıra; kullanıcıların yaş, cinsiyet, aktivite ve giyim düzeyi, fizyolojik ve psikolojik gereksinimleri, alışkanlıkları, eğitim ve gelir düzeyi gibi faktörler de binalardaki enerji tüketimini etkilemektedir.

Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi'nin (WBCSD) binalarda enerji verimliliği projesi raporunda (2009) kullanıcı faktörü dönüşüm için en önemli üç araçtan biri olarak görülmekte ve dünyada yükselen enerji maliyetleri nedeniyle enerji verimliliğinin kullanıcılar açısından da öncelikli bir konu haline geleceği vurgulanmaktadır. Bu anlamda, yapı sektöründeki paydaşlar, bina sahibi ve son kullanıcılar bilinçlendirilmeli ve güncel eğitimler vasıtasıyla enerjinin verimli kullanımı konusunda bilgilendirilmelidir. WBCSD raporunda (2009), hükümetlerin binalarda enerji verimliliği konusunda kullanıcıları motive edecek ve harekete geçirecek kampanyalar ve vergi paketleri oluşturması, bilgi ve iletişim teknolojilerinin enerji tasarrufu konusunda farkındalığın arttırılması amacıyla kullanılması, bina enerji performansının bina fiyatları ve kira bedellerine yansımasının arttırılması, enerji

verimliliği yatırımlarının sübvansiyon ve diğer teşviklerle özendirilmesi gibi tavsiyeler yer almaktadır.

Binaların enerji etkinliğine yönelik stratejiler, bina performans değerlendirme yaklaşımları ile geliştirilebilir. Bu yaklaşımlar, enerji tüketen bina alt sistemleri ve tasarım kararları arasındaki ödünleşimin etkilerinin anlaşılması, bina kontrol ve otomasyon sistemlerinin değerlendirilmesi ve tasarım alternatiflerinin karşılaştırılması konularında destek sağlar. Bina tasarım sürecinde kullanılabilecek performans değerlendirme yaklaşımları sırasıyla şu şekilde özetlenebilir (Şenel Solmaz, 2015):

a) Tasarım rehberleri ya da geçmiş deneyimler (*rule of thumbs*): Bu sistemler bina performansını doğrudan tahmin etmezler, sadece belirli performans hedefini gerçekleştirmeye yönelik yapılması gerekenleri, tasarıma yönelik genel tavsiyeleri içerirler.

b) Geleneksel hesap yöntemleri: Bu sistemler binada sınırlı sayıdaki ya da sadece tek bir fiziksel olguya odaklanırlar ve binadaki belirli bir fiziksel sürecin tahmin edilmesini amaçlar. (Örneğin, bina kabuk bileşenlerinin ısıl geçirgenlik değerlerinin hesaplanması). Bu hesaplar günümüzde yaygın olarak bilgisayar programlarıyla yapılmaktadır.

c) Korelasyon tabanlı yöntemler: Geleneksel hesap yöntemleri ile binadaki yapı fiziği konuları ayrı ayrı ele alınmaktadır. Ancak pek çok yapı bileşeninden meydana gelen binalar bu anlamda oldukça karmaşık yapıdadır. Örneğin, bina enerji tüketimi sadece iletim yoluyla olan ısı kayıplarından etkilenmez, bunun yanı sıra doğal havalandırma ve hava sızıntılarından kaynaklanan ısı kayıpları, güneşten sağlanan ısıl kazançlar ve bunların etkileşimi sonucunda binanın toplam ısıtma enerjisi tüketimi belirlenir. Korelasyon tabanlı yöntemler binadaki bu karmaşık etkileşimleri dikkate alarak bina performans tahmini yapılmasına dayanmaktadır. Bu korelasyonlar ileri simülasyonlarla yapılan çoklu parametrik analizlerle oluşturulabilir. Ancak, bu yöntemde tasarımcı çoğunlukla belirli bir parametreyi tanımlar ve sonrasında yazılımlar aracılığı ile binanın nasıl bir performans sergileneceği hesaplanır.

d) Bina performans simülasyonları: Simülasyon (benzetim) yöntemleri bina davranışlarını matematiksel denklemler kullanarak ortaya koymaktır. Bu hesaplamalar manuel olarak çözülebileceği gibi karmaşık problemler için genellikle bilgisayar programları kullanılmaktadır. Bina davranışının hesaplamalı değerlendirmesi için kullanılan bilgisayar programları "bina performans simülasyonları" olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntem sanal bir bina modeli oluşturularak tasarımcı tarafından bina performansını etkileyecek detaylı parametrelerin tanımlanmasına ve model üzerinden performans tahminlerinin yapılmasına dayanmaktadır. Bina performans simülasyonları, aynı koşullar altında tasarım aşamasındaki binaların davranışlarının ve alternatiflerinin karşılaştırılabilmesine olanak sağlar.

e) Küçük ölçekli modeller: Bu yöntem binaya ait küçük ölçekli maketlerin yapılması ve bunlar üzerinden bina performansının test edilmesine dayanmaktadır. Örneğin rüzgar türbini testleri ya da binalarda gün ışığı ve gölge analizi değerlendirilmesi için bu yöntem kullanılabilmektedir.

f) Görüntüleme yöntemi (*monitoring*): Gerçek binanın atmosfer koşulları altındaki davranışlarının doğrudan gözlemlenerek değerlendirilmesine olanak sağlar. Termal kamera ile yapılan alan çalışmaları buna örnek verilebilir. Kızılötesi görüntüleme verileri binanın iklimsel konfor koşullarına yönelik bilgi edinilmesine ve yapı kabuğunun iyileştirilmesine olanak sağlar. Ancak, görüntüleme yöntemlerinin maliyeti yüksektir ve değişken iklim/dış ortam koşullarında gerçekleştirilen bir uygulamadır. Ayrıca, binanın enerji performansına yönelik yapı elemanları ve yapım sistemleri arasındaki karmaşık etkileşimin görüntüleme yöntemiyle anlaşılması ve diğer bina tasarımlarına aktarılması zordur.

g) Deneysel düzenekler: Deneysel koşullar altında, örneğin sıcaklık, bağıl nem ve hava basıncının kontrol edildiği mahfazlı sıcak kutu *(hot box)* düzeneğinde binanın bir bölümünün davranışının ölçülmesine olanak sağlar. Deneysel düzeneklerden elde edilen

bulguların tüm bina davranışına dönüştürülebilmesi günümüzde önemli bir araştırma konusudur.

Bina enerji tüketimi ve konfor koşulları; iç ortam şartları, bina strüktürü, iç ısı kazançları, iklimlendirme (HVAC) sistemleri ve aydınlatmaya ilişkin bina alt/servis sistemleri arasındaki dinamik etkileşimlerle belirlenir. Literatürde konutların enerji performansının ölçülmesine dair pek çok çalışma bulunmakla birlikte, bina sistemlerinin karmaşıklığı nedeniyle binalarda enerji performansının nasıl belirleneceği konusu geliştirilmeye açıktır (Grösche, 2009). Mevcut ölçüm yöntemleriyle ilişkili önemli bir eksiklik, bina enerji performansını belirleyen yeterli sayıda seçeneğin dikkate alınmamasıdır (Nikolaou, Kolokotsa & Stavrakakis, 2011; de Wilde, Tian & Augenbroe, 2011).

Yukarıda açıklanan bina performans değerlendirme yaklaşımları bir arada kullanılabilmektedir. Öte yandan bu araçlar içerisinde karmaşık bina sistemlerinin uzun dönem performansının analizi için en güncel yöntem sanal bina üzerinden performans tahminlerinin yapılması yoluyla hesaplamalı değerlendirmedir. Bilgisayar tabanlı bina performans simülasyonları sonraki bölümde detaylı olarak açıklanmaktadır.

2.4. Simülasyon Tabanlı Optimizasyon Yaklaşımları

Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, bina performans modelleme ve simülasyon araçlarının kullanımı son 20 yılda önem ve hız kazanarak yaygınlaşmıştır. Yapay zeka ve optimizasyon algoritmalarının gelişmesi ve bina tasarım problemlerinin matematiksel verilere dönüştürülmesi ile birlikte simülasyon tabanlı optimizasyon yaklaşımı çok sayıda tasarım çözümününü eş zamanlı keşfetme imkanı sağlamaktadır. Literatürdeki çalışmalar simülasyon tabanlı optimizasyon analizinin enerji tüketimi, inşaat maliyeti, cephe tasarımı ve yönlenişi, konfor koşulları, günışığı performansı, sera gazı emisyonu, HVAC sistem konfigürasyonu, yaşam döngüsü maliyeti gibi farklı tasarım problemlerine uygulanabildiğini göstermektedir. Bu bölümde öncelikle sık kullanılan simülasyon araçlarının genel özelliklerine ve simülasyon araçları ile bina performans

değerlendirmesindeki avantaj ve dezavntajlara yer verilmiştir. Ardından simülasyon tabanlı optimizasyon yaklaşımı tanıtılarak amaç fonksiyonları ve değişkenler sınıflandırılmıştır. Son bölümde bina performans optimizasyonu çalışmalarında kullanılan araçlar ve optimizasyon problemlerini çözmek için geliştirilen metodlara (algoritma) yer verilmiş ve literatürdeki güncel bina performans optimizasyonu çalışmaları özetlenmiştir.

2.4.1. Bina performans modelleme ve simülasyonları

Simülasyon programları genellikle bir binanın sanal modelinin oluşturulması ve performansının tahmin edilmesi yoluyla tasarım kararlarının iyileştirilmesi veya tasarımcıyı diğer seçeneklerine yönlendirerek binaların tasarım, yapım, işletme veya iyileştirme aşamalarında daha etkin bir tasarım çözümüne ulaştırmakta kullanılmaktadır (Augenbroe, 2002; Yılmaz, 2012). Bu anlamda bilgisayar tabanlı simülasyon araçları günümüzde yüksek performanslı bina çalışmalarında tasarım karar sürecinin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Bina simülasyonu teknolojisini geliştirme alanında dünyada IBPSA (International Building Performance Simulation Association) ve ülkemizde IBPSA-Tr (BinSimDer - Bina Performans Modelleme ve Simülasyonları Derneği) gönüllü olarak faaliyet gösteren kuruluşlardır (Yılmaz, 2012).

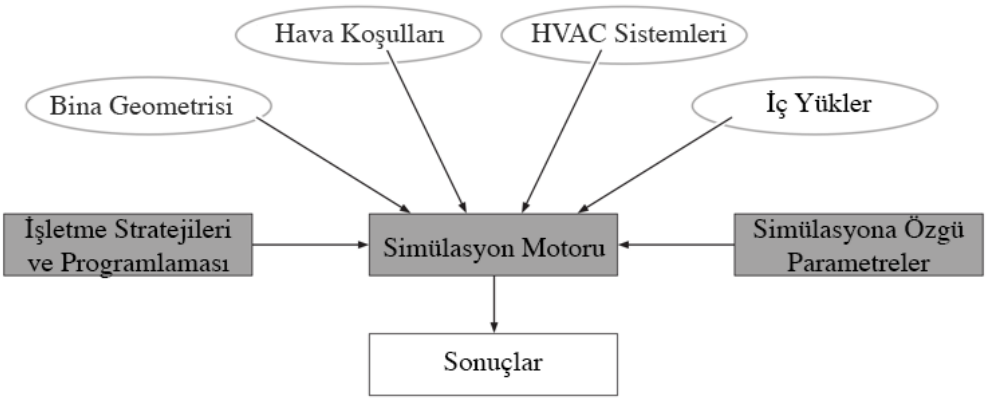
Bina yazılım mimarisi teknolojilerinin yaygınlaşmasının öncesinde, mimar ve mühendislerden tarafından çoğunlukla geleneksel hesap yöntemleri kullanılmıştır. Bilinene dayalı bu ampirik tasarım yaklaşımı binaların mekanik sistem kapasitesinin gereğinden büyük seçimi ve enerji performansı düşük binalarla sonuçlanması olasıdır (Hong, Chou & Bong, 2000). Bina simülasyonları üzerine yapılan araştırmalar ise 1960'lı yıllarda başlamıştır. 1970'li yıllardaki ilk çalışmalar çoğunlukla yük teorisi ve temel hesaplama algoritmaları üzerinedir. 1970'lerin sonu 1980'lerin başı, masa üstü bilgisayar teknolojileri yaygınlaştığı, aynı zamanda DOE-2, ESP ve TRNSYS gibi bina enerji simülasyon programlarının geliştirildiği dönemdir. 1990'larda iklim değişikliği ve çevre kirliliği gibi küresel konular ile birlikte, binaların enerji tüketimi ve çevresel etkilerinin azaltılması, sağlıklı ve konforlu bir iç ortam yaratılması konuları önem kazanmış ve bu sayede bina simülasyon araçları mimarlık pratiğinde gerekli uygulamalar haline gelmiştir.

Bilgisayar tabanlı simülasyon araçları ile binaların enerji, ısıl konfor, görsel konfor, iç hava kalitesi, su tüketimi ve akustik performansı gibi çeşitli yapı fiziği konuları bina yaşam döngüsünün her aşaması için değerlendirilebilmektedir (Wang ve Zhai, 2016). Detaylı dinamik hesaplama yapan simülasyon araçları ile belirli zaman dilim için (yıllık, aylık, saatlik) iklim verilerine dayalı bina performans tahminleri üretilebilmektedir. Bu araçlar genellikle bina performansının hesaplanması için sürekli etkileşim halinde olan kompleks denklemler ve matematiksel algoritmalar kullanan dahili bir simülasyon motoru ile kullanıcıların veri girdi ve çıktılarını yönetmelerine yardımcı bir grafik ara yüzden oluşmaktadır. Günümüzde simülasyon araçlarının kullanıcı ara yüzünün geliştirilmesi, hesaplama süresinin kısaltılması, programlar arasında kolay veri aktarımı ve tahmini sonuç ekranı sayesinde simülasyon araçları tasarımcılar için daha kullanışlı hale gelmiştir. Aşağıda simülasyon araçları ile bina performans değerlendirmesine ilişkin literatürdeki çeşitli araştırma alanları aşağıda özetlenmiştir:

- Vaziyet planı tasarım kararlarına yol göstermek üzere binaların gölgeleme analizinin yapılması ve görselleştirilmesi,
- Bina ısıtma, soğutma, aydınlatma ve havalandırma hesapları ve mekanik sistem ekipman kapasitelerinin belirlenmesi,
- Mekanların statik ve dinamik gün ışığı performansının analizi,
- Yeni binaların tasarımı ve mevcut binaların iyileştirilmesi (retrofit) için enerji performans analizi ve farklı stratejilerin geliştirilebilmesi,
- Bina enerji yönetimi ve kontrol sistemleri tasarımı,
- Binaların ilgili yönetmelik, kod ve standartlara uyumunun kontrolü,
- Maliyet analizi,
- Pasif ve aktif sistemler yoluyla enerji tasarrufu seçeneklerinin belirlenmesi,
- Hesaplamalı akışkanlar dinamiği testleri.

"Bina Enerji Yazılım Araçları Rehberi (BEST-D)'' 122 simülasyon aracından oluşan bir listeye sahiptir ve her aracın yetenekleri hakkında bilgi sağlamaktadır (Maile, Fischer &

Bazjanac, 2007). Bina performansı modelleme ve simülasyon araçları arasında en çok tercih edilen programlar DOE-2, EnergyPlus, Energy 10, Ecotect, TRNSYS, HAP ve BLAST olarak sıralanabilir. Bununla birlikte, simülasyon araçları termodinamik modeller, grafik ara yüzleri, kullanım amacı, yapı yaşam döngüsüne uyarlanabilirliği ve diğer yazılım programları ile veri alışverişi yapabilmeleri açısından farklılık göstermektedir. Şekil 2. 9'da simülasyon araçlarının yapısı ve genel veri akışı göstermiştir. Çizelge 2. 11'de ise yaygın olarak kullanılan simülasyon araçları ve özellikleri verilmiştir (Yılmaz, 2012; Mateus, Pinto & Graça, 2014; Anđelković, Mujan, & Dakić, 2016).



Şekil 2. 9. Bina performans simülasyon (benzetim) araçlarında genel veri akışı *(Maile, Fischer & Bazjanac'ın çalışmasından Türkçeleştirilmiştir)*

Çizelge 2. 11. Çeşitli simülasyon araçları ve özellikleri *(Yılmaz, 2012; Mateus, Pinto & Graça, 2014; Anđelković, Mujan, & Dakić, 2016 yılı çalışmalarından uyarlanmıştır)*

Simülasyon aracı	**Önde gelen özelliği**
BEP-TR	T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığının ulusal, basit saatlik dinamik yöntemidir. Binaların enerji performanslarını standart koşullar altında karşılaştırmak ve EKB oluşturmak üzere kullanılmaktadır
BLAST	Enerji tüketimi, sistem performansı ve maliyet tahmini yapılabilmektedir
BSim	Enerji etkin bina tasarımı ve yoğuşma analizi yapılabilmektedir
CONTAM	Mekanik sistemler, iç – dış ortamdan kaynaklı ve yapı kabuğuna etki eden rüzgar hareketi dikkate alınarak bina iç hava kalitesi ve risk değerlendirmesi hesaplamalarında kullanılan simulasyon aracıdır.
DAYSIM	RADIANCE programına dayalı, kullanıcı faktörü ve aydınlatma kontrol otomasyonlarını simülasyonlara dahil edebilen günışığı analizi ve aydınlatma enerji performans hesaplama aracıdır.
DeST	Binalarda ısıl akışı analizi ve HVAC sistem performansının tahmini için kullanılabilir.

Çizelge 2. 11. Çeşitli simülasyon araçları ve özellikleri *(devamı)*

Simülasyon aracı	Önde gelen özelliği
DesignBuilder	Bina nihai enerji, yakıt tüketimi, CO_2 emisyonu, aydınlatma, konfor ve farklı gök modelleri ile günışığı analizi yapılabilen iklime dayalı dinamik simulasyon aracıdır. EnergyPlus, Radiance ve Daysim simülasyon motorlarını kullanmaktadır.
ECOTECT Autodesk	Mekanik sistem yükleri, iç ısıl kazançlar, enerji tüketimi, CO_2 emisyonu, su tüketimi, akustik ve gün ışığı performansı (kapalı gök modeli) dahil olmak üzere geniş bir yelpazede aylık, günlük ve saatlik analiz yapılabilen simülasyon ve görselleştirme aracıdır.
Energy-10	Yapı yaşam döngüsünün tamamını kapsayan maliyet ve enerji analizi yapılabilmektedir
EnergyPlus	Lawrence Berkeley Laboratuvarında açık kaynaklı kod ile geliştirilen, saatlik ilkim verisine dayalı bina enerji, karbon emisyonu, aydınlatma ve iklimlendirme (HVAC) sistem tasarımı, yapı kabuğu ısı akışı ve konfor hesabı yapılabilen bütünleşik ve detaylı dinamik enerji simülasyon motorudur. Designbuilder, Google Sketch Up ve OpenStudio plug-in programlarının ara yüzünde bina modellemesi yapılarak idf uzantılı dosya ile çalıştırılabilmektedir.
ESP-r	Linux tabanlı progamda birden fazla zonda ısıl konfor ve akustik hesaplamalar yapılabilmektedir.
eQUEST	Termal hesaplamalar ve bina enerji tüketimi analizi yapılabilen, detaylı mekanik sistem ekipmanlarını içermeyen bir programdır.
Green Building Studio Autodesk	Revit programından bina modeli aktarılarak veya web tabanlı modelleme yapılarak daha çok ön tasarım aşamasında kullanılan, enerji sarfiyatı, karbon emisyonu, gün ışığı analizi ve su tüketimi hesaplamaları yapabilen bir programdır.
IES Virtual Environment	Bina modelleme araçları ile birlikte çalışabilme özelliğine sahip bir enerji simülasyon aracıdır
Radiance	Linux tabanlı, ray-tracing yöntemi ile günışığı analizi ve görselleştirme yapılabilen bir simulasyon programıdır.
TRNSYS	Enerji sistemlerini modüler bir yapıya (sistem elemanları düzeyine) indirgeyerek hesaplama yapan bir simülasyon programıdır. Yenilenebilir enerji ve kojenerasyon sistemlerinin kapsamlı olarak tasarım, modelleme ve optimizasyonunu mümkün kılmaktadır.

Bina performans simülasyon araçları, binalarda enerji performansını geliştirmeye yönelik çözümlerin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmakla birlikte bina performans simülasyon araçları aşağıdaki avantaj ve dezavantajlara sahiptir:

+ Tasarım aşamasındaki binaların davranışlarının tahmin edilmesini sağlar.
+ Binaların uzun dönemli davranışın tahmin edilmesine yardımcı olur.
+ Tasarımcıların bina tasarım ve performans parametreleri arasındaki karşılıklı ve karmaşık etkileşimini anlamasına olanak sağlar.

+ Performans simülasyonlarından elde edilen sonuçların optimizasyon ve tasarıma ilişkin alternatif çözümler içermesi tasarım kararlarını yönlendirmede önemli rol oynamaktadır.
+ Bina simülasyonları bir yandan karar verme sürecinde nicel veri sağlarken, diğer yandan yapı kabuğunda karşılaşılacak enerji kayıplarının ön görülmesini sağlar.
+ Aynı koşullar altındaki farklı bina davranışları ve bina tipolojileri karşılaştırılabilir
+ Binalarda potansiyel problemli alanlarının (ısı köprüleri, hava sızıntıları, yoğuşma oluşan kesitler vb.) belirlenmesini ve tasarım üzerinde yapılan değişikliklerin uygunluğunun test edilmesini sağlar.
+ Simülasyonun maliyeti, görüntüleme yöntemi ve deneysel düzeneklerle yapılan diğer ölçme yöntemlerine göre genellikle daha azdır.
+ Numune boyutları nedeniyle deneysel ölçümlerin kolaylıkla yapılamadığı durumlarda yardımcı araç olarak kullanılabilmektedir.
+ Binanın bir bütün olarak enerji etkinliği, ısıtma, soğutma, yapma aydınlatma yükleri analiz edilebilir.
− Simülasyon tabanlı karar verme sürecinde, bir dizi alternatif senaryo içerisinden analiz yapılarak en uygun çözüm bulunmaya çalışılır ve bu zaman alıcı bir süreçtir
− Isı transferi ve iç çevredeki ısı depolama mekanizmalarına ilişkin gerçek zamanlı iç ve dış ortam verilerinin kullanılmaması, gerçek atmosfer koşulları altında alınacak sonuçlardan farklı sonuçlar elde edilmesine neden olabilir.
− Simülasyon araçları ile örnek binayı temsil edecek sanal bir model üzerinden analiz ve değerlendirme yapıldığından, binanın modellenmesinde gerekli ve yeterli verinin elde edilememesi, sonuçlarının doğruluğunu ve güvenilirliğini düşürebilir.
− Simülasyon programları genellikle güçlü bir bilgisayar donanımı gerektirir, aksi halde simülasyon süreleri çok uzun olabilmektedir.
− Simülasyon programlarının bir bölümü üç boyutlu modelleme yapılabilen kullanıcı dostu arayüze sahip değildir. DesignBuilder ve Ecotect gibi yazılımlar ücretlidir ve lisanslı kullanım gerekmektedir.

Bina enerji simülasyon araçları genellikle parametrik çalışmalarda kullanılmaktadır. Her bir tasarım değişkeninin altında sayısı yüzleri geçebilen seçenek bulunabilmektedir. Seçilen değişkenlerin olası kombinasyonlarının çok sayıda olabilmesi ve uzun hesaplama süreleri nedeniyle sadece simülasyon programı kullanarak uygun çözümleri bulmak pratik değildir. Öte yandan tasarım değişkenlerini bağımsız olarak ele alan, bir parametreyi değiştirirken diğerlerini sabit tutan çalışmalar değişkenler arasındaki olası ödünleşimin (*trade-off*) etkilerini görmezden gelebilmektedir. Bu nedenle, değişkenlerin karşılıklı etkileşimlerini öncelikle doğru simüle etmek, ardından bina performans simülasyon araçlarıyla birlikte optimizasyon algoritmalarını kullanmak en iyi (optimal) çözüme ya da çözüm kümesine ulaştıracaktır (Tuhus Dubrow & Krarti, 2010; Hani ve Koiv, 2012).

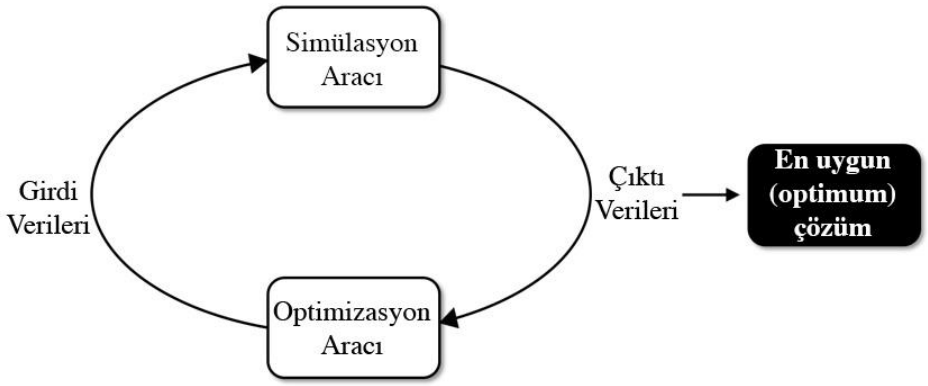
2.4.2. Simülasyon tabanlı optimizasyon

Binalar çok sayıda mimari, elektrik ve mekanik tasarım değişkenini içeren karmaşık sistemlerdir. Tasarım kararları aşamasında bu değişkenlere ait seçeneklerin nasıl seçildiği ve bir araya getirildikleri binanın performans özelliklerini ve enerji etkinliğini belirlemektedir. Bir önceki bölümde de bahsedildiği gibi, tasarımcıların en iyi çözümü ararken sıklıkla kullandığı yaklaşım deneme yanılma yöntemi ve sonuçların karşılaştırmasıdır. Öte yandan çok sayıdaki yapı bileşeni ve sisteminin olası birleşimlerinden yola çıkarak en uygun çözümü bulmak, yalnızca performans değerlendirme yaklaşımlarını kullanan parametrik çalışmalar ile mümkün değildir. Örneğin, Mahmoud ve Elghazi (2016), kinetik cephe sistemlerinin performansının değerlendirilmesinde deneysel bir yöntem kullanarak gün ışığı verilerine dayalı optimal tasarım çözümlerini araştırmışlardır. Ho vd. (2008), eğitim yapılarında gölgeleme elemanlarının performansını dört farklı yükseklik ve genişliğe sahip güneş kontrol elemanı kombinasyonları üzerinden araştırarak dersliklerde düzgün aydınlık dağılımı sağlayan en uygun gölgeleme elemanı tasarımını bulmayı amaçlamıştır. Bu ve benzeri araştırmalarda sınırlı sayıda tasarım seçeneği keşfedilebilmektedir. Simülasyon tabanlı bina performans optimizasyonu yönteminde ise tasarım değişkenlerine bağlı olarak, tasarımcının ele almadığı bir çözüm veya çözümler kümesinin üretilmesi ile birden fazla alternatif

oluşturulmakta ve sonuç performansları karşılaştırılmaktadır. Bu sayede hedeflenen sonuca daha yakın performans gösterecek uygun tasarım alternatifleri geliştirilebilmektedir.

Matematiksel optimizasyon uygulamaları 1980'lerde başlamış, ancak simülasyon tabanlı optimizasyon araç ve algoritmaları ile bina performansının araştırılması alanında yapılan ilk çalışmalar 2000'li yılların başlarında yayınlanmıştır. İnşaat sektöründe optimizasyon algoritmalarının kullanımı ilk önce makine ve inşaat mühendisleri tarafından başlatılmış ve daha sonra mimarlık ve diğer mühendislik alanlarında yaygınlaşmıştır (Attia vd., 2013; Nguyen, Reiter ve Rigo, 2014). Mimarlık alanında optimizasyon üzerine yayınlanmış araştırma sayısı 1990'lı yılların başından bu yana sürekli artmış, optimizasyon algoritmaları konusu 2000'li yıllardan itibaren yapı bilgisi alanda çok sayıda optimizasyon algoritması geliştirilmiş (Nguyen, Reiter ve Rigo, 2014). Özellikle 2000'li yıllardan sonra simülasyon araçlarındaki ilerlemeler ile birlikte geliştirilen algoritmalar çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümünde aktif olarak kullanılmaktadır.

Optimizasyon (en iyileştirme), bir tasarım kararını mümkün olduğunca işlevsel veya etkili hale getirme süreci veya yöntemi olarak tanımlanmıştır (Webster Online, 2018). Matematiksel olarak optimizasyon, değişkenlerin en iyi kombinasyonunu seçerek bir fonksiyonun minimum veya maksimum değerini bulma işlemidir. Tasarım problemlerinde parametrelerin en iyi kombinasyonunu bulabilmek için optimizasyon algoritmalarından yararlanılmaktadır. Nguyen, Reiter ve Rigo (2014) bina performans optimizasyonunu, genellikle bir bina simülasyon programı ve optimizasyon algoritmalarından oluşan bir simülasyon motoru ile otomatikleştirilmiş bir işlem olarak tanımlamıştır. Şekil 2. 10'da simülasyon tabanlı optimizasyon döngüsü görülmektedir. Simülasyon ve optimizasyon birleşik ve döngüsel bir ilişkiye sahiptir. Optimizasyon motoru simülasyon aracı için veri girişi sağlar ve simülasyon aracı çıkış verisini üretir. Optimizasyon motoru, tanımlanmış bir hedefe (yani amaç fonksiyonuna) göre optimal çözümü elde edilinceye kadar bu işlemi tekrarlamaktadır (Bae, 2016).



Şekil 2. 10. Simülasyon tabanlı optimizasyon döngüsü *(Bae'nin çalışmasından Türkçeleştirilmiştir).*

Simülasyon tabanlı optimizasyon işlemi genellikle amaç fonksiyonu ve değişkenler olmak üzere iki tür girdi gerektirmektedir. Bina optimizasyon problemlerinde tasarım değişkenleri genellikle bina ve mekan geometrisine veya özelliklerine ait değerlerdir (Machairas, Tsangrassoulis & Axarli, 2014). Optimizasyon çalışmalarında incelenen tipik tasarım değişkenleri, binanın formu, yönlenişi, hacim boyutları, mimari plan ve mekan organizasyonu, yapı kabuğu bileşen ve malzemelerinin termofiziksel ve optik özellikleri, cephe saydamlık oranı, aydınlatma ekipmanı, ısıtma, havalandırma ve klima (HVAC) sistemlerinin seçimi, boyutlandırılması (kapasitesi), bina servis sistemi kontrol parametreleri ve/veya stratejileri olarak sayılabilir. Amaç fonksiyonu ise genellikle simülasyon araçları tarafından hesaplanan bina performans hedefleridir.

Optimizasyon problemleri Karaboğa (2014) tarafından ilk olarak "sınırlamasız" ve "sınırlamalı" olarak sınıflandırmıştır. Burada amaç fonksiyonu f(x)'in x ile ilgili herhangi bir sınırlama olmaksızın minimizasyonu veya maksimizasyonu sınırlamasız, x ile ilgili sınırlama veya sınırlamaların bulunduğu optimizasyon problemi ise sınırlamalı optimizasyon problemi olarak isimlendirilmiştir. Optimizasyon problemlerinin diğer bir sınıflandırılması ise amaç fonksiyonun ve sınırlamalarla ilgili fonksiyonların lineer olup olmama durumlarına göre yapılmıştır. Bir optimizasyon problemi, lineer amaç ve sınırlama fonksiyonlarına sahip ise bu problem lineer programlama problemi, bu fonksiyonlardan herhangi biri nonlineer ise nonlineer programlama problemi olarak adlandırılmıştır

(Karaboğa, 2014). Değişkenleri negatif olmayan tamsayı değerler alan bir lineer programlama problemi tamsayı programlama problemi; değilse tamsayı olmayan programlama problemi şeklinde tanımlanmıştır. Diğer bir gruplandırma ise sürekli (*continuous*) ve ayrık (*combinatorial*) optimizasyon problemi şeklindedir. Ayrık niceliklerin (objelerin) optimal olarak düzenlenmesi, gruplanması, sıraya konulması veya seçilmesi problemi, ayrık optimizasyon problemi olarak adlandırılırken, tasarım değişkenlerinin alacağı değerler sürekli değerler ise bu tür problemlere sürekli optimizasyon problemi denilmiştir (Karaboğa, 2014).

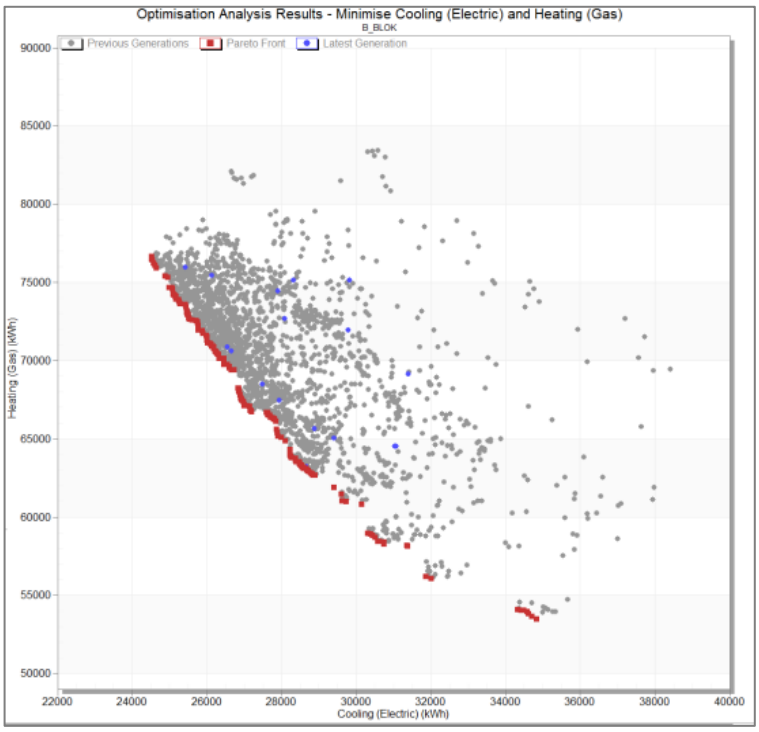
Attia vd.'ne göre (2013) optimizasyon problemlerinde çoğu zaman amaç fonksiyonu enerji ve/veya maliyet ile ilgilidir. Diğer bir deyişle, tasarım parametreleri (girdiler) enerji etkin ve/veya maliyet etkin olacak şekilde optimize edilmektedir. Karaboğa'ya (2014) göre optimizasyon problemi, belirli sınırlamaları sağlayacak şekilde, bilinmeyen parametre değerlerinin bulunmasını içeren problemdir. Optimizasyon işleminde ilk adım karar parametreleri ile tasarım parametreleri olarak da adlandırılan değişken setinin tanımlanmasıdır. Ardından, bu değişkenlere bağlı olarak en aza indirgenecek (minimize edilecek) bir maliyet fonksiyonu veya ulaşılabilecek (maksimize edilecek) bir kar fonksiyonu ve problemle ilgili sınırlama (*constrains*) fonksiyonları belirlenir. Maliyet fonksiyonu, daha iyi çözümü temsil eden parametre değerlerinin kullanılması durumunda daha düşük bir nümerik değer üretirken kar fonksiyonu ise daha yüksek bir nümerik değer üretmektedir. Sınırlamalar, eşitsizlikler ya da eşitlikler şeklinde parametrelerin alamayacağı değerleri tanımlamakta ve karar parametrelerine bağlı olarak ifade edilmektedir (Karaboğa, 2014).

Attia vd. (2013), optimizasyon problemlerinde kar, maliyet ve sınırlama fonksiyonlarına göre, bina optimizasyonunu tek amaçlı ve çok amaçlı olarak iki gruba ayırmıştır. Karaboğa' da (2014) benzer şekilde, bazı optimizasyon problemlerinin birden fazla en aza indirgenecek fonksiyonu içerebileceğini, bu tür problemlerin çok amaçlı optimizasyon problemi olarak adlandırılacağını belirtmiştir (Karaboğa, 2014). Örneğin, bir binanın yalıtım seviyesi, ısıtma, soğutma enerji talebi veya yatırım maliyetini en aza indirgemek

için tek amaçlı olarak optimize edilebilir. Ya da çok amaçlı bir fonksiyon kullanılarak, binanın enerji tüketimi azaltılırken aynı zamanda maliyet etkinliği göz önüne alınarak yalıtım kalınlığı optimize edilebilir.

Bina tasarımına ilişkin çok amaçlı optimizasyon problemlerinde, asgari enerji tüketimine karşı azami konfor koşulları ya da asgari maliyet karşısında azami ekipman kapasitesi gibi çoğu zaman birbiriyle çelişen hedefler ele alınmakta ve bu problemlerini çözmek için iki yaygın yöntem kullanılmaktadır. Bunlar ağırlıklı toplam veya skalerleştirme yöntemi *(weighted-sum method/scalarization)* ve pareto analizidir. Ağırlıklı toplam yönteminde çeşitli hedeflerin ağırlıklarına göre katsayılar uygulanarak çok amaçlı optimizasyon parametreleri tek bir fonksiyonda toplanmaktadır. Ağırlıklı toplam yöntemi pareto analizine göre daha kolay uygulanabilir. Ancak sonuçların doğruluğu her bir parametreye ayrılan ağırlık katsayısıyla ilişkilidir ki bu mesleki bilgi ve tecrübe gerektirmektedir. İkinci yöntem olan pareto analizinde ise her bir hedef arasında ödünleşim cephesi veya pareto cephesi bulunmaktır. Pareto cephesi, baskın olma kavramına dayanarak tanımlanmaktadır (Evins, 2013). Şekil 2. 11'de tez çalışması kapsamında çok amaçlı bir optimizasyon probleminin (ısıtma - soğutma enerjisinin minimize edilmesi) çözüm kümesi görülmektedir.

Çok amaçlı optimizasyon probleminde amaçlar x ve y ekseninde soğutma enerjisi (elektrik, kWh) ve ısıtma enerjisi (doğalgaz, kWh) enerjisinin minimizasyonu olarak tanımlanmıştır. Gri noktalar ile gösterilen çözümler baskın değildir, çünkü her iki hedef için daha iyi performans gösteren çözümler bulunmaktadır. Grafikteki kırmızı noktalar ise her iki hedef için daha iyi seçeneklerin bulunduğu baskın çözümlerdir ve pareto optimal cephesini oluşturmaktadır.



Şekil 2. 11. Pareto cephesi (kırmızı noktalar), baskın çözümler (gri noktalar), oluşturulan son tasarım seçenekleri/jenerasyon (mavi noktalar)

2.4.3. Optimizasyon araçları ve metodları (algoritmalar)

Bina performans optimizasyonu çalışmalarında kullanılan araçlar, simülasyon ve optimizasyon arasındaki ilişki açısından bağımsız optimizasyon araçları (özel programlı algoritmalar), optimizasyon motoru tabanlı araçlar ve simülasyon tabanlı optimizasyon araçları olmak üzere üç kategoriye ayrılabilir (Machairas, Tsangrassoulis & Axarli, 2014).

Bağımsız optimizasyon araçlarında algoritmalar programa gömülü olmaklı birlikte, dahili bir enerji simülasyon programıyla eş güdümlü olarak çalıştırılamazlar. GenOpt, MATLAB, modeFRONTIER ve Topgui, bağımsız optimizasyon araçlarına örnektir. Özel olarak programlanmış bu algoritmalar daha esnektir, ancak gelişmiş programlama becerileri gerektirmektedir.

Optimizasyon motoru tabanlı araçlar verilerin içe/dışa aktarıldığı bir enerji simülasyon programı ile birlikte çalışabilmektedir. GENE_ARCH, MOBO, jEPlus, +EA, MultiOpt2 bu araçlara örnektir. Optimizasyon motoru tabanlı bu araçların, bağımsız optimizasyon araçlarına kıyasla daha kullanıcı dostu olduğu söylenebilir. Öte yandan bu araçlar üçüncü parti yazılım geliştiriciler tarafından oluşturulmuştur ve yaygın şekilde kullanılmadıkları için her birinin performansı test edilerek onaylanmamıştır.

Simülasyon tabanlı optimizasyon araçları, gelişmiş programlama becerileri gerektirmemesi, esnek oluşu ve kullanıcıların ara yüzüne alışık olduğu simülasyon programları ile bir arada çalışması bakımından daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bina enerji simülasyon modeli sonuçları, optimizasyon verileriyle doğrudan ilişkilendirilebilmektedir. DesignBuilder optimizasyon modülü, BEopt ve Opt-E_Plus bu gruptaki araçlardır ve diğer iki kategori arasından daha yüksek öğrenilebilirliğe sahiptir (Attia vd., 2013; Tian vd., 2015). Ayrıca bazı çalışmalarda, program içine gömülü optimizasyon paketi yerine, C# , Cygwin, Java, R ve Visual Studio gibi yazılım programlarında konuya özel üretilmiş optimizasyon algoritmaları da kullanılabilmektedir (Attia vd., 2013).

Tian vd. (2015) veri bütünlüğü, birlikte çalışabilirlik, optimizasyon değişkenleri ve işlem sonrası (*post-processing*) veri işleme kapasitesi olmak üzere dört değerlendirme kriterini kullanarak dört farklı optimizasyon motoru tabanlı ve üç simülasyon tabanlı olmak üzere toplam yedi optimizasyon aracını karşılaştırmıştır. Genel olarak simülasyon tabanlı optimizasyon araçları, veri bütünlüğü, eş zamanlı çalışma ve işlem kapasitesi bakımından üstün bulunmuştur. Çalışmada optimizasyon motoru tabanlı araçlar, parametreler açısından daha verimli bulunmakla birlikte, simülasyon tabanlı alternatiflerine göre aracın öğrenme sürecinin daha uzun olduğu ve kullanımlarındaki zorluklar belirtilmiştir (Tian vd., 2015).

Son 30 yılda sosyoloji, biyoloji, zooloji, fizik, bilgisayar ve karar verme gibi bilimler temel alınarak genel uygulanabilirliğe sahip çeşitli optimizasyon metodları (algoritmalar) geliştirilmiştir. En sık kullanılan optimizasyon algoritmaları nümerik algoritmalar, deterministik (berlirleyici - rastgele olmayan) algoritmalar ve stokastik (tahmini-

olasılıksal) algoritmalar olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Sayısal algoritmalar mevcut tüm seçenekleri hesaplayarak en iyi çözümü bulmaları nedeniyle hesaplama açısından daha zaman alıcı ve maliyetlidir. Deterministik optimizasyon, değerlendirme fonksiyonunun ve türevlerinin ayrıntıda bilinmesini gerektirir ki bu pek çok mimari problem için geçerli değildir. Ayrıca, deterministik algoritmalarda değerlendirme fonksiyonu lineer olmalıdır. Bina optimizasyonu, dikkate alınması gereken birçok parametreyi içeren, çok çeşitli ve belirsiz kaynaklarından (örneğin kullanıcı faktörü, dış iklim koşulları vb.) etkilenebilen karmaşık bir problemdir. Nonlineer doğasından dolayı tasarım ve bina servis sistemlerinin çözümünde deterministik algoritmaların kullanımı bu anlamda en uygun seçenek değildir. (Cano, Moguerza ve Alonso-Ayuso, 2016). Stokastik algoritmalar seçenekleri rasgele kullanır ve tüm alanı keşfetmek yerine olasılıklardan yola çıkarak araştırma uzayını örnekler. Dolayısıyla sayısal metodlardan daha az hesap yoğunluğuna sahiptir. Bununla birlikte, stokastik optimizasyon mutlak küresel optimumu bulmayı garanti etmez. Bunun yerine küresel optimal çözümün kabul edilebilir olası değerlerini üretir (Attia vd., 2013; Spall, 2014). Karınca koloni (*ant colony*) algoritması, parçacık sürü (*swarm particle*) optimizasyonu, ardışık arama (*sequential search*) algoritması ve genetik algoritmalar (*genetic algorithm*) bina optimizasyon alanında yaygın olarak kullanılan tahmini popülasyon tabanlı algoritmalara örnektir.

Bina enerji optimizasyon algoritmalarını parametre özelliklerine göre iki kategoride sınıflandırmak mümkündür. Bunlar ayrık parametre yöntemleri ve sürekli parametre yöntemleridir. Tipik bina enerji optimizasyon değişkenleri için (örneğin, duvar yalıtımı, cam tipi, pencere tipi, çatı tipi, vb.) sonlu sayıda seçenek bulunduğundan ayrık parametre yöntemleri genel olarak bina problemleri için kullanılabilmektedir. Ayrık parametre algoritmalarına örnek olarak genetik algoritma (GA), parçacık sürü algoritması ve ardışık arama algoritmaları verilebilir. Pencere-duvar oranı, cephe yönlenişi ve hava sızdırmazlığı gibi sonlu olmayan seçeneklerin mevcut olduğu durumda ise sürekli parametre yöntemleri kullanılarak optimize etmek mümkündür. Simpleks yöntemi, desen arama (*pattern search*) algoritması, uyum arama (*harmony search*) algoritması ve çok yönlü arama (*multi-*

directional search) algoritması, sürekli parametreleri kullanan optimizasyon algoritmalarına örnektir (Tuhus Dubrow & Krarti, 2009; Junghans, 2013).

Karaboğa (2014) optimizasyon problemlerini çözmek için geliştirilen metodlar genel olarak iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar doğrudan (*direct*) araştırma metodları ve optimallik kriterlerine dayalı dolaylı (*indirect*) metodlardır. Optimallik kriterleri, bir fonksiyonun minimum noktalarının sağlaması gereken şartları ifade etmektedir. Optimallik şartlarına göre çözüm arayan metodlar genellikle dolaylı metdolar olarak adlandırılmakta ve önce gerek ve yeter şartlar yazılmaktadır. Ardından bu şartlar bölgesel minimumluğa aday noktalar için çözülmektedir (Karaboğa, 2014). Nguyen, Reiter ve Rigo (2014) çalışmalarında farklı optimizasyon algoritmalarının güçlü ve zayıf yönlerini ele almış ve bunları bölgesel veya küresel yöntemler, deterministik veya stokastik yöntemler, sezgisel (*heuristic*) ve meta-buluşsal yöntemler, türev tabanlı veya türevsiz yöntemler, biyolojik (*bio-inspired*), yörünge veya popülasyon tabanlı yöntemler, tek amaçlı veya çok amaçlı algoritmalar şeklinde sınıflandırmıştır. Araştırmacılara göre algoritma seçiminde dikkat edilecek hususlar tasarım değişkenlerinin doğası (sürekli, ayrık), amaç fonksiyon üzerindeki sınırlamalar (*constrains*), amaç fonksiyonun doğası (lineer veya nonlineer), amaç fonksiyonun birinci ve ikinci dereceden analitik türevlerinin bulunup bulunmadığı, problemin özellikleri (statik veya dinamik, vb.) ve algoritmanın performansıdır. Benzer değerlendirmeler Evins (2013) ve Machairas, Tsangrassoulis ve Axarli (2014) tarafından da gerçekleştirilmiştir. Karaboğa'ya göre (2014) optimizasyon algoritmalarının seçimindeki kriterler şu şekildedir (Karaboğa, 2014):

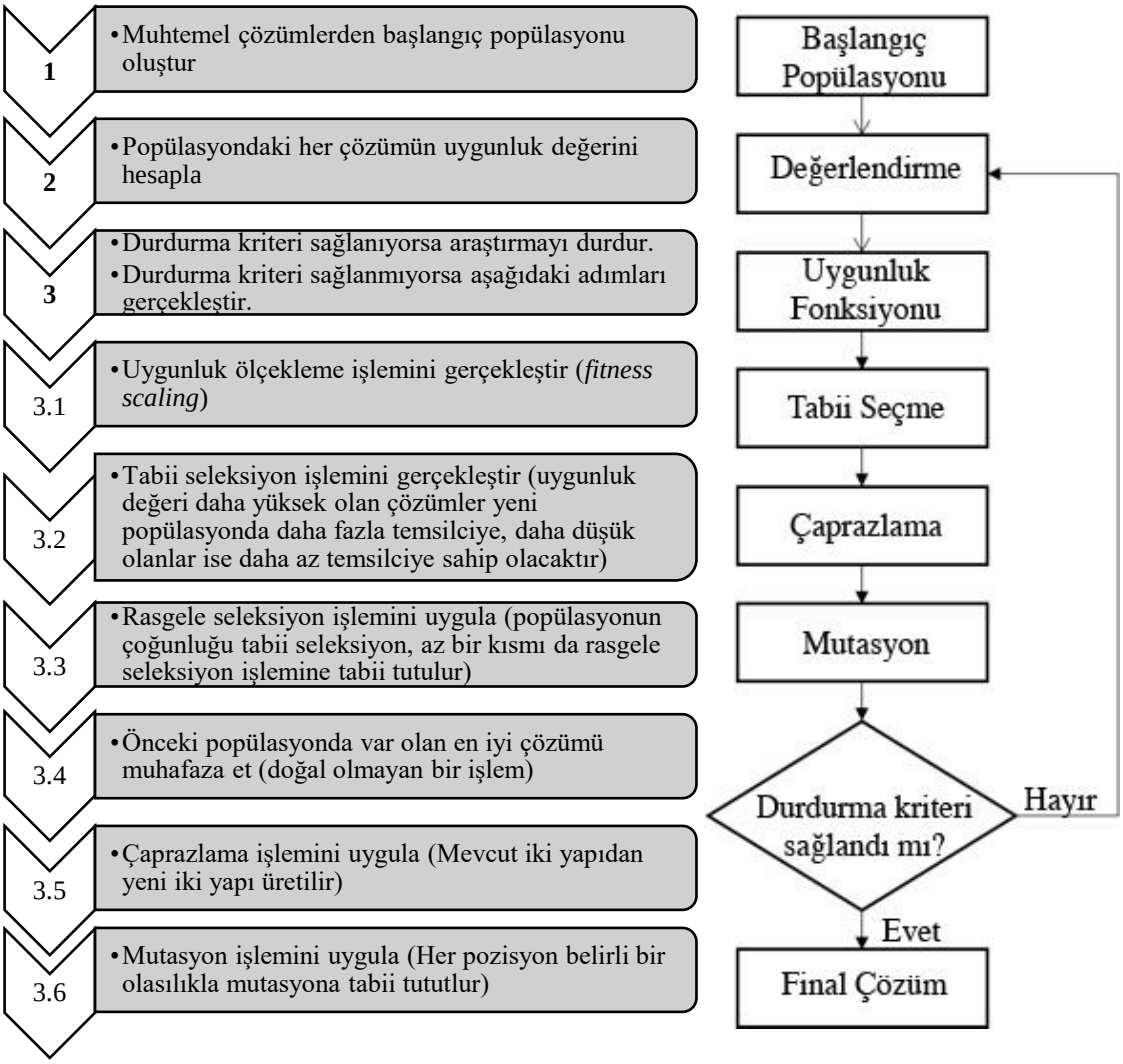
- **Çözüm kalitesi ve hesaplama zamanı:** Herhangi bir algoritmanın etkinliğinin değerlendirilmesi için önemli bir etmendir. İyi bir algoritma, ayarlanabilir parametre setine sahip olmalı ve bu parametreler kullanıcıya önemlilik açısından hesaplama maliyeti ile çözüm kalitesi arasında bir vurgulamanın yapılabilmesine imkan vermelidir. Yani çözüm kalitesi ve hesap zamanı arasındaki ilişki kontrol edilebilmelidir.
- **Kod basitliği ve gerçeklenebilirlik:** Algoritma prensipleri basit ve genel olarak uygulanabilir olmalıdır. Bu durum, problem yapısı ile ilgili başlangıçta çok az bilgiye

sahip olunması halinde bile algoritmanın yeni alanlara kolaylıkla uygulanabilmesini sağlar.

- **Esneklik:** Algoritmalar modelde, sınırlamalarda ve amaç fonksiyonlarında yapılacak değişiklikleri kolayca karşılayabilmelidir.
- **Dinçlik (*robustness*):** Algoritma başlangıç çözümünün seçimine bağlı olmaksızın her zaman yüksek kaliteli, kabul edilebilir çözümleri üretebilme kabiliyetine sahip olmalıdır.
- **Basitlik ve analiz edilebilirlik:** Karmaşık algoritmalar, esneklik ve çözüm kümesi açısından basit algoritmalardan daha zor analiz edilebilmektedir.
- **Etkileşimli hesaplama ve teknoloji değişimleri:** Algoritma içinde insan-makine etkileşimini kullanma fikri günümüzde çoğu sistemde yaygın olarak gerçekleştirilmektedir. İyi bir kullanıcı ara yüzüne sahip olmak ve çözümlerin grafiksel olarak sergilenebilmesi yazılımı ve algoritmayı daha kullanışlı hale getirmektedir.

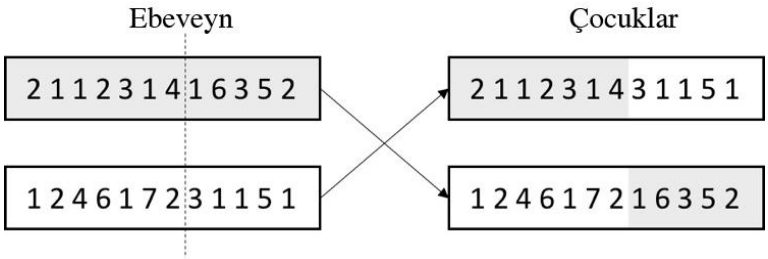
Optimizasyon algoritmasının seçimi araştırma problemine özgüdür ve genellenemez. Diğer bir deyişle, bir problem için iyi performans gösteren algoritma diğer bir problem için aynı şekilde başarılı bir çözüm üretemeyebilir. Bu nedenle optimizasyon problemine uygun algoritma seçimi önemlidir. Hamdy, Nguyen ve Hensen (2016) çalışmalarında seçilen algoritmanın maliyet ve/veya enerji etkinliğindeki başarısının sadece algoritmanın doğasına değil aynı zamanda değişken ayarlarına da bağlı olduğunu belirtmiştir. Optimizasyon araçlarında genellikle genetik algoritma (GA), Hooke-Jeeves algoritması, parçacık sürüsü algoritması (*swarm particle*) ve simpleks algoritması gibi optimizasyon algoritmaları bulunmakla birlikte, karmaşık mimari tasarım problemleri gibi tek ve/veya çok amaçlı optimizasyon hedeflerini çözmekte genellikle optimallik kriterlerine dayalı dolaylı (*indirect*) metodlar kullanılmaktadır. Bina performans optimizasyonu alanında yapılan sürekli ve ayrık değişkenleri içeren pek çok çalışma, evrimsel hesaplama metodlarının diğer optimizasyon algoritmalarından daha yüksek bir performans gösterdiğini ortaya koymaktadır (Caldas & Norford, 2002; Attia vd., 2013; Hamdy, Hasan & Siren, 2013; Nguyen, Reiter ve Rigo, 2014; Su & Yan, 2015).

Genetik algoritma (GA) ilk kez Holland tarafından 1970'lerde sezgisel (heuristic) araştırma yaklaşımı olarak önerilmiştir (Holland, 1975). Genetik algoritma Darwin'in biyolojik evrimin doğal seleksiyon (tabii seçme) sürecine dayanmaktadır (Galletly, 1998). Algortima araştırma uzayında bulunan çözümlerin bazılarının oluşturduğu bir başlangıç popülasyonunu (*initial population*) kullanmaktadır. Başlangıç popülasyonu her jenerasyonda (*generation*), tabii seçme (*natural selection*), tekrar üreme (*reproduction*), çarpazlama ve mutasyon işlemleri vasıtasıyla art arda geliştirilir. Genetik algoritma, mevcut popülasyonda iyi performans gösteren bireyleri rasgele seçer, olasılık dağılımlarını (*probability distributions*) kullanarak en iyi çözümü bulmaya yönelik iterasyon (yineleme) yapar ve onları yeni nesil üretmek için ebeveyn olarak kullanır. İterasyon, durdurma ölçütü (hedef) yerine getirilinceye kadar tekrarlanır; yani popülasyon optimal bir çözüme doğru "gelişir" (Mathworks, n.d.; Tuhus Dubrov ve Krarti, 2010; Junghans, 2013). En son kuşağın ya da neslin en uygun yani en kaliteli (*fittest*) bireyi, problem için optimal çözüm olmaktadır. Bu çözüm her zaman en iyi çözüm olmayabilir ancak optimale en yakın bir çözümdür. Şekil 2. 12'de genetik algoritmanın temel adımları görülmektedir. (Karaboğa, 2014; Tuhus Dubrow ve Krarti, 2009).



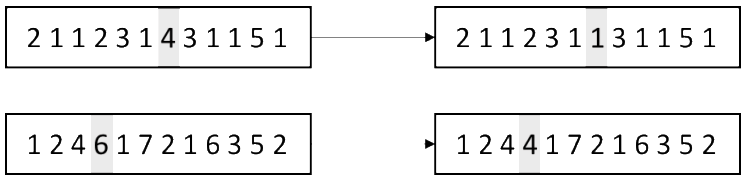
Şekil 2. 12. Genetik algoritmanın temel adımları (Tuhus Dubrow ve Krarti, 2009; Karaboğa, 2014)

Popülasyon oluştuğunda çaprazlama (genetik değişim) için çözümler eşleştirilir. Çapraz çift ebeveynleri parçalayıp yeniden birleştirerek yeni çözümler (çocuklar) yaratır. Bir çift ebeveyn, rasgele seçilen bir noktada kırılır ve daha sonra genlerin çapraz değiştirilmesi yoluyla yeniden bir araya getirilir. Şekil 2. 13'te çaprazlama (genetik değişim) kavramı gösterilmektedir (Wang, Zmeureanu, & Rivard, 2005; Tuhus Dubrow ve Krarti, 2009; Bae, 2016).



Şekil 2. 13. Çaprazlama (genetik değişim) örneği (Bae, 2016)

Şekil 2. 14'te mutasyon ile çözüm kümesindeki bireylerin genlerinin rastgele değiştirildiği görülmektedir. Mutasyon, erken bir yakınsamadan kaçınmaya ve global optimumu aramayı sürdürmeye yardımcı olur. Mutasyon oranı, optimizasyon işleminin başında kullanıcı tarafından belirlenir. Mutasyondan sonucunda çözümler bir sonraki iterasyon için yeni nesil oluşturur. Şekil 2. 12'deki basitleştirilmiş GA sürecinde ifade edildiği gibi optimizasyon problemi hedefi yerine getirilinceye kadar tüm süreç tekrarlanmaktadır (Tuhus-Dubrow ve Krarti, 2009).



Şekil 2. 14. Mutasyon örneği (Bae, 2016)

Bina performans optimizasyonu çalışmalarının sayısı son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. Evins'in (2013) bu alanda yaptığı literatür araştırmasına göre, incelenen çalışmanın %38'i yapı kabuğuna; %21'i bina formuna; %17'si iklimlendirme sistemlerine; %16'sı yenilenebilir enerjiye odaklanmıştır. Diğer çalışmalar ise bina otomasyon-kontrol stratejileri ve aydınlatma sistemlerine ilişkin optimizasyon problemlerinden oluşturmaktadır. Çalışmaların %53'ü tek amaçlı optimizasyona yöneliktir. %8'i çok amaçlı optimizasyonda ağırlıklı toplam yaklaşımını kullanmış ve %39'u Pareto metodunu kullanmıştır. Bilimsel araştırmaların yarısından çoğunda kullanılan en yaygın optimizasyon metodu GA olmakla beraber diğer kullanılan yöntemler doğrudan araştırma, deneme yanılma ile benzetim ve parçacık sürü (*particle swarm*) optimizasyonudur. Bu çalışmalar

%60 oranında en yaygın optimizasyon hedefi olarak enerji tüketimine odaklanmıştır. Diğer optimizasyon problemleri maliyet, konfor, gün ışığı performansı, yapı elemanlarının boyutlandırılması, malzemesi seçimi, HVAC sistemlerinin çalışma stratejisi, mekanik sistem kapasitesi, iç ortam ayar sıcaklıkları, bina otomasyon sistemi ayarları ve çevresel etkileri konu almaktadır. Aşağıda bu alanda yapılan literatür araştırması özetlenmiştir.

Schwartz, Raslan ve Mumovic (2016) mevcut bir konut kompleksinin yenilemesi için çok amaçlı bir optimizasyon modeli önermiştir. Optimizasyon hedefleri, binanın yaklaşık 60 yıllık yaşam döngüsü boyunca karbon ayak izinin ve maliyetlerin en aza indirilmesidir. Değişkenler duvar yalıtım malzemeleri, ısı köprüsü oluşturan taşıyıcı sistem ve pencere/duvar (saydamlık) oranıdır. Çalışma optimal tasarım çözümlerine ilişkin başarılı sonuçlara ulaşmakla birlikte, yıllık enerji tüketimi iyileştirmesinin yaşam döngüsü CO_2 emisyonunun yükselmesine neden olabileceğini göstermektedir.

Ascione vd. (2015) binalarda enerji performansının ve ısıl konforun optimize edilmesi için çok amaçlı bir optimizasyon modeli geliştirmiş ve metodoloji Akdeniz iklim bölgesindeki iki farklı konut binasına uygulanmıştır. Araştırmada MATLAB ve GA yöntemi ile EnergyPlus simülasyon motoru kullanılmıştır. Tasarım değişkenleri, yapı kabuğunu oluşturan malzemelerin kalınlığı, ısıl geçirgenlik katsayısı (U değeri), ısıl kütle kapasitesi ve ışınım özellikleridir. Aynı çalışmada farklı iklim bölgeleri için optimizasyon sonuçlarına da yer verilmiştir.

Azari vd. (2016), binalardaki enerji tüketiminin çevre ve yaşam döngüsü değerlendirmesi üzerindeki etkilerini optimize etmek için çok amaçlı bir optimizasyon modeli kullanmıştır. Tasarım değişkenleri yalıtım malzemeleri, pencere türleri, doğrama profil malzemeleri, duvar ısıl direnci ve saydamlık oranlarını içermektedir. Enerji simülasyon aracı olarak eQuest programı ve çevresel etki tahmin aracı olarak AthenaIE kullanılmıştır. Optimizasyon modeli için hibrid bir yapay sinir ağı ve GA tercih edilmiştir.

Hani ve Koiv (2012), karasal ikliminde ve yaz mevsiminde bir ofis binasının yapı kabuğu özelliklerini optimize etmek için GenOpt programından faydalanmıştır. Djuric vd. (2007), bir okul binasının ısıtma sistemi tasarımına ve kontrolüne ilaveten yapı kabuğu yalıtımını optimize etmek için yine GenOpt programını kullanmıştır.

Lartigue, Lasternas ve Loftness (2013), minimum ısıtma yükü, minimum soğutma yükü ve azami iç mekan gün ışığı alımı hedefleri doğrultusunda yapı kabuğunu optimize etmek için bir model önermiştir. Optimize edilen değişkenler saydamlık oranı ve saydam bileşen türleridir. Enerji performans simülasyonu için TRNSYS, günışığı simülasyonları için Daysim ve optimizasyon aracı olarak GenOpt yazılımı kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda Pareto analizi kullanılarak farklı hedefler için en uygun çözüm kümesi bulunmuştur.

Carlucci vd. (2015), güney İtalya'da yaklaşık sıfır enerjili bir konutun ısıl ve görsel konfor koşullarını iyileştirmek için çok amaçlı optimizasyon analizi gerçekleştirmiştir. Isıtma ve soğutma dönemini kapsayan bu çalışma kamaşmaya bağlı gün ışığı seviyesinin kontrolünü de içermektedir. Çalışmada EnergyPlus ve GenOpt programlarından yararlanılmıştır. Tasarım değişkenleri olarak duvar, çatı, zemin kaplama malzemeleri, pencere bileşenleri, camın termofiziksel ve optik özellikleri, gölgeleme elemanları ve bina otomasyon sistemleri incelenmiştir.

Labib (2015), gün ışığı performansını tek amaçlı olarak optimize etmek, ışık rafları ve karmaşık tavan formları arasındaki etkileşimi incelemek için Galapagos yazılımını kullanmıştır. Ercan ve Elias Özkan'ın çalışmalarında (2015), gölgeleme elemanlarının tasarımını gün ışığına bağlı optimize edebilmek için yine parametrik tasarım aracı Galapagos kullanmıştır. Araştırmacılar sıcak ve nemli iklim bölgesinde yer alan bir ofis binasının optimum gün ışığı performansına sahip olması için, dört farklı gölgeleme elemanı tasarım alternatifi üzerinden ağırlıklı toplam yaklaşımı kullanılarak bir metodoloji geliştirmiştir.

Tuhus Dubrow ve Krarti'nin çalışmalarında (2009) konut binalarının geometrisinin optimizasyonu için MATLAB programını kullanmıştır. Aynı yazarlar ayrıca bina formu ve yapı kabuğu özelliklerini optimize etmek için GA metodunu kullanarak simülasyon tabanlı bir optimizasyon aracı geliştirmiş, minimum enerji tüketimi ve maliyeti için en uygun tasarım kombinasyonunu bulmayı hedeflemiştir (Tuhus Dubrow ve Krarti, 2010). Dikdörtgen, L, T, diyagonel, U, ve H gibi farklı bina formları ve duvar, döşeme, taşıyıcı sistem, temel çeşitleri, yalıtım seviyeleri, pencere tür ve boyutları gibi çeşitli yapı kabuğu bileşenlerini ele alan bu çalışmanın sonuçları, dikdörtgen ve trapez (yamuk) formlu binaların genel olarak en düşük yapı yaşam dönemi maliyetine sahip olabileceğini göstermiştir.

Lin ve Gerber (2014) parametrik tasarım ve çok amaçlı optimizasyon yöntemlerini kullanarak tasarımcılar için bir enerji performansı geri bildirimi aracı geliştirmiştir. HDS Beagle isimli bu prototip araç, Autodesk Green Building Studio ve Microsoft Excel'i birleştiren, Autodesk Revit programı için bir eklentidir. Bu çalışmadaki optimizasyon hedefleri mekan hiyerarşisi, enerji performansı ve maliyettir. Araştırmada çoklu tasarım değişkenleri ile karmaşık yapı geometrileri ele alınmıştır.

Futrell, Ozelkan ve Brentrup (2015), bina tasarımında minimum enerji tüketimi ve gün ışığından maksimum fayda sağlamak amacıyla bir optimizasyon modeli geliştirmiştir. Ele alınan tasarım değişkenleri tavan yüksekliği, pencerelerin ısıl geçirgenlik katsayısı, pencere genişliği, gölgeleme elemanları ve ışık raflarının uzunluğudur. Örneklem kümesi olarak bir derslik hacmi ele alınmış, hacim dört ana yön için optimize edilmiştir. Pareto analizi kullanılarak ısıtma enerjisi ve gün ışığı performansı bakımından en uygun cephe çözümleri elde edilmiştir. Sonuçlar, güney, doğu ve batı yönelimleri için, ısıtma enerjisi tüketimi ve gün ışığı alımı dengesinin tutarlı olduğunu; ancak cephenin kuzeye yönlendiği durum için enerji – doğal aydınlatma dengesi kurulmasının güçleştiğini göstermektedir.

Zhang, Zhang ve Wang (2016), Grasshopper'ın çok amaçlı optimizasyon problemleri için GA metodu ile çözümler üretebilen eklentisi (*plug-in*) Octopus ve Rhinoceros modelleme

programını kullanarak bir kamu binasının çok amaçlı optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Serbest formlu ve açık planlı bir bina geometrisini optimize edebilmek amacıyla günışığı kazancı ve mekanın verimli kullanımına dayalı bir yaklaşım geliştirilmiştir. GA ile gün ışığı, solar ışınım ve alan verimliliği maksimize edilirken minimum form katsayısının bulunması amaçlanmıştır. Optimize edilmiş serbest formlu bina, aynı hacme sahip küp şeklindeki referans binayla karşılaştırıldığında, %30-53 daha yüksek solar kazancı ve %5 daha fazla alan verimliliği sağlandığı görülmüştür.

Wright, Loosemore ve Farmani (2002), enerji tüketim maliyeti ve ısıl konfor arasındaki dengeyi kurmak için GA metodunu kullanarak çok amaçlı bir optimizasyon analizi gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, iç ortam sıcaklığı, hava hızı (debi), mekanik sistem bileşenlerinin sayısı ve boyutlandırılması, elektronik devrelerin sayısı ve akımı gibi bina alt sistem tasarım değişkenlerine ilişkin uygulanabilir çözümler geliştirilmiştir.

Kusiak ve Xu (2012) minimum enerji tüketimi ile kabul edilebilir iç ortam konfor şartları korunarak HVAC sistemlerinin çok amaçlı optimizasyonu üzerine bir çalışma yapmıştır. Kullanılan optimizasyon modeli parçacık sürü algoritmasına dayanmaktadır. Optimizasyon modeli için seçilen değişkenler iç ortam hava sıcaklığı, bağıl nem oranı, pompa ve fanların çalışma stratejisi gibi girdileri içermektedir. Optimize edilmiş model mevcut bir binanın HVAC sistemine uygulanmış ve enerji tüketiminde %30 azaltım sağlanmıştır.

Bina performans optimizasyonu çalışmaları ayrıca yenilenebilir enerji sistemleri, kojenerasyon sistemleri, güneş enerjili sistemler, jeotermal enerji ve enerjinin depolanması konularını da içermektedir. Yenilenebilir enerji sistmleri yüksek bir ilk yatırım ve işletme maliyeti gerektirebildiğinden, bu alandaki çalışmalar sistem verimliliği ve maliyet arasındaki dengeyi kurmaya odaklanmıştır. Kayo ve Ooka (2009), enerji dağıtım sisteminin çok amaçlı optimizasyonu için GA metodunu kullanmıştır. Bu çalışmadaki bina performans hedefleri ısıtma yükü, soğutma yükü ve elektrik arzının dengelenmesi ile enerji tüketiminin ve maliyetin en aza indirgenmesidir. Çalışmada önerilen model Tokyo'daki bir hastane binasına uygulanmış ve optimal tasarım seçenekleri sunulmuştur.

Fan ve Xia (2017), ağırlıklı toplam yöntemi ile mevcut bir binanın yenileme (*retrofit*) projesi için çok amaçlı optimizasyon gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada optimizasyonun hedefi, enerji tasarrufu ve ekonomik faydayı eş zamanlı olarak üst düzeye çıkarmaktır. Tasarım değişkenleri PV paneller, güneş kollektörleri, pencere, duvar ve çatı elemanlarıdır. Çalışmanın sonuçlarına göre en iyi iyileştirme planı 24 yılın sonunda kabul edilebilir ekonomik faydayı ve istenen enerji tasarrufunu sağlayabilecektir. Bu çalışmaya benzer şekilde Bornatico vd. (2002) İsviçre'deki orta ölçekli müstakil bir konutta güneş enerjisi sistemlerinin optimizasyonu için MATLAB programını kullanmıştır.

Literatürde yer alan, farklı alanlardaki araştırma çalışmalarına bağlı olarak, simülasyon tabanlı optimizasyon yaklaşımının bina performansını artırmada; pasif sürdürülebilir, düşük enerjili, NSEB ve artı enerjili binalar gibi yüksek performans hedeflerine ulaşmakta etkili bir yöntem olduğu söylenebilir. Son yirmi yıl içeriside konutlara ilişkin gerçekleştirilen performans optimizasyonu araştırmalarında çeşitli tasarım değişkenleri ele alınmış ve bina enerji modelleri farklı veri setleri üzerinden test edilmiştir (Wetter & Wright, 2003; Znouda, Ghrab-Morcos & Hadj-Alouane, 2007; Kampf, Wetter & Robinson, 2010; Bambrook vd., 2011; Fesanghary vd., 2012; Ihm & Krarti, 2012; Attia vd., 2012; Yu vd., 2015; Sim & Sim, 2016; Gou vd., 2018; Chen, Yang, & Zhang, 2018; Gercek & Arsan, 2019; Al-Saadi & Al-Jabri, 2020; Forde vd., 2020; Forde vd., 2020; Homaei & Hamdy, 2020; Zhang, Liu & Wang, 2020). Bu çalışmalarda erken tasarım aşamasında optimizasyon tekniklerinin (simülasyon araçları ve alrogitmalarının) kullanılmasının, referans duruma kıyasla bina enerji performansını olumlu yönde etkileyeceği sonucuna varılmıştır. Öte yandan optimizasyon sonuçlarının bina enerji modeli ve algoritma seçimi gibi faktörlerden etkilendiği görülmüştür.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal ve yöntem bölümde ilk olarak Türkiye'deki konut binalarının tasarımı aşamasında iklimsel ve görsel konfor, gün ışığı alımı, enerji tüketimi, global maliyet ve çevresel etkiler açısından etkin tasarım alternatiflerinin geliştirilmesine yönelik "Konutlarda Enerji Optimizasyonu Üzerine Bir Tasarım Destek Modeli" başlıklı yaklaşım tanıtılmıştır. Çalışma kapsamında ele alınan ısıl konfor, görsel konfor, bina enerji performansı ve ekonomik değerlendirme kriterleri bina performans ölçütleri başlığı altında açıklanmıştır.

Bölüm 3.3'te çalışma için seçilen bina performans hesaplama araç ve yöntemlerine yer verilmiş, simülasyon programları ve optimizasyon motodunun seçim kriterleri açıklanmıştır. Bölüm 3.4'te ilk olarak alan çalışmasında kullanılmak üzere hazırlanan bina tanıtım formunun içeriğine yer verilmiş, ardından konut kullanıcılarının ısıl konfor, görsel konfor koşulları ve enerji tüketim algısını belirlenmeye yönelik kullanım sonrası değerlendirme anketi sonuçları özetlenmiştir. Aynı bölümde alan çalışması ve piyasa araştırmasıyla simülasyon hesaplamalarına ilişkin elde edilen veriler ile iklim, kullanıcı, mimari tasarım, bina alt sistemleri ve finansal göstergeler için yapılan kabuller bulunmaktadır. Bölüm sonunda örnek konut projelerinin enerji ve iç mekan aydınlatma modellerine yer verilmiş ve simülasyon adımları özetlenmiştir.

Bölüm 3.5'te öncelikle konutların performansını arttırmaya yönelik tedbirlerin kapsamı belirlenmiş, BES modeli üzerinde test edilecek değişkenler mimari tasarım ve bina alt sistemleri başlıkları altında gruplandırılmıştır. Ardından bina enerji performans ölçütleri için simülasyon ve duyarlılık analizi adımları açıklanmıştır. Bölüm 3.6'da BES tabanlı optimizasyon adımları ve optimizasyon çözümlerinin global maliyetinin hesaplanmasında kullanılan yöntem tanıtılmıştır.

3.1. Konutlarda Enerji Optimizasyonu Üzerine Bir Tasarım Destek Modeli Önerisi

Binalar pek çok sayıda yapı elemanı, malzeme ve alt sistemden meydana gelmektedir. Tüm bileşenlerin enerji ve kaynakların korunumu, konfor, sürdürülebilirlik ve çevresel etki gibi bina performans hedeflerini karşılayacak bir yaklaşımla ele alınması, günümüzde konvansiyonel tasarım anlayışının yerini alan bütünleşik tasarım sürecinin önemini ortaya koymaktadır. Enerji verimliliği bakımından mimari tasarım (pasif) değişkenleri ve doğrudan enerji tüketen bina alt sistemleri (aktif tasarım) değişkenlerinin sayıca çok olması ve tasarım çözümlerinin performansının makul bir süre içerisinde değerlendirilmesi gerekmesi, öte yandan proje paydaşları için karmaşık bir problemi de beraberinde getirmektedir. Tasarım değişkenlerinin iklim bölgesine uygun seçeneklerinin birleşimi bulunarak, referans binaya göre fayda üretmeyen ve/veya düşük performanslı seçeneklerin elenmesi ön tasarım sürecinin önemini de ortaya koymaktadır.

NSEB ve maliyet optimum enerji verimli bina performans hedeflerinin gerçekleştirilmesi simülasyon tabanlı optimizasyon araçları ile mümkündür. Bu bağlamda geliştirilen tasarım destek modeli ile konut projelerinin mevcut tasarımları incelenerek ve iklimsel verilere dayalı detaylı dinamik hesaplama yapılarak referans binalar üzerinden yeni bilgilerin üretilmesi amaçlanmıştır. Yaklaşımın adımları aşağıda özetlenmiş ve iş akış şeması Şekil 3.1'de verilmiştir.

1. Referans binanın tanımlanması ve modellenmesi,
2. Referans binanın ısıl konfor, görsel konfor ve gün ışığı performansı analizi,
3. Referans binanın enerji tüketimi, buna bağlı enerji maliyetleri ve çevresel etki analizi,
4. Referans binanın mevcut durumunun değerlendirilerek iyileştirme senaryolarının belirlenmesi,
5. İyileştirme senaryolarının simülasyonu,
6. Duyarlılık analizlerinin yapılması ve optimizasyon değişkenlerinin belirlenmesi,
7. Optimizasyon problemi ve amaç fonksiyonunun tanımlanması,
8. Optimizasyon algoritmasının seçimi,

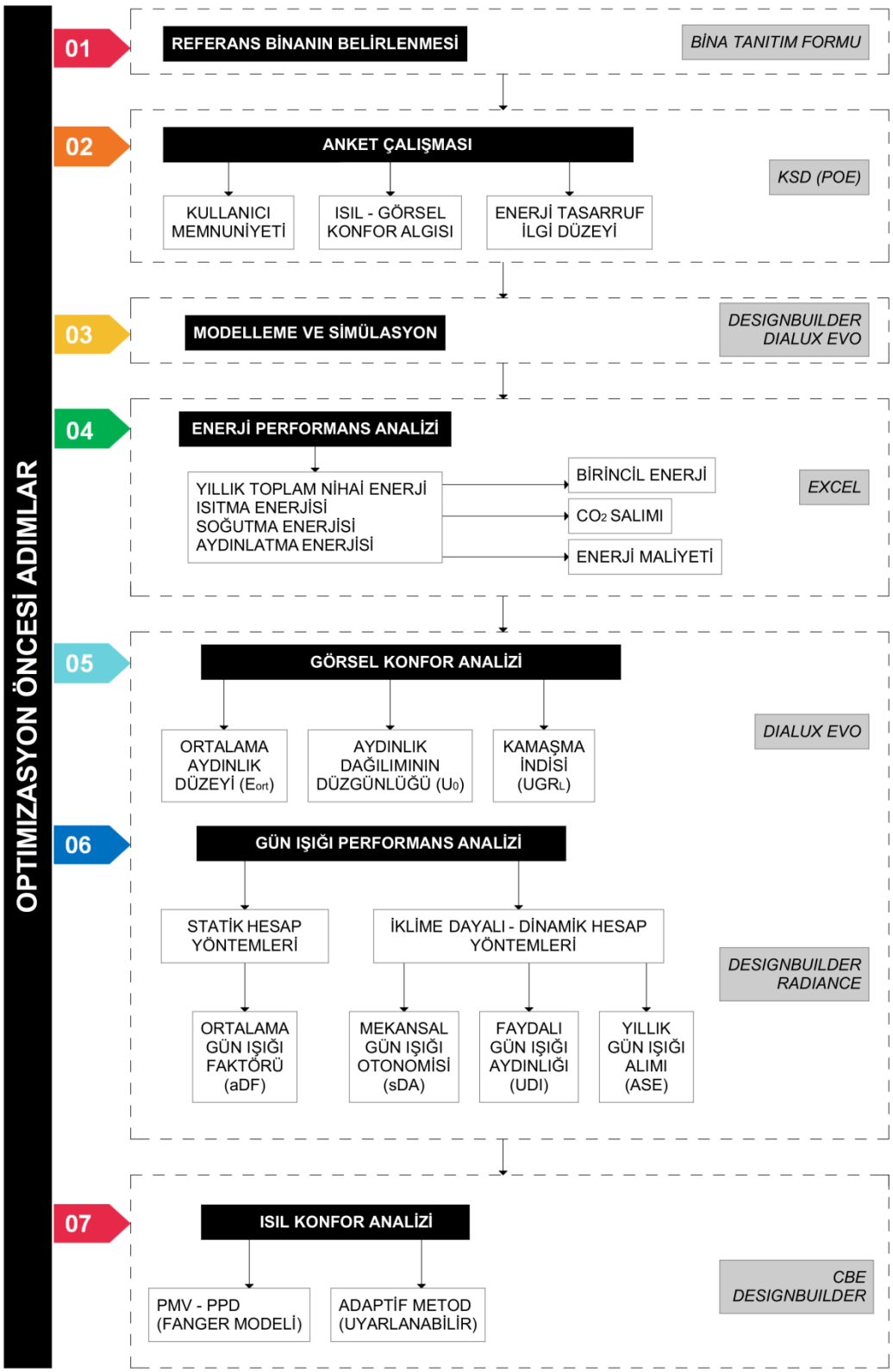
9. Optimizasyon hesaplamalarının yapılması,
10. Optimal çözüm seçeneklerinin global maliyetinin hesaplanması,
11. Optimizasyon sonuçlarının referans binayla karşılaştırılması, enerji odaklı ve maliyet odaklı çözümlerden oluşan seçeneklerin belirlenmesi,
12. Optimal çözüm seçeneklerinin ele alınan diğer bina performans ölçütleriyle birlikte bütüncül olarak değerlendirilmesi.

3.2. Bina Performans Değerlendirme Ölçütlerinin Belirlenmesi

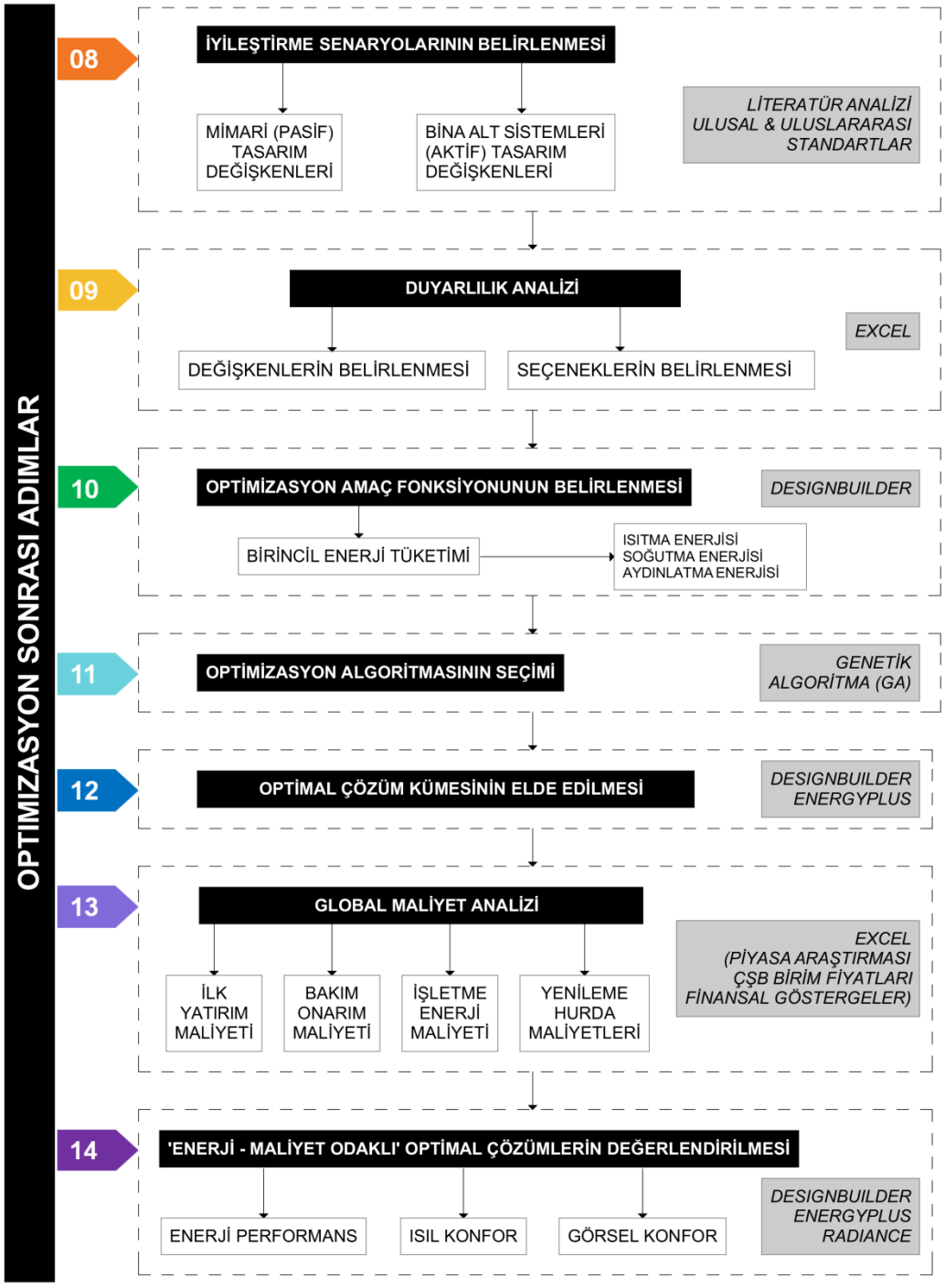
AB Yapı Ürünleri Direkifi'ne (*Construction Products Directive*) göre performans yaklaşımı (CPD, 2011/305/AB), strüktürel performans, yangın güvenliği, sağlık, hijyen ve çevre, kullanım güvenliği, konfor, çevresel etkiler ve enerji performansı gibi farklı alt kategorilerden meydana gelmektedir. Bu tez kapsamında ele alınan performans ölçütleri ise kuramsallar temeller bölümünde açıklanan ısıl konfor ve görsel konfor değerlendirme yöntemlerini referans alan ve binalarda enerji performans düzeyini tüketilen ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi toplam miktarı (nihai ve birincil enerji) üzerinden açıklayan sayısal bir göstergedir. Çalışmada ele alınan analiz yöntemleri ve bina performans değerlendirme ölçütleri aşağıda kısaca açıklanmıştır.

3.2.1. Isıl konfor analizi

Referans bina, iç mekan ayar sıcaklıkları iyileştirme senaryoları ve optimal çözümlere ait ısıl konfor koşulları ASHRAE-55 (2017), BS EN ISO 7730 (2005), EN 16798-1 (2019) ve ASHRAE 90.1 (2004) standartlarında tavsiye edilen konfor gereksinimlerine bağlı olarak aşağıdaki ölçütler için değerlendirilmiştir:



Şekil 3.1. Önerilen modelin iş akış şeması



Şekil 3.1. Önerilen modelin iş akış şeması (devamı)

a) PMV-PPD yöntemi: Referans binaların ısıtma ve soğutma sezonu için iç ortam ayar sıcaklıkları diğer ısıl konfor değişkenleriyle (bağıl nem, hava hızı, metabolik oran, giysi düzeyi) birlikte CBE ısıl konfor hesaplama aracına girilerek BS EN ISO 7730'daki (2005) 7'li likert ölçeği ile tanımlanan PMV ve ona bağlı PPD konfor indisleri hesaplanmış ve ısıtma ve soğutma dönemleri için psikometrik diyagramlar oluşturulmuştur. İç ortam kuru termometre sıcaklığının ortalama ışınım sıcaklığına eşit olduğu varsayılarak statik hesaplamalar operatif sıcaklık üzerinden yapılmıştır. Isıtma ve soğutma dönemleri için V_a: 0,1 m/s, $I_{cl\ kış}$: 1,0 clo, $I_{cl\ yaz:}$ 0,61 clo, *Rh*: %50, *M*: 1,0 met (oturma pozisyonu) olarak hesaba katılmıştır. Aynı işlem iyileştirme senaryoları başlığı altında ele alınan termostat ayar sıcaklıkları senaryoları için tekrarlanmıştır.

DesignBuilder programı aracılığıyla örnek konut sitelerindeki farklı yöne bakan blokların alt, orta ve üst katlarında yer alan dairelerinin iklimlendirme sistemi ile şartlandırıldığı durumdaki konfor koşulları ayrıca iklime dayalı dinamik olarak hesaplanmıştır. PMV-PPD sonuçlarının dağılımı ve değişimi renk ölçeği kullanılarak aylık ve yıllık çizelgeler halinde sunulmuştur. ASHRAE-55'e (2017) göre PMV indisinin ±0,85 aralığında olduğu, PPD'nin %20'yi aşmadığı iç ortam koşulları; EN 16798-1'e (2019) göre PMV'nin ±0,7 aralığında, PPD'nin %15'i aşmadığı (Kategori III) koşullar ısıl açıdan konforlu kabul edilmiştir.

b) Adaptif (uyarlanabilir) yöntem: Örnek konut sitelerindeki farklı yöne bakan blokların alt, orta ve üst katlarında yer alan salon, mutfak, ebeveyn yatak odası ve çocuk odalarının ısıl çevresi mekanik ısıtma ve soğutma sisteminin çalışmadığı ve doğal havalandırma yapıldığı durumda 10°C – 30°C dış ortam sıcaklık aralığı için iklim verileri, dış hava sıcaklığı ve dinamik giysi yalıtım değerlerine bağlı olarak DesignBuilder programında hesaplanmıştır. İç ortam operatif sıcaklıkları ($\boldsymbol{T}_o$) ASHRAE-55'te (2017) yer alan kabul edilebilirlik düzeyleri (%80, %90) ve EN 16798-1'deki (2019) ısıl konfor kategorilerine göre değerlendirilmiştir (bkz. Çizelge 2. 5).

c) Karşılanmayan yük saati (*unmet hours*): bir veya daha fazla zonun iç mekan ısıtma ya da soğutma ayar (termostat) sıcaklığı aralığının dışında olduğu saat sayısının toplamıdır. Konut mekanlarının ısıtma ve soğutma dönemine ait ayar sıcaklıklarının iklimlendirme sistemi tarafından karşılanamadığı saat sayısının toplamının (*time setpoint not met during occupied heating - cooling*) 1 yıla (8760 saat) oranı hesaplanmış ve bu rakamın ASHRAE 90.1'e (2004) göre yılda 300 saatin altında kalması hedeflenmiştir.

3.2.2. Görsel konfor analizi

Referans konut binaları ve iç mekan yapma aydınlatma senaryolarının belirlenen çalışma düzlemleri üzerindeki simülasyon sonuçları TS EN 12464-1 (2021), TS EN 15193-1 (2017), TS EN 17037 (2019) standartları ve IESNA (2011) kılavuzlarında tavsiye edilen görsel konfor gereksinimleri ve eşik değerlere bağlı olarak değerlendirilmiştir. Konut mekanlarında günışığının niceliği ve niteliğini tanımlamak ve günışığı performansını belirlemek amacıyla statik değerlendirme yöntemi olan ortalama gün ışığı faktörünün (aDF) yanı sıra, iklime dayalı dinamik değerlendirme yöntemlerinden faydalı günışığı aydınlığı (UDI), mekânsal günışığı otonomisi (sDA) ve yıllık günışığı alımı (ASE) yöntemi kullanılmıştır.

a) Ortalama aydınlık düzeyi (E_m): Konut mekanlarının (salon, mutfak, ebeveyn yatak odası, çocuk odası ve ıslak hacimler) genel aydınlatması için zemin düzleminden 0,8 m yükseklikte ve oda çeperinden 0,5 m mesafede konumlandırılan yatay çalışma düzlemleri ile bölgelik aydınlatma için tanımlanan yatay, dikey ve eğik çalışma düzlemleri üzerindeki ortalama aydınlık düzeyinin TS EN 12464-1 standardı (2021) ve IESNA (2011) kılavuzlarında tavsiye edilen eşik değerlerin (bkz. Çizelge 2.6 ve Çizelge 2.7) üzerinde kalması hedeflenmiştir.

b) Aydınlığın düzgünlüğü (U_0): Genel ve bölgelik aydınlatma için tanımlanan çalışma düzlemleri üzerinde yapma aydınlatmadan kaynaklanan minimum aydınlığın ortalama

aydınlığa oranının (U_0: E_{min}/E_{ort}) TS EN 12464-1 (2021) standardında tavsiye edilen eşik değerlerin (bkz. Çizelge 2.7) üzerinde kalması hedeflenmiştir.

c) Kamaşma indisi (UGR): Konutların farklı fonksiyonlara sahip mekanlarına ait yapma aydınlatma senaryolarındaki parıltı kontrastının değerlendirilmesi için konforsuzluk kamaşma indisi (UGR) büyüklükleri hesaplanmış, simülasyon sonuçları TS EN 12464-1 standardı (2021) kılavuzlarındaki sınır değerler ile karşılaştırılmıştır (bkz. Çizelge 2.7).

d) Renksel geriverim (R_a): Konut mekanlarındaki görsel eylemlere bağlı olarak kullanıcıların renkleri doğru olarak görmesi ve algılaması için renksel geriverimi (R_a) 0.8 ve üzeri lambalar kullanılmıştır.

e) Ortalama gün ışığı faktörü (aDF): Bu yöntem ile konut mekanlarında yatay çalışma düzlemi üzerindeki gün ışığı miktarı konum, yönlenim ve bina engellerinden bağımsız olarak CIE kapalı gök koşulu altında ele alınmıştır. BS 8206-2 (2008) ve TS EN 17037 (2019) standartlarındaki değerler göz önüne alınarak konut yaşama mekanlarında gün ışığı faktörünün en az %1,5 olması hedeflenmiştir.

f) Faydalı günışığı aydınlığı (UDI): Çalışma kapsamında UDI yöntemiyle ele alınan konut hacimlerinde kullanıcılar için görsel yetersizliğe neden olabilecek düşük (<100lx) ve ısıl ve görsel konforsuzluğa neden olabilecek yüksek (>2000 lx) aydınlık düzeylerine sahip hesap düzlemleri belirlenmiştir. Değerlendirme konut mekan kullanım takvimi dikkate alınarak gün ışığının yıl boyunca etkin olduğu 08:00-18:00 saatleri için yapılmış, gün ışığı almayan saatler simülasyon hesaplamasına dahil edilmemiş, mekan kullanım saatlerinde hacmin taban alanının %50'si için referans aralığın sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiştir.

g) Mekansal günışığı otonomisi (sDA): IES tarafından 2012'de ortaya konan bu yönteme göre çalışma düzleminde hedeflenen minimum aydınlık düzeyi 300 lüks olarak

belirlenmiştir. Konut mekanlarının kullanım senaryosuna göre hacmin taban alanının %55'i için yıllık eşik değerin sağlanıp sağlanmadığı hesaplanmıştır.

h) Yıllık günışığı alımı (ASE): ASE yöntemine görre mekânın kullanım saatleri içerisinde güneş ışığına maruz kalınan süre üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Eşik değer olarak belirlenen 1000 lüks'ün yılda 250 saatten ve hacmin taban alanının %10'nundan fazlasında gerçekleştiği, ısıl ve görsel konforsuzluğun oluşabileceği mekanlar tespit edilmiştir.

3.2.3. Enerji performans analizi

Referans bina, iyileştirme senaryoları ve optimal çözümlerin enerji tüketimleri bilgisayar destekli detaylı dinamik hesaplama yöntemi ile hesaplanmış ve EN ISO 16346 (2013) ile EN ISO 52000-1 (2017) standartlarında tanımlanan enerji performans değerlendirme ilkeleri çerçevesinde incelenmiştir. İyileştirme senaryoları ve optimal çözümlerin referans binaya göre yıllık toplam ısıtma, soğutma, aydınlatma enerjisi, nihai enerji, birincil enerji tüketimi ve bu tüketime bağlı enerji maliyeti ve sera gazı emisyonundaki oransal değişim yüzdelik olarak hesaplanmış ve simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.

a) Nihai (*end use*) ve birincil (*primary*) enerji tüketimi (kWh/m^2.y): Referans binada enerji tüketiminin değerlendirilmesinde nihai enerji ve birincil enerji terimleri kullanılmaktadır. Nihai enerji tüketimi binada konfor şartlarını sağlamak için mekanik sistemlerin tükettiği faturada belirtilen enerji miktarını ifade ederken; birincil enerji tüketimi, cihazların ihtiyaç duyduğu enerjinin temin edildiği kaynağa bağlı enerji üretimi için tüketilen enerjiye karşılık gelmektedir.

Birincil enerji, yakıt cinsine bağlı olarak değişmekte ve nihai enerjinin üretimi, iletimi ve kayıplarına bağlı olarak T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yayınlanan birincil enerji tüketim katsayısı ile çarpılarak hesaplanmaktadır. Birincil enerji tüketim katsayısı doğalgaz için 1'dir. Nihai elektrik enerjisinin fosil kaynaklı birincil

enerjiye dönüşüm katsayısı 2021 yılından itibaren 2,36'dan 1,826'ya güncellenmiştir (ÇŞİDB, 2020).

Çalışma kapsamında doğalgaz ve elektrik tüketimi, ısıtma, soğutma ve aydınlatma sistemleri için nihai ve birincil enerji cinsinden ortalama bir yıl içerisindeki enerji miktarını kapsamaktadır. Mevcut durumu temsil eden sıhhi sıcak su sistemi, elektrikli ev aletleri, pompa ve fan özellikleri enerji modeline girilerek bu ekipmanlardan kaynaklanan iç ısıl kazançlar ısıtma ve soğutma yüklerine dahil edilmiştir ancak bu ekipmanların binanın yıllık toplam nihai ve birincil enerji tüketimindeki payına ayrıca yer verilmemiştir.

b) Enerji tüketimine karşılık gelen doğalgaz ve elektrik maliyeti (TL/m^2.y): Doğalgaz ve elektriğin birim fiyatı 2022 yılına ait Bursagaz konut aboneleri tarifelerinin ortalaması ve TEDAŞ konut aboneleri için tek zamanlı tarifelerin ortalaması üzerinden hesaplanmıştır (Bursagaz, 2022; Uludağelelektrik, 2022). Birim alan için yıllık enerji tüketim maliyeti, simülasyon sonuçlarına bağlı olarak ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi nihai tüketim değerleri ile enerji birim fiyatlarının yıllık ortalaması çarpılarak hesaplanmıştır.

c) Enerji tüketimine karşılık gelen karbon emisyonu (kg.eşd.CO_2/m^2.y): Konutların kullanım döneminde ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi tüketiminden kaynaklı sera gazı emisyonları, nihai enerji tüketimi ve yakıt türüne bağlı karbon emisyonu dönüşüm katsayıları kullanılarak hesaplanmıştır. Nihai enerjinin sera gazına dönüşüm katsayısı doğalgaz için 0,234 kg.eşd.CO_2/kWh; elektrik için 0,555 kg.eşd.CO_2/kWh'dir (ÇŞİDB, 2020).

3.2.4. Maliyet analizi

İyileştirme senaryolarının geri ödeme süresi ve optimal çözümlerin global maliyeti, AB Komisyonunca yayınlanan Binalarda Enerji Performansı Direktifi (EPBD, 2010/31/AB) tarafından mevcut ve yeni binalardaki enerji tasarruf seçeneklerinin ekonomik

performansının analizinde kullanılması önerilen BS EN 15459-1 (2017) standardına göre değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan hesap yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

a) Yatırımın geri ödeme süresi (yıl): BS EN 15459-1 standardında (2017) yatırım geri ödeme süresi yatırım maliyetinin parasal tasarrufla dengelendiği zaman olarak tanımlanmıştır ve iki farklı tasarruf çözümünün maliyet etkinliğini karşılaştırmak için kullanılmaktadır. Çalışmada referans binaya kıyasla iyileştirme senaryolarının geri ödeme süresi iki farklı yöntemle hesaplanmıştır. İlk ve basit yöntemde, Eşitlik 3.1'e göre yatırım geri ödeme süresi (*simple payback*) başlangıç yılı için değişkenin ilk yatırım maliyetinin bir yıllık toplam enerji tasarrufuna oranı olarak hesaplanmıştır. İkinci yöntemde ise göre son beş yılın enflasyon verileri hesaba katılarak hesaplanmıştır (Eşitlik 3.2).

$$PB = (CO_{INIT} - CO_{INIT,ref})/CF\ [yıl] \quad \textbf{(3.1)}$$

$$PB = \ln\left(\frac{1}{1-\frac{(CO_{INIT} - CO_{INIT,ref}).\ RAT_{disc}}{CF}}\right).\ln\left(\frac{1}{1+RAT_{disc}}\right)[yıl] \quad \textbf{(3.2)}$$

Burada;

PB (payback): Geri ödeme süresi (yıl)

RAT_{disc}: İskonto oranı (Uygulama yılı için indirim oranı)

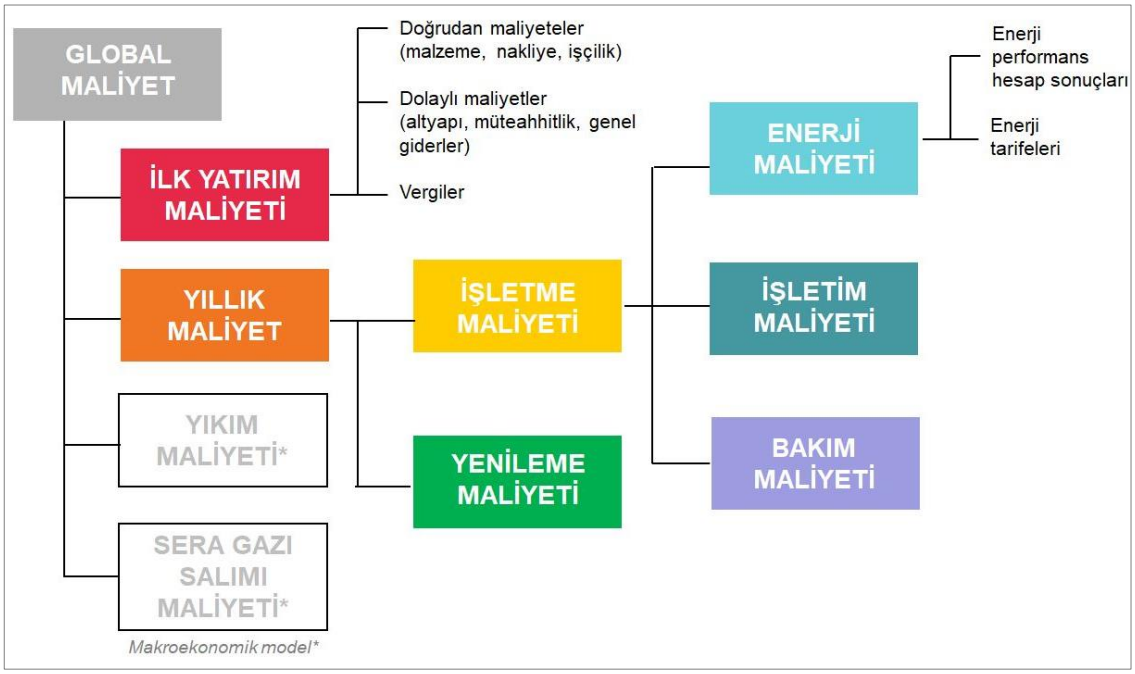
CO_{INIT}: İlk yatırım maliyeti

$CO_{INIT,\ ref}$: Referans bina için ilk yatırım maliyeti (tasarrauf önlemi bulunmuyorsa 0)

CF: Referans bina ve tasarruf seçeneği arasındaki yıllık toplam enerji maliyeti farkıdır.

b) Global maliyet (TL): İlk kez 2002 yılında yayınlanan EPBD 2010 yılında güncellenmiş ve bina için yapılan yatırım ile binanın yaşam döngüsü boyunca enerji tasarruf maliyetleri arasındaki dengeyi tanımlayan "maliyet optimum enerji verimliliği" kavramı ortaya çıkmıştır (EPBD, 2010/31/AB). 244/2012 sayılı AB Yönetmeliğine bağlı Binalarda Enerji Sistemleri için Ekonomik Değerlendirme Prosedürü (BS EN15459-1, 2007) 2017 yılında güncellenerek, mevcut ve yeni binaların enerji sistemlerine ait hesaplamaların yaşam

döngüsü maliyetleri üzerinden değerlendirilmesi için bina performansının tanımını genişletecek kriterler ortaya koyan bir hesaplama yöntemi geliştirilmiştir. Bu kapsamda, mimari ve bina alt sistemlerinin tasarımı veya iyileştirilmesinde, enerji kayıp ve kazançlarını etkileyen olası değişkenlerin ele alınması, bunlar üzerinden maliyet optimum enerji verimliliği seviyesinin belirlenmesi ve değişkenlerin ekonomik yaşam dönemi içersinde global maliyete etkisinin değerlendirilmesi önemli görülmektedir. Global maliyet hesabı enflasyon oranı, enerji fiyatlarının artışı ve faiz oranı gibi finansal değerler ve Şekil 3.3'deki çeşitli maliyet kategorilerini içermektedir. Global maliyet Eşitlik 3.3 ile hesaplanmaktadır.



Şekil 3.2. EN 15149-1 (2017) standardına göre global maliyet hesabı kategorileri

$$CG = CO_{INIT} + \sum_j [\sum_{i=1}^{TC} (CO_{a(i)}(\mathrm{j}) * \left(1 + RAT_{xx(i)}(\mathrm{j})\right) + CO_{CO2(i)}(\mathrm{j})) * D_f_{(\mathrm{i})} + CO_{fin(TLS)}(\mathrm{j}) - VAL_{ft(TC)}t(\mathrm{j})] \quad (\mathrm{TL}) \qquad \textbf{(3.3)}$$

Burada;

CG: Global maliyet

$CO_{a(i)}(j)$: j bileşeninin i yılı için yıllık maliyeti

$RAT_{xx(i)}$ (j): j bileşeninin i yılı için fiyatındaki değişim

$CO_{CO2(i)}$ (j): i yılı boyunca j bileşeni için CO_2 emisyon maliyeti

$D_f_{(i)}$: i yılı için iskonto oranı

$CO_{fin(TLS)}$ (j): j bileşeninin binanın yaşam döngüsü (TLS) sonunda hizmetten çıkarma, söküm ve bertarafı için yıkım maliyeti (T_0 başlangıç yılına göre)

$VAL_{ft(TC)}$ t(j): j bileşeninin hesaplama döneminin sonundaki (T_0 başlangıç yılına göre) nihai (artık) değeridir.

Denklemde görüldüğü gibi, toplam global maliyet nihai (artık) değerin ilk yatırım, yenileme, işletim, enerji ve bakım maliyetlerinin toplamından çıkarılmasıyla hesaplanmaktadır. Burada farklı maliyet türleri bugünkü değer faktörü ile çarpılarak (başlangıç yılına göre) global maliyete dönüştürülmekte, iskonto oranı yoluyla yatırımı bugünkü değerine çevirerek paranın zaman değerini dikkate alınmaktadır. Bugünkü değer faktörü (veya iskonto oranı), enerji, malzeme ve işçilik gibi maliyet bileşenleri için değişen enflasyon oranlarına bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Global maliyet kategorileri aşağıda kısaca açıklanmış, MS Excel programında oluşturulan hesap cetveli ve formüller EK 6'da verilmiştir.

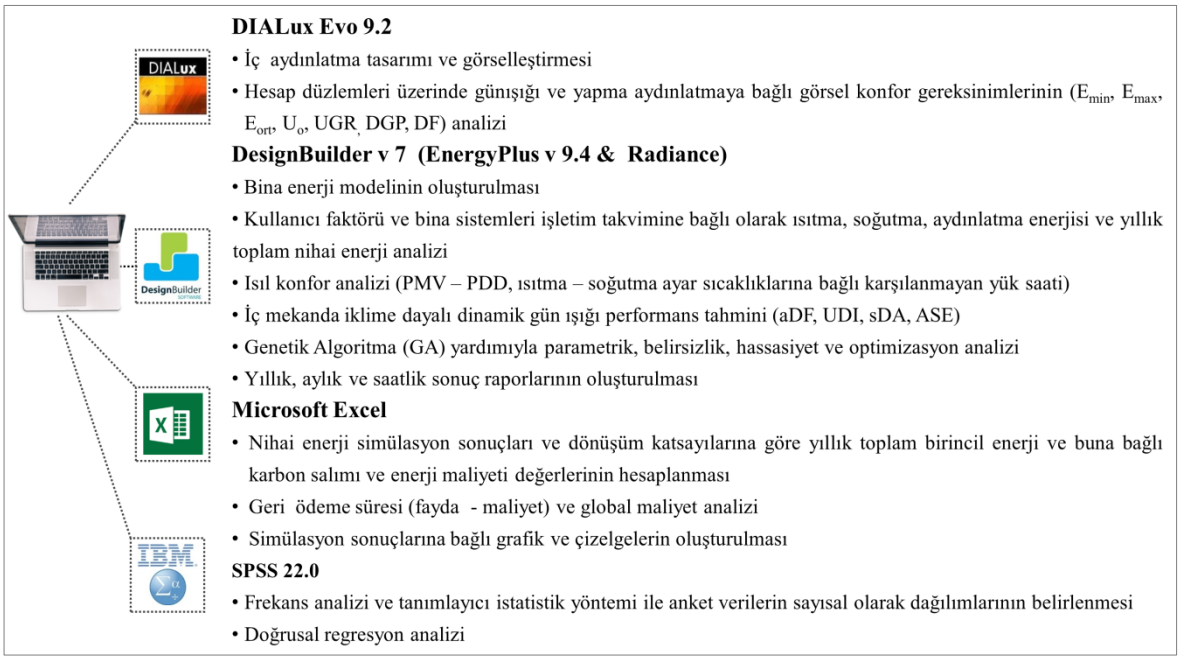
- **İlk yatırım maliyeti (*initial investment cost,* CO_{INIT}):** Yapı elemanı veya binanın kullanıma hazır halde müşteriye teslimine kadar oluşan maliyetlerin toplamıdır. Bu maliyetler tasarımın yanı sıra piyasa temelli malzeme, nakliye, işçilik, kurulum, devreye alma gibi müteahhitlik hizmetlerini ve vergileri içermektedir.
- **Yıllık maliyetler (*annual cost,* $CO_{a(i)}$):** Hesap süresi içerisinde bakım (*maintenance cost*), işletim (*running cost*) ve enerji maliyetlerinin toplamından meydana gelen işletme maliyeti (*operational cost*) ve yenileme maliyeti (*replacement cost*) yıllık maliyetleri oluşturmaktadır. Bakım maliyeti, enerji kayıp ve kazançlarını etkileyen yapı bileşenlerinin kalitesini korumak veya eski haline getirmek için alınan temizlik, onarım ve sarf malzemesi tüketimi gibi yıllık maliyetleri içermektedir. İşletim maliyeti yıllık sigorta maliyetleri, abonelik, erişim, hizmet alım ücretleri ve vergiler dahil olmak binanın işletilmesiyle bağlantılı diğer sabit giderleri temsil etmektedir. Enerji

maliyetleri enerji tüketimine, enerji kaynaklarına ait yerel tarifelere, sabit ve pik değerlere ve ulusal vergilere bağlı maliyetlerin toplamından oluşmaktadır. Yenileme maliyeti, bir yapı bileşeninin hizmet ömrü sonunda değiştirilmesi ile ortaya çıkan periyodik maliyeti ifade etmektedir. Yenileme maliyetinin hesaplamasında bileşenin ilk yatırım maliyeti, hizmet ömrü ve bugünkü değer faktörü kullanılmaktadır.

- **Yıkım maliyeti (*disposal cost,* $CO_{fin(TLS)}$):** Ömrünü tamamlamamış bina veya yapı elemanlarının söküm, nakliye, geri dönüşüm ve bertaraf maliyetlerini içermektedir.
- **Nihai (artık) değer maliyeti (*residual value,* $VAL_{ft(TC)}$):** Malzeme ve ekipmanların hesaplama süresinin sonunda kalan ömürlerine göre bugünkü değer faktörü (veya iskonto oranı) kullanılarak artık değerleri hesaplanmaktadır. Bina performans yönetmeliğinde global maliyet hesaplama süresi konut ve kamu binaları için 30 yıl, konut dışı binalar için 20 yıl olarak verilmiştir (EPBD, 2010/31/AB).
- **CO_2 emisyon maliyeti ($CO_{CO2(i)}$):** Binalarda enerji tüketimine karşılık gelen CO_2 emisyonunun neden olduğu çevresel zararın parasal değerini temsil etmektedir. Bu kapsamda CO_2 emisyonu, 100 yıllık bir süre boyunca CO_2'ye eşdeğer olarak ifade edilen küresel ısınma potansiyeli ile ağırlıklandırılmış tüm sera gazlarının etkisini ifade etmektedir (BS EN 15978, 2011).

3.3. Bina Performans Hesaplama Araç ve Yöntemlerinin Belirlenmesi

Bu bölümde hesaplamaya ilişkin yöntem ve araçların seçim kriterlerine yer verilmektedir. Çalışma kapsamında DIALux Evo, DesignBuilder, Microsoft Excel ve SPSS programları kullanılarak üç örnek konut sitesinin konfor koşulları, enerji tüketimi ve global maliyeti sistematik olarak incelenmiştir. Şekil 3. 3'te ilgili bilgisayar programları, kullanım alanları ve analiz türleri görülmektedir.



Şekil 3. 3. Çalışma kapsamında kullanılan bilgisayar programları, kullanım alanları ve analiz türleri

3.3.1. Simülasyon programlarının seçimi

AB Binaların Enerji Performans Direktifi ve revize direktiflerinde (EPBD - 2002/91/AB; EPBD, 2010/31/AB; EPBD, 2018/844/AB) öngörüldüğü şekliyle binaların enerji performansının değerlendirilmesinde bilgisayar tabanlı hesaplama araçları kullanılmıştır. Yıllık 8760 saat (24saat/365 gün) için detaylı dinamik hesaplama yapma, bina tasarım parametrelerini ve binayı koşulandıran mekanik sistemleri analiz edebilme, ısıl kütle etkisini hesaba katma, çok sayıda zonu birbiriyle etkileşimli olarak eşzamanlı modelleme, aydınlatma, doğal havalandırma, mekanik sistemler, elektrikli cihaz ve ekipmanların işletimine ilişkin kullanım takvimlerini yılın her günü için saatlik olarak tanımlayabilme, enerji tüketimi, karbon emisyonu, gün ışığı, ısıl konfor ve maliyet açısından bina performansını gösteren aylık, günlük ve saatlik sonuç raporu ve grafikler oluşturma, mimarlara uygun kullanıcı dostu bir arayüze sahip olma gibi özelliklerinden ötürü bina enerji modellemesi için EnergyPlus tabanlı DesignBuilder yazılımı seçilmiştir. Programın

v.7 mimari sürümüne ait modülleri DDP(MM)-2019/6 kodlu BAP projesi kapsamında satın alınmıştır.

DesignBuilder ısıl konfor ve bina enerji performans hesaplamaları için EnergyPlus simülasyon programını kullanmaktadır. EnergyPlus ABD Enerji Bakanlığı (United States Department of Energy – DOE) tarafından geliştirilen, bina enerji verimliliğini etkileyen tüm mimari, mekanik, elektrik sistemi ve yenilenebilir enerji parametrelerini temsil edebilen ve geçerliliği uluslararası standartlarınca (*Building Energy Simulation Test* – BESTEST) test edilip onaylanmış (ANSI/ASHRAE Standard 140, 2001) kapsamlı bir simülasyonu motorudur. Konut mekanlarının gün ışığı performansının iklime dayalı dinamik hesaplanmasında yine DesignBuilder programı arayüzü ile Radiance simülasyon motoru altyapısı kullanılmıştır.

Konutlarda iç mekan aydınlatma tasarımına bağlı görsel konfor koşullarının değerlendirilebilmesi için günümüzde mimarlar, iç mimarlar, elektrik mühendisleri ve aydınlatma tasarımcıları tarafından sıklıkla kullanılan ve çevrimiçi kütüphanesinde global aydınlatma firmalarının kataloglarındaki armatürlerin teknik özelliklerine ve 3D modellerine ulaşılabilen DIALux Evo programı seçilmiştir.

3.3.2. Optimizasyon metod ve aracının seçimi

Çalışma kapsamında araştırma alanındaki uygulanabilirliği göz önüne alınarak, farklı ölçeklerdeki konut tasarım kararlarını yönlendirmek ve bina ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerji performansını iyileştirmek için optimizasyon metodu olarak genetik algoritma (GA) seçilmiştir. Optimizasyon probleminde kullanılacak algoritma seçiminde çok sayıda tasarım alternatifi içerisinden en uygun seçeneklerin bulunabilmesi ve çözümün güvenilir olması önemli görülmüştür. Bölüm 2.4.3'te detaylı yer verildiği üzere GA, bina geometrisi, cephe yönlenimi, yapı kabuğu özellikleri, mekanın gün ışığı alımı, aydınlatma ve doğal havalandırma stratejileri, HVAC boyutlandırılması, yapma aydınlatma sistemlerinin tasarımı ve bina otomasyonu optimizasyonu araştırmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Ele

alınan optimizasyon parametreleri hem sürekli değişkenleri (örneğin parametrik tasarım bileşenleri) hem de ayrık değişkenleri (örneğin yapı bileşenlerinin malzeme özellikleri) içerdiğinden, her iki değişkeni bir arada işleme yeteneği optimizasyon problemi için algoritma seçiminde belirleyici bir özelliktir. Genetik algoritma metodunun etkinliği ile ilgili mevcut çalışmalar, GA'nın daha az simülasyonla ve düşük bir hata payı içinde (%0,4) optimal bir çözüm kümesi üretebildiğini göstermektedir (Tuhus Dubrow ve Krarti, 2009). GA ile paralel simülasyonları mümkün kılan çoklu işlemcili bilgisayarlarda bir popülasyondaki birden fazla bireyi aynı anda değerlendirmek mümkündür (Nguyen, Reiter ve Rigo, 2014). Evrim teorisine dayanan bu metod ile bina performansını iyileştiren en iyi özellikler gelecek nesillere aktarılmış ve optimal çözümler belirlenene kadar iterasyon devam etmiştir.

Optimizasyon aracı olarak, bina enerji modelleme ve simülasyon uygulamalarından ara yüzü tanınan DesignBuilder programı kullanılmıştır. Programın optimizasyon modülü EnergyPlus verileriyle doğrudan ilişkilendirilebilmektedir. İyileştirme senaryolarının geniş bir yelpazede incelenirken ele alınan değişken sayısının hesap sürecini yavaşlatmaması için optimizasyon yerel bilgisayar ve BAP projesi kapsamında kiralanan ağ sunucusundaki (*web server*) yüksek performanslı bilgisayar üzerinde paralel olarak gerçekleştirilmiştir. GA yöntemiyle lokal minimuma takılmadan optimizasyon işlemleri başarıyla tamamlanmıştır.

3.4. Alan Çalışması ve Referans Binaların Belirlenmesi

Alan çalışması için Bursa ilinde konut üretiminin yoğun olduğu, orta-üst ve üst gelir düzeyine sahip kullanıcıların ikamet ettiği Nilüfer ilçesi Balat ve Ahmet Yesevi mahalleleri seçilmiştir. Alan çalışmasının ilk adımında pilot bölgedeki 10 kapalı konut sitesinin proje müellifleri ve site yönetimleriyle iletişime geçilmiştir. Site yönetimi anket uygulamasını kabul eden, anketi tamamlayan kişi sayısı çoğunluğu sağlanabilen, proje müelliflerinin dijital arşivinden veya belediye arşivinden konut projelerine ait mevcut mimari, mekanik tesisat, elektrik projeleri ve EKB'leri temin edilebilen üç konut sitesi çalışma kapsamında

referans binalar olarak belirlenmiştir. Bu siteler Örnek 1, Örnek 2 ve Örnek 3 olarak isimlenmiş ve tasarım destek modelinin uygulanabilirliği bu binalar üzerinde test edilmiştir.

3.4.1. Bina tanıtım formunun hazırlanması

Alan çalışması için seçilen pilot bölgedeki konut stokuna ilişkin bilgilerin derlenebilmesi için çalışmanın ilk aşamasında bina tanıtım formu oluşturulmuştur. Aşağıdaki başlıklarda gruplanmış veriler derlenerek her üç konut sitesi için bina tanıtım formları doldurulmuştur. Bu formlar bina performans değerlendirmesi yapılacak simülasyon programlarına veri girişinde yol gösterici nitelik taşımaktadır.

a) Konut projelerine ait genel bilgiler: Bina tanıtım formunun ilk bölümü, seçilen konut projelerinin adı, konumu, açık adresi, yapım yılı (başlangıç-bitiş), mimari, mekanik tesisat, statik ve elektrik proje müellifleri, ada-parsel ve pafta numaraları, bağımsız birim sayısı, konut sitesinin toplam taban alanı, toplam inşaat alanı, toplam daire sayısına ilişkin genel bilgileri içermektedir. Konut binaları ile ilgili ruhsat ve EKB bilgileri Bursa Nilüfer Belediyesi imar arşivinden temin edilmiş, konut projelerinin dijital dosyalarına erişim ise mimari tasarım ofisleri ve inşaat firmalarından sağlanmıştır. Elde edilen bu veriler, binaların yapım yıllarına, toplam inşaat alanlarına, EKB'lerine ve ÇEDBİK konut sertifika kılavuzunda yer alan konut tipolojilerine bağlı bir ön sınıflandırma yapılmasını sağlamıştır.

b) Konut bloğuna ve birimine (daire) ait bilgiler: Konut stoku ile ilgili yapılan ön sınıflandırmasının ardından, seçilen apartman bloğu ve birimlerinin (dairelerin) fiziksel özellikleri incelenmiştir. Bu amaca yönelik harita servislerinin sağladığı uydu görüntüleri, belediye arşivi ve mimari projelerden yararlanılmıştır. Opak ve saydam bileşenlerin termofiziksel ve optik özelliklerinin yapım yıllarına karşılık gelen Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği (2008) ve TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları (2008) ulusal standartlardaki asgari performans kriterlerini sağladığı kabul edilmiştir. Ulusal standartlarda değeri verilmemiş tasarım değişkenleri için inşaat tekniğindeki yaygın eğilimlerden, üretici beyanlarından, bilimsel araştırmalardan ve uluslararası standartlardan

yararlanılmıştır. Bina geometrisi, konut bloğu ve birimlerine ait cephe yönlenimi, blok boyutları (taban alanı, inşaat alanı, yol kotu altı ve üstü yüksekliği), alan/hacim oranı, kat sayısı, cephe saydamlık oranı, opak bileşenlerin özellikleri (taşıyıcı sistem, dış duvar dolgu malzemesi, döşeme sistemi, yalıtım malzemesi kalınlığı ve yeri, dış cephe kaplama malzemesi, biçimine ve eğimine göre çatısı, yapı elemanlarının ısıl geçirgenlik katsayısı), saydam bileşen özellikleri (doğrama malzemesi ve yeri, camın kuruluşu, gün ışığı ve güneş enerjisi toplam geçirgenlik değeri), dış ve iç gölgeleme elemanları, balkon tipi, çevre bina ve engeller, ısıl zonlar gibi enerji performansını etkileyen fiziksel özellikler için verilerin toplanması ve derlenmesi bu aşamada gerçekleştirilmiştir.

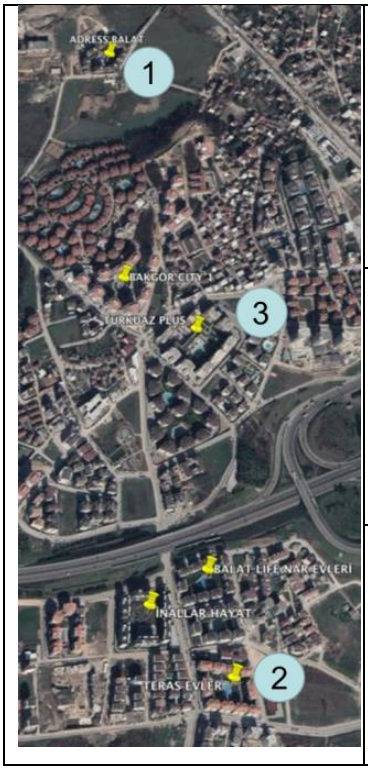
c) İklimlendirme ve sıhhi sıcak su sistemine ait bilgiler: Seçilen konut siteleri için ısıtma, soğutma ve sıhhi sıcak su sistemleri ve bu sistemlerin verimlilikleri, yakıt türü, ısıtma ve soğutma mevsimleri ayar sıcaklıkları, kullanım takvimleri ve kullanım sıklığına ilişkin bilgilerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, mekanik tesisat proje ve hesap raporları ile binaların yapımları esnasındaki mevcut ulusal standartlar (TS 2164, 1893; BEP, 2010; TS EN 12207, 2004) incelenmiştir. Binaların yapım yılları ve konut işlevine bağlı olarak uymakla yükümlü olduğu standartları sağladıkları kabul edilmiştir. Ulusal standartlarca değerleri belirlenmemiş olan değişkenler için, kullanıcıların ve site yönetiminin görüşlerine, mekanik sistem tasarımlarındaki yaygın eğilimlere ve uzman görüşlerine başvurulmuş, bilimsel araştırma ve uluslararası standartlardan yararlanılmıştır.

d) Aydınlatma sistemine ilişkin bilgiler: Yapma aydınlatma sistemi için kurulu güç, verimlilik değerleri ve kullanım takvimleri gibi aydınlatma tasarımı seçeneklerine ait bilgilerinin toplanması aşamasında TS EN 15193-1 (2017), TS EN 12464-1 (2021), IESNA (2011) gibi standartların yanı sıra kullanıcılarla yapılan yüze görüşme yöntemine dayalı anketler ve mimari, iç mimari ve elektrik projelerinden yararlanılmıştır. Konut birimlerinde kullanılan yapma aydınlatma sistemi bileşenlerinin (armatür, lamba ve aydınlatma kontrol sistemleri) belirlenmesinde DIALux Evo programının kütüphanesinde yer alan aydınlatma aygıtlarının piyasada faaliyet gösteren firmalardaki mevcut ürünler ile uyumu da göz önüne alınmıştır. İç mekanında kullanılan renklerin değer bileşeniyle (duvar, tavan ve döşeme ışık

yansıtma katsayısı) ilgili veriler için TS EN 12464-1 (2021) standardında tavsiye edilen değer aralıkları referans alınmıştır.

Örnek 1, Örnek 3 ve Örnek 3'e ait yukarıda gruplandırılan veriler, konut projelerine ait fotoğraf ve çizimler ile birlikte sırasıyla EK 1, EK 2 ve EK 3'teki bina tanıtım formlarında yer almaktadır. Konut siteleri ÇEDBİK Yeşil Bina Sertifika Kılavuzu'ndaki (2019) toplam inşaat alanlarına göre sınıflandırılmış ve Çizelge 3.1'deki hava fotoğrafı üzerinde işaretlenmiştir.

Çizelge 3.1. Konut sitelerine ait hava fotoğrafı (Googlemaps, n.d.), dış mekan fotoğrafı ve inşaat alanına göre sınıflandırılması (ÇEDBİK, 2019)

		**Örnek 1 (21.500 m²):** 20 000 m² ≤ Standart Apartman ≤ 50 000 m² Çok katlı ve birden fazla konut birimini içeren ve sadece konut fonksiyonları bulunduran binalardır.
		Örnek 2 (108.000 m²): 50 000 m² ≤ Standart Apartman Çok katlı ve birden fazla konut birimini içeren ve içerisinde sadece konut fonksiyonları bulunduran binalardır.
		Örnek 3 (110.000 m²): 50 000 m² ≤ Rezidans-Lüks Konut Çok katlı ve birden fazla konut birimini içeren, ruhsatında alışveriş alanı, ofis, spor alanı, restoran, kapalı havuz işlevlerden en az üçünü barındıran binalardır.

Konut siteleri Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2007) ve Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği'ne (BEP, 2010) göre 2010 yılı ve sonrasında inşa edilmiştir. B.A. iskelet sistemli binalar ulusal hesap yöntemi BEP-TR'nin 1. versiyonunda hazırlanmış asgari C sınıfı EKB'ye sahiptir. Üç konut sitesine ait genel özellikler Çizelge 3.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.2. Konut sitelerinin mimari ve bina alt sistemi genel özellikleri

Özellikler	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3
Yapım yılı	2013	2014	2016
Blok sayısı	7 (Tek Tip)	10 (2 Tip)	9 (2 Tip)
Toplam daire sayısı	84	132	187
Parsel alanı (m^2)	12,052	15,373	30,000
Toplam inşaat alanı (m^2)	21,500	108,576	110,000
Bloktaki daire sayısı	12	A-B-C-D-F-G-H-I:12 E-J:18	A-B:20 C, D,E,F,G,H,I: 21
Toplam kat sayısı	7 (1B+Z+5K)	8 (1B+Z+5K)	9 (2B+Z+7K)
Taban alanı (m^2)	433,6	407 (A-I) 538(E,J)	714 (A), 728 (B), 781 (C-I)
Boyutlar (m)	28,8 x 16,1 h:25,1	13,2x25 h:26 (A-I) 13,2 x 38,5 h:26 (E,J)	19,5x35,9 h:31,35 (A,B) 23 x36,6 h:31,35 (C-I)
Daire tipi s: standart, d: dubleks	4+1 5+2	3+1 5+1 (d)	3+1, 4+1 (s ve d) 5+1 (d)
Daire alanı (m^2)	185 (s), 232 (d)	235 (s), 379 (d)	184 (s), 508 (d)
Kat yüksekliği (m)	3	2,95	3,15
Cephe saydamlık oranı (toplam, %)	27	29 (A-I) 28,15 (E,J)	32(A,B) 30 (C-I)
Dış duvar dolgu malzemesi	Tuğla	Tuğla + Gazbeton	Tuğla +Pomza agregalı beton blok (Bims)
Dış duvar ısı yalıtım malzemesi	XPS 3cm	EPS 3 cm	Taşyünü 3cm, EPS 3cm
Dış cephe kaplama malzemesi	Sıva+boya, Yer yer seramik	Sıva+boya Yer yer alü. kompozit	Sıva+boya Yer yer seramik
Döşeme sistemi	Asmolen	Asmolen	Plak
Döşeme kaplama malzemesi	Seramik, parke	Seramik, parke	Seramik, parke
Çatı kuruluşu ve eğimi	Kırma çatı%40 (22°)	Kırma çatı %36 (20°)	Beşik çatı %18 (10°)
Çatı kaplama malzemesi	Kiremit döşeme	Shingle çatı kaplaması	Taşyünü dolgulu alüminyum panel
Doğrama malzemesi	PVC	PVC	PVC
Camın kuruluşu	4+12+4 ısıcam	4+12+4 ısıcam	4+12+4 ısıcam
Güneş kontrol elemanı	Yatay hareketli panel + panjur	Yatay hareketli panel + panjur	Yatay hareketli panel
Balkon tipi	Açık	Açık, Fransız	Açık ve gömme
Isıtma sistemi	Doğal gaz yakıtlı kazan - merkezi sis. (döşemeden ısıtma)	Doğal gaz yakıtlı kombi – ferdi sistem (sıcak sulu radyatör)	Doğal gaz yakıtlı kazan - merkezi sistem (döşemeden ıstıma)
Soğutma sistemi	Multi-split klima	Multi-split klima	Multi-split klima
Sıhhi sıcak su sistemi	Merkezi kazan	Kombi	Merkezi kazan
Aydınlatma sistemi (Yaşam alanları)	Işıklı tavan Sarkıt lamba	Işıklı tavan Sarkıt lamba	Işıklı tavan, sıva altı spot, sarkıt lamba

3.4.2. Konut kullanıcıları için kullanım sonrası değerlendirme anketi

Araştırma kapsamında pilot bölgeden seçilen üç kapalı konut sitesindeki kullanıcıların tercihleri, iklimsel ve görsel konfor memnuniyet düzeyi ve enerji tasarruf algısı 57 soruluk ayrıntılı bir anket yardımıyla kullanım aşamasında değerlendirme yaklaşımıyla (*Post Occupancy Evaluation – POE*) irdelenmiştir. Anket formu EK 4'te yer almaktadır.

Araştırma kapsamında ele alınacak her konut sitesinin eşit temsil edilmesi amacıyla anket formları kat maliklerine 2019 ve 2020 yıllarında (Covid-19 pandemisi öncesi) düzenlenen site yönetim kurulu toplantılarında dağıtılmıştır. Yeterli örneklem sayısına ulaşılması için yerleşimde bulunan hane sayısının en az 1/3'ü ile yüz yüze görüşme yapılmıştır. Anket katılımcı sayıları ve konut sitelerindeki toplam hane sayısına göre anketi tamamlama oranları Çizelge 3.3'te yer almaktadır.

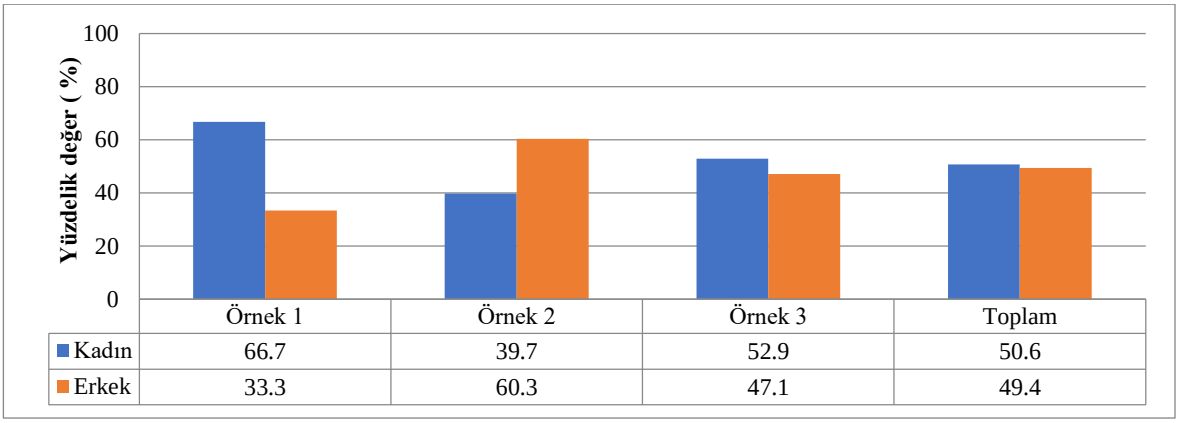
Çizelge 3.3. Kullanım sonrası değerlendirme anketi katılımcı sayısı ve oranı

Konut Sitesi	**Örnek 1**	**Örnek 2**	**Örnek 3**	**TOPLAM**
Toplam Daire Sayısı	84	132	187	403
Katılımcı Sayısı	30	58	70	158
Katılım Oranı	%35,7	%43,9	%37,4	%39,2

Anket sonuçlarının yüzdelik değerleri, aritmetik ortalamaları ve standart sapma değerleri SPSS programında hesaplanarak MS Excel programında grafikler oluşturulmuştur. Verilerin sayısal olarak dağılımları (frekans), verilere ilişkin ortalama ve standart sapma gibi değerlerin hesaplanmasında tanımlayıcı istatistiklerden yararlanılmıştır. Anket sonuçları doğrultusunda kullanıcı profilleri, konut hacimlerinin yıl boyu kullanım saatleri ve buna bağlı olarak iklimlendirme ve yapma aydınlatma işletim takvimleri oluşturulmuştur.

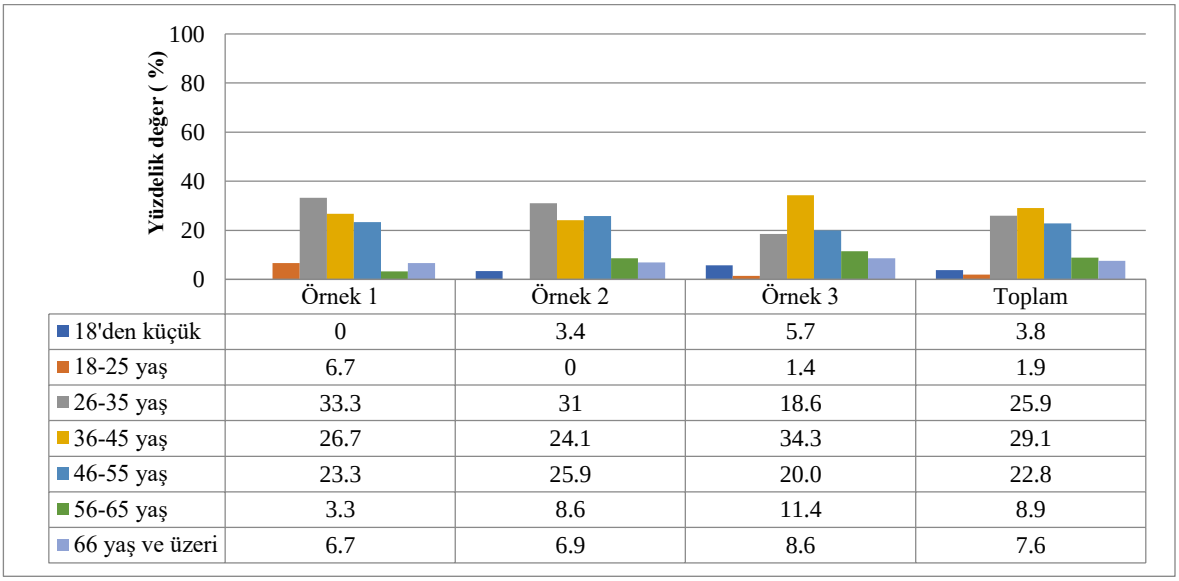
Anket formu üç bölümden meydana gelmektedir. İlk bölümde kullanıcılar ile ilgili demografik özellikler; konut sakinlerinin yaşları ve cinsiyetleri, bireylerin eğitim ve çalışma durumları, konutta ikamet eden kişi sayısı ve süresi, mülkiyet durumu,

kullanıcıların hafta içi ve hafta sonu evde geçirdikleri süreler ve kullanıcı davranış ve alışkanlıklarına yönelik veriler yüzdelik dağılımlarına göre incelenmiştir. Sonuçlar Şekil 3. 4 – Şekil 3. 16'da yer almaktadır.



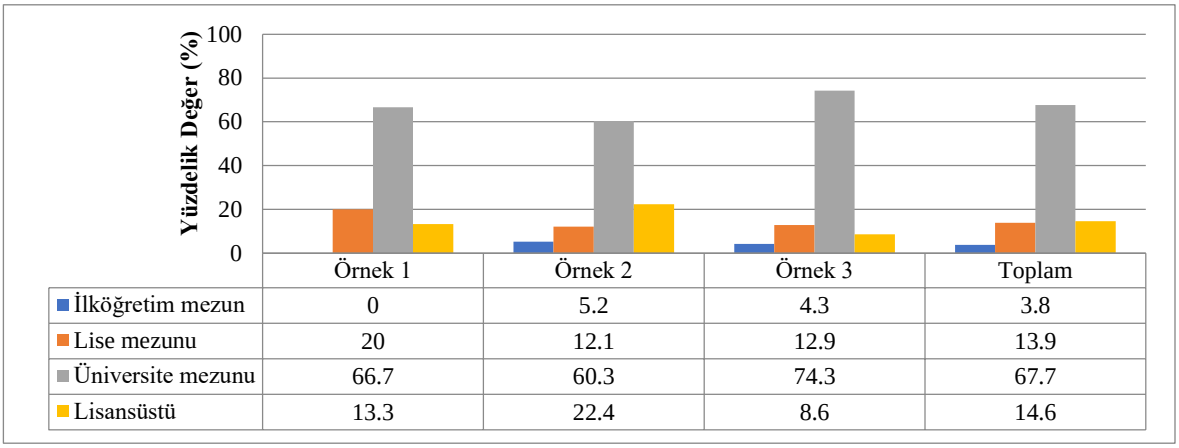
	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Toplam
Kadın	66.7	39.7	52.9	50.6
Erkek	33.3	60.3	47.1	49.4

Şekil 3. 4. Sosyo-demografik veriler – Cinsiyet dağılımı



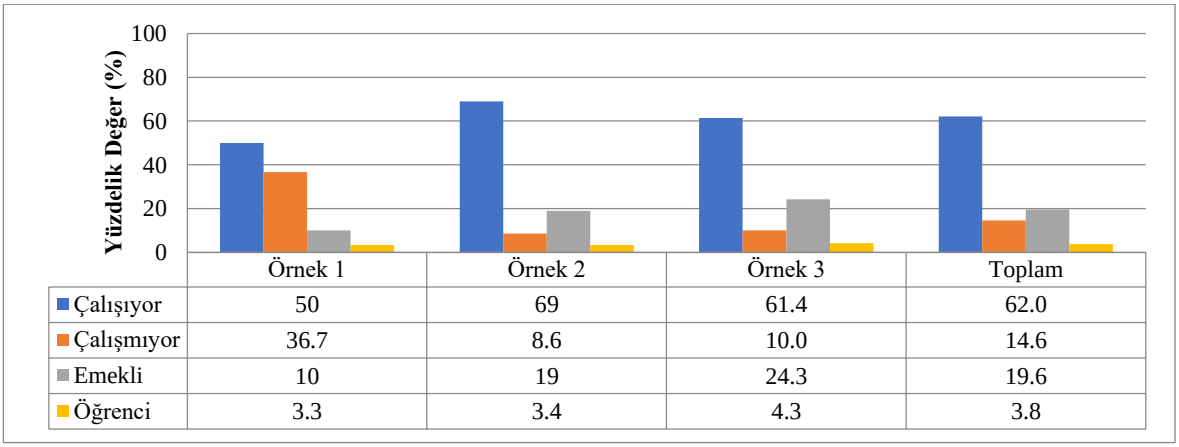
	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Toplam
18'den küçük	0	3.4	5.7	3.8
18-25 yaş	6.7	0	1.4	1.9
26-35 yaş	33.3	31	18.6	25.9
36-45 yaş	26.7	24.1	34.3	29.1
46-55 yaş	23.3	25.9	20.0	22.8
56-65 yaş	3.3	8.6	11.4	8.9
66 yaş ve üzeri	6.7	6.9	8.6	7.6

Şekil 3. 5. Sosyo-demografik veriler – Yaş dağılımı



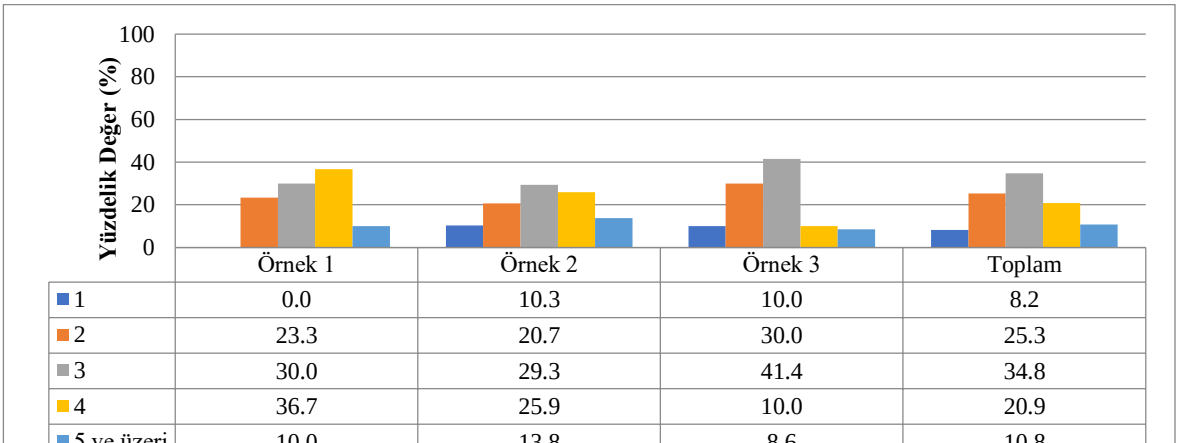
	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Toplam
İlköğretim mezun	0	5.2	4.3	3.8
Lise mezunu	20	12.1	12.9	13.9
Üniversite mezunu	66.7	60.3	74.3	67.7
Lisansüstü	13.3	22.4	8.6	14.6

Şekil 3. 6. Anket katılımcılarının eğitim durumu



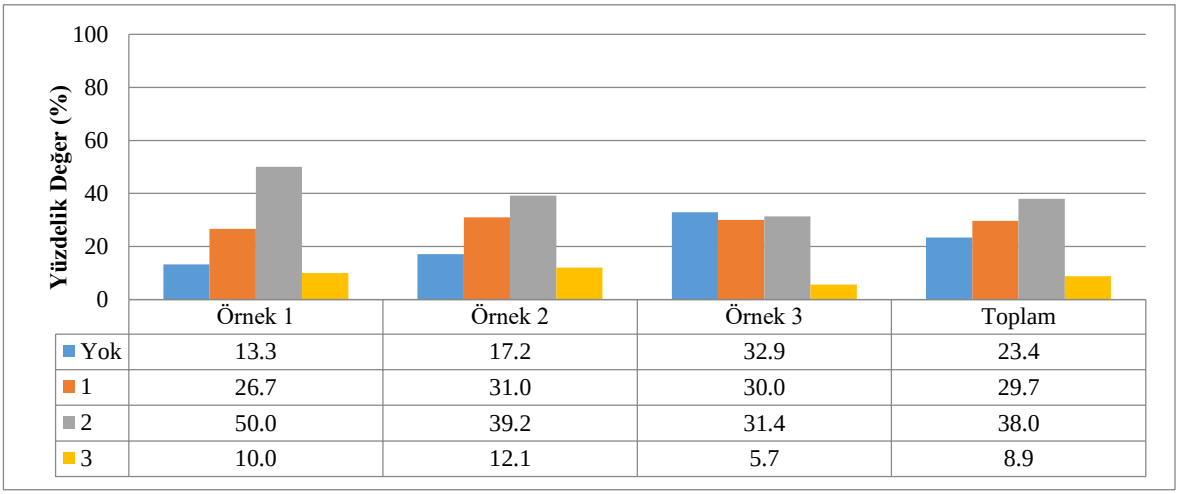
	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Toplam
Çalışıyor	50	69	61.4	62.0
Çalışmıyor	36.7	8.6	10.0	14.6
Emekli	10	19	24.3	19.6
Öğrenci	3.3	3.4	4.3	3.8

Şekil 3. 7. Sosyo-demografik veriler – Meslek/Konum



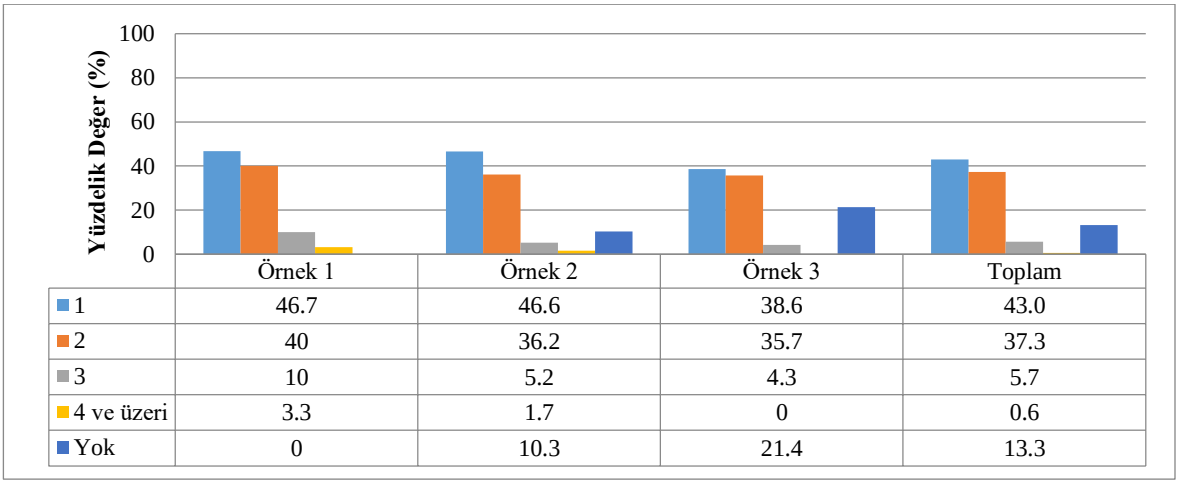
	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Toplam
1	0.0	10.3	10.0	8.2
2	23.3	20.7	30.0	25.3
3	30.0	29.3	41.4	34.8
4	36.7	25.9	10.0	20.9
5 ve üzeri	10.0	13.8	8.6	10.8

Şekil 3. 8. Konutta ikamet eden sayısı



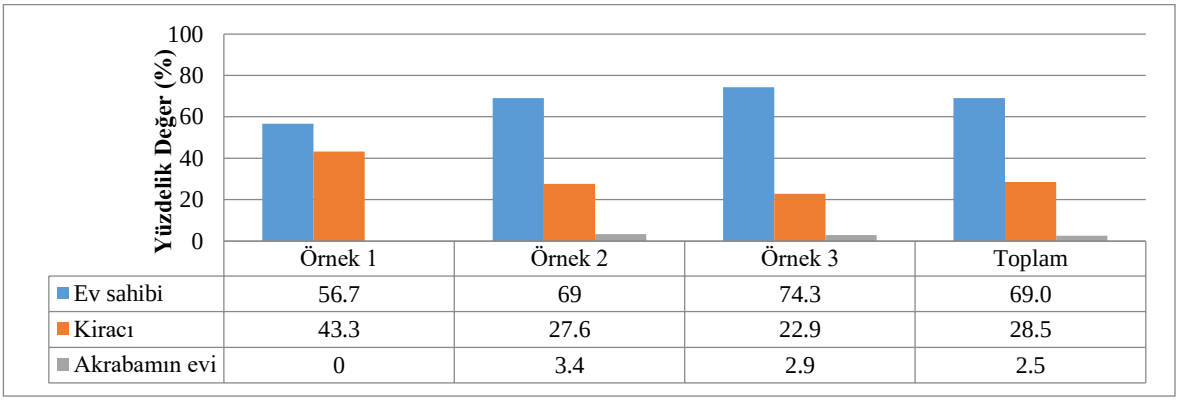
	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Toplam
Yok	13.3	17.2	32.9	23.4
1	26.7	31.0	30.0	29.7
2	50.0	39.2	31.4	38.0
3	10.0	12.1	5.7	8.9

Şekil 3. 9. Sosyo-demografik veriler – Konutta ikamet eden çocuk sayısı



	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Toplam
1	46.7	46.6	38.6	43.0
2	40	36.2	35.7	37.3
3	10	5.2	4.3	5.7
4 ve üzeri	3.3	1.7	0	0.6
Yok	0	10.3	21.4	13.3

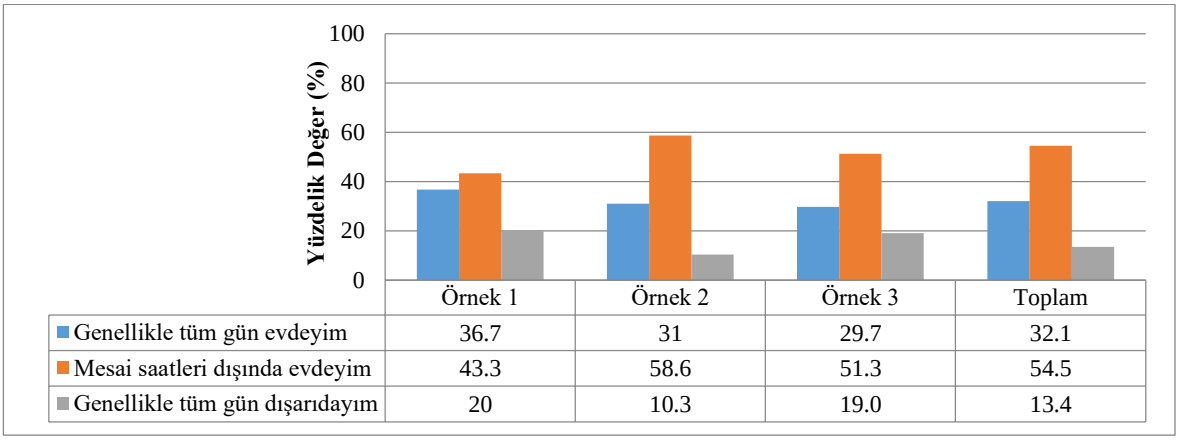
Şekil 3. 10. Sosyo-demografik veriler – Hanede çalışan kişi sayısı



	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Toplam
Ev sahibi	56.7	69	74.3	69.0
Kiracı	43.3	27.6	22.9	28.5
Akrabamın evi	0	3.4	2.9	2.5

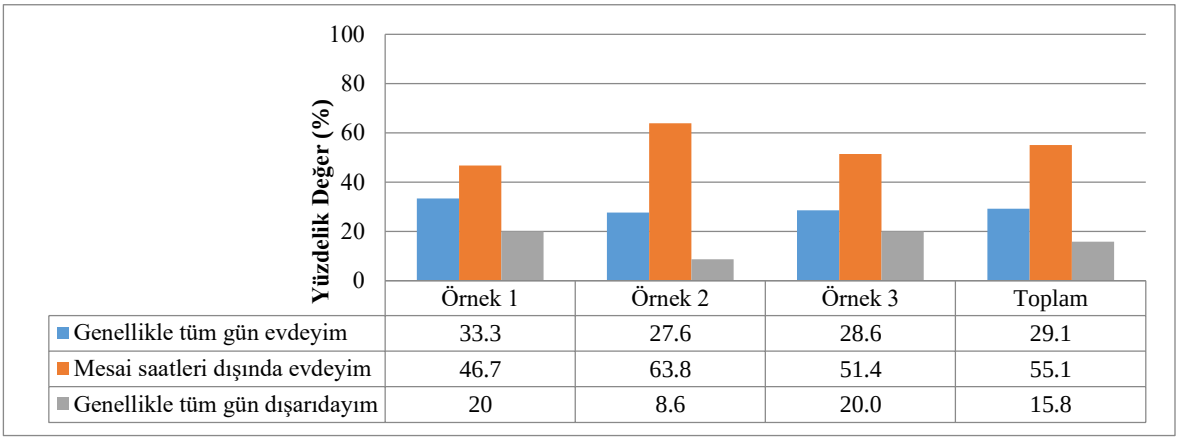
Şekil 3. 11. Sosyo-demografik veriler –Mülkiyet durumu

Anket katılımcılarının %50,6'sı kadın, %49,4'ü erkektir. Katılımcıların %25,9'u 26-35, %29,1'i 36-45, %22,8'i 46-55 yaş aralığındadır. Katılımcıların %68'i üniversite mezunudur. Ankete cevap verenlerin %62'si çalışmaktadır. Konut sitesindeki ikamet süreleri incelendiğinde; kullanıcıların %96,9'u 1-5 yıl süresince aynı sitede yaşadığı belirlenmiştir. Hane halkı sayısına bakıldığında dairelerin %8,2'sinde 1, %25,3'ünde 2, %34,8'inde 3, %20,9'unda 4, %10,8'inde 5 ve üzeri kişi yaşamaktadır. Konutta ikamet eden çocuk sayısı %29,7'de 1, %38'de 2, %8,9'da 3 iken çocuk bulunmayan hane oranı %23,4'tür. Hanede çalışan kişi sayısı incelendiğinde %43 1 kişi ve %37,3 2 kişi şıkkını işaretlemiştir. Ankete katılanlar daha büyük oranda (%69) ev sahibidir.



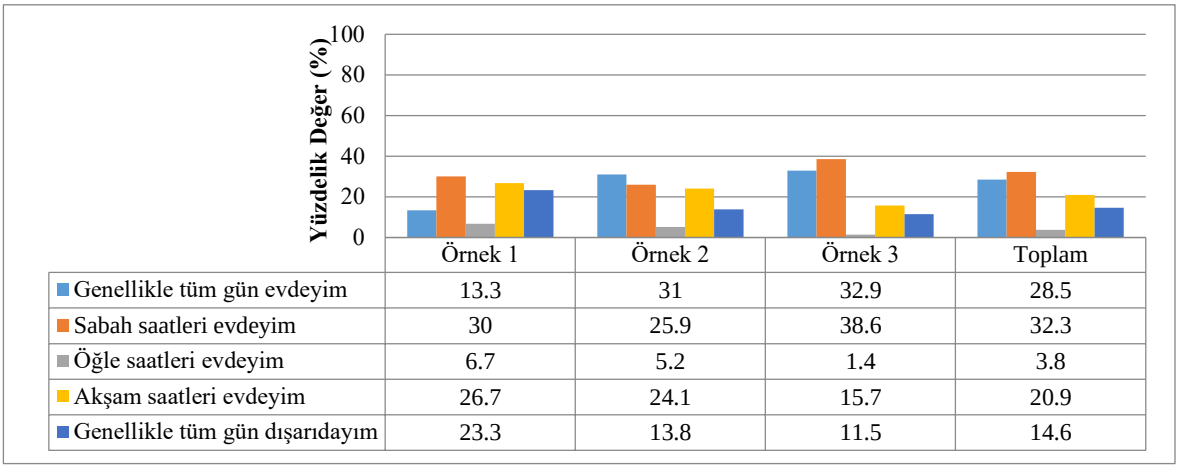
	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Toplam
Genellikle tüm gün evdeyim	36.7	31	29.7	32.1
Mesai saatleri dışında evdeyim	43.3	58.6	51.3	54.5
Genellikle tüm gün dışarıdayım	20	10.3	19.0	13.4

Şekil 3. 12. Konut kullanıcı profili – Yazın hafta içi evde bulunma süreleri



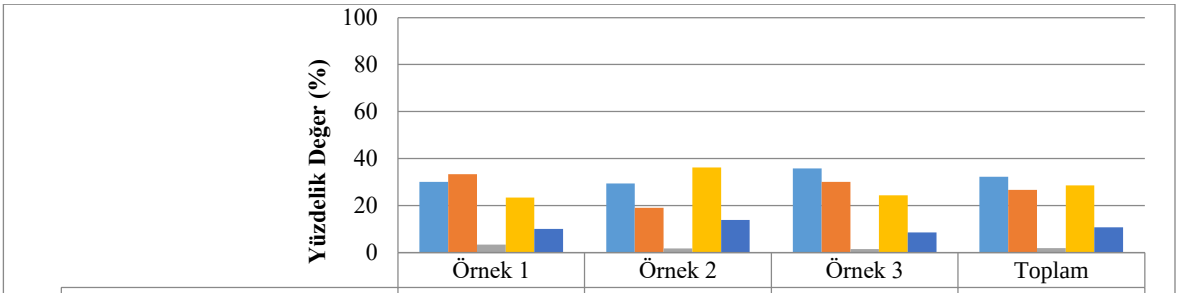
	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Toplam
Genellikle tüm gün evdeyim	33.3	27.6	28.6	29.1
Mesai saatleri dışında evdeyim	46.7	63.8	51.4	55.1
Genellikle tüm gün dışarıdayım	20	8.6	20.0	15.8

Şekil 3. 13. Konut kullanıcı profili – Kışın hafta içi evde bulunma süreleri



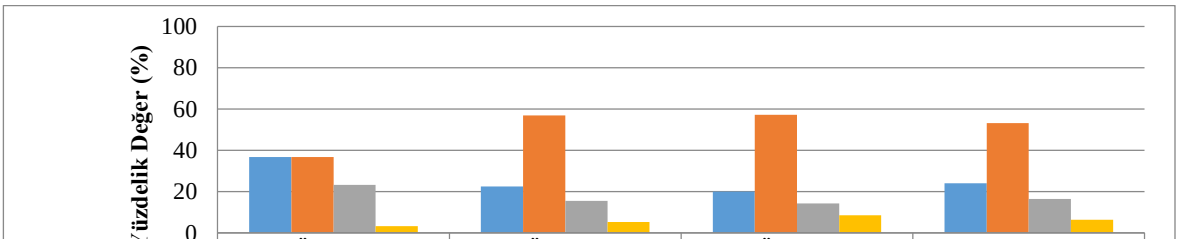
	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Toplam
Genellikle tüm gün evdeyim	13.3	31	32.9	28.5
Sabah saatleri evdeyim	30	25.9	38.6	32.3
Öğle saatleri evdeyim	6.7	5.2	1.4	3.8
Akşam saatleri evdeyim	26.7	24.1	15.7	20.9
Genellikle tüm gün dışarıdayım	23.3	13.8	11.5	14.6

Şekil 3. 14. Konut kullanıcı profili – Yazın hafta sonu evde bulunma süreleri



	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Toplam
Genellikle tüm gün evdeyim	30	29.3	35.7	32.3
Sabah saatleri evdeyim	33.3	19	30.0	26.6
Öğle saatleri evdeyim	3.3	1.7	1.4	1.9
Akşam saatleri evdeyim	23.3	36.2	24.3	28.5
Genellikle tüm gün dışarıdayım	10	13.8	8.6	10.8

Şekil 3. 15. Konut kullanıcı profili – Kışın hafta sonu evde bulunma süreleri

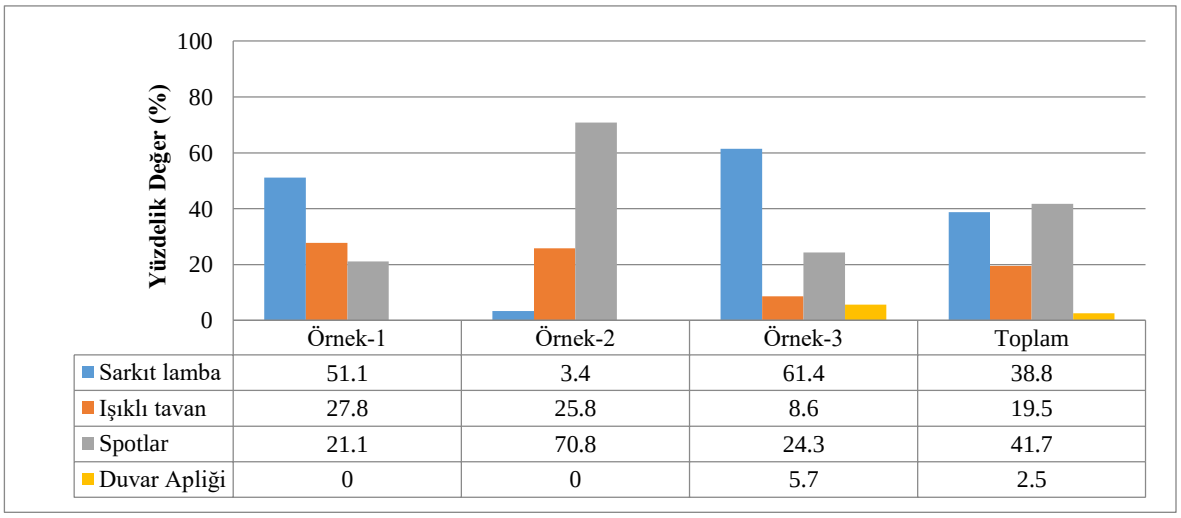


	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	Toplam
Mutfak	36.7	22.4	20.0	24.1
Salon	36.7	56.9	57.1	53.2
Oturma odası	23.3	15.5	14.3	16.5
Diğer	3.3	5.2	8.6	6.3

Şekil 3. 16. Konut kullanıcı profili – En sık kullanılan mekân

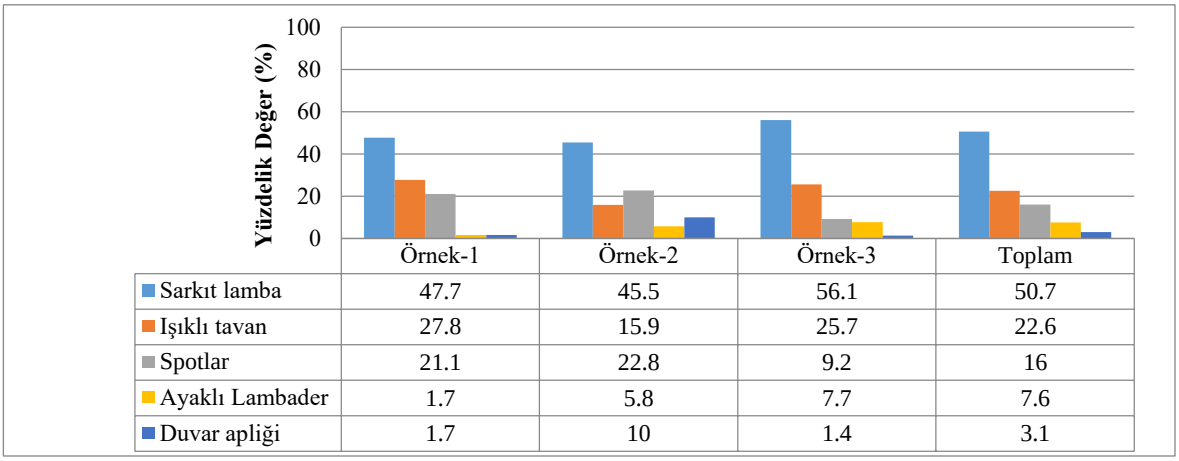
Yaz ve kış aylarında hafta içi evde bulunma sürelerinin ortalaması için katılımcıların %30,6'sı tüm gün evdeyim, %54,8'i mesai saatleri dışında evdeyim, %14,6'sı genellikle tüm gün dışarıdayım seçeneğini işaretlemiştir. Yaz ve kış ayları için hafta sonu evde bulunma sürelerinin ortalamasına bakıldığında, %30,4 genellikle tüm gün evdeyim, %29,4 sabah saatleri, %2,8 öğle saatleri, %24,7 akşam saatlerinde evdeyim, %12,7 genellikle tüm gün dışarıdayım seçeneğini işaretlemiştir. Konutunuzda en çok hangi mekanda vakit geçiriyorsunuz sorusunda katılımcıların %53,2'si salon, %24,1'i mutfak, %16,5'i oturma odası ve %6,3'ü diğer cevabını vermiştir.

Anketin ikinci bölümde kullanım aşamasındaki binalarda mimari tasarım kararları, iklimlendirme ve aydınlatma sistemlerinin kullanıcıların kişisel konfor ihtiyaçlarını karşılayıp karşılamadığı ve konfor bileşenleri için fiziki çevre koşullarının yeterliliğine ilişkin sorular yer almaktadır. Bu bölümde ilk olarak katılımcılara konut mekanlarındaki aydınlatma düzenleriyle ilgili sorular yöneltilmiş; aydınlatma aygıtları, lamba türü, ışık rengi ve en sık kullanılan odada duvar, döşeme, mobilya ve donatı renk tercihleri sorulmuştur. Aynı bölümün devamında kullanıcılara yaz ve kış aylarındaki iç mekan sıcaklıkları, iklimlendirme düzenleri ve enerji faturalarıyla ilgili sorular yöneltilmiştir. Sonuçlar Şekil 3. 17 – Şekil 3. 32'de yer almaktadır.



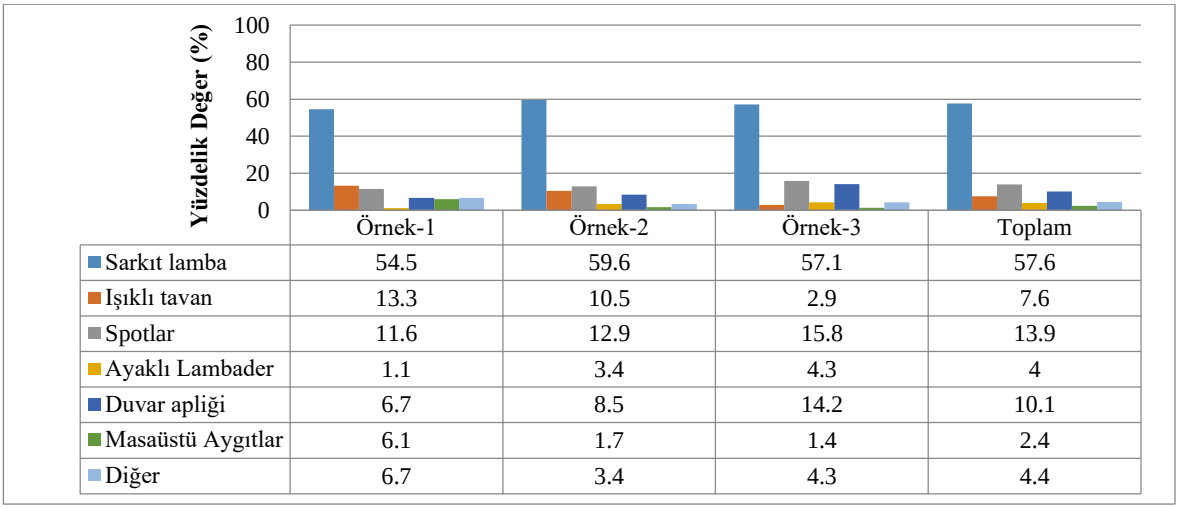
	Örnek-1	Örnek-2	Örnek-3	Toplam
Sarkıt lamba	51.1	3.4	61.4	38.8
Işıklı tavan	27.8	25.8	8.6	19.5
Spotlar	21.1	70.8	24.3	41.7
Duvar Apliği	0	0	5.7	2.5

Şekil 3. 17. Konut kullanıcıların aydınlatma aygıtı tercihleri – Mutfak



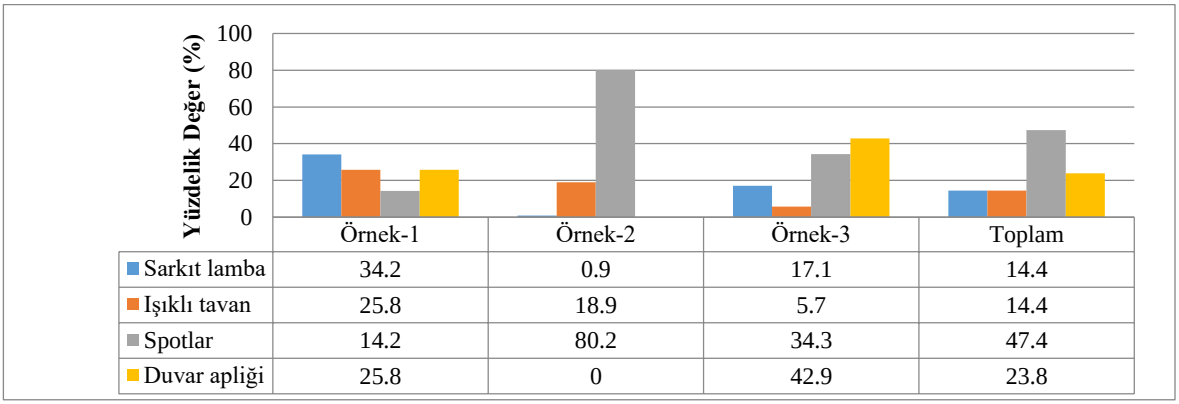
	Örnek-1	Örnek-2	Örnek-3	Toplam
Sarkıt lamba	47.7	45.5	56.1	50.7
Işıklı tavan	27.8	15.9	25.7	22.6
Spotlar	21.1	22.8	9.2	16
Ayaklı Lambader	1.7	5.8	7.7	7.6
Duvar apliği	1.7	10	1.4	3.1

Şekil 3. 18. Konut kullanıcıların aydınlatma aygıtı tercihleri – Salon



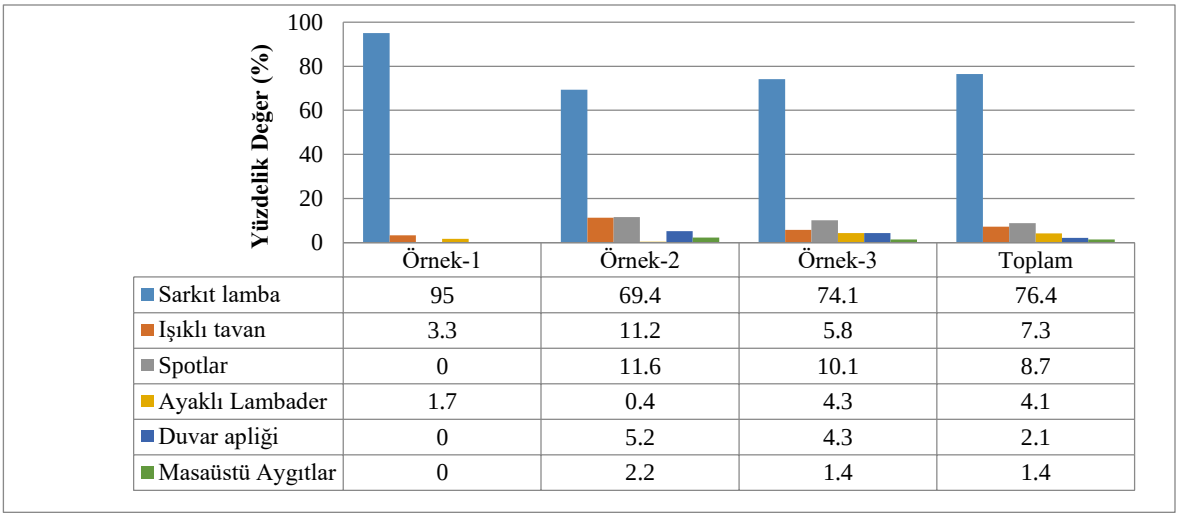
	Örnek-1	Örnek-2	Örnek-3	Toplam
Sarkıt lamba	54.5	59.6	57.1	57.6
Işıklı tavan	13.3	10.5	2.9	7.6
Spotlar	11.6	12.9	15.8	13.9
Ayaklı Lambader	1.1	3.4	4.3	4
Duvar apliği	6.7	8.5	14.2	10.1
Masaüstü Aygıtlar	6.1	1.7	1.4	2.4
Diğer	6.7	3.4	4.3	4.4

Şekil 3. 19. Konut kullanıcıların aydınlatma aygıtı tercihleri – Ebeveyn yatak odası



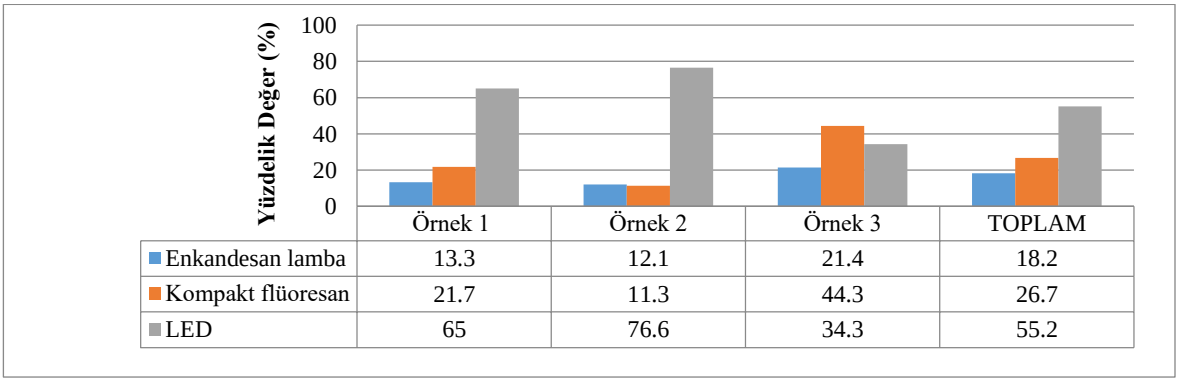
	Örnek-1	Örnek-2	Örnek-3	Toplam
Sarkıt lamba	34.2	0.9	17.1	14.4
Işıklı tavan	25.8	18.9	5.7	14.4
Spotlar	14.2	80.2	34.3	47.4
Duvar apliği	25.8	0	42.9	23.8

Şekil 3. 20. Konut kullanıcıların aydınlatma aygıtı tercihleri – Banyo/WC



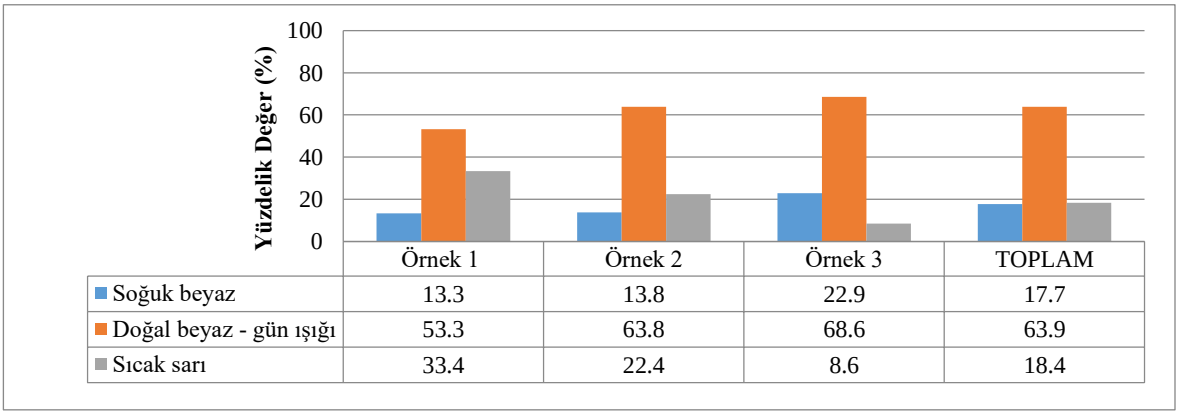
	Örnek-1	Örnek-2	Örnek-3	Toplam
Sarkıt lamba	95	69.4	74.1	76.4
Işıklı tavan	3.3	11.2	5.8	7.3
Spotlar	0	11.6	10.1	8.7
Ayaklı Lambader	1.7	0.4	4.3	4.1
Duvar apliği	0	5.2	4.3	2.1
Masaüstü Aygıtlar	0	2.2	1.4	1.4

Şekil 3. 21. Konut kullanıcıların aydınlatma aygıtı tercihleri – Odalar



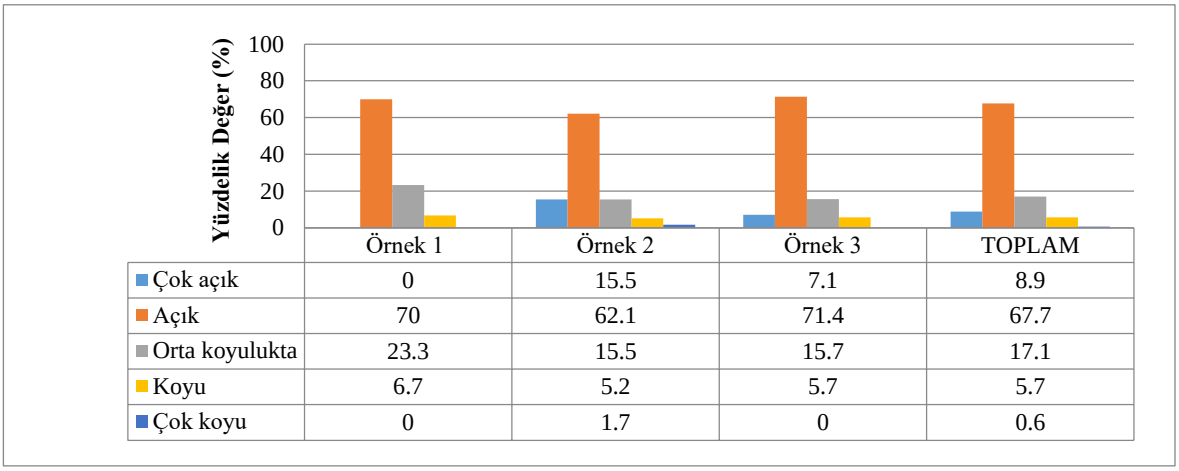
	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	TOPLAM
Enkandesan lamba	13.3	12.1	21.4	18.2
Kompakt flüoresan	21.7	11.3	44.3	26.7
LED	65	76.6	34.3	55.2

Şekil 3. 22. Konut kullanıcıların lamba tercihleri



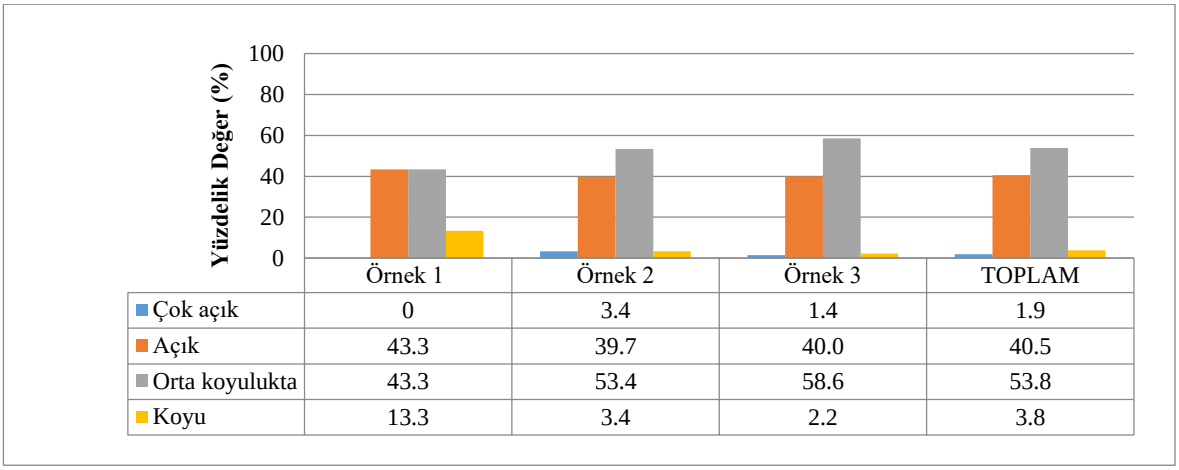
	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	TOPLAM
Soğuk beyaz	13.3	13.8	22.9	17.7
Doğal beyaz - gün ışığı	53.3	63.8	68.6	63.9
Sıcak sarı	33.4	22.4	8.6	18.4

Şekil 3. 23. Konut kullanıcıların ışık rengi tercihleri



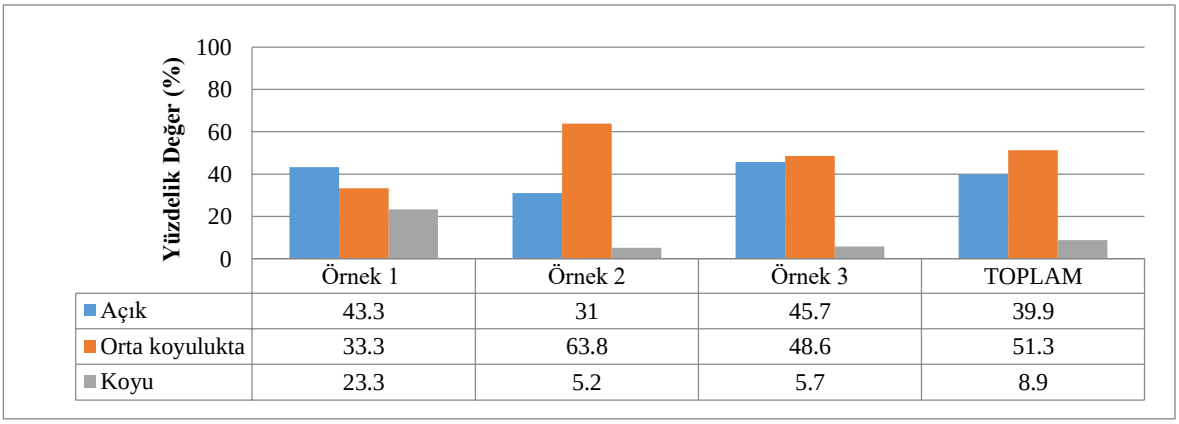
	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	TOPLAM
Çok açık	0	15.5	7.1	8.9
Açık	70	62.1	71.4	67.7
Orta koyulukta	23.3	15.5	15.7	17.1
Koyu	6.7	5.2	5.7	5.7
Çok koyu	0	1.7	0	0.6

Şekil 3. 24. Konut kullanıcıların boya rengi tercihleri- Duvarlar



	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	TOPLAM
Çok açık	0	3.4	1.4	1.9
Açık	43.3	39.7	40.0	40.5
Orta koyulukta	43.3	53.4	58.6	53.8
Koyu	13.3	3.4	2.2	3.8

Şekil 3. 25. Konut kullanıcıların boya rengi tercihleri- Döşeme

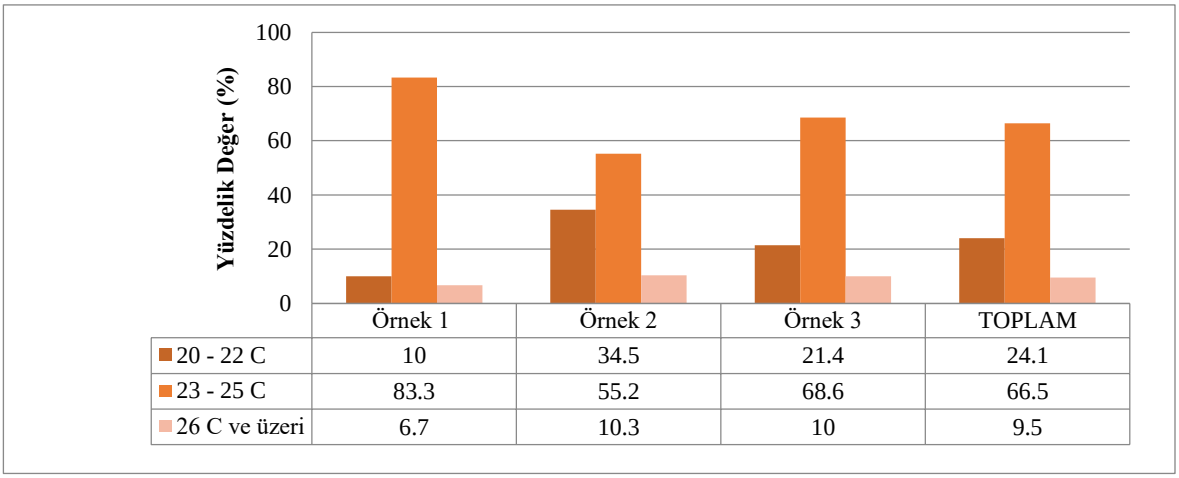


	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	TOPLAM
Açık	43.3	31	45.7	39.9
Orta koyulukta	33.3	63.8	48.6	51.3
Koyu	23.3	5.2	5.7	8.9

Şekil 3. 26. Konut kullanıcıların boya rengi tercihleri- Mobilya ve donatılar

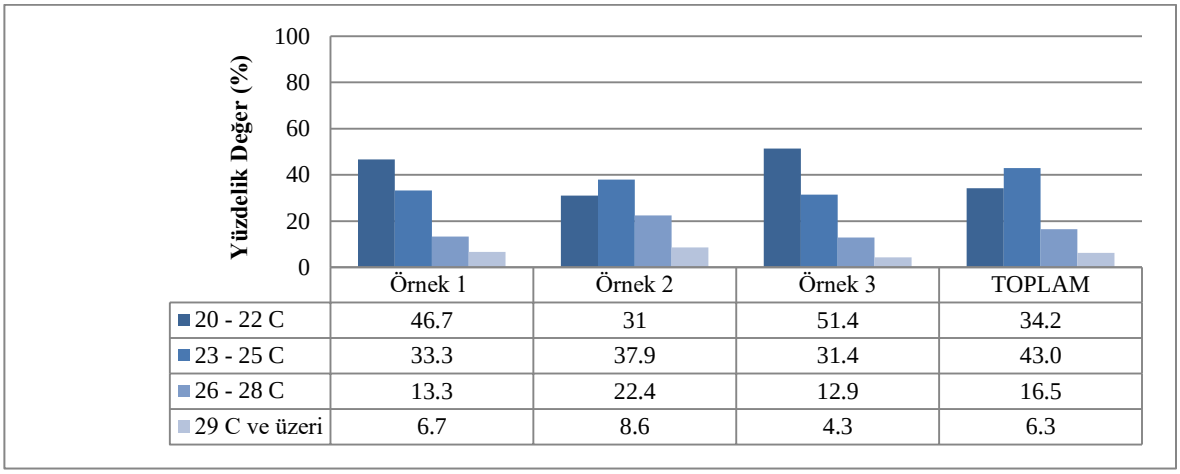
Şekil 3. 17 –Şekil 3. 21'de görüldüğü gibi, katılımcılar tüm mekanlarda sarkıt lambanın yanı sıra mutfakta ve salonda ışıklı tavan ve spot; ebeveyn yatak odası ve odalarda duvar apliği ve ayaklı lambader gibi armatürleri kullandıklarını belirtmiştir. Islak hacimlerde ise kullanılan öncelikli armatür konut sitesine göre değişim göstermektedir. Tüm katılımcıların ortalamasına bakıldığında, lamba tipi için çoğunlukla LED (*light-emitting diode*) sistemler (%55,2) ve doğal beyaz (%63,9) günışığına yakın renkteki ışık kaynakları tercih edilmiştir. Konutta iç mekan duvarlarında açık (%67,7), döşemelerde orta koyulukta (%53,8) renkler tercih edilirken, mobilya ve donatılarda yüzey renginin açıklık – koyuluğu site bazlı değişim göstermektedir.

Anket katılımcılarının %29,7'si iç mekan tasarımında bir mimar/iç mimarla çalıştığını belirtmiştir. Konutunuzun en sık kullanılan mekanındaki renk seçiminde öncelikle neye dikkat ettiniz sorusuna katılımcıların %49,4'ü iç mekanla uyum, %29,7'si hoşuma giden renk,%15,8'i evimin aydınlık görünmesi ve %5'i diğer yanıtını vermiştir. Konut sakinlerinin %81'i konutunda kamaşmaya neden olan herhangi bir durum olmadığını, %10,8'i güneş ışığı, %5,7'si lamba ışığı ve %2,5'i ise diğer nedenlerden ötürü (parlak bir yüzey, kontrast farkı gibi) kamaşma olduğunu ifade etmiştir.



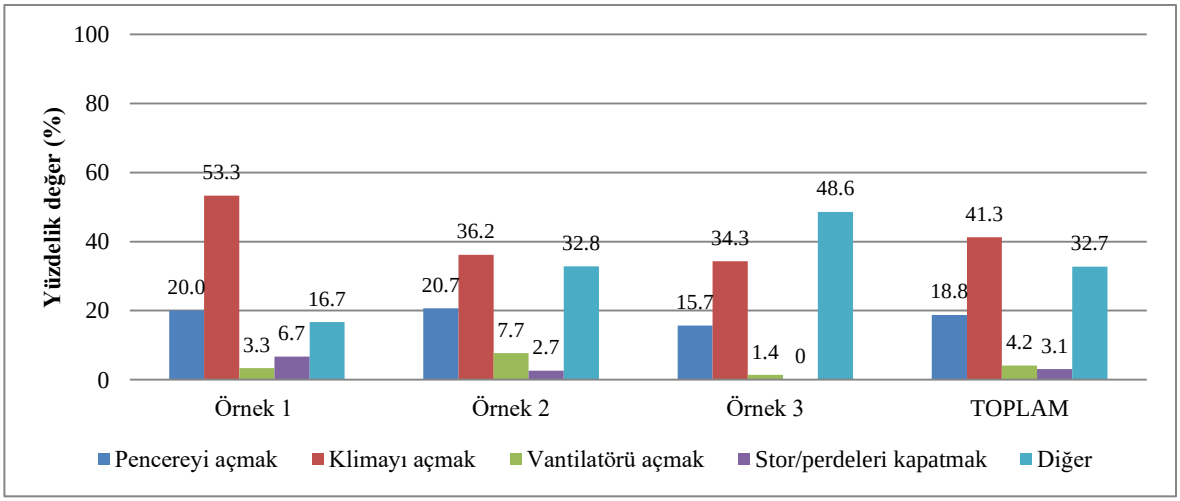
	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	TOPLAM
20 - 22 C	10	34.5	21.4	24.1
23 - 25 C	83.3	55.2	68.6	66.5
26 C ve üzeri	6.7	10.3	10	9.5

Şekil 3. 27. Isıl konfor bileşenleri- Kış aylarında (aralık-ocak-şubat) iç mekan sıcaklıkları



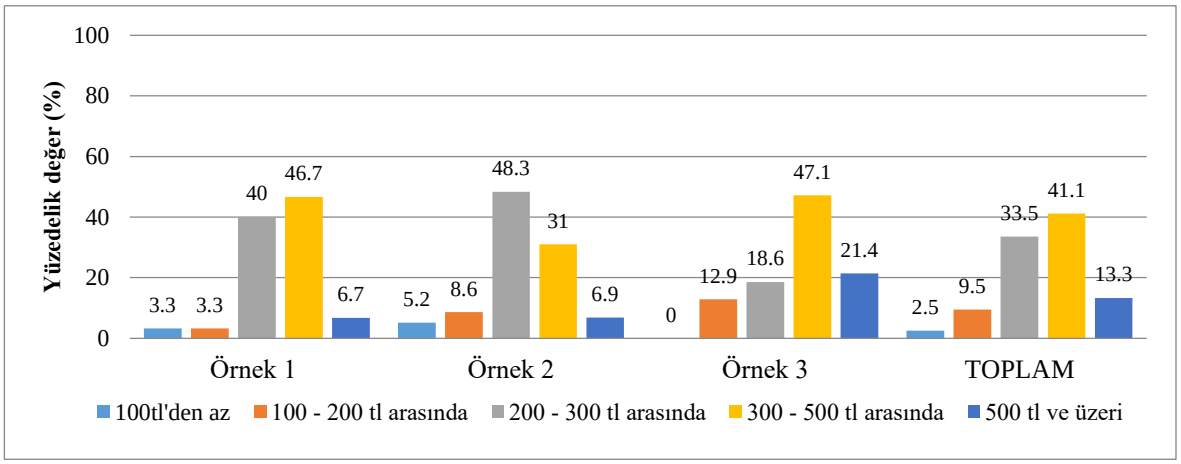
	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	TOPLAM
20 - 22 C	46.7	31	51.4	34.2
23 - 25 C	33.3	37.9	31.4	43.0
26 - 28 C	13.3	22.4	12.9	16.5
29 C ve üzeri	6.7	8.6	4.3	6.3

Şekil 3. 28. Isıl konfor bileşenleri- Yaz aylarında (haziran-temmuz-ağustos) iç mekan sıcaklıkları

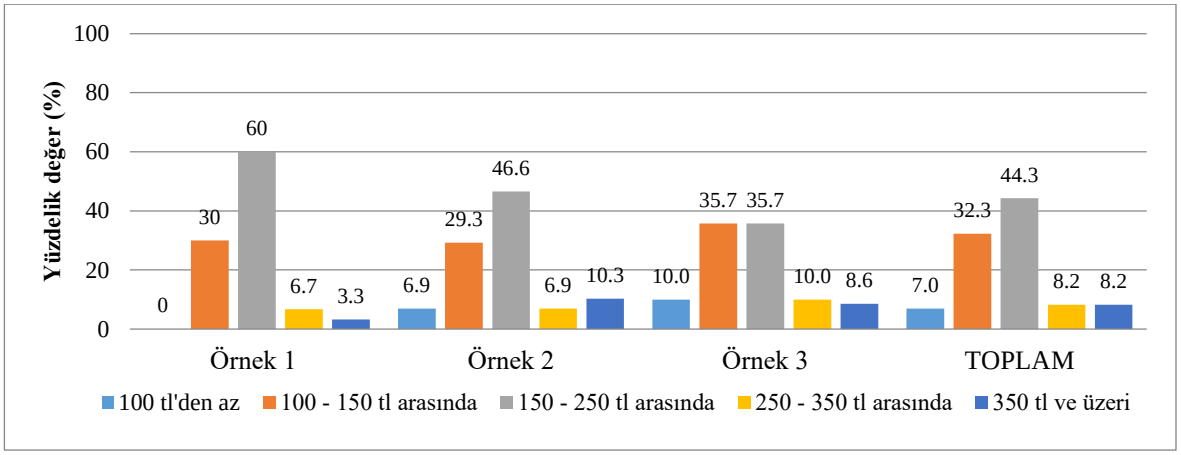


Şekil 3. 29. Yaz aylarında iç mekanın iklimlendirilmesi için tercih edilen yöntemler

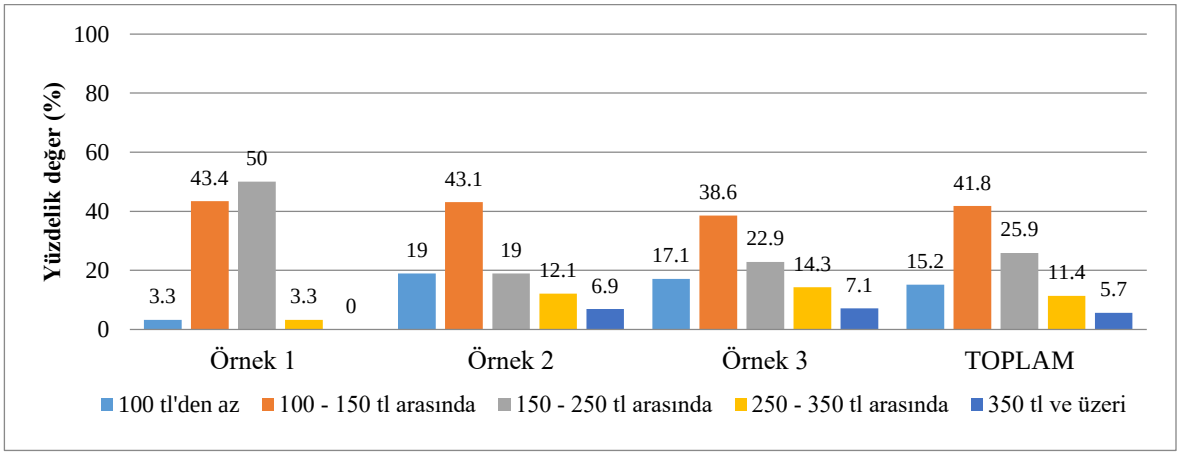
Anket katılımcıları kış (%66,5) ve yaz (%43) aylarında iç mekan ortalama sıcaklığının T_i: 23-25°C arasında olduğunu belirtmiştir. Kışın konutunuzu ısıtmak için fazladan bir ısıtma elemanına ihtiyaç duyuyor musunuz sorusuna katılımcıların büyük bölümü (%89,2) hayır yanıtını vermiştir. Öte yandan yaz aylarında katılımcıların %64,6'sı iç mekanı iklimlendirme ihtiyacı duymaktadır. Ankete katılanların%41,3'ü klimayı açarak, %18,8'i pencereyi açarak, %4,2'si vantilatörü açarak, %3,1'i stor ve perdeleri kapatarak, %36,7'si diğer yöntemlerle (dış gölgeleme elemanları, panjurları kapatmak vb.) iç mekanı serinlettiğini belirtmiştir.



Şekil 3. 30. Konut kullanıcılarının enerji tüketim verileri – Doğalgaz (aralık-ocak-şubat)



Şekil 3. 31. Konut kullanıcılarının enerji tüketim verileri – Elektrik (aralık-ocak-şubat)



Şekil 3. 32. Konut kullanıcılarının elektrik tüketim verileri (haziran-temmuz-ağusots)

Şekil 4.30 ve Şekil 4.31'de kullanıcıların 2019-2020 yıllarında enerji için ödedikleri fatura beyanına bakıldığında, katılımcıların %41,1'inin kışın ortalama aylık 300-500 TL (50 – 90 $) arasında doğalgaz ve %44,3'ünün 150-250 TL (25 – 45 $) arasında elektrik bedeli ödediği görülmektedir. Yaz mevsiminde ise, ankete katılan site sakinlerinin %41,8'i ortalama 100-150 TL (17,5 – 25 $) arasında elektrik faturası ödemiştir.

Anketin son bölümünde konut kullanıcıların ısıl - görsel konfor düzeyleri ve enerji tasarrufuna ilişkin görüşleriyle ilgili bilgi edinmek üzere sorular yöneltilmiş ve yanıtlar 5'li Likert ölçeği ile (1: Kesinlikle katılmıyorum, 2: Katılmıyorum, 3: Ne katılıyorum ne katılmıyorum, 4: Katılıyorum, 5: Kesinlikle katılıyorum) alınmıştır. Her bir alt kategori ve konut sitesi için 100 üzerinden toplam memnuniyet puanı hesaplanmıştır. Anket sonuçları Çizelge 3. 4'te yer almaktadır. 26 no'lu soru haricinde tüm sorularada en sık verilen cevap (%30 – 70 ağırlıkta) "katılıyorum" olmuştur. Kullanıcılar enerji tüketiminin düşürülmesi için yaşama alanlarının baktığı manzara yönünün değişmesini konusunda olumsuz görüş bildirmiştir.

Çizelge 3. 4. Kullanıcıların ısıl – görsel konfor memnuniyet ve enerji tasarrufuna ilişkin ilgi düzeyleri

ANKET SORULARI			Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3
ISIL KONFOR	1	Kış mevsiminde konutumun iç ortam sıcaklığı uygundur	76.0	84.1	80.0
	2	Yaz mevsiminde konutumun iç ortam sıcaklığı uygundur	71.3	76.2	75.1
	3	Yazın pencereleri açarak uygun düzeyde doğal havalandırma sağlayabiliyorum	74.7	80.3	80.0
	4	Pencere ve balkon kapılarından kış aylarında hava sızmıyor	64.0	76.6	77.7
	5	Döşemeden ısıtma/radyatör sisteminden memnunum	79.3	81.4	80.3
	6	Yazın döşeme zemini ve duvar sıcaklıklarından memnunum	80.0	78.3	74.3
	7	Kışın döşeme zemini ve duvar sıcaklıklarından memnunum	78.0	79.3	77.4
	8	Konutumun ısıl konfor koşulları dört mevsim uygundur.	73.3	74.8	75.1
	9	Konutumda yazın günışığından ötürü aşırı ısınan mekanlar bulunmamaktadır	62.0	87.2	76.9
	Isıl konfor algısına ilişkin ortalama memnuniyet düzeyi		**73.2**	**79.8**	**77.4**
GÖRSEL KONFOR	10	Yaşam alanımda güneşten kaynaklı kamaşma yaşamıyorum	67.3	80.7	78.9
	11	Gün ışığı açısından yaşama alanımın konumu ve baktığı yönden memnunum	81.3	83.1	83.1
	12	Yaşama alanımın gündüz doğal aydınlık düzeyi yeterlidir	83.3	81.7	78.6
	13	Yaşama alanımdaki pencere sayısı. konumu ve büyüklüklüleri gün ışığı açısından yeterlidir	82.7	85.2	84.3
	14	Yaşama alanımdan gündüz dış ortamla yeterli görsel ilişki kurmak mümkündür	82.0	84.8	82.9
	15	Yaşama alanımın akşam genel aydınlık (lamba ışığı) düzeyi yeterlidir	81.3	83.8	82.3
	16	Yaşama alanımın duvar ve döşeme renk seçiminden memnunum	79.3	84.8	83.7
	17	Konutumun görsel konfor koşullarından memnunum.	76.7	82.1	80.3
	18	Satın aldığım lambaların ışık renginden memnunum.	82.7	86.6	84.0
	Görsel konfor algısına ilişkin ortalama memnuniyet düzeyi		**79.6**	**83.6**	**82.0**
ENERJİ TASARRUFU	19	Isıtma enerjisi için kış aylarında ödediğim doğalgaz faturası uygundur.	64.7	72.8	74.9
	20	Soğutma enerjisi için yaz aylarında ödediğim elektrik faturası uygundur.	62.0	61.7	68.0
	21	Lamba satın alırken enerji sınıfına ve verimliliğine dikkat ederim	84.0	84.5	83.7
	22	Yaşam standardım düşmeden enerji tüketimimin azaltılması için ek maliyetlere katlanırım	75.3	79.3	77.1
	23	Enerji tüketimini düşüreceğini bilsem, iç mekan renk tercihlerimi değiştiririm	61.3	64.1	72.3
	24	Enerji tüketimini düşüreceğini bilsem, kullandığım armatürleri değiştiririm	74.0	74.1	78.3
	25	Enerji tüketimini düşüreceğini bilsem, kullandığım lambaları değiştiririm	69.3	80.3	81.4
	26	Enerji tüketimini düşüreceğini bilsem, salonun manzara yönünün değişmesini kabul ederdim	43.3	52.1	64.3
	Enerji tasarrufuna ilişkin ortalama ilgi düzeyi		**66.8**	**71.1**	**75.0**

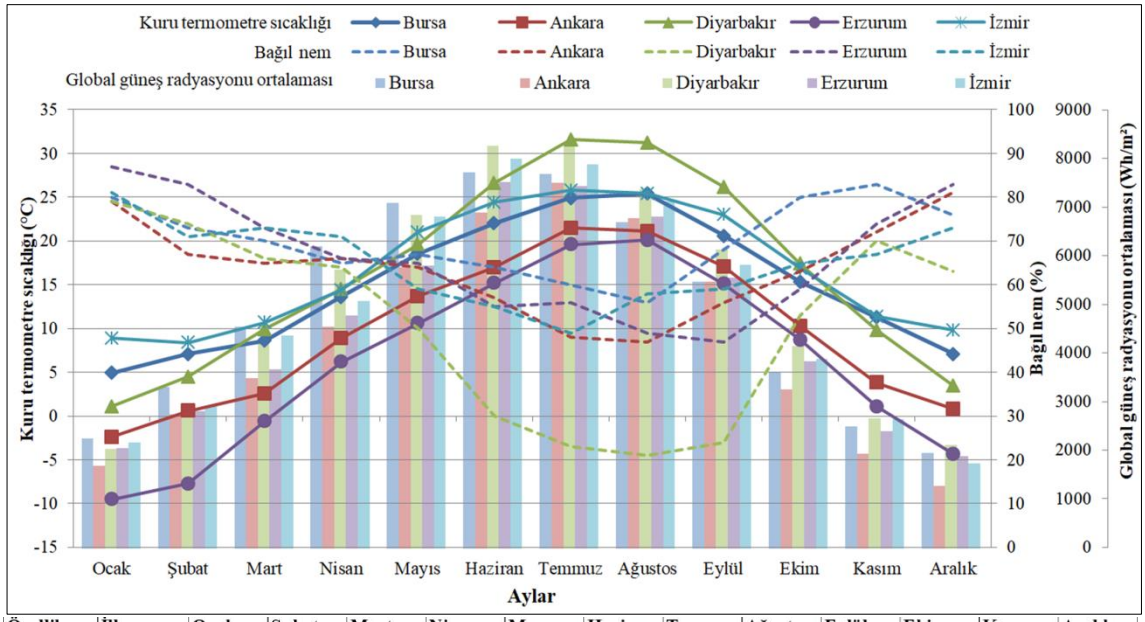
3.4.3. Simülasyon hesap verilerinin eldesi ve kabullerin yapılması

Referans binaların simülasyon ve BES tabanlı optimizasyon hesaplamalarını yapmak ve çıktıları değerlendirebilmek için bina enerji performansıyla doğrudan ilişkili olan iklim, konut kullanıcı profili, mekan kullanım sıklığı, mimari tasarım, bina servis sistemleri ve ekonomik değerlendirme ölçütlerine ilişkin verilerin elde edilmesine ve değişkenlerle ilgili kabullerin yapılarak simülasyon programlarına girilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut mimari, mekanik ve elektrik proje verilerinin yanı sıra, ulusal ve uluslararası asgari performans standartları, piyasa araştırması, alan çalışması, anket sonuçları ve bu alanda yapılmış araştırmalardan yararlanılarak yapılan kabuller aşağıdaki başlıklar altında özetlenmiştir.

a) İklim verileri: Konutların pasif sistem olarak tasarlanabilmesi ve simülasyonların doğru bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için gerçek atmosfer koşullarını temsil eden dış iklimsel verilerin kullanılması gerekmektedir. Örnek konut sitelerinin Bursa'nın (2. DGB, ılımlı – nemli, Köppen Csa) yanı sıra, İzmir (1. DGB, sıcak – nemli, Köppen Csa), Diyarbakır (2. DGB, sıcak – kuru, Köppen Csa), Ankara (3. DGB, ılımlı – kuru, Köppen Dsa) ve Erzurum'da (4. DGB, soğuk, Köppen Dfb) yer aldığı kabulü yapılarak BES modelleri oluşturulmuştur.

Referans binaların yer aldığı Bursa ili ve çalışma kapsamında ele alınan diğer iller için 2004 – 2016 yıllarına ait dış ortam kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar hızı ve yönü, güneş ışınımı şiddeti gibi simülasyon hesaplamalarında ihtiyaç duyulan tipik meteorolojik yıllara ilişkin iklim verileri (TMY: *typical meteorological year*), yıllık, aylık, haftalık, günlük ve saatlik olarak Energyplus'ın web sitesi (EnergyPlus, n.d.) ve diğer veri tabanlarından elde edilerek programa kaydedilmiştir (ClimateOnebuilding, n.d.). Türkiye'nin beş farklı iklim bölgesi için TMY verilerinden uyarlanan kuru termometre sıcaklığı (°C), bağıl nem (%) ve global güneş radyasyonu ortalamasının (Wh/m^2) aylara göre dağılımı karşılaştırmalı olarak Şekil 3. 33'de görülmektedir.

Şekil 3. 33. Bursa, Ankara, Diyarbakır, Erzurum ve İzmir illeri için kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem ve global güneş radyasyonu ortalamasının karşılaştırılması *(Haz: Egemen Kaymaz)*



Özellik	İller	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Kuru termometre sıcaklığı [°C]	Bursa	4.9	7.1	8.6	13.6	18.5	22	24.9	25.4	20.6	15.3	11.3	7.1
	Ankara	-2.4	0.6	2.6	8.9	13.7	17	21.5	21.1	17.1	10.3	3.8	0.8
	Diyarbakır	1.1	4.5	9.9	14.5	19.6	26.6	31.6	31.2	26.2	17.4	9.8	3.5
	Erzurum	-9.5	-7.7	-0.6	6.2	10.6	15.2	19.6	20.1	15.1	8.7	1.1	-4.3
	İzmir	8.9	8.4	10.7	14.4	21	24.4	25.8	25.4	23	16.9	11.4	9.8
Bağıl nem [%]	Bursa	80	73	70	65	67	64	60	56	68	80	83	76
	Ankara	79	67	65	66	64	57	48	47	56	63	72	81
	Diyarbakır	79	74	66	64	50	30	23	21	24	53	70	63
	Erzurum	87	83	73	66	65	55	56	49	47	59	74	83
	İzmir	81	71	73	71	59	55	49	58	59	65	67	73
Global güneş radyasyonu ortamalası [Wh/m²]	Bursa	2134	3141	4307	5872	6714	7309	7286	6345	5192	3426	2369	1855
	Ankara	1604	2604	3318	4315	5460	6534	7113	6415	5184	3097	1843	1211
	Diyarbakır	1932	2780	4060	5419	6480	7819	7827	6976	5815	3933	2528	2016
	Erzurum	1946	2677	3490	4530	5497	7120	7042	6455	5267	3643	2287	1789
	İzmir	2067	2776	4145	4810	6453	7572	7473	6744	5516	3686	2520	1653

b) Konut mekan kullanımı: Çalışmada kullanıcı faktörünün enerji tüketimine etkisini analiz etmek için üç farklı konut mekan kullanım takvimi oluşturulmuştur. Enerji tüketimiyle doğrudan ilişkili olan bina alt sistemleri işletim takvimi konut mekan kullanım süresi ve sıklığı ile ilişkilendirilmiştir. Anket sonuçlarına göre konutlarda ikamet eden kişi sayısı Örnek 1'de 3 kişi (%30) ve 4 kişi (%36,7); Örnek 2'de 3 kişi (%29,3) ve 4 kişi (%25,9); Örnek 3'te 2 kişi (%30) ve 3 kişidir (%41,4) (bkz. Şekil 3. 8). "Oturduğunuz hanede çalışan kişi sayısı nedir?" sorusuna birinci sitedeki katılımcıların %46,7'si, ikinci sitede %46,6'sı ve üçüncü sitede %38,6'sı "1 kişi" yanıtını vermiştir (bkz. Şekil 3. 10). Bu

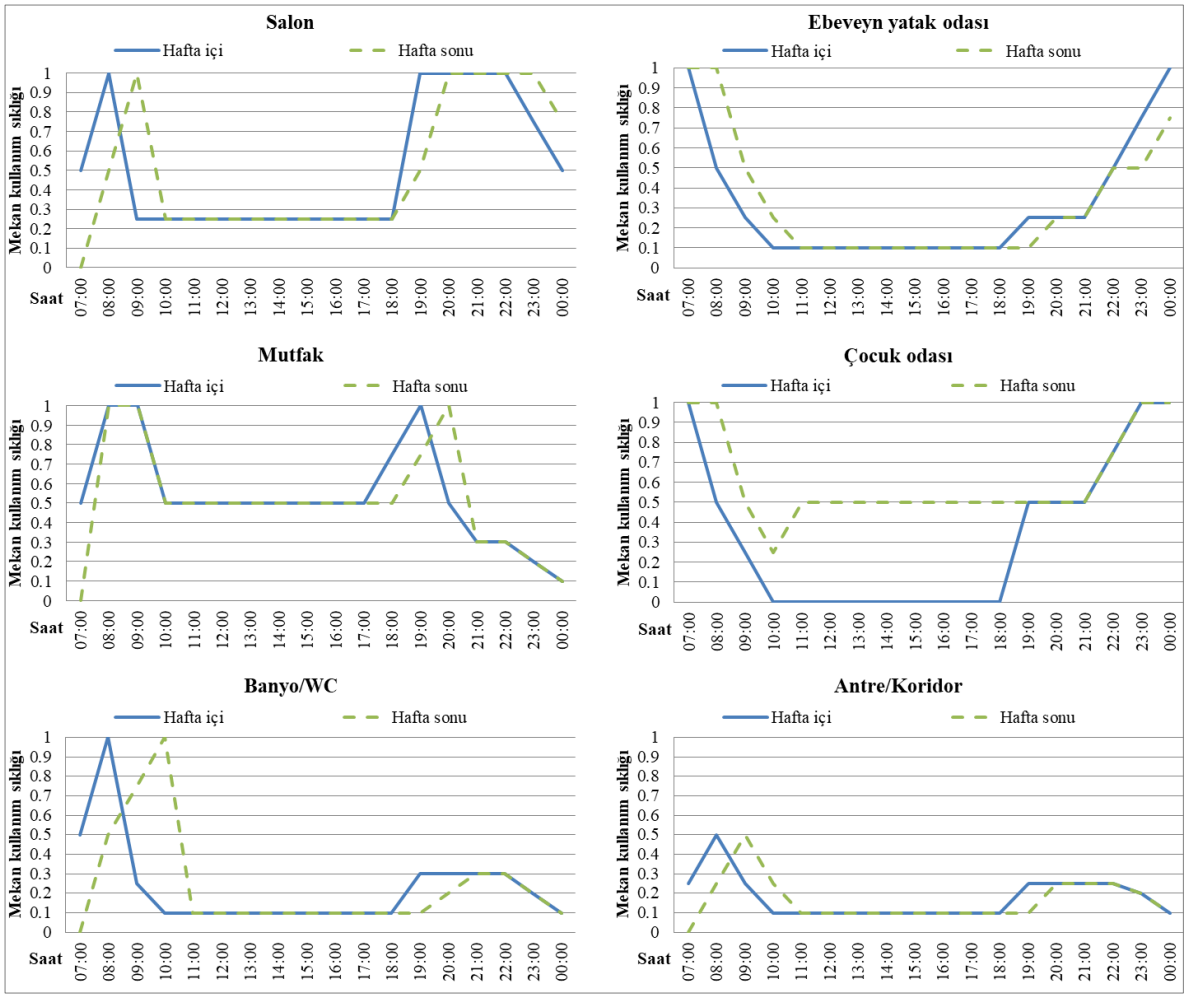
verilerden yola çıkarak, ele alınan konut siteleri için standart kullanımı temsil edebilecek nitelikteki ortalama hane halkı büyüklüğünün üç olduğu (anne-baba-çocuk) ve her ailede bir kişinin çalıştığı kabul edilmiştir. Net bina kullanım alanı üzerinden hesaplanan kullanıcı yoğunluğu Örnek 1 için (7 blok, 84 daire) 0,015 insan/m^2; Örnek 2 için (10 blok; 132 daire) 0,025 insan/m^2; Örnek 3 için (9 blok, 187 daire, 30 dükkan) 0,018 insan/m^2'dir.

Anket sonuçlarından yola çıkarak çalışan konut kullanıcılarının mesai saatleri 09:00 – 18:00 kabul edilmiştir. Yaz ve kış aylarında hafta içi ortalama evde bulunma süreleri (Şekil 3. 12 – Şekil 3. 15) ve mekan kullanım sıklığı (Şekil 3. 16) dikkate alınarak üç kişilik bir aile için haftalık mekan kullanım senaryosu oluşturulmuştur (Çizelge 3. 5).

Çizelge 3. 5. 3 kişilik (1 çocuklu, 1 çalışan) bir aile için hafta içi ve hafta sonu günleri konut mekan kullanım senaryosu ve aktivite düzeyleri (Yılmaz, 2015; ASHRAE-55, 2017).

	Saat Aralığı	**Konuttaki kişi sayısı**	**Gerçekleştirilen aktivite**	**Aktivite düzeyi (W/m^2)**	**Kullanılan Mekan**
Hafta içi	24:00 – 07:00	3	Uyuma	40	Ebeveyn yatak odası Çocuk odası
	07:00 – 09:00	3	İşe/okula hazırlık kahvaltı	70 60	Tüm mekanlar
	09:00 – 12:00	1	Ev işleri	160	Mutfak ve salon
	12:00 – 13:00	1	Dinlenme	45	Ebeveyn yatak odası
	13:00 – 17:00	1	Ev işleri	160	Mutfak ve salon
	17:00 – 18:00	2	1 kişi: Ev işleri 2 kişi: Dinlenme	160 45	Tüm mekanlar
	18:00 – 20:00	3	Akşam Yemeği	60	Mutfak ve Salon
	20:00 – 23:00	3	TV, oturma, çalışma, okuma	60	Tüm mekanlar
	23:00 – 24:00	3	Dinlenme	45	Salon ve yatak odaları
Hafta sonu	24:00 – 08:00	3	Uyuma	40	Ebeveyn yatak odası Çocuk odası
	08:00 – 10:00	3	Kahvaltı	60	Mutfak ve salon
	10:00 – 17:00	2	TV, oturma, çalışma, okuma	60	Tüm mekanlar
	17:00 – 19:00	2	1 kişi: Ev işleri 1 kişi: Dinlenme	160 45	Tüm mekanlar
	19:00 – 20:00	3	Akşam yemeği	60	Mutfak ve salon
	20:00 – 22:00	2	TV, oturma, Çalışma, okuma	60	Tüm mekanlar
	22:00 – 24:00	3	Dinlenme	45	Salon ve yatak odaları

Şekil 3. 34'de konut kullanım senaryosu için mekan kullanım sıklıkları görülmektedir. Zamana bağlı kullanım süresi yüzde olarak ifade edilmiştir. "1" mekanın dolu olduğunu, "0,5" 1 saatlik zaman diliminin %50'sinde dolu olduğunu, "0" ise boş olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 3. 34. Hafta içi ve hafta sonu konut mekan kullanım süresi ve sıklığı (%) *(Haz: Egemen Kaymaz)*

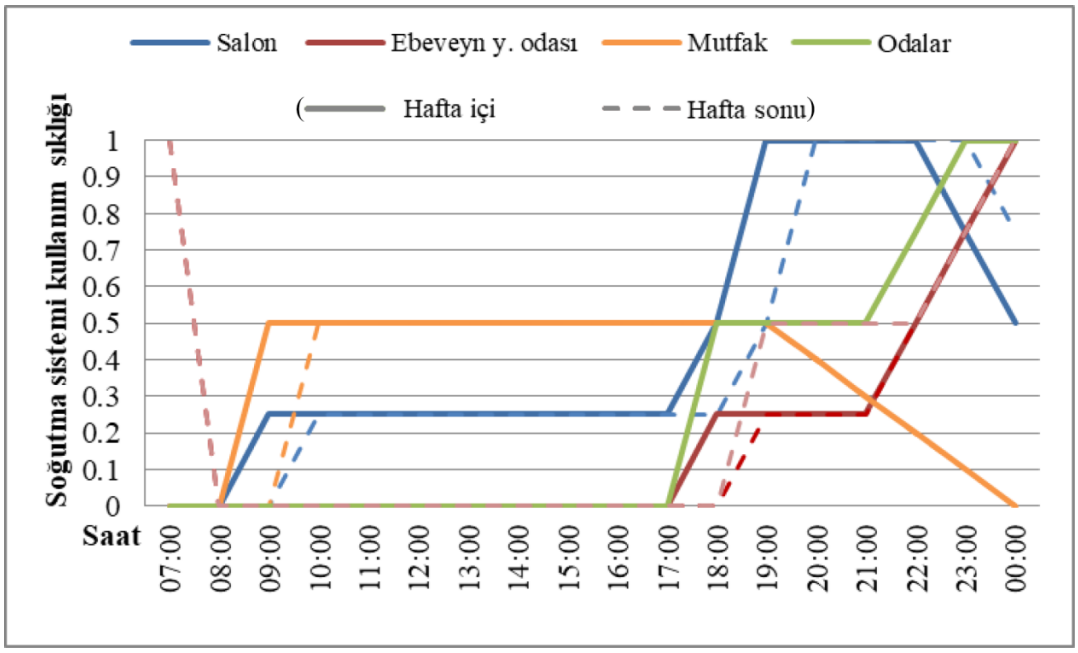
c) Mimari tasarım: Alan çalışması sonuçlarına göre, referans bina simülasyon modellerinde saydam bileşen olarak çift cam (4 mm berrak cam + 12 mm hava + 4 mm berrak cam) kullanıldığı kabul edilmiştir. Camın gün ışığı, güneş ışınımı ve ısıl geçirgenlik katsayısı sırasıyla T_{vis}: 0,8, g: 0,75, U_{cam}: 2,9 W/m^2 olarak alınmıştır. İç gölgeleme elemanı olarak açık renkli, gevşek dokumalı tekstil perde kullanılmıştır (3 mm, λ: 0,1 W/m-K, T_{vis}:

0,7, r: 0,25). PVC pencere doğrama profil boyutunun 60 mm ($U_{doğrama}$: 1,63 W/m^{2}K) olduğu kabul edilmiştir. Zemin, duvar, tavan ve mobilyalar için ışık yansıtma katsayıları anket verileri ve TS EN 12464-1 (2021) standardındaki referans aralığa göre ρ_{zemin}: 0,3, ρ_{duvar}: 0,5, ρ_{tavan}: 0,7, $\rho_{mobilya}$: 0,6 alınmıştır.

d) Bina alt sistemleri ve işletim takvimi: Anket sonuçları (bkz. Şekil 3. 27 ve Şekil 3. 28), ASHREA Standart 55 (2020) ve CEN EN 16798-1 (2019) bağlı olarak her üç konut sitesi için binaların ısıtıldığı ve soğutulduğu dönemde mahal iç mekan ayar (termostat) sıcaklıklarının (*set point temperature*) sırasıyla $T_{i\ kış}$: 23°C ve $T_{i\ yaz}$: 24°C olduğu kabul edilmiştir. Merkezi kazan ile yerden ısıtma sistemine sahip Örnek 1 ve Örnek 3'ün tesisat projelerine göre konut içi sirkülasyon alanları ve giriş holü de dahil olmak üzere tüm hacimleri ısıtılmaktadır. Kombi ve radyatör sistemine sahip Örnek 2 de ise giriş holü ve koridor haricindeki tüm konut hacimleri ısıtılmaktadır. Apartman bloklarında giriş, koridor, giyinme odası, banyo/WC ve ortak mahaller hariç tüm mekanların multi-split klima ile soğutulduğu kabul edilmiştir. Isıtma döneminde binalarda yoğuşma/donma kaynaklı hasarı önlemek ve iklimlendirme sistemini devreye alma sırasında ısıtma yükünü azaltmak amacıyla konut mekanlarının kullanılmadığı saatlerde düşük bir seviyede iklimlendirme yapıldığı kabul edilmiştir. Konut hacimlerinde iklimlendirme sisteminin devreye alınması için iç ortam sıcaklığının *(set back temperature)* ısıtma döneminde 16°C'nin altına düşmesi, soğutma döneminde 30°C'nin üstüne çıkması gerekmektedir. Mekanik havalandırma sistemi bulunmayan binalarda, doğal havalandırmanın mekan kullanım süresi ve sıklığına bağlı (bkz. Şekil 3. 34) yapıldığı kabul edilmiştir. Pencerelerin açılması için dış ortam hava sıcaklığı minimum 20°C, saat başına hava değişimi 5 ac/h ve iç ortam sıcaklığı minimum 23°C olarak tanımlanmıştır. Yapı kabuğu sızdırmazlık kat sayısı 0,8 ac/h kabul edilmiştir.

Isıtma sistemi ve soğutma sisteminin verim değerleri, mekanik tesisat projesi, binaların yapım yılı ve alan çalışmasıyla belirlenen ekipman özellikleri doğrultusunda $CoP_{ısıtma}$: 0,9 ve $CoP_{soğutma}$: 3 kabul edilmiştir. Mekanik sistemlerin işletim takvimlerinin oluşturulmasında anket verileri ve site yönetimlerinden alınan bilgilerden yararlanılmıştır.

Isıtma dönemimde merkezi ve ferdi sisteminin haftanın her günü 06:00 – 24:00 saatleri arasında iç mekan ayar sıcaklığına bağlı olarak çalıştığı kabul edilmiştir. Soğutma dönemi için mekan kullanım süresi ve sıklığı dikkate alınarak oluşturulan multi-split klima işletim takvimi Şekil 3. 35'te yer almaktadır.



Şekil 3. 35. Konut siteleri için soğutma sisteminin hafta içi ve hafta sonu işletim takvimi *(Haz: Egemen Kaymaz)*

Referans binalarda lamba ve armatür seçimi, kurulu gücün belirlenmesi ve işletim takviminin oluşturulmasında iç mimari ve elektrik tesisat projesi, anket verileri ve TS EN 15193-1 (2017) standardından yararlanılmıştır. Genel aydınlık düzeyleri TS EN 12464-1 (2021) ve IESNA'ya (2011) referansla yaşam alanı için 200 lüks, yatak odaları için 100 lüks, mutfak için 300 lüks, banyo/WC için 300 lüks, giriş, hol ve ortak mahaller için 100 lüks kabul edilmiştir. İç mekan aydınlatma sistemi, armatür sayısı ve kurulu güç değerlerine göre site bazında farklılık göstermekle birlikte, referans binalarda kompakt floresan lambaların kullanıldığı, aydınlatma otomasyonunun bulunmadığı ve lambaların manuel olarak komütatör anahtarlar ile kontrol edildiği kabul edilmiştir. İç aydınlatma sistemi işletim takvimi Şekil 3. 34'teki konut mekanlarının kullanım takvimiyle ilişkilendirilmiş, lambaların 00:00 – 07:00 saatleri arasında kapalı konumda olduğu kabul edilmiştir.

e) Finansal göstergeler: Mimari tasarım ve bina alt sistemleri değişkenlerinin geri ödeme süresi ve optimizasyon çözümlerinin global maliyetlerinin hesaplanması için finansal göstergelere ilişkin kabuller yapılarak bu veriler MS Excel programına girilmiştir. Yapı malzeme ve bileşenleri ile bina alt sistemlerinin hizmet ömrüne ilişkin veriler piyasa araştırması, bu alanda yapılmış uluslararası araştırmalar, BS EN 15459-1 (2017) ve ABD merkezli kuruluş NIST (*National Institute of Standards and Technology* - Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü) kılavuzlarına (2022a; 2022b) göre belirlenmiştir. Konut hizmet ömrü standartlar çerçevesinde 50 yıl kabul edilerek, geri ödeme süresi bina hizmet ömrünü aşan seçenekler optimizasyon analizine dahil edilmemiştir.

Binaların global maliyeti analizi için hesaplama dönemi 30 yıl ve başlangıç yılı 2022 kabul edilmiştir. Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası istatistiklerine göre (2022) göre son 5 yılın (2017 - 2021) ortalama enflasyon oranı (R_i) %14,9, bankalarca açılan kredilere uygulanan ağırlıklı ortalama piyasa faiz oranı (R) %20,3 ve buna karşılık gelen iskonto oranı (R_d) %25.15 olarak hesaplanmıştır. 2017 - 2021 yılları için bir önceki yılın aynı ayına göre yıllık enflasyon oranları - TÜFE (Yıllık % Değişim) ve ortalama enflasyon oranı (R_i) Çizelge 3. 6'da özetlenmiştir.

Konut aboneleri için doğalgaz ve elektriğin vergi ve fonlar dahil 2022 yılı ortalama birim fiyatı, 2017 – 2021 yıllarına ait enerji (perakende satış) birim fiyatları ve bir önceki yıla göre artış oranları Çizelge 3. 7'de görülmektedir (Bursagaz, 2022; Uludağelektrik, 2022). Son 5 yılda enerji birim fiyatındaki artışın enflasyon oranından yüksek olması nedeniyle doğalgaz ve elektrik için bugünkü değer faktörü (f_pv) ve iskonto oranları ($R_{d_elektrik}$, $R_{d_doğalgaz}$) ayrıca hesaplanmıştır. Global maliyet analizinde kullanılan finansal göstergeler Çizelge 3. 8'de görülmektedir.

Çizelge 3. 6. 2017 - 2021 yılları için bir önceki yılın aynı ayına göre yıllık enflasyon oranları - Yıllık TÜFE'deki değişim ve beş yıllık ortalama (T.C. Merkez Bankası, 2022)

TARİH	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	YILLIK ORTALAMA (%)
2017	9.22	10.13	11.29	11.87	11.72	10.9	11.13
2018	10.35	10.26	10.23	10.85	12.15	15.39	16.22
2019	20.35	19.67	19.71	19.5	18.71	15.72	15.46
2020	12.15	12.37	11.86	10.94	11.39	12.62	12.26
2021	14.97	15.61	16.19	17.14	16.59	17.53	19.42
TARİH	**TEMMUZ**	**AĞUSTOS**	**EYLÜL**	**EKİM**	**KASIM**	**ARALIK**	**5 YILLIK ORTALAMA (%)**
2017	9.79	10.68	11.2	11.9	12.98	11.92	
2018	15.85	17.9	24.52	25.24	21.62	20.3	
2019	16.65	15.01	9.26	8.55	10.56	11.84	**14.9**
2020	11.76	11.77	11.75	11.89	14.03	14.6	
2021	18.95	19.25	19.58	19.89	21.31	36.08	

Çizelge 3. 7. Doğalgaz ve elektriğin 2017 – 2022 yılına ait vergi ve fonlar dahil birim fiyatları ve bir önceki yıla göre artış oranları Uludağelektrik, 2022; Bursagaz, 2022).

TARİH	ELEKTRİK	DOĞALGAZ	ELEKTRİK			
Ocak	2.06	0.24	TARİH	BİRİM FİYAT (TL)	ARTIŞ ORANI (%)	5 YILLIK ORTALAMA (%)
Şubat	2.06	0.24				
Mart	1.89	0.25	**2017**	0.411	-0.36	
Nisan	1.89	0.32	**2018**	0.503	22.38	
Mayıs	1.89	0.32	**2019**	0.601	19.53	16.06
Haziran	2.17	0.41	**2020**	0.720	19.91	
Temmuz	2.17	0.41	**2021**	0.856	18.83	
Ağustos	2.17	0.41	DOĞALGAZ			
Eylül	2.6	0.50	**2017**	0.104	-2.35	
Ekim	2.6	0.50	**2018**	0.110	5.44	
Kasım	2.6	0.52	**2019**	0.136	23.74	11.84
Aralık	2.6	0.52	**2020**	0.163	20.53	
2022 Ortalama	**₺2.23**	**₺0.39**	**2021**	0.183	11.84	

Çizelge 3. 8. Global maliyet hesabında kullanılan finansal parametrelere ait değerler

Finansal parametre	**Değer**
Enflasyon oranı, R_i	%14,90
Piyasa faiz oranı, R	%20,31
Reel faiz oranı, R_r	%4,71
Uygulama yılı için iskonto oranı R_d	%25,15
1 Avro, €	16,26 TL
1 Dolar, $	14,93 TL

3.4.4. Referans bina modelinin oluşturulması ve simülasyon adımları

Alan çalışmasının ardından seçilen kapalı konut sitelerindeki farklı yönlere bakan ve aynı plan tipolojisine sahip dört apartman bloğunun iç aydınlatma ve bina enerji simülasyon modelleri oluşturulmuştur. Modelleme ve simülasyonda izlenen adımlar aşağıda açıklanmış ve ardından örnek konut siteleri için oluşturulan aydınlatma modeli (Şekil 3. 36) ve enerji modelleri (Şekil 3. 37 – Şekil 3. 39) verilmiştir.

a) İç mekan aydınlatma modeli: Çalışma kapsamında ele alınan referans binalar aydınlatma tasarım programı DIALux Evo'da modellenerek konut hacimleri için gün ışığı ve lamba ışığı senaryoları oluşturulmuş ve aydınlatma simülasyonları gerçekleştirilmiştir. İç mekan aydınlatma modeli oluşturulması ve simülasyonunda izlenen adımlar aşağıda özetlenmiştir:

- **Proje bilgilerinin programa girilmesi:** Konut bloğuna ait ortak mahallerin ve konut birimlerinin proje bilgilerinin; coğrafi konum (koordinat bilgisi, kuzey yönü, saat dilimi), mevcut mimari, iç mimari ve elektrik projesine göre oda geometrisi, pencere ve kapı boşlukları, kat yüksekliği, donatılar ve iç mekan yüzey renk ve yansıtma özellikleri programa girilmesi.
- **Aydınlatma aygıtlarının simülasyon modeline eklenmesi:** Aydınlatma aygıtlarına ilişkin piyasa araştırması, üretici firmaların beyan ettiği ürün özelliklerinin; ölçü ve boyutlar, lamba tipi, ışık akısı, kurulu güç, parazit güç, enerji tüketimi, ışık verimi, ışık renk sıcaklığı, ışık dağılım eğrisi ve renksel geriverim, loşlaştırma özelliği, aydınlatma otomasyonuyla entegrasyonu gibi teknik verilerin analizi. Kullanıcı tercihleri doğrultusunda DIALux Evo kütüphanesinden ve/veya online lamba kataloglarından ışık ölçümsel (*photometric*) özelliklerine göre uygun genel ve bölgelik aydınlatma aygıtlarının seçimi ve modele yerleştirilmesi; armatürün konumu, montaj yüksekliği, loşlaştırma düzeyi ve ışığın çalışma düzlemine geliş açısının ayarlanması.
- **Hesap düzlemlerinin belirlenmesi:** Konut hacimlerinde gerçekleştirilen farklı eylemlere bağlı olarak yatay, dikey ve eğik çalışma düzlemlerinin oluşturulması.

- **Görsel konfor koşullarının değerlendirilmesi**: İç mekan görsel konfor değerlendirme ölçütlerine göre, gün ışığının olmadığı gece senaryosu için yapma aydınlatma senaryolarının standartlarda yer alan gereksinimleri karşılayıp karşılamadığının belirlenmesi.
- **Simülasyon sonuçlarının temsili:** Hesap düzlemleri için eş aydınlık (*isolux*) eğrileri, aydınlık düzeyi nümerik değerleri ve üç boyutlu görsellerin oluşturulması.

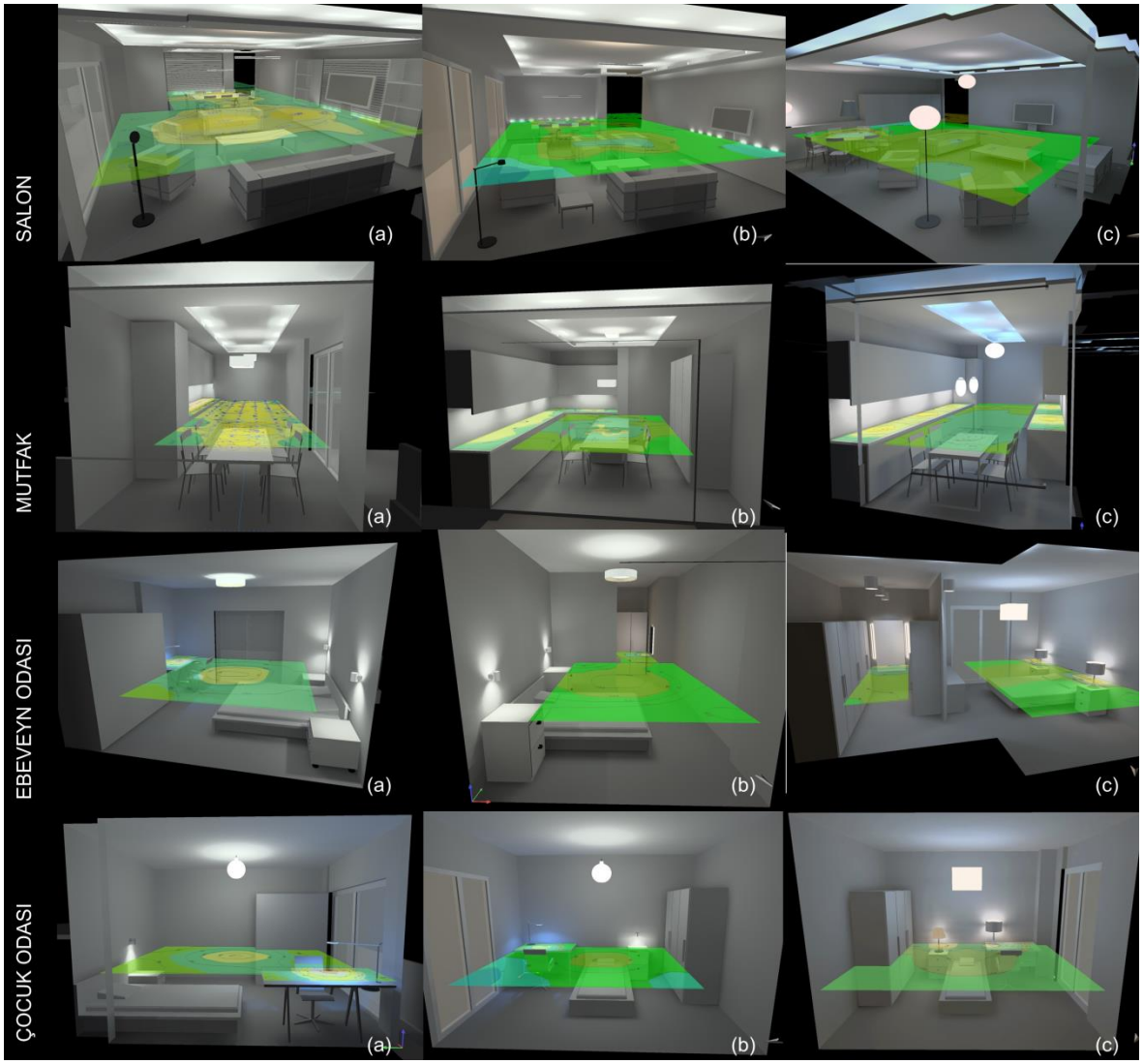
b) Bina enerji modeli: Seçilen konut projelerinin enerji performansının değerlendirilmesi için detaylı dinamik hesaplama motoru EnergyPlus için geliştirilen DesignBuilder arayüz programı kullanılmıştır. Bina enerji modeli oluşturulması ve simülasyonu için izlenen adımlar aşağıdaki gibidir:

- **İklim ve coğrafi bilgilerin programa tanımlanması:** Binanın bulunduğu bölgenin coğrafi konumu (enlem ve boylam bilgisi, saat dilimi) ve arazi özelliklerinin (rakım, rüzgar maruz kalma durumu, dış yüzey özellikleri) Designbuilder arayüzüne girilmesi. Çalışma kapsamında ele alınan iller için TMY saatlik iklim verilerinin indirilerek programa tanımlanması.
- **Geometrik modelin oluşturulması:** Kat planları ve bina verisinin CAD (*computer-aided design*) ortamından DXF (*drawing exchange format*) olarak programa aktarılması, binaların vaziyet planında cephe yönlenimine ve arazi eğimine göre modellenmesi. Çatı, toprakla temas eden ve (varsa) ısı alışverişinin olmadığı (*adiabatic*) yapı bölümlerinin eklenerek geometrik modelin tamamlanması.
- **Bina zonlarının oluşturulması, aktivite tipleri ve takvimlerinin atanması:** Konut mekanları ve ortak mahallerin işlevlerine göre bölgelere (zonlara) ayrılması. Her zon için belirlenmiş kullanıcı yoğunluğu, aktivite düzeyi (metabolik oran), giysi yalıtım değerleri, iç mekan ayar (termostat) sıcaklıkları, havalandırma üst ve alt limitleri, genel ve bölgelik aydınlık düzeyi değerleri ve iç ısıl yükü oluşturan diğer bileşenlerin (elektrikli ev aletleri vb.) programın ara yüzüne tanımlanması. Mekan kullanım süresi ve sıklığına karşılık gelen kullanım takvimlerinin oluşturulması.
- **Pencere, ışıklıklar ve gölgeleme elemanlarının modellenmesi:** Mimari proje verilerine göre yapı kabuğu saydam bileşenlerinin geometrisinin bina enerji modeline

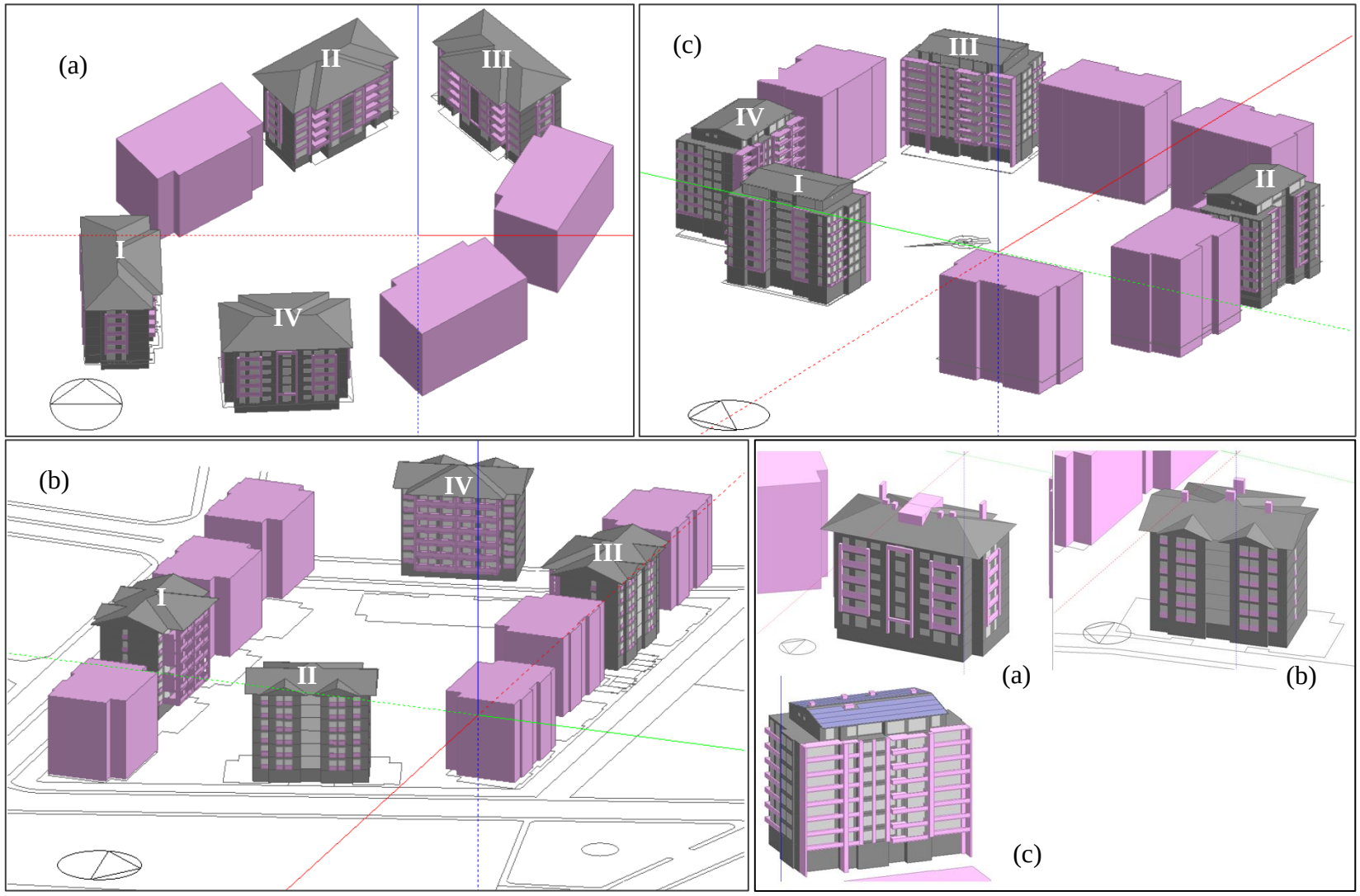
işlenmesi. İç ve dış gölgeleme elemanlarının termofiziksel ve optik özelliklerinin tanımlanması, iç mekan güneş kontrol stratejisine yönelik (örneğin mekan kullanım takvimine bağlı, kamaşmaya bağlı, dış ortam sıcaklığına bağlı veya her zaman açık/kapalı gibi) işletim takviminin oluşturulması.

- **Yapı elemanları özelliklerinin programa tanımlanması:** Konutların mevcut mimari ve ısı yalıtım projelerine göre tüm yapı elemanları katmanlarının (dış duvar, iç bölme duvar, bodrum duvarları, pencere, kapı, ara kat döşemesi, bodrum kat döşemesi, toprakla temas eden döşeme, çatı döşemesi ve kaplamaları vb.) termofiziksel ve optik özelliklerinin TS 825 (2008) ısı yalıtım yönetmeliğindeki malzeme özellikleri dikkate alınarak programa tanımlanması veya DesignBuilder kütüphanesinde yer alan yapı malzemesi şablonlarından seçilerek düzenlenmesi.
- **Bina alt sistemlerinin programa tanımlanması:** DIALux Evo programında oluşturulan iç aydınlatma sistemine bağlı aydınlatma kurulu güç ve işletim takviminin DesignBuilder programına tanımlanması. Binayı koşullandıran mekanik sistemlerinin basit metodla (*simple HVAC*) modellenmesi. Isıtma sistemi (kombi, sıcak su kazanları), soğutma grubu (klima santralleri), ve sıhhi sıcak su sistemi için yakıt, verim değerleri (CoP) ve işletim takviminin tanımlanması. Güneş enerji sistemlerinin (PV) modellenmesi, elektriksel, mekanik ve fiziksel özelliklerinin programın arayüzüne tanımlanması.
- **Simülasyon ayarlarının yapılması ve uygulama:** Simülasyon hesap süresi, saat başına zaman adımı (*timestep*) sayısı ve çıktı düzeyinin ayarlanması. Enerji, yakıt tüketimi, sistem yükleri, ısıl kazançlar, konfor, CO_2 emisyonu, gün ışığı sonuçlarına ilişkin grafik ve/veya çizelge olarak yıllık, aylık, günlük, saatlik raporların DesignBuilder arayüzü veya HTML tabloları üzerinden analiz edilmesi ve kaydedilmesi.
- **Gün ışığı performansının değerlendirilmesi**: Statik (CIE kapalı gök modeli) ve iklime dayalı dinamik (CIE ortalama gök modeli) gün ışığı değerlendirme ölçütlerine göre, Radiance motoru kullanılarak referans binaların ilk, orta ve üst katlarındaki örnek mekanlarının gün ışığı performansının değerlendirilmesi.

- **Isıl konfor koşullarının değerlendirilmesi:** EnergyPlus simülasyon motoru kullanılarak referans binaların ilk orta ve üst katlarında yer alan örnek mekanların ısıl konfor gereksinimleri karşılayıp karşılamadığının belirlenmesi.
- **Bina enerji performansının değerlendirilmesi:** EnergyPlus programı kullanılarak simülasyonların gerçekleştirilmesi. Isıtma, soğutma, ve aydınlatma enerjisi sonuçlarının kaydedilmesi. Sonuçlara karşılık gelen yıllık nihai enerji, birincil enerji, CO_2 salımı ve enerji maliyetinin MS Excel programında hesaplanması ve grafiklerin oluşturulması.



Şekil 3. 36. Konut sitelerine ait DIALux Evo modeli salon, mutfak, ebeveyn odası ve çocuk odası yapma aydınlatma senaryoları: (a) Örnek 1, (b) Örnek 2, (c) Örnek 3



Şekil 3. 37. Konut sitelerine ait DesignBuilder enerji modeli: (a) Örnek 1, (b) Örnek 2, (c) Örnek 3

3.5. İyileştirme Senaryolarına Ait Simülasyon Hesaplamaları

Referans bina enerji modellerinin oluşturulmasının ardından, iyileştirme senaryolarına ait değişkenler belirlenmiş, her bir seçenek için simülasyonlar tekrarlanarak referans binaya göre enerji performans ölçütlerindeki değişim oranları hesaplanmıştır. Bu bölümde izlenen adımlar aşağıda açıklanmıştır.

3.5.1. Tasarım değişkenlerinin belirlenmesi

Binalarda enerji verimliliğinin arttırılmasına yönelik iyileştirme senaryoları üç farklı plan tipi ve mekan organizasyonuna sahip konut projesi üzerinden analiz edilmiştir. İyileştirme senaryolarına ait değişkenler:

- Kentsel, bina, mekan, yapı kabuğu ölçeğindeki mimari (pasif) tasarım değişkenleri,
- Mekanik, elektrik ve yenilenebilir enerji sistemi bileşenleri ve bu bileşenlerin işletim takviminden meydana gelen bina alt sistemleri (aktif) tasarım değişkenleri

olmak üzere iki ana başlıkta toplanmıştır. Çizelge 3. 9'da sabit ve değişkenlere (*variables*) ait seçenekler (*options*) görülmektedir.

Çizelge 3. 9. İyileştirme senaryolarına ait sabit (S) ve değişkenler (D)

MİMARİ TASARIM	**KENTSEL ÖLÇEKTEKİ SABİT ve DEĞİŞKENLER**	
	Konum **(D)**	Rakım sabit tutularak Türkiye'nin 5 farklı iline ait enlem verileri kullanılmıştır. Referans binalar Bursa ili Nilüfer ilçesinde (40°15', 28°56') yer almaktadır.
	İklim **(D)**	Bursa – TS 825'e göre 2. derece – gün bölgesi (Ilımlı- nemli) İzmir - 1. Derece gün bölgesi (sıcak - nemli) Diyarbakır - 2. Derece (sıcak - kuru) Ankara - 3. Derece gün bölgesi (Ilımlı - kuru) Erzurum - 4. Derece gün bölgesi (soğuk)
	Topografya **(S)**	Konut projelerine ilişkin düzenlenmiş zemin kotları ve peyzaj ögeleri esas alınmıştır.
	Doğal ve yapma engeller **(S)**	Blokların birbirine uzaklığı ve mekanlar için engel açısı mimari proje verileri üzerinden hesaplanmıştır.
	BİNA ve MEKAN ÖLÇEĞİNDEKİ SABİT ve DEĞİŞKENLER	
	Cephe yönlenimi **(D)**	Her siteden seçilen 4 referans konut bloğunun cephe yönlenimi farklıdır. Blokların 5° açıyla döndürülmesinin (0º - 355º) bina değerlendirme ölçütlerine etkisi analiz edilmiştir.

Çizelge 3. 9. İyileştirme senaryolarına ait sabit (S) ve değişkenler (D) (devamı)

MİMARİ TASARIM	**BİNA ve MEKAN ÖLÇEĞİNDEKİ SABİT ve DEĞİŞKENLER**	
	Mekan organizasyonu **(S)**	Farklı konut sitesinde yer alan ve farklı plan kurgusuna sahip apartman bloklarının enerji performans kriterleri bakımından karşılaştırılmıştır.
	Boyut ve biçim faktörü **(D)**	Mekan ölçeğinde genişlik/derinlik oranı sabit tutulurken taban alanı/hacim oranı kat yüksekliğine göre değişmektedir.
	YAPI KABUĞU ÖLÇEĞİNDEKİ SABİT ve DEĞİŞKENLER	
	Taşıyıcı sistem seçimi **(S)**	B.A. İskelet sistem
	Opak bileşenlerin kuruluşu, termofiziksel ve optik özellikleri	Dış cephe kaplama malzemesi ve (varsa) hava boşluğu (S) Duvar yalıtım malzemesi ve kalınlığı (D) Yalıtımın yeri (dıştan yalıtım) (S) Döşeme, çatı, bodrum kat ve temel yalıtım kalınlığı (S) Yapı kabuğu infiltrasyon katsayısı (D) İç mekan yüzeyleri ışık yansıtma katsayıları (ρ_{duvar}, $\rho_{döşeme}$, ρ_{tavan}) (D)
	Saydam bileşenlerin kuruluşu; termofiziksel ve optik özellikleri	Cephe toplam saydamlık oranı (pencerelerin boyutsal özellikleri; yükseklik/genişlik oranı) (D) Doğramanın konumu ve parapet yüksekliği (D) Doğrama malzemesi, profil boyutu (D) Pencere cam katman sayısı ve türü (D) Gün ışığı geçirgenlik değeri (T_{vis}) (D) Solar faktör (g) (D) Isıl geçirgenlik - U değeri (D) Gölgeleme elemanı tasarımı (iç/dış, yön, derinlik, açı) (D)
BİNA ALT SİSTEMLERİ	**MEKANİK ve ELEKTRİK SİSTEMİ SABİT ve DEĞİŞKENLERİ**	
	Isıtma sistemi	Sistem tipi (kazanlı merkezi sistem - kat kaloriferi sistemi, ferdi sistem - kombi) (S) Yerden ısıtma/ radyatör sistemi (S) İç mekan ayar sıcaklığı (D) Verim (%) (S) Kullanıcı faktörüne bağlı işletim takvimi (D)
	Soğutma sistemi	Sistem tipi (multi-split klima) (S) İç mekan ayar sıcaklığı (D) Verim (%) (S) Kullanıcı faktörüne bağlı işletim takvimi (D)
	Sıhhi sıcak su sistemi	Sistem tipi (merkezi boyler, kombi, termosifon, elektrikli şofben, güneş kollektörü vb.) (S) Mevsim ayar sıcaklıkları (S) Verim (%) (S)
	Havalandırma sistemi	Doğal havalandırma (S) Pencere açılışı için iç ve dış ortam sıcaklık limitleri (S) Kullanıcı faktörüne bağlı işletim takvimi (D)
	Yenilenebilir enerji sistemi	PV panel boyutu, hücre boyutu ve sayısı (S) Modül verimliliği (%) (S) Maximum güç P_{max} (S) Açık devre gerilimi (V_{OC}) (S) Kısa devre akımı (I_{SC}) (S) PV panel sıraları arasındaki mesafe (S) PV panellerin yönü (D) PV panellerin eğim açısı (D)

Çizelge 3. 9. İyileştirme senaryolarına ait sabit (S) ve değişkenler (D) (devamı)

BİNA ALT SİSTEMLERİ	**MEKANİK ve ELEKTRİK SİSTEMİ SABİT ve DEĞİŞKENLERİ**	
	Yapma aydınlatma sistemi	Aydınlatma aygıt türünün işleve bağlı seçimi, aydınlatma biçimi (ışık dağılımı ve doğrultusu) ve yerleşim düzeni (genel ve bölgelik aydınlatma) (D) Aygıt montaj biçimi ve çalışma düzlemine uzaklığı (D) Lamba türü ve sayısı (D) Işık akısı (lm) (D) Güç (W) (D) Lamba verimi – etkinlik faktörü (lm/W) (D) Lamba ömrü ve enerji sınıfı (D) Renk sıcaklığı (CCT, K) (D) Renksel geriverim (CRI,%) (D) Aydınlatma aygıtı geriverimi (%) (D) Lamba periyodik bakım ve kirlilik faktörü (değer düşürme çarpanı) (S) Aydınlatma kontrol stratejisi (Manuel, gün ışığına bağlı loşlaştırma) (D) Kullanıcı faktörüne bağlı işletim takvimi (D)
	Bina alt sistemleri işletim takvimi	Pandemi süreci ve sonrasında konut hacimlerinin kullanım süresi ve sıklığına bağlı ısıtma, soğutma ve aydınlatma sistemi işletim takvimi (D)

3.5.2. Duyarlılık analizi

Duyarlılık analizi yöntemi, tasarım değişkenlerinin bina performans değerlendirme ölçütleri üzerindeki etki düzeylerinin belirlenmesi ve önem derecelerine göre sıralanmasını sağlamaktadır. Çalışma kapsamında Çizelge 3. 9'daki mimari tasarım ve bina alt sistemleri başlıkları altında sınıflandırılan değişkenler için simülasyonlar bağımsız olarak gerçekleştirilerek örneklem tabanlı yaklaşımı temel alan kısıtlı duyarlılık analizi yapılmıştır. Her simülasyonda 15 iyileştirme senaryosundaki bir tasarım seçeneği değiştirilip diğer parametreler sabit tutularak ele alınan değişkenin Bursa ilindeki örnek konut sitelerini temsil eden referans binanın enerji performansı üzerindeki etkisi araştırılmış, simülasyon sonuçları referans bina değerleriyle karşılaştırılarak her bir seçeneğin referans binanın yıllık ısıtma, soğutma, aydınlatma, toplam nihai, birincil enerji tüketimi, enerji tüketimine bağlı yıllık toplam enerji maliyeti ve karbon emisyonunu hangi oranda etkilediği ve enflasyon dahil ve hariç yatırımın geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Amaç fonksiyonları arasında ödünleşim incelenerek değişkenler arasındaki olası korelasyon yorumlanmıştır.

Duyarlılık analizi sonuçlarına göre mimari tasarım ve bina alt sistmleri değişkenlerinin seçenek sayısı indirgenmiş ve optimizasyon analizi süresinin kısaltılması hedeflenmiştir. İyileştirme senaryoları içinde uzun geri ödeme süresine sahip veya bina hizmet ömrünü aşan seçenekler optimizasyon analizine dahil edilmemiştir.

3.6. BES Tabanlı Optimizasyon Hesaplamaları

Çalışmanın bu adımında duyarlılık analizi ile optimizasyon kapsamından çıkarılanlar haricindeki tüm tasarım seçenekleri doğrudan araştırma ya da deneme yanılma yöntemi ile simülasyon yapmak yerine, genetik algoritmalar kullanılarak BES tabanlı optimizasyon yöntemiyle rastgele seçilmiş ve her bir iterasyonda farklı kombinasyonlar elde edilmiştir. Simülasyonların iterasyonun tamamlanmasıyla mevcut popülasyonda ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi toplamı için en iyi performansı gösteren bireylerin (seçeneklerin kombinasyonunun) elde edilmesi hedeflenmiştir. Ardından optimizasyon analiziyle elde edilen seçeneklerin global maliyeti hesaplanmış ve bu seçenekler referans durumla karşılaştırılarak iyileştirme oranları hesaplanmıştır. Çalışmanın BES tabanlı optimizasyon adımları aşağıda açıklanmıştır.

- **Amaç fonksiyonunun tanımlanması - komut dosyası yazılması:** DesignBuilder'ın kullanılan sürümü ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisinin toplamını yerleşik bir temel performans göstergesi (*built-in output key performance indicator,* KPI) olarak içermediğinden, optimizasyon modülüne ısıtma + soğutma + aydınlatma enerjisini minimize edecek yeni bir amaç fonksiyonu tanımlanması. EnergyPlus sonuçlarında bu KPI'ya erişmek için EpNet (*C#*) yazılım dili kullanarak özel komut dosyası (*CS-script*) yazılması (Designbuilder, n.d.a).
- **Tasarım kısıtlarının tanımlanması:** Enerji tüketimi, karbon emisyonu, gün ışığı alımı limit değeri gibi eşitlik, eşitsizlik veya tamsayı kısıtlarının tanımlanması.

- **Diğer optimizasyon çıktılarının tanımlanması:** Amaç fonksiyonu dışındaki diğer optimizasyon çıktıların (örneğin yıllık toplam karşılanmayan yük saati vb.) belirlenmesi.
- **Tasarım değişken ve seçeneklerinin tanımlanması:** Tasarım değişkeni sekmesinden sürekli ve ayrık değişken setini, bu değişkenlere ait seçenekleri ve seçenek değerlerinin belirlenmesi.
- **Optimizasyon ayarlarının yapılması ve uygulama:** Optimizasyon hesaplama ayarlarının yapılması ve simülasyon iterasyonun başlatılması. Simülasyonun başlangıç ve bitiş tarihlerinin, başlangıç nüfüs büyüklüğü (*initial population size*), yakınsama ölçütü (*generations for convergence*) ve maksimum nesil sayısının (*maximum generations*) programa girilmesi
- **Optimizasyon sonuçlarının değerlendirilmesi:** Temel performans göstergelerinin matematiksel verilere ve grafik çıktılara dönüşmesi ile nihai enerji tüketim sonuçlarının yorumlanması. Ödünleşimli performans hedefleri için (örneğin enerji tüketimi/maliyet, ısıtma/soğutma enerjisi vb.) optimizasyon hedeflerini karşılayan ve pareto cephesinde yer alan tasarım seçeneklerinin analizi
- **Sonuçların MS Excel programına aktarılması:** Optimizasyon sonuçlarının CSV (*comma-separated values*) formatında MS Excel programına aktarılması ve düzenlenmesi. Yıllık toplam birincil enerji tüketimi, buna bağlı enerji maliyeti ve kabon emisyonunun ilgili dönüşüm katsayıları ve birim fiyatlar kullanılarak hesaplanması. Global maliyet hesap cetveli ile optimal çözümlerin uzun dönem maliyetinlerinin belirlenmesi. Sonuçların karşılaştırılarak optimal çözüm kümesi içinden maliyet odaklı ve enerji odaklı en iyi, ilk 10 ve ilk 100 çözümün belirlenmesi.

3.7. Global maliyet analizi

Referans binalar için maliyet optimum enerji verimliliği seviyesinin belirlenmesi için BES tabanlı optimizasyon çalışmasıyla elde edilen çözümlerin EPBD çerçeve metodolojisi (EPBD, 2010/31/AB) ve EN 15149-1 (2017) "Bina Enerji Sistemleri için Ekonomik Değerlendirme Prosedürü'' standardında yer alan yer alan mikroekonomik finansal

yaklaşıma göre, ilk yatırım, bakım, işletim, enerji ve artık (*residual*) maliyetleri içeren global maliyetleri hesaplanmıştır. Global maliyet hesabı için MS Excel programında oluşturulan hesap cetveli, kullanılan formüllerle bir arada Şekil 3. 40'ta yer almaktadır.

Mimari tasarım bileşenleri (dış duvar ısı yalıtımı, pencere camı ve doğraması, güneş kontrol elemanları ve iç cephe boyası) ve bina alt sistemleri bileşenlerinin (lamba, armatür ve aydınlatma otomasyonu, termostatik vana ve dijital termostat, PV paneller) işçilik, nakliye ve uygulama giderleri dahil birim fiyatları, piyasada faaliyet gösteren inşaat firmalarından alınan bilgilere ve TC Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yayınlanan 2022 yılı "İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları'' kitapçığına göre belirlenmiştir (ÇŞİDB, 2022). Değişkenlere ait ortalama yıllık bakım ve yenileme maliyetleri piyasa araştırması yapılarak, BS EN 15459-1 (2017) standartı Ek A, NIST (2022a) ve (2022b) kılavuzlarındaki bilgiler esas alınarak belirlenmiştir. İyileştirme senaryoları için birim fiyat analizi ve yatırım maliyetine oranla ortalama yıllık bakım maliyetleri Çizelge 3. 10'da görülmektedir. Kompakt floresan (L1), LED (L2) ve ışık akısı ayarlanabilir LED (L3) lambalar için piyasa araştırmasına dayalı birim fiyat analizi EK 5 ve EK 6'da yer almaktadır. Döviz ile fiyatlandırılan yapı bileşenleri için 2022 yılı döviz kuru ortalaması kullanılmıştır.

Sembol	Terim		Değer			Tanım
R_r	Reel faiz oranı	Real interest rate	0.0471			*Nominal interest rate - Inflation rate*
R	Piyasa faiz oranı	Market (nominal) interest rate	0.2031			*Interest rate agreed by lender expressed in % (A nominal interest rate equals the real interest rate plus a projected rate of inflation)*
R_i	Enflasyon oranı	Inflation rate	0.1490			*Annual depreciation of the currency expressed in %*
R_E	Nominal enerji artışı	Nominal energy escalation	0.1610			*The rate is stated including inflation*
R_e	Reel enerji artışı	Real energy escalation	0.0104			*The rate is stated in real (excluding inflation)*
f_pv (n)	Bugünkü değer faktörü	Present value factor	29.7822			*Multiplying factor used for adjustment of the cost at year i to starting year of the calculation*
f_pvm (n)		Present value factor$_{energy}$	18.1047			
D_fi	Reel indirim oranı	Discount factor	0.2515			
R_d	Uygulama yılı için indirim oranı	Discount rate	**Year**	**R_d**	**R_d $_{enerji}$**	*Definite value for comparison of the value of money at different times*
			1	0.9995	0.9650	
			2	0.9991	1.8962	
			3	0.9986	2.7949	
			4	0.9981	3.6621	
			5	0.9976	4.4990	
			6	0.9972	5.3065	
			7	0.9967	6.0859	
			8	0.9962	6.8379	
			9	0.9958	7.5636	
			10	0.9953	8.2640	
			11	0.9948	8.9398	
			12	0.9944	9.5920	
			13	0.9939	10.2213	
			14	0.9934	10.8287	
			15	0.9930	11.4147	
			16	0.9925	11.9803	
			17	0.9920	12.5261	
			18	0.9916	13.0528	
			19	0.9911	13.5610	
			20	0.9906	14.0515	
			21	0.9902	14.5248	
			22	0.9897	14.9815	
			23	0.9892	15.4223	
			24	0.9888	15.8476	
			25	0.9883	16.2581	
			26	0.9878	16.6542	
			27	0.9874	17.0364	
			28	0.9869	17.4053	
			29	0.9864	17.7612	
			30	0.9860	18.1047	
	30 YIL İÇİN		*f_pv (n)*	**29.8**	**328.0**	

R_r — Real interest rate (real discount rate); Reel faiz oranı

Formül 1 $$R_R = \frac{R - R_i}{1 + R_i}$$

Formül 2 $$RAT_{re} = RAT_{inf} - RAT_{act}$$

f_pv (n) — Present value factor; Bugünkü değer faktörü

Formül 3 $$PVAL_f_{t_{TC}} = \frac{1-(1+RAT_{disc})^{-t_{TC}}}{RAT_{disc}}$$

D_fi — Discount factor; İskonto

Formül 4 $$D_f_i = \left(\frac{1}{1+ RAT_{disc}}\right)^i$$

R_e — Real energy escalation; Reel enerji artışı

Formül 5 $$R_e = \frac{1 + R_E}{1 + R_i} - 1$$

f_pvm (n) — Present value factor$_{energy}$; Bugünkü değer faktörü

Formül 6 $$f_{pvm}(n) = \left(\frac{1 + R_e}{R_R - R_e}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 + R_e}{1 + R_R}\right)^n\right]$$

Şekil 3. 38. Global maliyet analizinde ekonomik değerlendirme ölçütlerini belirlemek için kullanılan MS Excel hesap cetveli

Çizelge 3. 10. Mimari tasarım ve bina alt bileşenleri için birim fiyat analizi ve ortalama yıllık bakım maliyetleri (ÇŞİDB, 2022; BS EN 15459-1, 2017; NIST, 2022a; NIST, 2022b)

Senaryo No	Bileşen Adı	Özellik	Birim	Birim Fiyatı	Ömür (Yıl)	Ortalama Yıllık Bakım Maliyeti
Ref	Berrak Çift Cam	4+12 hava+4mm Ucam= 2.9 Tvis= 0.80 SHGC= 0.75, çift cam	m^2	280.00 TL	30	0.75%
G1		4+16 hava+4mm Ucam= 2.7 Tvis= 0.80 SHGC= 0.75, çift cam	m^2	280.00 TL		
G2		4+16 argon+4mm Ucam= 2.6 Tvis= 0.80 SHGC= 0.75, çift cam	m^2	300.00 TL		
G3		4+12 hava+4mm Ucam= 1.6 Tvis= 0.79 SHGC= 0.56, çift cam	m^2	340.00 TL		
G4		4+16 hava+4mm Ucam= 1.3 Tvis= 0.79 SHGC= 0.56, çift cam	m^2	340.00 TL		
G5		4+16 argon+4mm Ucam= 1.1 Tvis= 0.79 SHGC= 0.56, çift cam	m^2	360.00 TL		
G6		4+12 hava+4mm Ucam= 1.6 Tvis= 0.71 SHGC= 0.44, çift cam	m^2	360.00 TL		
G7		4+16 hava+4mm Ucam= 1.3 Tvis= 0.71 SHGC= 0.44, çift cam	m^2	360.00 TL		
G8		4+16 argon+4mm Ucam= 1.1 Tvis= 0.71 SHGC= 0.44, çift cam	m^2	380.00 TL		
G9	Low-e Çift Cam	6+16 hava+6mm Ucam= 1.4 Tvis= 0.69 SHGC= 0.40, low-e	m^2	480.00 TL		
G10		6+16 argon+6mm Ucam= 1.1 Tvis= 0.69 SHGC= 0.40, low-e	m^2	500.00 TL		
G11		6+16 hava+6mm Ucam= 1.4 Tvis= 0.63 SHGC= 0.43, low-e	m^2	420.00 TL		
G12		6+16 argon+6mm Ucam= 1.1 Tvis= 0.63 SHGC= 0.43, low-e	m^2	440.00 TL		
G13		6+16 hava+6mm Ucam= 1.4 Tvis= 0.72 SHGC= 0.53, low-e	m^2	580.00 TL		
G14		6+16 argon+6mm Ucam= 1.1 Tvis= 0.72 SHGC= 0.53, low-e	m^2	600.00 TL		
G15		6+16 hava+6mm Ucam= 1.4 Tvis= 0.80 SHGC= 0.64, low-e	m^2	590.00 TL		
G16		6+16 argon+6mm Ucam= 1.1 Tvis= 0.80 SHGC= 0.64, low-e	m^2	605.00 TL		
Örnek 1(R)	XPS ısı yalıtımı	3 cm	m^2	141.58 TL	40	0.75%
Örnek 2(R)	EPS ısı yalıtımı	3 cm	m^2	127.33 TL	30	
Örnek 3(R)	Taşyünü ısı yalıtımı	3 cm	m^2	150.85 TL	50	
Y1	EPS ısı yalıtımı	4 cm	m^2	133.23 TL	30	
Y2	Taşyünü ısı yalıtımı	4 cm	m^2	159.11 TL	50	
Y3	XPS ısı yalıtımı	4 cm	m^2	152.23 TL	40	
Y4	EPS ısı yalıtımı	5 cm	m^2	139.14 TL	30	
Y5	Taşyünü ısı yalıtımı	5 cm	m^2	167.25 TL	50	
Y6	XPS ısı yalıtımı	5 cm	m^2	162.89 TL	40	
Y7	EPS ısı yalıtımı	6 cm	m^2	145.04 TL	30	
Y8	Taşyünü ısı yalıtımı	6 cm	m^2	175.39 TL	50	
Y9	XPS ısı yalıtımı	6 cm	m^2	173.55 TL	40	
Y10	EPS ısı yalıtımı	8 cm	m^2	156.85 TL	30	
Y11	Taşyünü ısı yalıtımı	8 cm	m^2	191.54 TL	50	
Y12	XPS ısı yalıtımı	8 cm	m^2	194.86 TL	40	
Y13	EPS ısı yalıtımı	10 cm	m^2	167.90 TL	30	
Y14	Taşyünü ısı yalıtımı	10 cm	m^2	206.65 TL	50	
Y15	XPS ısı yalıtımı	10 cm	m^2	216.17 TL	40	
PVC	Pencere Doğraması (60-70-80mm)	Kasa-kanat-cam çıtası	adet	36.46 TL	30	0.75%
		Destek Sacı	adet	6.35 TL	30	
		Kol	adet	122.50 TL	30	
		Menteşe	adet	28.13 TL	30	

Çizelge 3. 10. Mimari tasarım ve bina alt bileşenleri için birim fiyat analizi ve ortalama yıllık bakım maliyetleri (devamı)

ALU	Pencere Doğraması (60-70-80mm)	Kasa-kana	adet	100.80 TL	30	0.75%
		Kol	adet	122.50 TL	30	
		Menteşe	adet	28.13 TL	30	
Ref	İç duvar yansıtma çarpanları (1mm saten alçı sıva üzeri iç cephe boyası)	REF= 0.5	m^2	77.75 TL	10	1.50%
R1		R1= 0.6	m^2			
R2		R2= 0.7	m^2			
R3		R3= 0.8	m^2			
L1 - L2	Armatür	a: Sıva üstü aygıt	adet	60.00 €	30	0.75%
		b: Sarkıt lamba	adet	60.00 €		
		c: Sarkıt lamba	adet	85.00 €		
		d: Ayaklı lambader	adet	190.00 €		
		e: Masa lambası	adet	130.00 €		
		f: Sarkıt lamba	adet	50.00 €		
		g: Tezgah üstü lineer aygıt	adet	35.00 €		
		h: Sarkıt lamba	adet	120.00 €		
		i: Masa lambası	adet	145.00 €		
		j: Masa lambası	adet	125.00 €		
		k: Sıva üstü aygıt	adet	40.00 €		
		l: Sıva üstü aygıt	adet	35.00 €		
		m: Spot	adet	15.00 €		
	L1: CFL lamba	Günde 10 saat kullanım, 10.000 saat lamba ömrü	adet	EK 5	3	0%
	L2: LED lamba	Günde 10 saat kullanım, 20.000 saat lamba ömrü	adet	EK 5	5	0%
L3	Armatür	a: Sıva üstü aygıt	adet	150.00 €	30	0.75%
		b: Sarkıt lamba	adet	150.00 €		
		c: Sarkıt lamba	adet	125.00 €		
		c*: Sarkıt lamba	adet	150.00 €		
		d: Ayaklı lambader	adet	300.00 €		
		e: Masa lambası	adet	65.00 €		
		f: Sarkıt lamba	adet	125.00 €		
		g: Tezgah üstü lineer aygıt	adet	80.00 €		
		h: Sarkıt lamba	adet	200.00 €		
		i: Masa lambası	adet	140.00 €		
		i*: Masa lambası	adet	220.00 €		
		j: Masa lambası	adet	175.00 €		
		k: Sıva üstü aygıt	adet	70.00 €		
		l: Sıva üstü aygıt	adet	60.00 €		
		m: Spot	adet	30.00 €		
	L3: Akıllı (*smart – hue*) LED lamba	Günde 10 sa kullanım, 25.000 sa (rated/nominal) lamba ömrü	adet	EK5	5	0%
	Aydınlatma otomasyonu	Gün ışığı sensörü	adet	55.00 €	15	3%
		Kontrol modülü ve kontrol paneli role kontrolör, gateway/ağ geçidi	adet	1.245.00 €	15	
CB	Dış gölgemele elemanları	Cam balkon	m^2	1.650 TL	30	0.75%
O1		Yatay Çıkma 0.5 m	m^2	1.166 TL		
O2		Yatay Çıkma 1 m	m^2	2.333 TL		
O3		Yatay Çıkma 1.5 m	m^2	3.500 TL		
O1+S1		Yatay + Yanal Çıkma 0.5 m	m^2	1.166 TL		
O2+S2		Yatay + Yanal Çıkma 1 m	m^2	2.333 TL		
T1	Oda termostatı (iç ortamın ısıtıldığı dönemde)	T1: 22°C	adet	175-275 TL	20	1.50%
T2		T2: 21°C	20/40 m^2 oda için iki yollu motorlu vana			
T3		T3: 20°C				
T1	Dijital termostat (iç ortamın soğutulduğu dönemde)	T1: 25°C	adet	120.00 €	15	4.00%
T2		T2: 26°C				
T3		T3: 27°C				
PV	Fotovoltaik panel 440Wp kurulu güç, modül verimi:%20,2	12 Yıl fiziksel garanti, 30 yılın sonuna kadar panel performansı (elektrik üretimi) %80 ve üzeri	adet	1 Wp 1.35$	30	0.50%

Binaların global maliyet analizi için hesaplama dönemi 30 yıl ve başlangıç yılı 2022 kabul edilerek 2017-2021 yıllarına ait finansal göstergeler kullanılmıştır (bkz. Çizelge 3. 8). T.C. Merkez Bankası istatistiklerine göre son 5 yılın (2017 – 2021) ortalama enflasyon oranı, bankalarca açılan kredilere uygulanan ağırlıklı ortalama piyasa faiz oranı (TL üzerinden açılan ihtiyaç, taşıt ve konut kredisinin toplamı olan tüketici kredisi) ve buna karşılık gelen iskonto oranı hesaplanmıştır (T.C. Merkez Bankası, 2022). Türkiye'nin yıllık enflasyon oranı 2022'de son yirmi yılın en yüksek seviyesine ulaşması ve enflasyon oranına karşılık gelen hesap sonuçlarının negatif çıkması nedeniyle 2022 yılı verileri global maliyet hesabına dahil edilmemiştir.

Enerji maliyetinin büyük bir kısmını kullanıcıların iç ortam iklimsel ve görsel konfor şartlarını sağlamaya yönelik elektrik ve doğalgaz faturaları oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında enerji maliyetleri ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi tüketimine karşılık gelen maliyetler ile sınırlandırılmış, sıhhi sıcak su, fan, pompa ve elektrikli ev aletleri için tüketilen enerji miktarı sonuç grafiklerine dahil edilmemiştir. Son 5 yılda enerji birim fiyatındaki artışın enflasyon oranından yüksek olması global maliyet analizinde dikkate alınmış, doğalgaz ve elektrikteki nominal artışa bağlı bugünkü değer faktörü ve iskonto oranları hesaplanmıştır.

Global maliyet hesap formülü çalışmanın kapsamı açısından düzenlenmiş ve yapı bileşenlerinin yıkım maliyeti hesaba dahil edilmemiştir. Ayrıca, başta AB ülkeleri olmak üzere birçok ülkede emisyon hacmini azaltıcı politika aracı olarak uygulanan karbon vergisi henüz Türkiye'de yürürlüğe girmediği için sera gazı emisyonu maliyeti çalışma kapsamının dışında tutulmuştur. Örnek konut binalarının global maliyetini karşılaştırabilmek için hesap sonuçları birim alan üzerinden (TL/m^2) değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bulgular ve tartışma bölümü kapsamında konutlarda iklimsel ve görsel konfor koşullarının sağlanmasına yönelik enerji optimizasyonu üzerine önerilen tasarım destek modelinin uygulanabilirliği referans binalar üzerinde test edilmiştir. Bölüm 4.1'de üç örnek konut sitesini temsil eden apartman bloklarının simülasyonları yapılarak binalar enerji performans ölçütlerine göre değerlendirilmiştir. Ardından her bloğun ısıl ve görsel konfor koşulları ve gün ışığı performans analizleri yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

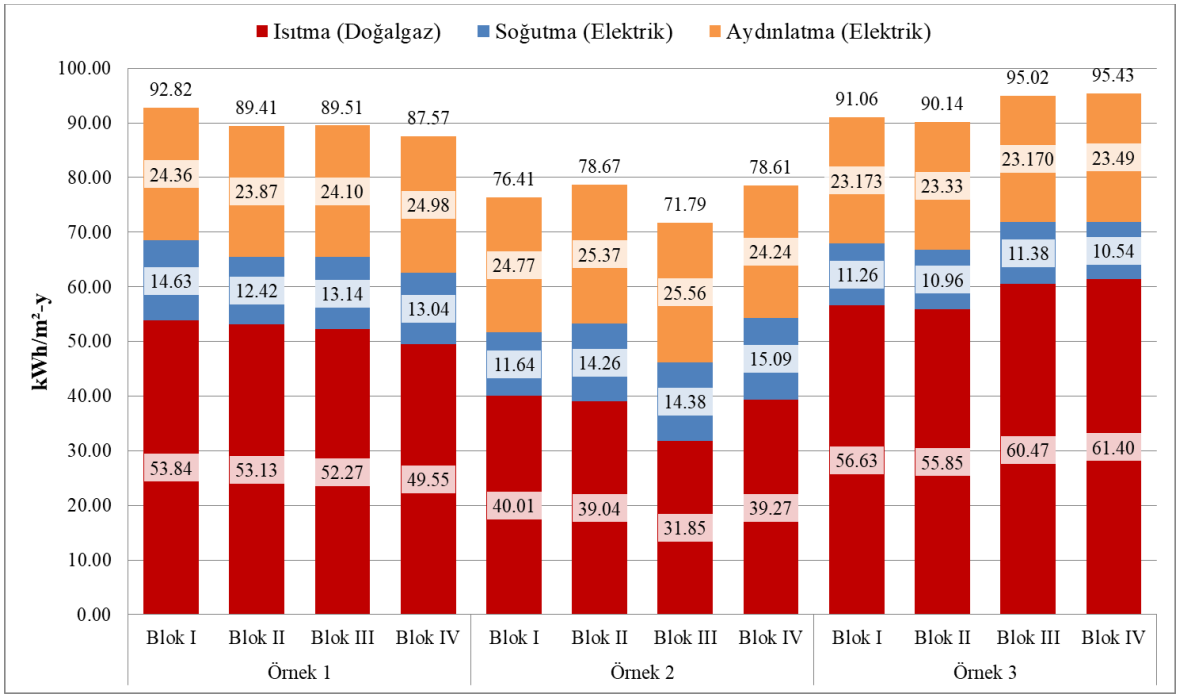
Bölüm 4.2'de mimari tasarım ve bina alt sistemlerine ilişkin senaryoların simülasyonları yapılarak toplam 15 değişken başlığı altındaki 183 seçeneğin enerji performans ölçütlerine etkisi ve geri ödeme süreleri değerlendirilmiştir. Bu bölümün sonunda duyarlılık analiziyle BES tabanlı optimizasyon çalışmasında kullanılacak seçenekler belirlenmiştir. Bölüm 4.3'te optimizasyon sonuçlarına yer verilmiştir. Optimal çözüm kümesi içindeki maliyet odaklı ve enerji odaklı en iyi on çözümün hangi seçeneklerin kombinasyonundan meydana geldiği sunulmuştur. Bunun yanı sıra, birincil enerji tüketimi ve global maliyet bakımından en iyi sonucu veren 100 çözümdeki değişkenlerin ağırlıkları yüzdelik olarak değerlendirilmiştir. Bölüm sonunda enerji odaklı ve maliyet odaklı optimal çözümler ısıl ve görsel konfor ölçütlerine göre ele alınarak farklı iklim bölgeleri için tasarım çözümleri bütüncül olarak değerlendirilmiştir.

4.1. Referans Bina Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

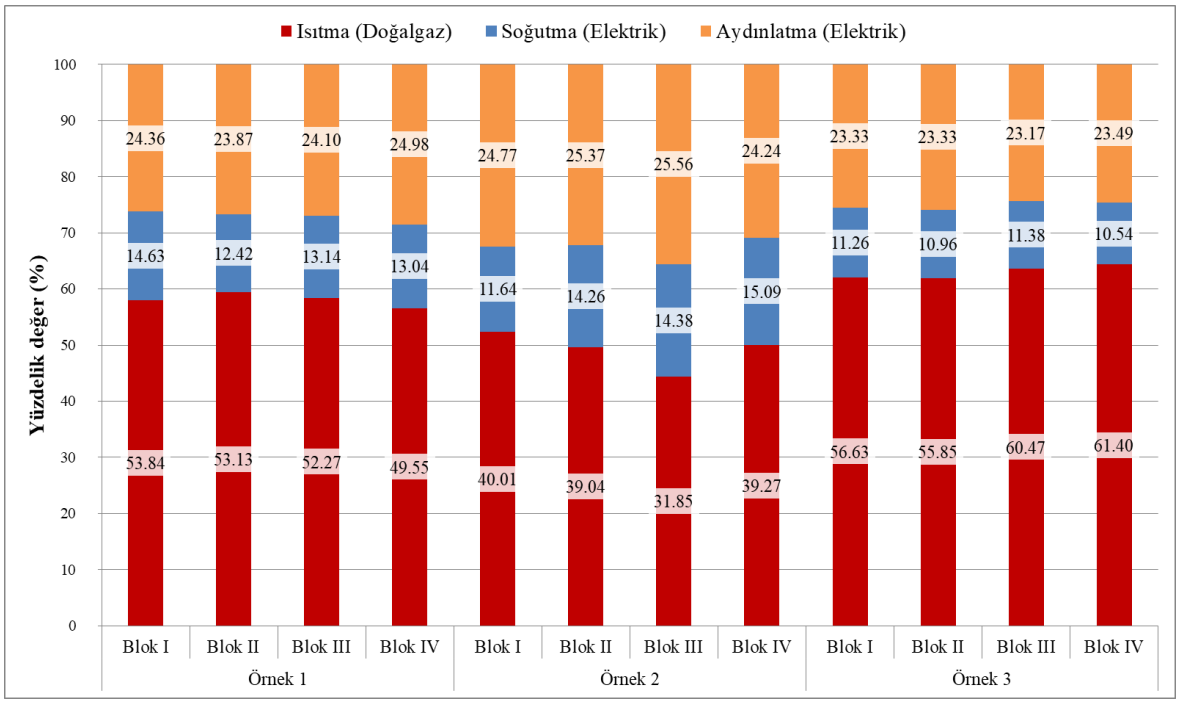
Bu bölümde örnek konut sitelerindeki farklı yöne bakan ve aynı plan tipolojisine sahip dört blok Bölüm 3.2'de açıklanan bina performans değerlendirme ölçütlerine göre incelenmiştir. Referans binaların ısıl konfor, görsel konfor, gün ışığı alımı, yıllık toplam enerji tüketimi, enerji tüketimine karşılık gelen maliyet ve karbon emisyonu sonuçları grafik ve çizelgeler halinde sunulmuştur. Simülasyon hesap süresi 1 yıl (8760 saat), saat başına zaman adımı (timestep) sayısı 4 (15 dakika) olarak ayarlanmıştır.

4.1.1. Enerji performans sonuçları

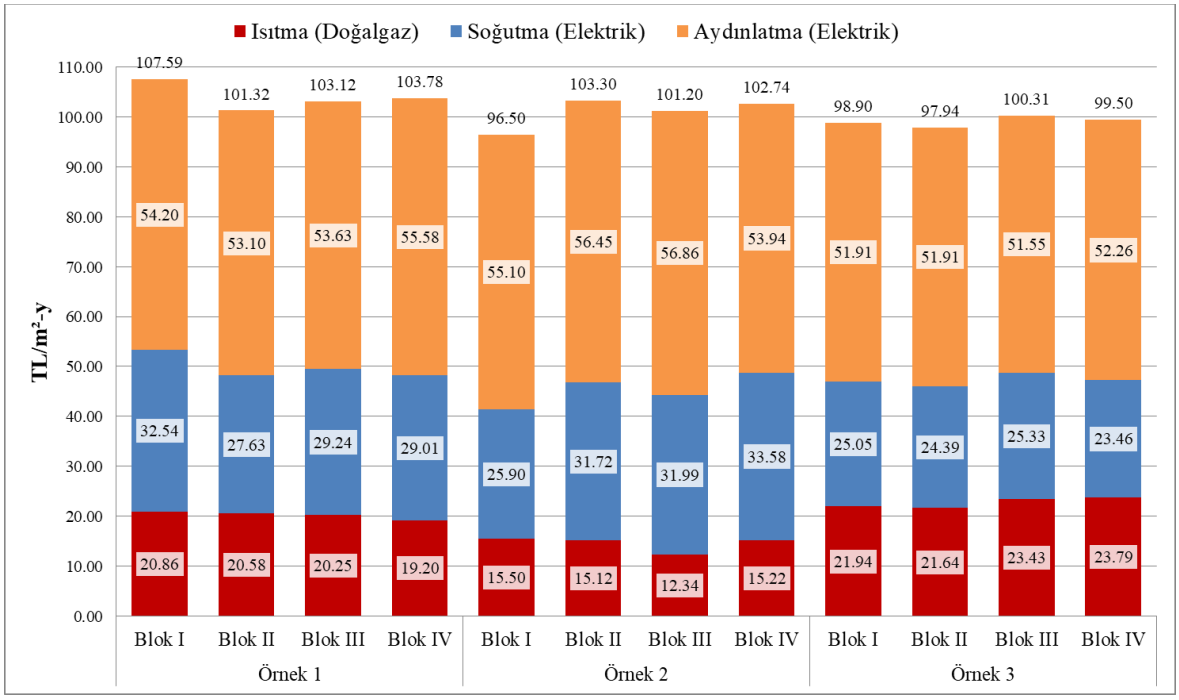
Designbuilder programında bina enerji modelinin oluşturulmasından sonra üç konut sitesindeki farklı yöne bakan dört bloğun enerji simülasyonları yapılarak, blok bazında birim alan için enerji tüketimi; yıllık toplam ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi, nihai enerji ve birincil enerji cinsinden (kWh/m^2.y) hesaplanmıştır. Doğalgaz ve elektrik tüketimine bağlı yıllık toplam CO_2 emisyonu (kg eşd. CO_2/m^2.y) simülasyon çıktılarının yakıt cinsine göre karbon emisyonu dönüşüm katsayıları ile çarpılarak hesaplanmıştır. Yıllık toplam enerji maliyetlerinin (TL/m^2.y) hesaplanmasında 2022 yılı enerji birim fiyatları ortalaması (bkz. Çizelge 3. 7) kullanılmıştır. Hesaplama sonuçları aşağıda grafikler halinde sunulmuş ve maddeler halinde özetlenmiştir. Blokların baktığı hakim yönler, yaşam alanının baktığı yön/yatak odalarının baktığı yön şeklinde parantez içinde belirtilmiştir.



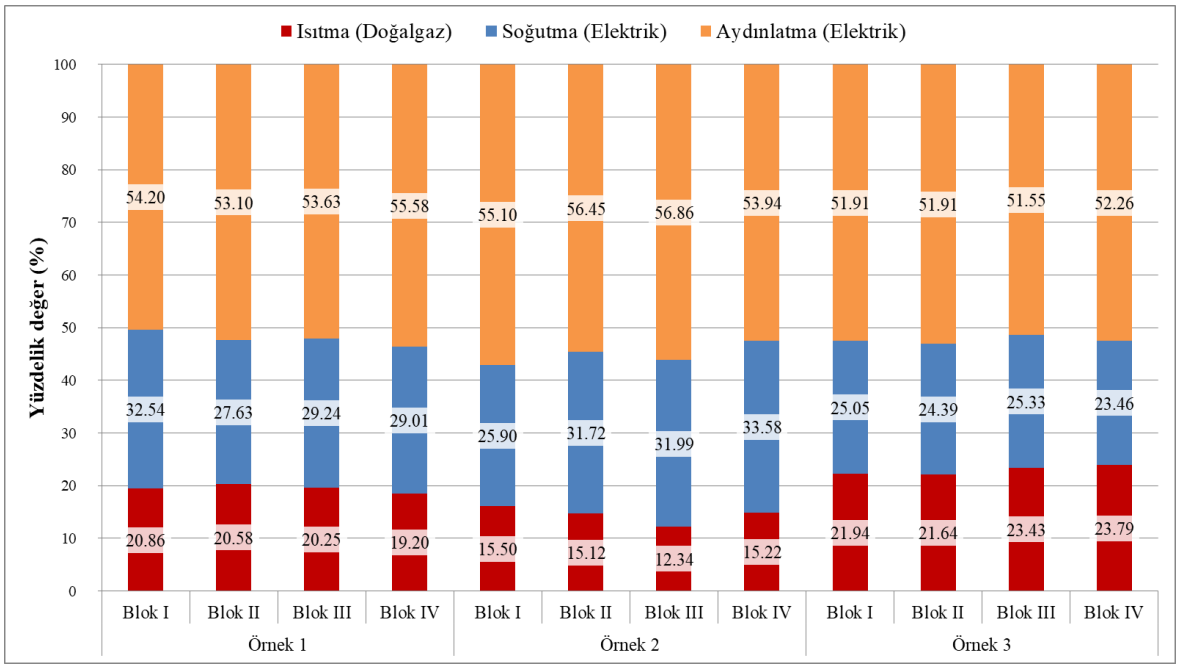
Şekil 4. 1. Blok bazında yıllık nihai enerji tüketimi (kWh/m^2.y)



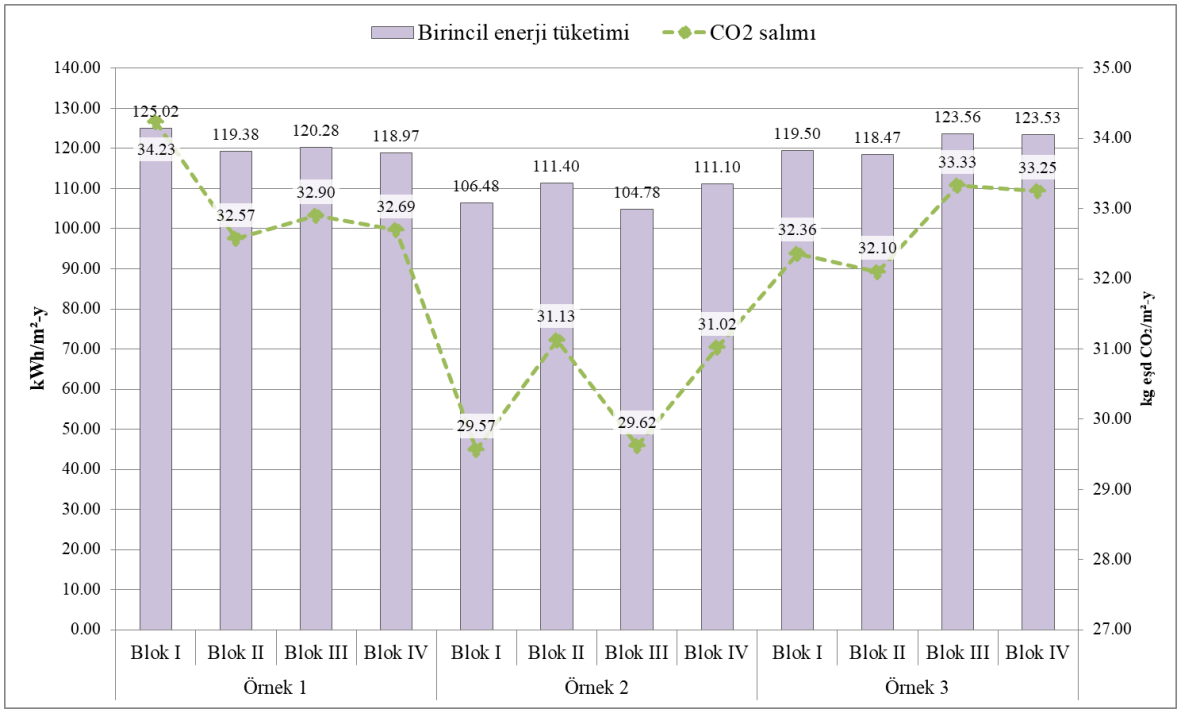
Şekil 4. 2. Blok bazında ısıtma, soğutma, aydınlatma enerjisi nihai tüketim oranları (%)



Şekil 4. 3. Blok bazında yıllık enerji tüketim maliyetleri (TL/m^2.y)



Şekil 4. 4. Blok bazında ısıtma, soğutma, aydınlatma enerjisi maliyeti oranları (%)



Şekil 4. 5. Blok bazında birincil enerji tüketimi (kWh/m^2.y) ve CO_2 emisyonu (kg eşd. CO2/m^2.y)

- Her bloğun cephe yönlenimi ve engel açısının göre ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi tüketimi değişmektedir.
- Örnek 1'de ısıtma enerjisi tüketimi en yüksek olan Blok I (D/B) ve en düşük olan Blok IV (K/G) arasındaki 8,7%'lik fark birim alan başına 4,3 kWh ve 1,7 TL'ye denk gelmektedir. Soğutma enerjisi tüketimi en yüksek Blok I (D/B) ve en düşük Blok II (GD/KB) arasındaki fark %17,8 ile yılda m^2 başına 2,2 kWh ve 4,9 TL'dir. Aydınlatma enerjisi tüketimi en yüksek Blok IV (K/G) ve en düşük Blok II (GD/KB) arasındaki %4,7'lik fark yıllık 1,1 kWh/m^2 ve 2,5 TL/m^2 olarak hesaplanmıştır.
- Örnek 1 için yıllık nihai enerji tüketimi ve birincil enerji tüketimi, en yüksek Blok I (D/B) ve en düşük Blok IV (K/G) arasındaki fark sırasıyla %6 (5,3 kWh/m^2) ve %5,1'dir (6,1 kWh/m^2).
- Örnek 1'de yıllık enerji maliyeti en yüksek Blok I (D/B) ve en düşük Blok II (GD/KB) arasındaki fark %6,2'dir (6,3 TL/m^2).
- Örnek 1'de yıllık CO_2 emisyonu en yüksek Blok I (D/B) ve en düşük Blok II (GD/KB) arasındaki fark %5,1'dir (1,7 kg eşd. CO_2/m^2).
- İkinci konut sitesinde ısıtma enerjisi tüketimi en yüksek Blok I (G/K) ve en düşük Blok III (K/G) arasında 25,6%'lık bir fark oluşmaktadır. Bu fark m^2 başına 8,2 kWh ve 3,2 TL'ye denk gelmektedir. Soğutma enerjisi tüketimi en yüksek Blok IV (KD/GB) ve en düşük Blok I (G/K) arasındaki fark ise %29,7'dir (3,5 kWh/m^2.y, 7,7 TL/m^2.y). Aydınlatma enerjisi tüketimi en yüksek Blok III (K/G) ve en düşük Blok IV (KD/GB) arasındaki %5,4'lük fark birim alan başına yıllık 1,3 kWh ve 2,9 TL'ye denk gelmektedir.
- Örnek 2 için yıllık toplam nihai enerji tüketimi ve birincil enerji tüketimi en yüksek Blok II (GB/KD) ve en düşük Blok III (K/G) arasındaki fark sırasıyla %9,6 (6,9 kWh/m^2) ve %6,3'tür (6,6 kWh/m^2).
- Örnek 2'de yıllık toplam enerji maliyeti en yüksek Blok II (GB/KD) ve en düşük Blok I (G/K) arasındaki fark %7 ile 6,8 TL/m^2'dir.
- Örnek 2'de yıllık CO_2 emisyonu en yüksek Blok II (GB/KD) ve en düşük Blok I (G/K) arasındaki fark %5,3 ile 1,6 kg eşd. CO_2/m^2'dir.

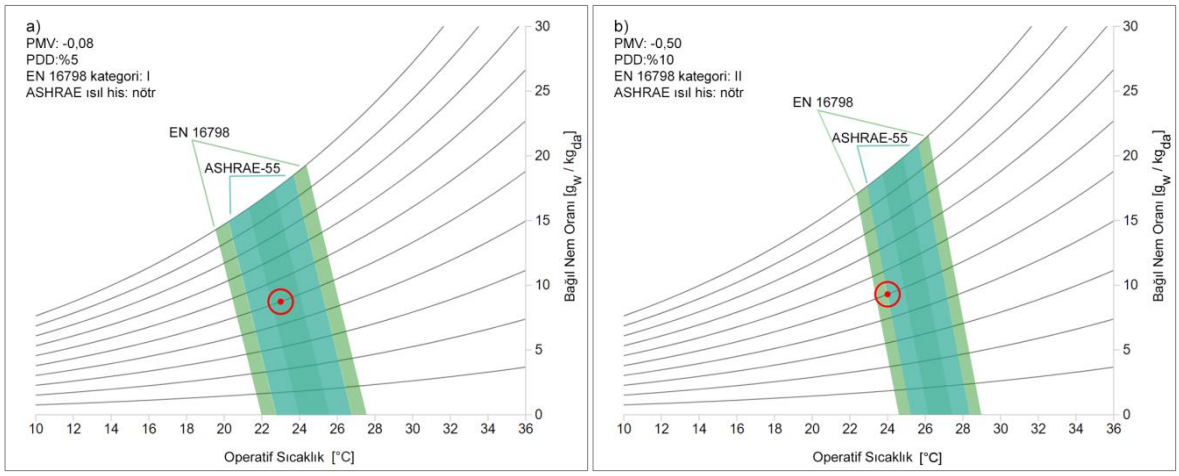
- Üçüncü örnekte ısıtma enerjisi tüketimi en yüksek Blok IV (GB/KD) ile en düşük Blok II (KD/GB) arasında 9,9%'luk bir fark meydana gelmektedir. Bu değer birim alan başına 5,6 kWh ve 2,2 TL'dir. Soğutma enerjisi tüketimi en yüksek Blok III (KB/GD) ve en düşük Blok IV (GB/KD)'ün arasındaki fark %8 ile birim alan için 0,8 kWh ve 1,9 TL'dir. Aydınlatma enerjisi tüketimi en yüksek Blok II (KD/GB) ve en düşük Blok IV (GB/KD) arasındaki %1,4'lük fark birim alan başına yıllık 0,3 kWh ve 0,7 TL'dir.
- Örnek 3 için yıllık toplam nihai enerji tüketimi ve birincil enerji tüketimi en yüksek Blok III (KB/GD) ve en düşük Blok II (KD/GB) arasındaki fark sırasıyla %5,9 (5,3 kWh/m^2) ve %4,3'tür (5,1 kWh/m^2).
- Örnek 3'te yıllık toplam enerji maliyeti en yüksek Blok III (KB/GD) ve en düşük Blok II (GB/KD) arasındaki fark %2,4 ile m^2 başına 2,4 TL'dir.
- Örnek 3'te yıllık CO_2 emisyonu en yüksek Blok III (KB/GD) ve en düşük Blok II (KD/GB) arasındaki fark %3,8 ile 1,2 kg eşd. CO_2/m^2'dir.
- Farklı yönlere bakan dört bloğa ait simülasyon sonuçlarının aritmetik ortalaması alınarak örnek konut sitelerini temsil eden referans binaların ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerji tüketim değerleri belirlenmiştir. Örnek 1, Örnek 2 ve Örnek 3'ü temsil eden referans binaların ısıtma enerjisi tüketimi sırasıyla 52,2, 37,5 ve 58,6 kWh/m^2.y; soğutma enerji tüketimi sırasıyla 13,3, 13,8, 11,0 kWh/m^2.y; aydınlatma enerjisi tüketimi sırasıyla 24,3, 25,0, 23,3 kWh/m^2.y olarak hesaplanmıştır.
- 3 örnek konut sitesini temsil eden ve eşdeğer yalıtım kalınlığına sahip referans binalar ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi performansı açısından karşılaştırıldığında, daha fazla kat yüksekliği, kabuk alanı ve saydamlık oranına sahip Örnek 3 en yüksek yıllık ısıtma enerjisi, en düşük soğutma ve aydınlatma enerjisi tüketimine sahip olduğu görülmüştür.
- Referans binalar birincil enerji bakımından karşılaştırıldığında, Örnek 3'ün yıllık tüketimi (121,3 kWh/m^2.y), Örnek 1 (120,9 kWh/m^2.y) ve Örnek 2'den (108,4 kWh/m^2.y) daha yüksektir. Öte yandan, yıllık toplam enerji maliyeti bakımından Örnek 3 (99,2 TL/m^2.y) Örnek 1 (104 TL/m^2.y) ve Örnek 2'den (100,9 TL/m^2.y) daha düşüktür.
- Referans binalar için oluşturulan kullanıcı senaryosu ve yapılan kabuller üzerinden

enerji performansı hesaplandığında, Şekil 4. 2'de görüldüğü gibi blok bazında en yüksek nihai enerji tüketim payı ısıtmaya ayrılmaktadır (~%40 – %60). Soğutma amaçlı enerji tüketimi toplam enerji tüketiminin ~%11 – 15'ini, aydınlatma amaçlı enerji tüketimi toplamın ~%23 – 26'sını oluşturmaktadır. Öte yandan blok bazında enerji maliyetleri incelendiğinde, aydınlatma (~%51 – %57) ve soğutma (~%24 – %34) enerjisi payı, ısıtma enerjisi maliyeti payının (~%13 – %24) üzerindedir. Bunun nedeni elektriğin birim fiyatının doğalgazın birim fiyatının 5,75 katı olmasıdır (UEDAŞ konut aboneleri için tek zamanlı tarife üzerinden Ocak 2022 – Aralık 2022 tarihleri arasında elektriğin ortalama birim fiyatı vergiler dahil 1 kWh: 2,225 TL; Bursagaz konut aboneleri için Ocak 2022 – Aralık 2022 tarihleri arasında doğalgaz ortalama birim fiyatı 1 kWh: 0,387 TL'dir).

4.1.2. Isıl konfor sonuçları

Referans binaların ısıl konfor koşulları ilk olarak ASHRAE-55 (2017), BS EN ISO 7730 (2005) ve EN 16798-1 (2019) standartlarına göre CBE ısıl konfor hesaplama aracıyla hesaplanmıştır. Ortalama radyant sıcaklığın hava sıcaklığına eşit olduğu varsayılarak tüm konut mekanları için ısıtma döneminde T_i=T_o: 23°C, soğutma döneminde T_i=T_o: 24°C, $I_{cl\ kış}$: 1,0 clo, $I_{cl\ yaz:}$ 0,61 clo, V_a: 0,1 m/s, *Rh*: %50 ve *M*: 1 met kabul edilmiştir. ASHRAE-55 (2017) ve EN 16798-1 (2019) standartlarındaki ısıl konfor değişkenlerine göre oluşturulan psikometrik diyagramlar ısıtma ve soğutma dönemleri için sırasıyla Şekil 4. 6 (a) ve Şekil 4. 6 (b)'de görülmektedir.

Psikrometrik diyagramlarda operatif sıcaklık (X-ekseni) ve bağıl nem (Y-ekseni) için kabul edilebilir aralıklar görülmektedir. Konfor bölgeleri standartlara göre değişmektedir. Referans durum için ısıtma ve soğutma döneminde iç ortam şartları ASHRAE-55 (2017) ve EN 16798-1 (2019) standartlarını sağlamakta, PMV (tahmini ortalama oy) ısıl his indisi ±0,5 aralığında kalmakta ve PPD (memnuniyetsizlerin tahmini yüzdesi) ısıl memnuniyetsizlik indisi %10'u geçmemektedir.



Şekil 4. 6. ASHRAE-55 (2017) ve EN 16798-1'e (2019) göre referans duruma ait (a) ısıtma dönemi ve (b) soğutma dönemi için psikometrik diyagramlar (*CBE ısıl konfor hesaplama aracında yazar tarafından oluşturulmuştur)*

Konutların iç ortam ısıl konfor koşulları ikinci olarak iklime dayalı detaylı dinamik yöntemle DesignBuilder programında hesaplanmıştır. Simülasyonlar sonucunda farklı yöne bakan binaların ilk, orta ve üst katlarındaki örnek mekanları için iç hava (operatif) sıcaklığı, zon ortalama ışınım sıcaklığı, bağıl nem, dış ortam kuru termometre sıcaklığı, PMV – PPD ve adaptif (uyarlanabilir) konfor çıktıları aylık ve yıllık olarak elde edilmiştir. Ayrıca EnergyPlus saatlik simülasyon çıktıları üzerinden mekan kullanım süresi boyunca ısıtma ve soğutma yükünün iklimlendirme sistemi tarafından karşılanmadığı saat sayısının toplamı (*unmet hours*) hesaplanmıştır.

Örnek sitelerin ilk, orta ve üst katlarında yer alan ve aynı kattaki diğer daire/dairelere göre ısıl konfor düzeyi daha düşük olan birer örnek dairesinin yıllık bazda ısıl konfor sonuçları ortalamaları Çizelge 4. 1 – Çizelge 4. 3'de görülmektedir. Ele alınan konut mekanları için operatif sıcaklık ($\boldsymbol{T}_o$), bağıl nem (*Rh*), PMV ve PPD'nin aylık ortalama değerleri Örnek 1, Örnek 2 ve Örnek 3 için sırasıyla EK 7, EK 8 ve EK 9'da yer almaktadır.

Çizelge 4. 1. 1 no'lu konut sitesinin örnek mekanlarına ait yıllık ısıl konfor ortalamaları

Blok/Mekan		1. KAT					3. KAT					5. KAT				
		To (°C)	Rh (%)	PMV	PPD (%)	Unmet hours	To (°C)	Rh (%)	PMV	PPD (%)	Unmet hours	To (°C)	Rh (%)	PMV	PPD (%)	Unmet hours
Blok I	E. yatak odası (K)	23.8	44.6	-0.3	11.0	150	23.9	44.4	-0.2	10.7	150	23.8	44.4	-0.3	11.7	165
	Mutfak (D)	24.5	42.4	0.0	15.3	233	24.7	42.0	0.0	15.3	243	24.3	42.7	-0.1	16.1	325
	Oda 1 (B)	24.2	43.3	-0.2	10.3	94	24.2	43.3	-0.2	10.2	93	24.1	43.4	-0.2	11.1	103
	Salon (D)	23.6	41.9	-0.3	15.0	119	23.8	41.7	-0.3	14.4	124	23.5	42.2	-0.4	16.0	317
Blok II	E. yatak odası (KD)	23.9	44.6	-0.3	11.2	154	24.1	44.0	-0.2	11.1	168	24.0	44.1	-0.2	12.1	181
	Mutfak (GD)	24.9	41.8	0.1	14.4	246	25.1	41.4	0.1	14.7	258	24.5	42.6	-0.1	15.3	292
	Oda 1 (KB)	23.6	44.5	-0.3	11.5	94	23.7	44.3	-0.3	11.1	91	23.6	44.3	-0.3	11.9	102
	Salon (GD)	23.8	41.8	-0.3	13.9	109	24.0	41.4	-0.3	13.4	116	23.6	42.1	-0.4	15.3	289
Blok III	E. yatak odası (KB)	24.6	43.0	-0.1	11.3	196	24.8	42.6	0.0	11.1	199	24.5	43.2	-0.1	11.7	193
	Mutfak (GB)	25.1	41.5	0.1	14.2	254	25.3	41.2	0.2	14.4	265	24.6	42.4	0.0	14.9	229
	Oda 1 (KD)	23.9	44.0	-0.3	10.9	91	23.9	43.9	-0.3	10.6	87	23.8	43.9	-0.3	11.7	101
	Salon (GB)	24.1	41.1	-0.2	12.7	121	24.4	40.7	-0.1	12.1	126	23.8	41.6	-0.3	14.1	111
Blok IV	E. yatak odası (B)	24.4	43.4	-0.1	10.7	171	24.5	43.2	-0.1	10.6	174	24.3	43.4	-0.1	11.5	183
	Mutfak (K)	24.2	43.3	-0.1	14.4	200	24.3	43.1	-0.1	14.3	205	24.1	43.3	-0.2	15.7	308
	Oda 1 (G)	24.6	42.8	-0.1	9.8	83	24.7	42.7	-0.1	9.7	82	24.5	42.8	-0.1	10.5	91
	Salon (K)	23.5	42.4	-0.4	14.8	193	23.6	42.2	-0.4	14.3	196	23.4	42.4	-0.4	15.7	304

Çizelge 4. 2. 2 no'lu konut sitesinin örnek mekanlarına ait yıllık ısıl konfor ortalamaları

Blok/Mekan		1. KAT					3. KAT					5. KAT				
		To (°C)	Rh (%)	PMV	PPD (%)	Unmet hours	To (°C)	Rh (%)	PMV	PPD (%)	Unmet hours	To (°C)	Rh (%)	PMV	PPD (%)	Unmet hours
Blok I	E. yatak odası (K)	23.7	43.6	-0.3	11.9	143	23.4	44.2	-0.4	12.8	134	24.0	42.6	-0.2	12.4	184
	Mutfak (G)	25.1	41.6	0.1	12.5	236	24.6	42.6	0.0	11.8	202	25.2	41.1	0.2	15.3	258
	Oda 1 (K)	24.1	42.9	-0.2	9.9	75	23.8	43.6	-0.3	10.7	78	24.3	42.2	-0.2	10.7	94
	Salon (G)	23.7	42.1	-0.3	13.6	95	23.4	42.8	-0.4	14.6	84	24.0	41.3	-0.2	14.4	122
Blok II	E. yatak odası (KD)	24.0	42.8	-0.2	11.4	172	23.8	43.2	-0.3	12.0	171	24.1	42.4	-0.2	12.4	193
	Mutfak (GB)	25.3	41.1	0.2	13.4	260	24.8	42.0	0.1	12.6	229	25.4	40.8	0.2	15.8	270
	Oda 1 (KD)	24.7	41.6	0.0	10.4	96	24.4	42.1	-0.1	10.4	97	24.5	41.7	-0.1	11.1	103
	Salon (GB)	23.7	41.9	-0.3	13.4	101	23.5	42.4	-0.4	14.5	96	24.0	41.1	-0.2	14.5	131
Blok III	E. yatak odası (G)	24.5	42.1	-0.1	10.4	166	24.1	42.9	-0.2	10.9	151	24.3	42.2	-0.1	11.9	185
	Mutfak (K)	25.5	40.9	0.2	13.1	263	25.0	41.9	0.1	12.1	226	25.4	40.8	0.2	15.5	267
	Oda 1 (G)	25.4	40.8	0.1	10.5	94	24.9	41.5	0.0	9.9	86	24.7	41.6	0.0	10.3	85
	Salon (K)	23.7	42.0	-0.3	13.7	96	23.4	42.7	-0.4	15.0	87	24.0	41.2	-0.2	14.6	129
Blok IV	E. yatak odası (GB)	24.6	41.7	-0.1	10.3	175	24.3	42.0	-0.1	11.6	192	24.4	42.0	-0.1	11.5	180
	Mutfak (KD)	25.4	41.0	0.2	13.5	265	24.9	41.8	0.1	14.2	243	25.4	40.8	0.2	15.7	269
	Oda 1 (GB)	24.9	41.3	0.0	10.1	94	24.6	41.7	-0.1	11.0	103	24.7	41.6	0.0	10.7	96
	Salon (KD)	24.0	41.4	-0.2	13.0	114	23.7	41.8	-0.3	15.2	121	24.1	41.0	-0.2	14.4	134

Çizelge 4. 3. 3 no'lu konut sitesinin örnek mekanlarına ait yıllık ısıl konfor ortalamaları

Blok/Mekan		1. KAT					4. KAT					7. KAT				
		To (°C)	Rh (%)	PMV	PPD (%)	Unmet hours	To (°C)	Rh (%)	PMV	PPD (%)	Unmet hours	To (°C)	Rh (%)	PMV	PPD (%)	Unmet hours
Blok I	E. yatak odası (KB)	23.5	42.8	-0.4	15.1	207	23.9	42.2	-0.3	13.0	187	23.9	42.1	-0.2	13.0	188
	Mutfak (KD)	23.7	44.2	-0.3	13.7	174	24.2	43.3	-0.1	13.8	191	24.3	43.1	-0.1	13.9	200
	Oda 1 (KD)	23.4	43.4	-0.4	13.7	108	23.8	42.9	-0.3	11.3	89	23.9	42.7	-0.3	11.3	90
	Salon (GD)	22.9	43.2	-0.6	17.2	338	23.3	42.5	-0.5	16.8	317	23.4	42.3	-0.4	16.4	301
Blok II	E. yatak odası (GB)	24.0	42.4	-0.3	12.6	167	24.5	41.6	-0.1	11.1	160	24.5	41.6	-0.1	11.1	161
	Mutfak (GD)	23.5	45.0	-0.4	15.6	243	23.9	44.2	-0.2	13.5	155	24.0	44.1	-0.2	13.5	159
	Oda 1 (GD)	23.3	43.8	-0.4	13.3	101	23.7	43.3	-0.3	11.1	86	23.7	43.2	-0.3	11.0	86
	Salon (KD)	22.7	43.7	-0.6	20.8	420	23.0	43.1	-0.5	18.2	368	23.1	42.9	-0.5	17.9	359
Blok III	E. yatak odası (GD)	23.9	42.3	-0.3	13.5	194	24.4	41.7	-0.1	11.3	177	24.4	41.6	-0.1	11.3	180
	Mutfak (KD)	23.6	44.7	-0.3	15.9	254	24.2	43.6	-0.1	13.5	173	24.7	42.6	0.0	14.0	204
	Oda 1 (KD)	23.3	43.8	-0.4	13.5	101	23.8	43.1	-0.3	10.7	79	24.2	42.4	-0.2	9.8	81
	Salon (KB)	22.9	43.1	-0.6	20.3	446	23.4	42.4	-0.4	17.2	335	23.6	42.0	-0.4	16.5	321
Blok IV	E. yatak odası (KD)	23.2	43.4	-0.5	15.3	223	23.6	43.0	-0.4	12.8	160	23.6	43.0	-0.4	12.7	161
	Mutfak (KB)	23.4	45.1	-0.4	16.6	325	23.9	44.2	-0.2	13.8	158	24.3	43.4	-0.1	14.2	184
	Oda 1 (KB)	23.3	43.8	-0.5	14.1	113	23.7	43.2	-0.3	11.5	89	23.9	42.7	-0.3	10.7	92
	Salon (GB)	22.9	43.3	-0.6	19.7	382	23.5	42.5	-0.4	16.4	304	23.7	41.9	-0.3	15.8	253

Çizelge 4. 1 – Çizelge 4. 3'de her üç konut sitesindeki mekanların konfor bileşenlerinin yıllık ortalamasının BS EN ISO 7730'da (2005) tavsiye edilen operatif sıcaklık (T_o: 20 – 26°C) ve bağıl nem değer aralığında (*Rh*: %30 - %70) kaldığı görülmektedir. Tüm mekanlar için yıllık tahmini ortalama oy değeri (PMV), EN 16798-1 (2019) standardında belirtilen ±0,7 ve ASHRAE 55 (2017) standardında belirtilen ±0,85 aralığında kalmaktadır. Öte yandan bazı mekanlarda (Örnek 1: 5. Kat mutfak ve salonları, Örnek 2: 5. Kat mutfaklar, Örnek 3: tüm bloklar ebeveyn yatak odası, mutfak ve salonlar) memnuniyetsizlerin tahmini yüzdesinin (PPD), EN 16798-1 (2019) standardında belirtilen %15 ve ASHRAE 55 (2017) standardında belitilen %20 eşik değerini aştığı, ısıl açıdan konforsuz olarak tanımlanan koşullar mevcuttur.

ASHRAE 90.1 (2004) standardına göre yaz ve kış giysi yalıtım kalınlıkları için konforsuz saatlerin toplamının (*unmet hours*) bir yılda (8760 saat) 300 saati geçtiği durumlar çizelgelerde kırmızı tonlarıyla işaretlenmiştir. Örnek 1'in yıllık ortalama sonuçlarına göre, Blok I ve Blok IV'ün 5. katında 5. katında yer alan salon ve mutfaklarlarda iç mekan ayar sıcaklıklarının iklimlendirme sistemi tarafından karşılanamadığı saat sayısının toplamı 300

saati aşmıştır. Örnek 3'ün tüm bloklarındaki salonlarda ve bazı mutfaklarda da benzer bir durum söz konusudur.

Konfor bileşenlerinin aylık sonuçları incelendiğinde, Örnek 1'de Nisan ayında mutfak, salon ve yatak odalarına ilişkin hesaplanan ortalama PMV değerinin -0,85'ten büyük olduğu (biraz serin) ve buna karşılık gelen PPD değerinin %20'nin üstünde olduğu görülmektedir. Temmuz ve Ağustos aylarında Örnek 1'in G, GD ve GB cepheli mutfakları için hesaplanan ortalama PMVdeğerinin +0,85'i (biraz ılık) ve buna karşılık gelen PPD değerinin %20'yi aştığı tespit edilmiştir (EK 7).

Örnek 2'nin aylık hesap sonuçları incelendiğinde benzer ısıl konfor sorunlarının meydana geldiği görülmektedir (EK 8). Özellikle Nisan, Mayıs, Temmuz ve Ağustos aylarında her dört blokta da konfor aralığının sağlanmadığı konut mekanları (örneğin Blok I: G cepheli salon, K ebeveyn yatak odası, Blok II: GB salon, KD ebeveyn yatak odası, Blok III: K salon, G ebeveyn yatak odası, Blok IV: KD salon için PMV< -0,85; Blok II: GB mutfak, Blok III: K mutfak, Blok IV: KD mutfak için PMV > +0,85) bulunmaktadır. İlk, orta ve üst katlarda yer alan bu mekanların farklı cephelerde yer almasına karşın bahar ve yaz mevsiminde konfor koşullarının sağlanamamış olması bu mekanlarda ısıtma (nisan - mayıs) ve soğutma sistemiyle (temmuz - ağustos) ilgili bir yetersizlik olduğunu göstermektedir.

Örnek 3'ün tüm ayları kapsayan ısıl konfor simülasyon sonuçlarına bakıldığında (EK 9), özellikle zemin kattaki dükkanların üzerinde yer alan konut mekanlarında kış ve bahar aylarında PMV değerlerinin -0,85 eşik değerinin altında kaldığı ve ısıl açıdan konforsuz olduğu söylenebilir. Öte yandan Örnek 3'ün soğutma dönemindeki ısıl konfor koşulları diğer iki referans binaya göre daha iyidir. 1., 4. ve 7. katta yer alan tüm mekanların Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarındaki aylık tahmini ortalama oy değeri -0,4 < PMV < +0,7 aralığında kalmaktadır. Yaz dönemi için bu mekanlar yedi noktalı ısıl duyarlılık ölçeğinde nötr olarak değerlendirilmiştir.

Buna ek olarak, Bursa ilinin aylık dış ortam sıcaklık ortalamarına göre ASHRAE 55 (2017) ve EN 16798-1 (2019) standartlarındaki alt ve üst adaptif konfor sınır değerleri hesaplanmıştır (bkz. Çizelge 2. 5). Örnek 1, Örnek 2 ve Örnek 3 için adaptif konfor sonuçları EK 10'da bir arada sunulmuştur. Ocak, Şubat, Mart ve Aralık aylarında dış ortam sıcaklık ortalaması (T_d) 10˚C'nin altında olduğu için bu aylar adaptif konfor hesaplamasına dahil edilmemiştir. Simülasyon sonuçları mekanik sistemlerin devrede olmadığı ve doğal havalandırma yapıldığı şartlarda, ilkbahar ve sonbahar aylarında iç ortam sıcaklığının adaptif konfor sınırları içinde kaldığını göstermektedir. Bu sınır ASHRAE-55 (%80) için 18,5°C > Nisan T_i > 27°C, 20°C > Mayıs T_i > 27,5°C, 20,7°C > Eylül T_i > 27,7°C, 19,1°C > Ekim T_i > 27,2°C, 17,8°C > Kasım T_i > 26,8°C'dir. EN 16798-1 (Kategori III) için 19,3°C > Nisan T_i > 27,3°C, 20,9°C > Mayıs T_i > 28,9°C, 21,6°C > Eylül T_i > 29,6°C, 19,9°C > Ekim T_i > 27,9°C, 18,5°C > Kasım T_i > 26,6°C'dir. Yaz aylarında ise iç ortam sıcaklığı adaptif üst konfor sınırını aşmaktadır (ASHRAE55 %80 için 21,1°C > Haziran T_i > 27,8°C, 22°C > Temmuz T_i > 28,1°C, 22,2°C > Ağustos T_i > 28,2°C, EN 16798-1 Kategori III için 22°C > Haziran T_i > 30°C, 23°C > Temmuz T_i > 31°C, 23,2°C > Ağustos T_i > 31,2°C).

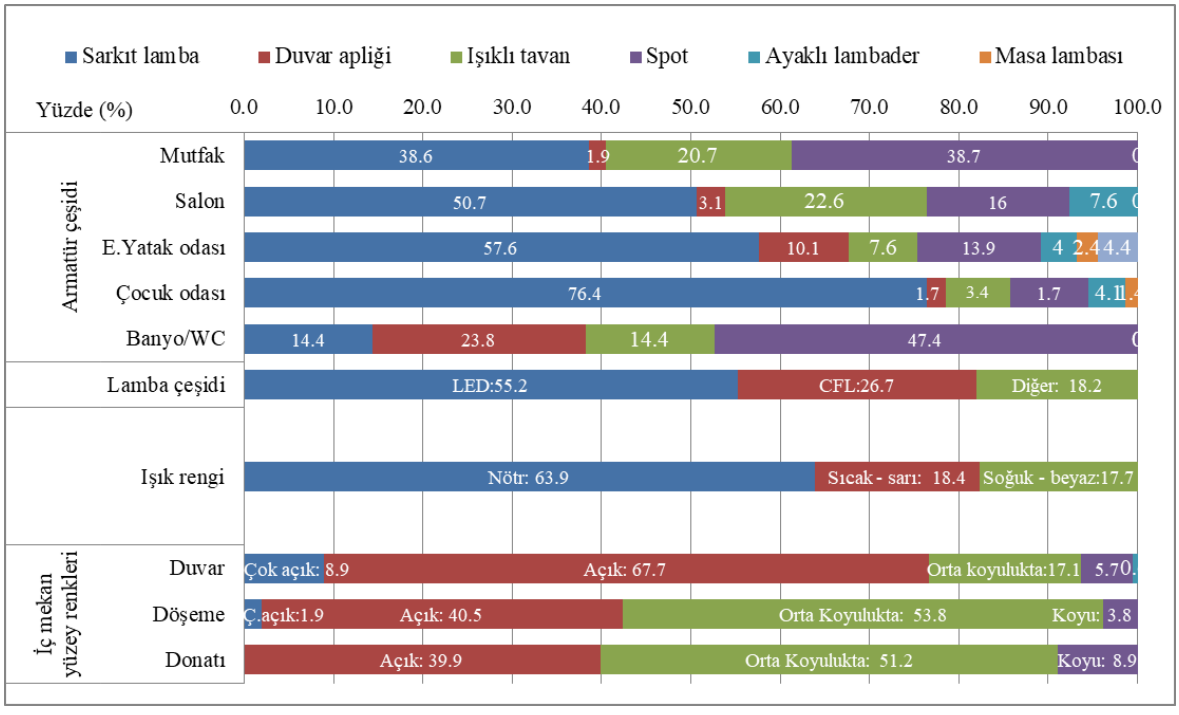
4.1.3. Görsel konfor sonuçları

İç mekan tasarım sürecinin önemli bir bileşeni olan aydınlatma tasarımı farklı amaca hizmet eden (genel, bölgelik, dekoratif) ve farklı ışık dağılım özelliklerine sahip (direkt, yarı-direkt, karma, yarı-endirekt ve endirekt) armatürlerle gerçekleştirilebilir. Ticari veya kamusal yapıların aksine konut mimarisi/iç mimarisi kullanıcının kendi tarzı ve estetik anlayışının güçlü bir yansımasıdır. Bu bakımdan konutlarda mekan ölçeğinde kullanıcıların ihtiyaç ve beklentilerine cevap verebilecek detaylı bir mimari program hazırlanmalı, bu mekanlarda gerçekleştirilecek eylemlere hizmet eden bir aydınlatma tasarımı ile kullanıcıların görsel gereksinimleri karşılanmalıdır.

Bu çalışmada her bir konut bloğunu temsil eden örnek dairelerin aydınlatma sistemi, anket sonuçları ve kullanıcı tercihleri doğrultusunda DIALux Evo simülasyon programında modellenmiş ve tefrişle uyumlu, mevcut duruma yakın bir iç aydınlatma senaryosu

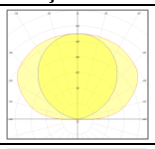
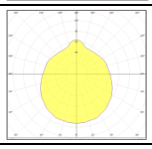
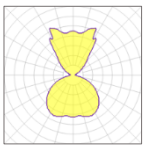
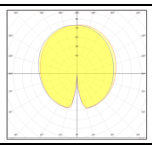
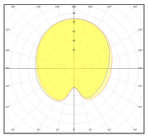
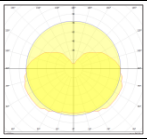
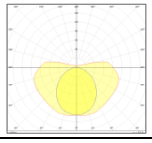
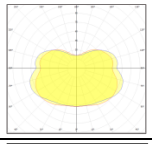
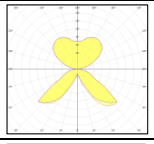
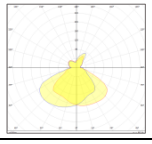
oluşturulması hedeflenmiştir. İç mekan renk ve malzeme seçimleri kullanıcıların estetik anlayışına göre daire bazında değişmekle birlikte ıslak hacimlerde döşeme malzemesi olarak karo seramik, diğer odalarda ise ortak olarak laminat parke kullanılmıştır. Her üç konut sitesinde de iç duvarlar alçı sıva üzeri plastik boya ile bitirilmiş, ıslak hacimlerde fayans uygulaması yapılmıştır. Şekil 4. 7'de armatür, lamba çeşidi, ışık rengi ve iç mekan yüzey renklerine ilişkin kullanıcı tercihlerinin ortalaması görülmektedir.

Aydınlatma aygıtlarının seçiminde, ışıksal verim (etkinlik faktörü, η), renk sıcaklığı (T_c) ve renksel geriverim indisi (CRI) gibi aydınlığın niceliği ve niteliğiyle ilgili özelliklerinin yanı sıra seçilen lambaların sektördeki mevcut ürünler ile uyumu dikkate alınmıştır. Simülasyon programı kütüphanesinde yer alan firmaların ürün kataloglarından seçilen kompakt floresan (CFL) lambalı armatürlere ait teknik özellikler Çizelge 4. 4'de yer almaktadır (Lumsearch, n.d.). Armatür maliyetleri, Bölüm 3.7'deki yapı bileşenleri birim fiyat analizi ve yıllık bakım maliyetlerinin yer aldığı Çizelge 3. 10'da, lamba maliyetleri EK 5 ve EK 6'da da yer almaktadır.

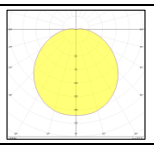
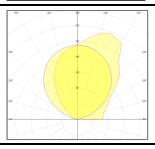
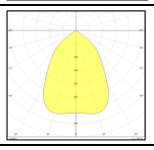


Şekil 4. 7. Anket sonuçlarına göre kullanıcıların aydınlatma sistemi ve renk tercihleri

Çizelge 4. 4. Referans binalarda kullanılan aydınlatma aygıtlarının teknik özellikleri

Aygıt Türü	**Kullanım Alanı**	**Aydınlatma Biçimi**		**Armatür Özellikleri**	**Ürün Görseli**
a. Sıva üstü aygıt Asma tavana monte ışıklı tavan	Genel aydınlatma: Mutfak, banyo/WC, salon	Endirekt		Φ:1230 lm P: 14 W η:71 lm/W Tc: 3000 K CRI: 85	
b. Sarkıt lamba	Genel aydınlatma: Salon, mutfak, giyinme odası	Karma		Φ:3200lm P: 42W η:38lm/W Tc: 2700 K CRI:84	
c. Sarkıt lamba	Bölgelik aydınlatma : Salon - yemek masası	Direkt-endirekt		Φ:3200lm P: 42W η:64 lm/W Tc: 3000 K CRI:84	
d. Ayaklı lambader	Bölgelik aydınlatma : Salon	Yarı-direkt		Φ:3200 lm P: 42W η:61 lm/W Tc: 2700 K CRI: 84	
e. Masa lambası	Bölgelik aydınlatma : Salon	Yarı-direkt		Φ:3200 lm P:42W η:60 lm/W Tc: 2700 K CRI: 84	
f. Sarkıt lamba	Bölgelik aydınlatma: Mutfak- yemek masası	Karma		Φ:1500lm P: 23W η:59 lm/W Tc: 2571 K CRI:84	
g. Tezgah üstü lineer aydınlatma	Bölgelik aydınlatma: Mutfak tezgahı	Direkt		Φ: 1590 lm P: 24 W η:40 lm/W Tc: 3000K CRI: 90	
h. Sarkıt lamba	Genel aydınlatma: Yatak odaları	Yarı-direkt		Φ:3200lm P: 84W η:60 lm/W Tc: 3000 K CRI:85	
i. Masa lambası	Bölgelik aydınlatma: Yatak odaları – komodin üzeri	Yarı-direkt		Φ:1800 lm P: 26 W η:46 lm/W Tc: 2900 K CRI: 84	
j. Masa lambası	Bölgelik aydınlatma: Yatak odaları – çalışma masası	Yarı-direkt		Φ:900 lm P: 13W η:51 lm/W Tc: 3000 K CRI: 84	

Çizelge 4. 4. Referans binalarda kullanılan aydınlatma aygıtlarının teknik özellikleri (devamı)

k. Sıva üstü aygıt (Tavana monte)	Genel aydınlatma: Banyo/wc	Direkt		Φ:600 lm P: 9 W η:30 lm/W Tc: 2700 K CRI: 84	
l. Sıva üstü aygıt (Duvara monte)	Bölgelik aydınlatma : Banyo/WC, giyinme odası – ayna önü	Edirekt		Φ:2990 lm P: 39 W η:76.7 lm/W Tc: 3000 K CRI: 90	
m. Spot (Sıva altı gömme)	Genel aydınlatma: Antre, koridor	Direkt		Φ:1200 lm P: 18 W η:33 lm/W Tc: 3000 K CRI: 84	
DIALux evo kütüphanesinde yer alan Arlight, EAE ve FLOS firmalarının ürün katalogları kullanılarak hazırlanmıştır (Lumsearch, n.d.).					

Yaşam alanlarının genel aydınlatmasında sarkıt lambanın yanı sıra, endirekt ışıklı tavan uygulaması yapılmıştır. Yemek masası üzerine direkt/endirekt ışık veren bir sarkıt lamba seçilerek yatay ve dikey düzlemlerdeki bölgelik aydınlatma gereksinimi desteklenmiştir. Kitap okuma ve çalışma gibi bireysel eylemler için salona masa lambası ve ayaklı lambader yerleştirilmiştir. Mutfakların genel ve bölgelik aydınlatmasında yaşam alanına benzer şekilde ışıklı tavan ve sarkıt lambalar kullanılmıştır. Mutfak tezgahı üzerindeki çalışma düzleminde yıkama, hazırlama, pişirme gibi işlevler için gereken asgari 500 lx aydınlık düzeyi için üst dolapların altına kamaşmaya neden olmayacak şekilde lineer armatüler konumlandırılmıştır.

Yatak odalarında genel aydınlatma ile birlikte çalışma masası ve başucu masası üzerinde bölgelik aydınlatma uygulaması yapılmıştır. Bölgelik aydınlatma çalışma düzleminde gereksinim duyulan nicelikte aydınlığın oluşmasına (>300 lx) ve odaların genel aydınlatma düzeyinin daha düşük (100 – 200 lx aralığında) tutulmasına olanak sağlamıştır. Banyo ve giyinme odalarında hacmin tavanına yerleştirilmiş genel aydınlatmaya ek olarak, lavabo üstü ve boy aynası için ayna önü aydınlatması uygulaması yapılmış, aynaların her iki yanına dolaylı ışık veren dikey doğrusal ışık kaynakları konumlandırılmıştır. Konut hacminin antre bölümü ve sirkülasyon alanlarında sıva altı gömme spotlar bulunmaktadır.

Genel aydınlatma için zemin düzleminden 0,8 m yükseklikte ve oda çeperinden 0,5 m mesafede konumlandırılan yatay çalışma düzlemleri üzerindeki ortalama aydınlık düzeyi (E_{ort}), aydınlığın düzgünlüğü (U_o) ve kamaşma indisi (UGR) değerleri hesaplanmıştır. Bölgelik aydınlatma için aynı değerlendirme ölçütleri, yatay (mutfak tezgahı h:0,85 m, masa düzlemi h:0,76 m), eğik (okuma düzlemi h:0,76) ve dikey (ayna önü göz hizası h;1,60 m, oturma pozisyonunda h:1,20 m) çalışma düzlemleri üzerinde hesaplanmıştır. Örnek 1, Örnek 2 ve Örnek 3 için gün ışığının olmadığı senaryoya ait yapma aydınlatma simülasyon sonuçları, referans binalarda örnek katı temsil eden aydınlatma sistemi yerleşim planı ve eşdeğer aydınlık eğrileriyle bir arada sırasıyla Çizelge 4. 5, Çizelge 4. 6 ve Çizelge 4.7'de görülmektedir. Konut bloklarının farklı katlarında yer alan aynı mekanların yapma aydınlatma değerleri gün ışığının olmadığı senaryoda eşdeğer kabul edilmiştir. Hesap sonuçlarının TS EN 12464-1 standardı (2021) ve IESNA (2011) kılavuzundaki sınır değerlerin üstüne çıkmadığı ve/veya eşik değerlerin altında kalmadığı (bkz. Çizelge 2. 6 ve Çizelge 2. 7) görülmektedir. Bu bakımdan aydınlatma tasarımı önerisinin tavsiye edilen görsel konfor gereksinimlerine uygun olduğu söylenebilir.

Çizelge 4. 5. Örnek 1 için aydınlatma sistemi yerleşim planı ve simülasyon sonuçları

Aydınlatma Sistemi Yerleşim Planı	Yapma Aydınlatma Simülasyon Sonuçları			
Örnek 1	**Mekan - Hesap Düzlemi**	**E_m**	**U_o**	**UGR**
	Mutfak (Genel) Yatay düzlem	337	0,71	16,9
	Mutfak tezgahı (Bölgelik) Yatay düzlem	577	0,59	18,1
	Mutfak masası (Bölgelik) Yatay düzlem	402	0,76	12,7
	Salon (Genel) Yatay düzlem	235	0,44	15,6
	Salon (Okuma köşesi) Eğik düzlem	512	0,8	17
	Yemek masası (Bölgelik) Yatay düzlem	367	0,77	14,4
	Yemek masası (Bölgelik) Dikey düzlem	201	0,79	17,5
	Ebeveyn yatak odası (Genel) Yatay d.	210	0,65	18,8
	Etajer (Bölgelik) Yatay düzlem	411	0,48	20,6
	Giyinme odası (Genel) Yatay düzlem	253	0,65	17,8
	Ayna önü (Bölgelik) Dikey düzlem	298	0,72	18,6
	Oda 1(Genel) Yatay düzlem	236	0,61	20,3
	Çalışma masası (Bölgelik) Yatay d.	482	0,57	20,8
	Banyo (Genel) Yatay düzlem	328	0,75	19,6
	Ayna önü (Bölgelik) Dikey düzlem	230	0,75	21,1
	Antre-koridor (Genel) Yatay düzlem	184	0,73	14,5

Çizelge 4. 6. Örnek 2 için aydınlatma sistemi yerleşim planı ve simülasyon sonuçları

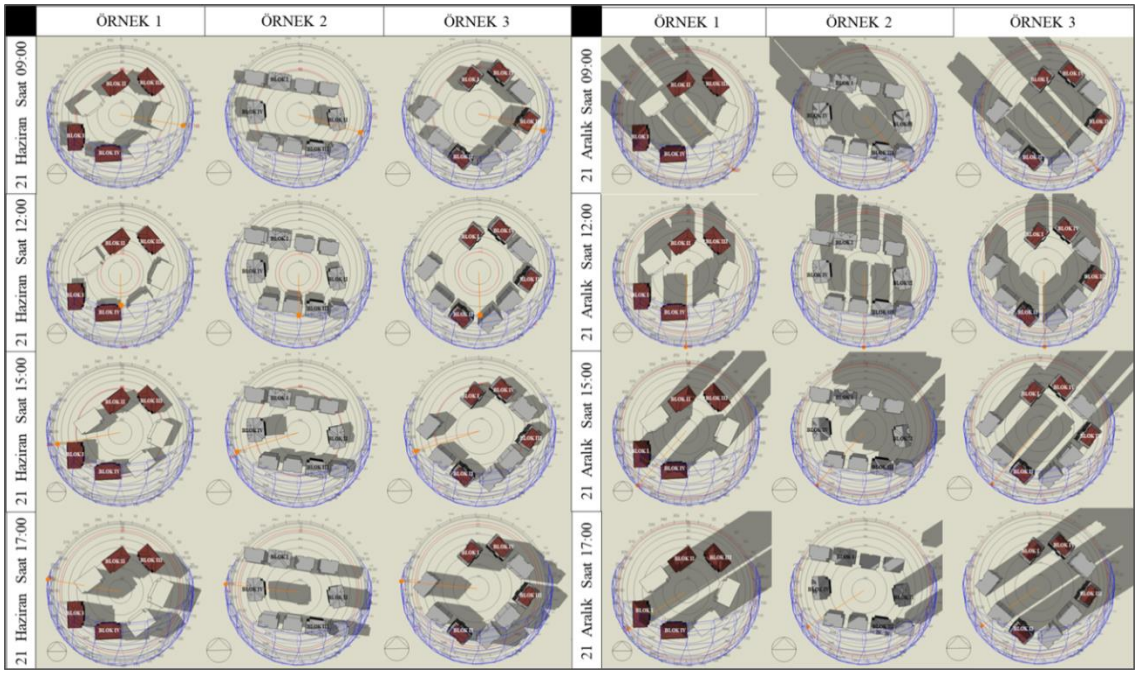
Aydınlatma Sistemi Yerleşim Planı	Yapma Aydınlatma için Hesap Sonuçları			
Örnek 2	**Mekan - Hesap Düzlemi**	**E_m**	**U_o**	**UGR**
	Mutfak (Genel) Yatay düzlem	300	0,56	17,8
	Mutfak tezgahı (Bölgelik) Yatay d.	662	0,50	17,9
	Mutfak masası (Bölgelik) Yatay d.	419	0,72	16
	Salon (Genel) Yatay düzlem	214	0,54	16,5
	Salon (Okuma köşesi) Eğik düzlem	487	0,76	17,2
	Yemek masası (Bölgelik) Yatay d.	366	0,61	16,6
	Yemek masası (Bölgelik) Dikey d.	203	0,63	17,8
	Ebeveyn yatak odası (Genel) Yatay d.	172	0,49	21,8
	Giyinme odası (Genel) Yatay düzlem	298	0,51	21,9
	Ayna önü (Bölgelik) Dikey düzlem	206	0,71	21,4
	Oda 1(Genel) Yatay düzlem	147	0,49	20,6
	Çalışma masası (Bölgelik) Yatay d.	324	0,52	21,3
	Banyo (Genel) Yatay düzlem	314	0,75	20,6
	Ayna önü (Bölgelik) Dikey düzlem	202	0,80	20,2
	Ebeveyn banyo (Genel) Yatay d.	344	0,70	20,2
	Ayna önü (Bölgelik) Dikey düzlem	305	0,75	19,9
	Antre-koridor (Genel) Yatay düzlem	153	0,61	14,2

Çizelge 4.7. Örnek 3 için aydınlatma sistemi yerleşim planı ve simülasyon sonuçları

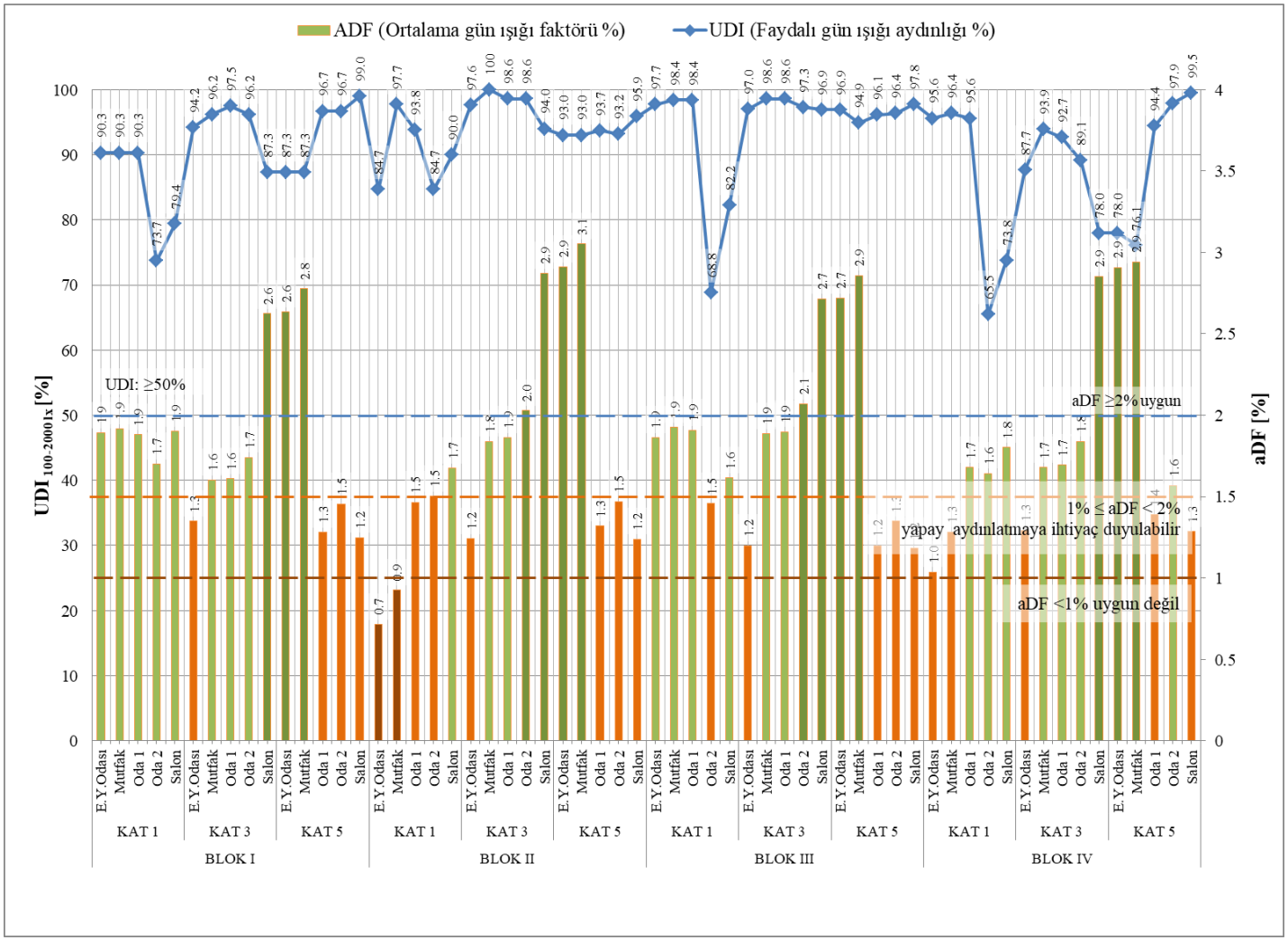
Aydınlatma Sistemi Yerleşim Planı	Yapma Aydınlatma için Hesap Sonuçları			
Örnek 3 (3+1 köşe daireler)	**Mekan/Hesap Düzlemi**	**E_m**	**U_o**	**UGR**
	Mutfak (Genel) Yatay düzlem	323	0,49	17,5
	Mutfak tezgahı (Bölgelik) Yatay d.	634	0,57	18,4
	Mutfak masası (Bölgelik) Yatay d.	387	0,83	11,7
	Salon (Genel) Yatay düzlem	206	0,6	17
	Salon (Okuma köşesi) Eğik düzlem	512	0,71	18,9
	Yemek masası (Bölgelik) Yatay d.	323	0,60	17,4
	Yemek masası (Bölgelik) Dikey d.	198	0,69	17,5
	Ebeveyn yatak odası (Genel) Yatay	231	0,4	21,8
	Giyinme odası (Genel) Yatay d.	312	0,60	20,9
	Ayna önü (Bölgelik) Dikey düzlem	335	0,80	21,9
	Oda 1(Genel) Yatay düzlem	175	0,50	18,5
	Çalışma masası (Bölgelik) Yatay d.	350	0,44	17,3
	Banyo (Genel) Yatay düzlem	301	0,67	20,7
	Ayna önü (Bölgelik) Dikey düzlem	191	0,82	21,7
	Ebeveyn banyo (Genel) Yatay d.	354	0,56	21,4
	Ayna önü (Bölgelik) Dikey düzlem	308	0,78	21,1
	Antre-koridor (Genel) Yatay d.	155	0,61	15,9
Örnek 3 (2+1 orta daire)	Mutfak (Genel) Yatay düzlem	315	0,70	21,1
	Mutfak tezgahı (Bölgelik) Yatay d.	550	0,66	15,8
	Mutfak masası (Bölgelik) Yatay d.	408	0,87	11,9
	Salon (Genel) Yatay düzlem	234	0,45	19,7
	Salon (Okuma köşesi) Eğik düzlem	401	0,67	19,6
	Yemek masası (Bölgelik) Yatay d.	309	0,70	19,8
	Yemek masası (Bölgelik) Dikey d.	187	0,68	19
	Ebeveyn yatak odası (Genel) Yatay	191	0,46	21,7
	Ayna önü (Bölgelik) Dikey düzlem	323	0,50	21,4
	Oda 1(Genel) Yatay düzlem	208	0,47	20,1
	Çalışma masası (Bölgelik) Yatay d.	300	0,48	18,2
	Banyo (Genel) Yatay düzlem	320	0,67	21,2
	Ayna önü (Bölgelik) Dikey düzlem	250	0,74	21,6
	Ebeveyn banyo (Genel) Yatay d.	309	0,67	21,7
	Ayna önü (Bölgelik) Dikey düzlem	311	0,65	21,4
	Antre-koridor (Genel) Yatay d.	155	0,45	18,2

Görsel konfor analizinin ikinci bölümünde referans binaların ilk, orta ve üst katlarında yer alan örnek dairelerinin gün ışığı alan mekanları ortalama gün ışığı faktörü (aDF), faydalı günışığı aydınlığı (UDI), mekânsal günışığı otonomisi (sDA) ve yıllık günışığı alımı (ASE) yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Gün ışığı simülasyon sonuçları Şekil 4. 9 – Şekil 4. 14'te görülmektedir. Statik ve iklimsel verilere dayalı dinamik ölçütlere göre eşik değerin altında veya referans aralık dışında kalan değerler grafiklerde kırmızı ve tonlarıyla ifade edilmektedir.

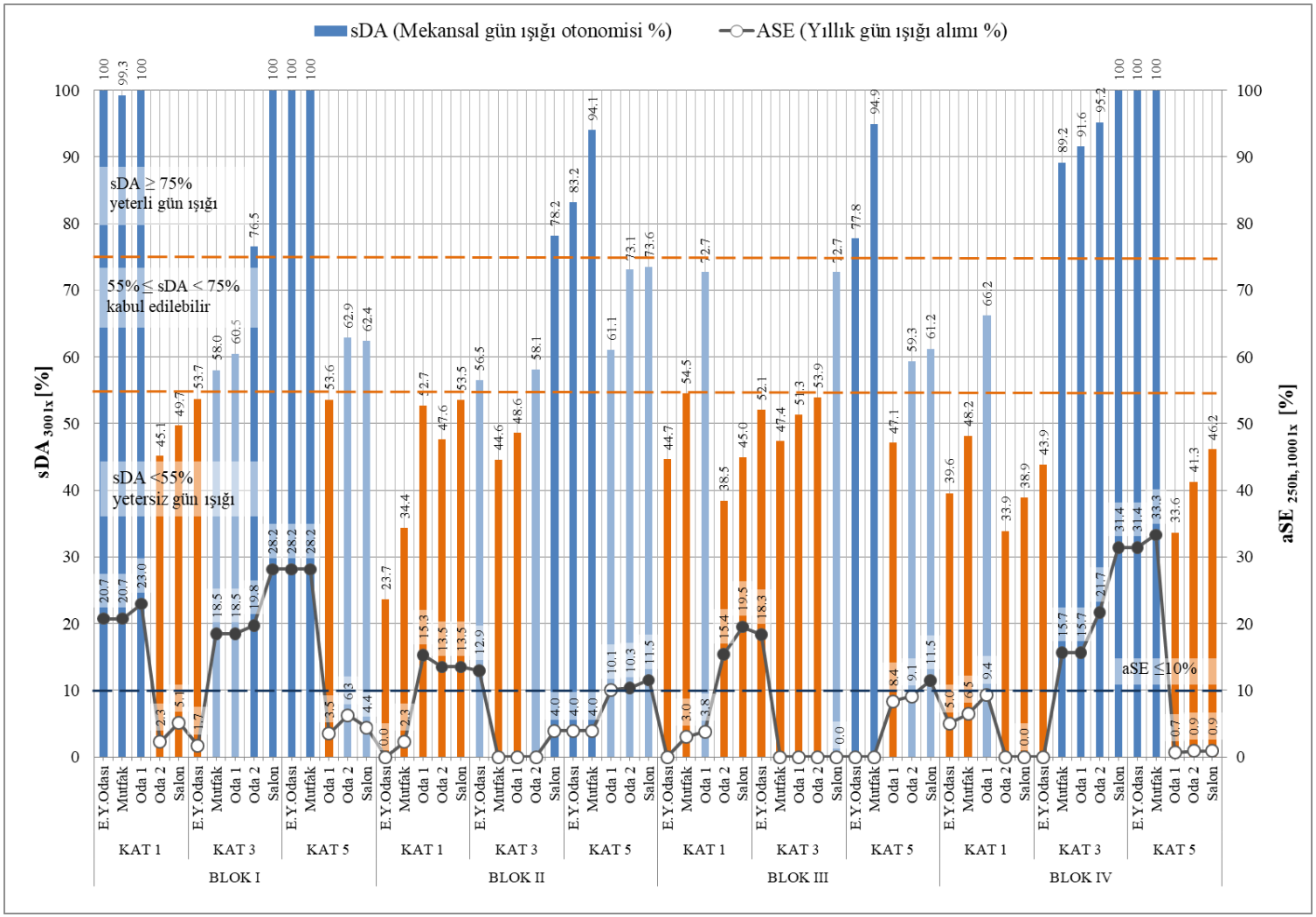
Her üç konut bloğunun saydamlık oranı %20'nin üzerinde olup, yaşama alanlarında pencerelerin boyut, biçim ve yerleşim düzeni TS EN 17037 (2019) standardında tavsiye edilen yeterli dış görüşü (en az iki katman görünür özellikte, yatay görüş açısı >28°, dış görüş mesafesi> 20 m) sağlamaktadır. Yaşama mekanlarının gün ışığı alımı incelendiğinde, binaların çevresinde ağaç, bina, peyzaj öğesi vb. bir dış engel bulunmadığı tespit edilmiştir. Öte yandan mekan boyutları ve organizasyonu, saydamlık oranı ve cephe yönlenimi gibi parametreler hacimlerin güneşlenme süresini değiştirmektedir. Şekil 4. 8'de bir yılı temsil eden yaz ve kış gündönümü tarihleri ve bir günü temsil eden 09:00, 12:00, 15:00 ve 17:00 saatleri için referans binaların gölge analizi görülmektedir.



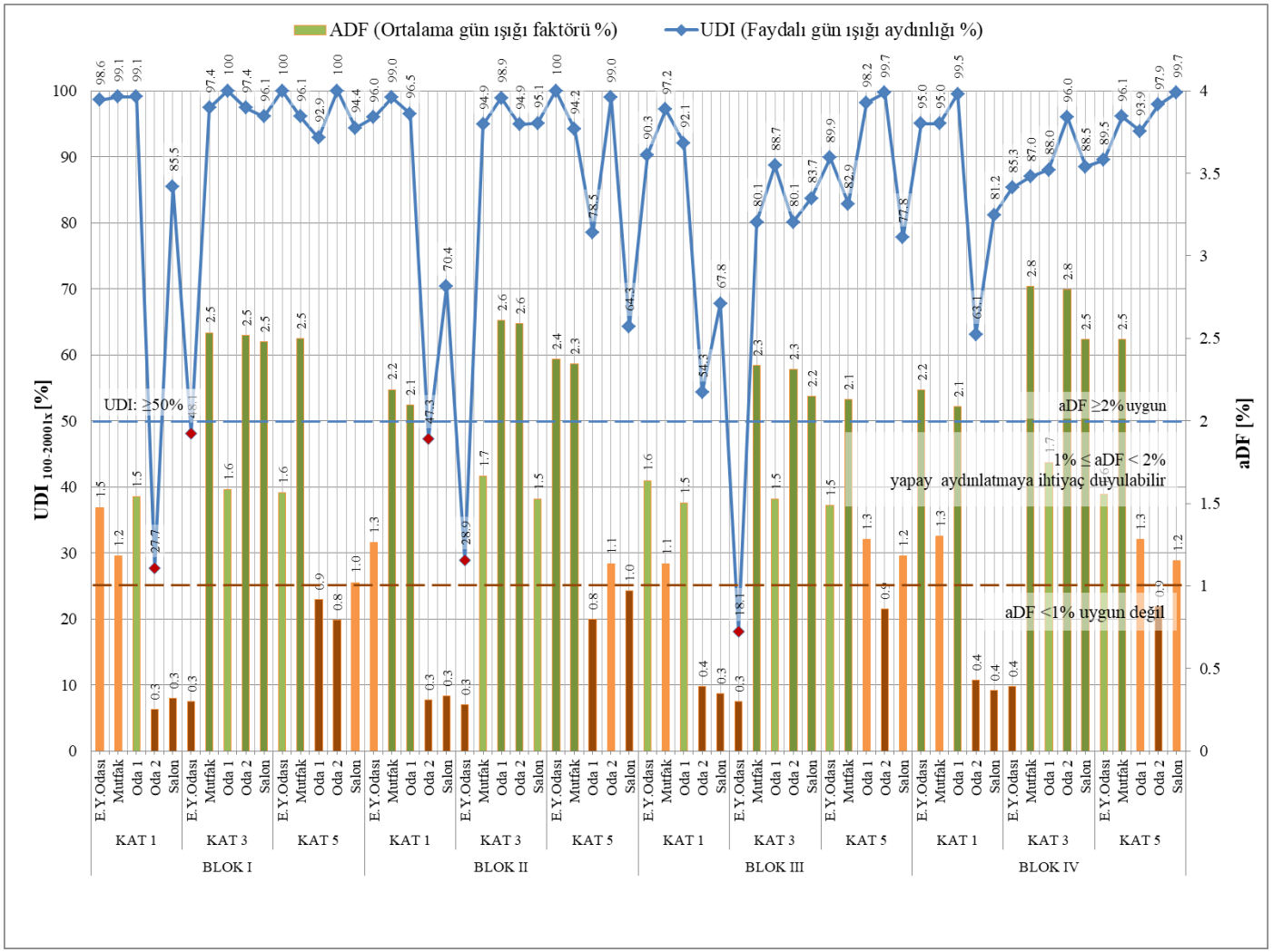
Şekil 4. 8. Örnek konut sitelerinin vaziyet planı üzerinde gölge analizi



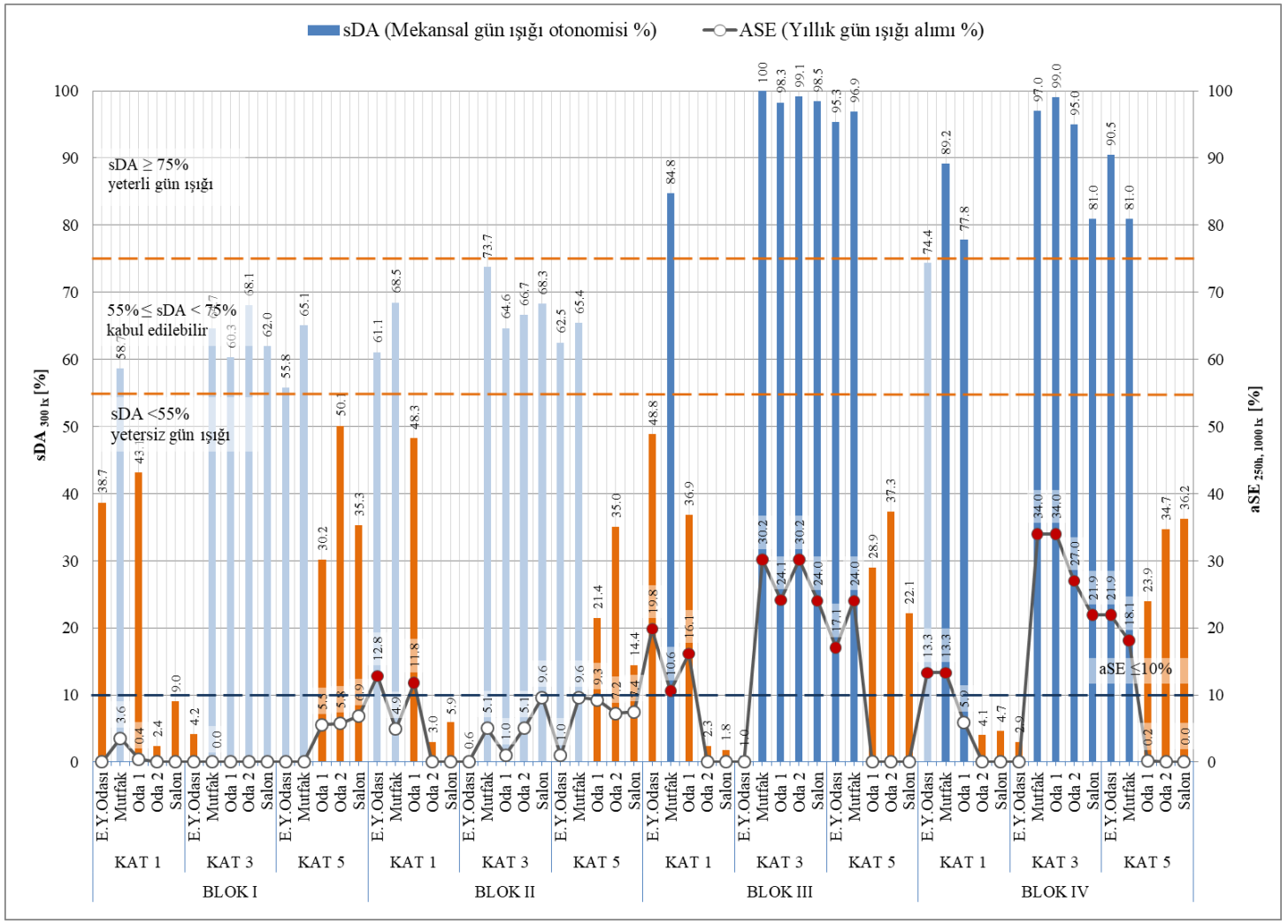
Şekil 4. 9. Örnek 1'e ait aDF ve UDI hesap sonuçları



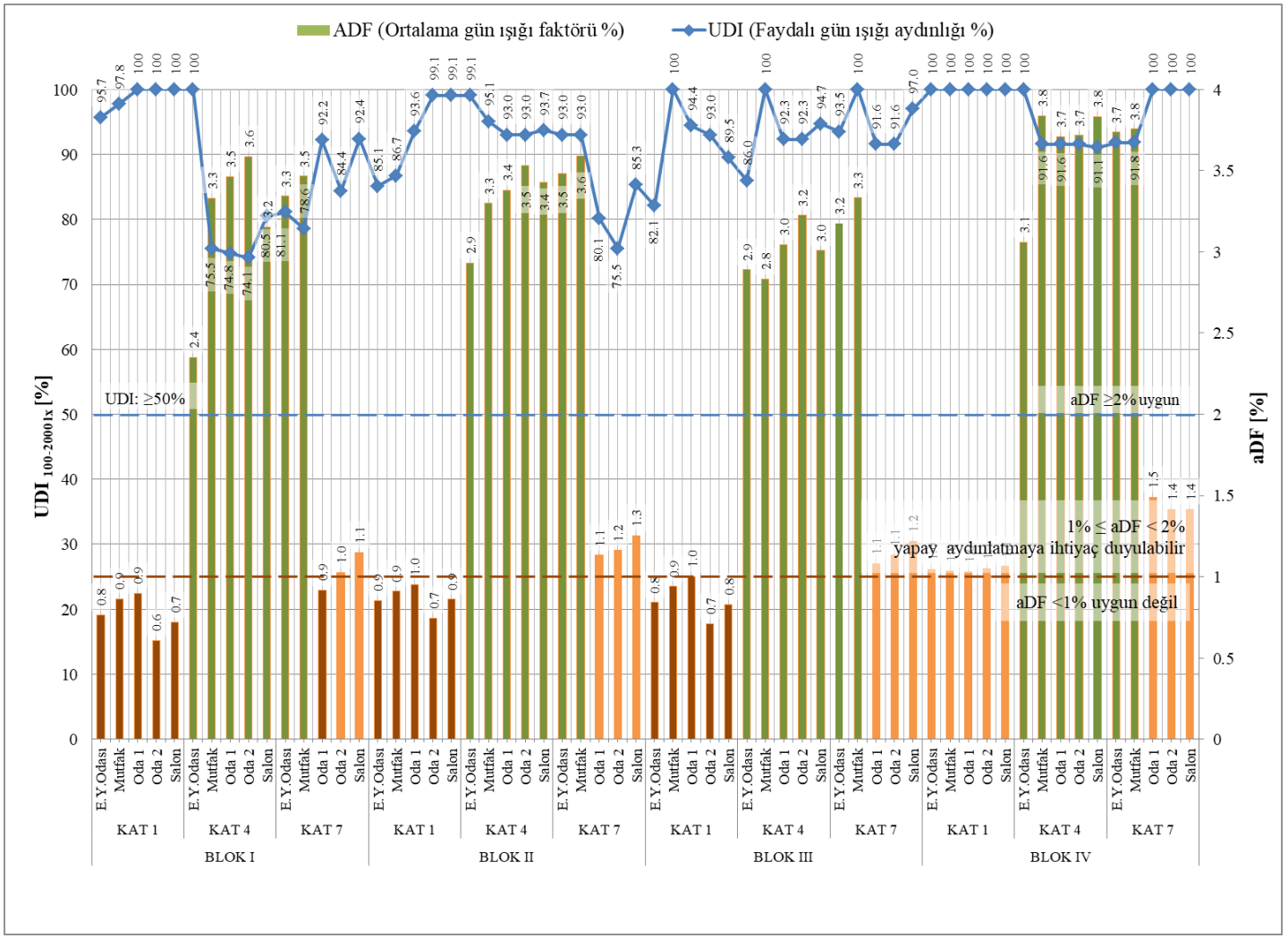
Şekil 4. 10. Örnek 1'e ait sDA ve ASE hesap sonuçları



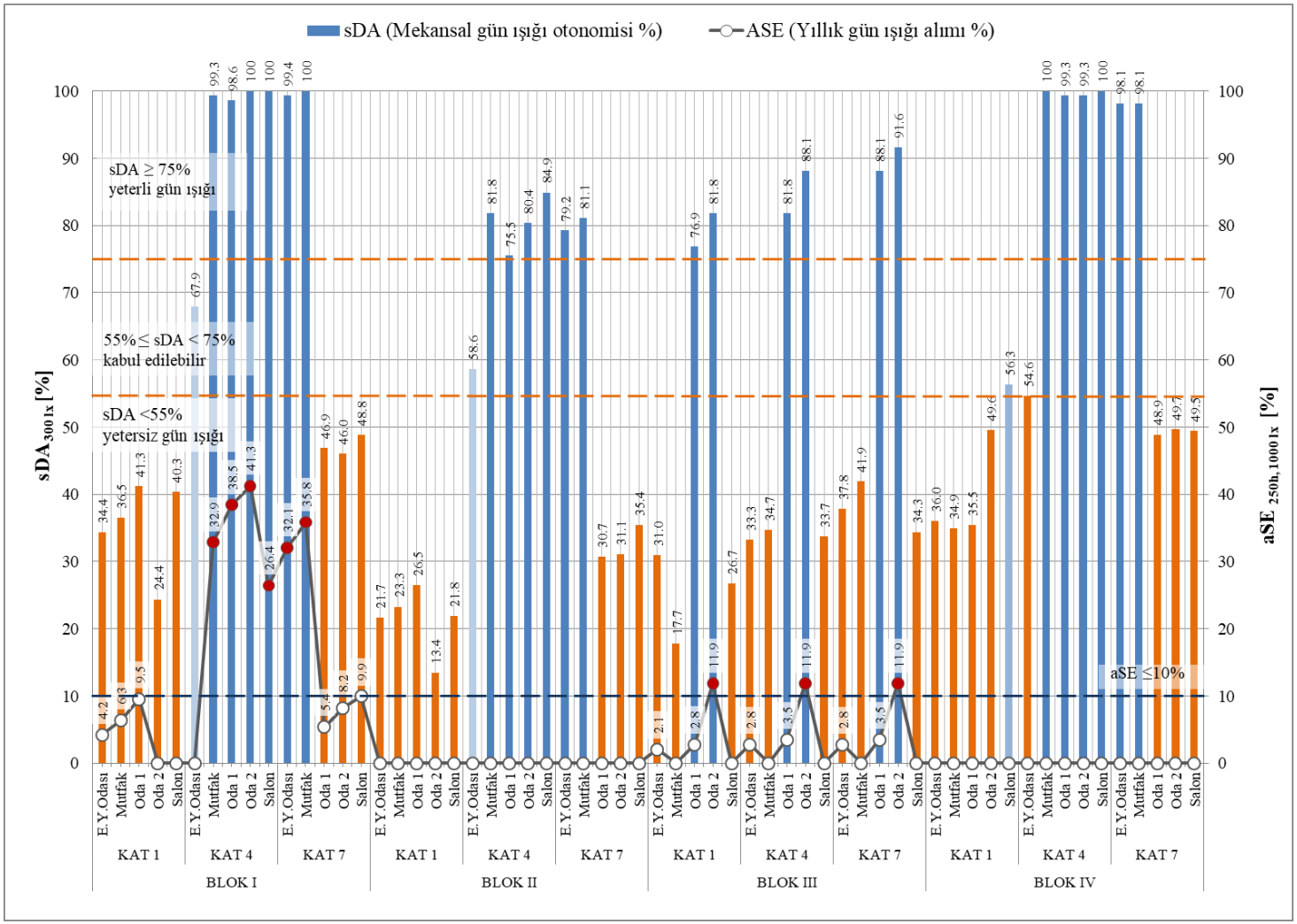
Şekil 4. 11. Örnek 2'ye ait aDF ve UDI hesap sonuçları



Şekil 4. 12. Örnek 2'ye ait sDA ve ASE hesap sonuçları



Şekil 4. 13. Örnek 3'e ait aDF ve UDI hesap sonuçları



Şekil 4. 14. Örnek 3'e ait sDA ve ASE hesap sonuçları

1 no'lu konut sitesindeki tüm mekanlar ışığı performansı UDI faydalı aydınlık düzeyi aralığının (100 lx < E < 2000lx) içinde kalmaktadır (Şekil 4. 9). Öte yandan tüm blokların 5. katındaki salon ve çocuk odalarının aDF değeri %1,5'in altındadır. 5. kattaki gün ışığı düzeyinin alt kattaki aynı mekanlardan düşük olması saçakla ilişkilendirlmiştir. Ayrıca, Blok II'nin 1. katındaki mekanlar ve tüm blokların 3. katındaki ebeveyn yatak odalarının aDF değeri eşik değerin altında kalmıştır. Simülasyon sonuçları sDA ölçütleri bakımından değerlendirildiğinde, Blok I'in 1. katındaki salon (D) ve çocuk odaları (B), Blok IV'ün 5. katındaki salon (K) ve çocuk odaları (G) ile Blok II-III-IV'ün 1. katındaki tüm mekanlarında, kullanım saatleri içerisinde (08.00 – 18.00, 10 saat boyunca) taban alanının %55'inde 300 lx eşik değeri gün ışığı ile sağlanamadığı görülmektedir (Şekil 4. 10). ASE ölçütlerine göre Blok II'nin 5. katındaki salon (GD) ve çocuk odalarında (KB), soğutma yüklerinde artışa ve kamaşmaya neden olabilecek aydınlık düzeyi (yılda 250 saatten ve hacmin taban alanının %10'nundan fazlasında 1000 lx) meydana gelmektedir.

2 no'lu konut sitesi gün ışığı performans öçlütleri bakımından değerlendirildiğinde, tüm bloklarda 1. katta yer alan mutfak, oda 2 ve salonlarda ve 5. katta yer alan oda 1, oda 2 ve salonlarda aDF'nin %1'in altında kaldığı ve bu mekanların UDI sonuçlarının da düşük olduğu görülmektedir (Şekil 4. 11: Blok I, Blok II, Blok III'ün 3. kat ebeveyn odalarında UDI ve aDF değerleri sırasıyla %27,7 – %0,3, %28,9 – 0,28, %18,1 – % 0,3'tür). Toplamda 5 mekanda çalışma düzlemindeki yıllık aydınlık düzeyi dağılımı yetersizdir ve 08:00-18:00 saatleri arasında taban alanının asgari %50'si için referans aralık (100 - 2000lx) sağlamamaktadır. Günışığı simülasyon sonuçları sDA ölçütlerine göre değerlendirildiğinde, tüm blokların 1. katında yer alan odalar ve salonlardaki çalışma düzlemleri için minimum aydınlık düzeyinin sağlanmadığı, sonuçların eşik değerin (taban alanın %55'i için 300 lx) altında kaldığı görülmektedir. Öte yandan, sDA performansı %75'i geçen bazı mekanlarda (örneğin Blok III ve Blok IV'ün 3. katındaki yaşam alanı ve yatak odalarında) ASE değerlerinin eşik değerin üstüne çıktığı (250 sa, 1000 lx) tespit edilmiştir (Şekil 4. 12).

Örnek 3'ün gün ışığı hesap sonuçları incelendiğinde, tüm konut mekanlarının yıllık gün ışığı alımının faydalı aydınlık düzeyi aralığında (100lx<E<2000lx) kaldığı ve çoğunluğun en az %75'i sağladığı görülmektedir (Şekil 4. 13). aDF tüm bloklarda yalnızca 4. kattaki mekanlar ile 7. katta ebeveyn yatak odası ve mutfakta sağlanmaktadır. 1. kattaki hacimler aDF'nin yetersizlik eşiği olan %1'e çok yakındır veya altında kalmaktadır. Mekanların tek cepheden ışık alması ve hacim derinliğine bağlı (örn. salon: 5,30 m x 9,30 m) gün ışığının azalması aDF'nin referans değerin altında kalmasında etkendir. sDA değerlendirme ölçütlerine göre, 1. kattaki tüm konut hacimlerinde (Blok III, oda 1 ve oda 2 hariç) ve 7. kattaki oda 1, oda 2 ve salonlarda (Blok III hariç) yıl boyunca 300 lx eşik değer taban alanının %55'inde sağlanamamıştır. Diğer bir deyişle Şekil 4. 14'de turuncu ile işaretlenen hacimlerde gündüz kullanım saatleri içerisinde (CIE ortamala gök modeli ile) gün ışığı aydınlığının yıllık ortalaması 300lx aydınlık düzeyine ulaşmakta (çalışma, kitap okuma vb. eylemler için) yeterli değildir ve fazladan yapma aydınlatmaya ihtiyaç duyulabilir. Blok I'in 3. katında yer alan tüm mekanların ve Blok III'ün her üç katındaki oda 2'nin hesap düzlemlerinde yıllık günışığı alımı ($ASE_{1000lx,\ 250\ saat}$) %10'un üzerindedir. Bu durum günışığı kaynaklı kamaşma meydana gelebileceğini göstermektedir.

Referans binaların diğer dairelerine ait gün ışığı performans sonuçları Örnek 1, Örnek 2 ve Örnek 3 için sırasıyla EK 11, EK 12 ve EK 13'te yer almaktadır. Birinci kattan itibaren çıkma yapan teraslar nedeniyle Örnek 2'deki salon ve mutfakların genelinde gün ışığı alımının azaldığı tespit edilmiştir. Örnek 3'te tek cepheden ışık alan 3 no'lu dairede cephe yönlenimine bağlı olarak gün ışığı seviyesi düşüktür.

4.2. İyileştirme Senaryolarının Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde enerji verimliliğinin arttırılmasına yönelik mimari tasarım ve bina alt sistemlerine ilişkin iyileştirme senaryolarının simülasyonları gerçekleştirilmiştir. İyileştirme senaryolarına ait değişkenler; iklim bölgesi, cephe yönlenimi, dış duvar ısı yalıtım malzemesi ve kalınlığı, cephe kuruluşu ve saydamlık oranı, pencere camının termofiziksel ve optik özellikleri, kat yüksekliği, iç mekan duvar, döşeme ve tavan ışık

yansıtma çarpanları, iç ve dış güneş kontrol elemanları, doğrama malzemesi ve profil boyutu, iç mekan aydınlatma tasarımı, gün ışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemi, iç mekanın ısıtıldığı ve soğutulduğu dönemler için ayar (termostat) sıcaklıkları, yapı kabuğu sızdırmazlık katsayısı, bina alt sistemleri işletim takvimi ve güneş panelleridir. Senaryoların bina performans değerlendirme ölçütleri için iyileştirme oranları ve enflasyon dahil ve hariç yatırımın geri ödeme süresi grafikler halinde sunulmuştur. Değişkenlerin yıllık toplam nihai enerji tüketimi ve enerji maliyetine etkisi, konut sitelerinin farklı yöne bakan blokları için ayrıca eklerde yer almaktadır.

Simülasyon sonuç verilerinin dağılımı ve değişimi renk ölçeğinin kullanıldığı çizelgelerde özetlenmiştir. Hücreler en düşük (kırmızı), orta (sarı) ve en yüksek (yeşil) eşik değerlerine karşılık gelen üç renk tonlamasıyla gölgelendirilmiştir. Kırmızı ve tonları, bina performans ölçütü için iyileştirme sağlamayan veya negatif değerleri, sarı renk sıfır ve sıfıra yakın iyileştirme değerlerini, yeşil renk ise en yüksek iyileştirme değerlerini temsil etmektedir.

4.2.1. Enerji performans sonuçları

Konutların performansını arttırmaya yönelik tedbirler kapsamında, kentsel, bina, mekan ve yapı kabuğu ölçeğindeki toplam 10 adet mimari (pasif) tasarım değişkeni ve 170 adet seçenek ile mekanik, elektrik ve yenilenebilir enerji sistemleri ve bu sistemlerin kullanım takvimlerine ilişkin toplam 5 adet bina alt sistemleri (aktif) tasarım değişkeni ve 13 seçenek incelenmiştir. Sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

a) Referans binanın yer aldığı iklim bölgesi

Binaların kullanım dönemindeki enerji tüketimi, yaşam döngüsü boyunca gerçekleşen toplam enerji tüketimi içinde en önemli paya sahiptir. Binaların bulunduğu fiziksel çevre verilerinden yararlanarak en az ek enerji gerektirecek şekilde iklim bölgesine uygun pasif sistemler olarak tasarlanması kaynakların optimum kullanımı, enerji tasarrufu, çevresel etkilerin azaltılması ve sürdürülebilirlik bakımından önemli görülmektedir.

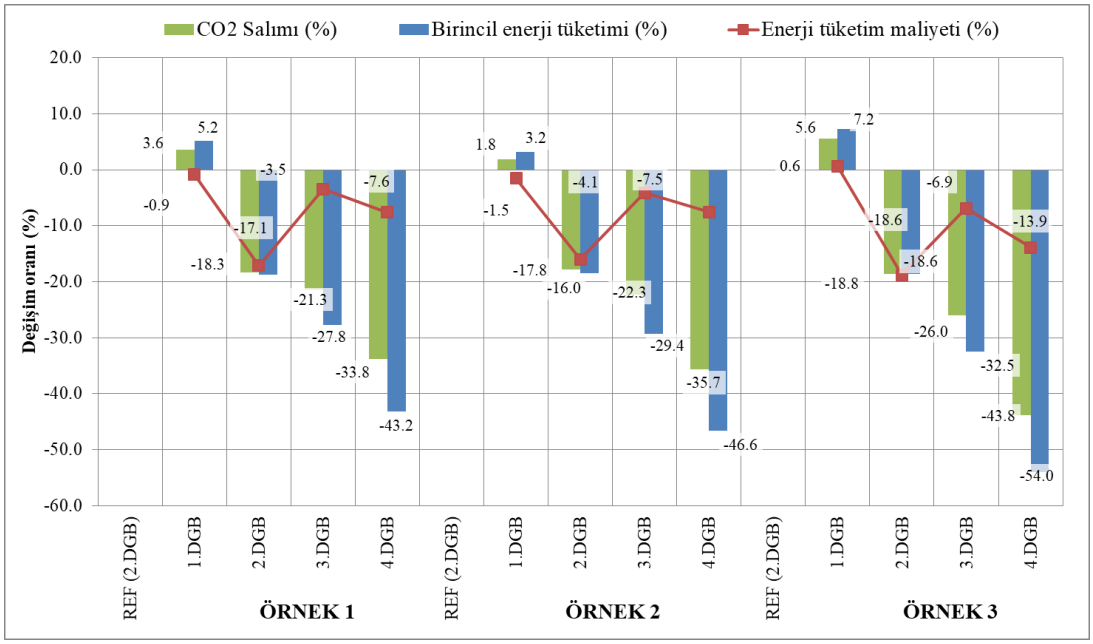
Mimari tasarım değişkenleri kategorisindeki ilk başlıkta referans binanın yer aldığı iklim bölgesinin bina performans değerlendirme ölçütlerine etkisi araştırılmıştır. Çizelge 4. 8'de çalışma kapsamında ele alınan iklim bölgesi senaryoları görülmektedir. Çizelgede ayrıca referans binaların (Ö1, Ö2, Ö3) mevcut yapı bileşenlerinin ısıl geçirgenlik kat sayısı ve dört farklı derece gün bölgesi (DGB) için TS 825 (2008) ısı yalıtım kuralları standardında dış duvar, tavan ve zemine oturan döşemenin bölgelere göre tavsiye edilen azami U değerleri görülmektedir. İzmir, Diyarbakır, Ankara ve Erzurum illerinden oluşan iklim bölgesi senaryolarında Çizelge 4. 8'deki U sınır değerleri dikkate alınarak enerji modelleri oluşturulmuştur.

Çizelge 4. 8. İklim bölgesi senaryoları ve tavsiye edilen azami U değerleri (TSE, 2008)

Senaryo	**İklim bölgesi**	**Konum**	**T8 825'e göre toplam ısıl geçirgenlik değeri (W/m²K)**								
			U_{duvar}			**U_{tavan}**			**U_{taban}**		
2. DGB (Referans)	Ilımlı nemli	Bursa	**Ö1**	**Ö2**	**Ö3**	**Ö1**	**Ö2**	**Ö3**	**Ö1**	**Ö2**	**Ö3**
			0,57	0,50	0,57	0,40	0,23	0,32	0,6	0,59	0,28
1. DGB	Sıcak nemli	İzmir	0,7			0,45			0,7		
2. DGB	Sıcak kuru	Diyarbakır	0,6			0,40			0,6		
3. DGB	Ilımlı kuru	Ankara	0,5			0,30			0,45		
4. DGB	Soğuk	Erzurum	0,4			0,25			0,45		
Ö1: Örnek 1, Ö2: Örnek 2, Ö3: Örnek 3											

Şekil 4. 15'te ve Çizelge 4. 9'da ılımlı-nemli iklim bölgesinde (2. DGB) yer alan referans binaların farklı bir iklim bölgesinde yer alması durumunda, binaların kullanım sürecindeki ısıtma, soğutma, aydınlatma, yıllık toplam birincil enerji tüketimi ve enerji tüketimine karşılık gelen maliyet ve karbon emisyonu üzerindeki değişim görülmektedir. Tüm konut siteleri için, en yüksek ısıtma enerjisi tüketimi Erzurum'da, en yüksek soğutma enerjisi tüketimi Diyarbakır'da gerçekleşmiştir. Aydınlatma enerjisi tüketiminde iklime ve enleme bağlı olarak il bazında azami %2'lik bir fark bulunmaktadır. Her 3 referans durum için birincil enerji tüketimi ve buna karşılık gelen yıllık sera gazı emisyonu en düşük İzmir'de, en yüksek Erzurum'da meydana gelmiştir. Farklı iklim bölgesinde yer alan referans binaların yıllık toplam enerji maliyetleri karşılaştırıldığında, tüm bloklarda en yüksek maliyet Diyarbakır'da, en düşük maliyet Örnek 1 ve Örnek 2 için Bursa'da, Örnek 3 için

İzmir'de hesaplanmıştır. İklim bölgesinin ısıtma, soğutma, aydınlatma, toplam nihai enerji tüketimi ve enerji maliyetlerine etkisi blok bazında ayrıca EK 14'te verilmiştir.



Şekil 4. 15. Örnek 1, Örnek 2 ve Örnek 3 için iklim bölgesi senaryolarına bağlı yıllık toplam birincil enerji tüketimi, enerji maliyeti ve CO_2 emisyonundaki değişim oranları

Çizelge 4. 9. İklim bölgesi senaryolarında 3 konut sitesinde yer alan ve farklı yöne bakan 4 blok ortalamasının referans binaya göre bina peformans ölçütleri için değişim oranları

Konut Sitesi	Senaryo	İyileştirme Oranı (%)					
		Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınlatma Enerjisi	CO2 Salımı	Enerji Maliyeti	Birincil Enerji
ÖRNEK 1	**REF: 2. DGB BURSA**						
	1. DGB: İZMİR	19.7	-14.7	-1.1	3.6	-0.9	5.2
	2. DGB: DİYARBAKIR	-22.6	-47.0	1.3	-18.3	-17.1	-18.7
	3. DGB: ANKARA	-86.1	47.3	-0.3	-21.3	-3.5	-27.8
	4. DGB: ERZURUM	-128.6	62.1	-0.6	-33.8	-7.6	-43.2
ÖRNEK 2	**REF: 2. DGB BURSA**						
	1. DGB: İZMİR	18.3	-12.1	-1.0	1.8	-1.5	3.2
	2. DGB: DİYARBAKIR	-26.5	-42.3	1.1	-17.8	-16.0	-18.5
	3. DGB: ANKARA	-112.1	41.8	-1.8	-22.3	-4.1	-29.4
	4. DGB: ERZURUM	-174.6	58.2	-0.8	-35.7	-7.5	-46.6
ÖRNEK 3	**REF: 2. DGB BURSA**						
	1. DGB: İZMİR	20.7	-15.1	-0.7	5.6	0.6	7.2
	2. DGB: DİYARBAKIR	-18.2	-57.8	-0.5	-18.6	-18.8	-18.6
	3. DGB: ANKARA	-84.7	52.1	-0.8	-26.0	-6.9	-32.5
	4. DGB: ERZURUM	-135.8	69.4	-0.1	-43.8	-13.9	-54.0

b) Cephe yönlenimi

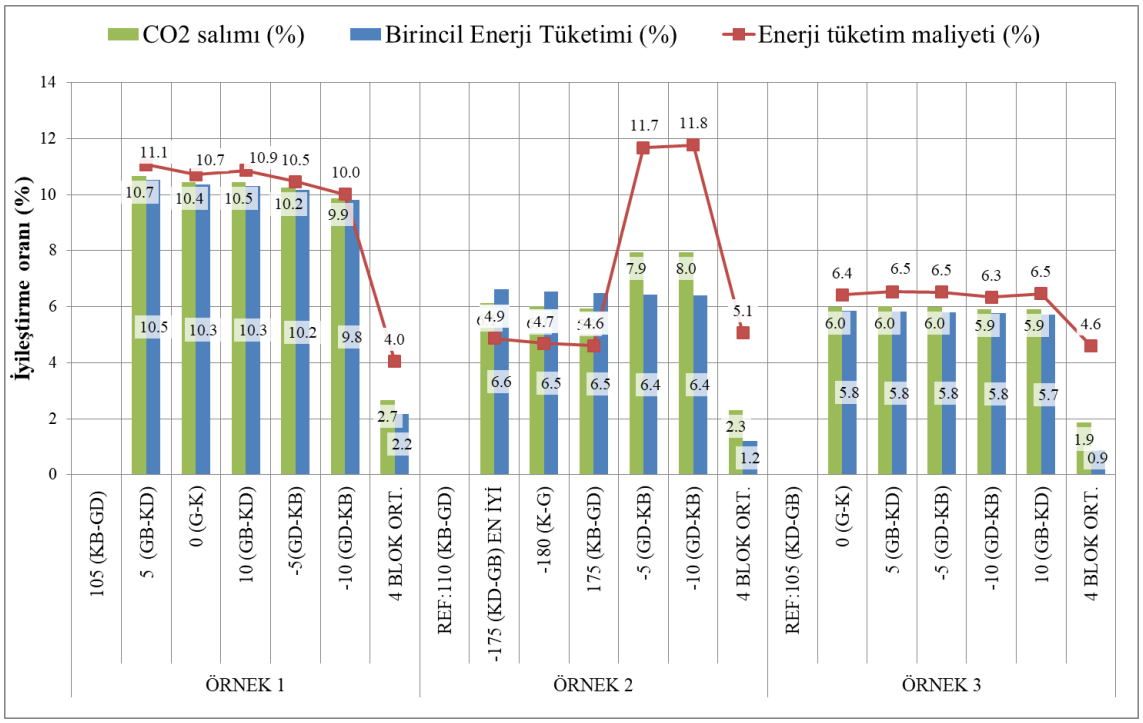
Mimari tasarıma ilişkin ele alınan ikinci değişken cephe yönlenimidir. Cephe yönlenimi iç mekan ısıl ve görsel konfor koşulları, ısıtma, soğutma ve aydınlatma sistemi yüklerini etkileyen bir pasif tasarım bileşenidir. Çizelge 4. 10'da referans binaların konut mekanlarına ait cephe yönlenimleri yer almaktadır. Her üç sitenin vaziyet planında sosyal donatı alanları (yüzme havuzu, spor sahaları, yeşil alan) sitenin merkezine konumlandırılmış ve konut mekan organizasyonu dairelerin yaşam alanları sosyal donatı alanına yönlendirilecek şekilde yapılmıştır (bkz. EK 1 – EK 3).

Çizelge 4. 10. Örnek konut bloklarında ele alınan mekanların cephe yönlenimleri

SİTE/BLOK/DAİRE		**Salon**	**Mutfak**	**E.Y. Odası**	**Oda 1**	**Oda 2**	**Oda 3**
ÖRNEK 1	BLOK I 4+1 (her katta 2D)	D1:D D2:D	D1:D D2:D	D1:K D2:G	D1:B D2:B	D1:B D2:B	D1:B D2:B
	BLOK II 4+1 (her katta 2D)	D1:GD D2:GD	D1:GD D2:GD	D1:KD D2:GB	D1:KB D2:KB	D1:KB D2:KB	D1:KB D2:KB
	BLOK III 4+1 (her katta 2D)	D1:GB D2:GB	D1:GB D2:GB	D1:KB D2:GD	D1:KD D2:KD	D1:KD D2:KD	D1:KD D2:KD
	BLOK IV 4+1 (her katta 2D)	D1:K D2:K	D1:K D2:K	D1:B D2:D	D1:G D2:G	D1:G D2:G	D1:G D2:G
ÖRNEK 2	BLOK I 3+1 (her katta 2D)	D1:G D2:G	D1:G D2:G	D1:K-D D2:K-B	D1:K D2:K	D1:K D2:K	-
	BLOK II 3+1 (her katta 2D)	D1:GB D2:GB	D1:GB D2:GB	D1:KD D2:KD	D1:KD D2:KD	D1:KD D2:KD	-
	BLOK III 3+1 (her katta 2D)	D1:K D2:K	D1:K D2:K	D1:G-D D2:G-B	D1:G D2:G	D1:G D2:G	-
	BLOK IV 3+1 (her katta 2D)	D1:KD D2:KD	D1:KD D2:KD	D1:GB D2:GB	D1:GB D2:GB	D1:GB D2:GB	-
ÖRNEK 3	BLOK I 3+1 (her katta 1D) 4+1 (her katta 2D)	D1:GD-GB D2:GD D3:GD-KD	D1:GB D2:GD D3:KD	D1:KB D2:GD D3:KB	D1:GB D2:GD D3:KD	D1:GB D2:GD D3:KD	D1:GB-KB D2:- D3:KB-KD
	BLOK II 3+1 (her katta 1D) 4+1 (her katta 2D)	D1:KD-KB D2:KD D3:KD-GD	D1:KB D2:KD D3:GD	D1:GB D2:KD D3:GB	D1:KB D2:KD D3:GD	D1:KB D2:KD D3:GD	D1:KB-GB D2:- D3:GD-GB
	BLOK III 3+1 (her katta 1D) 4+1 (her katta 2D)	D1:KB-GB D2:KB D3:KB-KD	D1:GB D2:KB D3:KD	D1:GD D2:KB D3:GD	D1:GB D2:KB D3:KD	D1:GB D2:KB D3:KD	D1:GB-GD D2:- D3:KD-GD
	BLOK IV 3+1 (her katta 1D) 4+1 (her katta 2D)	D1:GB-GD D2:GB D3:GB-KD	D1:GD D2:GB D3:KB	D1:KD D2:GB D3:KD	D1:GD D2:GB D3:KB	D1:GD D2:GB D3:KB	D1:GD-KD D2:- D3:KB-KD
D: Daire, K: Kuzey, G: Güney, D: Doğu, B: Batı, KD: Kuzeydoğu, KB: Kuzeybatı, GD: Güneydoğu, GB: Güneybatı							

Cephe yönlenimi başlığı altında her 3 konut bloğunun kendi ekseni etrafında 5° açıyla saat yönünde döndürülmesinin birim alan başına düşen enerji tüketimi ve enerji maliyetine

etkisi hesaplanmıştır. Blokların 0° (yaşam alanı G /yatak odaları K) ile ±180º (yaşama alanı K/yatak odaları G) arasında tam tur döndürülerek oluşturulan toplam 72 senaryodan birincil enerji tüketimi en düşük 10 senaryonun ısıtma, soğutma, aydınlatma ve nihai enerji tüketim değerleri (kWh/m^2.y) ve yıllık toplam enerji maliyetleri (TL/m^2.y) EK 15'te verilmiştir. En iyi 5 cephe yönlenim açısının en kötü cephe yönlenimi açısına ve referans duruma göre birim alan başına yıllık toplam birincil enerji tüketimi, enerji maliyeti ve karbon emisyonu iyileştirme oranları Şekil 4. 16'da görülmektedir.



Şekil 4. 16. 3 konut sitesi için birincil enerji tüketimi bakımından en iyi 5 cephe yönlenimi senaryosunun referans bina ve en kötü cephe yönlenimi senaryosuna göre bina performans değerlendirme ölçütleri için iyileştirme oranları

Örnek 1'in enerji tüketiminin en düşük olduğu senaryolar, yaşam alanının güney, güney doğu ve güneybatıya, yatak odalarının kuzey, kuzeydoğu ve kuzeybatıya ±30º aralığında yönlendirildiği seçeneklerdir. En iyi sonucu veren cephe yönlenimi yaşam alanının GB'ye yatak odaları KD'ye 5° yönlendiği; en kötü sonucu veren seçenek ise yaşam alanının KB'ye yatak odalarının GD'ye 105° ile yönlendiği açıdır.

Örnek 2'nin cephe yönlenim sonuçlarına bakıldığında, en düşük birincil enerji tüketimine sahip senaryo binanın saat yönünün tersine 175º döndürülerek yaşama mekanlarının kuzey cephede, yatak odalarının güney cephede konumlandırıldığı; en kötü senaryo yaşam alanının KB'ye, yatak odaları GD'ye 110° yönlendiği senaryodur (EK 15). Birincil enerji bakımından en iyi -175º senaryosunu, binanın -180º, 175º, -5º ve -10º döndürüldüğü seçenekler takip etmektedir. Burada optimal çözümün ele alınan diğer referans binalarda farklılaşmasının temel nedeni Örnek 2'deki konut birimlerinin salon ve mutfağının önünde yer alan 18,25 x 3,60 m boyutlarındaki teraslar ve terasların B.A. taşıyıcılarının bu mekanları gölgelemesidir. Binanın tam tersi bir açıyla konumlandırılmasıyla da en kötü senaryoya göre ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisinde dengeli bir iyileştirme yapılabilmektedir. Diğer yandan Örnek 2'nin yaşama mekanlarının ±10º güneye yönlendirilmesi de en iyi 10 cephe yönlenimi seçenekleri içindedir.

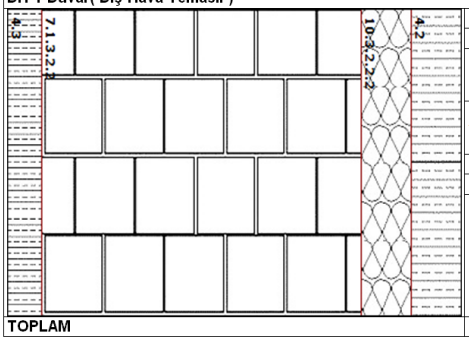
Örnek 3 için en yüksek enerji verimliliğini sağlayan seçenekler Örnek 1 ile benzer şekilde yaşam alanlarının ±30º aralığında güneye yönlendirildiği senaryolardır. Birincil enerji tüketimi bakımından en iyi çözüm yaşam alanının G'ye, yatak odalarının K'ye 0° ile yönlendiği; en kötü çözüm yaşam alanının KD'ye, yatak odalarının GB'ye 105° yönlendirildiği senaryolardır. En yüksek enerji tüketimiyle sonuçlanan cephe yönlenimine göre referans bina ve en iyi 5 çözümün yıllık ısıtma, soğutma, aydınlatma enerjisi, CO_2 emisyonu ve toplam birincil enerji ve enerji maliyetindeki iyileştirme oranları Çizelge 4. 11'de özetlenmiştir.

Çizelge 4. 11. 3 Örnek bina için en düşük birincil enerji tüketimi ile sonuçlanan 5 cephe yönlenim senaryosunun en yüksek enerji tüketimine sahip cephe yönlenim senaryosu ve referans binaya göre iyileştirme oranları

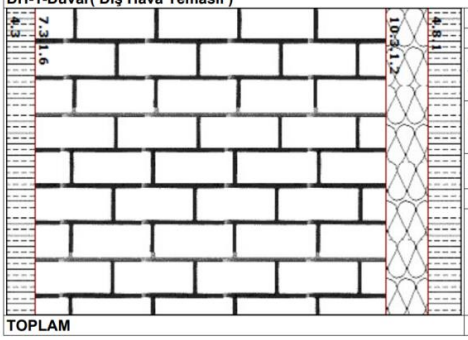
SİTE	Senaryo	İyileştirme Oranı (%)					
		Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınlatma Enerjisi	CO_2 Emisyonu	Enerji Maliyeti	Birincil Enerji
ÖRNEK 1	**105 (KB-GD) EN KÖTÜ**						
	5 (GB-KD) EN İYİ	9.1	26.3	0.9	10.7	11.1	10.5
	0 (G-K)	9.4	25.1	0.9	10.4	10.7	10.3
	10 (GB-KD)	8.9	25.6	1.0	10.5	10.9	10.3
	-5(GD-KB)	9.4	24.4	0.9	10.2	10.5	10.2
	-10 (GD-KB)	9.3	23.2	0.8	9.9	10.0	9.8
	REF (4 BLOK ORT.)	-2.7	20.0	-4.9	2.7	4.0	2.2
ÖRNEK 2	**110 (KB-GD) EN KÖTÜ**						
	-175 (KD-GB) EN İYİ	13.4	11.1	-1.4	6.1	4.9	6.6
	-180 (K-G)	13.7	10.6	-1.5	6.0	4.7	6.5
	175 (KB-GD)	13.7	10.2	-1.4	5.9	4.6	6.5
	-5 (GD-KB)	-13.9	33.4	2.5	7.9	11.7	6.4
	-10 (GD-KB)	-14.4	33.5	2.7	8.0	11.8	6.4
	REF (4 BLOK ORT.)	-13.8	19.7	-0.8	2.3	5.1	1.2
ÖRNEK 3	**105 (KD-GB) EN KÖTÜ**						
	0 (G-K) EN İYİ	4.5	15.8	1.1	6.0	6.4	5.8
	5 (GB-KD)	4.2	16.3	1.1	6.0	6.5	5.8
	-5 (GD-KB)	4.2	16.2	1.1	6.0	6.5	5.8
	-10 (GD-KB)	4.5	15.5	1.1	5.9	6.3	5.8
	10 (GB-KD)	4.0	16.3	1.1	5.9	6.5	5.7
	REF (4 BLOK ORT.)	-7.6	25.1	-3.7	1.9	4.6	0.9

c) Dış duvar ısı yalıtımı malzemesi ve kalınlığı

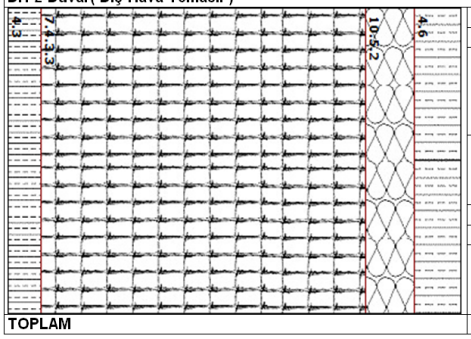
Binalara dıştan yapılan ısı yalıtımı uygulaması ısıl konfor şartlarının sağlanması için yüzey sıcaklıklarının, ortalama ışınım sıcaklığının ve iç ortam sıcaklığının istenen düzeyde tutulması, yapı kabuğundaki ısı köprülerinin önlenmesi ve ısıtma enerjisi tüketiminin düşürülmesinde en yaygın uygulamalardan biridir. Örnek konut sitelerinin mevcut mimari ve ısı yalıtım projesi verileri göre, her sitenin dış duvarlarında 3 cm kalınlığında dıştan yalıtım uygulaması yapılmıştır. Referans binalar için proje verilerine göre İZODER'in (Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği) TS 825 hesap programında hazırlanmıştır (İzoder, n.d.). Dış duvar kesitleri ve malzeme özellikleri Şekil 4. 17 – Şekil 4. 19'da görülmektedir.

BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI			Yapı Elemanının Kalınlığı	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	Isıl Geçirgenlik Katsayısı
			d	λ_h	R	U
			(m)	(W/mK)	(m^2K/W)	W/m^2K
DH-1-Duvar(Dış Hava Temaslı)						
	$1/\alpha_i$	Yüzeysel ısıl iletim katsayısı (iç)			0,13	
	4.3	Alçı harcı,kireçli alçı harcı	0,02	0,70	0,03	
	7.1.3.2.2	TS EN 998-2 ye uygun ve yoğunluğu ≤ 1000 harç kullanılarak AB sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar	0,19	0,28	0,68	
	10.3.2.2.2	Ekstrüde polistiren köpüğü - TS 11989 EN 13164 e uygun; yoğunluk ≥30; ısıl iletkenlik grubu 035	0,03	0,035	0,86	
	4.2	Çimento harcı	0,03	1,6	0,02	
	$1/\alpha_d$	Yüzeysel ısıl iletim katsayısı (dış)			0,04	
TOPLAM					**1,76**	**0,57**

Şekil 4. 17. Örnek 1'e ait dış dolgu duvar kesiti ve malzemelerin termofiziksel özellikleri

BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI			Yapı Elemanının Kalınlığı	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	Isıl Geçirgenlik Katsayısı
			d	λ_h	R	U
			(m)	(W/mK)	(m^2K/W)	W/m^2K
DH-1-Duvar(Dış Hava Temaslı)						
	$1/\alpha_i$	Yüzeysel ısıl iletim katsayısı (iç)			0,13	
	4.3	Alçı harcı,kireçli alçı harcı	0,02	0,70	0,03	
	7.3.1.6	Normal derz kalınlığında ve normal harçla yerleştirilmiş bloklarla yapılan duvarlar	0,25	0,25	1	
	10.3.1.2	Polistiren - parçacık köpüklü - TS 7316 EN 13163 e uygun; yoğunluk ≥20; ısıl iletkenlik grubu 040	0,03	0,040	0,75	
	4.8.1	Anorganik asıllı hafif agregalardan yapılmış sıva harçları	0,025	0,30	0,08	
	$1/\alpha_d$	Yüzeysel ısıl iletim katsayısı (dış)			0,04	
TOPLAM					**2,03**	**0,492**

Şekil 4. 18. Örnek 2'ye ait dış dolgu duvar kesiti ve malzemelerin termofiziksel özellikleri

BİNADAKİ YAPI ELEMANLARI			Yapı Elemanının Kalınlığı	Isıl İletkenlik Hesap Değeri	Isıl İletkenlik Direnci	Isıl Geçirgenlik Katsayısı
			d	λ_h	R	U
			(m)	(W/mK)	(m^2K/W)	W/m^2K
DH-2-Duvar(Dış Hava Temaslı)						
	$1/\alpha_i$	Yüzeysel ısıl iletim katsayısı (iç)			0,13	
	4.3	Alçı harcı,kireçli alçı harcı	0,02	0,70	0,03	
	7.4.3.3	TS EN 998-2 ye uygun ve yoğunluğu ≤1000 altında harç kullanılarak doğal bims betondan dolu bloklarla yapılan duvarlar (TS EN 771-3 e uygun DDB türü bloklarla kuvars kumu katılmamış)	0,2	0,25	0,8	
	10.5.2	Mineral ve bitkisel lifli ısı yalıtım malzemeleri TS 901 EN 13162-10 a uygun; yoğunluk 8-500; ısıl iletkenlik grubu 040	0,03	0,040	0,75	
	4.6	Çimento harçlı şap	0,03	1,4	0,02	
	$1/\alpha_d$	Yüzeysel ısıl iletim katsayısı (dış)			0,04	
TOPLAM					**1,77**	**0,565**

Şekil 4. 19. Örnek 2'ye ait dış dolgu duvar kesiti ve malzemelerin termofiziksel özellikleri

Bina performans iyileştirme senaryolarının ikinci başlığı altında, ısı yalıtım malzemelerinin kalınlığı arttırılarak dış duvar ısıl geçirgenlik katsayısının güncel yalıtım yönetmeliğinde (TS 825, 2008) verilen sınır değerden (U_{duvar}: 0,6 W/m²K, 2. derece gün bölgesi) kademeli olarak daha düşük hale getirilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda 15 yalıtım senaryosuna ait dış duvar toplam ısıl geçirgenlik değerleri Çizelge 4. 12'de görülmektedir.

Çizelge 4. 12. Isı yalıtım senaryosu bileşenleri ve dış duvarın toplam ısıl geçirgenlik değeri

Senaryo	**Açıklama**	**Dış duvar toplam ısıl geçirgenlik değeri (U_d: W/m²K)**		
		Örnek 1	**Örnek 2**	**Örnek 3**
R (Referans)	3 cm ısı yalıtımı	0,570 (Tuğla+XPS)	0,492 (Gazbeton+EPS)	0,565 (Bims+Taşyünü)
Y1	4 cm EPS	0,531	0,442	0,506
Y2	4 cm taşyünü	0,516	0,432	0,493
Y3	4 cm XPS	0,485	0,410	0,465
Y4	5 cm EPS	0,469	0,398	0,449
Y5	5 cm taşyünü	0,455	0,388	0,436
Y6	5 cm XPS	0,425	0,366	0,409
Y7	6 cm EPS	0,419	0,362	0,404
Y8	6 cm taşyünü	0,406	0,352	0,391
Y9	6 cm XPS	0,378	0,330	0,365
Y10	8 cm EPS	0,347	0,307	0,336
Y11	8 cm taşyünü	0,335	0,297	0,325
Y12	8 cm XPS	0,309	0,277	0,300
Y13	10 cm EPS	0,295	0,266	0,288
Y14	10 cm taşyünü	0,284	0,257	0,277
Y15	10 cm XPS	0,261	0,238	0,255

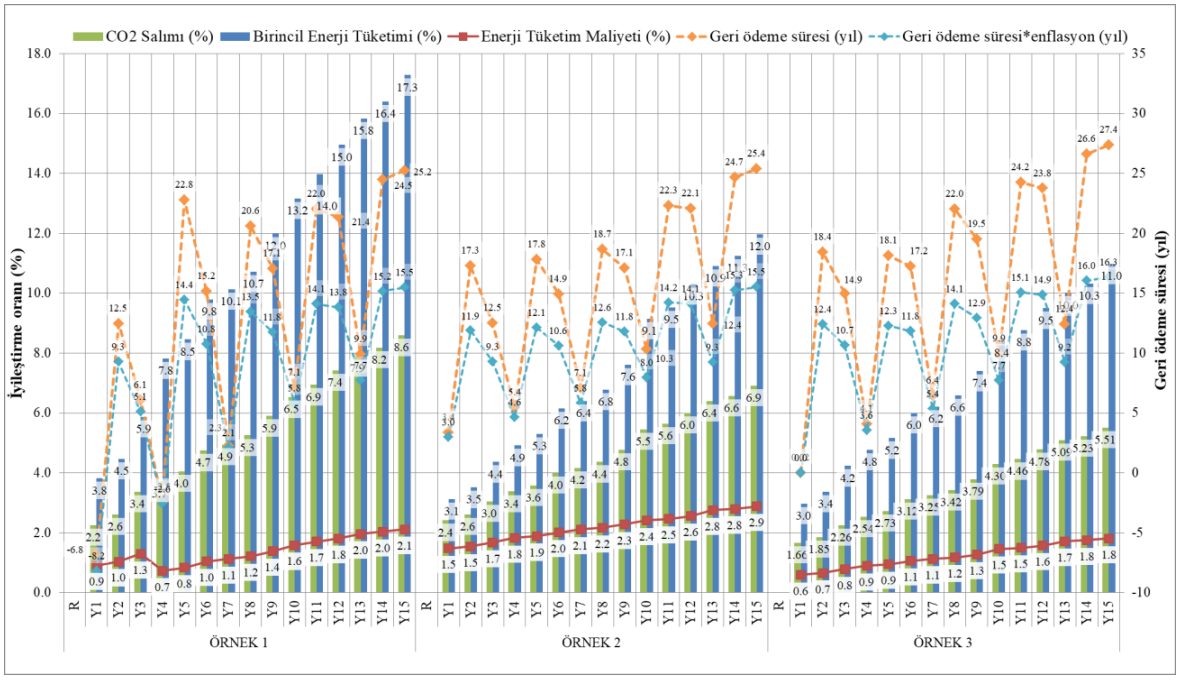
Şekil 4. 20'de ısı yalıtım senaryolarının Bursa ilinde yer alan referans binalar için yıllık toplam birincil enerji tüketimi, enerji maliyeti ve karbon emisyonu açısından iyileştirme oranları senaryoların geri ödeme süreleriyle birlikte verilmiş, tüm bina performans ölçütleri için iyileştirme oranları Çizelge 4. 13'te özetlenmiştir.

Çizelge 4. 13. Isı yalıtım senaryolarının bina performans ölçütleri için referans binaya göre iyileştirme oranları ve yatırımın geri ödeme süresi

SİTE	Senaryo	Açıklama	İyileştirme Oranı (%)					Geri ödeme (yıl)	
			Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	CO_2 Salımı	Enerji Maliyeti	Birincil Enerji	Enflasyon hariç	Enflasyon dahil
ÖRNEK 1	**REF**	**3 cm XPS**							
	Y1	4 cm EPS	6.5	-1.5	2.2	0.9	3.8	-6.8	-8.2
	Y2	4 cm taşyünü	7.7	-1.8	2.6	1.0	4.5	12.5	9.3
	Y3	4 cm XPS	10.2	-2.6	3.4	1.3	5.9	6.1	5.1
	Y4	5 cm EPS	13.7	-6.7	3.7	0.7	7.8	-2.5	-2.6
	Y5	5 cm taşyünü	14.8	-7.1	4.0	0.8	8.5	22.8	14.4
	Y6	5 cm XPS	17.3	-8.0	4.7	1.0	9.8	15.2	10.8
	Y7	6 cm EPS	17.9	-8.1	4.9	1.1	10.1	2.3	2.1
	Y8	6 cm taşyünü	18.9	-8.5	5.3	1.2	10.7	20.6	13.5
	Y9	6 cm XPS	21.2	-9.4	5.9	1.4	12.0	17.1	11.8
	Y10	8 cm EPS	24.0	-10.4	6.5	1.6	13.2	7.1	5.8
	Y11	8 cm taşyünü	25.0	-10.8	6.9	1.7	14.0	22.0	14.1
	Y12	8 cm XPS	27.0	-11.7	7.4	1.8	15.0	21.4	13.8
	Y13	10 cm EPS	28.5	-12.2	7.9	2.0	15.8	9.9	7.7
	Y14	10 cm taşyünü	29.3	-12.6	8.2	2.0	16.4	24.5	15.2
	Y15	10 cm XPS	31.2	-13.4	8.6	2.1	17.3	25.2	15.5
ÖRNEK 2	**REF**	**3 cm EPS**							
	Y1	4 cm EPS	7.3	-2.8	2.4	1.5	3.1	3.4	3.0
	Y2	4 cm taşyünü	8.2	-2.9	2.6	1.5	3.5	17.3	11.9
	Y3	4 cm XPS	10.1	-3.4	3.0	1.7	4.4	12.5	9.3
	Y4	5 cm EPS	11.3	-3.5	3.4	1.8	4.9	5.4	4.6
	Y5	5 cm taşyünü	12.1	-3.7	3.6	1.9	5.3	17.8	12.1
	Y6	5 cm XPS	14.0	-4.2	4.0	2.0	6.2	14.9	10.6
	Y7	6 cm EPS	14.5	-4.1	4.2	2.1	6.4	7.1	5.8
	Y8	6 cm taşyünü	15.4	-4.3	4.4	2.2	6.8	18.7	12.6
	Y9	6 cm XPS	17.2	-4.9	4.8	2.3	7.6	17.1	11.8
	Y10	8 cm EPS	20.8	-6.5	5.5	2.4	9.1	10.3	8.0
	Y11	8 cm taşyünü	21.6	-6.7	5.6	2.5	9.5	22.3	14.2
	Y12	8 cm XPS	23.4	-7.3	6.0	2.6	10.3	22.1	14.1
	Y13	10 cm EPS	24.7	-7.3	6.4	2.8	10.9	12.4	9.3
	Y14	10 cm taşyünü	25.5	-7.5	6.6	2.8	11.3	24.7	15.3
	Y15	10 cm XPS	27.1	-8.0	6.9	2.9	12.0	25.4	15.5

Çizelge 4. 13. Isı yalıtım senaryolarının bina performans ölçütleri için referans binaya göre iyileştirme oranları ve yatırımın geri ödeme süresi (devamı)

SİTE	Senaryo	Açıklama	İyileştirme Oranı (%)					Geri ödeme (yıl)	
			Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	CO_2 Salımı	Enerji Maliyeti	Birincil Enerji	Enflasyon hariç	Enflasyon dahil
ÖRNEK 3	**REF**	**3 cm Taşyünü**							
	Y1	4 cm EPS	5.8	-1.3	1.7	0.6	3.0	0.02	0.02
	Y2	4 cm taşyünü	6.5	-1.5	1.8	0.7	3.4	18.4	12.4
	Y3	4 cm XPS	8.0	-1.9	2.3	0.8	4.2	14.9	10.7
	Y4	5 cm EPS	9.0	-2.1	2.5	0.9	4.8	4.1	3.6
	Y5	5 cm taşyünü	9.7	-2.3	2.7	0.9	5.2	18.1	12.3
	Y6	5 cm XPS	11.2	-2.8	3.1	1.1	6.0	17.2	11.8
	Y7	6 cm EPS	11.5	-2.8	3.3	1.1	6.2	6.4	5.4
	Y8	6 cm taşyünü	12.2	-3.0	3.4	1.2	6.6	22.0	14.1
	Y9	6 cm XPS	13.7	-3.5	3.8	1.3	7.4	19.5	12.9
	Y10	8 cm EPS	15.5	-4.0	4.3	1.5	8.4	9.9	7.7
	Y11	8 cm taşyünü	16.1	-4.2	4.5	1.5	8.8	24.2	15.1
	Y12	8 cm XPS	17.4	-4.7	4.8	1.6	9.5	23.8	14.9
	Y13	10 cm EPS	18.3	-4.7	5.1	1.7	10.0	12.4	9.2
	Y14	10 cm taşyünü	18.9	-4.9	5.2	1.8	10.3	26.6	16.0
	Y15	10 cm XPS	20.1	-5.4	5.5	1.8	11.0	27.4	16.3
*İlk yatırım maliyeti referans binadan daha düşük olan seçenekler için geri ödeme süresi negatif değerlidir									



Şekil 4. 20. Isı yalıtım senaryolarının referans binaya göre iyileştirme oranları ve yatırımın geri ödeme süresi

Isı yalıtım malzemesi ve kalınlıklarının ele alınan her bir bloğun yıllık toplam nihai enerji tüketimi ve enerji maliyetlerine etkisi ayrıca EK 16 ve EK 17'de yer almaktadır. Örnek 1 için toplam birincil enerji tüketimi (%11,9), enerji maliyeti (%2,5) ve CO_2 emisyonu (%9,5) açısından en yüksek iyileştirme referans binaya dıştan 10 cm XPS ısı yalıtımı uygulanmasıyla (Y15) yaşam alanları GD, yatak odaları KB'ye bakan Blok II'de meydana gelmiştir. Bu fark referans binaya göre m^2 başına 14,25 kWh, 2,6 TL ve 3,1 kg eşd.CO_2'e karşılık gelmektedir. Örnek 2'nin farklı yönlere bakan blokları değerlendirildiğinde, referans bina ile en yüksek fark Y15 no'lu senaryonun salon ve mutfağı GB, yatak odaları KD'ye bakan Blok II'de meydana gelmiştir. Birincil enerji, enerji maliyeti ve CO_2'de meydana gelen iyileştirme sırasıyla 11,5 kWh/m^2, 5,0 TL/m^2 ve 2,7 kg eşd. CO_2/m^2'dir. Örnek III için Y15 no'lu senaryonun Blok IV'e uygulanmasıyla (yaşam alanı GB, yatak odaları KD) blok bazında en yüksek fark elde edilmiş; birim alan için birincil enerji 10,1 kWh, enerji maliyeti 2,7 TL ve karbon salımı 2,3 kg eşd. CO_2 azalmıştır (EK 16 - EK 17).

Dıştan ısı yalıtım katmanının kalınlığının arttırılmasıyla yapı kabuğunun ısıl gerçirgenlik katsayısı düşürülerek binanın ısıtıldığı dönemde yapı kabuğundan gerçekleşen ısı kayıplarını azaltmaktadır. TS 825 (TSE, 2008) referans alınarak seçilen üç yalıtım malzemesinin aynı kalınlıktaki ısıl iletkenlik hesap değeri birbirine çok yakındır ($\lambda_{XPS:}$ 0,035; $\lambda_{EPS:}$ 0,04; $\lambda_{Taşyünü:}$ 0,04 W/mK). Öte yandan enerji verimliliği kadar ilk yatırım maliyeti de tasarımda önemli bir parametredir. Yalıtım senaryolarının geri ödeme süresi değerlendirildiğinde Örnek 1 için 4cm ve 5cm'lik EPS yalıtım senaryoları (Y1, Y4) referans durumdan daha düşük ilk yatırım maliyeti ve birincil enerji tüketimine sahip olması nedeniyle geri ödeme süresi negatiftir. Örnek 2 ve Örnek 3 için 4 cm EPS yalıtım uygulaması ilk yatırım maliyetine göre en kısa sürede kendini amorti eden seçenektir. Aynı kalınlıktaki üç yalıtım malzemesi karşılaştırıldığında birincil enerji tüketimi bakımından en yüksek iyileştirme XPS ile sağlanırken, geri ödeme süresi bakımından en iyi seçenek EPS'dir.

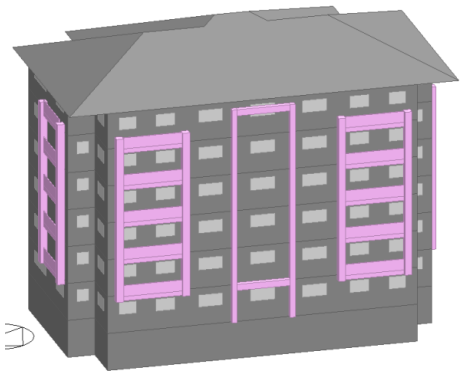
Tüm senaryolarda yalıtım kalınlığının artması yıllık toplam ısıtma enerjisinin düşürürken, binanın iç ısıl kazançlarının korunmasını sağlayarak soğutma enerjisini bir miktar

arttırmaktadır (Çizelge 4. 13). Soğutma enerjisindeki bu artış yalıtım kalınlığındaki 1 cm – 7 cm'lik artışa paralel olarak Örnek1 için %1,5 – 13,4, Örnek 2 için %2,8 – 8, Örnek 3 için %,1,3 – 5,4 düzeyindedir.

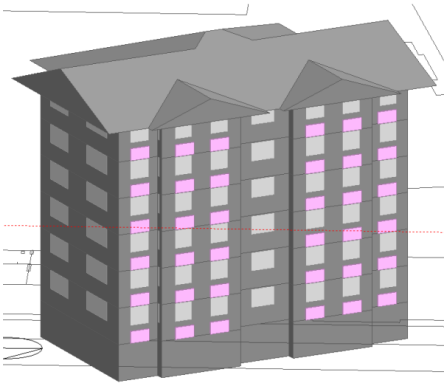
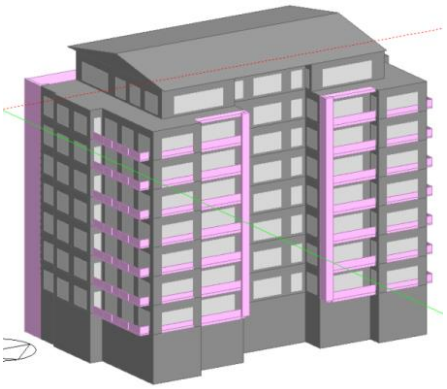
d) Saydamlık oranı ve cephe kuruluşu

Saydamlık oranı (SO - *WWR*) ve bu oranın nasıl bir cephe kuruluşu ve pencere geometrisi ile oluşturulduğu binanın toplam enerji tüketimini etkilemektedir. Bina enerji verimliliğinin arttırılmasına yönelik tedbirler kapsamındaki dördüncü başlıkta incelenen 36 seçenek Çizelge 4. 14'te özetlenmiştir. 4 farklı cephe kuruluşu için (pencere h:1 m parapet 1 m; pencere h:1,5 m parapet 1 m; pencere h:2 m parapet h:0 m; pencere h:2,5 m parapet h:0 m) %20 – 60 arasında %5'lik adımla artan SO değerlerinin bina performans ölçütleri üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Referans binaların blok bazında saydamlık oranları Örnek 1, Örnek 2 ve Örnek 3 için sırasıyla %27, %29 ve %30'dur. Ele alınan 12 referans bloğun saydamlık oranı ve cephe kuruluşuna bağlı yıllık ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi tüketimi toplamı ve toplam nihai enerji maliyetleri değişimi EK 18 – EK 23 verilmiştir.

Çizelge 4. 14. BES senaryolarında kullanılan cephe kuruluşu ve saydamlık oranları

Senaryo	**Açıklama**	**SO – WWR senaryo örnek görseli**
WWR1	%20 pencere h:1 m; parapet h:1 m	Örnek 1 - WWR1 
WWR2	%25 pencere h:1 m; parapet h:1 m	
WWR3	%30 pencere h:1 m; parapet h:1 m	
WWR4	%35 pencere h:1 m; parapet h:1 m	
WWR5	%40 pencere h:1 m; parapet h:1 m	
WWR6	%45 pencere h:1 m; parapet h:1 m	
WWR7	%50 pencere h:1 m; parapet h:1 m	
WWR8	%55 pencere h:1 m; parapet h:1 m	
WWR9	%60 pencere h:1 m; parapet h:1 m	
WWR10	%20 pencere h:1.5 m; parapet h:1 m	
WWR11	%25 pencere h:1.5 m; parapet h:1 m	
WWR12	%30 pencere h:1.5 m; parapet h:1 m	

Çizelge 4. 14. BES senaryolarında kullanılan cephe kuruluşu ve saydamlık oranları (devamı)

Senaryo	Açıklama	SO – WWR senaryo örnek görseli
WWR13	%35 pencere h:1.5 m; parapet h:1 m	Örnek 2 - WWR13 
WWR14	%40 pencere h:1.5 m; parapet h:1 m	
WWR15	%45 pencere h:1.5 m; parapet h:1 m	
WWR16	%50 pencere h:1.5 m; parapet h:1 m	
WWR17	%55pencere h:1.5 m; parapet h:1 m	
WWR18	%60pencere h:1.5 m; parapet h:1 m	
WWR19	%20 pencere h:2 m; parapet h:0	
WWR20	%25 pencere h:2 m; parapet h:0	
WWR21	%30pencere h:2 m; parapet h:0	
WWR22	%35 pencere h:2 m; parapet h:0	
WWR23	%40 pencere h:2 m; parapet h:0	
WWR24	%45 pencere h:2 m; parapet h:0	
WWR25	%50 pencere h:2 m; parapet h:0	Örnek 3 – WWR25 
WWR26	%55 pencere h:2 m; parapet h:0	
WWR27	%60 pencere h:2 m; parapet h:0	
WWR28	%20 pencere h:2.5 m; parapet h:0	
WWR29	%25 pencere h:2.5 m; parapet h:0	
WWR30	%30 pencere h:2.5 m; parapet h:0	
WWR31	%35 pencere h:2.5 m; parapet h:0	
WWR32	%40 pencere h:2.5 m; parapet h:0	
WWR33	%45 pencere h:2.5 m; parapet h:0	
WWR34	%50 pencere h:2.5 m; parapet h:0	
WWR35	%55 pencere h:2.5 m; parapet h:0	
WWR36	%60 pencere h:2.5 m; parapet h:0	

Tüm cephe seçenekleri arasından Örnek 1 için WWR 1-4, WWR 10-13, WWR 19-23 ve WWR 28-32 no'lu senaryolar birincil enerji tüketimi, enerji maliyeti ve sera gazı emisyonu yönünden referans duruma göre iyileştirme sağlamaktadır. Enerji tüketimi, enerji maliyeti ve karbon emisyonu açısından en yüksek iyileştirme referans binanın saydamlık oranının %20 ve pencere yüksekliklerinin 2 m olacak şekilde düzenlenmesiyle (WWR19) yaşama mekanları GB, yatak odaları KD yönüne bakan Blok III'te meydana gelmiştir. Bu iyileştirme referans binaya göre birim alan için 9,9 kWh, 8,8 TL ve 2,7 kg eşd. CO_2 azaltımına karşılık gelmektedir. Örnek 2 için WWR1, WWR2, WWR28 ve WWR29 no'lu senaryolar her üç performans ölçütü için referans duruma göre iyileştirme sağlamaktadır. Örnek 2'nin farklı yönlere bakan blokları değerlendirildiğinde referans bina ile en yüksek

iyileştirme WWR1 no'lu senaryonun yaşama alanı GB, yatak odaları KD yönüne bakan Blok II'de meydana gelmiştir. Bu blokta birincil enerji tüketimi, enerji maliyeti ve CO_2'de meydana gelen düşüş sırasıyla 9,9 kWh/m^2, 4,1 TL/m^2 ve 2,1 kg eşd. CO_2/m^2'dir. Örnek 3 için WWR1-3, WWR10-13, WWR19-23 ve WWR28-32 no'lu senaryolar her üç performans ölçütü için de referans duruma göre iyileştirme sağlamaktadır. WWR1 no'lu senaryonun yaşam alanı GB'ye bakan Blok IV'e uygulanmasıyla blok bazında en yüksek iyileştirme elde edilmiştir. Bu fark 1 m^2 için 6,3 kWh, 5,0 TL ve 1,7 kg eşd. CO_2'dir. Şekil 4. 21'de 3 konut sitesi için farklı yönlere bakan 4 bloğun SO senaryolarına bağlı iyileştirme oranları ortalaması ve iyileştirme sağlayan senaryoların geri ödeme süreleri görülemektedir. Simülasyon sonuçlarının iyileştirme oranları, her bir performans ölçütü için ayrıca Çizelge 4. 15'te görülmektedir.

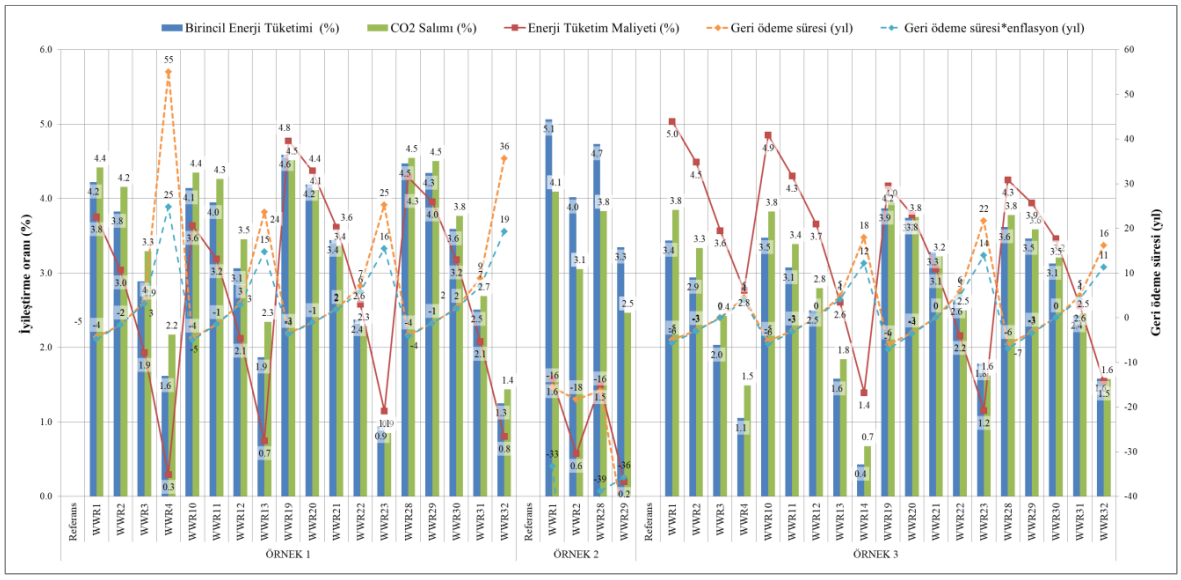
Çizelge 4. 15. SO ve cephe kuruluşu senaryolarının bina performans ölçütleri için referans binaya göre iyileştirme oranları ve yatırımın geri ödeme süresi

SİTE	Senaryo	Açıklama	İyileştirme Oranı (%)						Geri ödeme (yıl)	
			Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydın. Enerjisi	CO_2 Salımı	Enerji Maliyet	Birincil Enerji	Enflas. hariç	Enflas. dahil
ÖRNEK 1	**REF**	**27%**								
	WWR1	1m, 20%	2.4	11.3	2.3	4.4	3.8	4.2	-4.3*	-4.8*
	WWR2	1m, 25%	0.8	5.6	6.2	4.2	3.0	3.8	-1.5*	-1.5*
	WWR3	1m, 30%	-0.8	-0.1	8.6	3.3	1.9	2.9	3.6	3.2
	WWR4	1m, 35%	-3.4	-4.2	10.5	2.2	0.3	1.6	55.1	24.8
	WWR10	1.5m, 20%	2.2	11.9	2.0	4.4	3.6	4.1	-4.5*	-5.0*
	WWR11	1.5m, 25%	1.0	5.5	6.3	4.3	3.2	4.0	-1.5*	-1.5*
	WWR12	1.5m, 30%	-0.5	-0.5	9.0	3.5	2.1	3.1	3.2	2.9
	WWR13	1.5m, 35%	-2.4	-6.1	11.0	2.3	0.7	1.9	23.7	14.8
	WWR19	2m, 20%	5.3	9.4	1.0	4.5	4.8	4.6	-3.4*	-3.7*
	WWR20	2m, 25%	4.9	1.7	4.5	4.1	4.4	4.2	-1.1*	-1.1*
	WWR21	2m, 30%	4.1	-5.9	7.5	3.4	3.6	3.4	1.9	1.8
	WWR22	2m, 35%	3.1	-13.3	9.8	2.3	2.6	2.4	7.1	5.9
	WWR23	2m, 40%	1.7	-20.1	11.2	0.9	1.1	0.9	25.3	15.5
	WWR28	2.5m, 20%	3.7	12.2	0.9	4.5	4.3	4.5	-3.8*	-4.1*
	WWR29	2.5m, 25%	2.8	5.2	5.4	4.5	4.0	4.3	-1.2*	-1.2*
	WWR30	2.5m, 30%	2.0	-1.9	8.2	3.8	3.2	3.6	2.2	2.0
	WWR31	2.5m, 35%	0.9	-8.8	10.4	2.7	2.1	2.5	8.8	7.0
	WWR32	2.5m, 40%	-0.5	-15.7	12.2	1.4	0.8	1.3	35.7	19.3

Çizelge 4. 15. SO ve cephe kuruluşu senaryolarının bina performans ölçütleri için referans binaya göre iyileştirme oranları ve yatırımın geri ödeme süresi (devamı)

SİTE	Senaryo	Açıklama	İyileştirme Oranı (%)						Geri ödeme (yıl)	
			Isıtma Enerjisi	Enflas. Hariç	Enflas. Hariç	CO_2 Salımı	Enerji Maliyet	Birincil Enerji	Enflas. hariç	Enflas. dahil
ÖRNEK 2	**REF**		**29%**							
	WWR1	1m, 20%	17.6	0.5	-1.8	4.6	1.8	5.6	-13.6*	-23.8*
	WWR2	1m, 25%	16.5	-5.4	0.0	3.5	0.8	4.6	-13.1*	-22.3*
	WWR10	1.5m, 20%	18.2	1.7	-8.2	2.2	-1.3	3.5	22.1	14.1
	WWR11	1.5m, 25%	16.3	-2.8	-4.0	2.3	-0.7	3.5	20.0	13.2
	WWR19	2m, 20%	17.9	2.2	-7.3	2.6	-0.7	3.9	45.5	22.3
	WWR20	2m, 25%	16.0	-2.5	-4.3	2.2	-0.8	3.3	15.9	11.2
	WWR28	2.5m, 20%	16.4	2.0	-2.4	4.3	1.7	5.3	-14.2*	-26.1*
	WWR29	2.5m, 25%	14.9	-3.4	-1.3	3.0	0.4	3.9	-23.3*	-35.7*
	WWR30	2.5m, 30%	13.0	-8.8	1.7	2.4	0.1	3.2	17.7	12.1
ÖRNEK 3	**REF**		**30%**							
	WWR1	1m, 20%	0.1	25.1	-2.4	3.8	5.0	3.4	-5.0*	-5.6*
	WWR2	1m, 25%	-0.3	20.3	-1.0	3.3	4.5	2.9	-2.8*	-2.9*
	WWR3	1m, 30%	-1.2	15.8	-0.2	2.4	3.6	2.0	0.0*	0.0*
	WWR4	1m, 35%	-2.5	11.4	0.9	1.5	2.8	1.1	4.5	3.9
	WWR10	1.5m, 20%	0.6	24.7	-2.8	3.8	4.9	3.5	-5.2*	-5.9*
	WWR11	1.5m, 25%	0.5	19.4	-1.3	3.4	4.3	3.1	-2.9*	-3.1*
	WWR12	1.5m, 30%	0.1	14.2	0.1	2.8	3.7	2.5	0.0*	0.0*
	WWR13	1.5m, 35%	-0.6	9.2	0.8	1.8	2.6	1.6	4.8	4.2
	WWR14	1.5m, 40%	-1.6	4.3	1.3	0.7	1.4	0.4	18.0	12.2
	WWR19	2m, 20%	3.2	23.5	-4.6	4.0	4.2	3.9	-6.0*	-7.1*
	WWR20	2m, 25%	3.6	17.7	-2.8	3.8	3.8	3.7	-3.3*	-3.6*
	WWR21	2m, 30%	3.7	12.0	-1.5	3.2	3.1	3.3	0.0*	0.0*
	WWR22	2m, 35%	3.5	6.3	-0.4	2.5	2.2	2.6	5.8	4.9
	WWR23	2m, 40%	3.0	0.7	0.5	1.6	1.2	1.8	21.7	14.0
	WWR28	2.5m, 20%	2.3	24.7	-4.6	3.8	4.3	3.6	-5.9*	-6.9*
	WWR29	2.5m, 25%	2.4	19.1	-2.7	3.6	3.9	3.5	-3.2*	-3.4*
	WWR30	2.5m, 30%	2.4	13.6	-0.9	3.2	3.5	3.1	0.0*	0.0*
	WWR31	2.5m, 35%	2.1	8.1	0.1	2.5	2.6	2.4	4.9	4.2
	WWR32	2.5m, 40%	1.6	2.6	1.0	1.6	1.5	1.6	16.2	11.3

*İlk yatırım maliyeti referans binayla aynı olan seçenekler için geri ödeme süresi sıfır, daha düşük olan seçenekler için negatif değerlidir.



Şekil 4. 21. 3 konut sitesindeki 4 bloğun ortalaması için SO senaryolarına bağlı birincil enerji tüketimi, enerji maliyeti ve karbon salımındaki iyileştirme oranları

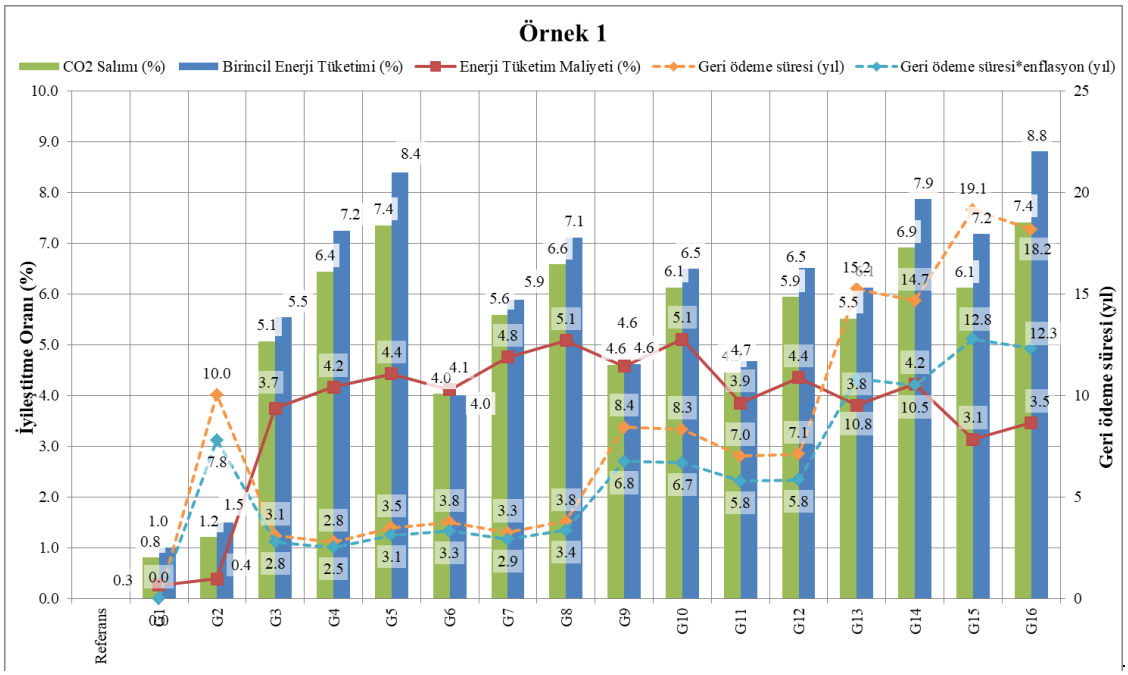
Isıtma ve soğutma enerjisi tüketimi bakımından SO'nun %20 – 30 aralığında tutulması her 3 konut sitesinde de iyileştirme sağlamaktadır. Öte yandan SO'nun %30'un üzerine çıkması, yapı kabuğunun toplam ısıl geçirgenlik değerinin düşmesiyle ısıtma enerjisini ve binanın soğutulduğu dönemde güneş ışınımı kazancına bağlı olarak soğutma enerjisini arttırırken, aydınlatma enerji tüketimini azalmakta ve bina performans hedefleri arasında ödünleşim meydana gelmektedir. Elektriğin ortalama birim fiyatı ve birincil enerjiye dönüşüm katsayısının doğalgazın ortalama birim fiyatının 5,7 katı ve dönüşüm katsayısının 1,826 katı olmasına bağlı olarak soğutma ve aydınlatma enerjisinin toplam tüketimdeki payı, yıllık toplam birincil enerji tüketimi ve enerji maliyetlerini değiştirmektedir. SO %30'un altında olduğu senaryoların ilk yatırım maliyetinin referans durumdan düşük olması ve enerji tasarrufu sağlaması nedeniyle bu seçeneklerin geri ödeme süresi negatif değerlidir (Şekil 4. 21).

e) Pencere camının termofiziksel ve optik özellikleri

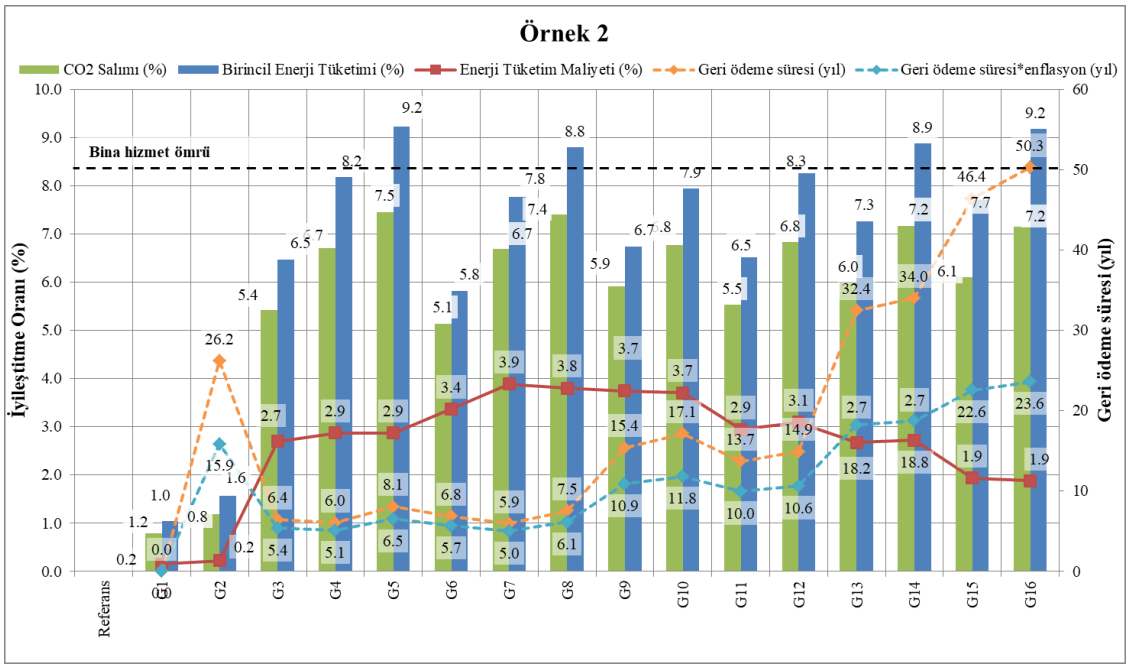
Saydam bileşenlerin termofiziksel ve optik özellikleri yapı kabuğundan gerçekleşen ısı transferinde, gün ışığı ve güneş ışınımı kazancında belirleyici özelliğe sahiptir. Bu başlık altında, birbirinden farklı ısıl geçirgenlik (U_{cam}), gün ışığı geçirgenlik (T_{vis}) ve güneş enerjisi geçirgenlik (g, solar faktör ya da SHGC) değerlerine sahip ve berrak ve düşük yayınımlı (low-E), hava ve argon dolgulu çift cam seçeneklerinin bina performansına etkisi değerlendirilmiştir. Piyasa araştırmasıyla elde edilen pencere cam seçeneklerinin kombinasyonları ve özellikleri Çizelge 4. 16'da görülmektedir (Şişecam, 2018). 16 senaryonun binanın yıllık toplam birincil enerji tüketimi, enerji maliyeti ve CO_2 salımına etkisi geri ödeme süreleriyle birlikte Şekil 4. 22 – Şekil 4. 24'te yer almaktadır.

Çizelge 4. 16. İyileştirme senaryoları için seçilen pencere camlarına ait özellikler (Şişecam, 2018)

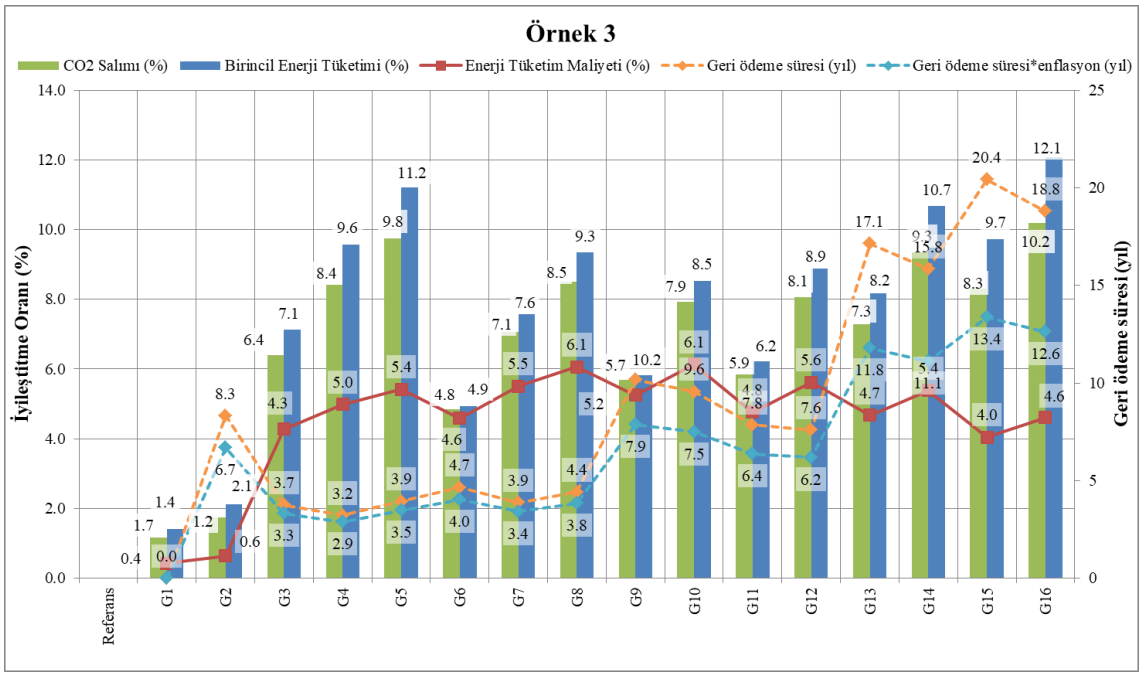
Özellik	**Senaryo No**	**Cam kombinasyonu** (cam+boşluk+cam)	**Gün ışığı geçirgenlik** Tvis (%)	**Güneş enerjisi geçirgenlik** g (%)	**Boşluk**	**Isıl geçirgenlik** U (W/m^2K)
Berrak çift cam	G_{ref} (Ref)	4+12+4 mm	80	75	Hava	2,9
	G1	4+16+4 mm	80	75	Hava	2,7
	G2	4+16+4 mm	80	75	Argon	2,6
	G3	4+12+4 mm	79	56	Hava	1,6
	G4	4+16+4 mm	79	56	Hava	1,3
	G5	4+16+4 mm	79	56	Argon	1,1
	G6	4+12+4 mm	71	44	Hava	1,6
	G7	4+16+4 mm	71	44	Hava	1,3
Düşük yayınımlı (Low-E) çift cam	G8	4+16+4 mm	71	44	Argon	1,1
	G9	6+16+6 mm	69	40	Hava	1,4
	G10	6+16+6 mm	69	40	Argon	1,1
	G11	6+16+6 mm	63	43	Hava	1,4
	G12	6+16+6 mm	63	43	Argon	1,1
	G13	6+16+6 mm	72	53	Hava	1,4
	G14	6+16+6 mm	72	53	Argon	1,1
	G15	6+16+6 mm	80	64	Hava	1,4
	G16	6+16+6 mm	80	64	Argon	1,1



Şekil 4. 22. Pencere camı senaryolarının referans bina Örnek 1'e göre enerji tüketimi, enerji maliyeti ve CO_2 emisyonundaki iyileştirme oranları ve yatırımın geri ödeme süresi



Şekil 4. 23. Pencere camı senaryolarının referans bina Örnek 2'ye göre enerji tüketimi, enerji maliyeti ve CO_2 emisyonundaki iyileştirme oranları ve yatırımın geri ödeme süresi



Şekil 4. 24. Pencere camı senaryolarının referans bina Örnek 3'e göre enerji tüketimi, enerji maliyeti ve CO_2 emisyonundaki iyileştirme oranları ve yatırımın geri ödeme süresi

Tüm bloklara ait ortalama hesap sonuçları incelendiğinde, her 3 konut sitesi için tüm cam seçeneklerinin birincil enerji tüketimi, enerji maliyeti ve sera gazı emisyonu yönünden referans duruma göre iyileştirme sağladığı görülmektedir. Isıtma enerjisi bakımından en yüksek iyileştirme tüm bloklarda en düşük ısıl geçirgenlik kat sayısına sahip G16 no'lu (6mm cam+16mm argon+6mm cam, Tvis:0,80, g:0,64, U:1,1 W/m^{2}K) low-e cam senaryosu ile gerçekleşirken, soğutma enerjisi için en yüksek iyileştirme en düşük güneş enerjisi geçirgenlik değerine sahip G9 no'lu (6mm cam+16mm argon+6mm cam, Tvis:0,69, g:0,40, U:1,4 W/m^{2}K) senaryo ile sağlanmıştır. 16 tasarım seçeneğinin gün ışığı geçirgenliği referans durumla aynı (T_{vis}:0,8) veya altında olması nedeniyle aydınlatma enerjisinde iyileşme elde edilememiştir. Birincil enerji bakımından en yüksek iyileştirme tüm bloklarda G16 no'lu senaryo ile gerçekleşirken, karbon emisyonu ve enerji maliyeti bakımından optimal seçenek referans binaya ve cephe yönlenimine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Performans ölçütleri açısından cam senaryolarının iyileştirme oranları ve geri ödeme süreleri Çizelge 4. 17'de özetlenmiştir.

Çizelge 4. 17. 3 konut sitesindeki farklı yöne bakan 4 bloğun ortalaması için cam senaryolarının iyileştirme oranları ve geri ödeme süreleri

SİTE	Senaryo	İyileştirme oranı (%)						Geri ödeme (yıl)	
		Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınl. Enerjisi	CO_2 Salımı	Enerji Maliyeti	Birincil Enerji	Enflasy. hariç	Enflasy. dahil
ÖRNEK 1	G1	2.8	-1.0	0.0	0.8	0.3	1.0	0.0*	0.0*
	G2	4.2	-1.5	0.0	1.2	0.4	1.5	10.0	7.8
	G3	9.8	6.7	-0.1	5.1	3.7	5.5	3.1	2.8
	G4	14.6	4.9	-0.1	6.4	4.2	7.2	2.8	2.5
	G5	17.8	3.6	-0.1	7.4	4.4	8.4	3.5	3.1
	G6	3.7	14.8	-1.6	4.0	4.1	4.0	3.8	3.3
	G7	8.6	13.3	-1.4	5.6	4.8	5.9	3.3	2.9
	G8	12.0	12.2	-1.4	6.6	5.1	7.1	3.8	3.4
	G9	4.7	16.7	-2.1	4.6	4.6	4.6	8.4	6.8
	G10	9.8	15.1	-2.1	6.1	5.1	6.5	8.3	6.7
	G11	6.6	14.3	-2.9	4.5	3.9	4.7	7.0	5.8
	G12	11.6	12.6	-2.9	5.9	4.4	6.5	7.1	5.8
	G13	11.7	7.5	-1.1	5.5	3.8	6.1	15.2	10.8
	G14	16.6	5.6	-1.1	6.9	4.2	7.9	14.7	10.5
	G15	16.8	-0.4	0.0	6.1	3.1	7.2	19.1	12.8
	G16	21.6	-2.5	0.0	7.4	3.5	8.8	18.2	12.3
ÖRNEK 2	G1	3.9	-1.3	0.0	0.8	0.2	1.0	0.0	0.0
	G2	5.9	-2.0	0.0	1.2	0.2	1.6	26.2	15.9
	G3	18.6	0.3	-0.1	5.4	2.7	6.5	6.4	5.4
	G4	25.3	-2.3	-0.1	6.7	2.9	8.2	6.0	5.1
	G5	29.7	-4.4	-0.1	7.5	2.9	9.2	8.1	6.5
	G6	13.6	6.9	-1.4	5.1	3.4	5.8	6.8	5.7
	G7	20.2	5.1	-1.2	6.7	3.9	7.8	5.9	5.0
	G8	24.8	2.7	-1.2	7.4	3.8	8.8	7.5	6.1
	G9	16.2	7.7	-1.8	5.9	3.7	6.7	15.4	10.9
	G10	21.5	5.1	-1.8	6.8	3.7	7.9	17.1	11.8
	G11	17.9	5.7	-2.6	5.5	2.9	6.5	13.7	10.0
	G12	24.8	3.0	-2.6	6.8	3.1	8.3	14.9	10.6
	G13	22.0	0.2	-1.0	6.0	2.7	7.3	32.4	18.2
	G14	28.7	-2.8	-1.0	7.2	2.7	8.9	34.0	18.8
	G15	26.3	-6.0	0.0	6.1	1.9	7.7	46.4	22.6
	G16	32.8	-9.2	0.0	7.2	1.9	9.2	**50.3**	23.6

*İlk yatırım maliyeti referans binayla aynı olan seçenekler için geri ödeme süresi sıfırdır.

Çizelge 4. 17. 3 konut sitesindeki farklı yöne bakan 4 bloğun ortalaması için cam senaryolarının iyileştirme oranları ve geri ödeme süreleri (devamı)

SİTE	Senaryo	İyileştirme oranı (%)						Geri ödeme (yıl)	
		Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınl. Enerjisi	CO_2 Salımı	Enerji Maliyeti	Birincil Enerji	Enflasy. hariç	Enflasy. dahil
ÖRNEK 3	G1	3.4	-1.4	0.0	1.2	0.4	1.4	0.0*	0.0*
	G2	5.1	-2.1	0.0	1.8	0.6	2.1	8.3	6.7
	G3	12.9	5.6	-0.1	6.5	4.3	7.2	3.7	3.3
	G4	18.9	3.0	-0.1	8.5	5.0	9.6	3.2	2.9
	G5	22.9	1.0	-0.1	9.8	5.5	11.3	3.9	3.5
	G6	5.6	15.3	-1.0	4.9	4.6	5.0	4.7	4.0
	G7	11.8	13.1	-0.8	7.1	5.6	7.6	3.9	3.4
	G8	16.0	11.5	-0.8	8.6	6.1	9.4	4.4	3.8
	G9	7.0	17.4	-1.3	5.7	5.3	5.9	10.2	7.9
	G10	13.4	15.1	-1.3	8.0	6.2	8.6	9.6	7.5
	G11	9.2	14.6	-1.8	5.9	4.8	6.3	7.8	6.4
	G12	15.5	12.2	-1.8	8.1	5.7	8.9	7.6	6.2
	G13	15.2	6.3	-0.7	7.3	4.7	8.2	17.1	11.8
	G14	21.4	3.6	-0.7	9.4	5.4	10.7	15.8	11.1
	G15	21.2	-3.1	0.0	8.4	4.1	9.8	20.4	13.4
	G16	27.2	-6.3	0.0	10.3	4.7	12.2	18.8	12.6
*İlk yatırım maliyeti referans binayla aynı olan seçenekler için geri ödeme süresi sıfırdır.									

Isıtma, soğutma ve aydınlatma, yıllık toplam toplam nihai enerji ve enerji maliyetlerine ilişkin sonuçlar konut blokları bazında EK 24 ve EK 25'te görülmektedir. Örnek 1 için toplam birincil enerji tüketimi (%8,8; 11,3 kWh/m^2) ve CO_2 emisyonu (%7,4, 2,6 kg eşd. CO_2/m^2) açısından en yüksek iyileştirme G16, enerji maliyeti açısından en yüksek iyileştirme (%6,5) G10 no'lu senaryo ile gerçekleşmiştir. G10 referans binaya göre birim alan için 7,1 TL tasarruf sağlamaktadır. Örnek 2'nin farklı yönlere bakan blokları değerlendirildiğinde referans bina ile birincil enerji tüketimi (%10,3, 10,9 kWh/m^2) ve CO_2 emisyonu (%8,1, 2,4 kg eşd. CO_2/m^2) açısından en yüksek fark G16 no'lu senaryonun yaşama alanı G, yatak odaları K yönüne bakan Blok I'e uygulanmasıyla meydana gelmiştir. Enerji maliyetleri açısından en yüksek iyileştirme ise G7 no'lu senaryo ile (%5,3, 5,5 TL/m^2) KD-GB yönlü Blok IV'te gerçekleşmiştir. Simülasyon sonuçları Örnek 2'nin farklı yöne bakan bloklarında farklı cam senaryolarının öne çıktığını göstermektedir. Birincil enerji tüketiminde Blok II, III ve IV için G5; enerji maliyetlerinde Blok I, II ve III için sırasıyla G8, G8 ve G10 azami tasarruf sağlamıştır. Örnek 3 için G16 no'lu senaryonun

yaşam alanı GB'ye bakan Blok IV'e uygulanmasıyla blok bazında en yüksek enerji tasarrufu (%12,2) ve karbon emisyonu azalımı (%10,4) elde edilmiştir. Bu fark 15,1 kWh/m^2 ve 3,45 kg eşd. CO_2'dir. Enerji maliyetindeki en yüksek iyileştirme ise Blok III'te (KB-GD) G10 no'lu senaryo ile (%6,5, 6,6 TL/m^2) gerçekleşmektedir (EK 24 - EK 25).

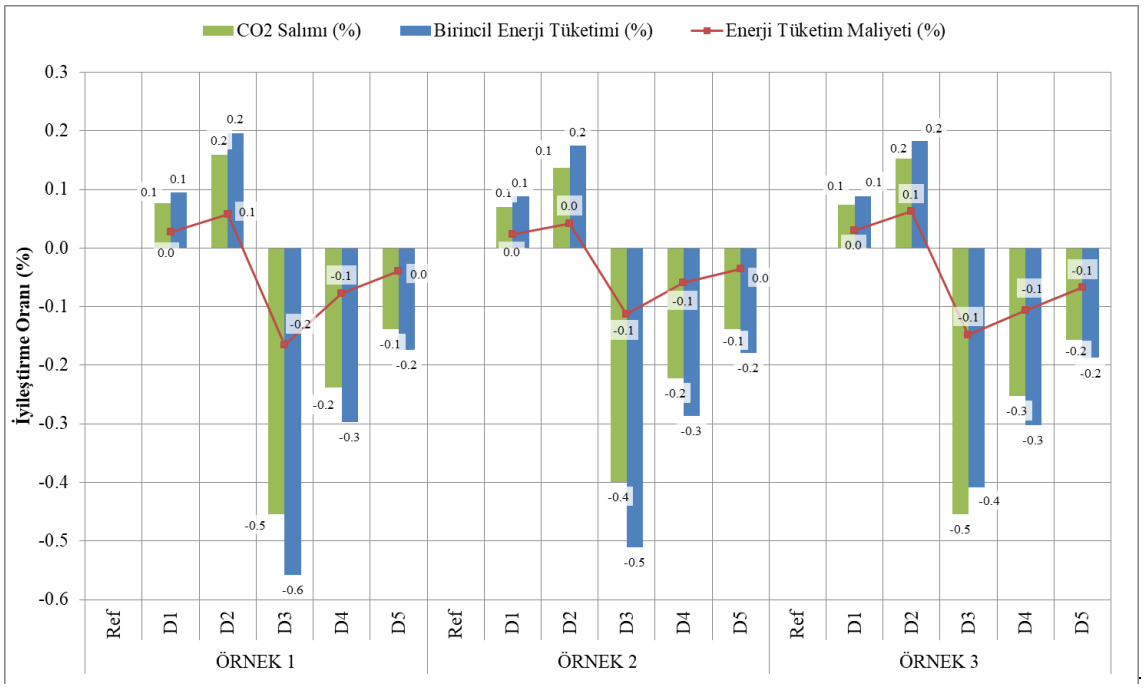
f) Doğrama malzemesi ve profil boyutları

Enerji verimliliğinin arttırılmasına yönelik tedbirler kapsamında pencere doğrama malzemesi ve profil boyutları seçeneklerinin bina performans ölçütlerine etkisi değerlendirilmiştir. Piyasa araştırmasıyla sık kullanılan profil kalınlıkları ve U değerleri belirlenmiş, çeşitli firma kataloglarındaki veriler derlenerek Çizelge 4. 18'deki senaryolar oluşturulmuştur (Saray, 2017; Can Alüminyum, 2021). Her konut bloğunun iyileştirme senaryoları için yıllık toplam nihai enerji tüketimi ve enerji maliyetleri EK 26'da, değerlendirme ölçütleri için seçeneklerin referans binalara göre iyileştirme oranları Şekil 4. 25'te ve Çizelge 4. 19'da yer almaktadır.

Çizelge 4. 18. BES senaryoları için seçilen pencere doğraması ve özellikleri

Senaryo	**Profil kalınlığı ve malzemesi**	**U değeri (W/m²K)**
R (Referans)	60mm - PVC doğrama	1,63
D1	70mm - PVC doğrama	1,3
D2	85mm - PVC doğrama	0,95
D3	60mm - Alüminyum doğrama	3,1
D4	70mm - Alüminyum doğrama	2,1
D5	80mm - Alüminyum doğrama	1,7

Çizelge 4. 19'da görüldüğü gibi referans binanın PVC doğrama profil kalınlığı, malzemesi ve buna bağlı ısıl geçirgenlik değerinin değiştirilmesi ele alınan bina performans ölçütlerinde önemli bir fark yaratmamıştır. Birincil enerji tüketimi bakımından en yüksek iyileştirme sağlayan D2 no'lu senaryoda Örnek1, Örnek 2 ve Örnek 3 için enerji tüketimi ~%0,2 enerji maliyeti ~%0,1 ve CO_2 emisyonu ~%0,2 azaltmaktadır.



Şekil 4. 25. Doğrama malzemesi ve profil boyutlarındaki değişimin referans binalara göre yıllık toplam birincil enerji tüketimi, enerji tüketim maliyeti ve CO_2 salımına etkisi

Çizelge 4. 19. Doğrama senaryolarının referans binaya göre iyileştirme oranları (%)

Site	Senaryo	Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınlatma Enerjisi	CO_2 Salımı	Enerji Maliyeti	Birincil Enerji
ÖRNEK 1	D1	0.3	-0.1	0.0	0.1	0.0	0.1
	D2	0.5	-0.2	0.0	0.2	0.1	0.2
	D3	-1.5	0.3	0.1	-0.5	-0.2	-0.6
	D4	-0.8	0.2	0.1	-0.2	-0.1	-0.3
	D5	-0.5	0.1	0.1	-0.1	0.0	-0.2
ÖRNEK 1	D1	0.3	-0.1	0.0	0.1	0.0	0.1
	D2	0.6	-0.2	0.0	0.1	0.0	0.2
	D3	-1.9	0.4	0.0	-0.4	-0.1	-0.5
	D4	-1.1	0.2	0.0	-0.2	-0.1	-0.3
	D5	-0.7	0.1	0.0	-0.1	0.0	-0.2
ÖRNEK 1	D1	0.2	-0.1	0.0	0.1	0.0	0.1
	D2	0.4	-0.1	0.0	0.2	0.1	0.2
	D3	-1.3	0.3	0.0	-0.5	-0.1	-0.4
	D4	-0.7	0.2	0.0	-0.3	-0.1	-0.3
	D5	-0.4	0.1	0.0	-0.2	-0.1	-0.2

g) Güneş kontrol elemanları

Güneş kontrol elemanları binaların güneş ışınımından kaynaklı ısıl kazançlarının kontrol edilmesini sağlayan ve soğutma yüklerini azaltan mimari elemanlardır. Cephedeki konumuna göre iç ve dış mekanda yer alan, düzlemsel yüzey özelliklerine sahip toplam 13 güneş kontrol elemanı seçeneğinin referans binaların yıllık toplam enerji tüketimi ve buna bağlı enerji maliyeti ve karbon salımına etkisi araştırılmıştır. Referans binalarda dış gölgeleme elemanı bulunmadığı kabul edilmiş ve tüm pencerelerde açık renkli gevşek dokumalı tekstil perde kullanılmıştır. Yatay veya hem yatay hem dikey sabit parçalardan oluşan dış gölgeleme elemanları kuzey cephe haricindeki tüm cephelere uygulanmıştır. Designbuilder programından alınan iç ve dış gölgeleme elemanları özellikleri Çizelge 4. 20'de görülmektedir.

Çizelge 4. 20. BES senaryoları için seçilen iç ve dış gölgeleme elemanları ve özellikleri

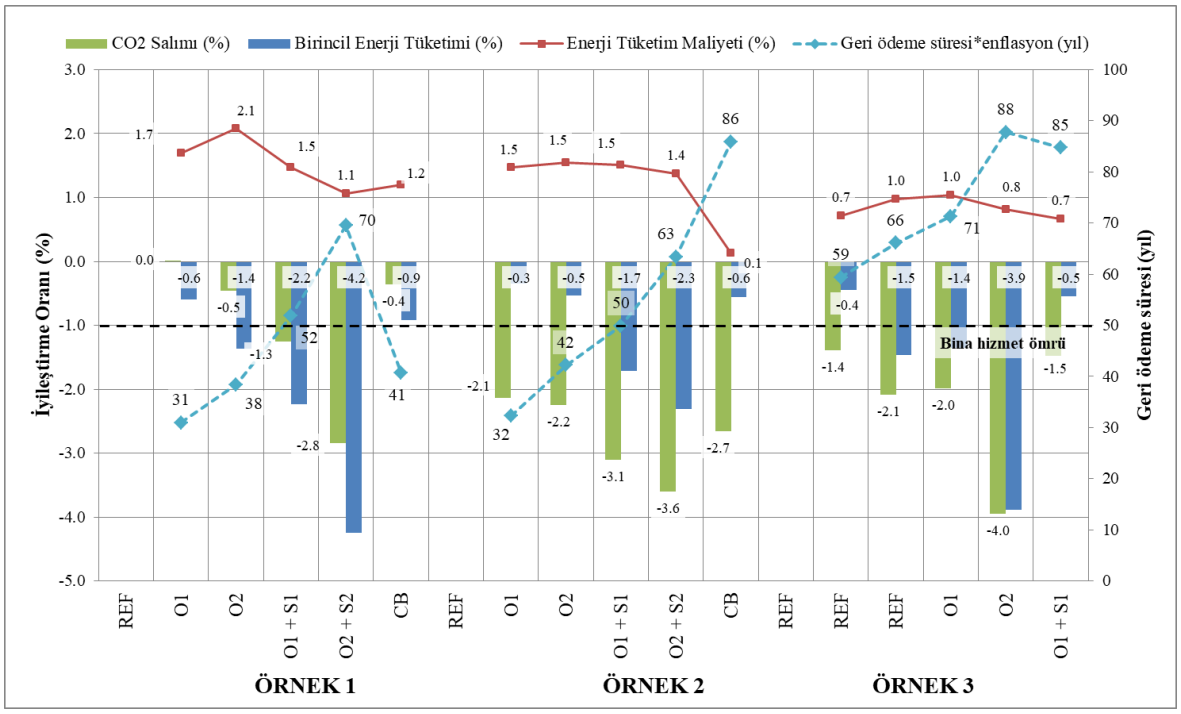
Senaryo	**Açıklama**	**Özellik**
TP1 (R)	Tekstil perde Referans	Gevşek dokuma, açık renkli, kalınlık: 3 mm Isıl iletkenlik: 0,1 W/m-K, ışık geçirgenliği: 0,7; yansıtıcılık: 0,25
TP2	Tekstil perde	Orta dokuma, orta koyulukta, kalınlık: 3 mm Isıl iletkenlik: 0,1 W/m-K, ışık geçirgenliği: 0,45, yansıtıcılık:0,20
TP3	Tekstil perde	Sık dokuma, koyu renkli, kalınlık: 3 mm Isıl iletkenlik: 0,1 W/m-K, ışık geçirgenliği: 0,05, yansıtıcılık: 0,1
PP	Panel perde	Yarı saydam, kalınlık: 5 mm Isıl iletkenlik: 0,1 W/m-K, ışık geçirgenliği: 0,05, yansıtıcılık: 0,35
SP1	Stor perde	Düşük yansıtma - düşük geçirgenlik, kalınlık: 5 mm Isıl iletkenlik: 0,1 W/m-K, ışık geçirgenliği: 0,1, yansıtıcılık: 0,20
SP2	Stor perde	Orta yansıtma - orta geçirgenlik, kalınlık: 5 mm Isıl iletkenlik: 0,1 W/m-K, ışık geçirgenliği: 0,4, yansıtıcılık: 0,50
SP3	Stor perde	Düşük yansıtma - yüksek geçirgenlik, kalınlık: 5 mm Isıl iletkenlik: 0,1 W/m-K, ışık geçirgenliği: 0,7, yansıtıcılık: 0,20
J	Jaluzi	Çıta boyutu: 0,025 x 2 x 0,01 m çıtalar arası 0,02 m, çıta açısı: 45° Isıl iletkenlik: 0,9 W/m-K, ışık geçirgenliği: 0,5, yansıtıcılık: 0,50
CB	Cam balkon	Isıl iletkenlik: 0,34 W/m-K, ışık geçirgenliği: 0,75, yansıtıcılık: 0,3
O1	Yatay çıkma *(overhang)*	Malzeme: çelik, kalınlık: 2 mm, yatay çıkma mesafesi: 0,5 m
O2	Yatay çıkma *(overhang)*	Malzeme: çelik, kalınlık: 2 mm, yatay çıkma mesafesi: 1 m
O1+S1	Yatay *(overhang)* + yanal çıkma *(sidefins)*	Malzeme: çelik, kalınlık: 2 mm, yatay-dikey çıkma mesafesi: 0,5m
O2+S2	Yatay *(overhang)* + yanal çıkma *(sidefins)*	Malzeme: çelik, kalınlık: 2 mm, yatay-dikey çıkma mesafesi: 1m

Isıtma, soğutma ve aydınlatmanın toplamından oluşan yıllık nihai enerji tüketimi ve enerji maliyetlerine ilişkin sonuçlar blok bazında EK 27'de görülmektedir. Dış mekanda güneş kontrol elemanları kullanımının binanın toplam yıllık enerji tüketimi ve maliyeti üzerindeki etkisi incelenen blokların cephe yönlenime bağlı olarak değişmektedir. Örnek 1 için toplam enerji maliyeti açısından en yüksek iyileştirme (%3,4) O2 senaryosu ile Blok I'de (yaşam alanı D, yatak odaları B) meydana gelmiştir. Yatay güneş kırıcıların kullanılması referans binaya göre birim alan için 3,6 TL tasarruf sağlamıştır. Örnek 2'de referans bina ile en yüksek yıllık toplam enerji maliyeti farkı (2,8 TL/m^2) 0,5 m derinliğindeki yatay güneş kırıcıların (O1) yaşama alanı terasın arkasında yer alan ve kuzeye bakan Blok III'ün G cepheli yatak odalarına uygulanmasıyla meydana gelmiştir. Örnek 3 için yaşam alanı GD'ye bakan Blok I'e yatayda ve dikeyde güneş kırıcı uygulamasıyla (O2+S2) birim alan başına en yüksek enerji maliyeti tasarrufu (1,5 TL/m^2) elde edilmiştir.

Tüm bloklara ait enerji hesap sonuçlarının ortalaması incelendiğinde, iç mekan gölgeleme elemanları senaryoları arasında bina performans ölçütleri bakımından önemli bir fark olmadığı hesaplanmıştır. Dış gölgeleme elemanın bulunmadığı, yalnız iç gölgeleme elemanı kullanıldığı senaryolarda Örnek1, Örnek 2 ve Örnek 3 için soğutma enerjisi sırasıyla ortalama %1,87, %0,24, %1,55; birincil enerji tüketimi sırasıyla ortalama %0,7, -%0,1, %0,03 azalmıştır. İç gölgeleme elemanları senaryosu ile örnek konut sitelerinin karbon emisyonunda sırasıyla %0,8, -%0,1, %0,07; enerji maliyetinde sırasıyla ortalama %0,97, -%0,12, %0,16 değişim olmuştur. Bursa ilinde iç gölgeleme senaryolarının belirlenen bina performans ölçütlerine etkisi genel olarak %1'in altında kalmaktadır.

Tekstil perde (TP1) ve dış gölgeleme elemanlarının bir arada kullanıldığı senaryolar için bina performans ölçütleri sonuçları Şekil 4. 26'da verilmiştir. Referans binaların güney, doğu ve batı cephelerinde dış güneş kontrol elemanları kullanılması birincil enerji tüketimini ve enerji tüketimine karşılık gelen karbon emisyonunu attırırken, soğutma enerjisindeki düşüşe bağlı yıllık toplam enerji maliyetlerinde ~%0,7 – 2,1'lik bir iyileştirme sağlamaktadır. Enerji maliyetindeki tasarrufa göre yatırımın geri ödeme süresi, Örnek 1 ve Örnek 2 için O1 ve O2 senayoları haricindeki tüm senaryolarda ve Örnek 3 için tüm güneş

kontrol elemanları senaryolarında bina hizmet ömrü olarak kabul edilen 50 yıllık süreyi aşmaktadır. Çizelge 4. 21'de güneş kontrol elemanları senaryolarının bina performans ölçütlerine yüzdesel olarak etkisi görülmektedir.



Şekil 4. 26. Güneş kontrol elemanlarının referans binaya göre birincil enerji tüketimi, enerji maliyeti, CO_2 emisyonundaki iyileştirme oranları ve yatırımın geri ödeme süresi

Çizelge 4. 21. 3 konut sitesindeki farklı yöne bakan 4 bloğun ortalamasına kıyasla güneş kontrol elemanları senaryolarının bina performans ölçütleri için değişim oranları

SİTE	Senaryo	İyileştirme oranı (%)						Geri ödeme (yıl)	
		Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınl. Enerjisi	CO_2 Salımı	Enerji Maliyeti	Birincil Enerji	Enflasyon hariç	Enflasyon dahil
ÖRNEK 1	O1	-6.0	11.4	-0.5	0.0	1.7	-0.6	**85**	31
	O2	-9.5	16.5	-1.3	-0.5	2.1	-1.4	**138**	38
	O1 + S1	-10.9	16.8	-1.9	-1.3	1.5	-2.2	**312**	**52**
	O2 + S2	-6.0	23.3	-4.2	-2.9	1.1	-4.2	**867**	**70**
	CB	-3.9	8.4	-0.1	-0.4	1.2	-0.9	**159**	**41**
ÖRNEK 2	O1	-6.5	7.4	0.0	-2.1	1.5	-0.3	**93**	32
	O2	-7.3	9.1	-0.5	-2.2	1.5	-0.5	**175**	42
	O1 + S1	-12.6	11.8	-0.8	-3.1	1.5	-1.7	**277**	**50**
	O2 + S2	-14.2	14.5	-1.9	-3.6	1.4	-2.3	**606**	**63**
	CB	-2.7	2.7	-0.3	-3.0	0.1	-0.8	**2181**	**86**

Çizelge 4. 21. 3 konut sitesindeki farklı yöne bakan 4 bloğun ortalamasına kıyasla güneş kontrol elemanları senaryolarının bina performans ölçütleri için değişim oranları (devamı)

SİTE	Senaryo	İyileştirme oranı (%)						Geri ödeme (yıl)	
		Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınl. Enerjisi	CO_2 Salımı	Enerji Maliyeti	Birincil Enerji	Enflasyon hariç	Enflasyon dahil
ÖRNEK 3	O1	-2.8	5.8	-0.2	-1.4	0.7	-0.4	**483**	**59**
	O2	-6.4	11.8	-0.9	-2.1	1.0	-1.5	**712**	**66**
	O1 + S1	-6.2	11.1	-0.6	-2.0	1.0	-1.4	**957**	**71**
	O2 + S2	-13.5	21.0	-2.5	-4.0	0.8	-3.9	**2416**	**88**
	CB	-3.0	5.7	-0.1	-1.5	0.7	-0.5	**2044**	**85**
*Güneş kontrol elemanları birincil enerji tüketiminde iyileştirme sağlamamaktadır ancak toplam yıllık enerji maliyetini düşürdüğü için geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.									

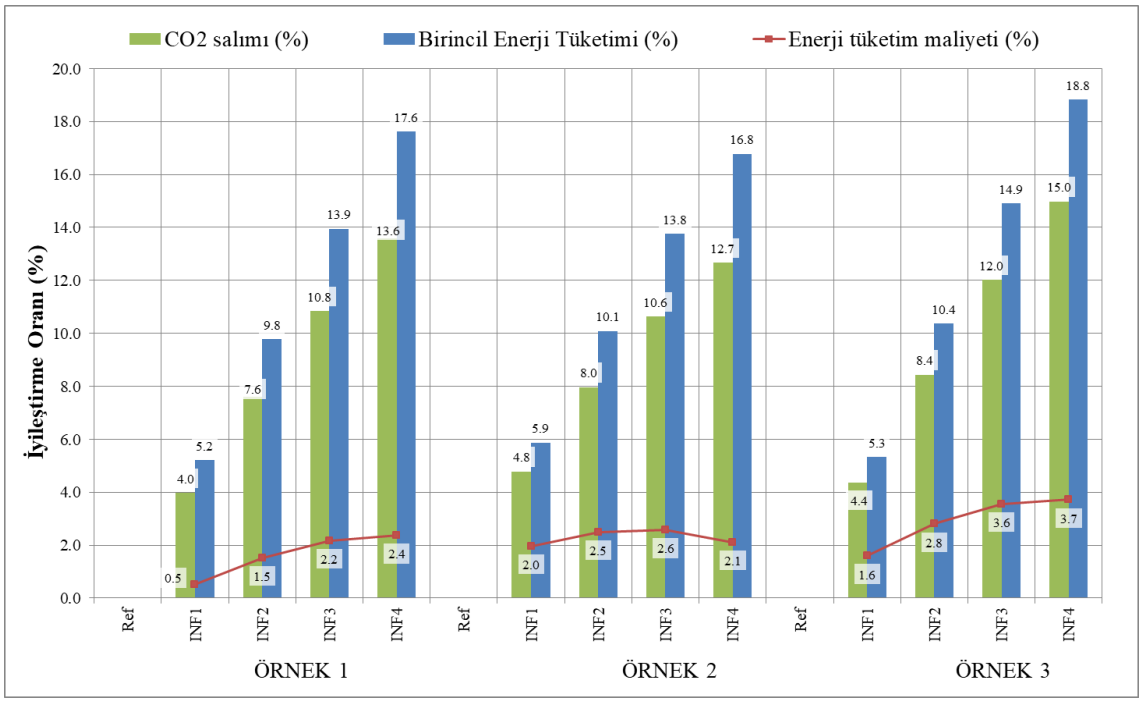
h) Yapı kabuğunun sızdırmazlık (infiltrasyon) değeri

Yapı kabuğundaki olası çatlak, açıklık ve deformasyonlar, kapalı durumdaki pencere ve kapıların kasa/kanat birleşimindeki fugalar, derz ve dilatasyonlar hava sızıntısı yoluyla enerjisi kayıplara yol açmaktadır. Enerji verimliliğinin arttırılmasına yönelik tedbirler kapsamındaki bu başlıkta yapı kabuğunun sızdırmazlık katsayısının bina performans ölçütlerine etkisi aşağıdaki seçenekler dâhilinde araştırılmıştır.

Çizelge 4. 22. Yapı kabuğu sızdırmazlık (infiltrasyon) katsayısı senaryoları

Senaryo	**Infiltrasyon katsayısı (ac/h)**
R (Referans)	0,8
INF1	0,7
INF2	0,6
INF3	0,5
INF4	0,4

İyileştirme senaryolarının toplam nihai enerji ve enerji maliyetlerine etkisi tüm bloklar için EK 28'de ve referans konut blokları ortalaması için Şekil 4. 27'de verilmiştir. Referans binaya göre en yüksek iyileştirmeyi infiltrasyon katsayısının 0,8'den 0,4 ac/h'ye düşürülmesiyle INF4 no'lu senaryo sağlamış; birincil enerji tüketiminde %17,6 - 18,8, toplam enerji maliyetlerinde %2,1 - 3,7 ve CO_2 emisyonunda %12,7 - 15 aralığında bir iyileştirme meydana gelmiştir.



Şekil 4. 27. Referans bina yapı kabuğunun sızdırmazlık faktörüne bağlı bina performans ölçütlerindeki değişim oranları

EK 28'de bina ölçeğindeki sonuçlar incelendiğinde, INF4 no'lu senaryo için Örnek 1'de toplam yıllık birincil enerji tüketimi (%19,2), enerji maliyeti (%3,6) ve CO_2 emisyonu (%15,1) açısından en yüksek tasarruf yaşam alanı GD, yatak odaları KB cepheli Blok II'de gerçekleştiği görülmektedir. Örnek 2'de en yüksek iyileşme sağlanan Blok I (G/K) için bu değerler sırasıyla %19, %2,1, %12,7'dir. Örnek 3'te en yüksek farka sahip Blok IV (GB) için iyileştirme oranları sırasıyla %19,5, %5, %15,9'dur. Yapı kabuğunun sızdırmazlık değerinin düşürülmesi referans binaya göre ısıtma enerjisinde büyük oranda iyileştirme sağlarken, 0,1 ac/h'lik her bir adımda soğutma enerjisi yaklaşık 1 – 1,5 kWh/m^2 yükselmektedir. Yapı kabuğu sızdırmazlık katsayısındaki değişimin bina performans ölçütlerine etkisi Çizelge 4. 23'te özetlenmiştir.

Çizelge 4. 23. 3 konut sitesindeki farklı yöne bakan 4 bloğun ortalamasına kıyasla yapı kabuğu sızdırmazlık katsayındaki değişimin bina performans ölçütlerine etkisi

SİTE	Senaryo		İyileştirme oranı (%)					
			Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınlatma Enerjisi	CO_2 Emisyonu	Enerji Maliyeti	Birincil Enerji
ÖRNEK 1	**REF**	**0.8**						
	INF1	0.7	16.5	-9.4	0.0	4.0	0.5	5.2
	INF2	0.6	29.6	-14.9	0.0	7.6	1.4	9.8
	INF3	0.5	42.2	-21.2	0.0	10.8	2.0	13.9
	INF4	0.4	54.2	-28.8	0.0	13.6	2.1	17.6
ÖRNEK 2	**REF**	**0.8**						
	INF1	0.7	18.6	-2.3	0.0	4.8	1.9	5.9
	INF2	0.6	34.9	-8.3	0.0	8.0	2.4	10.1
	INF3	0.5	50.2	-15.2	0.0	10.6	2.4	13.8
	INF4	0.4	23.7	-6.4	0.0	12.7	1.9	16.8
ÖRNEK 3	**REF**	**0.8**						
	INF1	0.7	12.9	-5.5	0.0	4.4	1.6	5.4
	INF2	0.6	25.8	-12.5	0.0	8.5	2.7	10.4
	INF3	0.5	38.1	-20.8	0.0	12.1	3.4	15.0
	INF4	0.4	49.7	-30.8	0.0	15.1	3.5	19.0

i) Kat yüksekliği

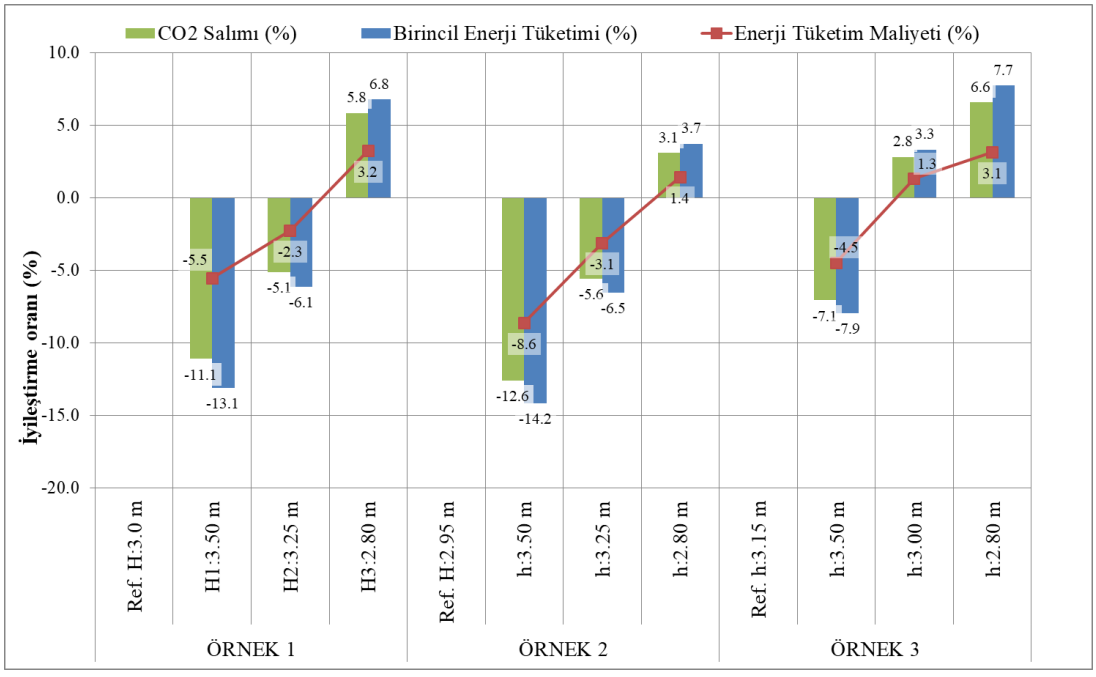
İyileştirme senaryoları kapsamında binaların kat yüksekliği üç farklı yükseklik için alınmıştır. Binaların mimari projelerinden elde edilen mevcut kat yüksekliklerine göre oluşturulan bu seçenekler Çizelge 4. 24'te görülmektedir. Isıtma, soğutma ve aydınlatma, toplam nihai enerji ve enerji maliyetlerine ilişkin sonuçlar her 3 konut sitesindeki farklı yöne bakan dört blok için EK 29'da görülebilir.

Çizelge 4. 24. Referans binalara ait mevcut kat yükseklikleri ve kat yüksekliği senaryoları

Senaryo	**Yükseklik**
Ref	Örnek 1:3,00 m, Örnek 2: 2,95 m Örnek 3: 3,15 m
H1	3,50 m
H2	3,25 m
H3	2,80 m

Kat yüksekliğinin artması her 3 konut sitesinde de yıllık aydınlatma enerjisi tüketimi dışındaki tüm bina performans ölçütleri için olumsuz sonuçlanmaktadır. Hacmin artması birincil enerji tüketiminin ~%5,9 - 14,0 ve enerji maliyetlerinin ~%3,1 - 8,6 artmasına

neden olmaktadır. Bu bağlamda yalnızca kat yüksekliğinin azaldığı H3 no'lu senaryo bina performans ölçütlerinde iyileştirme sağlamaktadır. Örnek 1'in kat yüksekliğinin 3,00 m'den 2,80'e düşürülmesiyle en yüksek iyileştirme yaşam alanı K, yatak odaları G'ye bakan IV no'lu blokta meydana gelmiştir. Bloğun yıllık ısıtma enerjisi %14,2, soğutma enerjisi %8,1, birincil enerji tüketimi %7,1, yıllık enerji maliyeti %4,3 ve CO_2 emisyonu %6,3 azalmıştır. Örnek 2'nin simülasyon sonuçlarına göre, ısıtma (%12,2), soğutma (%6,9), birincil enerji (%5,2), yıllık toplam enerji maliyeti (%2,9) ve karbon emisyonunda (%4,5) en yüksek iyileştirme Blok II'de (GB/KD) gerçekleşmiştir. Örnek 3 için en yüksek iyileştirme kat yüksekliğinin 35 cm düşürülmesiyle Blok III'te (KB/GD) meydana gelmiştir. Referans binaya göre ısıtma enerjisi %16,8, soğutma enerjisi %6,7, toplam nihai enerji %10,2, yıllık toplam birincil enerji %8,3, enerji maliyeti %4,1 ve CO_2 emisyonu %7,2 azalmıştır (EK 29). Farklı yönlere bakan dört bloğun ortalaması için kat yüksekliği senaryolarına bağlı bina performans ölçütlerindeki değişim Şekil 4. 28'de görülmektedir. İyileştirme oranları Çizelge 4. **25**'te özetlenmiştir.



Şekil 4. 28. 3 konut sitesindeki 4 bloğun ortalaması için yıllık toplam birincil enerji tüketimi, enerji maliyeti – kat yüksekliği ilişkisi

Çizelge 4. 25. 3 konut sitesindeki farklı yöne bakan 4 bloğun ortalaması için kat yüksekliği senaryolarının iyileştirme oranları

SİTE	Senaryo	İyileştirme oranı (%)					
		Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınlatma Enerjisi	CO_2 Emisyonu	Enerji Maliyeti	Birincil Enerji
ÖRNEK 1	**REF H:3.00 m**						
	H1:3.50 m	-31.3	-6.9	4.8	-11.1	-5.5	-13.1
	H2:3.25 m	-15.5	-2.1	2.6	-5.1	-2.3	-6.1
	H3:2.80 m	15.2	4.4	-1.9	5.8	3.2	6.8
ÖRNEK 2	**REF H:2.95 m**						
	H1:3.50 m	-32.1	-18.9	3.4	-12.6	-8.6	-14.2
	H2:3.25 m	-17.6	-4.5	1.6	-5.6	-3.1	-6.5
	H3:2.80 m	11.1	3.0	-2.0	3.1	1.4	3.7
ÖRNEK 3	**REF H:3.15 m**						
	H1:3.50 m	-15.0	-7.9	1.7	-7.1	-4.5	-7.9
	H2:3.00 m	7.5	-0.5	-0.5	2.8	1.3	3.3
	H3:2.80 m	17.1	0.0	-1.5	6.6	3.1	7.7

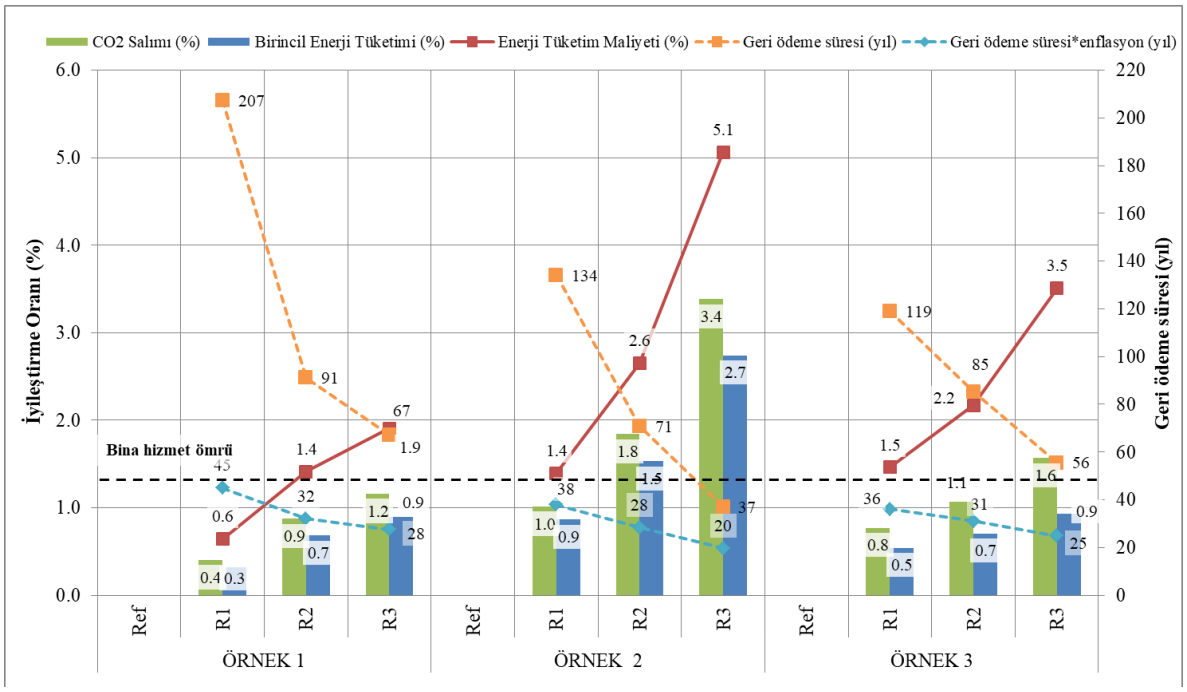
j) İç yüzey ışık yansıtma çarpanları

Bu başlıkta rengin üç bileşeni olan tür, değer ve doymuşluktan enerji tüketimi ile ilişkili olan değer bileşeninin yıllık toplam birincil enerji tüketimi, enerji tüketimine karşılık gelen maliyet ve karbon salımına etkisi bina enerji simülasyonu yöntemiyle analiz edilmiştir. Bu kapsamda ele alınan iç yüzey ışık yansıtma çarpanı seçenekleri aşağıda görülmektedir.

Çizelge 4. 26. BES senaryoları için seçilen iç yüzey ışık yansıtma çarpanları senaryoları

Senaryo	$\rho_{\text{döşeme}}$	ρ_{duvar}	ρ_{tavan}
REF	0,3	0,5	0,7
R1	0,4	0,6	0,8
R2	0,5	0,7	0,8
R3	0,6	0,8	0,9

Çizelge 4. 26'da görüldüğü gibi R1, R2 ve R3 no'lu senaryolarda referans duruma göre tavan, duvar ve döşeme yüzeylerinin ışık yansıtma katsayısı %10'luk adımlarla arttırılmıştır. İç yüzey ışık yansıtma çarpanı senaryolarının referans binalar için sonuçları Şekil 4. 29'da ve bina performans ölçütlerinin açılımı için sonuçları Çizelge 4. 27'de görülmektedir. Tüm iç yüzey ışık yansıtma çarpanı senaryoları referans binanın ısıtma enerjisini arttırırken aydınlatma ve soğutma enerjisini azaltmaktadır. Elektriğin doğalgaza göre yüksek birim fiyatı ve birincil enerjiye dönüşüm katsayısına bağlı olarak, iç yüzeylerin yansıtma çarpanı değeri büyüdükçe önerilen senaryoların referans binaya göre iyileştirme oranı artmaktadır. Öte yandan enflasyonun geri ödeme süresine dahil edilmediği hesaplamada, yapılan yatırımın geri dönüş süresi bina hizmet ömrünü geçtiği hesaplanmıştır (Şekil 4. 29).



Şekil 4. 29. Blok ortalamaları için yansıtma çarpanlarına bağlı birincil enerji tüketimi, enerji maliyeti ve karbon emisyonundaki iyileştirme oranları ve geri ödeme süreleri

Çizelge 4. 27. İç mekan yansıtma çarpanları senaryolarının bina performans ölçütleri için referans binaya kıyasla iyileştirme oranları

SİTE	Senaryo	İyileştirme oranı (%)						Geri ödeme (yıl)	
		Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınl. Enerjisi	CO_2 Emisyonu	Enerji Maliyeti	Birincil Enerji	Enflasyon hariç	Enflasyon dahil
ÖRNEK 1	**REF**	**$\rho_{döşeme}$:0,3 ρ_{duvar}:0,5 ρ_{tavan}:0,7**							
	R1: 0,4-0,6-0,8	-0.5	0.7	1.0	0.4	0.6	0.3	**207**	45
	R2: 0,5-0,7-0,8	-1.1	1.7	2.2	0.9	1.4	0.7	**91**	32
	R3: 0,6-0,8-0,9	-1.6	2.4	2.9	1.2	1.9	0.9	**67**	28
ÖRNEK 2	**REF**	**$\rho_{döşeme}$:0,3 ρ_{duvar}:0,5 ρ_{tavan}:0,7**							
	R1: 0,4-0,6-0,8	-0.9	1.9	1.7	1.0	1.4	0.9	**134**	38
	R2: 0,5-0,7-0,8	-2.2	3.6	3.4	1.8	2.6	1.5	**71**	28
	R3: 0,6-0,8-0,9	-4.9	7.1	6.4	3.4	5.1	2.7	37	20
ÖRNEK 3	**REF**	**$\rho_{döşeme}$:0,3 ρ_{duvar}:0,5 ρ_{tavan}:0,7**							
	R1: 0,4-0,6-0,8	-1.3	3.1	1.9	0.8	1.5	0.5	**119**	36
	R2: 0,5-0,7-0,8	-2.1	5.0	2.7	1.1	2.2	0.7	**85**	31
	R3: 0,6-0,8-0,9	-4.1	9.6	4.0	1.6	3.5	0.9	**56**	25

Senaryoların tüm bloklar için uygulama sonuçları ayrıca EK 30'da yer almaktadır. 12 bloğun yıllık nihai enerji tüketim sonuçlarına göre referans duruma kıyasla en yüksek iyileştirme R3 no'lu senaryo ile gerçekleşmiştir. Farklı cephe yönlenime sahip bloklar arasından Örnek 1'de GB-KD cepheli Blok III'ün birincil enerji tüketimi %1,2 (1,5 kWh/m^2.y), enerji maliyeti %2,6 (2,65 TL/m^2.y) ve karbon emisyonu %1,6 (0,5 kg eşd. CO_2/m^2) azalmıştır. R3, Örnek 2'de K-G cepheli Blok III'ün yıllık toplam birincil enerji tüketiminde %3,3 (3,4 kWh/m^2.y), enerji maliyetinde %6,1 (6 TL/m^2.y), karbon emisyonunda %4,05 (1,2 kg eşd. CO_2/m^2); Örnek 3'te GB-KD cepheli Blok IV'te yıllık toplam birincil enerji tüketiminde %3,4 (4,2 kWh/m^2.y), enerji maliyetinde %4,6 (4,5 TL/m^2.y) ve karbon emisyonunda %3,7'lik (1,2 kg eşd. CO_2/m^2) bir iyileştirme gerçekleştirmiştir (EK 30).

k) Konut iç mekan aydınlatma tasarımı

Konutlarda iç mekan aydınlatma tasarımı kullanıcıların görsel konforu ve sağlığının yanı sıra elektrik enerjisi tüketimi üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir. Bu çalışmada iç adınlatma tasarımı önerisi ile öncelikle konut hacimlerindeki işlevlere, gerçekleştirilecek eylemlere ve kullanıcı tercihlerine uygun lamba, aygıt ve kontrol sisteminin seçilmesi

hedeflenmiştir. Ayrıca, aydınlatma elemanlarının sayısı ve yerleşimi ile istenen genel ve bölgesel aydınlık düzeylerinin (E_m, lx) ve aydınlığın düzgünlüğünün (U_0, Emin/Eort) sağlanması, kamaşma indisinin aşılmaması (UGR), lambaların renk sıcaklığı (K) ve renksel geriverim indisi (Ra) gibi niteliksel özellikleri dikkate alınarak uygun ışık renginin seçilmesi ve sisteminin mimari, mekanik ve elektrik projesiyle uyum sağlaması hedeflenmiştir. Aydınlatmanın niceliği ve niteliği ile ilgili bu kriterlerin yanı sıra, lamba ömrünün uzun olması, lamba etkinlik faktörü (ışıksal verimi) ve aygıt geriveriminin yüksek olması ve gün ışığına bağlı yapma aydınlatma kontrol sisteminin kurulması sistemin enerji etkinliği bakımından önem taşımaktadır. Çalışma kapsamında incelenen üç farklı kurulu güç değerine sahip yapma aydınlatma senaryoları Çizelge 4. 28'de görülmektedir.

Çizelge 4. 28. Konut iç mekan aydınlatma senaryoları

Senaryo	**Kurulu Güç**
L1 (Ref)	Kompakt floresan (CFL) lambalardan oluşan aydınlatma senaryosu
L2	TS EN 15193-1 (2017) standardındaki kurulu güç değerleri senaryosu
L3	Işık yayan diyot (LED) lambalardan oluşan aydınlatma senaryosu

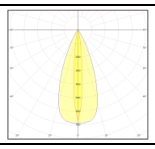
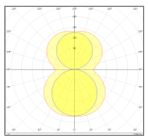
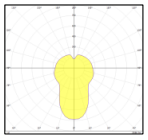
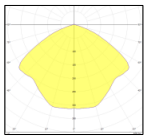
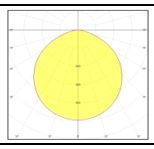
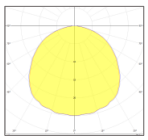
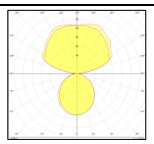
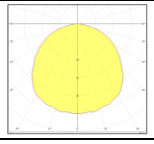
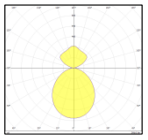
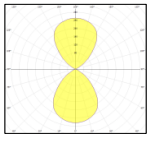
Referans binaları temsil eden L1 no'lu senaryo DIALux Evo programının kütüphanesinden seçilen armatür ve CFL lambalarla oluşturulmuştur. L1'e ait aydınlatma sistemi yerleşim planı ve aygıt özellikleri, aydınlatma simülasyon sonuçlarıyla birlikte Bölüm 4.1.3'te yer almaktadır. L2 no'lu senaryoda TS EN 15193-1 (2017) standardındaki tipik konut birimleri için verilen referans değerler kullanılmış, mekan büyüklüklerine göre aydınlatma kurulu güç değerleri belirlenmiş ve senaryonun görsel konfor koşullarını sağladığı kabul edilmiştir.

Örnek konut siteleri için referans aydınlatma kurulu güç değerleri (L1), mekan büyüklüklerine göre belirlenen kurulu güç değerleri (L2) ve DIALux Evo programından alınan LED (T_c: 2687 – 3114 K; CRI: 80 - 92) senaryosu kurulu güç değerleri (L3) Çizelge 4. 29'da görülmektedir. LED lambaların kullanıldığı L3 no'lu senaryo için DIALux Evo programının kütüphanesinden seçilen aydınlatma aygıtlarının teknik özellikleri Çizelge 4. 30'da yer almaktadır. Genel aydınlatma amaçlı lambaların ışık akısı ayarlanabilir (loşlaştırılabilir) özelliktedir.

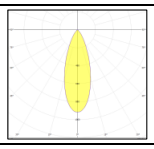
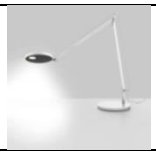
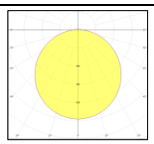
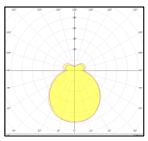
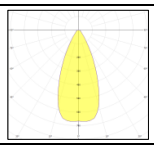
Çizelge 4. 29. L1, L2 ve L3 senaryolarının kurulu güç değerleri (W/m^2) ve hedeflenen işleve bağlı aydınlık düzeyleri (lx)

Konut Mekanı	**İşleve bağlı aydınlık düzeyi**	**ÖRNEK 1 (W/m²)** (Her katta 4+1, 2 daire)			**ÖRNEK 2 (W/m²)** (Her katta 3+1, 2 daire)			**ÖRNEK 3 (W/m²)** Her katta 4+1 2 daire(a) ve 3+1 1daire(b)					
	IESNA:2011 TS EN 12464-1:2021	**L1** (CFL)	**L2** (EN15193)	**L3** (LED)	**L1** (CFL)	**L2** (EN15193)	**L3** (LED)	**L1** (CFL)		**L2**(EN15193)		**L3**(LED)	
								a	b	a	b	a	b
Mutfak	Genel aydınlatma (300 lx)	10,2	12	9,7	9,6	7,15	8	8,2	8,9	10,2	10,6	8	7,3
	Bögelik aydınlatma (Tezgah üzeri 500lx, yemek masası 300lx)	9,4	5,2	4,4	8,4	12,5	3,6	13,2	17,4	11,9	13,9	4,9	7,5
Salon	Genel aydınlatma (200 lx)	8,3	12,5	7	8,1	9,15	5,85	6,5	7	8	9	5,5	4,9
	Bölgelik aydınlatma (Okuma 500lx, yemek masası 300lx)	2,8	4,0	2	2,9	4,15	0,75	2,5	4	3,6	4	1,5	2
Giyinme odası	Genel aydınlatma (200 lx)	7,9	9,4	3,4	12,7	12,2	8,5	13	10,3	11,9	12	8,7	7,5
	Bölgelik aydınlatma (300 lx)	6,8	8,2	4,3	9,1	10,7	5,6	9,6	8,9	8,35	8,6	2,8	2,1
Banyo/ WC	Genel aydınlatma (300 lx)	10,1	11,5	8,8	11,1	12	6,85	10,2	8,7	9,2	8,35	9,1	5
	Bölgelik aydınlatma (300 lx)	7,9	8,5	3,9	8,3	8,6	4	7,35	6,7	6,5	5,85	2,2	2
Eb yatak odası	Genel aydınlatma (100 lx)	2,9	9,6	2,5	4,8	6	3,9	6,90	4,8	10,2	10,5	3,4	1,5
	Bölgelik aydınlatma (Çalışma masası 300lx)	4,6	7,5	2,7	3,15	3,5	2,4	4,5	5,8	4,8	5,8	2,7	1,9
Oda 1	Genel aydınlatma (100 lx)	4,3	11,2	1,4	7,3	9,5	3,5	6,7	5,4	10,9	8,85	3,3	2,7
	Bölgelik aydınlatma (Çalışma masası 300lx)	5,6	8,1	1,5	3,6	7	2	3,4	2,6	6,25	5,0	1,6	1
Oda 2	Genel aydınlatma (100 lx)	3,6	9,3	1,2	7	9,15	3,25	7,2	5,4	9,15	8,85	2,7	2,7
	Bölgelik aydınlatma (Çalışma masası 300lx)	4,7	6,75	1,3	3,45	6,7	1,9	3,5	2,6	6,65	5,0	1	1
Oda 3	Genel aydınlatma (100 lx)	4	10,4	1,3	-	-	-	5,5	-	9,1	-	3,5	-
	Bölgelik aydınlatma (Çalışma masası 300lx)	5,25	7,5	1,4	-	-	-	2,7	-	5,2	-	1,3	-
Antre/hol	Genel aydınlatma (100 lx)	9,8	10,85	3,8	7,45	11,4	2,8	7,7	7,8	11,3	11,1	3,4	3,3
Ort. mahal	Genel aydınlatma (100 lx)	12	16	8	16	12	8	16	16	12	12	8	8

Çizelge 4. 30. Referans binalarda kullanılan aydınlatma aygıtlarının teknik özellikleri

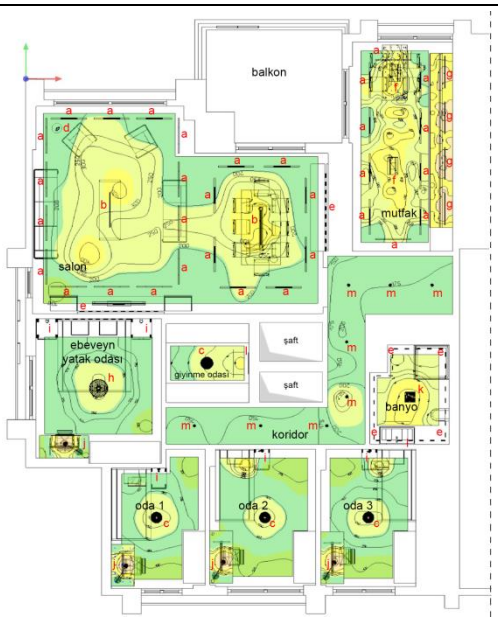
Aygıt Türü	Kullanım Alanı	Aydınlatma Biçimi		Armatür Özellikleri	Ürün Görseli
a. Sıva üstü aygıt (Asma tavana monte ışıklı tavan)	Genel aydınlatma: Mutfak, salon	Endirekt		Φ: 1288lm P: 15.1 W η:85 lm/W Tc: 3000K CRI: 80	
b. Sarkıt lamba	Genel aydınlatma: Salon Bölgelik aydınlatma : Yemek masası	Direkt-endirekt		Φ: 1258 lm P: 24W η: 52 lm/W Tc: 2687 K CRI: 92	
c. Sarkıt lamba	Genel aydınlatma: Yatak odaları	Yarı-direkt		Φ: 3587 lm P: 41W η: 87 lm/W Tc: 3000 K CRI: 90	
	Genel aydınlatma: Giyinme odası	Direkt		Φ: 979 lm P: 14W η: 70 lm/W Tc: 3000 K CRI: 80	
d. Ayaklı lambader	Bölgelik aydınlatma : Salon	Direkt		Φ: 800 lm P: 10W η: 80 lm/W Tc: 2689 K CRI: 90	
e. Sıva üstü aygıt (Asma tavana / TV ünitesine/ yatak başına monte şerit LED)	Genel aydınlatma: Banyo/WC Bölgelik aydınlatma : Salon, e. yatak odası	Direkt		Φ: 75 lm P: 2,7 W η: 28 lm/W Tc: 3000 K CRI: 80	
f. Sarkıt lamba	Genel aydınlatma: Mutfak Bölgelik aydınlatma : Mutfak yemek masası	Yarı-endirekt		Φ: 1520 lm P: 19W η: 52 lm/W Tc: 2700 K CRI: 85	
g. Tezgah üstü lineer aydınlatma (Şerit LED, 92 cm)	Bölgelik aydınlatma: Mutfak tezgahı	Direkt		Φ: 743 lm P: 12.6W η: 59 lm/W Tc: 3000 K CRI: 80	
h. Sarkıt lamba	Genel aydınlatma: Yatak odaları	Yarı-direkt		Φ: 2916 lm P: 36W η: 81 lm/W Tc: 3000 K CRI: 90	
i. Sıva üstü aygıt (Duvara monte)	Bölgelik aydınlatma: Ebeveyn yatak odası – yatak başucu masası üzeri	Direkt-endirekt		Φ: 958 lm P: 15W η: 63 lm/W Tc: 3000 K CRI: 90	

Çizelge 4. 30. Referans binalarda kullanılan aydınlatma aygıtlarının teknik özellikleri (devamı)

Aygıt Türü	Kullanım Alanı	Aydınlatma Biçimi		Armatür Özellikleri	Ürün Görseli
i*. Sıva üstü aygıt (Duvara monte)	Bölgelik aydınlatma: Yatak odaları – yatak başucu masası üzeri	Direkt		Φ: 434 lm P: 6.2W η: 70 lm/W Tc: 3114 K CRI: 83	
j. Masa lambası	Bölgelik aydınlatma: Yatak odaları – çalışma masası	Direkt		Φ: 392 lm P: 9W η: 44 lm/W Tc: 3000 K CRI: 80	
k. Sıva üstü aygıt (Tavana monte)	Genel aydınlatma: Banyo/WC	Direkt		Φ: 2345 lm P: 23.6W η: 99 lm/W Tc: 2962 K CRI: 85	
l. Sıva üstü aygıt (Aynaya entegre)	Bölgelik aydınlatma : Banyo/WC, giyinme odası – ayna önü	Direkt		Φ: 1154 lm P: 23 W η: 48 lm/W Tc: 3000 K CRI: 90	
m. Spot (Sıva altı gömme)	Genel aydınlatma: Antre, koridor	Direkt		Φ: 490 lm P: 7 W η: 70 lm/W Tc: 3000 K CRI: 90	
DIALux evo kütüphanesinde yer alan Arlight, EAE ve FLOS firmalarının ürün katalogları kullanılarak hazırlanmıştır (Lumsearch, n.d.).					

Üç konut sitesinde yer alan mutfak, salon, ebeveyn yatak odası, çocuk odası, antre-koridor ve ıslak hacimlere ait yapma aydınlatma hesap sonuçları, izolüks eğrilerini gösteren kat planları ile birlikte Çizelge 4. 31 – Çizelge 4. 33'de görülmektedir. Çizelge 4. 30'da a'dan m'ye kodlanan armatürler aydınlatma sistemi yerleşim planları üzerine işaretlenmiştir. Gün ışığının olmadığı senaryoda, konut sitesinin farklı katlarında yer alan aynı mekanların aydınlatma simülasyon sonuçları eşdeğer kabul edilmiştir. Aydınlatma simülasyon sonuçları, genel ve bölgelik aydınlatma için yatay, eğik ve dikey çalışma düzlemleri üzerindeki ortalama aydınlık düzeyi (E_m), aydınlığın düzgünlüğü (U_o) ve kamaşma indisi (UGR) hesap değerlerinin TS EN 12464-1 (2021) ve IESNA (2011) standartlarındaki sınır değerleri aşmadığını ve/veya eşik değerlerin altında kalmadığını göstermektedir. Bu anlamda L3 senaryosunun görsel konfor koşullarını sağladığı söylenebilir.

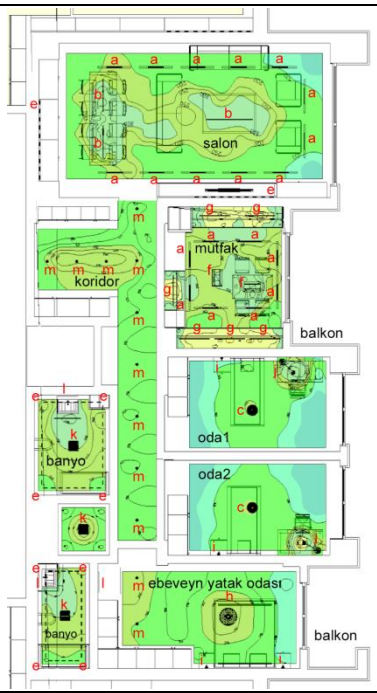
Çizelge 4. 31. Örnek 1 için aydınlatma sistemi yerleşim planı ve simülasyon sonuçları

Aydınlatma Sistemi Yerleşim Planı	Yapma Aydınlatma Simülasyon Sonuçları			
Örnek 1	**Mekan - Hesap Düzlemi**	**E_m**	**U_o**	**UGR**
	Mutfak (Genel) Yatay düzlem	306	0,48	<10
	Mutfak tezgahı (Bölgelik) Yatay düzlem	500	0,45	21,7
	Mutfak masası (Bölgelik) Yatay düzlem	357	0,46	<10
	Salon (Genel) Yatay düzlem	225	0,41	19,2
	Salon (Okuma köşesi) Eğik düzlem	564	0,67	18,8
	Yemek masası (Bölgelik) Yatay düzlem	354	0,62	16,7
	Yemek masası (Bölgelik) Dikey düzlem	213	0,67	17,2
	Ebeveyn yatak odası (Genel) Yatay d.	170	0,60	19,4
	Etajer (Bölgelik) Yatay düzlem	358	0,42	20,2
	Giyinme odası (Genel) Yatay düzlem	243	0,58	14,2
	Ayna önü (Bölgelik) Dikey düzlem	290	0,68	19,7
	Oda 1(Genel) Yatay düzlem	166	0,51	21,8
	Çalışma masası (Bölgelik) Yatay d.	416	0,45	19,9
	Banyo (Genel) Yatay düzlem	338	0,67	15,2
	Ayna önü (Bölgelik) Dikey düzlem	232	0,76	19,6
	Antre-koridor (Genel) Yatay düzlem	177	0,80	16,5

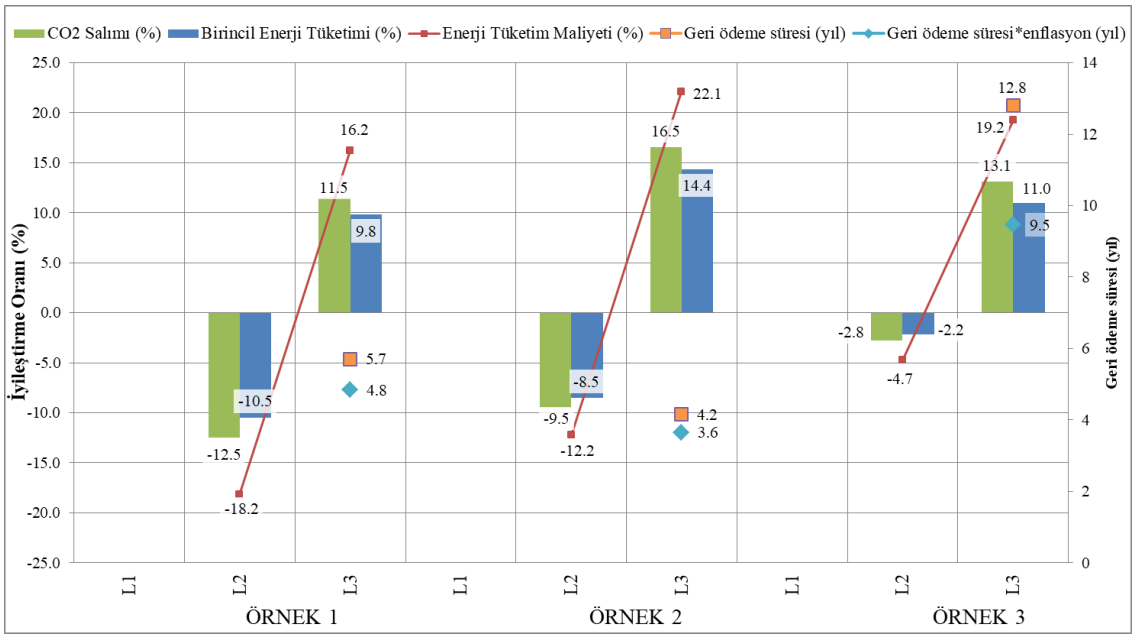
Çizelge 4. 32. Örnek 2 için aydınlatma sistemi yerleşim planı ve simülasyon sonuçları

Aydınlatma Sistemi Yerleşim Planı	Yapma Aydınlatma için Hesap Sonuçları			
Örnek 2	**Mekan - Hesap Düzlemi**	**E_m**	**U_o**	**UGR**
	Mutfak (Genel) Yatay düzlem	305	0,43	21,4
	Mutfak tezgahı (Bölgelik) Yatay d.	512	0,47	21,7
	Mutfak masası (Bölgelik) Yatay d.	400	0,45	<10
	Salon (Genel) Yatay düzlem	185	0,46	21,3
	Salon (Okuma köşesi) Eğik düzlem	516	0,69	19
	Yemek masası (Bölgelik) Yatay d.	305	0,63	19,9
	Yemek masası (Bölgelik) Dikey d.	207	0,66	18,9
	Ebeveyn yatak odası (Genel) Yatay d.	188	0,50	21,3
	Giyinme odası (Genel) Yatay düzlem	234	0,47	21,5
	Ayna önü (Bölgelik) Dikey düzlem	196	0,50	22
	Oda 1(Genel) Yatay düzlem	140	0,47	21,2
	Çalışma masası (Bölgelik) Yatay d.	322	0,43	21,9
	Banyo (Genel) Yatay düzlem	310	0,70	21,4
	Ayna önü (Bölgelik) Dikey düzlem	189	0,79	21,9
	Ebeveyn banyo (Genel) Yatay d.	312	0,68	21,3
	Ayna önü (Bölgelik) Dikey düzlem	264	0,70	21,9
	Antre-koridor (Genel) Yatay düzlem	141	0,56	21,5

Çizelge 4. 33. Örnek 3 için aydınlatma sistemi yerleşim planı ve simülasyon sonuçları

Aydınlatma Sistemi Yerleşim Planı	**Yapma Aydınlatma için Hesap Sonuçları**			
Örnek 3 (3+1 köşe daireler)	**Mekan/Hesap Düzlemi**	**E_m**	**U_o**	**UGR**
	Mutfak (Genel) Yatay düzlem	309	0,42	21,5
	Mutfak tezgahı (Bölgelik) Yatay d.	511	0,49	21,4
	Mutfak masası (Bölgelik) Yatay d.	341	0,75	<10
	Salon (Genel) Yatay düzlem	165	0,48	21,8
	Salon (Okuma köşesi) Eğik düzlem	519	0,68	19,8
	Yemek masası (Bölgelik) Yatay d.	297	0,61	20,9
	Yemek masası (Bölgelik) Dikey d.	179	0,64	19
	Ebeveyn yatak odası (Genel) Yatay	191	0,43	21,3
	Giyinme odası (Genel) Yatay d.	258	0,62	21,4
	Ayna önü (Bölgelik) Dikey düzlem	235	0,75	19,6
	Oda 1(Genel) Yatay düzlem	151	0,43	21,6
	Çalışma masası (Bölgelik) Yatay d.	330	0,42	22
	Banyo (Genel) Yatay düzlem	295	0,67	21,8
	Ayna önü (Bölgelik) Dikey düzlem	157	0,81	21,7
	Ebeveyn banyo (Genel) Yatay d.	298	0,66	21,4
	Ayna önü (Bölgelik) Dikey düzlem	257	0,63	21,9
	Antre-koridor (Genel) Yatay d.	150	0,48	21,1
Örnek 3 (2+1 orta daire)	Mutfak (Genel) Yatay düzlem	321	0,50	21,3
	Mutfak tezgahı (Bölgelik) Yatay d.	517	0,62	20,7
	Mutfak masası (Bölgelik) Yatay d.	372	0,75	<10
	Salon (Genel) Yatay düzlem	207	0,39	21,7
	Salon (Okuma köşesi) Eğik düzlem	516	0,78	22
	Yemek masası (Bölgelik) Yatay d.	347	0,60	21,9
	Yemek masası (Bölgelik) Dikey d.	205	0,65	21,8
	Ebeveyn yatak odası (Genel) Yatay	168	0,43	21,1
	Ayna önü (Bölgelik) Dikey düzlem	311	0,78	22,1
	Oda 1(Genel) Yatay düzlem	128	0,41	20,2
	Çalışma masası (Bölgelik) Yatay d.	302	0,47	22,3
	Banyo (Genel) Yatay düzlem	313	0,70	21,8
	Ayna önü (Bölgelik) Dikey düzlem	248	0,64	22,1
	Ebeveyn banyo (Genel) Yatay d.	272	0,64	21,1
	Ayna önü (Bölgelik) Dikey düzlem	371	0,80	22,1
	Antre-koridor (Genel) Yatay d.	176	0,75	21,7

Çalışmanın sonraki adımında yıllık toplam aydınlatma enerjisini hesaplamak üzere Çizelge 4. 29'daki aydınlık düzeyi ve aydınlatma kurulu güç değerleri DesignBuilder programına girilmiş ve simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Şekil 4. 30'da referans binalara göre aydınlatma senaryolarına bağlı yıllık toplam birincil enerji tüketimi ve enerji tüketim maliyetindeki iyileştirme oranları ve yatırımın geri ödeme süresi görülmektedir. Bina performans ölçütleri için iyileştirme oranları ayrıca ayrıntıda Çizelge 4. 34'te görülmektedir. L2 senaryosu için konut binalarının yıllık aydınlatma enerjisi gereksinimi TS EN 15193-1 (2017) standardına göre belirlenebilmekle birlikte, standartta yer alan kurulu güç değerlerine karşılık gelen yatırım maliyetine ilişkin veri bulunmaması nedeniyle L2 senaryosunun geri ödeme süresi hesaplanamamıştır.



Şekil 4. 30. Referans binalara göre aydınlatma senaryolarının birincil enerji tüketimi, enerji maliyeti ve CO_2 emisyonundaki iyileştirme oranları ve yatırımın geri ödeme süresi

Çizelge 4. 34. Aydınlatma senaryolarının referans binaya göre iyileştirme oranları

Site	Senaryo	Açıklama	İyileştirme oranı (%)						Geri ödeme (yıl)	
			Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınl. Enerjisi	CO_2 Salımı	Enerji Maliyeti	Birincil Enerji	Enflasyon hariç	Enflasyon dahil
Örnek 1	**L1**	Referans: CFL								
	L2	EN15193	7.6	-9.3	-32.8	-12.5	-18.2	-10.5	*	*
	L3	LED	-5.2	4.3	30.7	11.5	16.2	9.8	5.7	4.8
*EN15193-1 (2017) maliyet bilgisi içermediğinden L2 no'lu senaryoda ilk yatırım maliyeti hesaplanamamıştır.										

Çizelge 4. 34. Aydınlatma senaryolarının referans binaya göre iyileştirme oranları (devamı)

Site	Senaryo	Açıklama	İyileştirme oranı (%)						Geri ödeme (yıl)	
			Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınl. Enerjisi	CO_2 Salımı	Enerji Maliyeti	Birincil Enerji	Enflasyon hariç	Enflasyon dahil
Örnek 2	**L1**	Referans: CFL								
	L2	EN15193	3.4	-4.4	-20.6	-9.5	-12.2	-8.5	-	-
	L3	LED	-10.7	8.4	38.3	16.5	22.1	14.4	4.2	3.6
Örnek 3	**L1**	Referans: CFL								
	L2	EN15193	3.1	-12.5	-4.4	-2.8	-4.7	-2.2	*	*
	L3	LED	-5.8	7.6	35.7	13.1	19.2	11.0	12.8	9.5
*EN15193-1 (2017) maliyet bilgisi içermediğinden L2 no'lu senaryoda ilk yatırım maliyeti hesaplanamamıştır.										

Çizelge 4. 34'te görüldüğü gibi, aydınlatma enerjisi tüketimindeki artış iç ısıl kazançlar kaynaklı yıllık toplam ısıtma enerjisini azaltırken, soğutma enerjisini arttırmaktadır. Üç senaryo içinde LED lambaların kullanıldığı L3 no'lu senaryo, yıllık toplam birincil enerji tüketimi ve enerji tüktimine karşılık gelen CO_2 emisyonunda referans binaya göre en yüksek iyileştirme oranına sahiptir.

EK 31'de üç konut sitesi için yıllık toplam nihai enerji tüketimi, enerji maliyeti ve aydınlatma senaryoları ilişkisi görülmektedir. Örnek 1'de L3 ile birincil enerji tüketimi (%10,1), enerji maliyeti (%16,4) ve karbon emisyonu (%11,8) yönünden referans duruma kıyasla en yüksek iyileştirme Blok IV'te (K-G) gerçekleşmiştir. Bu değişim referans binaya göre birim alan için 12,1 kWh, 17 TL ve 3,9 kg eşd. CO_2'ye karşılık gelmektedir. Örnek 2'nin farklı yönlere bakan blokları değerlendirildiğinde en yüksek iyileştirme yaşam alanı K, yatak odaları G yönüne bakan Blok III'te meydana gelmiştir. Bu blokta birincil enerji (%16,4), enerji maliyeti (%23,5) ve CO_2'de (%18,5) elde edilen tasarruf sırasıyla 17,2 kWh/m^2, 23,8 TL/m^2 ve 5,5 kg eşd. CO_2/m^2'dir. Örnek 3 için LED lambaların kullanılması Blok I'de (GD) en yüksek iyileştirmeyi sağlamıştır. Referans binaya göre blok ölçeğindeki bu fark 1 m^2 için 13,6 kWh (%11,4), 19,4 TL (%19,7) ve 4,4 kg eşd. CO_2 (%13,5)'dir.

l) Gün ışığına bağlı aydınlatma kontrolü

İç mekanda günışığından azami ölçüde faydalanmak, binalarda aydınlatma enerjisi tüketimini düşürmekte belirleyici bir etkiye sahiptir. Aydınlatma kontrol sistemleri son yıllarda akıllı LED teknolojileri ve insan odaklı aydınlatma tasarım hedefleriyle birlikte

elektrik enerjisinde tasarruf sağlamada aydınlatma projelerinin önemli bir bileşeni haline gelmiştir. Aydınlatma kontol sistemleri ile çeşitli dinamik aydınlatma senaryoları oluşturulabilir, lambaların ışık akısı ayarlanabilir (loşlaştırma/karartma) ve lambaların elektriksel güç değişiminin yanı sıra ışık rengi kontrol edilebilir. Hareket (varlık) ve/veya ışık sensörleri (*photosensor*) aracılığıyla binanın iç mekan aydınlatma sistemi tekil veya eşzamanlı olarak yönetilebilmektedir.

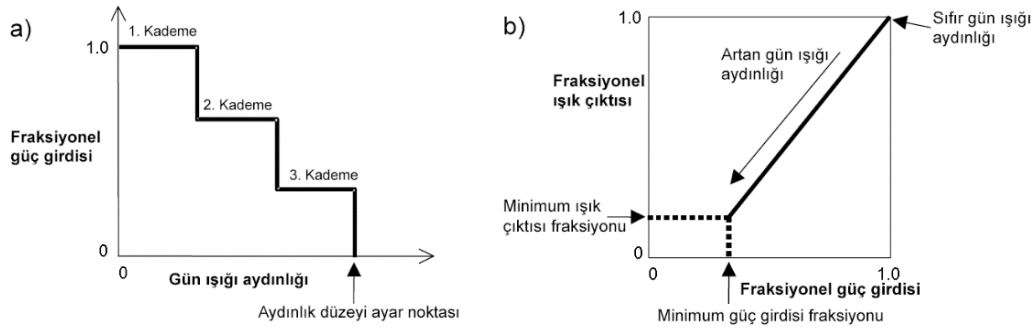
Çizelge 4. 35'te hafta içi ve hafta sonu konut mekan kullanım takvimine (bkz. Şekil 3. 34) bağlı olarak aydınlatma sisteminin anahtarlar ile kontrol edildiği referans durum (C1) ile çalışma kapsamında ele alınan gün ışığına bağlı aydınlatma kontrol senaryoları özetlenmiştir. Işık sensörü aracılığıyla kademeli (C2) veya lineer (C3) loşlaştırma yapılabilen aydınlatma kontrol stratejileriyle mekanların kullanım süresi boyunca gün ışığından yararlanılarak enerji tasarrufu sağlanması ve konut hacimleri için istenen genel aydınlık düzeylerinin sürdürülmesi hedeflenmiştir.

Çizelge 4. 35. Gün ışığına bağlı aydınlatma kontrol senaryoları

Senaryo	**Açıklama**
L1/C1 (Ref)	CFL lambalar manuel anahtar aracılığıyla tek kademeli olarak (aç/kapa) kontrol edilir. Yatay çalışma düzlemi üzerinde hedeflenen aydınlık düzeyine gün ışığı ile ulaşıldığında lambalar kapatılır.
L3/C1	LED lambalar manuel anahtar aracılığıyla tek kademeli olarak (aç/kapa) kontrol edilir. Gerekli aydınlık düzeyinin gün ışığı ile sağlanması durumda lambalar devre dışı kalır.
L3/C2	Kademeli LED aydınlatma kontrol stratejisinde, genel aydınlık düzeyi tavanın geometrik ortasına yerleştirilmiş bir ışık sensörü aracılığıyla gün ışığı seviyesine göre dört kademeli olarak loşlaştırılır.
L3/C3	Lineer LED aydınlatma kontrol stratejisinde gün ışığına bağlı aydınlık düzeyi arttıkça, lambalar sürekli ve doğrusal olarak loşlaştırılır ve eşik değere ulaşıldığında kapalı konuma getirilir.

Genel aydınlatma amaçlı armatürler gün ışığı sensörü ve DALI *(*dijital adreslenebilir aydınlatma arayüzü- *digital addressable lighting interface*) otomasyon sistemi ile kontrol edilirken, bölgelik aydınlatma amaçlı armatürler otomasyondan bağımsız çalışmakta ve mekan kullanım takvimine göre açık ya da kapalı konuma getirilmektedir. L3/C2 senaryosunda LED lambalardan çıkan ışık akısı gün ışığı seviyesine göre dört kademde azaltılmakta ve çalışma düzleminde (h:0,8m) yeterli aydınlık düzeyi sağlandığında lambalar kapalı konuma getirilmektedir. L3/C3 senaryosunda ise

kademeli loşlaştırmadan farklı olarak lamba ışık akısında gün ışığı seviyesine göre lineer bir artış veya azalış söz konusudur. Mekanda gün ışığına bağlı aydınlık seviyesi arttıkça lambalar maksimum elektrik gücünden minimum ışık akısına doğru sürekli ve doğrusal olarak loşlaştırılmakta; hesap düzlemi üzerinde gerekli aydınlık düzeyi yalnız gün ışığı ile sağlanabildiği durumunda tamamen kapanmaktadır. C2 ve C3 no'lu aydınlatma kontrol stratejilerinin çalışma prensibi Şekil 4. 31'de görselleştirilmiştir.

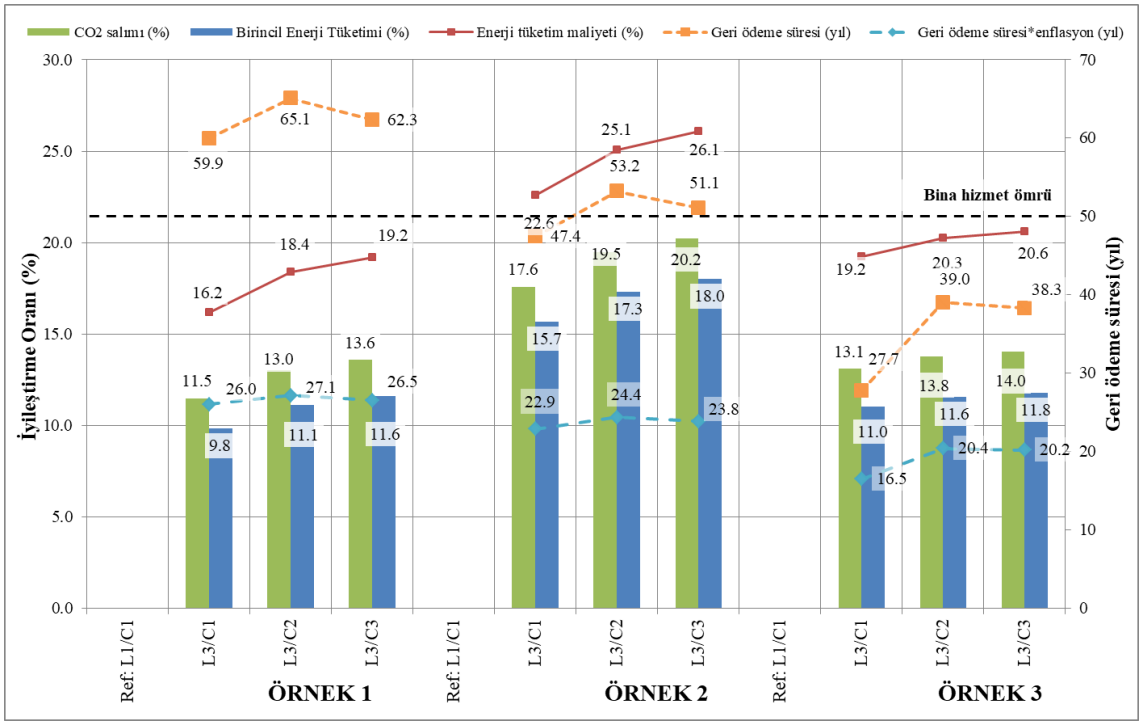


Şekil 4. 31. Gün ışığına bağlı (a) kademeli ve (b) lineer aydınlatma kontrol stratejileri çalışma prensibi (*DesignBuilder, n.d.b adresinden uyarlanarak Türkçeleştirilmiştir*).

Lambaların çalışma düzlemindeki gün ışığı varlığına göre loşlaştırılmasının 3 konut sitesinin toplam yıllık birincil enerji tüketimi, enerji maliyeti ve karbon emisyonunun iyileştirilmesine katkısı Şekil 4. 32'de görülmektedir. Bina performans ölçütleri için referans duruma göre hesaplanan yüzdelik farklar Çizelge 4. 36'da özetlenmiştir.

Çizelge 4. 36. Referans binalara mukayese ile gün ışığına bağlı aydınlatma kontrolü senaryolarının bina performans ölçütlerine etkisi

Konut Sitesi	Senaryo	Açıklama	Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınlatma Enerjisi	CO2 Salımı	Enerji Maliyeti	Birincil Enerji	Geri ödeme süresi	Geri ödeme süresi + enflasyon
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	Yıl	Yıl
ÖRNEK 1	**Ref: L1/C1**	**Kompakt floresan, manuel kontrol**								
	L3/C1	LED, manuel kontrol	-5.2	4.3	30.7	11.5	16.2	9.8	**60**	26
	L3/C2	LED, kademeli	-6.0	5.1	34.8	13.0	18.4	11.1	**65**	27
	L3/C3	LED, lineer kontrol	-6.3	5.4	36.3	13.6	19.2	11.6	**62**	27
ÖRNEK 2	**Ref: L1/C1**	**Kompakt floresan, manuel kontrol**								
	L3/C1	LED, manuel kontrol	-5.8	8.4	38.3	17.6	22.6	15.7	47	23
	L3/C2	LED, kademeli	-6.7	9.3	42.5	19.5	25.1	17.3	**53**	24
	L3/C3	LED, lineer kontrol	-7.1	9.6	44.3	20.2	26.1	18.0	**51**	24
ÖRNEK 3	**Ref: L1/C1**	**Kompakt floresan, manuel kontrol**								
	L3/C1	LED, manuel kontrol	-5.8	7.6	35.7	13.1	19.2	11.0	28	16
	L3/C2	LED, kademeli	-6.1	7.9	37.6	13.8	20.3	11.6	39	20
	L3/C3	LED, lineer kontrol	-6.3	8.1	38.3	14.0	20.6	11.8	38	20



Şekil 4. 32. Gün ışığına bağlı aydınlatma kontrolü stratejilerinin referans duruma göre iyileştirme oranları ve geri ödeme süreleri

Çizelge 4. 36'da görüldüğü gibi, tüm bloklarda lambaların gün ışığına bağlı lineer olarak loşlaştırılması (C3), manuel kontrol (C1) ve kademeli loşlaştırmaya (C2) göre yıllık toplam birincil enerji tüketimi, buna karşılık gelen enerji maliyetleri ve CO_2 emisyonunda daha yüksek iyileştirme sağlamaktadır. C2 ve C3 senaryolarında lamba kullanım saatlerinin azalmasına bağlı olarak yapma aydınlatma sisteminden kaynaklanan iç ısıl kazançlar da azalmaktadır. Bu durum binaların yıllık toplam ısıtma yükünü arttırırken soğutma yükünü azaltmaktadır.

Gün ışığına bağlı aydınlatma kontrol stratejilerinin yıllık toplam nihai enerji tüketimi ve enerji maliyetine etkisi blok bazında EK 32'de verilmiştir. Örnek 1'de yıllık toplam birincil enerji tüketimi (%12,5), enerji maliyeti (%20,4) ve CO_2 emisyonu (%14,6) açısından en yüksek iyileştirme Blok IV'te (yaşam alanı K, yatak odaları G) gerçekleşmiştir. Örnek 2'de en yüksek iyileştirme sağlanan Blok III'ün (salon K, yatak odaları G) referans binaya göre birincil enerji tüketimi, enerji maliyeti ve karbon emisyonu farkı sırasıyla %24,2, %29,4, %25,7'dir. Örnek 3'te en yüksek iyileştirmeye sahip Blok II (KD/GB) için bu farklar sırasıyla %12,1, %21,1, %14,4'tür.

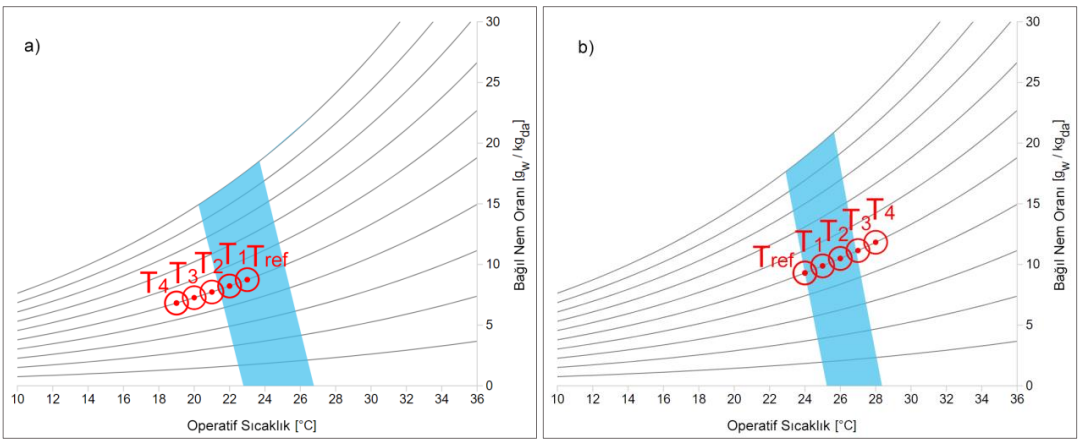
m) İç ortam (termostat) ayar sıcaklıkları

Kullanım sonrası değerlendirme anketi sonuçlarına göre katılımcıların çoğunluğu yaz ve kış aylarında konutlarının ortalama iç mekan sıcaklıklarının T_i: 23-25°C arasında olduğunu belirtmiştir (bkz. Şekil 3. 27 - Şekil 3. 28). Referans binalarda ısıl konfor şartlarını sağlayan iç ortam sıcaklığının (*setpoint temperature*) kışın T_i: 23°C, yazın T_i: 24°C, doğal havalandırma yapmak için dış ortam alt ve üst limit sıcaklıklarının sırasıyla 20°C ve 27°C olduğu kabul edilmiştir. İç ortam (termostat) ayar sıcaklıkları başlığı altında ele alınan seçenekler Çizelge 4. 37'de görülmektedir.

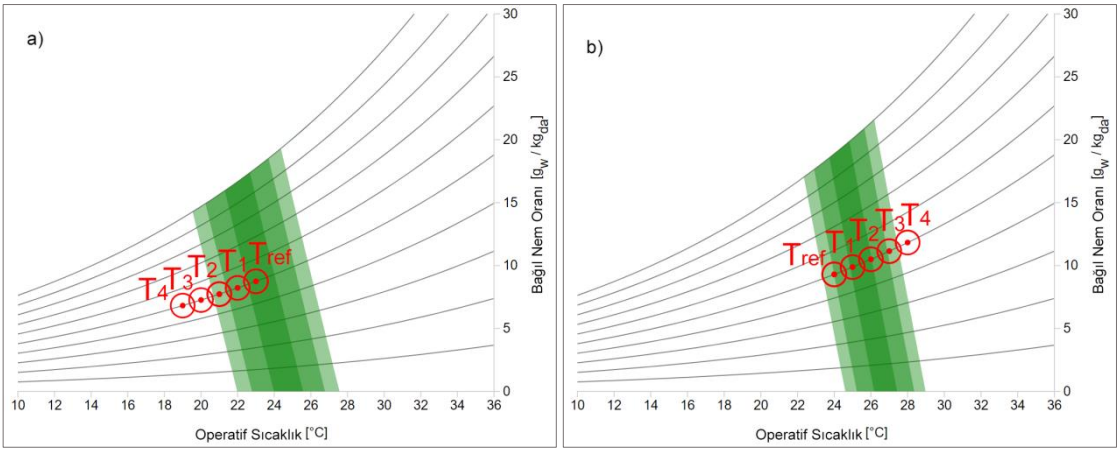
Çizelge 4. 37. Isıtma ve soğutma dönemi için iç mekan ayar sıcaklıkları senaryoları

Senaryo	Isıtma dönemi	Soğutma dönemi
$T_{i\ ref}$ (Ref)	23°C	24°C
T1	22°C	25°C
T2	21°C	26°C
T3	20°C	27°C
T4	19°C	28°C

İlk olarak, iç ortam sıcaklığı senaryolarının ASHRAE Standart 55 (2017) ve EN 16798-1'e (2019) göre ısıl konfor şartlarını sağlayıp sağlamadığı CBE ısıl konfor hesaplama aracıyla test edilmiştir. Senaryoların belirlenen operatif sıcaklık ve bağıl nem oranına göre oluşturulan psikometrik diyagramlar ASHRAE-55 (2017) için Şekil 4. 33'te ve EN 16798-1 (2019) için Şekil 4. 34'de görülmektedir. Senaryoları temsil eden noktalar *Rh*: %50, V_a: 0,1 m/s, *M:* 1 met, $I_{cl\ kış}$: 1,0 clo, $I_{cl\ yaz}$: 0,61 clo değerleri için geçerlidir.



Şekil 4. 33. İç mekan ayar sıcaklığı senaryolarının ASHRAE Standart 55'e (2017) göre (a) ısıtma dönemi ve (b) soğutma dönemi için psikometrik diyagramları



Şekil 4. 34. İç mekan ayar sıcaklığı senaryolarının EN 16798-1'e (2019) göre (a) ısıtma dönemi ve (b) soğutma dönemi için psikometrik diyagramları (*CBE ısıl konfor hesaplama aracında yazar tarafından oluşturulmuştur)*

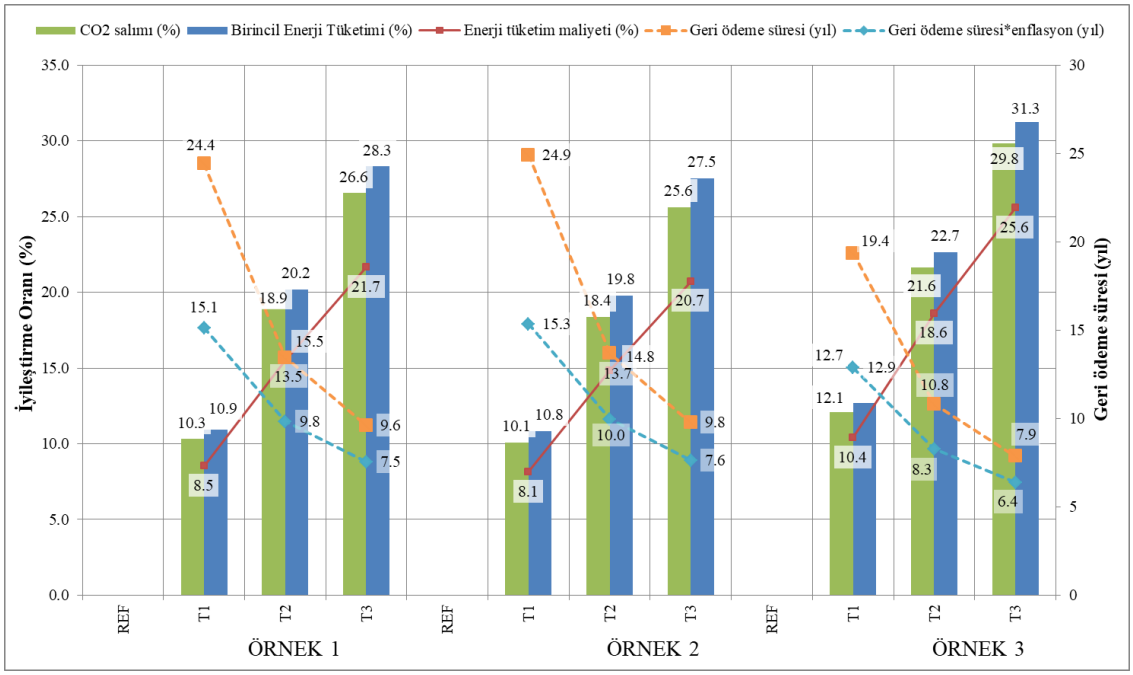
İç mekan ayar sıcaklığı senaryolarının ısıtma ve soğutma dönemine ait PMV, PPD, ASHRAE-55 (2017) ısıl his ve EN 16798-1 (2019) kategori değerleri Çizelge 4. 38'de yer almaktadır. Referans bina ASHRAE-55 (2017) ve EN 16798-1 (2019) standardına göre konfor bölgesindedir (-0,5<PMV<+0,5, PPD <%10).

Çizelge 4. 38. İç mekan ayar sıcaklığı senaryolarının ısıtma ve soğutma dönemine ait PMV, PPD, ASHRAE-55 (2017) ısıl his ve EN 16798-1 (2019) kategori değerleri

Senaryo		**ISO 7730: 2005**		**ASHRAE-55: 2020**		**EN 16798: 2019**	
		PMV	**PDD (%)**	**Isıl His**	**Sonuç**	**Kategori**	**Sonuç**
Isıtma dönemi	T_{ref}	-0.08	5	Nötr	✓	I	✓
	T1	-0,35	7	Nötr	✓	II	✓
	T2	-0,61	13	Hafif serin	✓	III	✓
	T3	**-0,88**	21	Hafif serin	✗	IV	✗
	T3*	-0,46	9	Nötr	✓	III	✓
	T4	**-1,14**	33	Hafif serin	✗	IV	✗
	T4*	-0,69	15	Hafif serin	✓	III	✓
Soğutma dönemi	T_{ref}	-0,50	10	Nötr	✓	II	✓
	T1	0,19	6	Nötr	✓	I	✓
	T2	0,1	5	Nötr	✓	I	✓
	T3	0,53	11	Hafif ılık	✓	III	✓
	T3**	0,34	7	Nötr	✓	II	✓
	T4	**0,88**	21	Hafif ılık	✗	IV	✗
	T4**	**0,72**	16	Hafif ılık	✓	IV	✗
*:1,25 clo **:0,5 clo							

Ayrıca T3 ve T4 no'lu senaryolarda ısıtma dönemindeki giysi ısıl direnç değerleri 1 clo'dan 1,25'e arttırılarak ve soğutma dönemindeki giysi yalıtım değerleri 0,61 clo'dan 0,5 clo'ya düşürülerek alternatif senaryolar oluşturulmuştur. Çizelge 4. 38'de görüldüğü gibi, clo değerlerinin değiştirildiği alternatif senaryoda T3* konfor kriterlerini sağlarken, T4* (T_i: 19°C/28°C) hem yaz hem kış döneminde ilgili standartlardaki konfor kriterlerini sağlamamaktadır.

İç mekan ayar sıcaklıklarının değiştirilmesinin birincil enerji tüketimi, enerji maliyeti ve karbon emisyonunun iyileştirilmesine katkısı yüzdelik olarak Şekil 4. 35'te ve bina performans ölçütleri alt başlıklarıyla Çizelge 4. 39'da görülmektedir. Isıl konfor kriterlerini sağlamayan T4 no'lu senaryonun performans sonuçlarına yer verilmemiştir.



Şekil 4. 35. İç ortam ayar (termostat) sıcaklıkları senaryolarının referans binaya göre iyileştirme oranları ve yatırımın geri ödeme süresi

Isıtma ve soğutma döneminde 1°C'lik adımlarla değişen sıcaklık kombinasyonlarının yıllık toplam nihai enerji tüketimi ve buna karşılık gelen enerji maliyetine etkisi EK 33'te verilmiştir. Sonuçlar blok bazında incelendiğinde T3 no'lu senaryo ile elde edilen en yüksek farklar Örnek 1 için Blok IV (K-G), Örnek 2 için Blok I (G-K) ve Örnek 3 için Blok I'de (GD) kaydedilmiştir. Ele alınan bu üç apartman bloğunun birincil enerji tüketimindeki iyileştirme oranları sırasıyla %29 (34,55 kWh/m^2.y), %28,4 (30,3

kWh/m^2.y) ve %31,6'dır (37,8 kWh/m^2.y). Toplam enerji maliyetindeki iyileştirme oranları sırasıyla 22,3% (23,2 TL/m^2.y), %21,2 (20,5 TL/m^2.y) ve %25,9 (25,5 TL/m^2.y); CO_2 emisyonundaki iyileştirme oranları sırasıyla %27,25 (10,4 kg eşd. CO_2/m^2.y), %26,4 (7,8 kg eşd. CO_2/m^2.y) ve %30,1 (9,75 kg eşd. CO_2/m^2.y) olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4. 39. İç ortam ayar (termostat) sıcaklıkları senaryolarının bina performans ölçütleri için referans binaya göre değişim oranları

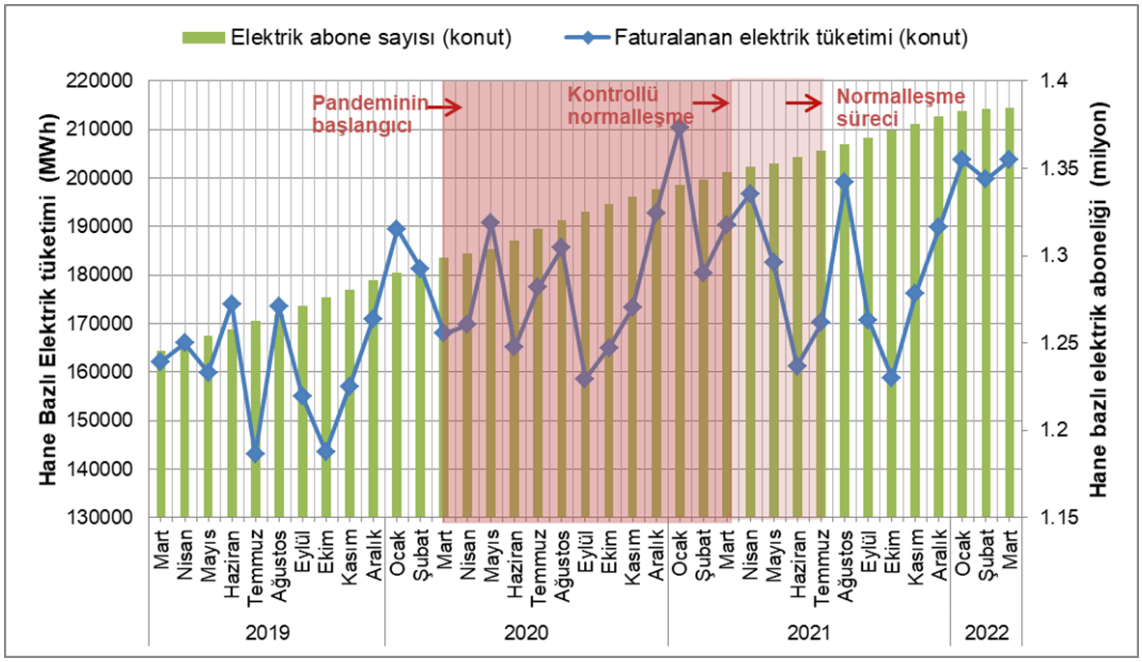
SİTE	Senaryo (Isıtma/Soğutma)		İyileştirme oranı (%)					Geri ödeme süresi (yıl)	
			Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	CO_2 Emisyonu	Enerji Maliyeti	Birincil Enerji	Enflasyon hariç	Enflasyon dahil
ÖRNEK 1	**Ref**	**23°C/24°C**							
	T1	22°C/25°C	16.7	18.7	10.4	8.6	11.0	24.4	15.1
	T2	21°C/26°C	31.5	33.0	19.1	15.6	20.3	13.5	9.8
	T3	20°C/27°C	44.3	46.0	26.8	21.8	28.5	9.6	7.5
ÖRNEK 2	**Ref**	**23°C/24°C**							
	T1	22°C/25°C	19.6	17.6	10.1	8.1	10.8	24.9	15.3
	T2	21°C/26°C	36.0	31.8	18.4	14.7	19.8	13.7	10.0
	T3	20°C/27°C	49.7	44.8	25.6	20.6	27.5	9.8	7.6
ÖRNEK 3	**Ref**	**23°C/24°C**							
	T1	22°C/25°C	17.3	26.0	12.2	10.5	12.8	19.4	12.9
	T2	21°C/26°C	30.9	46.6	21.8	18.8	22.8	10.8	8.3
	T3	20°C/27°C	42.8	63.7	30.1	25.8	31.5	7.9	6.4

n) Bina alt sistemleri işletim takvimi

Günümüzde teknolojinin gelişmesi, iletişim imkânlarının artması sayesinde esnek mesai saatleri ve evden çalışma gibi yöntemlerin özellikle beyaz yakalı çalışanlarının çalışma hayatında uygulanmaya başladığı görülmektedir. Özelllikle Covid-19 pandemisinin tüm dünyayı etkisi altına almasıyla konutlar ofis olarak kullanılmış, çeşitli işletmeler, kurum ve kuruluşlarda "*home office*" fikri yeniden gündeme gelmiş ve dünyanın pek çok ülkesinde ev eksenli çalışmanın yasal altyapısı oluşturulmuştur. Küresel salgın sonrası halen pek çok işletme uzaktan çalışmayı geleneksel ofis tabanlı çalışma ile entegre ederek hibrit çalışma modelini sürdürmektedir (Diab Bahman & Al Enzi, 2020; Mehdi & Morisette, 2021; Brodeur, Grigoryeva & Kattan, 2021).

Türkiye'de 2000 yılından itibaren toplam elektrik tüketiminin %21,1'i konut sektörüne aittir (IEA, 2021). Isıtma, soğutma, sıhhi sıcak su ve yapma aydınlatma gibi bina alt sistemlerinin kullanım süresine bağlı şebekeden çekilen gücün yanı sıra mahal içindeki

kullanıcılar, elektrikli ev aletleri ve aydınlatma aygıtlarından kaynaklanan iç ısıl kazançlar binaların enerji tüketimini etkilemektedir. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu istatistiklerine göre (EPDK, 2022), Bursa ili için pandeminin Mart 2020'de başlamasından Mart 2021'deki kontrollü normalleşme sürecine kadarki dönemde bir önceki yılın aynı dönemine göre hane bazlı elektrik tüketimi ortalama %8,2 artarken, elektrik aboneliği ~%0,2'lik doğrusal bir artış göstermiştir (Şekil 4. 36). Enerji talebindeki bu artışta, salgın süresince konut kullanım süresi ve sıklığının artmasına bağlı olarak bina alt sistemleri ve elektrikli ev aletlerinin kullanım süresinin artması etkilidir.



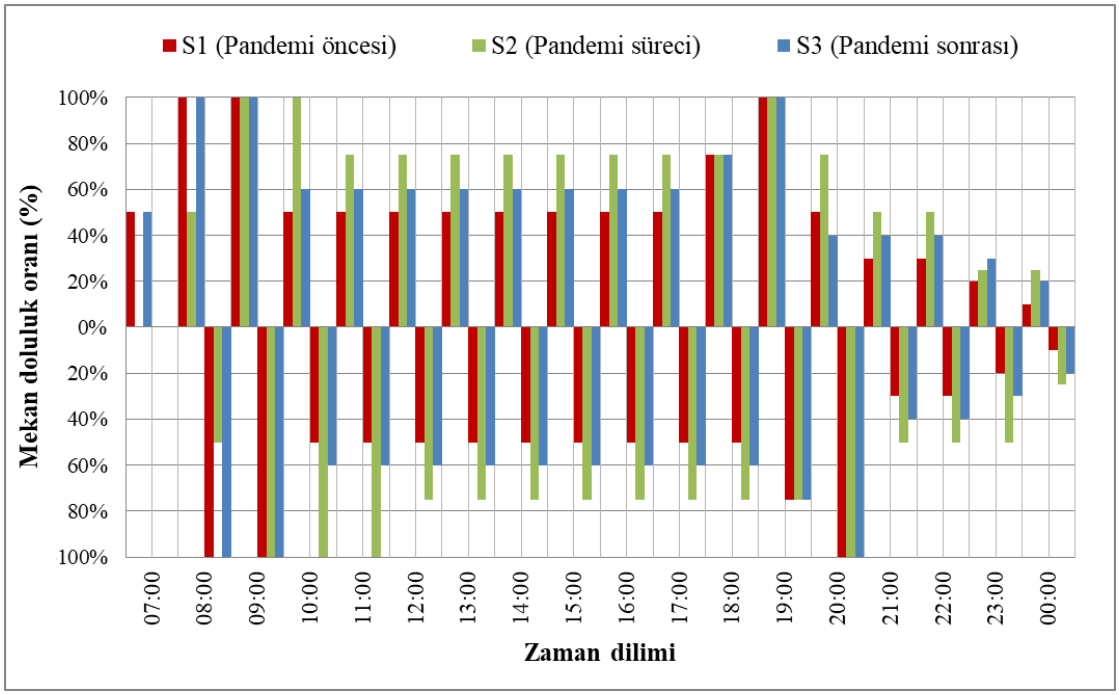
Şekil 4. 36. Tüketici türü (konut) ve yıllara göre Bursa ilinde elektrik tüketimi ve aboneliğinin aylık değişimi (*EPDK 2022 istatistiklerinden uyarlanmıştır*)

Çalışma kapsamında, konut mekan kullanım sıklığı ve süresi ile buna bağlı bina alt sistemlerinin işletim takviminin enerji tüketimine etkisi üç senaryo üzerinden incelenmiştir. Referans konutlar için mekan kullanım takvimi Covid-19 pandemisi öncesi anket sonuçlarına göre oluşturulmuştur. Tam kapanma sürecinde hane halkının evde bulunması, pandemi süreci ve sonrasında dijital iletişim - etkileşim uygulamalarının yaygınlaşması ile hibrit çalışma modeline geçilmesi ve konutların ofis olarak kullanılması göz önüne alınarak S1, S2 ve S3 senaryoları oluşturulmuştur. Konut mekam kullanım senaryoları Çizelge 4. 40'ta özetlenmiştir.

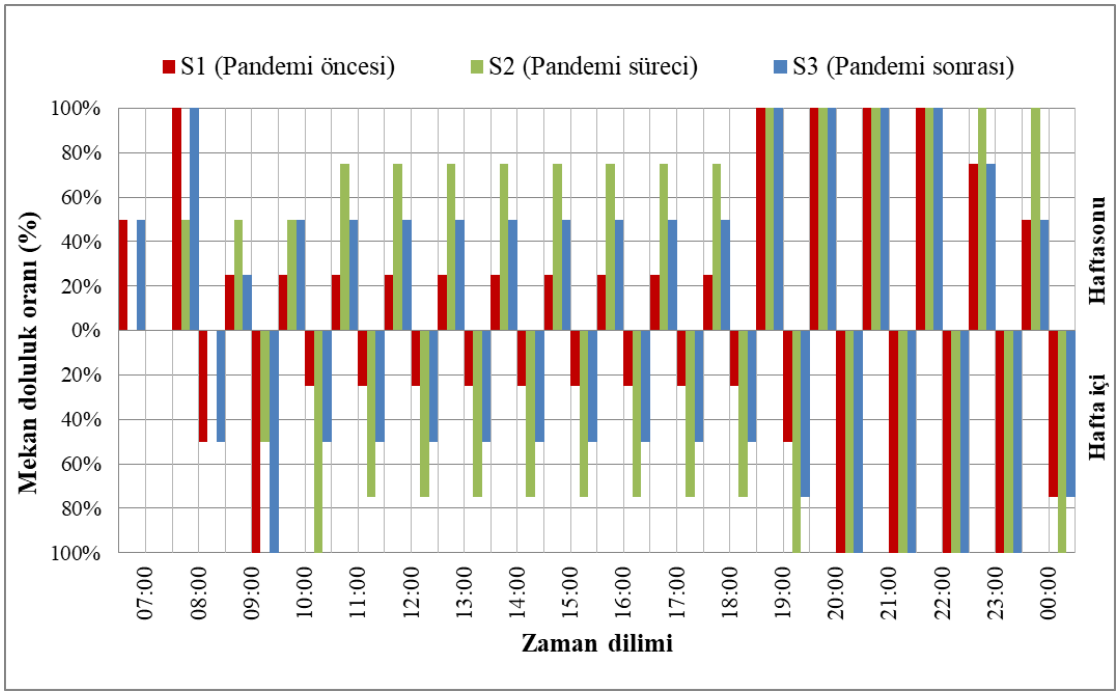
Çizelge 4. 40. Konut mekan kullanım senaryoları

Senaryo	Mekan kullanım sıklığı ve süresi
S1 (Ref)	**Pandemi öncesi senaryo:** Bina alt sistemleri çoğunlukla sabah ve akşam saatlerinde kullanılmaktadır. 3 üyeden meydana gelen hane halkıdan 2 kişi hafta içi 08:00 – 18:00 saatleri arasında konut dışında (iş/eğitim), 1 kişi konutta bulunmaktadır.
S2	**Pandemi senaryosu:** Covid-19 sürecindeki karantina önlemleri ve sokağa çıkma kısıtlamaları nedeniyle artan kullanıcı yoğunluğu, mekan kullanım sıklığı ve süresine bağlı olarak oluşturulmuştur.
S3	**Pandemi sonrası (post-pandemi) senaryo:** Günümüzün hibrit çalışma koşullarına göre oluşturulmuştur.

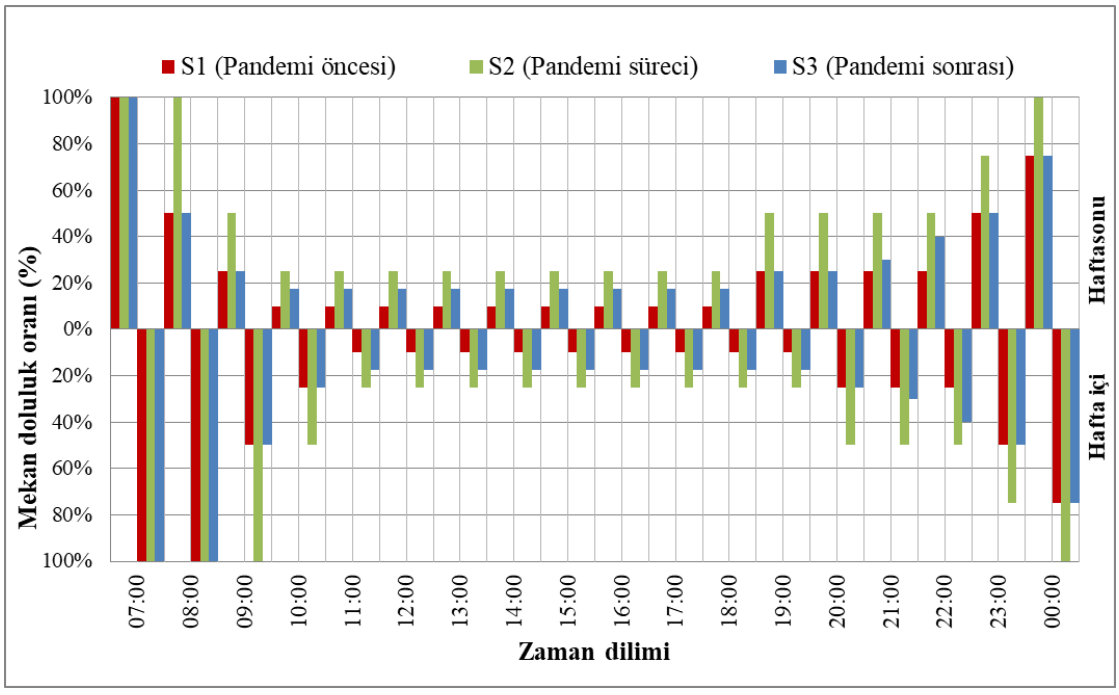
Binaların ısıtma sistemine ait çalışma takvimi referans durum (S1), pandemi senaryosu (S2) ve pandemi sonrası senaryo (S3) için aynı (06:00 – 24:00) kabul edilmiştir. Aydınlatma ve soğutma sistemlerinin işletim takvimi ise mekan kullanım sıklığı ve süresi ile ilişkilendirilmiştir. S1, S2 ve S3 senaryoları için hafta içi ve hafta sonu mekan kullanım takvimleri mutfak, salon, ebeveyn yatak odası, çocuk odası, banyo/WC, antre/koridor için Şekil 4. 37 – Şekil 4. 42'de görülmektedir. Zamana bağlı mekan kullanım süresi yüzdelik olarak ifade edilmiştir. "1" mekanın dolu olduğunu, "0,5" 1 saatlik zaman diliminin %50'sinde dolu olduğunu, "0" ise boş olduğunu ifade etmektedir.



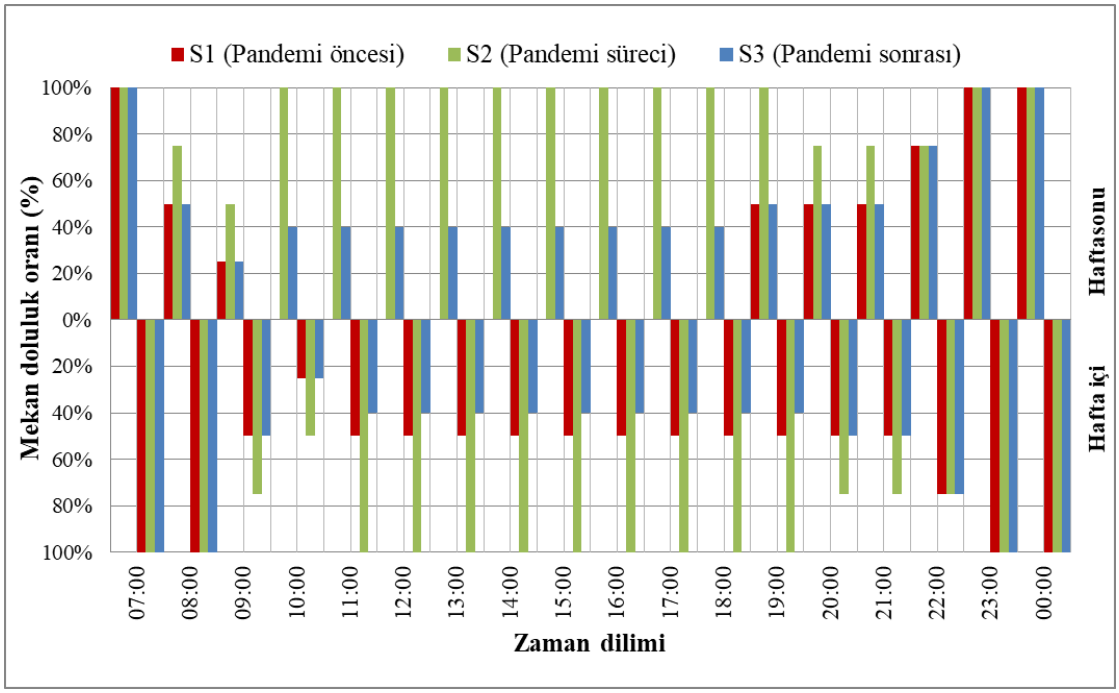
Şekil 4. 37. S1 (pandemi öncesi), S2 (pandemi süreci) ve S3 (pandemi sonrası) senaryoları için hafta içi ve hafta sonu mutfak kullanım sıklığı ve süresi



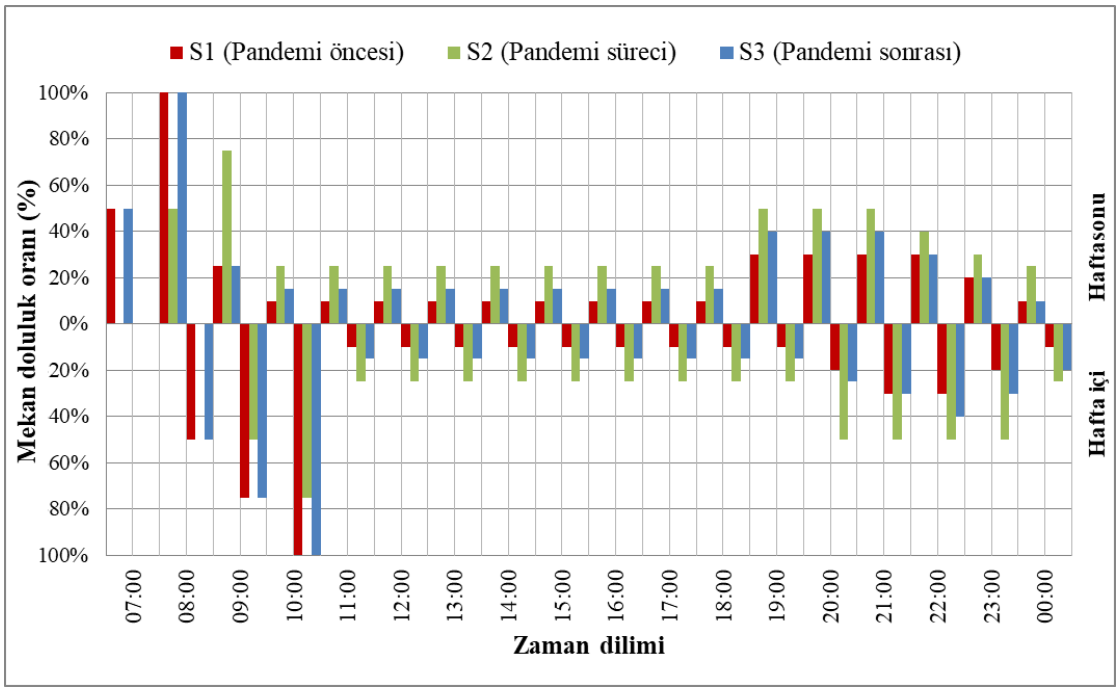
Şekil 4. 38. S1 (pandemi öncesi), S2 (pandemi süreci) ve S3 (pandemi sonrası) senaryoları için hafta içi ve hafta sonu salon kullanım sıklığı ve süresi



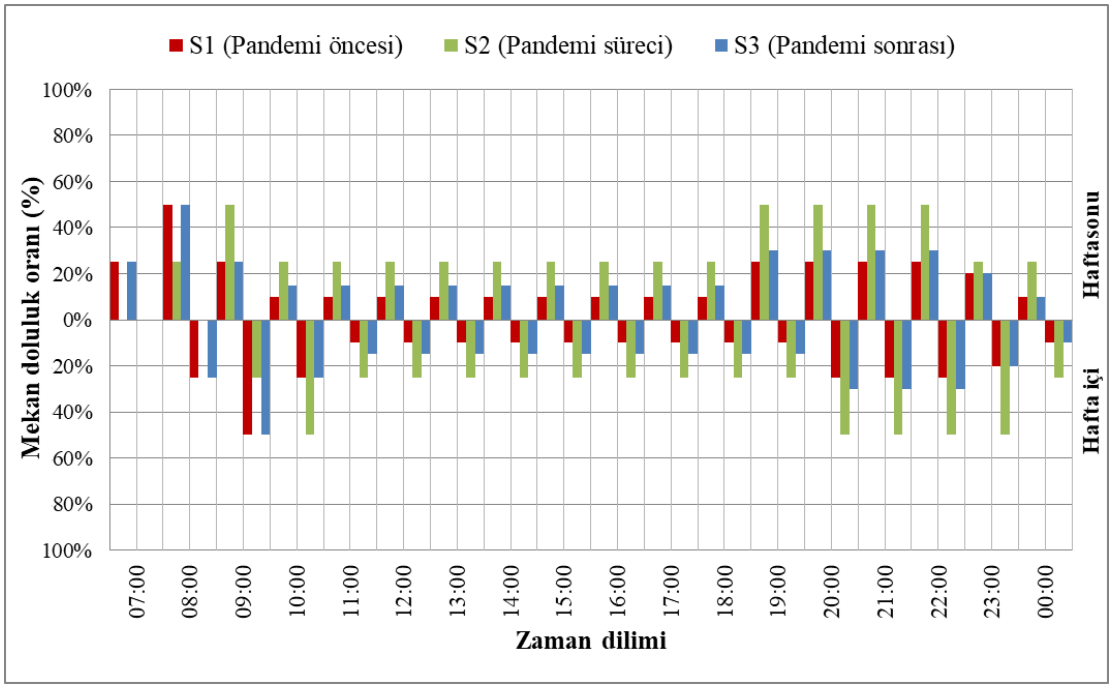
Şekil 4. 39. S1 (pandemi öncesi), S2 (pandemi süreci) ve S3 (pandemi sonrası) senaryoları için hafta içi ve hafta sonu ebeveyn yatak odası kullanım sıklığı ve süresi



Şekil 4. 40. S1 (pandemi öncesi), S2 (pandemi süreci) ve S3 (pandemi sonrası) senaryoları için hafta içi ve hafta sonu çocuk odası kullanım sıklığı ve süresi

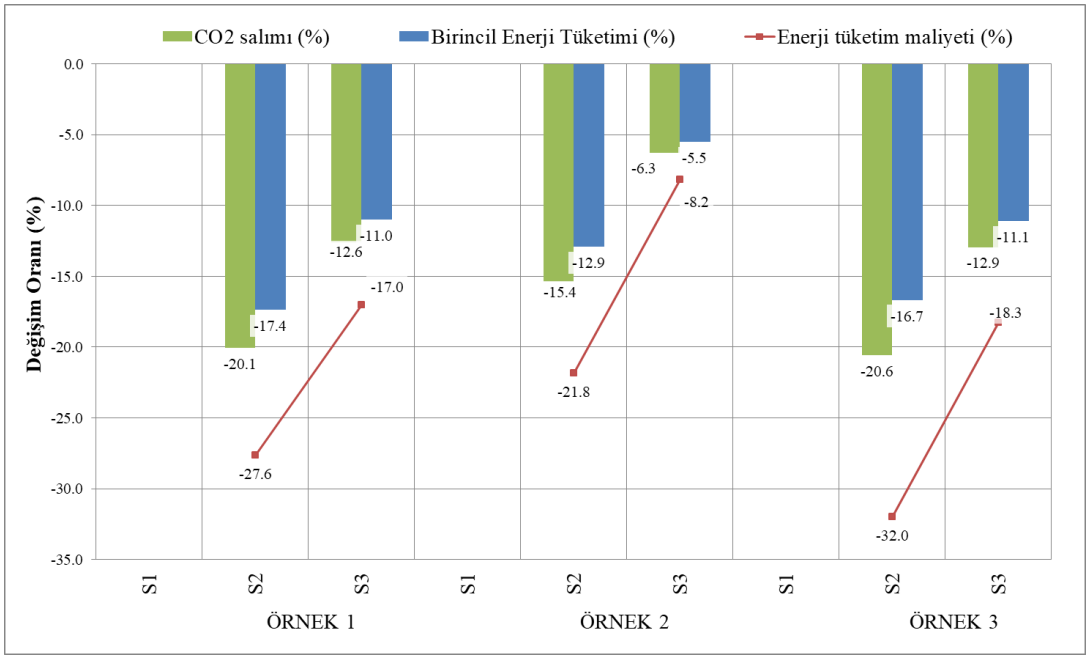


Şekil 4. 41. S1 (pandemi öncesi), S2 (pandemi süreci) ve S3 (pandemi sonrası) senaryoları için hafta içi ve hafta sonu banyo/WC kullanım sıklığı ve süresi



Şekil 4. 42. S1 (pandemi öncesi), S2 (pandemi süreci) ve S3 (pandemi sonrası) senaryoları için hafta içi ve hafta sonu antre/koridorun kullanım sıklığı ve süresi

S2 ve S3 senaryolarında referans duruma göre bina performans ölçütlerindeki değişim Şekil 4. 43'de ve Çizelge 4. 41'de görülmektedir.



Şekil 4. 43. 3 konut sitesinde yer alan 4 bloğun ortalamasına kıyasla mekan kullanım senaryolarının CO_2 emisyonu, birincil enerji tüketimi, enerji maliyeti için değişim oranları

Çizelge 4. 41. 3 konut sitesindeki farklı yöne bakan 4 bloğun ortalamasına kıyasla mekân kullanım sıklığı ve süresindeki değişimin bina performans ölçütlerine etkisi (%)

Konut sitesi	Senaryo		Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınlatma Enerjisi	CO_2 Salımı	Enerji Maliyeti	Birincil Enerji
Örnek 1	S1	Pandemi öncesi (Anket sonuçları)						
	S2	Pandemi	7.2	-51.1	-27.7	-20.1	-27.8	-17.4
	S3	Post pandemi	3.4	-25.1	-20.2	-12.6	-17.1	-11.0
Örnek 2	S1	Pandemi öncesi (Anket sonuçları)						
	S2	Pandemi	16.0	-57.7	-12.1	-15.4	-22.0	-12.9
	S3	Post pandemi	3.2	-22.0	-3.5	-6.3	-8.2	-5.5
Örnek 3	S1	Pandemi öncesi (Anket sonuçları)						
	S2	Pandemi	14.5	-71.4	-33.7	-20.6	-32.0	-16.7
	S3	Post pandemi	3.4	-25.3	-24.5	-12.9	-18.3	-11.1

Simülasyon sonuçları S1 senaryosuna göre S2 ve S3 senaryolarında artan mekan kullanımına bağlı yıllık toplam enerji tüketimi, enerji maliyeti ve karbon emisyonunun arttığını göstermektedir (Şekil 4. 43). En yüksek artış S2 (pandemi) senaryosunda gerçekleşmiştir. Binaların yıllık toplam soğutma ve aydınlatma yükü artarken ısıtma için ayrılan pay S2 ve S3 senaryolarında iç ısıl yüklerin artışına bağlı gerilemiştir (Çizelge 4. 41). Aydınlatma enerjisindeki artış oranının soğutma enerjisindeki artış oranından daha az olmasının nedeni güç içerisinde çalışma düzleminde yeterli aydınlık düzeyinin gün ışığı ile sağlanması durumunda lambaların kapatılması ve mekan kullanım sıklığının artmasına bağlı soğutma yükünü arttıran iç ısıl kazançlardır.

Mekan kullanım süresi ve sıklığındaki değişimin ve buna bağlı mekanik sistemlerin işletim takviminin yıllık toplam nihai enerji tüketimi ve enerji maliyetlerine etkisi blok bazında EK 34'te verilmiştir. Pandemi senaryosu (S2) için toplam birincil enerji tüketimindeki en yüksek artış Örnek 1'de Blok IV için %20,8 (24,7 kWh/m^2), Örnek 2'de Blok III için %15 (15,7 kWh/m^2-y) ve Örnek 3'te Blok I için %17,8 (21,3 kWh/m^2-y) olarak hesaplanmıştır. Yıllık toplam birincil enerji tüketimi maliyetinde söz konusu konut blokları için sırasıyla %32 (33,2 TL/m^2), %23,1 (23,4 TL/m^2), %33,2'lik (32,7 TL/m^2) bir artış meydana gelmiştir. Yıllık CO_2 emisyonu ortalama %23,8 (Örnek 1, Blok IV), %17,3 (Örnek 2, Blok III), %21,8 (Örnek 3, Blok I) artmıştır.

Post-pandemi senaryosu (S3) için toplam birincil enerji tüketimindeki en yüksek artış Örnek 1'de Blok III (%11,7, 14 kWh/m^2), Örnek 2'de Blok III (%5,9, 6,2 kWh/m^2) ve

Örnek 3'te Blok III'te (%11,8, 14 kWh/m^2-y) meydana gelmiştir. aynı konut blokları için S1 senaryosuna kıyasla S3'te toplam birincil enerji tüketimi maliyetinde sırasıyla %17,6 (18,2 TL/m^2), %8,7 (8,8 TL/m^2), %19'luk (18,6 TL/m^2) bir artış meydana gelmiştir. Ayrıca, Örnek 1, Örnek 2 ve Örnek 3'ün CO_2 emisyonunda ortalama %13,2 %6,7 ve %13,7'lik bir artış olduğu hesaplanmıştır (EK 34).

o) Yenilenebilir enerji – güneş panelleri

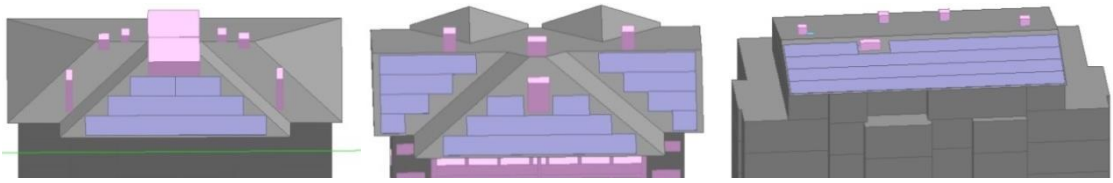
Yaklaşık sıfır enerjili bina (NSEB) hedefi doğrultusunda çalışma kapsamında bir değişken olarak çatı tipi güneş enerjisi santralleri (GES) ele alınmıştır. Bu amaçla öncelikle piyasa araştırması yapılmıştır. Çeşitli solar enerji sistemleri üreticilerinin 2022 yılına ait güneş paneli katalogları incelenmiş, elde edilen verilerden yola çıkarak ortalama modül verimliliğine sahip PV paneller (P_{max}: 440Wp, modül verimi: %20,2) BES modeline eklenmiştir (HT- SAAE, n.d; CW Enerji, n.d., Demir Enerji, n.d.) PV panellerin ilk yatırım, kurulum ve yıllık bakım-onarım maliyetleri toplamı 1Wp için 1,35$ olarak hesaplanmış ve panel ömrü bina hizmet ömrü ile aynı (30 yıl) kabul edilmiştir.

PV1 senaryosu enerji modeli, referans binaların mevcut çatı formu, çatı eğimi, baca ve şaftların neden olduğu gölgeleme dikkate alınarak oluşturulmuştur. PV panel sayısı ve toplam kurulu güç değerleri Örnek 1 için 36 adet 15.84 kWp, Örnek 2 için 74 adet 32.56 kWp, Örnek 3 için 100 adet 44 kWp'dir. PV1 ile aynı panel sayısı ve kurulu güç değerine sahip PV2 senaryosunda PV1'den farklı olarak, coğrafi konum ve enleme bağlı olarak yıllık optimum panel eğim açısı ortalaması Eşitlik 4.1'e göre hesaplanmıştır (Beale, 2022).

$$\text{Optimum Panel Eğim Açısı (°)} = \text{Enlem (°)} \times 0{,}76 + 3{,}1 \qquad \textbf{(4.1)}$$

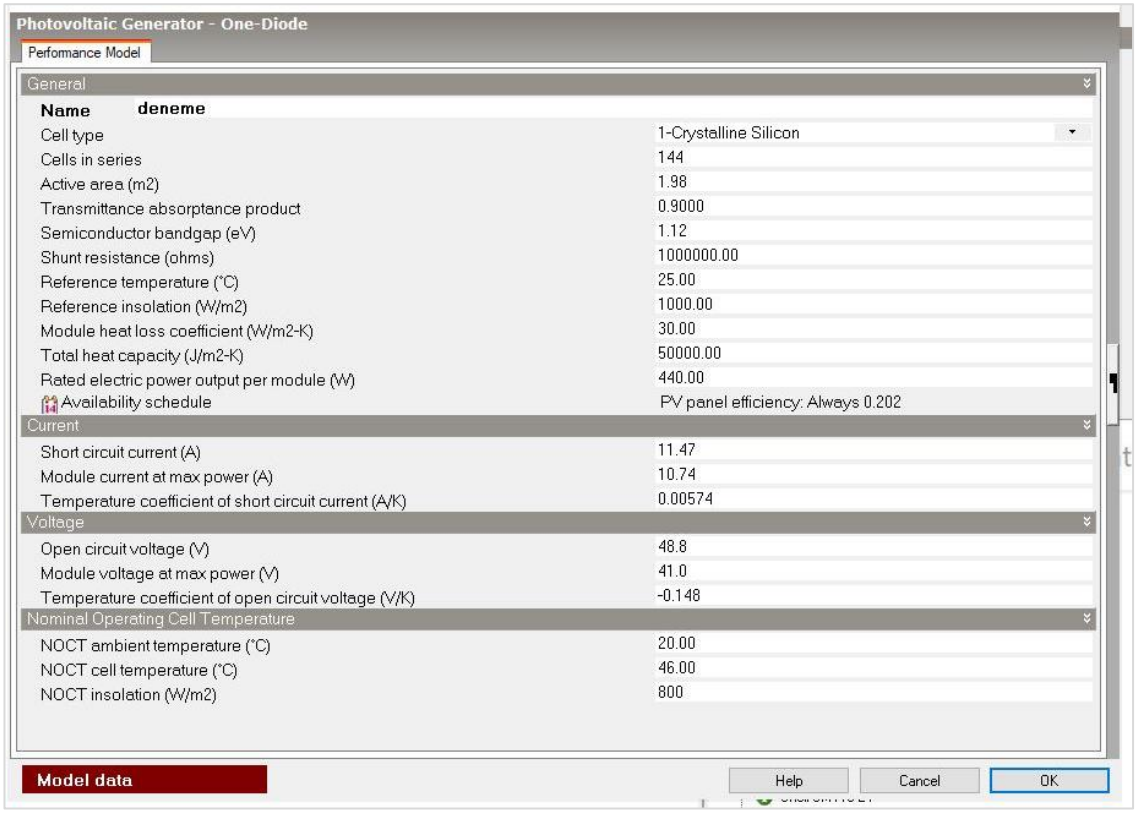
PV panel senaryolarının Designbuilder BES modelleri Şekil 4. 44'te görülmektedir. Güneş panellerinin boyutu, hücre sayısı, modül verimliliği, maksimum güç değeri, açık devre gerilimi ve kısa devre akımı gibi teknik özellikleri BES modeline girilmiştir (Şekil 4. 45). Her iki senaryoda PV paneller beşik ve kırma çatıların yalnızca güneye bakan bölümlerine sabit olarak konumlandırılmış, BES modeli ±90° (D/B) aralığında

döndürülerek her 5°'lik panel yönlenim açısı için simülasyonlar tekrarlanmıştır. Mevcut çatı eğimine (PV1) göre ve iklim bölgesine bağlı optimum panel eğim açısına (PV2) göre kurgulanan senaryolar Çizelge 4. 42'de görülmektedir.



(a) **(b)** **(c)**

Şekil 4. 44. Örnek 1 (a), Örnek 2 (b) ve Örnek 3'e (c) ait PV1 senaryosu BES modelleri



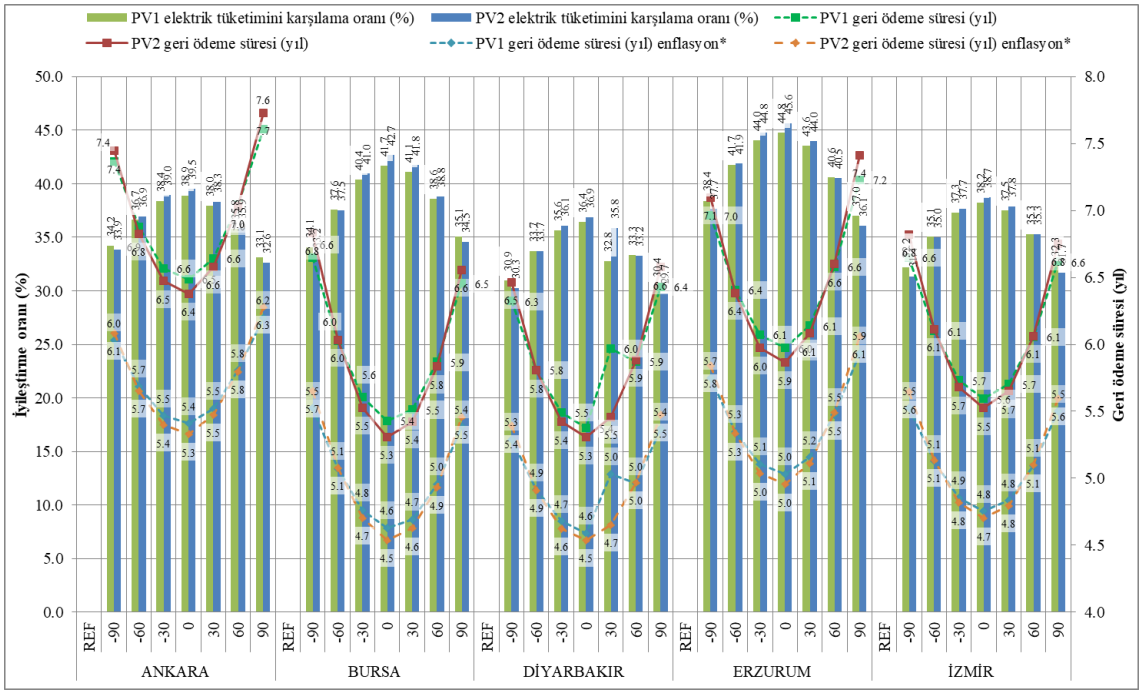
Şekil 4. 45. Piyasa araştırması doğrultusunda seçilen PV panelin teknik özelliklerinin DesignBuilder programına girilmesi

Çizelge 4. 42. Güneş paneli senaryoları ve panel eğim açıları

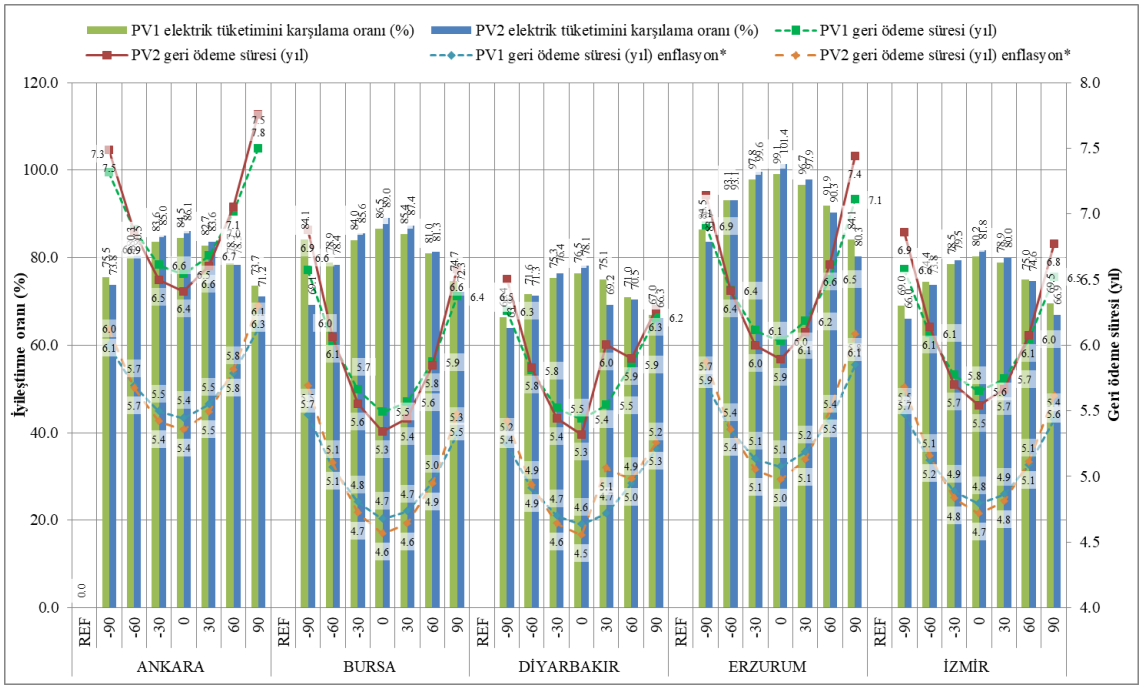
Senaryo	Açıklama	PV panel eğim açısı
PV1 Mevcut çatı eğimi	Örnek 1	22° (%40)
	Örnek 2	20° (%36)
	Örnek 3	10° (%18)
PV2 Optimum panel eğimi	Bursa	33,7°
	İzmir	32,6°
	Diyarbakır	31,9°
	Ankara	33,4°
	Erzurum	33,4°

.

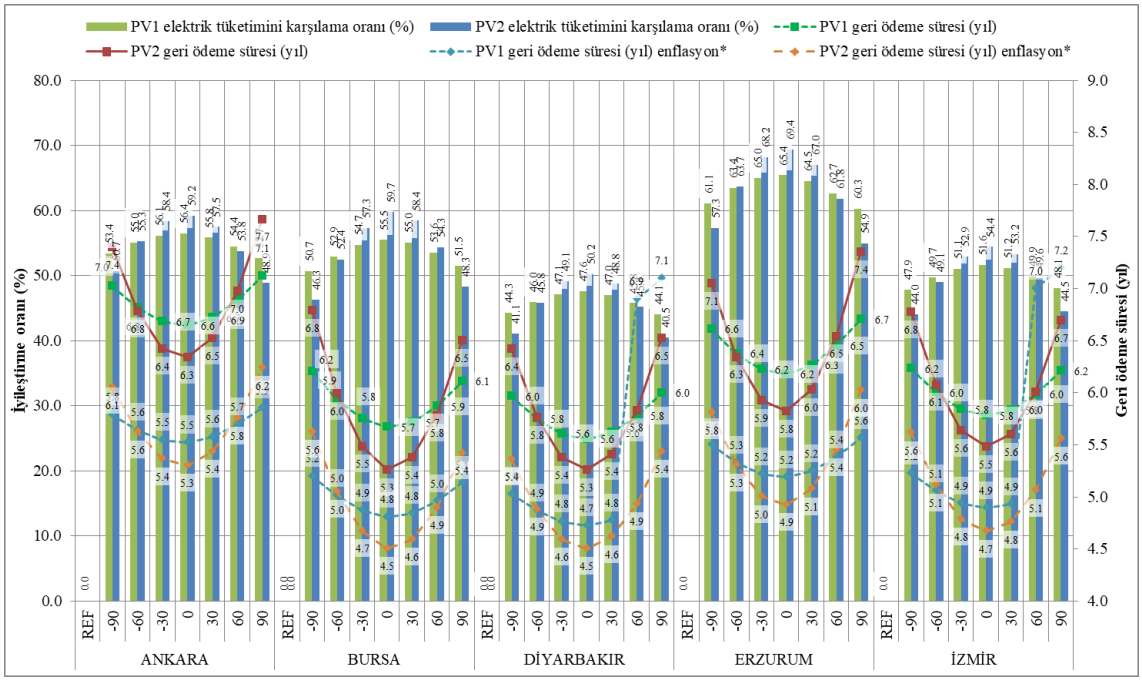
Örnek 1, Örnek 2 ve Örnek 3 için PV1 ve PV2 senaryolarının elektrik enerjisi üretiminin referans binanın yıllık toplam aydınlatma ve soğutma enerjisi tüketimini karşılama oranı ve yatırımın geri ödeme süresi 30°'lik yönlenim adımları için sırasıyla Şekil 4. 46, Şekil 4. 47 ve Şekil 4. 48'de görülmektedir. Tüm blokların 5°'lik panel yönlenim adımları için PV1 ve PV2 senaryolarının yıllık toplam elektrik üretimi kWh/m^2 cinsinden karşılaştırmalı olarak EK 35'te verilmiştir.



Şekil 4. 46. Örnek 1 için PV1 ve PV2 senaryolarının yıllık elektrik tüketimini (aydınlatma + soğutma) karşılama oranı (%) ve geri ödeme süreleri (yıl)



Şekil 4. 47. Örnek 2 için PV1 ve PV2 senaryolarının yıllık elektrik tüketimini (aydınlatma + soğutma) karşılama oranı (%) ve geri ödeme süreleri (yıl)



Şekil 4. 48. Örnek 3 için PV1 ve PV2 senaryolarının yıllık elektrik tüketimini (aydınlatma + soğutma) karşılama oranı (%) ve geri ödeme süreleri (yıl)

Mevcut çatı eğimi (PV1) ve optimal güneş paneli eğimi (PV2) senaryolarında en iyi sonucu veren 0° güney yönlenimi için güneş enerjisinden yıllık elektrik üretimi sonuçları Çizelge 4. 43'te özetlenmiştir.

Çizelge 4. 43. 0° güney yönlenimi için PV1 ve PV2 senaryolarının yıllık elektrik üretimi, yıllık aydınlatma ve soğutma enerjisi tüketimini karşılama oranı ve yatırımın geri ödeme süresi

Site	Senaryo	Panel sayısı ve toplam kurulu güç	PV1 Üretim (kWh)	PV1 elektrik tüketimini karşılama (%)	PV1 geri ödeme süresi (yıl)	PV1 geri ödeme enflasyon dahil* (yıl)	PV2 Üretim (kWh)	PV2 elektrik tüketimini karşılama (%)	PV2 geri ödeme süresi (yıl)	PV1 geri ödeme enflasyon dahil* (yıl)
ÖRNEK 1	ANKARA	36 adet, 15840 Wp	22120	38.9	6.5	5.4	22503	39.5	6.4	5.3
	BURSA		26424	41.7	5.4	4.6	27039	42.7	5.3	4.5
	DİYARBAKIR		26700	36.4	5.4	4.6	27047	36.9	5.3	4.5
	ERZURUM		24029	44.8	6.0	5.0	24470	45.6	5.9	5.0
	İZMİR		25652	38.2	5.6	4.8	25976	38.7	5.5	4.7
ÖRNEK 2	ANKARA	74 adet, 32560 Wp	45117	79.3	6.5	5.4	46002	80.8	6.4	5.4
	BURSA		53710	84.8	5.5	4.7	55228	87.2	5.3	4.6
	DİYARBAKIR		54268	74.0	5.4	4.6	55429	75.6	5.3	4.5
	ERZURUM		48942	91.2	6.0	5.1	50069	93.3	5.9	5.0
	İZMİR		52231	77.8	5.6	4.8	53227	79.3	5.5	4.7
ÖRNEK 3	ANKARA	100 adet, 44000 Wp	59975	56.4	6.6	5.5	62857	59.2	6.3	5.3
	BURSA		70335	55.5	5.7	4.8	75739	59.7	5.3	4.5
	DİYARBAKIR		71758	47.6	5,6	4.7	75762	50.2	5.3	4.5
	ERZURUM		64500	65.4	6.2	5.2	68429	69.4	5.8	4.9
	İZMİR		68960	51.6	5.8	4.9	72685	54.4	5.5	4.7

Sonuçlar, yenilenebilir enerji senaryolarının güneş paneli sayısı ve kurulu güce bağlı olarak binaların elektrik tüketiminin önemli bir bölümünün karşılayabileceğini göstermektedir. Örneğin, en iyi sonucu veren PV2 0° senaryosuna göre 5 ilin simülasyon sonuçlarının ortalaması alındığında, Örnek 1'de aydınlatma ve soğutma enerjisi toplamının %40,7'si, Örnek 2'de %83,2'si, Örnek 3'te %58,6'sı güneş panelleri ile karşılanabilmektedir. Her 3 konut sitesi için PV2'nolu senaryonun geri ödeme süresi ~5,6 yıl, enflasyon verileri hesaba dahil edildiğinde ise ~4,8 yıl olarak hesaplanmıştır.

4.2.2. Duyarlılık analizi sonuçları

Bölüm 4.2'de iklime dayalı detaylı dinamik simülasyon yöntemi ile mimari (pasif) tasarım, bina alt sistemleri (aktif) tasarımına ilişkin iyileştirme senaryoları bağımsız olarak ele alınmış ve bina performans ölçütlerine göre değerlendirilmiştir. Bu bölümde 15 değişken başlığı altındaki 183 seçenek içinden Bursa ili (2. DGB) için yıllık toplam enerji tüketimi, enerji maliyeti ve yatırımın geri ödeme süresi bakımından referans

duruma göre iyileştirme sağlamayan senaryolar elenerek optimizasyon analizinde kullanılacak değişken ve seçenekler belirlenmiştir.

Örnek 1 ve Örnek 3 için cephe yönlenim seçenekleri konut yaşam alanlarının ±90º aralığında güneye yönlendirildiği 37 senaryo ile sınırlandırılmış ancak Örnek 2 için tüm cephe yönlenim açıları optimizasyon seçeneklerine dahil edilmiştir. Birincil enerji tüketiminde iyileştirme sağlamayan %45 ve üzeri saydamlık oranına sahip 16 cephe kuruluş senaryosu elenmiştir. İç gölgeleme elemanları senaryoları arasında bina performans ölçütleri bakımından önemli bir fark olmadığı görülerek, tekstil perde (TP1) dışındaki tüm senaryolar elenmiştir. Dış gölgeleme elemanları birincil enerji tüketiminde iyileştirme sağlamasa da, elektriğin birim fiyatının doğalgazın birim fiyatından yüksek olması nedeniyle yıllık toplam enerji maliyetinde düşüş meydana gelmiştir. Bu nedenle geri ödeme süresi bina hizmet ömrünü aşmayan O1 ve O2 no'lu dış cephe gölgeleme elemanı senaryoları optimizasyon seçeneklerine dahil edilmiştir. Doğrama malzemesi ve profil boyutları senaryoları referans duruma kıyasla yüksek yatırım maliyeti, uzun geri ödeme süresi ve yıllık toplam enerji maliyetine olumsuz etkisi nedeniyle optimizasyon seçenekleri kapsamından çıkarılmıştır.

İç yüzey yansıtma çarpanı senaryoları konut hacimlerinde en fazla yüzey alanına sahip duvar elemanları ile sınırlandırılmış, tavan ($\rho_{tavan:}$0,7) ve döşemenin ($\rho_{döşeme}$:0,3) ışık yansıtma katsayıları sabit kabul edilmiştir. TS EN 15193-1 (2017) standardına göre oluşturulan L2 aydınlatma kurulu güç senaryosunun ilk yatırım maliyetinin hesaplanamaması nedeniyle çalışma kapsamından çıkarılmıştır.

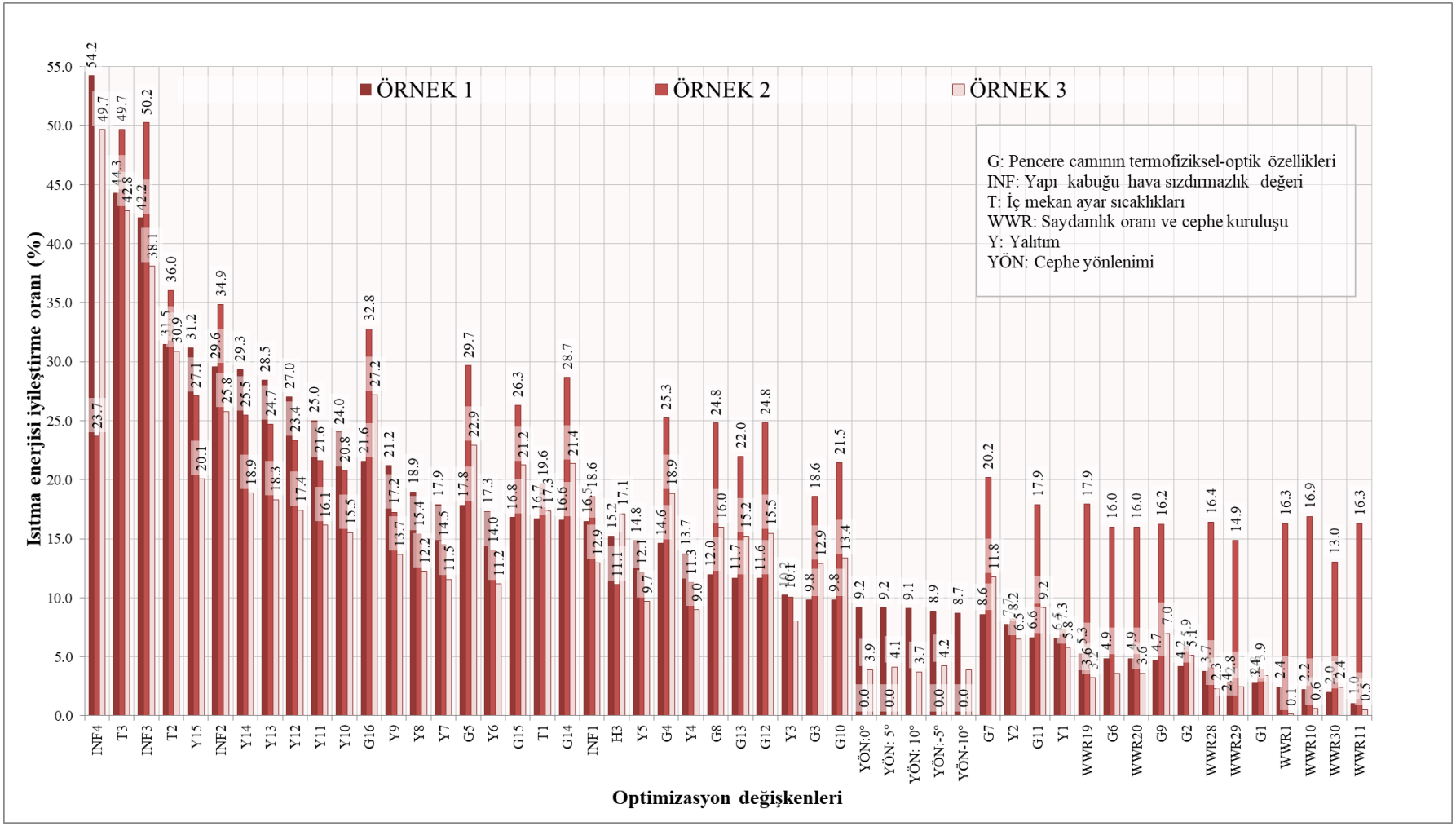
T4 no'lu iç mekan ayar sıcaklığı senaryosu (ısıtma dönemi T_i: 19°C, soğutma dönemi T_i: 28°C) tüm senaryolar arasında birincil enerji tüketimi ve buna bağlı enerji maliyetleri ve karbon emisyonu açısından en yüksek iyileştirmeyi sağlamaktadır. Öte yandan T4, ASHRAE-55 (2017) ve EN 16798-1 (2019) standartlarına göre hem ısıtma hem soğutma döneminde ısıl konfor koşulları sağlanmadığından T4 no'lu senaryo elenmiştir. Optimal çözümlerin ısıl konfor analizlerinde T3 no'lu senaryo için (ısıtma dönemi T_i: 20°C, soğutma dönemi T_i: 27°C) ASHRAE-55'deki tipik giysi yalıtım değerleri ($I_{cl\ kış:}$ 1,0 clo, $I_{cl\ yaz}$: 0,5 clo) alınmıştır.

Referans binadaki kat yüksekliği değişimi (H1, H2, H3) ve cam balkon senaryosu (CB) sürekli veya ayrık bir optimizasyon parametresi olarak simülasyon programına tanımlanamadığından, çalışmanın bir sonraki adımına dahil edilmemiştir. Pandemi sürecinde ve sonrasında konut mekanlarının artan kullanım sıklığına bağlı bina alt sistemleri işletim takvimi senaryoları (S2, S3) mekan ölçeğinde farklılık gösterdiğinden bu seçenekler optimizasyon problemine dahil edilmemiştir.

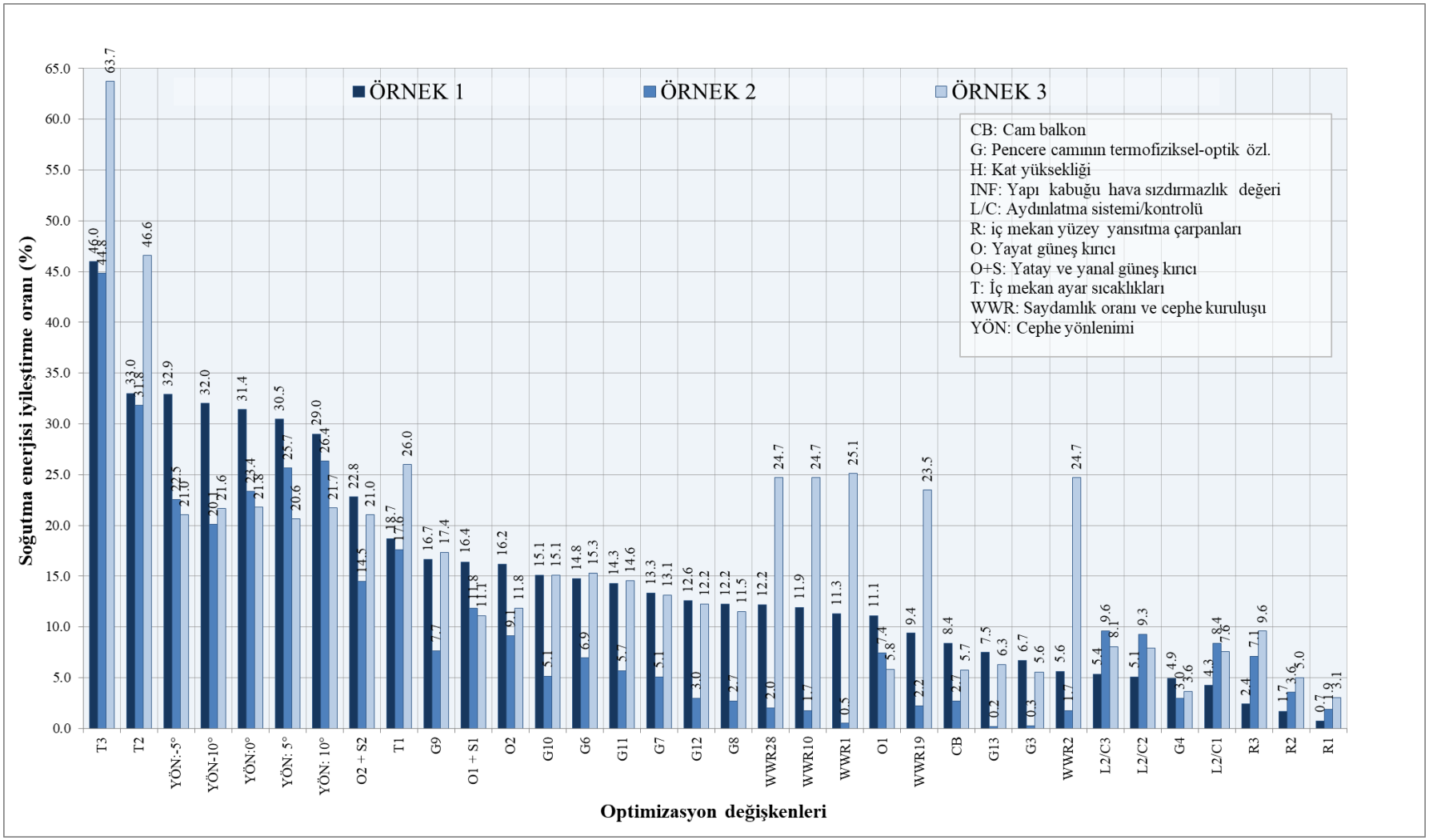
Referans binalara göre ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi tüketiminde iyileştirme sağlayan senaryolar ve iyileştirme oranları soldan sağa artandan azalana doğru sırasıyla Şekil 4. 49, Şekil 4. 50 ve Şekil 4. 51'de verilmiştir. Yatırımın geri ödeme süresi bina hizmet ömrünü aşmayan seçenekler arasından, yıllık toplam birincil enerji tüketimi, enerji tüketim maliyeti ve karbon emisyonu oranlarında iyileştirme sağlayan senaryolar seçilerek Örnek 1, Örnek 2 ve Örnek 3 için sırasıyla Şekil 4. 52, Şekil 4. 53 ve Şekil 4. 54'te sunulmuştur. Referans binaya göre birincil enerji tüketimi açısından en yüksek iyileştirme sağlayan senaryoların bina performans ölçütleriyle ilişkisi Çizelge 4. 44'te simgelerle ifade edilmiştir. Kırmızı ok, ele alınan parmetrenin ilgili bina performans ölçütü için iyileştirme sağlamadığını ve enerji tüketimini arttırdığını, sarı ok sıfır ve sıfıra yakın iyileştirme olduğunu, yeşil ok ise iyileştirme sağladığını göstermektedir.

Çizelge 4. 44. Referans binaya göre birincil enerji tüketiminde genel olarak en yüksek iyileştirme sağlayan senaryoların ele alınan diğer bina performans ölçütlerine etkisi

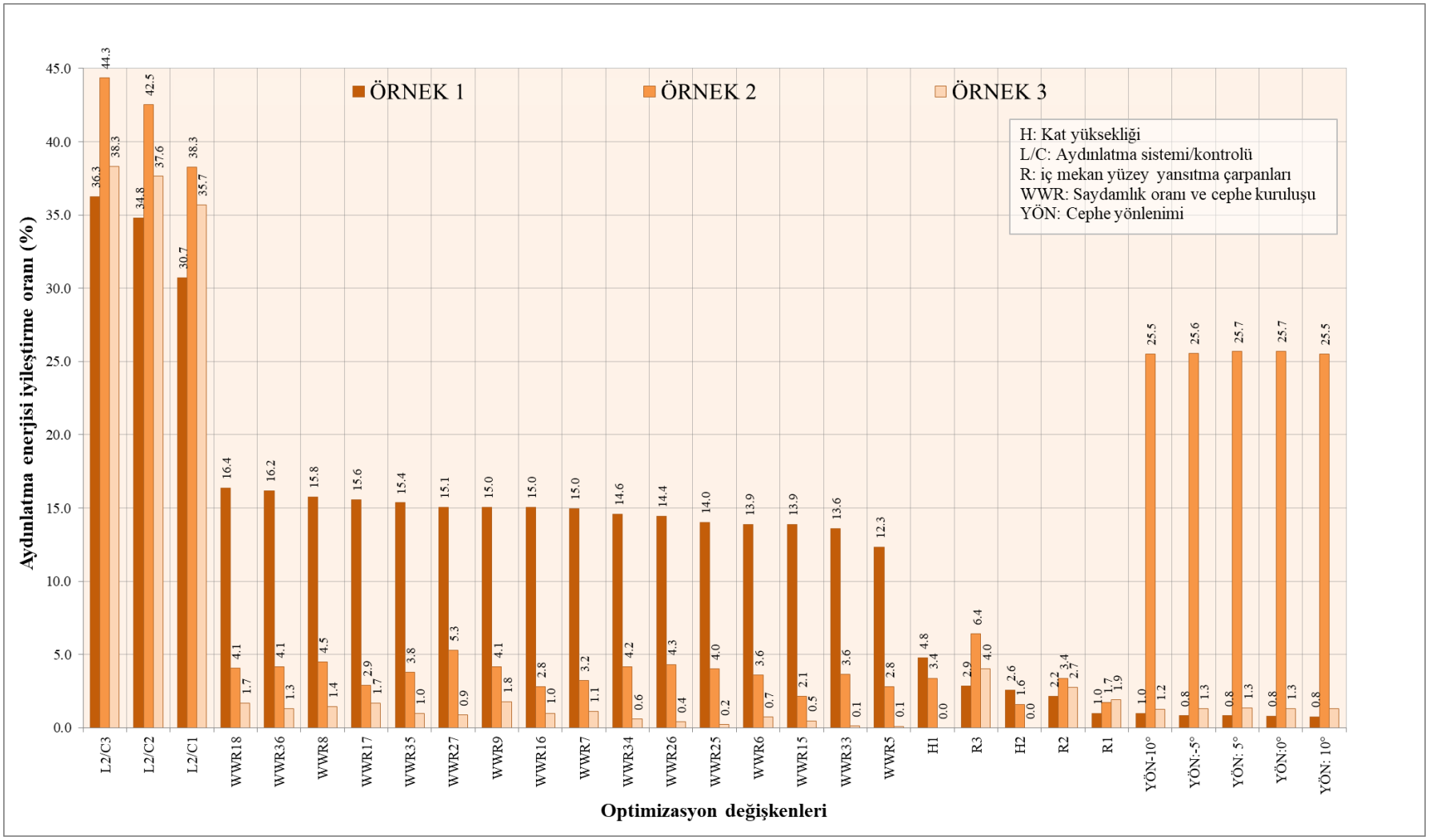
Senaryo	Isıtma Enerjisi (%)	Soğutma Enerjisi (%)	Aydınlatma Enerjisi (%)	CO2 Salımı (%)	Enerji Maliyeti (%)
Cephe yönlenim (-5°/+5°)	↑	↑	↑	↑	↑
Isı yalıtım (Y15)	↑	↓	→	↑	↑
Saydamlık oranı ve cephe kuruluşu (WWR19)	↑	↑	↓	↑	↑
Pencere camının termofiziksel optik özellikleri (G16)	↑	↓	→	↑	↑
Kat yüksekliği (H3)	↑	↑	↓	↑	↑
Doğrama malzemesi ve profil boyutu (D2)	↑	↓	→	↑	↑
Güneş kontrol elemanları (O2)	↓	↑	↓	↓	↑
İç yüzey yansıtma çarpanları (R3)	↓	↑	↑	↑	↑
Aydınlatma senaryoları (L3)	↓	↑	↑	↑	↑
Gün ışığına bağlı aydınlatma kontrolü (C3)	↓	↑	↑	↑	↑
İç mekan ayar sıcaklıkları (T3)	↑	↑	→	↑	↑
Yapı kabuğunun sızdırmazlığı (INF4)	↑	↓	→	↑	↑



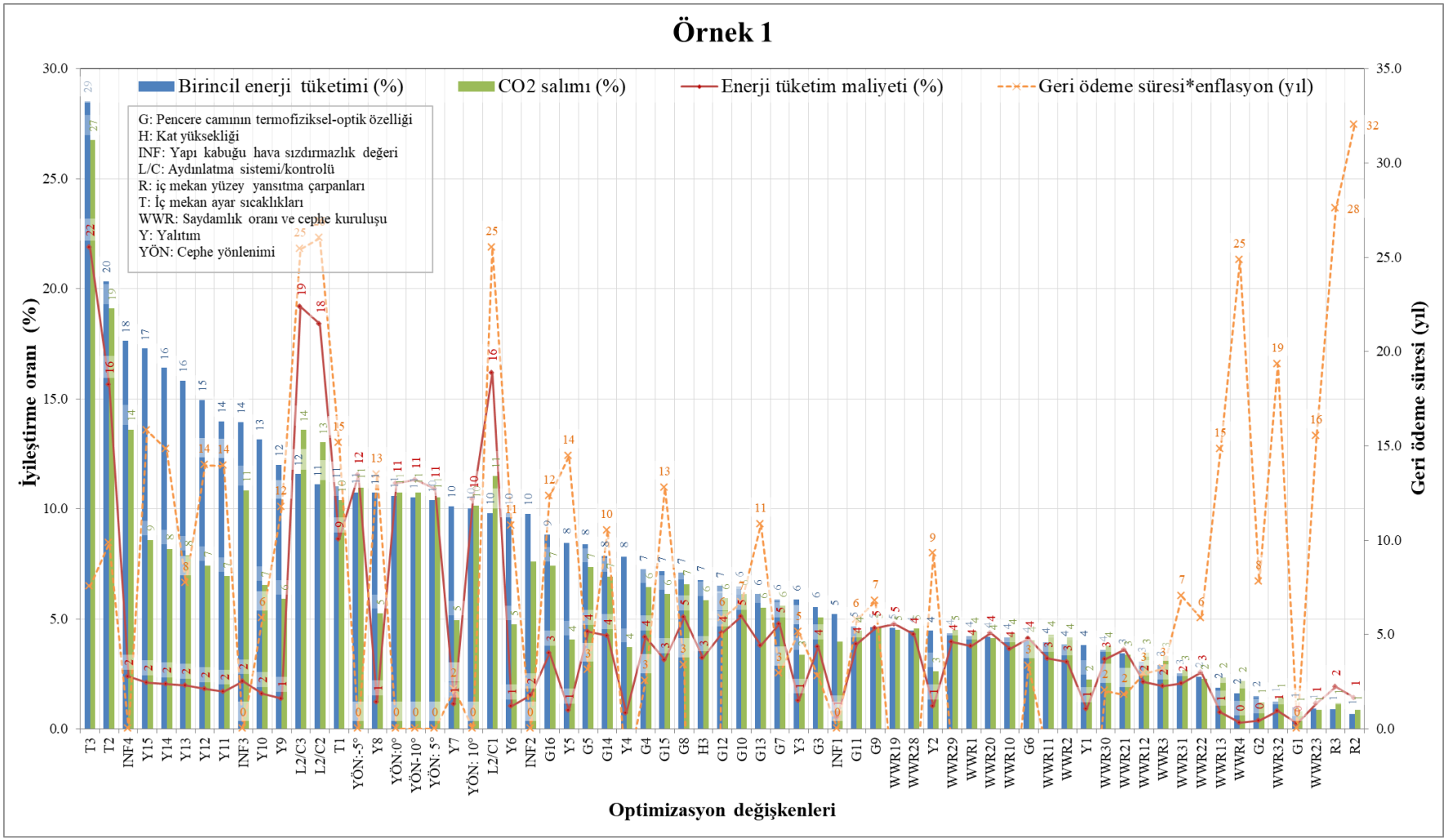
Şekil 4. 49. Referans binalara göre yıllık toplam ısıtma enerjisi tüketiminde iyileştirme sağlayan senaryolar ve iyileştirme oranları (%)



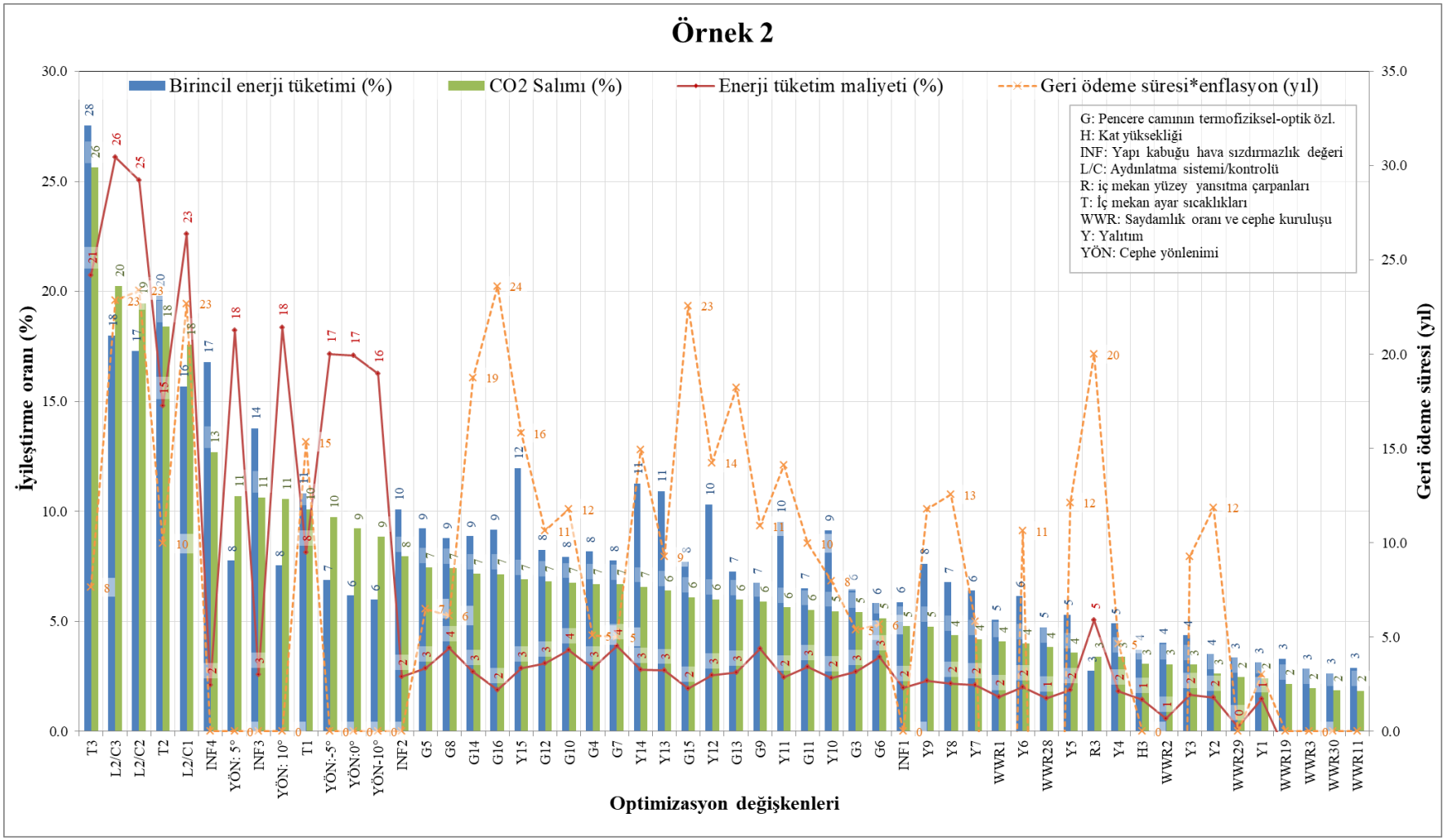
Şekil 4. 50. Referans binalara göre yıllık toplam soğutma enerjisi tüketiminde iyileştirme sağlayan senaryolar ve iyileştirme oranları (%)



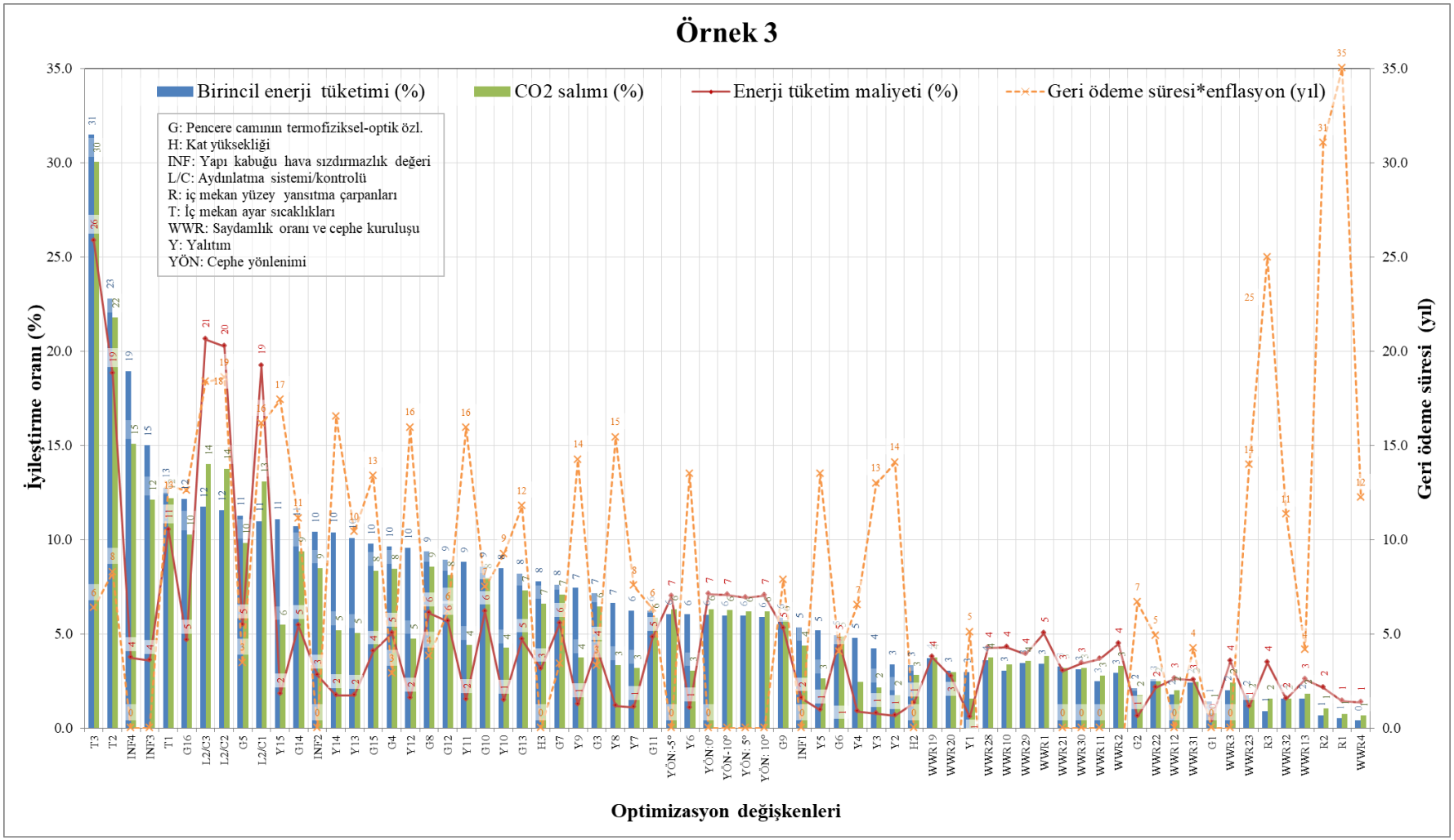
Şekil 4. 51. Referans binalara göre yıllık toplam aydınlatma enerjisi tüketiminde iyileştirme sağlayan senaryolar ve iyileştirme oranları (%)



Şekil 4. 52. Örnek 1'in farklı yöne bakan 4 bloğunun ortalamasına kıyasla birincil enerji tüketimi, enerji tüketim maliyeti ve CO_2 emisyonunda iyileştirme sağlayan senaryoların iyileştirme oranları (%) ve geri ödeme süreleri (yıl)



Şekil 4. 53. Örnek 2'nin farklı yöne bakan 4 bloğunun ortalamasına kıyasla birincil enerji tüketimi, enerji tüketim maliyeti ve CO_2 emisyonunda iyileştirme sağlayan senaryoların iyileştirme oranları (%) ve geri ödeme süreleri (yıl)



Şekil 4. 54. Örnek 3'ün farklı yöne bakan 4 bloğunun ortalamasına kıyasla birincil enerji tüketimi, enerji tüketim maliyeti ve CO_2 emisyonunda iyileştirme sağlayan senaryoların iyileştirme oranları (%) ve geri ödeme süreleri (yıl)

Şekil 4. 52 – Şekil 4. 54'te görüldüğü gibi, iç mekanın ısıtıldığı dönemde oda ayar sıcaklıklarının 23°C'den 20°C'ye düşürülmesi ve soğutulduğu dönemde 24°C'den 27°C'ye çıkarılması (T3) referans binalarda birincil enerji tüketiminin azaltılmasıyla birlikte toplam elektrik ve doğalgaz maliyetlerinde ve karbon emisyonunda en yüksek iyileştirme oranlarını sağlamıştır. Ele alınan BES senaryoları arasında yapı kabuğunun sızdırmazlığının 0,8 ac/h'dan 0,4 ac/h'ye iyileştirilmesi (INF4), aydınlatma sisteminin etkinlik faktörü yüksek LED lambalarla değiştirilmesi ve gün ışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemi kullanılması (L3/C3), doğru cephe yönlenimi (YÖN), ve düşük ısıl geçirgenliğine sahip yalıtım senaryoları (Y15) her üç konut bloğunun enerji performansının iyileştirilmesinde öne çıkmaktadır. Sıralama referans binaya göre farklılık göstermekle birlikte, en yüksek tasarruf sağlayan senaryoları pencere camının termofiziksel optik özellikleri (G16, G5) ve saydamlık oranı - cephe kuruluşu senaryoları (WWR19, WWR20) izlemektedir. Referans binalarda en yüksek iyileştirme sağlayan seçeneklerin birincil enerji tüketimi ve karbon salımına yüzdelik etkisi, yatırımın geri ödeme süresiyle birlikte Çizelge 4. 45'te özetlenmiştir.

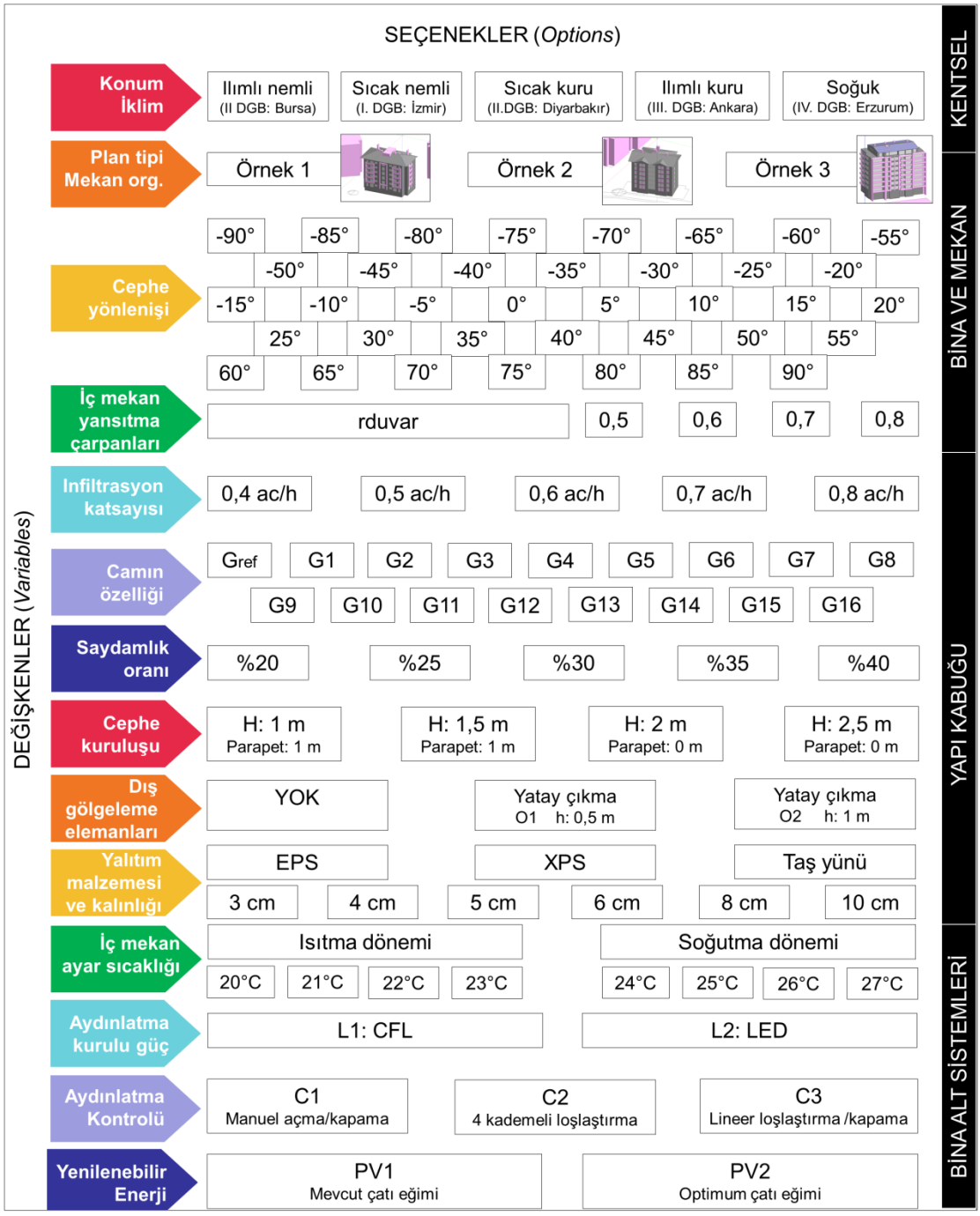
Çizelge 4. 45. Referans binaya göre birincil enerji tüketimi ve karbon emisyonunda en yüksek iyileştirme sağlayan seçenekler, iyileştirme oranları ve geri ödeme süreleri

Senaryo	Açıklama	Birincil enerji iyileştirme (%)			CO2 Salımı iyileştirme (%)			Geri ödeme süresi (yıl*)		
		ÖRNEK 1	ÖRNEK 2	ÖRNEK 3	ÖRNEK 1	ÖRNEK 2	ÖRNEK 3	ÖRNEK 1	ÖRNEK 2	ÖRNEK 3
T3	İç mekan sıcaklığı: 20°C/27°C	28.5	27.5	31.5	26.8	25.6	30.1	7.5	7.6	6.4
INF4	Hava sızdırmazlık kat sayısı 0.4	17.6	16.8	19.0	13.6	12.7	15.1	-	-	-
L2/C3	Aydınlatma: LED - Lineer dim	11.6	18.0	11.8	13.6	20.2	14.0	25.4	22.9	18.4
YÖN	*Referans binaya göre farklı	10.8	7.8	6.1	11.0	10.7	6.3	-	-	-
Y15	Isı yalıtımı: 10 cm XPS	17.3	12.0	11.1	8.6	6.9	5.5	15.8	15.8	17.4
G	*Referans binaya göre farklı	8.8	9.2	12.2	7.4	7.5	10.3	12.3	6.5	12.6
*Geri ödeme süresine enflasyon oranları ortalaması (2017-2021) dahil edilmiştir.										

4.3. BES Tabanlı Optimizasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

BES tabanlı optimizasyon çalışmasının amacı referans binaların birincil enerji tüketiminin minimize edilmesi ve beş farklı iklim bölgesi için maliyet optimum enerji verimlilik seviyelerinin belirlenmesidir. Çalışmanın bu adımında, duyarlılık analiziyle indirgenen tasarım seçenekleri genetik algoritma kullanılarak rastgele seçilmiş ve BES modelinin her

bir iterasyonunda farklı bir değişken kombinasyonu elde edilmiştir. Optimizasyon analizi, her bir referans bina için Şekil 4. 55'te görülen 13 değişkene ait 122 seçeneğin kombinasyonu olan toplam 13 042 944 000 olası tasarım çözümünü içermektedir.



Şekil 4. 55. Optimizasyon analizi kapsamında ele alınan değişken ve seçenekler

Simülasyon hesap süresi 1 yıl (8760 saat), optimizasyon başlangıç nüfüs büyüklüğü 20, yakınsama ölçütü 10 ve maksimum nesil sayısı 100 olarak belirlenmiştir. Her bir referans bina için iterasyonlar sonucunda optimal çözümlerin elde edilmesi yaklaşık 30 gün sürmüş, 10 000 – 12 000 çözüm elde edilmesiyle optimizasyon analizi tamamlanmıştır. Optimizasyon algoritmasına eşitsizlik kısıtı eklenerek birincil enerji tüketimi referans binaların birincil enerji tüketiminden yüksek olan seçenekler elenmiştir. Bir sonraki adımda, MS Excel hesap sonuçlarına bağlı olarak global maliyeti referans binanın global maliyetinden yüksek olan seçenekler elenmiştir. 5 farklı ilde yer alan 3 referans bina için en düşük birincil enerji tüketimi, global maliyet ve karbon emisyonuna sahip tasarım seçenekleri grafik ve çizelgelerle aşağıda sunulmuştur. Çalışmanın son adımında, optimal çözüm kümesi içerisinden enerji ve maliyet odaklı en iyi seçenekler konfor ve gün ışığı performans kriterlerine göre değerlendirilmiştir.

4.3.1. Enerji ve maliyet odaklı (optimal) tasarım seçenekleri

Optimizasyon analizinin ilk adımında, üç konut sitesinin enerji ve maliyet bakımından referans binadan daha iyi performans gösteren çözümlerine ait birincil enerji tüketim ve global maliyet değerleri XY dağılım grafikleri (*scatter plot*) ile ifade edilmiştir. Bu grafiklerdeki her bir nokta Şekil 4. 55'teki tasarım seçeneklerinin farklı bir kombinasyonunu temsil etmektedir.

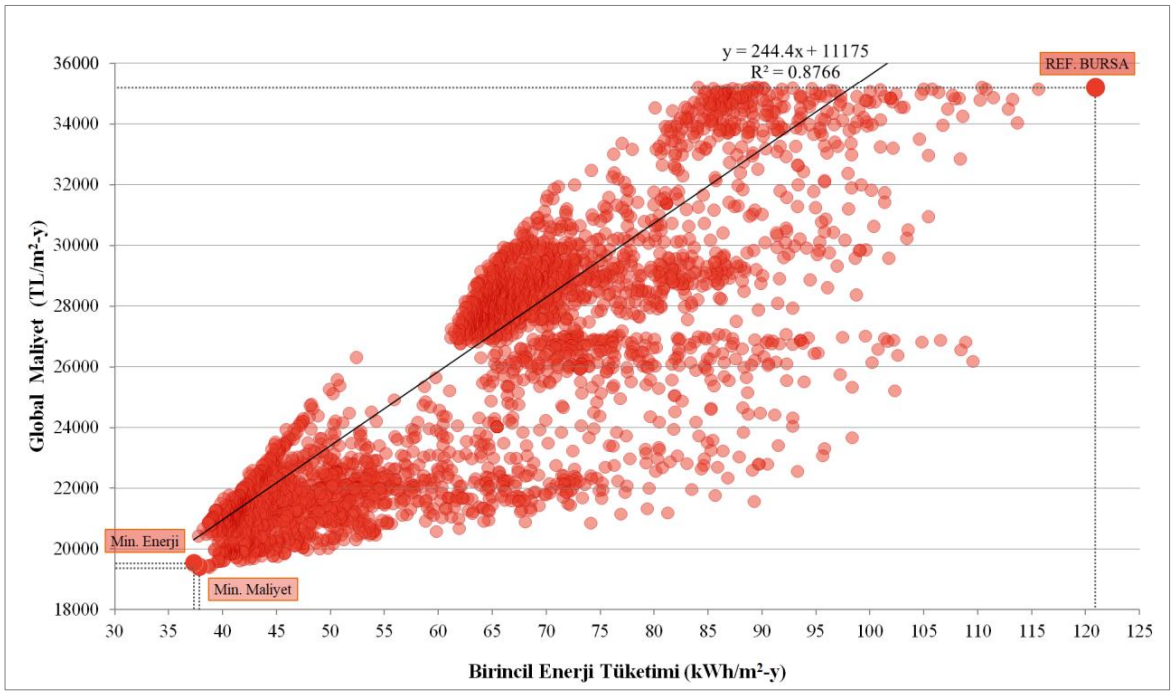
İkinci adımda, beş farklı iklim bölgesi için optimal çözüm kümelerini gösteren XY dağılım grafikleri oluşturulmuş ve iki değişkenli doğrusal regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Ardından, optimal çözüm kümesi içinden referans binaya (R) göre birincil enerji tüketimi minimum (E: *energy-oriented*) ve global maliyeti minimum (M: *cost-oriented*) on çözüm belirlenmiştir. Her il için yaklaşık 2 000 – 2 500 tasarım alternatifi arasından seçilen en iyi çözümlerin, ilk yatırım, bakım-onarım, yenileme - hurda ve işletim - enerji maliyetleri ve birincil enerji tüketim değerlerini karşılaştırmalı olarak ifade eden sütun grafikleri oluşturulmuştur. Enerji odaklı ve maliyet odaklı bu çözümlerin hangi tasarım

seçeneklerinden meydana geldiği ve bina enerji performans ölçütleri için iyileştirme oranları aynı bölümde çizelgeler halinde sunulmuştur.

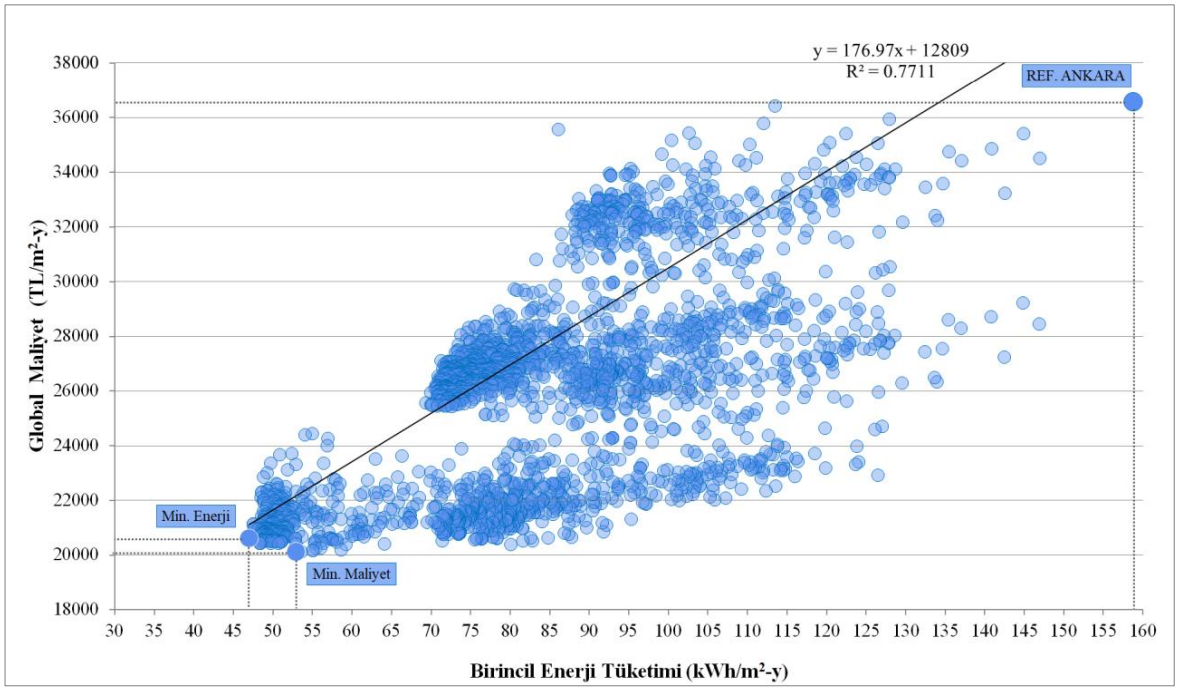
Optimizasyon analizinin son adımında, optimal çözüm kümesi içinden birincil enerji tüketimi ve global maliyet bakımından en iyi performans gösteren ilk yüz çözümün ağırlıklı olarak hangi değişkenlerden (seçenek kombinasyonundan) meydana geldiği belirlenmiştir. Örnek 1, Örnek 2 ve Örnek 3 için optimizasyon sonuçları aşağıda sunulmuştur.

a) Örnek 1

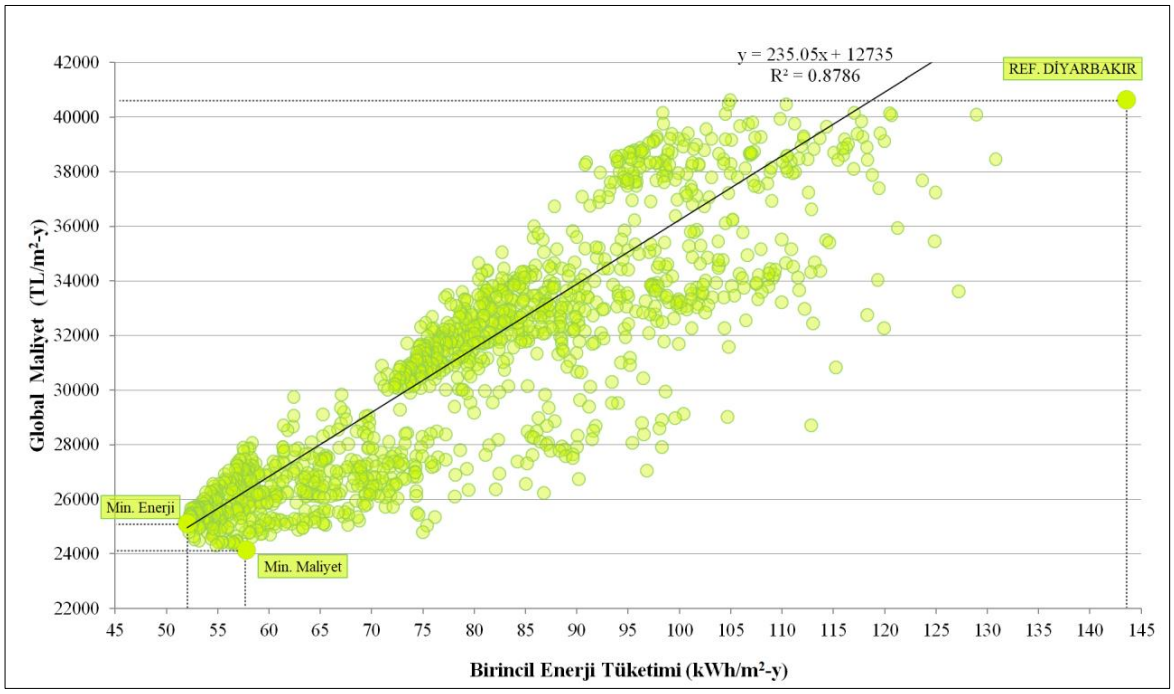
1 no'lu konut sitesinin sırasıyla Bursa, Ankara, Diyarbakır, Erzurum ve İzmir için oluşturulan XY dağılım grafikleri Şekil 4. 56 – Şekil 4. 60'da ve farklı iklim bölgeleri için bir arada EK 36'da verilmiştir. Regresyon modeli ve determinasyon katsayısı (R^2) bulguları global maliyet ile enerji tüketimi arasında aynı yönde ve kuvvetli bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Enerji tüketimindeki bir birimlik artış global maliyette Bursa ili için ortalama 244 TL, Ankara için 177 TL, Diyarbakır için 235 TL, Erzurum için 176 TL ve İzmir için 274 TL'lik bir artışa neden olmaktadır. Binanın uzun dönem işletme - enerji maliyeti haricindeki ilk yatırım, bakım - onarım, yenileme ve hurda maliyetinden oluşan 30 yıllık sabit giderlerinin Bursa, Ankara, Diyarbakır, Erzurum ve İzmir illeri için sırasıyla 11 175 TL/m^2, 12 809 TL/m^2, 12 735 TL/m^2, 10 489 TL/m^2 ve 10 951 TL/m^2'dir. Bağımlı değişken olan global maliyetteki değişimin Bursa için ortalama %87,7'si, Ankara için %77,1'i, Diyarbakır için %87,9'u, Erzurum için %74,8'i ve İzmir için %92'si birincil enerji tüketimi kaynaklıdır.



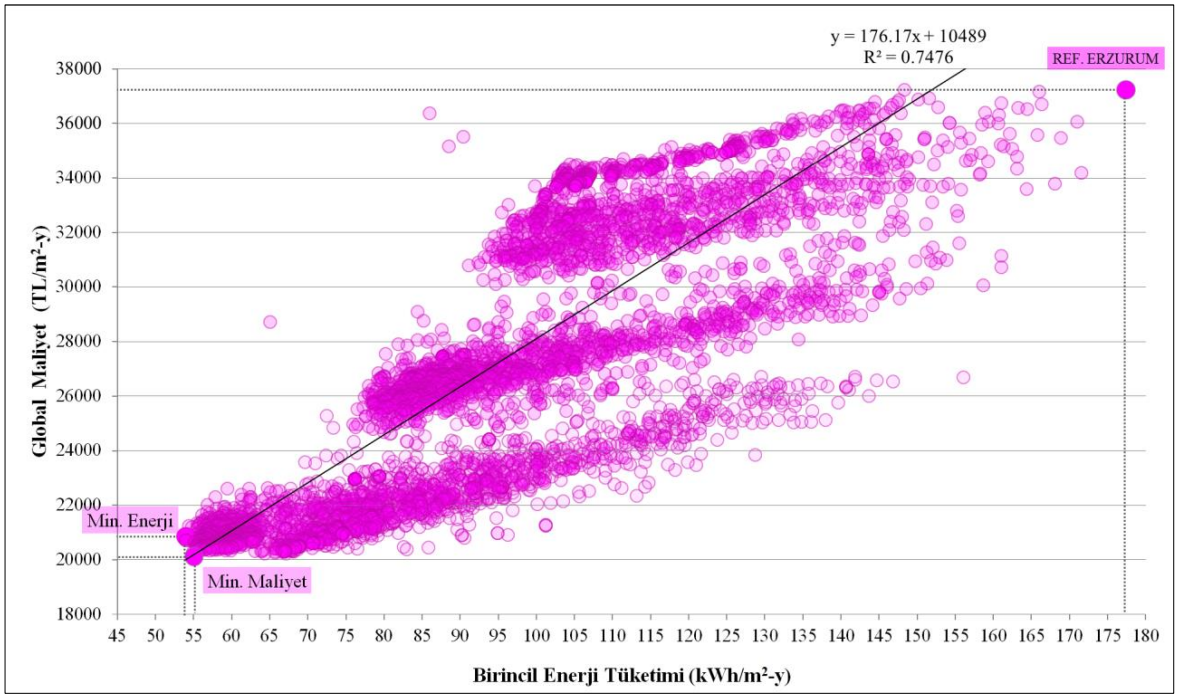
Şekil 4. 56. Örnek 1'in Bursa ili (ılımlı – nemli/2. DGB) için optimal çözüm kümesi



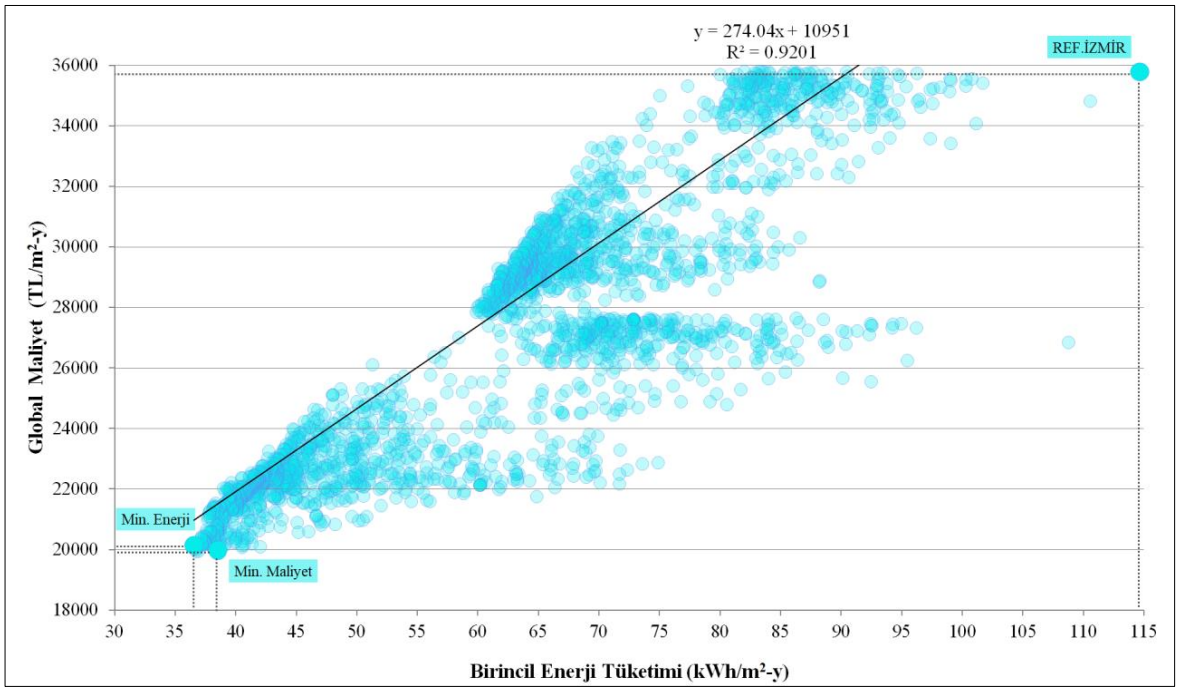
Şekil 4. 57. Örnek 1'in Ankara ili (ılımlı – kuru/3. DGB) için optimal çözüm kümesi



Şekil 4. 58. Örnek 1'in Diyarbakır ili (sıcak – kuru/ 2.DGB) için optimal çözüm kümesi

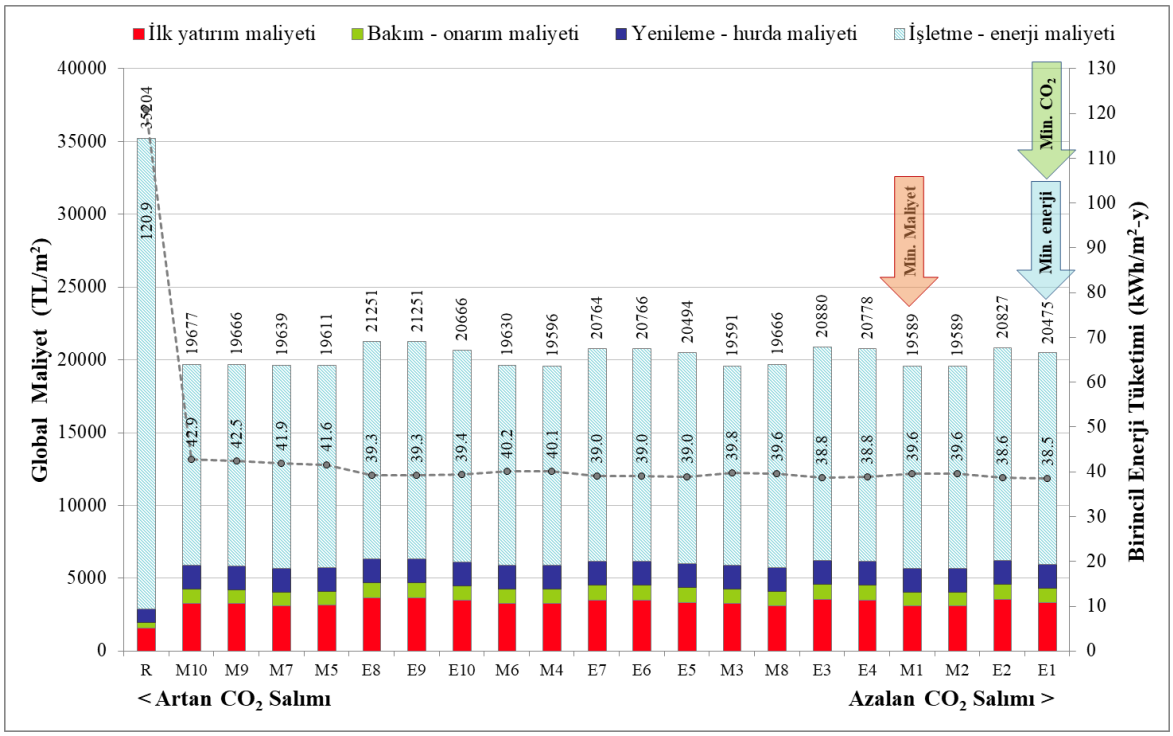


Şekil 4. 59. Örnek 1'in Erzurum ili (soğuk/4. DGB) için optimal çözüm kümesi



Şekil 4. 60. Örnek 1'in İzmir ili (sıcak – nemli/1. DGB) için optimal çözüm kümesi

Şekil 4. 61 – Şekil 4. 65'te 5 il için optimal çözüm kümesi içinden en düşük global maliyet (M) ve enerji tüketimine sahip (E) 20 çözüm verilmiştir. Tasarım çözümleri soldan sağa yıllık toplam birincil enerji tüketimine bağlı azalan karbon emisyonuna göre sıralanmıştır. Bu çözümlerin değişkenlerin hangi seçeneklerinden meydana geldiği ve her bir kombinasyonun bina performans ölçütleri için hangi oranda iyileştirme sağladığı il bazında çizelgeler halinde sunulmuştur (Çizelge 4. 46 – Çizelge 4. 55). Optimizasyon sonuçlarına göre tüm illerde en iyi 100 çözümün ortak olarak ısıtma ayar sıcaklığı 20°C, soğutma ayar sıcaklığı 27°C, aydınlatma sistemi LED'dir.



Şekil 4. 61. Bursa ili için optimizasyon çözümleri içinde en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) seçenekler

Çizelge 4. 46. Bursa ili için Örnek 1'in enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) çözümlerini oluşturan değişkenlerin kombinasyonu

S. No	Yön (°)	Yön Açıklama	INF (ac/h)	ρ_{duvar}	SO	Pencere kuruluş	Cam tipi	Güneş kontrol	Yalıtım malzemesi	Yalıtım kalınlığı	Aydınlatma kontrol	PV1 (%)	PV2 (%)
R	Ref	Ort.	0.8	0.5	27	REF	Gref	YOK	XPS	3 cm	YOK	0.0	0.0
E1	5	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G16	O1	EPS	10cm	C3	78.5	79.7
E2	-10	GD/KB	0.4	0.8	25	1m	G16	O1	Taşyünü	10cm	C3	79.2	80.8
E3	15	GB/KD	0.4	0.8	25	1m	G16	O2	Taşyünü	10cm	C3	76.0	77.1
E4	0	G/K	0.4	0.8	25	1m	G16	O1	XPS	8cm	C3	78.8	80.1
E5	-15	GD/KB	0.4	0.8	20	1m	G16	O1	Taşyünü	8cm	C3	80.5	82.2
E6	0	G/K	0.4	0.8	25	1m	G10	O2	XPS	8cm	C3	79.0	80.3
E7	-5	GD/KB	0.4	0.8	25	1m	G14	O1	XPS	8cm	C3	79.4	80.8
E8	0	G/K	0.4	0.8	30	1m	G16	O1	Taşyünü	10cm	C3	77.0	78.3
E9	0	G/K	0.4	0.8	30	1.5m	G16	O1	Taşyünü	10cm	C3	77.0	78.3
E10	-10	GD/KB	0.4	0.8	25	1m	G9	O2	Taşyünü	10cm	C3	80.5	82.0
M1	-5	GD/KB	0.4	0.8	20	1m	G9	O1	EPS	10cm	C3	85.2	86.7
M2	-5	GD/KB	0.4	0.8	20	1m	G10	O1	EPS	10cm	C3	85.2	86.7
M3	0	G/K	0.4	0.8	20	1m	G10	O1	EPS	10cm	C3	86.6	88.1
M4	-10	GD/KB	0.4	0.8	20	1m	G9	O1	XPS	8cm	C3	87.9	89.6
M5	10	GB/KD	0.5	0.8	20	1m	G8	O1	Taşyünü	10cm	C3	85.1	86.4
M6	0	G/K	0.4	0.8	20	1m	G9	O2	XPS	8cm	C3	86.8	88.2
M7	0	G/K	0.4	0.8	20	1m	G9	O1	EPS	6cm	C3	86.0	87.4
M8	0	G/K	0.4	0.8	20	1.5m	G10	O1	XPS	8cm	C3	84.3	85.7
M9	-10	GD/KB	0.4	0.8	20	1m	G9	O1	EPS	6cm	C3	88.8	90.5
M10	10	GB/KD	0.5	0.8	20	1m	G8	O1	XPS	8cm	C3	87.0	88.4

Çizelge 4. 47. Referans duruma kıyasla Çizelge 4. 46'daki en iyi 10 çözümün bina performans ölçütlerindeki iyileştirme oranları (%)

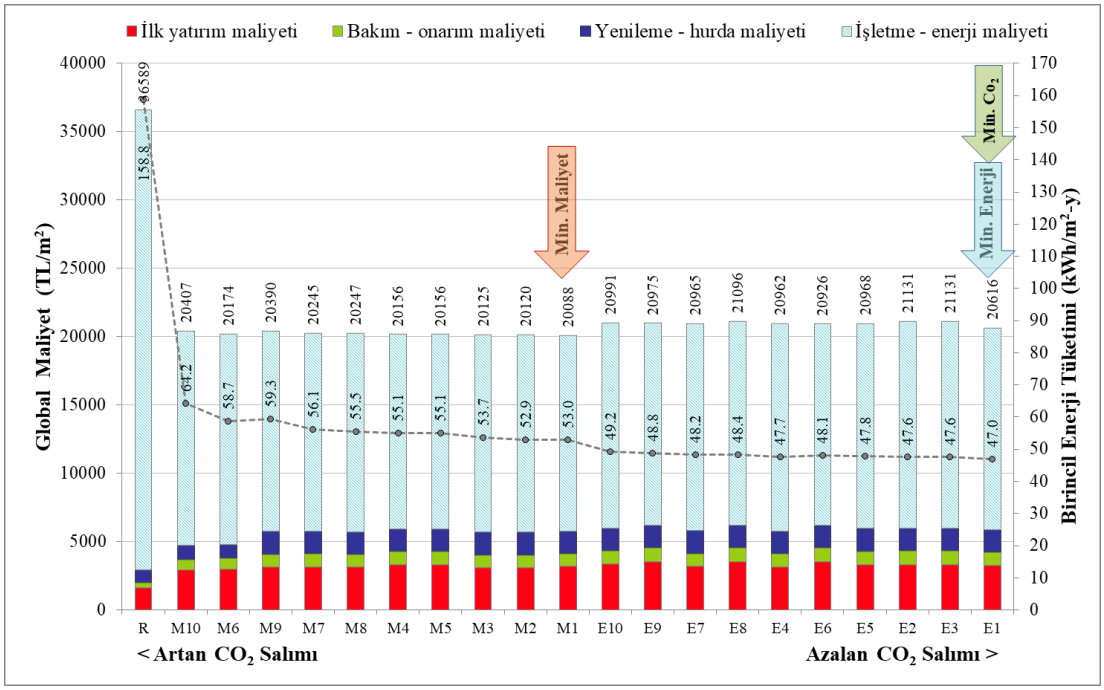
Senaryo No	İyileştirme oranı (%)							
	Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınlat. Enerjisi	CO_2 Emisyonu	Birincil Enerji	Global Maliyet	Global Maliyet PV1	Global Maliyet PV2
E1	94.6	58.6	42.4	65.2	68.1	41.8	64.3	64.6
E2	94.9	53.8	44.3	65.1	68.1	40.8	63.9	64.3
E3	94.9	53.8	44.0	65.0	67.9	40.7	63.2	63.4
E4	94.2	55.0	44.0	65.0	67.9	41.0	63.9	64.2
E5	93.4	59.6	42.2	64.9	67.8	41.8	64.6	65.0
E6	93.7	57.9	42.6	64.9	67.7	41.0	63.9	64.2
E7	93.7	58.0	42.6	64.9	67.7	41.0	64.0	64.3
E8	94.9	49.4	45.1	64.5	67.5	39.6	62.7	63.0
E9	94.9	49.4	45.1	64.5	67.5	39.6	62.7	63.0
E10	92.4	57.8	43.3	64.7	67.4	41.3	64.3	64.6
M1	88.0	63.0	45.3	65.0	67.3	44.4	66.7	67.0
M2	88.0	63.0	45.3	65.0	67.3	44.4	66.7	67.0
M3	86.1	68.2	44.1	64.9	67.0	44.3	66.9	67.2
M4	85.3	68.5	44.2	64.8	66.8	44.3	67.1	67.5
M5	82.7	65.8	45.3	63.7	65.6	44.3	66.4	66.6
M6	85.4	68.5	44.0	64.7	66.8	44.2	66.9	67.1
M7	82.6	65.5	45.0	63.4	65.3	44.2	66.5	66.7
M8	88.3	62.6	45.1	64.9	67.3	44.1	66.5	66.7
M9	80.1	70.2	44.1	63.2	64.9	44.1	66.9	67.2
M10	78.9	71.0	44.1	63.0	64.6	44.1	66.4	66.7

Bursa ili için optimizasyon analizinde elde edilen enerji odaklı en iyi çözüm (E1) ile referans binaya göre birincil enerjide 82,4 kWh/m^2.y (%68,1), karbon emisyonunda 21,6 kg eşd. CO_2/m^2.y (%65,2); maliyet odaklı en iyi çözüm (M1) ile global maliyette 15 615 TL/m^2.30y'lik (%44,4) bir iyileştirme sağlanmıştır. Ayrıca PV1 no'lu senaryo ile, Çizelge 4. 46'daki 20 çözümün ortalaması için yıllık aydınlatma ve soğutma enerjisi tüketiminin %82,4'ünün; PV2 no'lu senaryo ile %83,9'unun karşılanabildiği hesaplanmıştır.

Örnek 1'in Bursa ili için en iyi 100 çözümü incelendiğinde, enerji odaklı çözüm kümesindeki seçeneklerin tamamına yakınında (%97) yapı kabuğu sızdırmazlık katsayısının (INF) 0,4 ac/h olduğu görülmüştür. Çözüm kümesinin %41'i 0° (yaşam alanı G/yatak odaları K) cephe yönlenimine sahiptir. Seçeneklerin %90'ında ρ_{duvar} 0,8, %75'inde saydamlık oranı (SO) %25, %93'ünde pencere ve parapet yüksekliği 1 m'dir. Çözümlerin %33'ünde cam seçeneği G10 (6 mm cam + 16 mm argon + 6 mm cam, T_{vis}: %69, g: %40, U_{cam}: 1,1 W/m^2K), %19'unda G9 (6 mm cam + 16 mm hava + 6 mm cam, T_{vis}: %69, g:

%40, U_{cam}: 1,4 W/m^{2}K) ve diğer %19'unda G16'dır (6 mm cam + 16 mm argon + 6 mm cam, T_{vis}: %80, g: %64, U_{cam}: 1,1 W/m^{2}K). Seçeneklerin %64'ünde güneş kontrol elemanı olarak O1 (yatay çıkma 0,5 m) yer almaktadır. Seçeneklerin %61'inde yalıtım malzemesi taşyünü, %75'inde yalıtım kalınlığı 10 cm'dir. Değişkenlerin kombinasyonunun tamamında (%99) gün ışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemi bulunmaktadır.

Global maliyet açısından Örnek 1'in Bursa ili için en iyi 100 çözümü değerlendirildiğinde, seçeneklerin %80'inde INF 0,4 ac/h olduğu ve %32'sinde cephe yönlenimi 0° (G/K) olduğu görülmüştür. Çözüm kümesinin %90'ında ρ_{duvar} 0,8, %70'inde SO %25, %86'sında pencere kuruluşu 1 m parapet üzeri 1 m cam, %35'inde cam seçeneği G9 ve %28'inde G10'dur. Kombinasyonların %65'inde güneş kontrol elemanı olarak O1 (yatay çıkma 0,5 m) yer almaktadır. Seçeneklerin %55'inde yalıtım malzemesi taşyünü, %30'unda EPS ve toplamın %70'inde yalıtım kalınlığı 10 cm'dir. Tüm seçeneklerin %79'u gün ışığına bağlı aydınlatma kontrol otomasyonunu içermektedir.



Şekil 4. 62. Ankara ili için optimizasyon çözümleri içinde en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) seçenekler

Çizelge 4. 48. Örnek 1'in Ankara ili için enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) ilk 10 çözümünü oluşturan değişkenler (seçeneklerin kombinasyonu)

S. No	Yön (°)	Yön Açıklama	INF (ac/h)	ρ_{duvar}	SO	Pencere kuruluş	Cam tipi	Güneş kontrol	Yalıtım malzemesi	Yalıtım kalınlığı	Aydınlatma kontrol	PV1 (%)	PV2 (%)
R	Ref	Ort.	0.8	0.5	27	Ref	Gref	YOK	XPS	4 cm	YOK	0	0
E1	5	GB/KD	0.4	0.8	20	1.5m	G16	O1	EPS	10cm	C3	68.6	69.2
E2	0	G/K	0.4	0.8	25	1m	G16	O1	Taşyünü	10cm	C3	66.6	67.3
E3	0	G/K	0.4	0.8	25	1m	G16	O1	Taşyünü	10cm	C3	66.6	67.3
E4	-30	GD/KB	0.4	0.8	20	1.5m	G16	O1	EPS	10cm	C3	68.0	69.1
E5	-15	GD/KB	0.4	0.8	25	1m	G14	O1	Taşyünü	10cm	C3	68.9	69.7
E6	0	G/K	0.4	0.8	25	1m	G16	O2	EPS	10cm	C3	69.8	70.5
E7	-15	GD/KB	0.4	0.5	20	1m	G9	O1	XPS	10cm	C3	68.0	68.9
E8	0	G/K	0.4	0.5	25	1m	G16	O2	EPS	10cm	C3	68.9	69.5
E9	-15	GD/KB	0.4	0.8	25	1m	G16	O2	XPS	8cm	C3	71.2	72.1
E10	-10	GD/KB	0.4	0.8	20	1m	G9	O2	EPS	10cm	C3	69.3	70.2
M1	-30	GD/KB	0.4	0.8	20	1m	G9	O1	Taşyünü	10cm	C3	78.2	79.5
M2	0	G/K	0.4	0.8	20	1.5m	G10	O1	EPS	10cm	C3	75.2	75.9
M3	0	G/K	0.4	0.8	20	1.5m	G14	O1	EPS	10cm	C3	75.8	76.5
M4	0	G/K	0.4	0.8	20	1m	G9	O2	EPS	10cm	C3	78.7	79.4
M5	0	G/K	0.4	0.8	20	1m	G10	O2	EPS	10cm	C3	78.7	79.4
M6	0	G/K	0.4	0.8	25	1m	G9	O1	EPS	10cm	C1	72.2	72.8
M7	0	G/K	0.4	0.5	20	1m	G9	O1	Taşyünü	8cm	C3	77.3	78.0
M8	0	G/K	0.4	0.8	20	1.5m	G9	Yok	Taşyünü	8cm	C3	76.4	77.1
M9	-15	GD/KB	0.5	0.8	20	2.5m	G1	O2	XPS	8cm	C3	79.6	80.6
M10	15	GB/KD	0.5	0.8	20	1m	G9	O1	Taşyünü	8cm	C1	71.7	72.2

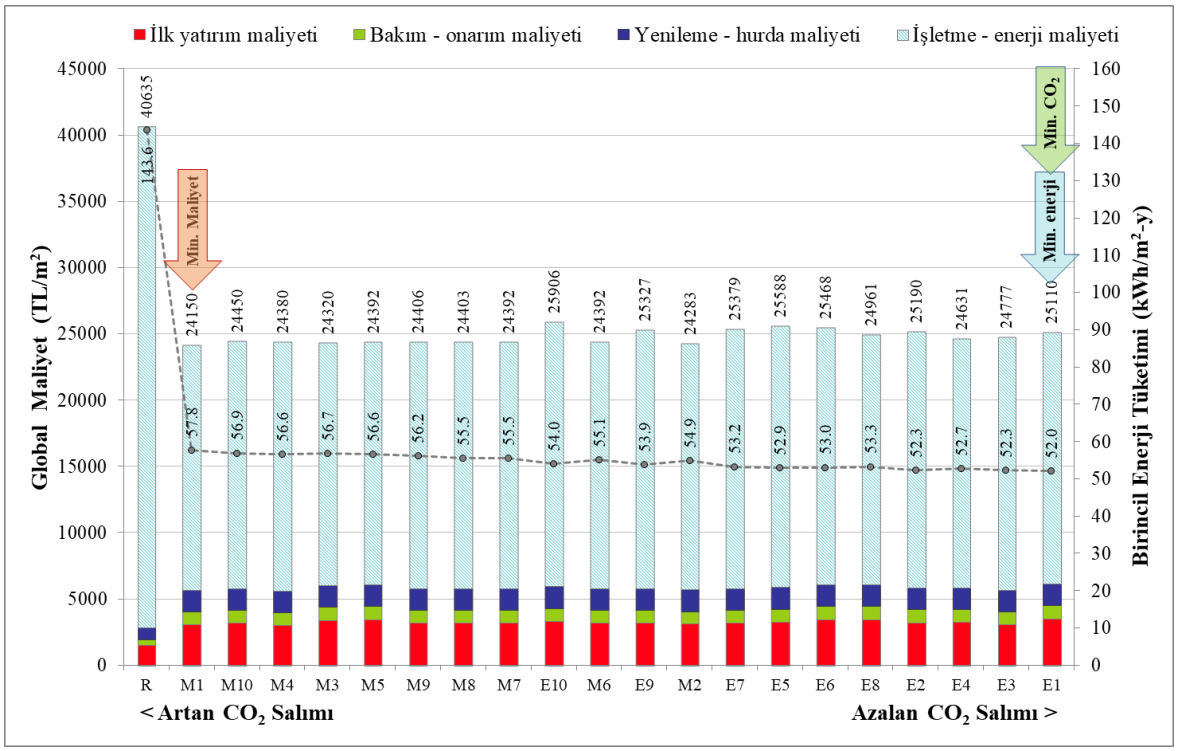
Çizelge 4. 49. Çizelge 4. 48'deki optimizasyon çözümlerine ait iyileştirme oranları

Senaryo No	İyileştirme oranı (%)							
	Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınlatma Enerjisi	CO_2 Emisyonu	Birincil Enerji	Global Maliyet	Global Maliyet PV1	Global Maliyet PV2
E1	86.5	51.8	42.5	67.8	70.4	43.7	62.5	62.6
E2	87.2	40.2	44.1	67.2	70.0	42.2	61.2	61.3
E3	87.2	40.2	44.1	67.2	70.0	42.2	61.2	61.3
E4	87.3	42.3	43.0	67.2	70.0	42.7	61.7	61.9
E5	86.4	46.8	42.9	67.2	69.9	42.7	61.9	62.1
E6	85.0	52.8	42.9	67.2	69.7	42.8	62.1	62.3
E7	86.3	55.0	38.8	66.9	69.6	42.7	61.7	61.8
E8	85.2	51.7	42.3	66.9	69.5	42.3	61.6	61.8
E9	84.2	53.8	42.8	66.8	69.3	42.7	62.2	62.4
E10	84.5	64.1	37.1	66.5	69.0	42.6	61.8	61.9
M1	77.0	66.6	44.0	64.9	66.6	45.1	64.2	64.5
M2	77.6	63.2	44.3	64.9	66.7	45.0	63.7	63.8
M3	76.5	64.5	44.3	64.5	66.2	45.0	63.7	63.8
M4	73.9	74.8	42.9	63.9	65.3	44.9	63.9	64.1
M5	73.9	74.8	42.9	63.9	65.3	44.9	63.9	64.1
M6	73.0	64.6	40.8	61.4	63.0	44.9	62.3	62.4
M7	73.4	70.1	43.5	63.2	64.6	44.7	63.4	63.6
M8	74.4	66.3	44.2	63.5	65.0	44.7	63.4	63.5
M9	69.7	71.8	43.8	61.5	62.6	44.3	63.2	63.4
M10	66.6	74.5	38.4	58.4	59.6	44.2	61.1	61.2

Ankara ili için referans binaya göre E1, birincil enerji tüketiminde 111,8 kWh/m^2.y (%70,4), karbon emisyonunda 28,1 kg eşd. CO_2/m^2.y (%67,8); M1 global maliyette 16 501 TL/m^2.30y'lik (%45,1) bir iyileştirme sağlanmıştır. Şekil 4. 62'deki çözümlerin yıllık toplam aydınlatma ve soğutma enerjisi tüketiminin ortalaması alındığında, PV1 no'lu senaryo ile binaların aydınlatma ve soğutma amaçlı elektrik tüketiminin %72,5'inin, PV2 no'lu senaryo ile 73,3%'ünün karşılanabileceği hesaplanmıştır.

Enerji tüketimi açısından Ankara ili için optimal 100 çözüm analiz edildiğinde, çözümlerin %86'sında yapı kabuğu sızdırmazlık katsayısının 0,4 ac/h olduğu hesaplanmıştır. Çözümlerin %30'unun cephe yönlenim açısı 0°'dir (yaşam alanı G/yatak odaları K). Çözüm kümesinin %68'inde ρ_{duvar} 0,8, %49'unda SO %25 ve %26'sında SO %20'dir. Saydam bileşen özelliği ve kuruluşu bakımından kombinasyonların %24'ünde cam seçeneği G9, %19'unda G16, %51'inde pencere ve parapet yüksekliği 1 m'dir. Optimal çözümlerin %48'inde güneş kontrol elemanı O1 (yatay çıkma 0,5 m), %42'sinde O2 (yatay çıkma 1 m) bulunmaktadır. Tasarım seçeneklerinin %45'inde yalıtım malzemesi olarak EPS ve %38'inde taşyünü, toplamın %61'inde yalıtım kalınlığı 10 cm, %20'sinde 8 cm'dir. Çözüm kümesinin %89'inde yapma aydınlatma sistemi loşlaştırılabilmektedir (C3: %68, C1:%21).

Ankara ili için maliyet optimal çözümler değerlendirildiğinde, yapı kabuğu sızdırmazlık katsayısının çözümlerin %79'unda 0,4 ac/h olduğu hesaplanmıştır. İlk 100 çözümün %30'u 0°, %12'si -15° GD/KB cephe yönlenimine sahiptir. %79'unda duvar iç yüzey yansıtma çarpanı 0,8, %53'ünde SO %25, %62'sinde pencere kuruluşu 1 m, %30'unda cam seçeneği G9 ve %18'inde G10'dur. Seçeneklerin %54'ünde güneş kontrol elemanı O1 (yatay çıkma 0,5 m) yer almaktadır. Optimal çözümlerin %44'ünde dış duvar yalıtım malzemesi olarak taşyünü, %43'ünde EPS kullanılmıştır. Toplamın %59'unda 10 cm ve %19'unda 8 cm kalınlığında yalıtım bulunmaktadır. Çözümlerin %64'ünde lineer loşlatırma (C3) ve %18'inde kademeli loşlaştırma (C2) vardır.



Şekil 4. 63. Diyarbakır ili için optimizasyon çözümleri içinde en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) seçenekler

Çizelge 4. 50. Örnek 1'in Diyarbakır ili için enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) ilk 10 çözümünü oluşturan değişkenler

S. No	Yön (°)	Yön Açıklama	INF (ac/h)	ρ_{duvar}	SO	Pencere kuruluş	Cam tipi	Güneş kontrol	Yalıtım malzemesi	Yalıtım kalınlığı	Aydınlatma kontrol	PV1 (%)	PV2 (%)
R	Ref	Ort.	0.8	0.5	27	Ref	Gref	YOK	XPS	3 cm	YOK	0.0	0.0
E1	0	G/K	0.4	0.8	25	1m	G14	O2	Taşyünü	10cm	C3	56.8	62.1
E2	0	G/K	0.4	0.8	25	1m	G16	O1	EPS	10cm	C3	55.3	60.5
E3	20	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G12	O1	EPS	10cm	C3	58.7	58.8
E4	0	G/K	0.4	0.8	20	1m	G3	O2	EPS	10cm	C3	57.9	63.3
E5	10	GB/KD	0.4	0.8	25	1m	G16	O1	Taşyünü	10cm	C2	57.6	58.1
E6	0	G/K	0.4	0.5	25	1m	G8	O2	Taşyünü	10cm	C3	55.6	60.8
E7	-30	GD/KB	0.4	0.8	25	1m	G8	O1	EPS	10cm	C3	60.8	61.6
E8	-15	GD/KB	0.4	0.8	25	1m	G3	O2	Taşyünü	10cm	C3	63.6	64.4
E9	30	GB/KD	0.4	0.8	20	1.5m	G9	O2	EPS	10cm	C3	56.1	56.0
E10	0	G/K	0.4	0.8	30	1m	G16	O1	XPS	8cm	C3	53.7	58.7
M1	15	GB/KD	0.5	0.8	20	1m	G9	O1	EPS	10cm	C3	64.3	64.7
M2	5	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G10	O1	Taşyünü	10cm	C1	64.0	64.4
M3	-5	GD/KB	0.4	0.8	25	1m	G9	O2	EPS	10cm	C3	67.3	68.0
M4	0	G/K	0.4	0.8	20	1.5m	G1	O1	XPS	6cm	C3	59.4	64.9
M5	-15	GD/KB	0.4	0.8	25	1m	G9	O2	Taşyünü	10cm	C3	67.9	68.7
M6	-5	GD/KB	0.4	0.8	25	1m	G2	O1	Taşyünü	10cm	C3	65.1	65.7
M7	-5	GD/KB	0.4	0.8	25	1m	G1	O1	Taşyünü	10cm	C3	65.2	65.9
M8	0	G/K	0.4	0.8	25	1m	G1	O1	Taşyünü	10cm	C3	59.7	65.3
M9	-5	GD/KB	0.4	0.8	25	1m	G9	O1	Taşyünü	10cm	C3	65.4	66.1
M10	10	GB/KD	0.4	0.8	25	1m	G10	O1	XPS	8cm	C3	63.7	64.2

Çizelge 4. 51. Çizelge 4. 50'deki optimizasyon çözümlerine ait iyileştirme oranları

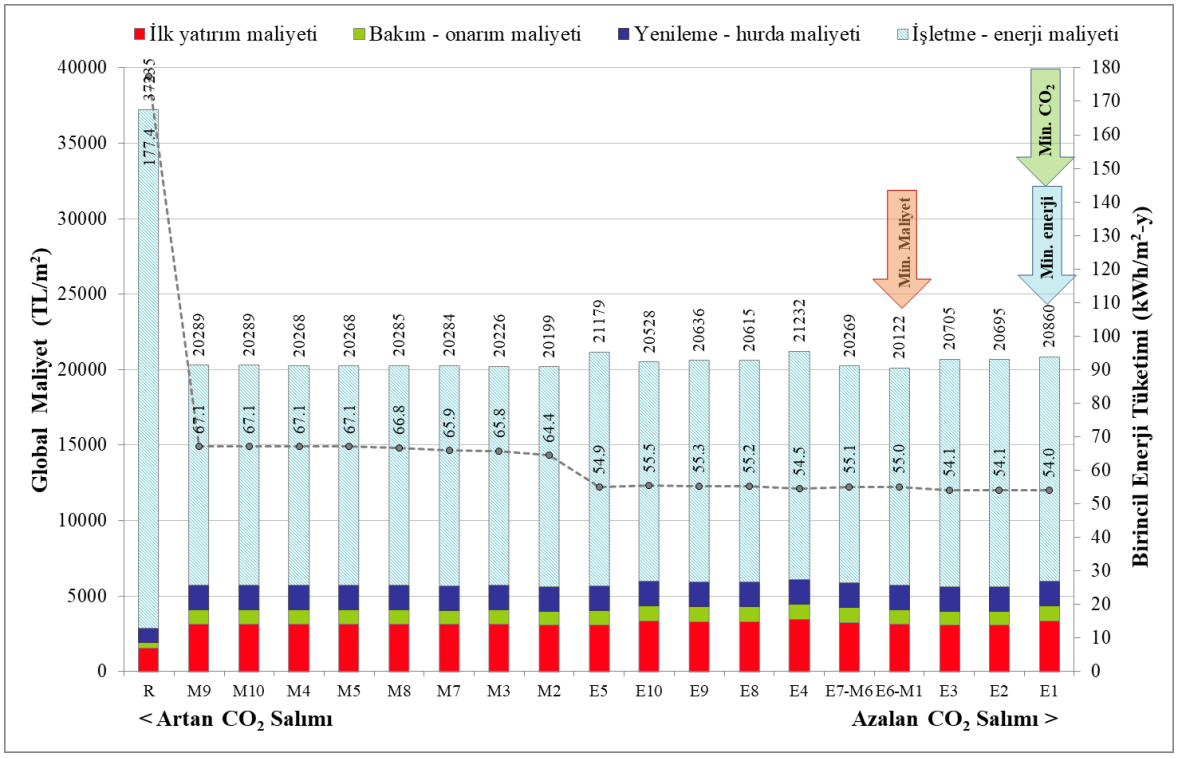
Senaryo No	İyileştirme oranı (%)							
	Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınlat. Enerjisi	CO_2 Emisyonu	Birincil Enerji	Global Maliyet	Global Maliyet PV1	Global Maliyet PV2
E1	90.4	45.0	40.2	60.7	63.8	38.2	56.8	58.0
E2	92.0	36.2	44.5	60.4	63.6	38.0	56.2	57.4
E3	90.7	46.1	38.3	60.5	63.6	39.0	57.6	57.6
E4	88.0	48.4	39.3	60.4	63.3	39.4	57.6	58.9
E5	92.4	35.6	42.8	59.8	63.1	37.0	56.1	56.2
E6	90.4	44.9	37.9	59.9	63.0	37.3	55.8	57.1
E7	91.2	38.4	41.6	59.7	62.9	37.5	57.1	57.3
E8	87.4	45.1	41.6	60.1	62.9	38.6	58.5	58.6
E9	89.6	44.7	37.3	59.4	62.5	37.7	56.0	56.0
E10	91.6	30.9	45.5	59.1	62.4	36.2	54.5	55.7
M1	76.4	48.7	44.5	57.9	59.8	40.6	59.3	59.4
M2	82.7	47.8	42.6	59.4	61.8	40.2	59.3	59.4
M3	77.4	49.7	44.6	58.5	60.5	40.1	59.9	60.0
M4	80.1	45.1	44.6	58.3	60.6	40.0	58.0	59.2
M5	77.8	49.5	44.5	58.6	60.6	40.0	59.9	60.1
M6	82.2	44.0	45.8	59.2	61.6	40.0	59.4	59.5
M7	81.5	44.3	45.8	59.1	61.4	40.0	59.4	59.5
M8	81.6	44.2	45.8	59.0	61.4	39.9	58.1	59.4
M9	80.2	44.7	45.8	58.7	60.9	39.9	59.3	59.5
M10	79.0	44.7	45.9	58.2	60.4	39.8	58.8	58.9

Diyarbakır ili için referans binaya göre E1 birincil enerjide 91,5 kWh/m^2.y (%63,8), karbon emisyonunda 23,8 kg eşd. CO_2/m^2.y (%60,7); M1 global maliyette 16 485 TL/m^2.30y'lik (%40,6) bir iyileştirme sağlanmıştır. En iyi 20 çözümün ortalamasına göre, PV1 no'lu senaryo yıllık toplam aydınlatma ve soğutma enerjisi tüketiminin %60,9'unu, PV2 no'lu senaryo ise %63,1'ini karşılamaktadır.

Enerji tüketimi açısından Diyarbakır ili için ilk 100 çözüm analiz edildiğinde, seçeneklerin %78'inde yapı kabuğu sızdırmazlığının 0,4 ac/h olduğu hesaplanmıştır. Seçeneklerin %26'sı 0°, %12'si -15° GD/KB cephe yönlenimine sahiptir. Çözümlerin %78'inde ρ_{duvar} 0,8, %46'sında SO %25, %57'sinde pencere kuruluşu 1 m, %20'sinde cam seçeneği G9 ve %13'ünde G4 (4 mm cam + 16 mm hava + 4 mm cam, T_{vis}: %29, g: %56, U_{cam}: 1,3 W/m^2K)'tür. İlk 100 çözümün %46'sında yalıtım malzemesi olarak taşyünü, %35'inde EPS, toplamın %67'sinde 10 cm yalıtım kalınlığı kullanılmıştır. Diyarbakır ili için enerji odaklı çözümlerin %51'inde güneş kontrol elemanı O2 (yatay çıkma 1 m), %42'sinde O1 (yatay çıkma 0,5 m) bulunmaktadır. Enerji odaklı çözümlerin %91'inde gün ışığına bağlı

aydınlatma kontrol sistemi (%74 lineer loşlaştırma, %19 kademeli loşlaştırma) bulunmaktadır.

Enerji odaklı çözümlere benzer şekilde maliyet odaklı ilk 100 çözümde de yapı kabuğu infiltrasyon katsayısının seçeneklerin %60'ında 0,4 ac/h olduğu tespit edilmiştir. Seçeneklerin %25'inde cephe yönlenimi 0° (yaşam alanı G/yatak odaları K) sahiptir. Çözüm kümesinin %80'inde ρ_{duvar} 0,8, %55'inde SO %25, %65'inde pencere kuruluşu 1 m parapet üzeri 1 m camdır. Değişkenlerin kombinasyonundaki cam seçenekleri incelendiğinde, çözümlerin %25'inde G9, %21'inde G10 kullanıldığı hesaplanmıştır. Maliyet optimal çözümlerin tamamına yakınında güneş kontrol elemanı bulunmaktadır (%42 O1; %56 O2). İlk 100 seçeneğin %46'sında yalıtım malzemesi taş yünü, %34'ünde EPS ve %67'sinde yalıtım kalınlığı 10 cm'dir. Çözüm kümesinin %77'sinde gün ışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemi (%67 C3, %10 C2) bulunmaktadır.



Şekil 4. 64. Erzurum ili için optimizasyon çözümleri içinde en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) seçenekler

Çizelge 4. 52. Erzurum ili için Örnek 1'in enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) ilk 10 çözümünü oluşturan seçeneklerin kombinasyonu

S. No	Yön (°)	Yön Açıklama	INF (ac/h)	ρ_{duvar}	SO	Pencere kuruluş	Cam tipi	Güneş kontrol	Yalıtım malzemesi	Yalıtım kalınlığı	Aydın. kontrol	PV1 (%)	PV2 (%)
R	Ref	Ort.	0.8	0.5	27	Ref	Gref	YOK	XPS	5,5 cm	YOK	0.0	0.0
E1	0	G/K	0.4	0.8	25	1m	G16	YOK	Taşyünü	10cm	C3	77.5	78.3
E2	0	G/K	0.4	0.8	30	2m	G16	YOK	Taşyünü	10cm	C3	79.1	79.9
E3	10	GB/KD	0.4	0.8	25	1m	G16	YOK	Taşyünü	10cm	C3	75.8	76.5
E4	0	G/K	0.4	0.8	35	2m	G16	O1	Taşyünü	10cm	C3	77.3	78.0
E5	-10	GD/KB	0.4	0.8	30	1m	G16	YOK	Taşyünü	10cm	C3	75.7	76.8
E6-**M1**	0	G/K	0.4	0.8	20	1m	G16	YOK	EPS	10cm	C3	84.1	84.9
E7-M6	0	G/K	0.4	0.8	25	1m	G16	YOK	EPS	10cm	C3	83.9	84.7
E8	10	GB/KD	0.4	0.8	25	1m	G16	YOK	Taşyünü	10cm	C2	79.6	80.3
E9	5	GB/KD	0.4	0.8	25	1m	G16	O1	Taşyünü	10cm	C2	80.5	81.1
E10	0	G/K	0.4	0.8	30	1m	G16	O1	EPS	10cm	C3	82.7	83.5
M2	0.0	G/K	0.4	0.8	20	2.5m	G9	YOK	Taşyünü	10cm	C3	90.8	91.6
M3	-20	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G1	YOK	Taşyünü	10cm	C3	95.2	96.7
M4	-10	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G9	YOK	Taşyünü	10cm	C3	95.1	96.4
M5	-10	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G9	YOK	Taşyünü	10cm	C3	95.1	96.4
M7	10	GB/KD	0.4	0.8	20	1.5m	G9	YOK	Taşyünü	10cm	C3	89.9	90.7
M8	10	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G2	YOK	XPS	8cm	C1	91.1	91.9
M9	10	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G10	YOK	Taşyünü	10cm	C3	91.6	92.5
M10	10	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G10	O1	Taşyünü	10cm	C3	91.6	92.5

Çizelge 4. 53. Çizelge 4. 52'deki optimizasyon çözümlerine ait iyileştirme oranları

Senaryo No	İyileştirme oranı (%)							
	Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınlat. Enerjisi	CO_2 Emisyonu	Birincil Enerji	Global Maliyet	Global Maliyet PV1	Global Maliyet PV2
E1	81.6	43.1	45.5	67.4	69.6	44.0	63.9	64.0
E2	82.1	38.3	45.5	67.2	69.5	44.4	63.8	63.9
E3	82.1	37.7	45.6	67.2	69.5	44.4	63.5	63.6
E4	81.8	34.6	46.4	67.0	69.3	43.0	63.0	63.1
E5	82.4	25.6	46.6	66.6	69.1	43.1	62.7	62.9
E6-**M1**	79.1	64.6	43.2	67.1	69.0	46.0	65.6	65.7
E7-M6	79.2	58.6	44.9	67.1	69.0	45.6	65.3	65.4
E8	79.8	56.9	43.3	66.9	68.9	44.6	64.1	64.2
E9	79.8	57.2	43.1	66.8	68.8	44.6	64.2	64.3
E10	79.2	51.9	46.0	66.8	68.7	44.9	64.7	64.9
M2	69.4	75.5	44.9	62.6	63.7	45.8	65.2	65.3
M3	67.7	80.2	45.0	62.0	62.9	45.7	65.6	65.8
M4	66.4	81.6	45.2	61.4	62.2	45.6	65.3	65.5
M5	66.4	81.6	45.2	61.4	62.2	45.6	65.3	65.5
M7	67.9	77.5	45.1	61.9	62.9	45.5	64.7	64.8
M8	66.8	80.7	44.9	61.6	62.4	45.5	64.7	64.9
M9	66.4	81.5	45.1	61.4	62.2	45.5	64.8	64.9

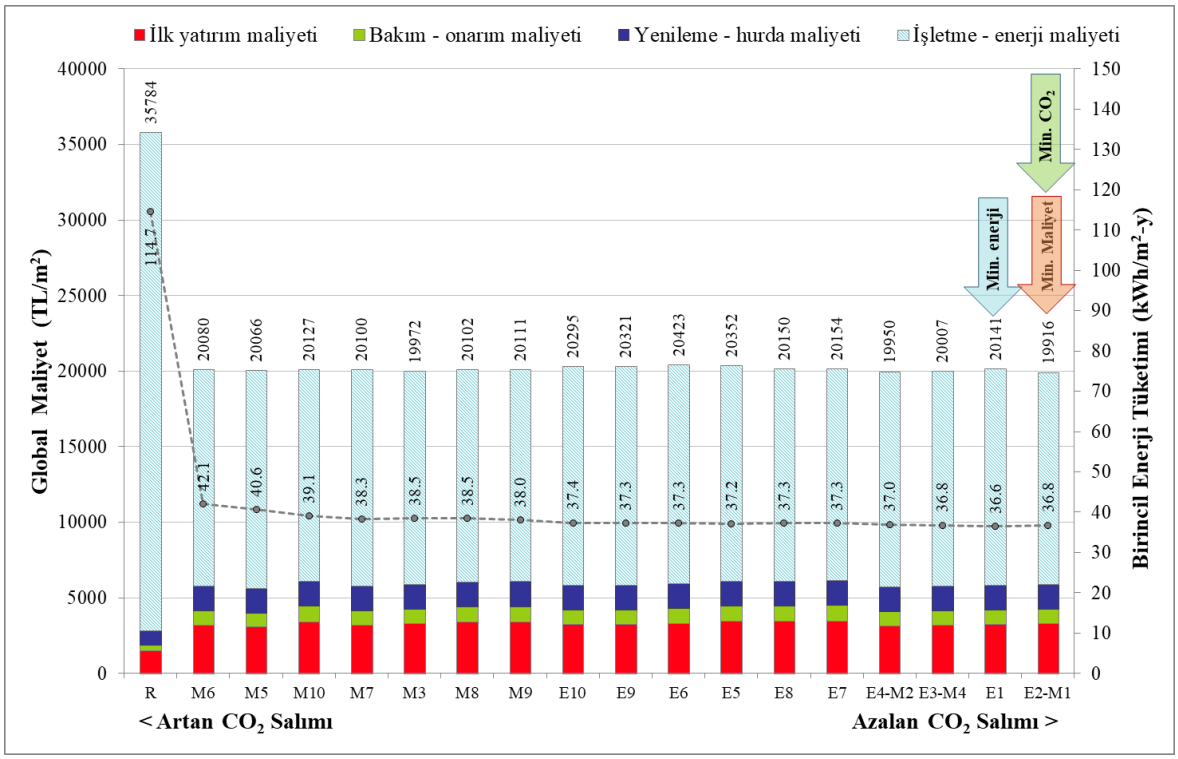
Erzurum ili için referans binaya göre E1 birincil enerji tüketiminde 123,5 kWh/m^2.y (%69,6), karbon emisyonunda 30,7 kg eşd. CO_2/m^2.y (%67,4); M1 global maliyette 17 036 TL/m^2.30y'lik (%46) bir iyileştirme sağlanmıştır (Çizelge 4. 53). Maliyet odaklı ve enerji

odaklı ilk 10 çözümün ortalaması için, PV1 no'lu senaryo yıllık toplam aydınlatma ve soğutma enerjisi tüketiminin %85,4'ünü, PV2 no'lu senaryo %86,3'ünü karşılamaktadır.

Enerji tüketimi açısından Erzurum ili için en iyi 100 çözümü oluşturan seçeneklerin dağılımı incelendiğinde, çözümlerin %90'ında yapı kabuğu sızdırmazlık katsayısının 0,4 ac/h olduğu görülmüştür. Çözümlerin %28'i 0° (G/K) cephe yönlenimine sahiptir. Seçeneklerin %80'inde ρ_{duvar} 0,8, %35'inde SO %25, %29'unda SO %30, %52'sinde pencere kuruluşu 1 m, %27'sinde cam seçeneği G16'dır (6 mm cam+16 mm argon+6 mm cam, T_{vis}: %80, g: %64, U_{cam}: 1,1 W/m^{2}K). Çözüm kümesinin %58'inde yalıtım malzemesi taş yünü ve %68'inde yalıtım kalınlığı 10 cm'dir. Enerji optimal çözümlerin %46'sında güneş kontrol elemanı (%38 O1; %16 O2) bulunmazken, %92'sinde gün ışığına bağlı loşlaştırma (%67 C3; %25 C2) yer almaktadır.

Erzurum ili için maliyet odaklı ilk 100 çözümün tamamında yapı kabuğu sızdırmazlık katsayısı 0,4 ac/h'dir. Seçeneklerin %23'ü -10° (GD/KB), %14'ü 0° (G/K) cephe yönlenimine sahiptir. Çözüm kümesinin tamamına yakınında (%97) ρ_{duvar} 0,8, %81'inde SO %25, %92'sinde pencere kuruluşu 1 m, %32'sinde cam seçeneği G9 ve %32'sinde G10'dur. Seçeneklerin %91'inde yalıtım malzemesi taş yünü, %96'sında yalıtım kalınlığı 10 cm'dir. Maliyet optimal kümenin %89'unda güneş kontrol elemanı (%9 O1; %2 O2) bulunmazken, %86'sında yapma aydınlatma sistemi gün ışığına bağlı loşlaştırılabilmektedir.

Örnek 1'in İzmir ili için enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) en iyi 10 çözümü Şekil 4. 65'te, optimal çözümlerin iyileştirme oranları Çizelge 4. 55'te verilmiştir. Referans binaya göre E1 birincil enerji tüketiminde 78,1 kWh/m^2.y (%68,1); M1 global maliyette 15 812 TL/m^2.30y (%44,3) ve karbon emisyonunda 20,9 kg eşd. CO_2/m².y'lik (%65,5) bir iyileştirme sağlamaktadır. İlk 20 çözümün yıllık toplam aydınlatma ve soğutma enerjisinin ortalaması alındığında, PV1 no'lu senaryonun aydınlatma ve soğutma amaçlı elektrik tüketiminin 78,5%'ini, PV2 no'lu senaryonun 79,2%'sini karşıladığı hesaplanmıştır.



Şekil 4. 65. İzmir ili için optimizasyon çözümleri içinde en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) seçenekler

Çizelge 4. 54. İzmir ili için Örnek 1'in enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) optimal çözümlerine ait değişkenleri (seçeneklerin kombinasyonu)

S. No	Yön (°)	Yön Açıklama	INF (ac/h)	ρ_{duvar}	SO	Pencere kuruluş	Cam tipi	Güneş kontrol	Yalıtım malzemesi	Yalıtım kalınlığı	Aydın. kontrol	PV1 (%)	PV2 (%)
R	Ref	Ort.	0.8	0.5	27	Ref	Gref	YOK	XPS	2 cm	YOK	0.0	0.0
E1	0	G/K	0.4	0.8	20	1.5m	G1	O2	XPS	10cm	C3	76.7	77.4
E2-**M1**	0	G/K	0.4	0.8	20	1m	G9	O2	EPS	10cm	C3	78.9	79.7
E3-M4	0	G/K	0.4	0.8	20	1.5m	Gref	O2	EPS	10cm	C3	77.6	78.3
E4-M2	0	G/K	0.4	0.8	20	1m	Gref	O1	XPS	8cm	C3	77.5	78.3
E5	0	G/K	0.4	0.5	25	1m	G1	O2	XPS	10cm	C3	77.7	78.4
E6	0	G/K	0.4	0.8	25	1.5m	G1	O2	XPS	10cm	C3	76.0	76.7
E7	-5	GD/KB	0.4	0.8	25	1m	Gref	O2	Taşyünü	10cm	C3	79.9	80.7
E8	-5	GD/KB	0.4	0.8	25	1m	G1	O2	XPS	8cm	C3	79.7	80.6
E9	0	G/K	0.4	0.8	25	1m	G1	O1	XPS	10cm	C3	76.0	76.7
E10	0	G/K	0.4	0.8	25	1m	G1	O1	Taşyünü	10cm	C3	76.3	77.0
M3	15	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G10	O2	Taşyünü	5cm	C1	77.6	78.1
M5	0	G/K	0.6	0.8	20	1.5m	G9	O1	EPS	8cm	C3	78.5	79.2
M6	-25	GD/KB	0.6	0.8	20	1.5m	G10	O2	XPS	5cm	C3	82.2	83.2
M7	0	G/K	0.5	0.5	20	1.5m	G10	O2	EPS	10cm	C3	77.9	78.6
M8	0	G/K	0.4	0.8	25	1m	G10	O2	EPS	6cm	C3	80.0	80.8
M9	-15	GD/KB	0.4	0.8	25	1m	Gref	O2	EPS	8cm	C3	81.1	81.8
M10	0	G/K	0.4	0.8	25	1m	G1	O2	XPS	5cm	C3	80.4	81.1

Çizelge 4. 55. Çizelge 4. 54'teki optimizasyon çözümlerine ait iyileştirme oranları

Senaryo No	İyileştirme oranı (%)							
	Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınlat. Enerjisi	CO_2 Salımı	Birincil Enerji	Global Maliyet	Global Maliyet PV1	Global Maliyet PV2
E1	97.6	60.8	45.1	65.4	68.1	43.7	65.3	65.5
E2-**M1**	94.7	66.3	44.0	65.5	67.9	44.3	66.1	66.2
E3-M4	96.2	62.1	45.1	65.3	67.9	44.1	65.7	65.8
E4-M2	95.7	61.9	45.3	65.2	67.7	44.2	65.7	65.8
E5	95.0	62.7	44.9	65.0	67.5	43.1	65.1	65.3
E6	96.7	57.3	46.6	64.8	67.5	42.9	64.7	64.8
E7	93.2	64.3	45.5	65.1	67.5	43.7	65.8	66.0
E8	93.3	64.1	45.5	65.1	67.5	43.7	65.8	66.0
E9	96.7	57.0	46.7	64.8	67.5	43.2	64.8	65.0
E10	96.2	57.5	46.7	64.8	67.4	43.3	64.9	65.0
M3	89.8	67.9	43.7	64.3	66.4	44.2	65.5	65.6
M5	86.1	63.1	45.5	62.6	64.6	43.9	65.2	65.4
M6	80.4	66.7	45.3	61.8	63.3	43.9	65.7	65.9
M7	92.2	63.9	44.4	64.3	66.6	43.8	65.4	65.5
M8	89.4	65.7	45.4	64.3	66.4	43.8	65.8	65.9
M9	91.0	65.0	45.4	64.6	66.8	43.8	66.0	66.2
M10	87.7	66.3	45.3	63.9	65.9	43.8	65.7	65.9

Enerji tüketimi açısından Örnek 1'in İzmir ili için en iyi 100 çözümü analiz edildiğinde, yapı kabuğu sızdırmazlık katsayısı seçeneklerin %86'sında 0,4 ac/h'dir. Çözüm kümesinin %56'sı 0° (G/K) cephe yönlenimine sahiptir. Optimal çözümlerin %88'inde ρ_{duvar} 0,8, %56'sında SO %25 ve %69'unda pencere kuruluşu 1 m'dir. Cam seçeneği %36'sında G9, %34'ünde G10, %18'inde G16'dır. Enerji optimal çözümlerde yalıtım malzemesi seçenekleri benzer bir dağılım göstermektedir (%41 EPS, %31 XPS, %28 taşyünü). Öte yandan çözümlerin %61'inde yalıtım kalınlığı 10 cm'dir. Değişkenlerin kombinasyonunun tamamında güneş kontrol elemanı (%34 O1; %66 O2) ve aydınlatma otomasyonu (%97 C3 lineer loşlaştırma; %3 C2 kademeli loşlaştırma) bulunmaktadır.

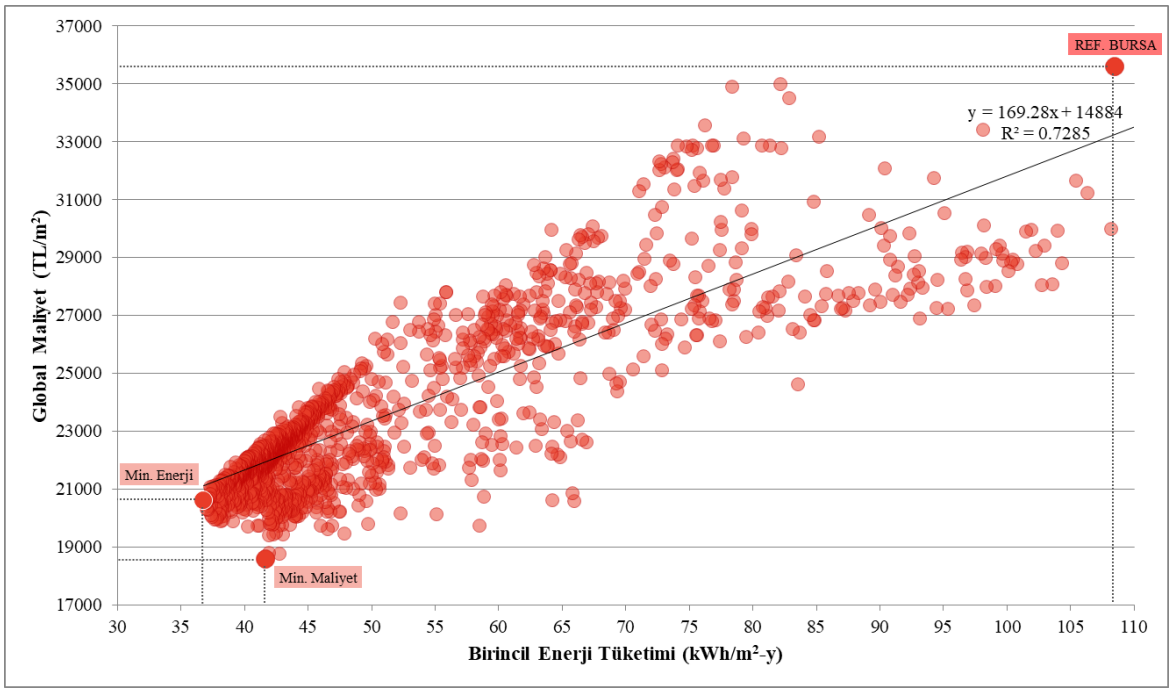
Örnek 1'in maliyet optimal 100 çözümü değerlendirildiğinde, çözümlerin %69'unda yapı kabuğu infiltrasyon katsayısının 0,4 ac/h olduğu ve %49'unun yaşam alanının 0° (yaşam alanı G, yatak odaları K) cephe yönlenimine sahip olduğu hesaplanmıştır. Çözüm kümesinin %79'unda ρ_{duvar} 0,8, %52'sinde SO %25, %66'sında pencere kuruluşu 1 m, %38'inde cam seçeneği G9 ve %36'sında G10'dur. Çözümlerin %38'inde yalıtım malzemesi EPS, %32'sinde XPS, %30'unda taşyünü; %56'sında yalıtım kalınlığı 10 cm ve

%21'inde 8 cm'dir. Enerji optimal çözümlere benzer şekilde seçeneklerin tamamında güneş kırıcılar (%37 O1; %63 O2) ve tamamına yakınında gün ışığına bağlı loşlaştırma bulunmaktadır (%82 C3; %5 C2).

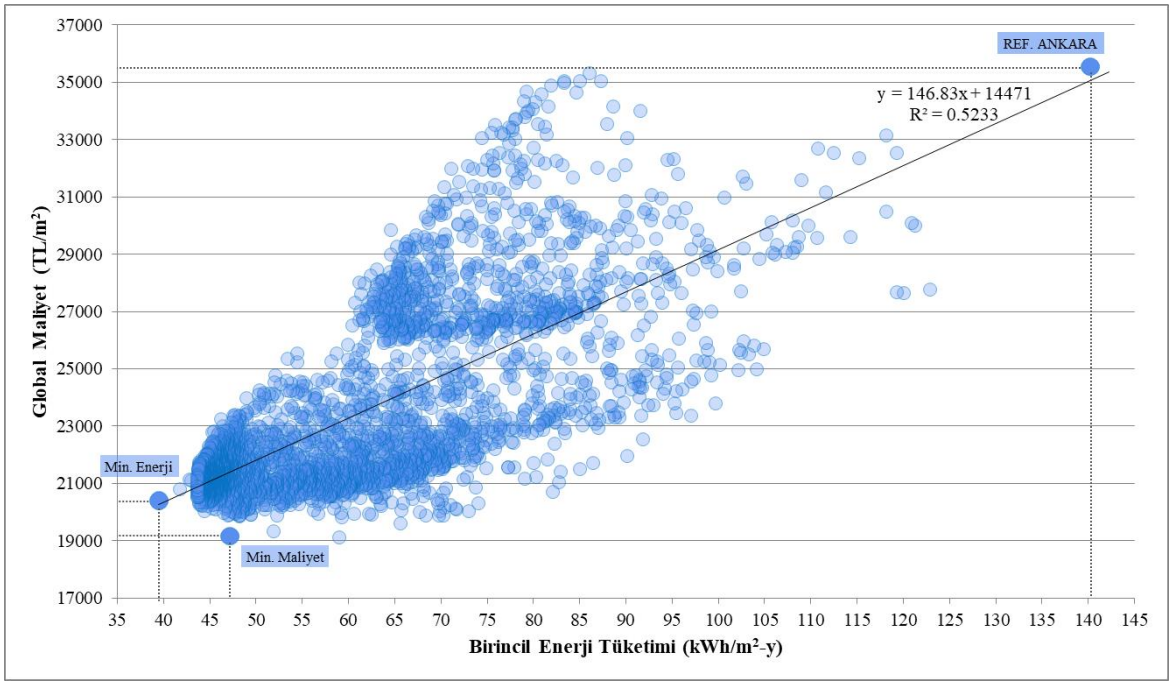
b) Örnek 2

2 no'lu konut sitesinin sırasıyla Bursa, Ankara, Diyarbakır, Erzurum ve İzmir için oluşturulan XY dağılım grafikleri Şekil 4. 66 – Şekil 4. 70'te ve tüm iller için EK 37'de verilmiştir. Regresyon modeli ve determinasyon katsayısı (R^2) global maliyet ile enerji tüketimi arasında aynı yönde bir ilişki olduğunu göstermektedir. Enerji tüketimindeki bir birimlik artış global maliyette Bursa ili için ortalama 169 TL, Ankara için 147 TL, Diyarbakır için 236 TL, Erzurum için 148 TL ve İzmir için 195 TL'lik bir artışa neden olmuştur. Binanın uzun dönem işletme - enerji maliyeti haricindeki ilk yatırım, bakım - onarım, yenileme ve hurda maliyetinden oluşan 30 yıllık sabit giderlerinin Bursa, Ankara, Diyarbakır, Erzurum ve İzmir için sırasıyla 14 884 TL/m^2, 14 471 TL/m^2, 13 326 TL/m^2, 12 979 TL/m^2 ve 14 363 TL/m^2'dir. Bağımlı değişken olan global maliyetteki değişimin, Bursa için ortalama %72,8'i, Ankara için %52,3'ü, Diyarbakır için %73,8'i, Erzurum için %64,9'u ve İzmir için %82'si birincil enerji tüketimi kaynaklı olduğu söylenebilir.

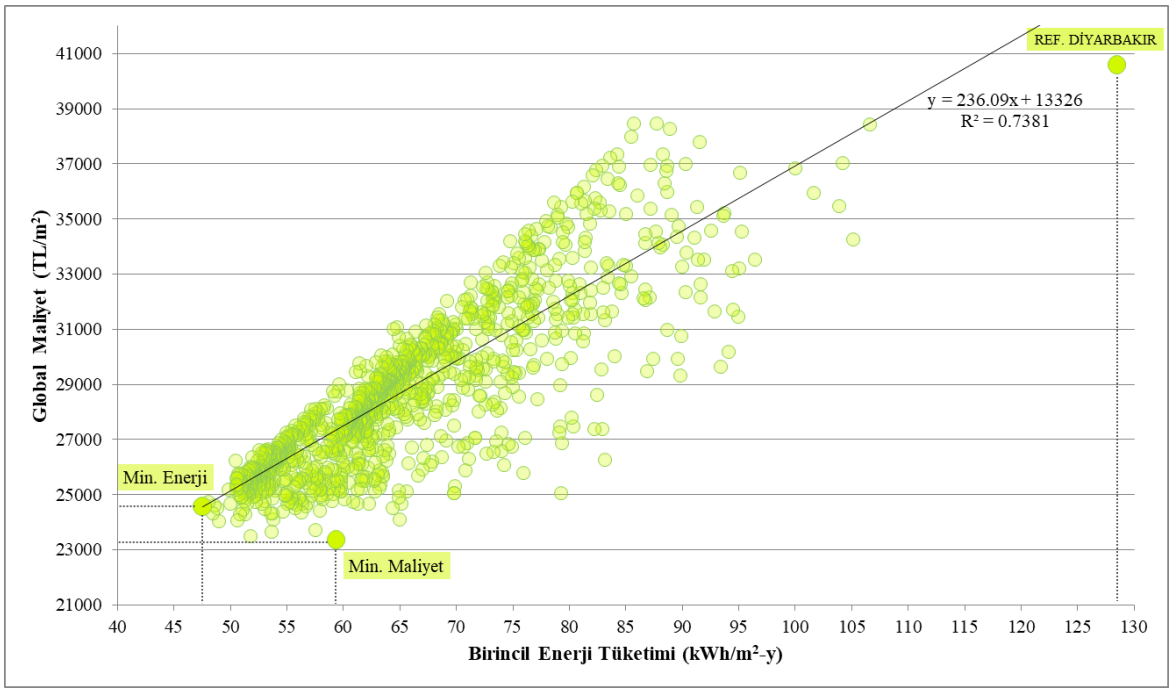
Şekil 4. 71 – Şekil 4. 75'te 5 il için optimal çözüm kümesi içinden en düşük global maliyet (M) ve enerji tüketimine sahip (E) on seçenek soldan sağa azalan sera gazı salımına göre verilmiştir. Enerji ve maliyet odaklı 20 çözüm ele alınan tüm enerji performans ölçütlerinde iyileştirme sağlamıştır. Tüm iklim bölgeleri için PV1 ve PV2 senaryoları yıllık aydınlatma ve soğutma enerjisinin tamamını karşılamaktadır. Optimizasyon sonuçlarına göre tüm illerde en iyi 100 çözümün ortak olarak ısıtma ayar sıcaklığı 20°C, soğutma ayar sıcaklığı 27°C ve aydınlatma sistemi LED'dir.



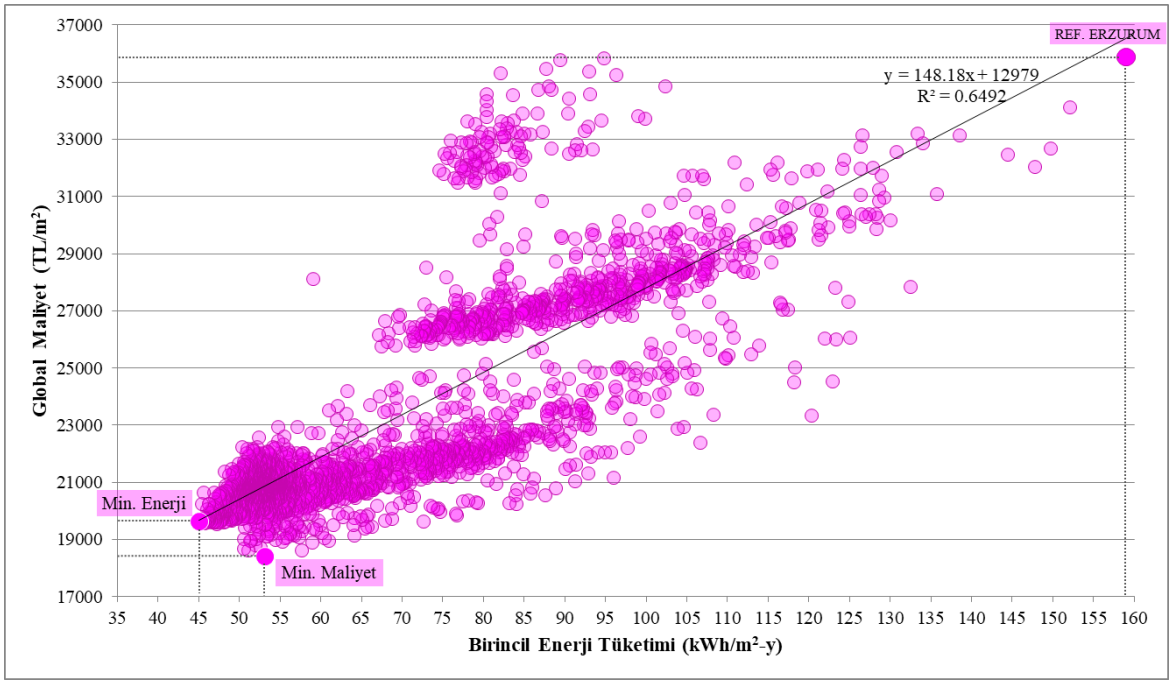
Şekil 4. 66. Örnek 2'nin Bursa ili (ılımlı – nemli/2. DGB) için optimal çözüm kümesi



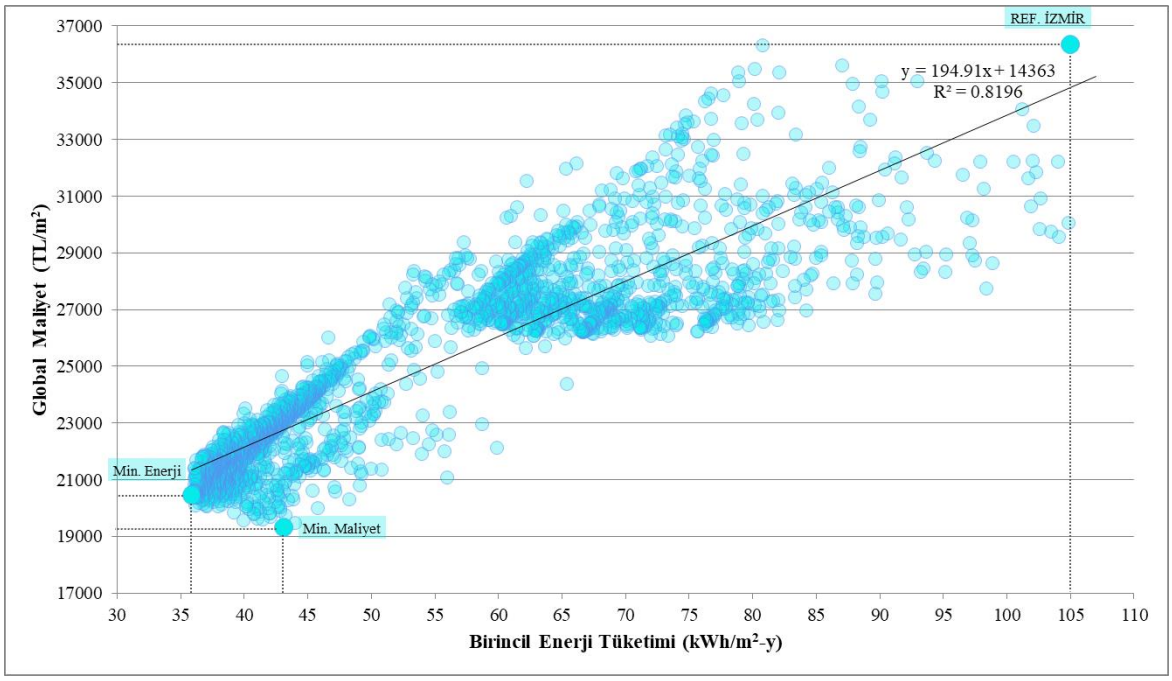
Şekil 4. 67. Örnek 2'nin Ankara ili (ılımlı – kuru/3. DGB) için optimal çözüm kümesi



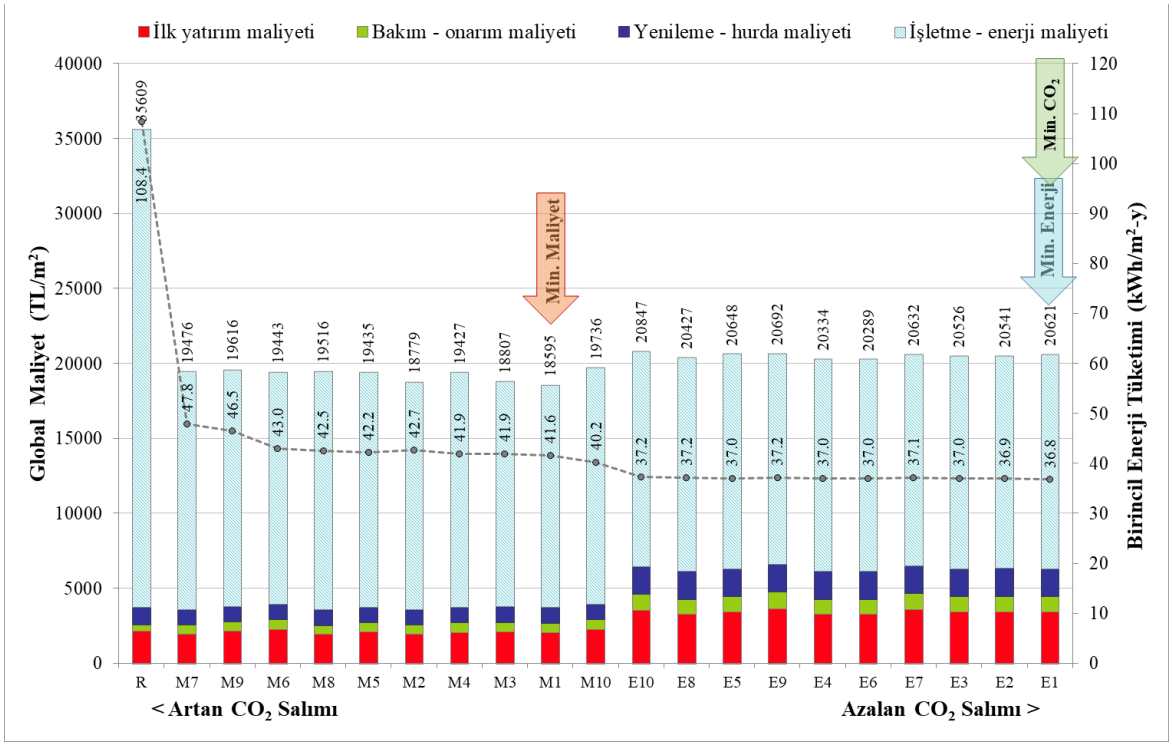
Şekil 4. 68. Örnek 2'nin Diyarbakır ili (sıcak – kuru/ 2.DGB) için optimal çözüm kümesi



Şekil 4. 69. Örnek 2'nin Erzurum ili (soğuk/4. DGB) için optimal çözüm kümesi



Şekil 4. 70. Örnek 2'nin İzmir ili (sıcak – nemli/1. DGB) için optimal çözüm kümesi



Şekil 4. 71. Bursa ili için optimizasyon çözümleri içinde en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) seçenekler

Çizelge 4. 56. Bursa ili için Örnek 2'nin enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) optimizasyon çözümlerini oluşturan değişkenlerin kombinasyonu

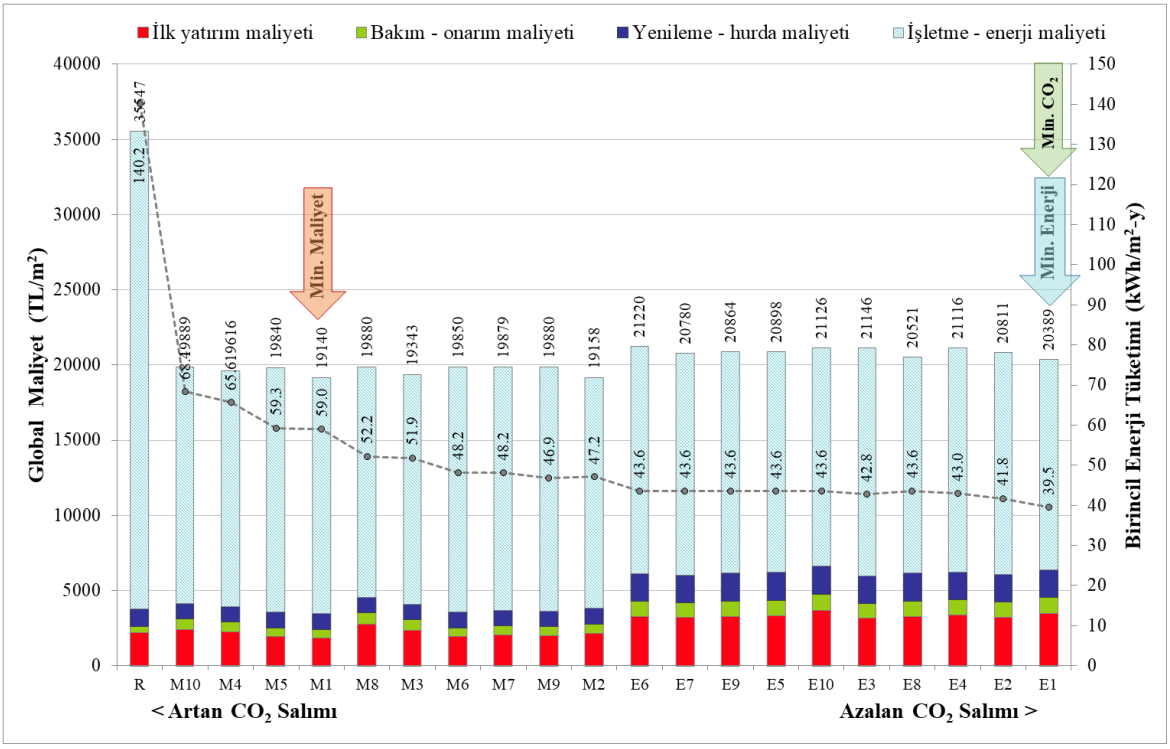
S. No	Yön (°)	Yön Açıklama	INF (ac/h)	ρ_{duvar}	SO	Pencere kuruluş	Cam tipi	Güneş kontrol	Yalıtım malzemesi	Yalıtım kalınlığı	Aydınlatma kontrol	PV1 (%)	PV2 (%)
R	Ref	Ort.	0.8	0.5	29	Ref	Gref	YOK	EPS	3 cm	YOK	0.0	0.0
E1	-30	GD/KB	0.4	0.8	20	1m	G9	O2	EPS	10cm	C3	168.4	171.7
E2	-80	GD/KB	0.4	0.8	20	1m	G9	O2	XPS	6cm	C3	151.1	146.4
E3	-30	GD/KB	0.4	0.8	20	1m	G10	O2	XPS	5cm	C3	170.1	173.5
E4	-80	GD/KB	0.5	0.8	20	1m	G10	O1	EPS	10cm	C3	151.2	146.6
E5	-30	GD/KB	0.4	0.8	20	1m	G8	O2	XPS	6cm	C3	168.0	171.3
E6	-40	GD/KB	0.5	0.8	20	1m	G10	O1	EPS	10cm	C3	168.2	170.1
E7	50	GB/KD	0.5	0.8	25	1m	G10	O2	Taşyünü	10cm	C3	169.0	171.1
E8	-30	GD/KB	0.4	0.8	20	1m	G9	O1	XPS	6cm	C3	169.0	172.3
E9	-30	GD/KB	0.4	0.8	30	1m	G9	O2	XPS	6cm	C3	172.1	175.5
E10	30	GB/KD	0.4	0.8	25	1m	G6	O2	Taşyünü	10cm	C3	170.6	174.6
M1	-80	GD/KB	0.6	0.8	30	1m	G9	O1	XPS	6cm	C3	148.0	143.4
M2	-10	GD/KB	0.6	0.8	25	1m	G12	O1	EPS	5cm	C3	167.3	171.8
M3	90	B/D	0.7	0.8	20	1m	G8	O2	XPS	10cm	C2	146.1	141.4
M4	-60	GD/KB	0.6	0.8	35	2.5m	G8	O2	Taşyünü	10cm	C3	146.0	144.9
M5	-110	KD/GB	0.6	0.5	30	1m	G9	O1	XPS	10cm	C3	146.6	145.7
M6	60	GB/KD	0.5	0.8	30	1m	G1	O2	XPS	8cm	C3	153.8	154.4
M7	180	K/G	0.8	0.8	25.0	1m	G11	O1	EPS	6cm	C1	165.0	169.7
M8	-70	GD/KB	0.4	0.8	25.0	1m	G1	O1	XPS	5cm	C3	139.5	137.1
M9	-160	KD/GB	0.8	0.8	35.0	1m	G10	O1	XPS	6cm	C3	163.6	168.1
M10	70	GB/KD	0.4	0.8	25.0	1m	G10	O2	Taşyünü	10cm	C3	142.9	142.0

Çizelge 4. 57. Referans duruma kıyasla Çizelge 4. 56'daki en iyi 10 çözümün bina performans ölçütlerindeki iyileştirme oranları (%)

Senaryo No	İyileştirme oranı (%)							
	Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınlatma Enerjisi	CO_2 Salımı	Birincil Enerji	Global Maliyet	Global Maliyet PV1	Global Maliyet PV2
E1	96.3	56.0	46.9	63.5	66.1	42.1	69.3	69.8
E2	94.9	58.0	46.5	63.4	65.9	42.3	66.1	65.3
E3	94.7	57.8	46.7	63.4	65.9	42.4	69.5	70.1
E4	94.6	57.1	47.1	63.4	65.9	42.9	66.7	65.9
E5	95.7	55.5	47.0	63.3	65.8	42.0	69.2	69.8
E6	94.1	57.5	47.2	63.4	65.8	43.0	69.7	70.0
E7	93.6	57.8	47.3	63.4	65.8	42.1	68.8	69.1
E8	94.9	56.0	47.1	63.2	65.7	42.6	69.8	70.4
E9	93.1	56.3	48.4	63.4	65.7	41.9	69.1	69.6
E10	95.4	54.3	47.6	63.1	65.7	41.5	69.1	69.8
M1	84.4	59.8	43.9	59.7	61.6	47.8	71.6	70.8
M2	83.4	60.3	42.1	58.6	60.6	47.3	75.2	76.0
M3	85.0	65.3	39.8	59.4	61.4	47.2	71.0	70.2
M4	90.5	48.8	44.3	58.8	61.4	45.4	70.8	70.6
M5	89.3	55.7	40.8	58.6	61.1	45.4	70.8	70.6
M6	85.0	52.9	44.3	58.2	60.4	45.4	71.5	71.6
M7	71.6	64.9	37.9	54.5	55.9	45.3	73.4	74.3
M8	90.9	46.2	44.2	58.3	60.9	45.2	69.8	69.3
M9	75.5	60.6	40.1	55.5	57.1	44.9	72.8	73.7
M10	97.2	49.9	41.9	59.9	62.9	44.6	70.0	69.8

Bursa ili için optimizasyon analizinde elde edilen enerji odaklı en iyi çözüm (E1) ile referans binaya göre birincil enerjide birim alan için 71,7 kWh (%66,1), maliyet odaklı en iyi çözüm (M1) ile global maliyette 17 014 TL'lik (%47,8) bir iyileştirme sağlanmıştır. Referans binanın karbon emisyonu E1'e göre 19,3 kg eşd. $CO_2/m^2.y$ (%63,5), M1'e göre 18,1 kg eşd. $CO_2/m^2.y$ (%59,7) daha yüksektir. Enerji tüketimi açısından Örnek 2'nin Bursa ili için optimal 100 çözümü incelenmiştir. Yapı kabuğu sızdırmazlık katsayısının seçeneklerin %54'ünde 0,4 ac/h ve %31'inde 0,6 ac/h olduğu görülmüştür. Optimal çözümlerin %22'sinin yaşam alanı/yatak odası cephe yönlenimi -30°(GD/KB) olduğu ve çözümlerin %66'sının ±30° aralığı dışında kaldığı tespit edilmiştir. Seçeneklerin %90'ında ρ_{duvar} 0,8, %35'inde SO %30 ve %30'unda SO %20'dir. Optimal çözümlerin %78'inde saydam bileşen ve parapet yüksekliği 1 m, %27'sinde cam seçeneği G10 (6 mm cam+16 mm argon+6 mm cam, T_{vis}:%69, g: %40, U_{cam}: 1,1 W/m^2K) ve %25'inde G9'dur (6 mm cam+16 mm hava+6 mm cam, T_{vis}:%69, g: %40, U_{cam}: 1,4 W/m^2K). Çözümlerin tamamında güneş kontrol elemanı bulunmaktadır (%55 O1; %45 O2). Dış duvar yalıtım malzemesi olarak seçeneklerin %42'sinde XPS, %30'unda EPS ve %28'inde taşyünü kullanılmıştır. Enerji odaklı 100 çözümün 44'ünde yalıtım kalınlığı 10 cm, 9'unda 8 cm, 28'inde 6 cm'dir. Tüm çözümlerde gün ışığına bağlı aydınlatma kontrol stratejisi vardır (%17 C2; %81 C3).

Global maliyet açısından en iyi 100 çözüm incelendiğinde, yapı kabuğu sızdırmazlık katsayısı açısından farklı seçeneklerin olduğu görülmüştür (%36 0,6 ac/h, %23 0,4 ac/h, %21 0,8 ac/h). Cephe yönlenimi bakımından -30° (GD/KB) %17'lik ve -80° (GD/KB) %14'lük orana sahiptir. Çözümlerin %74'ü ±30° optimal cephe aralığı dışında kalmaktadır. Maliyet odaklı ilk 100 çözümün %92'sinde ρ_{duvar} 0,8, %42'sinde SO %20, %80'inde pencere kuruluşu 1 m parapet üzeri 1 m cam, %33'ünde cam seçeneği G9 ve %23'ünde G10 ve %92'sinde güneş kontrol elemanı bulunmaktadır (%53 O1; %40 O2). Yalıtım malzeme seçenekleri arasında benzer bir oran bulunmakla birlikte (%44 XPS, %30 taşyünü, %26 EPS), çözümlerin %38'inde dış duvar ısı yalıtım kalınlığı 10 cm, %14'ünde 8 cm ve %29'unda 6 cm'dir. Seçeneklerin %75'inde gün ışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemi (%16 C2; %59 C3) bulunmaktadır.



Şekil 4. 72. Örnek 2 Ankara ili için en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) optimizasyon sonuçları

Çizelge 4. 58. Ankara ili için Örnek 2'nin enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) optimizasyon çözümlerini oluşturan değişkenler (seçeneklerin kombinasyonu)

S. No	Yön (°)	Yön Açıklama	INF (ac/h)	ρ_{duvar}	SO	Pencere kuruluş	Cam tipi	Güneş kontrol	Yalıtım malzemesi	Yalıtım kalınlığı	Aydınlatma kontrol	PV1 (%)	PV2 (%)
R	Ref	Ort.	0.8	0.5	29	Ref	Gref	YOK	EPS	3 cm	YOK	0.0	0.0
E1	-170	KD/GB	0.4	0.8	20	1m	G7	O1	XPS	10cm	C3	152.1	155.0
E2	-80	GD/KB	0.4	0.8	20	2m	G10	O2	Taşyünü	8cm	C2	133.5	131.7
E3	-50	GD/KB	0.4	0.8	25	1m	G4	YOK	XPS	8cm	C3	136.4	137.6
E4	-160	KD/GB	0.4	0.8	25	2m	G7	O1	Taşyünü	8cm	C3	143.6	145.8
E5	-110	KD/GB	0.4	0.5	25	1m	G8	O2	XPS	5cm	C2	135.7	133.8
E6	-30	GD/KB	0.4	0.7	20	2m	G8	O1	EPS	10cm	C2	141.8	144.2
E7	30	GB/KD	0.4	0.5	25	1m	G9	YOK	XPS	10cm	C3	144.9	146.5
E8	20	GB/KD	0.4	0.5	20	1m	G12	O2	XPS	6cm	C3	151.5	154.0
E9	-30	GD/KB	0.4	0.8	20	2m	G9	O1	EPS	10cm	C2	146.9	149.3
E10	-80	GD/KB	0.4	0.5	30	1m	G7	O1	Taşyünü	10cm	C2	138.4	136.6
M1	-100	KD/GB	0.4	0.8	20	1.5m	G4	O1	EPS	6cm	C1	138.5	135.3
M2	60	GB/KD	0.4	0.8	35	1m	G10	O1	EPS	5cm	C3	134.6	133.8
M3	-40	GD/KB	0.5	0.8	30	1m	G16	O2	EPS	8cm	C3	148.4	150.2
M4	-10	GD/KB	0.6	0.8	25	1m	G15	O2	XPS	6cm	C2	165.2	168.7
M5	-100	KD/GB	0.6	0.5	30	2.5m	G12	O1	XPS	6cm	C1	131.3	128.2
M6	180	K/G	0.4	0.5	25	1.5m	G7	O1	XPS	6cm	C1	133.9	133.9
M7	-5	GD/KB	0.4	0.8	30	1.5m	G12	O1	XPS	10cm	C1	134.9	137.6
M8	65	GB/KD	0.4	0.8	40	1.5m	G10	O1	Taşyünü	4cm	C2	139.2	137.8
M9	90	B/D	0.4	0.5	20	1m	G15	O1	Taşyünü	8cm	C3	119.1	119.1
M10	65	GB/KD	0.7	0.8	20	1m	G8	O2	EPS	4cm	C3	155.4	154.0

Çizelge 4. 59. Çizelge 4. 58'deki optimizasyon çözümlerine ait iyileştirme oranları

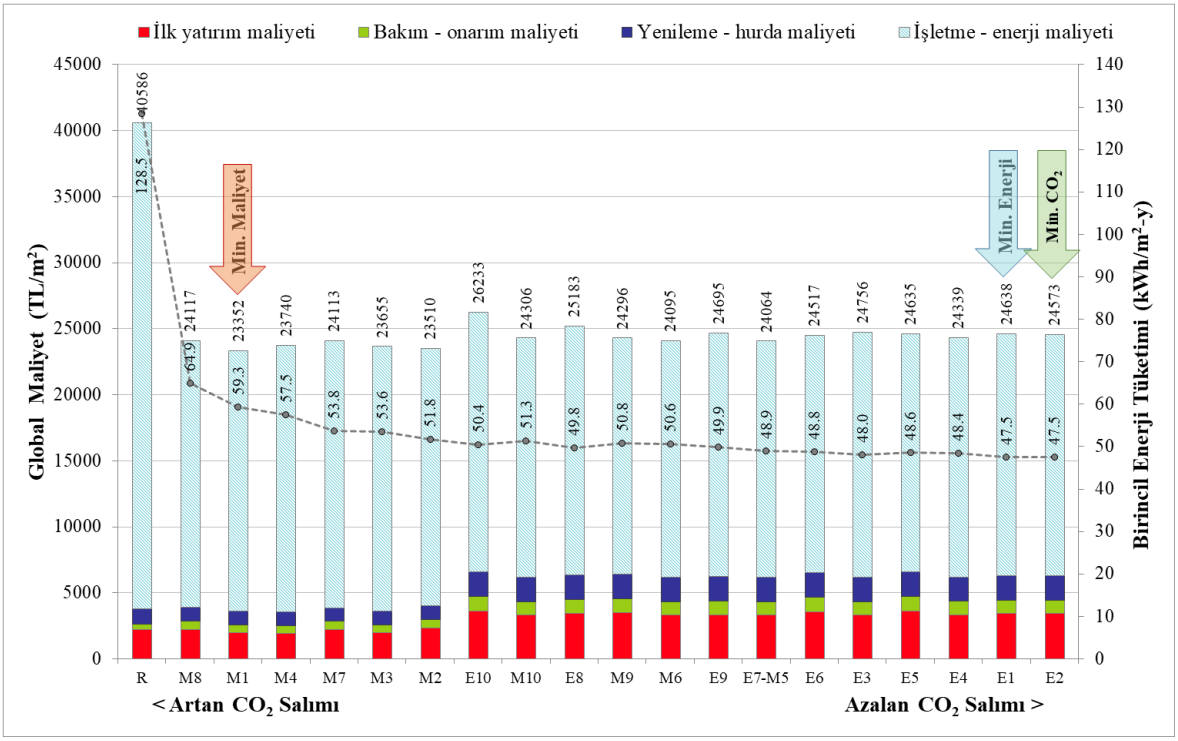
Senaryo No	İyileştirme oranı (%)							
	Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınlat. Enerjisi	CO_2 Salımı	Birincil Enerji	Global Maliyet	Global Maliyet PV1	Global Maliyet PV2
E1	92.7	44.9	44.7	68.7	71.8	42.6	65.7	66.2
E2	91.9	43.9	41.6	67.0	70.2	41.5	62.4	62.1
E3	92.1	14.8	48.2	66.1	69.5	40.5	62.8	63.0
E4	90.5	38.4	43.0	66.2	69.3	40.6	63.5	63.9
E5	88.7	40.3	44.1	65.9	68.9	41.2	62.1	61.8
E6	90.3	41.7	40.9	65.7	68.9	40.3	63.2	63.6
E7	88.9	32.6	46.1	65.9	68.9	41.5	64.2	64.5
E8	87.4	46.9	44.3	66.1	68.9	42.3	65.1	65.5
E9	88.8	48.8	41.3	65.9	68.9	41.3	64.2	64.6
E10	87.9	40.6	45.3	66.1	68.9	40.6	61.5	61.2
M1	67.5	64.0	39.7	56.5	57.9	46.2	66.5	66.0
M2	85.5	37.5	42.8	63.5	66.3	46.1	67.5	67.4
M3	77.5	44.2	44.3	60.9	63.0	45.6	68.2	68.5
M4	56.5	68.0	43.0	52.7	53.2	44.8	67.9	68.5
M5	69.4	56.6	38.1	56.0	57.7	44.2	64.6	64.0
M6	87.7	34.0	37.8	62.3	65.6	44.2	67.3	67.3
M7	87.4	26.5	40.8	62.4	65.7	44.1	67.2	67.8
M8	77.2	50.3	42.0	60.6	62.8	44.1	65.2	65.0
M9	89.7	28.6	39.1	63.1	66.6	44.1	64.5	64.5
M10	52.3	83.3	39.4	51.1	51.3	44.0	65.2	65.0

Ankara ili için optimizasyon analizinde elde edilen enerji odaklı en iyi çözüm (E1) ile referans binaya göre birincil enerjide 100,7 kWh/m^2 (%71,8), karbon emisyonunda 25,5 kg eşd. CO_2/m^2.y (%68,7)'lik bir iyileştirme sağlanmıştır. Maliyet odaklı en iyi çözüm (M1) ile global maliyet referans duruma göre %46,2 (16 406 TL/m^2.30y) azalmaktadır.

Birincil enerji tüketimi bakımından Ankara ili için optimal 100 çözüm değerlendirildiğinde, seçeneklerin %10'luk bölümü -30°'lik (GD/KB) %9'u -90° (D/B) cephe yönlenimine sahiptir. Seçeneklerin %71'i ±30° yönlenim aralığının dışındadır. Optimal çözüm kümesinin %65'inde yapı kabuğu sızdırmazlık katsayısı 0,4 ac/h, %57'sinde ρ_{duvar} 0,8, %46'sında SO %20, %48'inde pencere kuruluşu 1 m parapet üzeri 1 m camdır. Çözümlerin %23'ünde cam seçeneği G9 (6 mm cam + 16 mm hava + 6 mm cam, T_{vis}:%69, g: %40, U_{cam}: 1,4 W/m^2K), %15'inde G10 (6 mm cam + 16 mm argon + 6 mm cam, T_{vis}:%69, g: %40, U_{cam}: 1,1 W/m^2K) ve %78'inde güneş kontrol elemanı bulunmaktadır (%43 O1 yatay

çıkma 0,5 m; %31 O2 yatay çıkma 1 m). Seçeneklerin %46'sında yalıtım malzemesi XPS, %29'unda EPS ve %25'inde taşyünüdür ve yalıtım kalınlığı büyük oranda (%43) 10 cm'dir. Seçeneklerin %92'sinde gün ışığına bağlı aydınlatma kontrol stratejisi (%36 C2 kademeli loşlaştırma; %56 C3 lineer loşlaştırma) bulunmaktadır.

Enerji odaklı ilk 100 çözüme benzer şekilde maliyet odaklı çözümlerin %68'inin ±30° yönlenim aralığının dışında kaldığı, öte yandan, %17'lik oranı -30° GD/KB yönlenime sahip çözümlerin oluşturduğu görülmüştür. Yapı kabuğu infiltrasyon faktörü, seçeneklerin %66'sında 0,4 ac/h'dir. Kombinasyonların %63'ünde ρ_{duvar} 0,8, %34'ünde SO %20, %35'inde pencere kuruluşu 1 m ve %33'ünde 2 m, %20'sinde cam seçeneği G9, %12'sinde G10'dur. 100 çözümün 91'inde güneş kontrol elemanı vardır (%45 O1; %36 O2). %42'sinin yalıtım malzemesi EPS, %38'inin XPS, %20'sinin taşyünü, %28'inde yalıtım kalınlığı 10 cm, %20'sinde 8 cm ve %24'ünde 6 cm'dir. Maliyet odaklı çözümlerin %35'inde aydınlatma otomasyon sistemi bulunmamaktadır (%23 C2; %42 C3).



Şekil 4. 73. Örnek 2 Diyarbakır ili için maliyet odaklı (M) ve enerji odaklı (E) çözümler

Çizelge 4. 60. Diyarbakır ili için Örnek 2'nin enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) optimizasyon çözümlerini oluşturan değişkenler (seçeneklerin kombinasyonu)

S. No	Yön (°)	Yön Açıklama	INF (ac/h)	ρ_{duvar}	SO	Pencere kuruluş	Cam tipi	Güneş kontrol	Yalıtım malzemesi	Yalıtım kalınlığı	Aydın. kontrol	PV1 (%)	PV2 (%)
R	Ref	Ort.	0.8	0.5	29	Ref	Gref	YOK	EPS	3 cm	YOK	0.0	0.0
E1	-80	GD/KB	0.4	0.8	25	1m	G10	O1	Taşyünü	10cm	C3	121.9	118.9
E2	-30	GD/KB	0.4	0.8	25	1m	G10	O1	Taşyünü	10cm	C3	135.1	137.1
E3	120	KB/GD	0.4	0.8	20	1m	G10	O1	XPS	8cm	C3	126.3	125.7
E4	-70	GD/KB	0.5	0.8	20	1m	G12	O1	Taşyünü	10cm	C3	127.5	125.9
E5	-70	GD/KB	0.4	0.8	30	1m	G6	O2	EPS	10cm	C3	128.4	126.7
E6	20	GB/KD	0.5	0.8	25	1m	G8	O2	Taşyünü	10cm	C3	139.8	142.2
E7-M5	-50	GD/KB	0.5	0.8	20	1m	G9	O1	XPS	8cm	C3	136.2	136.7
E8	-10	GD/KB	0.4	0.8	25	1.5m	G6	O2	XPS	10cm	C3	133.6	136.3
E9	70	GB/KD	0.4	0.8	20	1.5m	G9	O2	Taşyünü	5cm	C3	124.6	122.5
E10	-140	KD/GB	0.4	0.8	25	1m	G16	O2	Taşyünü	10cm	C2	122.8	123.4
M1	90	B/D	0.7	0.8	20	1m	G10	O1	Taşyünü	5cm	C2	116.9	115.6
M2	-80	GD/KB	0.4	0.8	30	1m	G3	O2	XPS	8cm	C3	115.6	112.7
M3	100	KB/GD	0.5	0.8	20	1m	G15	O1	EPS	8cm	C3	112.5	109.8
M4	180	K/G	0.6	0.8	20	1m	G10	O1	EPS	5cm	C1	128.1	130.9
M6	-30	GD/KB	0.6	0.8	20	1m	G10	O1	EPS	10cm	C3	141.6	143.6
M7	110	KB/GD	0.4	0.5	25	1m	G12	O2	EPS	5cm	C1	114.0	112.6
M8	70	GB/KD	0.8	0.5	25	1m	G6	O2	XPS	6cm	C1	121.4	119.3
M9	-110	KD/GB	0.6	0.8	20	1m	G9	O2	Taşyünü	10cm	C3	131.0	128.7
M10	-110	KD/GB	0.6	0.8	20	1m	G6	O1	Taşyünü	10cm	C3	129.1	126.9

Çizelge 4. 61. Çizelge 4. 60'taki optimizasyon çözümlerine ait iyileştirme oranları

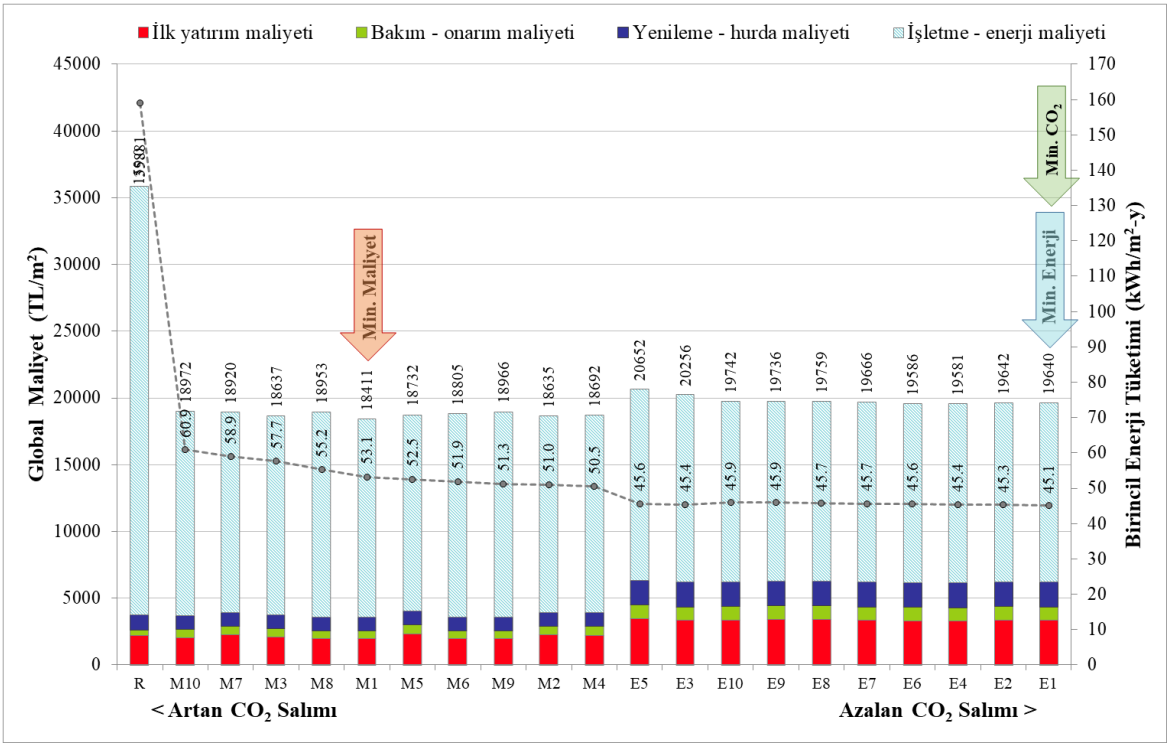
Senaryo No	İyileştirme oranı (%)							
	Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınlat. Enerjisi	CO_2 Salımı	Birincil Enerji	Global Maliyet	Global Maliyet PV1	Global Maliyet PV2
E1	95.5	39.6	47.5	60.0	63.0	39.3	61.3	60.7
E2	95.1	40.0	47.6	60.0	63.0	39.5	64.0	64.3
E3	95.6	41.0	45.1	59.5	62.6	39.0	62.2	62.1
E4	91.7	44.3	45.8	59.6	62.3	40.0	62.6	62.3
E5	90.7	42.5	48.0	59.5	62.2	39.3	61.9	61.5
E6	89.7	44.2	47.1	59.5	62.0	39.6	64.2	64.7
E7-M5	88.4	46.4	46.4	59.4	61.9	40.7	64.4	64.5
E8	92.8	41.5	43.8	58.3	61.2	38.0	62.8	63.4
E9	89.8	45.4	43.5	58.5	61.1	39.2	61.5	61.1
E10	96.5	33.0	45.2	57.4	60.7	35.4	59.4	59.5
M1	72.8	47.5	38.8	52.0	53.8	42.5	64.0	63.7
M2	91.8	37.5	43.7	56.7	59.7	42.1	64.0	63.4
M3	90.7	38.1	40.3	55.3	58.3	41.7	63.7	63.1
M4	80.8	45.0	36.6	52.9	55.3	41.5	66.4	67.0
M6	84.2	47.2	46.5	58.4	60.6	40.6	65.1	65.5
M7	91.4	41.2	36.7	55.1	58.1	40.6	63.2	62.8
M8	60.7	47.7	39.0	48.4	49.5	40.6	62.9	62.5
M9	83.4	49.1	45.4	58.3	60.5	40.1	62.5	62.1
M10	83.6	46.6	46.1	57.9	60.1	40.1	62.5	62.0

Diyarbakır ili için optimizasyon analizinde elde edilen enerji odaklı en iyi çözüm (E1) ile referans binaya göre birincil enerjide 81 kWh/m^2 (%63), maliyet odaklı en iyi çözüm (M1)

ile global maliyette 17 233 TL/m^2.30y'lik (%42,5) bir iyileştirme sağlamıştır. Karbon emisyonu en düşük seçenek olan E2 referans binaya göre 21,5 kg eşd. CO_2/m^2.y (%60) iyileşme sağlamaktadır.

Enerji tüketimi açısından ilk 100 çözüm değerlendirildiğinde, sonuçlar cephe yönlenimi açısından çeşitlilik göstermekle birlikte %66'sının ±30° yönlenim aralığının dışında kaldığı, en yüksek oran olarak %14'ünün -80°, %10'unun -30° cephe yönlenimine sahip olduğu hesaplanmıştır. Seçeneklerin %52'sinde INF değeri 0,4 ac/h'dir. Çözümlerin %58'inde ρ_{duvar} 0,8, %43'ünde SO %20 ve %24'ünde SO %25'tir. %59'unda pencere kuruluşu 1 m parapet üzeri 1 m cam (%18'inde 1,5 m), %21'inde cam seçeneği G9 ve %18'inde G10, %45'inde dış duvar yalıtım malzemesi XPS (%29 EPS, %26 taşyünü) ve 10 cm'lik yalıtım kullanılmıştır. Enerji odaklı çözümlerin %35'inde O1 (0,5 m yatay çıkma), %42'sinde O2 (yatay çıkma 1 m) dış cephe güneş kontrol elemanı vardır. Kombinasyonların tamamında LED lambalar kullanılmakla birlikte %49'unda C3 (lineer), %37'sinde C2 (kademeli) aydınlatma kontrol stratejisi yer almaktadır.

Global maliyet açısından optimal çözümler içindeki en düşük maliyetli 100 kombinasyon incelendiğinde, enerji odaklı çözümlere benzer şekilde seçeneklerin %13'ü -30° (yaşam alanı GD/yatak odaları KB) cephe yönlenimine sahip olduğu görülmüştür. Öte yandan, Diyarbakır için optimal cephe yönlenim seçeneklerinin %66'sı ±30° aralığının dışındadır. Optimal çözümler yapı kabuğu sızdırmazlık faktörü açısından incelendiğinde, maliyet odaklı ilk 100 çözümün 37'si 0,4 ac/h ve 29'u 0,6 ac/h'dir. Çözüm kümesinin %68'inde ρ_{duvar} 0,8, %36'sında SO %20, %30'unda SO %25, %49'unda pencere kuruluşu 1 m ve onu takip eden %22'sinde 2 m, %23'ünde cam seçeneği G9, %16'sında G10 ve 100 çözümün 80'inde güneş kontrol elemanı (%31 O1; %49 O2) kullanılmıştır. Seçeneklerin %39'unda yalıtım malzemesi EPS, %37'sinde XPS ve %24'ünde taşyünü; %39'unda 10 cm'lik, %23'ünde 6 cm'lik ve %14'ünde 8 cm'lik dış duvar yalıtımı bulunmaktadır. Çözümlerin %30'unda gün ışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemi bulunmazken; %39'unda gün ışığına bağlı lineer loşlaştırma yapan C3, %26'sında ise kademeli loşlaşlaştırma yapan C2 no'lu aydınlatma otomasyonu senaryosu bulunmaktadır.



Şekil 4. 74. Örnek 2 Erzurum ili için en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) optimizasyon sonuçları

Çizelge 4. 62. Erzurum ili için Örnek 2'nin enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) optimizasyon çözümlerini oluşturan değişkenler (seçeneklerin kombinasyonu)

S. No	Yön (°)	Yön Açıklama	INF (ac/h)	ρ_{duvar}	SO	Pencere kuruluş	Cam tipi	Güneş kontrol	Yalıtım malzemesi	Yalıtım kalınlığı	Aydınl. kontrol	PV1 (%)	PV2 (%)
R	Ref	Ort.	0.8	0.5	29	Ref	Gref	YOK	EPS	5 cm	YOK	0	0
E1	-80	GD/KB	0.4	0.8	20	1m	G8	YOK	Taşyünü	10cm	C3	166.1	162.7
E2	-80	GD/KB	0.4	0.8	20	1m	G10	O1	Taşyünü	10cm	C3	167.0	163.6
E3	-90	D/B	0.4	0.8	20	1m	G16	YOK	EPS	10cm	C2	152.0	147.1
E4	-80	GD/KB	0.4	0.8	20	1m	G8	YOK	EPS	10cm	C3	166.7	163.3
E5	-100	KD/GB	0.4	0.5	25	1m	G16	O1	Taşyünü	10cm	C3	148.6	143.8
E6	-80	GD/KB	0.4	0.8	20	1m	G10	O1	EPS	10cm	C3	167.5	164.1
E7	-50	GD/KB	0.4	0.8	20	1m	G8	YOK	Taşyünü	10cm	C3	178.0	179.5
E8	-80	GD/KB	0.4	0.8	25	1m	G8	YOK	Taşyünü	10cm	C3	166.3	162.9
E9	-80	GD/KB	0.4	0.8	25	1m	G10	YOK	Taşyünü	10cm	C3	167.7	164.3
E10	-90	D/B	0.4	0.8	25	1m	G8	O1	EPS	10cm	C3	161.6	156.3
M1	-90	D/B	0.4	0.8	20	1m	G9	YOK	XPS	6cm	C3	151.6	146.6
M2	10	GB/KD	0.4	0.8	25	1m	G10	YOK	XPS	8cm	C3	171.6	175.4
M3	-20	GD/KB	0.4	0.8	30	1m	G11	YOK	XPS	5cm	C3	178.8	182.5
M4	-30	GD/KB	0.4	0.8	25	1m	G12	YOK	EPS	10cm	C3	167.6	170.7
M5	80	GB/KD	0.4	0.8	30	1m	G7	YOK	XPS	8cm	C2	152.5	147.6
M6	-30	GD/KB	0.4	0.5	20	1m	G4	YOK	Taşyünü	8cm	C1	162.7	165.8
M7	-70	GD/KB	0.4	0.8	40	2m	G9	YOK	XPS	5cm	C3	165.5	164.1
M8	60	GB/KD	0.4	0.8	30	2m	G8	O1	Taşyünü	5cm	C3	155.2	152.4
M9	-70	GD/KB	0.4	0.8	40	2m	G10	YOK	Taşyünü	10cm	C2	148.3	147.1

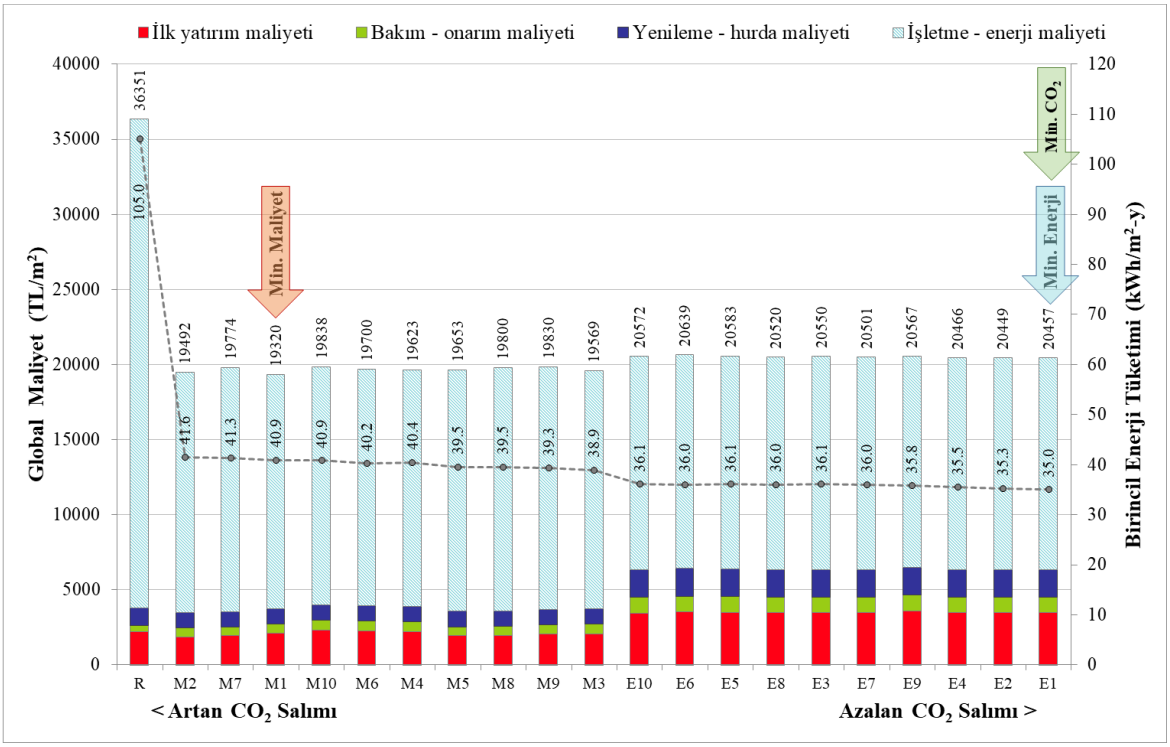
Çizelge 4. 63. Çizelge 4. 62'deki optimizasyon çözümlerine ait iyileştirme oranları

Senaryo No	İyileştirme oranı (%)							
	Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınlat. Enerjisi	CO_2 Salımı	Birincil Enerji	Global Maliyet	Global Maliyet PV1	Global Maliyet PV2
E1	85.5	43.2	47.2	69.2	71.6	45.3	67.5	67.0
E2	85.1	45.9	47.0	69.1	71.5	45.3	67.5	67.0
E3	87.0	29.3	46.2	68.7	71.4	43.5	65.1	64.3
E4	85.0	44.3	47.2	69.1	71.4	45.4	67.7	67.2
E5	87.6	16.9	47.4	68.5	71.3	42.4	64.0	63.2
E6	84.7	46.9	47.0	69.0	71.3	45.4	67.7	67.1
E7	84.8	43.5	47.4	68.9	71.3	45.2	69.2	69.4
E8	84.9	39.4	48.2	68.9	71.3	44.9	67.2	66.7
E9	84.4	43.0	47.9	68.8	71.1	45.0	67.2	66.7
E10	84.7	39.6	48.0	68.8	71.1	45.0	66.6	65.8
M1	79.6	55.3	40.1	64.3	66.6	48.7	70.3	69.5
M2	81.9	47.7	41.4	65.5	67.9	48.1	73.1	73.7
M3	74.1	53.0	43.0	61.9	63.7	48.1	73.1	73.7
M4	82.9	44.3	41.0	65.7	68.3	47.9	72.7	73.2
M5	80.0	47.6	42.3	64.7	67.0	47.8	69.4	68.6
M6	82.5	39.7	40.0	64.7	67.4	47.6	72.4	72.9
M7	72.8	53.2	43.1	61.2	62.9	47.3	70.1	69.9
M8	78.7	39.3	41.1	62.9	65.3	47.2	70.3	69.8
M9	83.8	15.9	43.8	65.0	67.8	47.1	70.0	69.8
M10	71.2	42.8	44.8	60.0	61.7	47.1	71.6	71.9

Erzurum ili için optimizasyon analizinde elde edilen enerji odaklı en iyi çözüm (E1) ile referans binaya göre birincil enerjide birim alan için 113,9 kWh (%71,6), maliyet odaklı en iyi çözüm (M1) ile global maliyette 17 470 TL/m^2.30y'lik (%48,7) bir iyileştirme sağlanmıştır. Referans binanın karbon emisyonu, en düşük karbon emisyonuna sahip E1'den 28,5 kg eşd. CO_2/m^2.y (%69,2) daha yüksektir.

Enerji tüketimi açısından Erzurum ili için ilk 100 çözüm analiz edildiğinde, seçeneklerin %21'si -80°(yaşam alanı GD/ yatak odaları KB) cephe yönlenimine sahip olduğu görülmüştür. Çözüm kümesinin tamamında yapı kabuğu sızdırmazlık katsayısı 0,4 ac/h, %92'sinde ρ_{duvar} 0,8, %48'sinde SO %20 ve %31'inde SO %25, %96'sında pencere kuruluşu 1 m parapet üzeri 1 m cam olduğu tespit edilmiştir. 100 çözümün 35'inde cam seçeneği G10 iken %39'unda yalıtım malzemesi XPS, %33'ünde taşyünü ve %28'inde EPS, %82'sinde yalıtım kalınlığı 10 cm ve %18'inde 8 cm'dir. Optimal çözümlerin %68'inde güneş kontrol elemanı olarak bulunmazken, %93'ünde gün ışığına bağlı aydınlatma kontrolü (%7 C2; %86 C3) yer almaktadır.

Global maliyet açısından en iyi 100 çözüm analiz edildiğinde optimal çözümler cephe yönlenimi açısından çeşitlilik göstermekle birlikte, çözümlerin %23'ü -30° (GD/KB), %22'si -80° (GD/KB), %9'u -90° (D/B) cephe yönlenimine sahip olduğu görülmüştür. Yapı kabuğu sızdırmazlık değeri seçeneklerin %87'sinde 0,4 ac/h'dir. Çözüm kümesinin %94'ünde ρ_{duvar} 0,8, %52'sinde SO %20, %28'inde SO %25 ve %88'inde pencere yüksekliği 1 m parapet üzerine 1 m cam şeklindedir. Maliyet odaklı çözümlerde G9 (%35) ve G10 (%30) cam seçenekleri öne çıkmakta ve pencere sisteminin %73'ünde dış cephe güneş kontrol elemanı bulunmamaktadır. Kombinasyonların %41'inde yalıtım malzemesi XPS, %33'ünde EPS, %26'sında taşyünüdür. İlk 100 çözümün 60'ında yalıtım kalınlığı 10 cm'dir. Ayrıca, maliyet odaklı seçeneklerin %74'ünde gün ışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemi (%4 C2; %70 C3) mevcuttur.



Şekil 4. 75. Örnek 2'nin İzmir ili için en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) optimizasyon sonuçları

Çizelge 4. 64. İzmir ili için Örnek 2'nin enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) optimizasyon çözümlerini oluşturan değişkenler

S. No	Yön (°)	Yön Açıklama	INF (ac/h)	ρ_{duvar}	SO	Pencere kuruluş	Cam tipi	Güneş kontrol	Yalıtım malzemesi	Yalıtım kalınlığı	Aydınl. kontrol	PV1 (%)	PV2 (%)
R	Ref	Ort.	0.8	0.5	29	Ref	Gref	YOK	EPS	1 cm	YOK	0	0
E1	-80	GD/KB	0.6	0.8	20	1m	G9	O2	EPS	10cm	C3	150.1	145.7
E2	-30	GD/KB	0.6	0.8	20	1m	G9	O2	EPS	10cm	C3	166.6	168.5
E3	-30	GD/KB	0.6	0.8	20	1m	G10	O2	EPS	10cm	C3	165.2	167.1
E4	-40	GD/KB	0.6	0.8	20	1m	G9	O2	EPS	10cm	C3	164.0	165.0
E5	-80	GD/KB	0.6	0.8	20	1m	G7	O2	Taşyünü	10cm	C3	148.9	144.5
E6	-40	GD/KB	0.6	0.8	20	1m	G10	O2	Taşyünü	10cm	C3	162.3	163.3
E7	-70	GD/KB	0.6	0.8	20	1m	G9	O2	EPS	10cm	C3	153.4	150.7
E8	-90	GD/KB	0.6	0.8	20	1m	G9	O2	EPS	10cm	C3	145.4	139.3
E9	-40	GD/KB	0.6	0.8	25	1.5m	G9	O2	EPS	10cm	C3	164.5	165.5
E10	-50	GD/KB	0.6	0.8	20	1m	G8	O2	EPS	10cm	C3	159.1	159.1
M1	-110	KD/GB	0.8	0.8	20	1m	G1	O2	XPS	6cm	C3	144.5	142.4
M2	-30	GD/KB	0.8	0.8	25	2m	G6	O1	EPS	6cm	C3	150.3	152.0
M3	-70	GD/KB	0.5	0.8	30	1m	G6	O1	Taşyünü	8cm	C3	136.7	134.3
M4	40	GB/KD	0.8	0.8	40	1m	G8	O1	Taşyünü	10cm	C3	149.4	150.6
M5	-70	GD/KB	0.7	0.8	30	2m	G8	O1	EPS	10cm	C3	135.0	132.7
M6	-110	KD/GB	0.8	0.8	35	1.5m	G9	O2	EPS	10cm	C3	141.3	139.2
M7	-30	GD/KB	0.8	0.8	20	2m	G6	O2	EPS	10cm	C1	146.8	148.6
M8	-120	KD/GB	0.5	0.8	20	1m	G10	O1	XPS	5cm	C3	137.6	136.9
M9	70	GB/KD	0.6	0.8	25	2m	G9	O2	XPS	10cm	C3	135.6	133.5

Çizelge 4. 65. Çizelge 4. 64'teki optimizasyon çözümlerine ait iyileştirme oranları

Senaryo No	İyileştirme oranı (%)							
	Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınlat. Enerjisi	CO_2 Salımı	Birincil Enerji	Global Maliyet	Global Maliyet PV1	Global Maliyet PV2
E1	97.6	62.6	46.8	63.6	65.9	43.7	66.9	66.2
E2	97.2	62.7	46.8	63.5	65.8	43.7	69.8	70.1
E3	98.1	61.6	46.8	63.4	65.8	43.5	69.5	69.9
E4	97.3	62.6	46.7	63.5	65.8	43.7	69.3	69.5
E5	98.2	61.1	47.0	63.4	65.8	43.4	66.6	65.8
E6	98.3	61.4	46.7	63.4	65.7	43.2	68.9	69.0
E7	97.5	62.6	46.6	63.5	65.7	43.6	67.5	67.0
E8	97.7	62.5	46.5	63.4	65.7	43.6	66.1	65.0
E9	96.8	61.1	47.9	63.5	65.7	43.4	69.1	69.2
E10	98.3	60.5	47.2	63.4	65.7	43.4	68.5	68.5
M1	82.4	63.2	40.7	57.3	58.9	46.8	71.0	70.6
M2	83.4	61.2	39.5	56.3	58.1	46.4	72.4	72.8
M3	98.7	51.8	43.8	59.3	62.0	46.2	70.0	69.6
M4	91.3	52.9	44.8	58.4	60.6	46.0	71.8	72.0
M5	96.7	52.6	42.3	58.4	60.9	45.9	69.8	69.4
M6	88.8	59.1	41.3	57.9	60.0	45.8	69.9	69.5
M7	88.8	62.8	36.5	56.7	58.8	45.6	71.7	72.0
M8	99.3	55.2	39.5	58.5	61.2	45.5	70.3	70.1
M9	98.4	56.4	39.5	58.6	61.2	45.4	69.6	69.2
M10	89.9	57.6	41.6	57.9	60.0	45.4	71.1	71.2

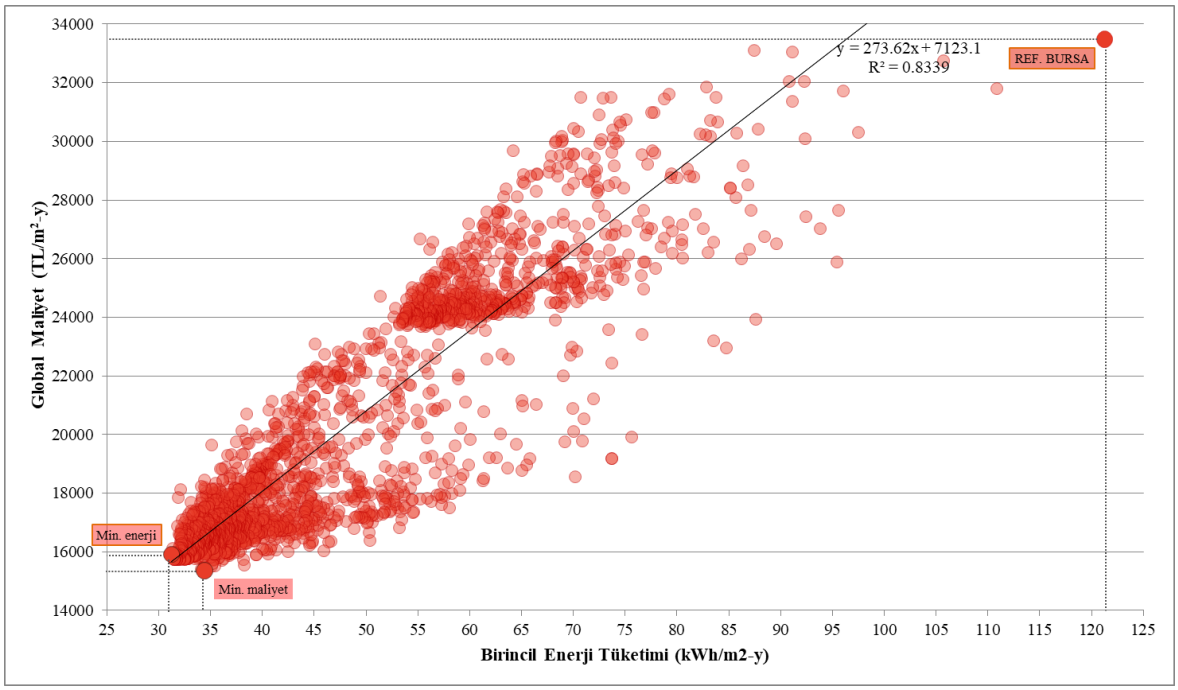
İzmir için optimizasyon analizinde elde edilen enerji odaklı en iyi çözüm (E1) ile referans binaya göre birincil enerjide 69,2 kWh/m^2 (%65,9), maliyet odaklı en iyi çözüm (M1) ile global maliyette 17 030 TL/m^2.30y'lik (%46,8) bir iyileştirme sağlanmıştır. Referans binanın karbon emisyonu E1'e göre 18,9 kg eşd. CO_2/m^2.y (%63,6) daha yüksektir.

İzmir ilindeki enerji odaklı ilk 100 çözüm cephe yönlenimi açısından değerlendirildiğinde, seçeneklerin %26'sının -80° (GD/KB), %23'ünün -30° (GD/KB), %15'inin -90° (D/B) yönlenimli olduğu görülmüştür. Diğer illerden farklı olarak, yapı kabuğu sızdırmazlık katsayısı %62'sinde 0,6 ac/h'dir. Çözüm kümesinin tamamında ρ_{duvar} 0,8 ve tamamına yakınında (%91) pencere kuruluşu 1 m parapet üzerine 1 m cam şeklindedir. Saydamlık oranı seçeneklerin %70'inde %20'dir ve cam seçeneği olarak kombinasyonların %38'inde G9, %22'sinde G10 kullanılmıştır. Seçeneklerin %61'inde yalıtım malzemesi XPS, %46'sında yalıtım kalınlığı 6 cm, %9'unda 8 cm ve %33'ünde 10cm'dir. Optimal çözümlerin tamamında güneş kontrol elemanı (%28 O1 yatay 0,5 m; %72 O2 yatay 1 m) ve gün ışığına bağlı aydınlatma kontrol stratejisi (%2 C2, %98 C3) bulunmaktadır.

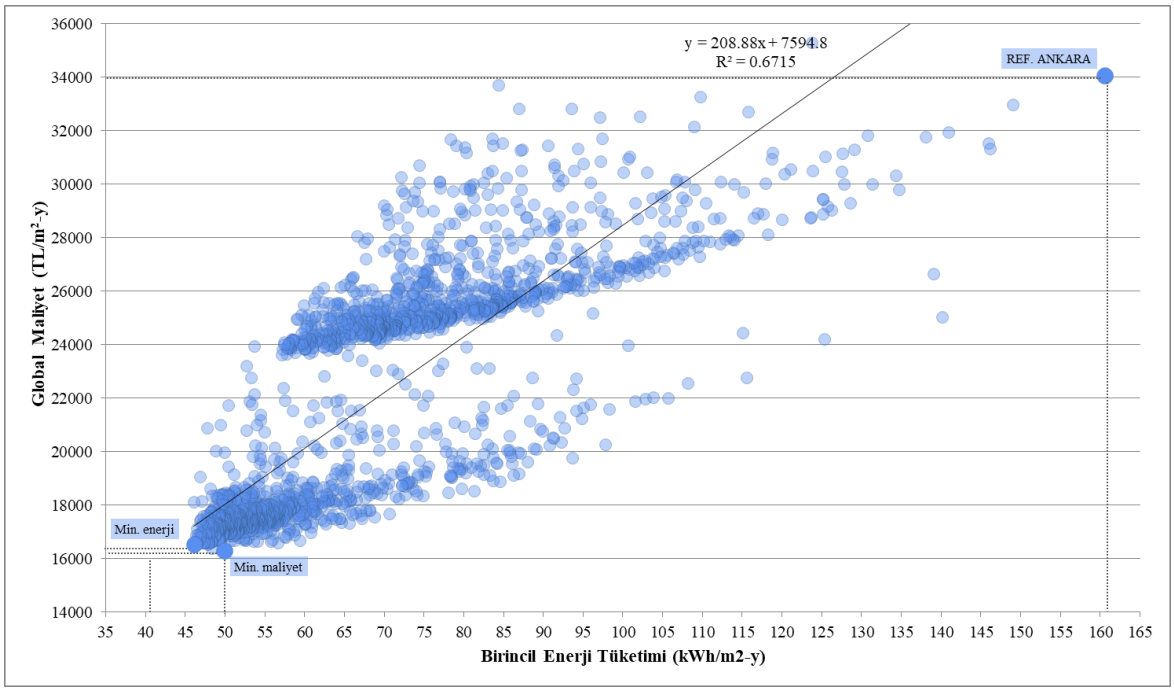
Örnek 2'nin İzmir ili için global maliyet açısından optimum 100 çözümü analiz edildiğinde, enerji odaklı çözümlere benzer şekilde en iyi çözümlerin %22'sinin -80° (GD/KB), %19'unun -30° (GD/KB) cephe yönlenimine sahip olduğu ve yapı kabuğu sızdırmazlık katsayısının %46'sı için 0,6 ac/h olduğu tespit edilmiştir. Çözüm kümesinin %93'ünde ρ_{duvar} 0,8, %57'sinde SO %20, %82'sinde pencere kuruluşu 1 m parapet üzeri 1 m cam ve %32'sinde cam seçeneği G9'dur (%19 G10). Seçeneklerin tamamında güneş kontrol elemanı vardır (%38 O1, %62 O2). Maliyet odaklı ilk 100 çözümün 52'sinin yalıtım malzemesi XPS olmakla birlikte (%38 EPS, %10 taşyünü), yalıtım kalınlığı için kombinasyon seçenekleri arasında benzer bir oran bulunmaktadır (%38 10 cm, %13 8 cm, %28 6 cm, %21'i 5cm ve altındaki kalınlıklar). Maliyet odaklı çözümlerin tamamında LED lambalar kullanılmakla birlikte %69'unda gün ışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemi kullanılmıştır (%3 C2, %66 C3).

c) Örnek 3

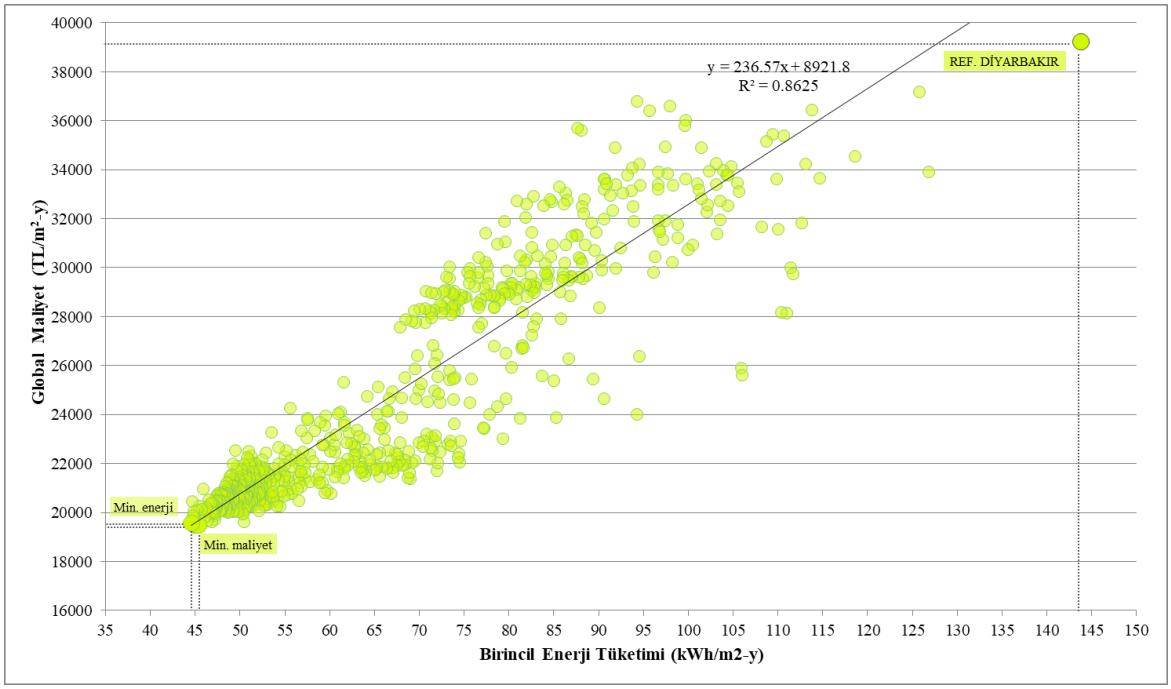
3 no'lu konut sitesinin sırasıyla Bursa, Ankara, Diyarbakır, Erzurum ve İzmir için oluşturulan XY dağılım grafikleri Şekil 4. 76 – Şekil 4. 80'de ve tüm iller için EK 38'de verilmiştir. Örnek 1 ve Örnek 2'ye benzer şekilde, regresyon modeli ve determinasyon katsayısı (R^2) bulguları global maliyet ile enerji tüketimi arasında aynı yönde ve kuvvetli bir ilişki olduğunu göstermektedir. Enerji tüketimindeki bir birimlik artış, optimal çözümlerin global maliyetinde Bursa ili için ortalama 274 TL, Ankara için 209 TL, Diyarbakır için 237 TL, Erzurum için 160 TL ve İzmir için 181 TL'lik bir artışa neden olmaktadır. Binanın 30 yıllık sabit gideri Bursa, Ankara, Diyarbakır, Erzurum ve İzmir için sırasıyla ortalama 7 123 TL/m^2, 7 595 TL/m^2, 8 922 TL/m^2, 7 914 TL/m^2 ve 11 297 TL/m^2'dir. Bağımlı değişken olan global maliyetteki değişimin Bursa için ortalama %83,4'ü, Ankara için %67,1'i, Diyarbakır için %86,2'si, Erzurum için %77,1'i ve İzmir için %75'i birincil enerji tüketimi kaynaklı olduğu söylenebilir.



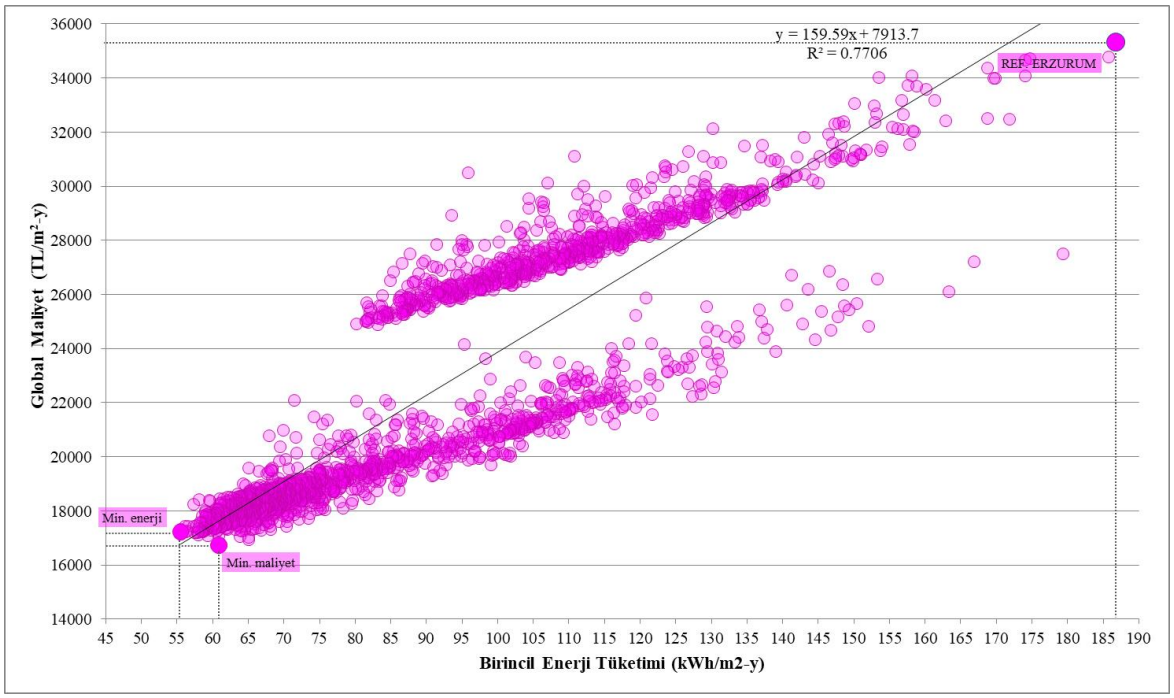
Şekil 4. 76. Örnek 3'ün Bursa ili (ılımlı – nemli/2. DGB) için optimal çözüm kümesi



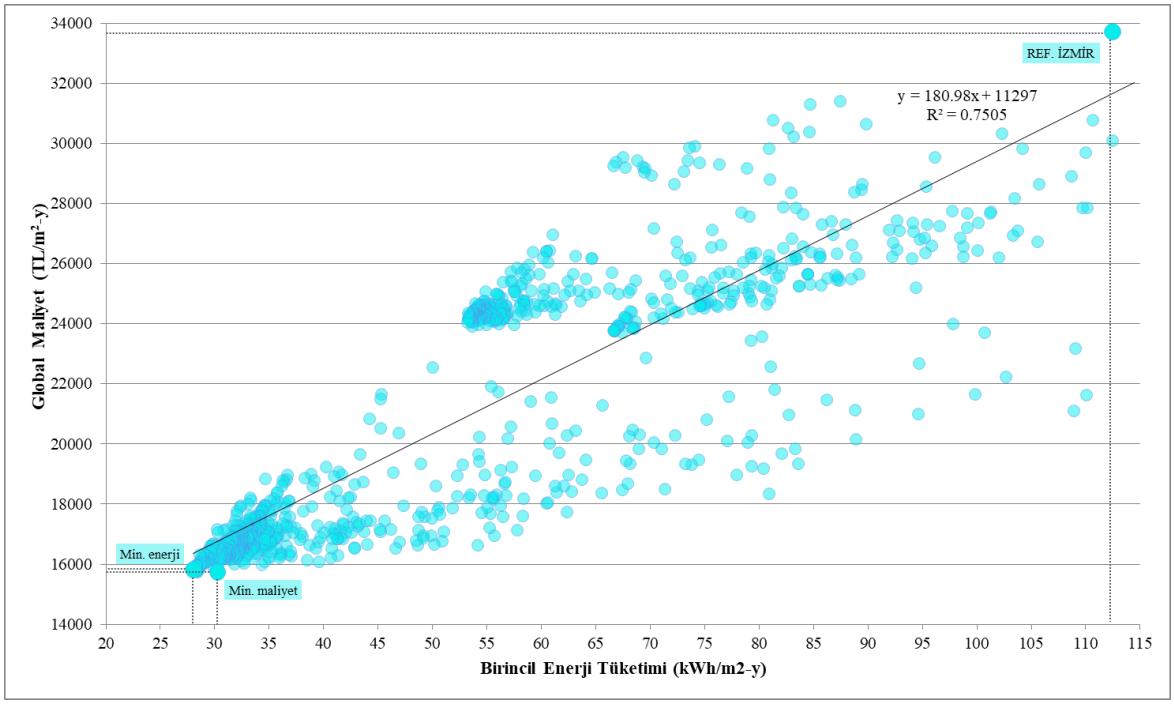
Şekil 4. 77. Örnek 3'ün Ankara ili (ılımlı – kuru/3. DGB) için optimal çözüm kümesi



Şekil 4. 78. Örnek 3'ün Diyarbakır ili (sıcak – kuru/ 2.DGB) için optimal çözüm kümesi

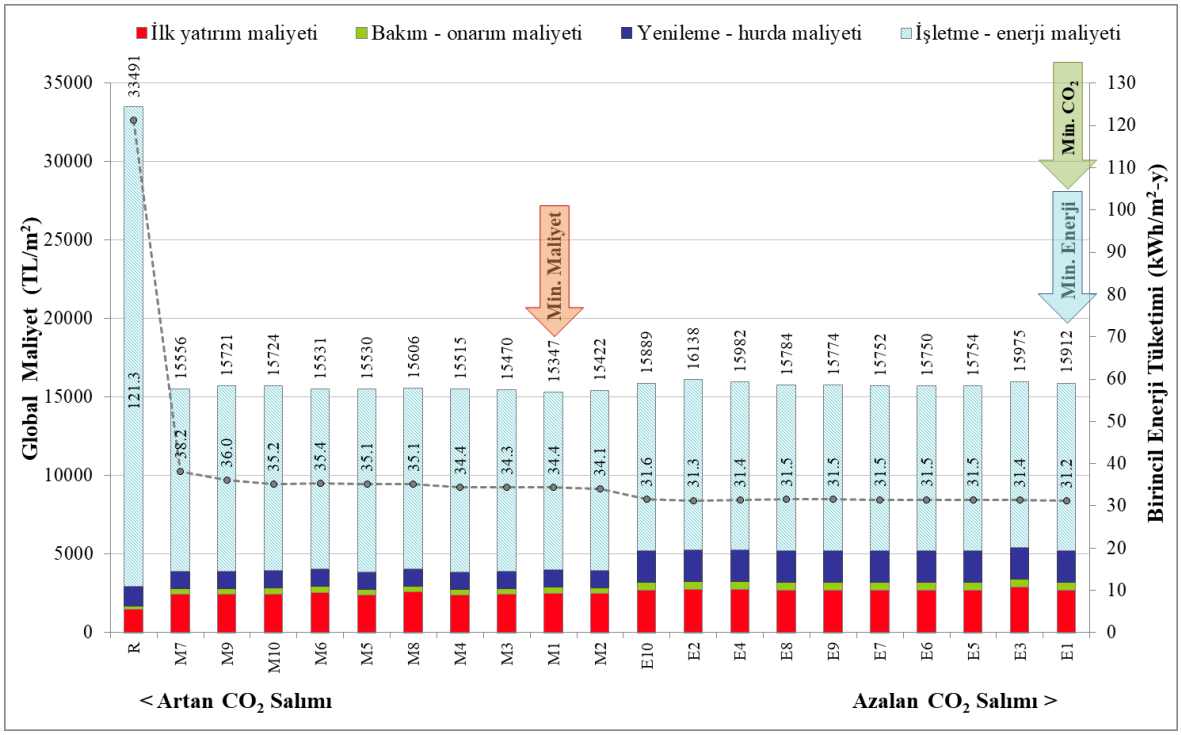


Şekil 4. 79. Örnek 3'ün Erzurum ili (soğuk/4. DGB) için optimal çözüm kümesi



Şekil 4. 80. Örnek 3'ün İzmir ili (sıcak – nemli/1. DGB) için optimal çözüm kümesi

Şekil 4. 81 – Şekil 4. 85'te 5 il için optimal çözüm kümesi içinden minimum global maliyet (M) ve minimum enerji tüketimine sahip (E) 20 seçenek soldan sağa azalan sera gazı salımına göre verilmiştir. Bu seçeneklerin hangi değişkenlerden meydana geldiği ve her bir kombinasyonun bina performans ölçütleri için iyileştirme oranları il bazında Çizelge 4. 66 - Çizelge 4. 75'te görülmektedir. Enerji ve maliyet odaklı 20 çözüm ele alınan tüm bina performans ölçütlerinde iyileştirme sağlamaktadır. Diyarbakır ili PV1 senaryosu haricinde maliyet ve enerji odaklı seçenekler içinde PV1 ve PV2 no'lu senaryolar aydınlatma ve soğutma enerjisi tüketiminin tamamını karşılayabildiği hesaplanmıştır. Tüm iller için optimal 100 çözümde ortak olarak ısıtma ayar sıcaklığı 20°C, soğutma ayar sıcaklığı 27°C, aydınlatma sistemi LED'dir.



Şekil 4. 81. Bursa ili için optimizasyon çözümleri içinde en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) seçenekler

Çizelge 4. 66. Bursa ili için Örnek 3'ün enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) optimizasyon çözümlerini oluşturan değişkenler

S. No	Yön (°)	Yön Açıklama	INF (ac/h)	ρ_{duvar}	SO	Pencere kuruluş	Cam tipi	Güneş kontrol	Yalıtım malzemesi	Yalıtım kalınlığı	Aydınl. kontrol	PV1 (%)	PV2 (%)
R	Ref	Ort	0.8	0.5	30	Ref	Gref	YOK	EPS	3cm	YOK	0	0
E1	25	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G5	O1	XPS	10cm	C3	136.4	145.3
E2	20	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G16	O1	XPS	10cm	C3	133.8	143.0
E3	25	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G5	O2	XPS	10cm	C3	139.3	148.4
E4	25	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G14	O1	XPS	10cm	C3	136.4	145.3
E5	25	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G8	O1	XPS	10cm	C3	139.8	148.8
E6	20	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G8	O1	XPS	10cm	C3	140.1	149.8
E7	10	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G8	O1	XPS	10cm	C3	140.4	150.8
E8	30	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G8	O1	XPS	10cm	C2	138.9	147.5
E9	15	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G8	O1	XPS	10cm	C3	140.0	150.2
E10	25	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G4	O1	XPS	10cm	C3	137.4	146.3
M1	30	GB/KD	0.4	0.8	30	1.5m	G9	O1	XPS	10cm	C3	130.3	138.4
M2	-20	GD/KB	0.4	0.8	30	1.5m	G7	O1	XPS	10cm	C3	127.9	135.5
M3	20	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G7	O1	XPS	10cm	C3	127.5	136.3
M4	-30	GD/KB	0.4	0.8	20	1.5m	G3	O1	XPS	10cm	C3	124.4	130.4
M5	0	G/K	0.4	0.8	20	1.5m	G6	O1	XPS	10cm	C3	127.1	136.8
M6	30	GB/KD	0.4	0.8	25	1.5m	G3	O2	Taşyünü	8cm	C2	129.7	137.8
M7	-20	GD/KB	0.5	0.8	25	1.5m	G8	O1	Taşyünü	8cm	C3	130.9	138.7
M8	20	GB/KD	0.4	0.8	30	1m	G3	O1	Taşyünü	10cm	C3	128.8	137.7
M9	-20	GD/KB	0.4	0.8	20	1m	G13	O1	EPS	8cm	C3	125.4	132.9

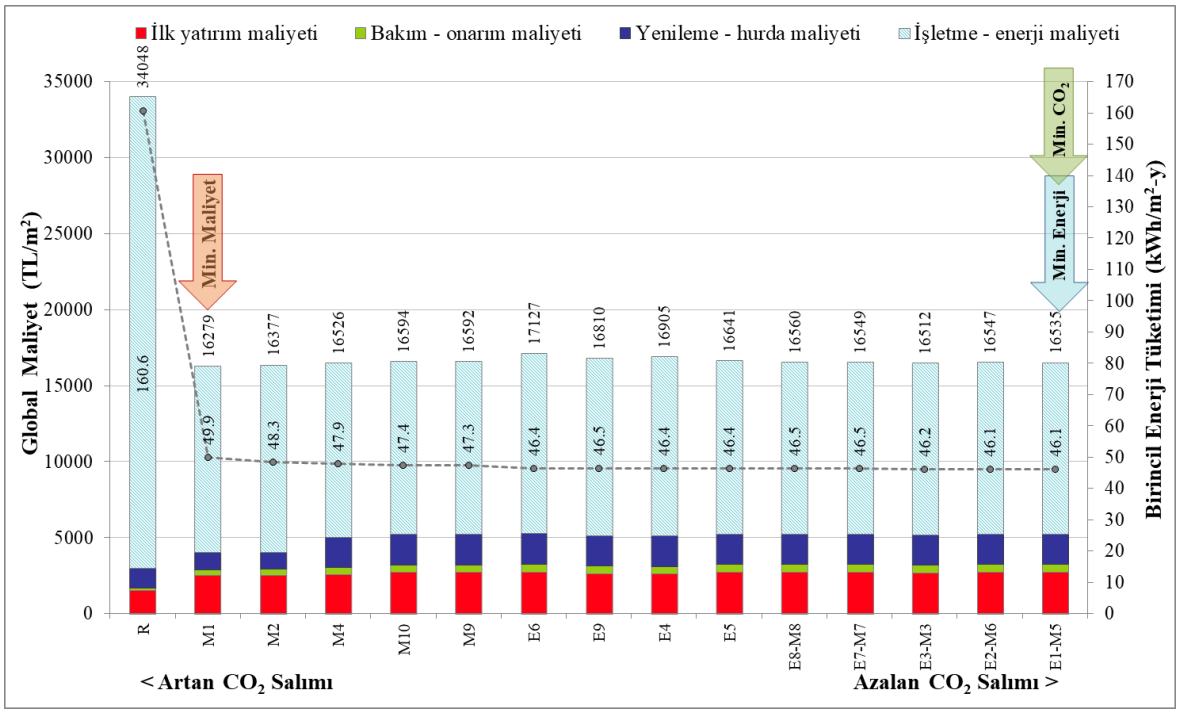
Çizelge 4. 67. Referans duruma kıyasla Çizelge 4. 66'daki en iyi 10 çözümün bina performans ölçütlerindeki iyileştirme oranları (%)

Senaryo No	İyileştirme oranı (%)							
	Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınlat. Enerjisi	CO_2 Salımı	Birincil Enerji	Global Maliyet	Global Maliyet PV1	Global Maliyet PV2
E1	90.0	71.8	53.8	72.3	74.2	52.5	69.8	71.0
E2	90.8	69.0	53.8	72.1	74.2	51.8	69.2	70.4
E3	88.8	75.8	53.1	72.3	74.1	52.3	69.6	70.8
E4	89.6	72.8	53.3	72.1	74.1	52.3	69.6	70.8
E5	88.5	76.0	53.2	72.2	74.0	53.0	70.3	71.4
E6	88.5	76.1	53.2	72.2	74.0	53.0	70.3	71.6
E7	88.5	76.1	53.2	72.2	74.0	53.0	70.3	71.7
E8	88.6	75.9	53.1	72.2	74.0	52.9	70.1	71.2
E9	88.5	76.1	53.1	72.2	74.0	52.9	70.3	71.6
E10	89.0	72.7	53.8	72.0	73.9	52.6	69.9	71.0
M1	86.4	70.6	51.7	69.7	71.6	54.2	71.4	72.5
M2	87.8	67.3	52.1	69.9	71.9	54.0	71.2	72.3
M3	87.8	75.8	47.6	69.7	71.7	53.8	71.1	72.4
M4	88.3	69.8	49.5	69.6	71.7	53.7	70.8	71.7
M5	86.8	74.9	47.6	69.1	71.1	53.6	71.0	72.4
M6	85.0	71.2	51.1	69.1	70.8	53.6	70.9	72.0
M7	79.7	73.5	50.6	67.1	68.5	53.6	70.8	71.9
M8	86.0	67.4	52.2	69.2	71.1	53.4	70.7	72.0
M9	85.4	73.9	47.7	68.4	70.3	53.1	70.3	71.4
M10	87.2	76.1	46.2	68.9	71.0	53.1	70.3	71.4

Bursa ili için optimizasyon analiziyle elde edilen enerji odaklı en iyi çözüm (E1) referans binaya göre birincil enerjide 90 kWh/m^2 (%74,2), karbon emisyonunda 23,7 kg eşd. CO_2/m^2.y (%72,3); maliyet odaklı en iyi çözüm (M1) global maliyette 18 144 TL/m^2.30y'lik (%54,2) bir iyileştirme sağlamaktadır.

Bursa ili için 100 optimal çözüm incelendiğinde, enerji optimal çözüm kümesindeki seçeneklerin %21'inin 25° (yaşam alanı GB/ yatak odaları KD), %16'sının 20°(GB/KD), %15'inin 30°(GB/KD) cephe yönlenimine sahip olduğu hesaplanmıştır. Çözüm kümesinin tamamında yapı kabuğu sızdırmazlık değeri 0,4 ac/h, ρ_{duvar} 0,8'dir. %73'ünde SO %20, %69'unda pencere kuruluşu 1 m, %22'sinde cam seçeneği G10 (6 mm cam+16 mm argon+6 mm cam, T_{vis}:%69, g: %40, U_{cam}: 1,1 W/m^2K), %16'sında G8 (4 mm cam+16 mm argon+4 mm cam, T_{vis}:%71, g: %44, U_{cam}: 1,1 W/m^2K) ve %15'inde G9'dur (6 mm cam+16 mm hava+6 mm cam, T_{vis}:%69, g: %40, U_{cam}: 1,1 W/m^2K). Seçeneklerin %96'sında güneş kontrol elemanı bulunmaktadır (%81 O1: 0,5 m yatay çıkma, %15 O2: 1 m yatay çıkma). Enerji odaklı çözümlerin %59'unda yalıtım malzemesi XPS ve %69'unda yalıtım kalınlığı 10 cm'dir. Tüm kombinasyonlarda gün ışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemi (%37 C2, %63 C3) bulunmaktadır.

Global maliyet açısından en iyi 100 çözümün 22'si 25° (GB/KD) ve 20'si 30° (GB/KD) cephe yönlenimine sahiptir. Maliyet odaklı ilk 100 çözümün 92'sinde yapı kabuğu sızdırmazlık katsayısının 0,4 ac/h olduğu görülmüştür. Çözüm kümesinin hepsinde ρ_{duvar} 0,8, %83'ünde SO %20, %80'inde pencere kuruluşu 1 m parapet üzeri 1 m cam ve %24'ünde cam seçeneği G9'dur (%17 G10). Tüm çözümlerin %96'sında güneş kontrol elemanı bulunmaktadır (%87 O1, %9 O2) bulunmaktadır. Çözüm kümesinin %60'ında yalıtım malzemesi XPS ve %61'inde yalıtım kalınlığı 10 cm'dir. En iyi 100 çözümün %86'sında aydınlatma kontrol sistemi (%26 C2, %60 C3) mevcuttur.



Şekil 4. 82. Ankara ili için optimizasyon çözümleri içinde en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) seçenekler

Çizelge 4. 68. Ankara ili için Örnek 3'ün enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) optimizasyon çözümlerini oluşturan değişkenler

S. No	Yön (°)	Yön Açıklama	INF (ac/h)	ρ_{duvar}	SO	Pencere kuruluş	Cam tipi	Güneş kontrol	Yalıtım malzemesi	Yalıtım kalınlığı	Aydın. kontrol	PV1 (%)	PV2 (%)
R	Ref	Ort.	0.8	0.5	30	Ref	Gref	YOK	EPS	4 cm	YOK	0	0
E1-M5	20	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G8	O1	XPS	10cm	C3	129.0	134.1
E2-M6	15	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G8	O1	XPS	10cm	C3	129.1	134.5
E3-M3	15	GB/KD	0.4	0.8	20	1.5m	G10	O1	XPS	10cm	C3	129.0	134.4
E4	0	GB/KD	0.4	0.8	20	2.5m	G12	O1	XPS	10cm	C2	121.8	127.7
E5	20	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G12	O1	XPS	10cm	C3	127.8	132.8
E6	20	GB/KD	0.4	0.5	20	1m	G14	O1	XPS	10cm	C2	120.2	124.9
E7-M7	20	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G10	O1	XPS	10cm	C3	129.9	135.0
E8-M8	15	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G10	O1	XPS	10cm	C3	129.9	135.4
E9	25	GB/KD	0.4	0.8	20	2.5m	G10	O1	XPS	10cm	C2	122.8	127.1
M1	25	GB/KD	0.4	0.8	20	1.5m	G9	O2	XPS	10cm	C3	118.8	122.9
M2	10	GB/KD	0.4	0.8	25	2m	G10	O1	XPS	10cm	C3	116.0	121.2
M4	10	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G9	YOK	XPS	10cm	C3	129.2	135.1
M9	20	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G7	O1	XPS	10cm	C2	130.0	135.1
M10	5	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G7	O1	XPS	10cm	C3	130.6	136.8

Çizelge 4. 69. Çizelge 4. 68'deki optimizasyon çözümlerine ait iyileştirme oranları

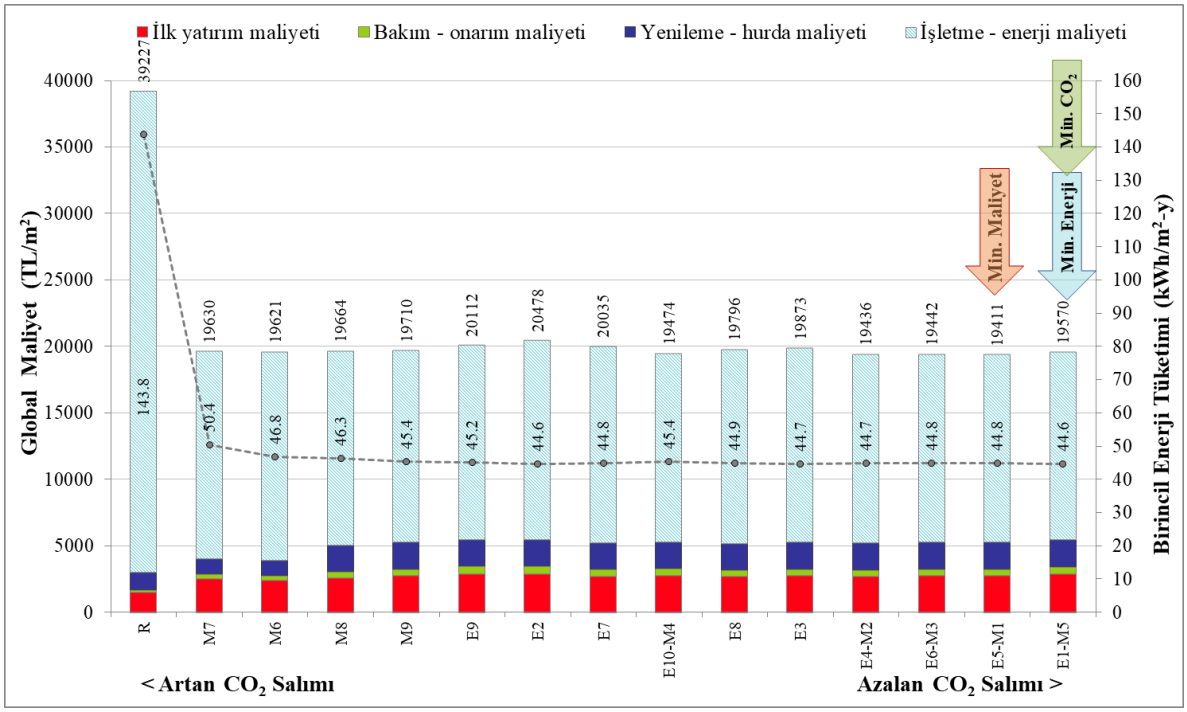
Senaryo No	İyileştirme oranı (%)							
	Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınlat. Enerjisi	CO_2 Salımı	Birincil Enerji	Global Maliyet	Global Maliyet PV1	Global Maliyet PV2
E1-M5	78.5	74.3	52.5	70.0	71.3	51.4	65.8	66.4
E2-M6	78.5	74.3	52.4	70.0	71.3	51.4	65.8	66.5
E3-M3	78.5	74.1	52.4	69.9	71.3	51.5	65.9	66.6
E4	79.6	72.0	49.6	69.6	71.1	50.3	64.8	65.6
E5	78.4	74.8	51.9	69.8	71.1	51.1	65.5	66.1
E6	79.7	67.3	50.2	69.5	71.1	49.7	64.1	64.7
E7-M7	78.0	76.9	52.3	69.8	71.1	51.4	65.8	66.4
E8-M8	78.0	76.9	52.2	69.8	71.1	51.4	65.8	66.4
E9	79.1	73.3	50.2	69.6	71.0	50.6	65.0	65.5
M1	76.7	77.9	47.3	67.5	68.9	52.2	66.5	67.1
M2	78.9	71.7	46.9	68.3	69.9	51.9	66.3	67.0
M4	76.9	73.7	52.5	69.0	70.2	51.5	65.9	66.6
M9	77.2	76.1	52.5	69.3	70.5	51.3	65.7	66.3
M10	77.2	76.3	52.5	69.3	70.5	51.3	65.7	66.5

Ankara ili için elde edilen enerji odaklı en iyi çözüm (E1) ile referans binaya göre birincil enerjide 114,5 kWh/m^2 (%71,3), karbon emisyonunda 28,9 kg eşd. CO_2/m^2.y (%70); maliyet odaklı en iyi çözüm (M1) ile global maliyette 17 769 TL/m^2.30y'lik (%52,2) bir iyileştirme sağlanmıştır.

Enerji tüketimi açısından Örnek 3'ün Ankara ili için en iyi 100 çözümü analiz edildiğinde, seçeneklerin %19'unun 20° (GB/KD), %11'inin 30° (GB/KD) cephe yönlenimine sahip olduğu görülmüştür. Çözüm kümesinin %96'sında yapı kabuğu sızdırmazlık katsayısı 0,4 ac/h, %86'sında ρ_{duvar} 0,8, %63'ünde SO %20, %62'sinde yalıtım malzemesi XPS (%30 taşyünü, %8 EPS) ve %76'sında yalıtım kalınlığı 10 cm'dir. Enerji etkin en iyi 100 çözümün 93'ünde güneş kontrol elemanı (%82 O1, %11 O2) bulunmaktadır. Pencere kuruluşu bakımından seçeneklerin %52'si 1 m parapet üzeri 1 m saydam bileşenden meydana gelmektedir. Cam seçeneği olarak çözümlerin %35'inde G9 ve %16'sında G10 ve %12'sinde G8 yer almaktadır. Enerji odaklı çözümlerin %93'ünde gün ışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemi (%39 C2, %54 C3) bulunmaktadır.

Örnek 3'ün Ankara ili için global maliyet açısından optimal 100 seçeneği incelendiğinde, çözümlerin %20'sinin 20° (GB/KD), %10'unun 30°(GB/KD) cephe yönlenimine sahip

olduğu tespit edilmiştir. Yapı kabuğu sızdırmazlık katsayısı çözümlerin %92'sinde 0,4 ac/h dir. İlk 100 çözümün %89'unda ρ_{duvar} 0,8, %67'sinde SO %20, %59'unda pencere ve parapet yüksekliği 1 m ve %17'sinde 2,5 m'dir. Kombinasyonların %34'ü G9, %16'sı G10 ve %12'si G8 cam seçeneği ile oluşturulmuştur. Çözümlerin %90'ında güneş kontrol elemanı (%80 O1, %10 O2) bulunmaktadır. Seçeneklerin %61'inde yalıtım malzemesi XPS ve %76'sında yalıtım kalınlığı 10 cm'dir. Enerji odaklı seçeneklere benzer şekilde, maliyet odaklı seçeneklerin %88'inde de gün ışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemi (%38 C2, %50 C3) bulunmaktadır.



Şekil 4. 83. Diyarbakır ili için optimizasyon çözümleri içinde en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) seçenekler

Çizelge 4. 70. Diyarbakır ili için Örnek 3'ün enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) optimizasyon çözümlerini oluşturan değişkenler (seçeneklerin kombinasyonu)

S. No	Yön (°)	Yön Açıklama	INF (ac/h)	ρ_{duvar}	SO	Pencere kuruluş	Cam tipi	Güneş kontrol	Yalıtım malzemesi	Yalıtım kalınlığı	Aydın. kontrol	PV1 (%)	PV2 (%)
R	Ref	Ort	0.8	0.5	30	Ref	Gref	YOK	EPS	3cm	YOK	0	0
E1-M5	20	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G7	O2	XPS	10cm	C3	81.7	113.5
E2	-15	GD/KB	0.4	0.8	25	1.5m	G16	O2	XPS	10cm	C2	75.5	105.2
E3	20	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G12	O2	XPS	10cm	C2	77.9	108.3
E4-M2	20	GB/KD	0.4	0.8	20	1.5m	G9	O2	XPS	10cm	C3	80.8	112.3
E5-**M1**	-10	GD/KB	0.4	0.8	20	1m	G9	O1	XPS	10cm	C3	82.3	114.8
E6-M3	30	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G9	O1	XPS	10cm	C3	74.5	111.4
E7	15	GB/KD	0.4	0.8	20	2.5m	G10	O2	XPS	10cm	C2	76.9	107.0
E8	20	GB/KD	0.4	0.8	20	1.5m	G8	O2	Taşyünü	10cm	C2	78.0	108.5
E9	15	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G12	O2	XPS	10cm	C2	78.3	109.0
E10-M4	20	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G9	O1	Taşyünü	10cm	C3	81.6	113.5
M6	-25	GD/KB	0.4	0.8	25	2.5m	G8	O2	XPS	10cm	YOK	71.4	99.2
M7	-5	GD/KB	0.4	0.8	30	1.5m	G10	O2	XPS	5cm	C2	75.2	104.9
M8	-20	GD/KB	0.4	0.8	20	1.5m	G6	YOK	Taşyünü	10cm	C3	79.2	110.2
M9	-25	GD/KB	0.4	0.8	20	1m	G9	O1	XPS	10cm	C2	79.6	110.6

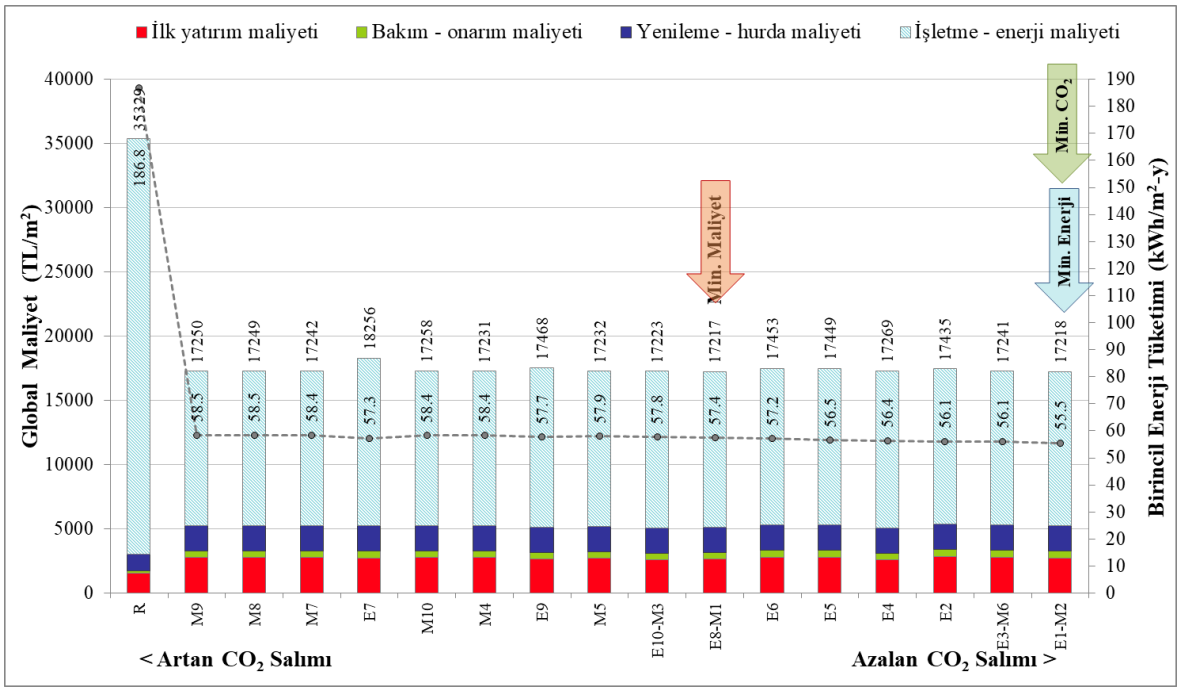
Çizelge 4. 71. Çizelge 4. 70'teki optimizasyon çözümlerine ait iyileştirme oranları

Senaryo No	İyileştirme oranı (%)							
	Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınlat. Enerjisi	CO_2 Salımı	Birincil Enerji	Global Maliyet	Global Maliyet PV1	Global Maliyet PV2
E1-M5	82.6	61.7	52.3	67.3	69.0	50.1	61.3	66.0
E2	86.7	50.1	54.3	66.7	69.0	47.8	59.1	63.9
E3	84.7	59.0	50.7	66.9	68.9	49.3	60.6	65.3
E4-M2	82.9	59.5	53.2	67.1	68.9	50.5	61.7	66.4
E5-**M1**	82.4	60.7	53.0	67.2	68.9	50.5	61.8	66.6
E6-M3	82.5	60.5	53.0	67.2	68.9	50.4	60.7	66.1
E7	85.4	58.8	49.5	66.8	68.8	48.9	60.2	64.9
E8	84.4	57.4	52.0	66.9	68.8	49.5	60.8	65.5
E9	84.0	61.2	49.1	66.7	68.6	48.7	60.0	64.8
E10-M4	81.5	60.7	53.0	66.8	68.5	50.4	61.6	66.3
M6	86.1	52.3	48.6	65.1	67.4	50.0	61.2	65.9
M7	78.8	53.0	51.5	63.2	64.9	50.0	61.3	66.1
M8	81.8	56.4	53.7	66.1	67.8	49.9	61.2	65.9
M9	82.5	60.4	51.5	66.6	68.4	49.8	61.0	65.6

Diyarbakır ili için referans binaya göre E1 birincil enerjide 99,2 kWh/m^2 (%69), karbon emisyonunda 26,2 kg eşd. CO_2/m^2.y (%67,3); M1 global maliyette 19 817 TL/m^2.30y'lik (%50,5) bir iyileştirme sağlamıştır. Enerji ve maliyet odaklı çözümler için PV1 no'lu senaryo aydınlatma ve soğutma enerjisi tüketimi toplamının ortalama %78,1'ini, PV2 no'lu senaryo tamamını karşılayabilmektedir.

Enerji tüketimi açısından Diyarbakır ili için optimal 100 çözüm incelediğinde, sonuçların %20'sinin 20° (GB/KD), %10'unun 10° (GB/KD) cephe yönlenimine sahip olduğu görülmüştür. Yapı kabuğu sızdırmazlık katsayısı, seçeneklerin kombinasyonunun %63'ünde 0,4 ac/h ve %13'ünde 0,5 ac/h'dir. Seçeneklerin %75'inde ρ_{duvar} 0,8, %37'sinde SO %20'dir. Pencere kuruluşu %43'ünde 1 m parapet üzeri 1 m cam iken %24'ünde 1 m parapet üzeri 1,5 m cam ve %23'ünde parapetsiz 2,5 m camdır. Çözüm kümesinin %15'inde cam seçeneği G9 ve %11'inde G10'dur. Enerji odaklı çözümlerin %62'sinde yalıtım malzemesi XPS ve %55'inde yalıtım kalınlığı 10 cm'dir (%22 8 cm). Kombinasyonların %82'sinde güneş kontrol elemanı (%21'inde O1; %61'inde O2) ve tamamına yakınında (%45 C2; %50 C3) gün ışığına bağlı aydınlatma otomasyonu bulunmaktadır.

Global maliyet açısından ilk 100 optimal çözüm incelendiğinde, enerji odaklı çözümlere benzer şekilde seçeneklerin %20'sinin 20° (GB/KD) ve %14'ünün 10° (GB/KD) cephe yönlenimine sahip olduğu görülmüştür. Çözüm kümesinin %58'inde yapı kabuğu hava sızdırmazlık değeri 0,4 ac/h ve %12'sinde 0,5 ac/h; %79'unda ρ_{duvar} 0,8 ve %45'inde SO %20'dir. Maliyet odaklı 100 seçeneğin 46'sının pencere kuruluşu 1 m parapet üzeri 1 m cam, 25'inin pencere kuruluşu 1 m parapet üzeri 1,5 m camdan oluşmaktadır. 100 çözümün 18'inde cam seçeneği G9 ve 11'inde G10'dur. Çözümlerin %85'inde güneş kontrol elemanı (%22 O1, %63 O2) bulunmaktadır. Çözümlerin %64'ünde yalıtım malzemesi XPS'tir (%12 EPS, %24 taşyünü) ve %52'sinde yalıtım kalınlığı 10 cm'dir (%24 8 cm, %24 <6 cm). Maliyet odaklı seçeneklerin tamamına yakınında gün ışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemi (%45 C2, %47 C3) bulunmaktadır.



Şekil 4. 84. Erzurum ili için optimizasyon çözümleri içinde en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) seçenekler

Çizelge 4. 72. Erzurum ili için Örnek 3'ün enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) optimizasyon çözümlerini oluşturan değişkenler

S. No	Yön (°)	Yön Açıklama	INF (ac/h)	ρ_{duvar}	SO	Pencere kuruluş	Cam tipi	Güneş kontrol	Yalıtım malzemesi	Yalıtım kalınlığı	Aydın. kontrol	PV1 (%)	PV2 (%)
R	Ref	Ort	0.8	0.5	30	Referans	REF	YOK	EPS	3cm	YOK	0	0
E1-M2	20	GB/KD	0.4	0.8	20	1.5m	G16	O1	XPS	10cm	C3	142.1	149.2
E2	0	G/K	0.4	0.5	20	1.5m	G16	O1	XPS	10cm	C3	142.6	151.3
E3-M6	20	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G16	YOK	XPS	10cm	C3	144.4	151.5
E4	15	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G5	YOK	XPS	10cm	C2	139.2	146.7
E5	25	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G16	O1	XPS	10cm	C2	140.3	146.5
E6	20	GB/KD	0.4	0.8	30	1.5m	G5	YOK	XPS	10cm	C3	141.8	148.8
E8-**M1**	15	GB/KD	0.4	0.8	20	2.5m	G8	YOK	XPS	10cm	C3	143.9	151.7
E9	0	G/K	0.4	0.5	20	2.5m	G8	YOK	XPS	10cm	C3	140.0	148.5
E10-M3	20	GB/KD	0.4	0.8	20	2.5m	G10	YOK	XPS	10cm	C3	143.1	150.2
M4	10	GB/KD	0.4	0.8	25	1.5m	G8	O1	XPS	10cm	C3	148.4	156.9
M5	30	GB/KD	0.4	0.8	20	1.5m	G4	O1	XPS	10cm	C3	144.5	150.1
M7	10	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G8	YOK	XPS	10cm	C3	148.6	157.1
M8	25	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G8	YOK	XPS	10cm	C2	147.5	154.0
M9	20	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G8	YOK	XPS	10cm	C3	147.9	155.3
M10	30	GB/KD	0.4	0.8	20	1m	G8	O1	XPS	10cm	C3	146.5	152.2

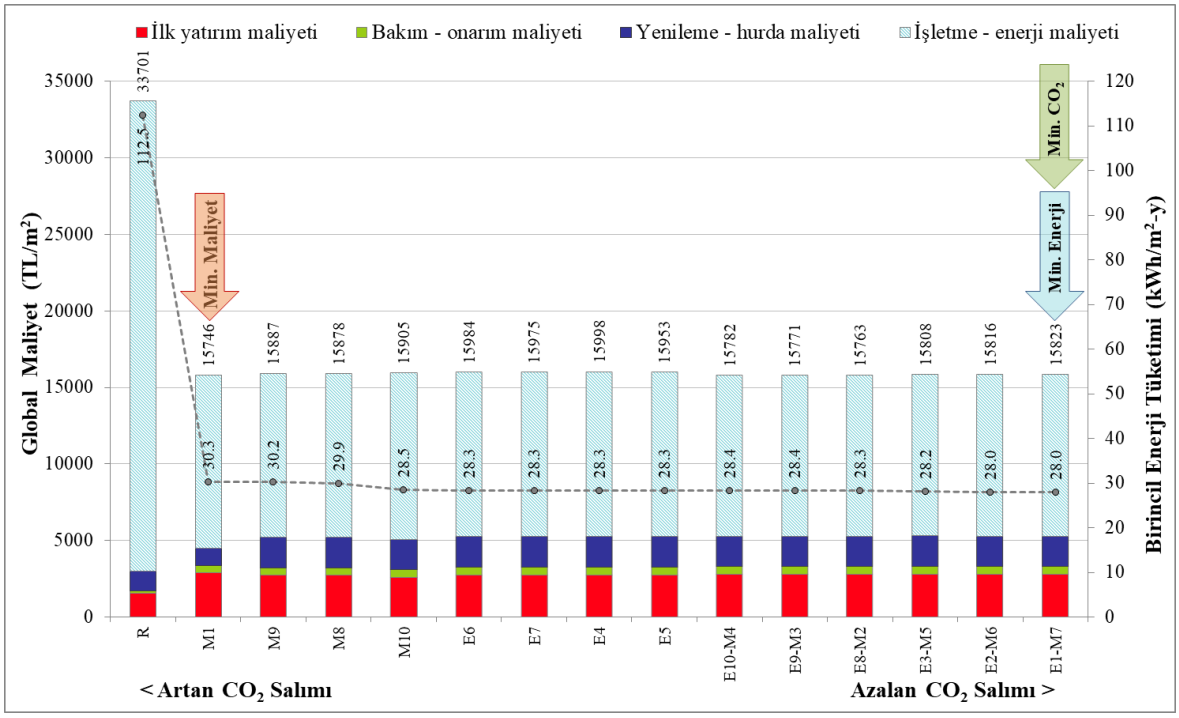
Çizelge 4. 73. Çizelge 4. 72'deki optimizasyon çözümlerine ait iyileştirme oranları

Senaryo No	İyileştirme oranı (%)							
	Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınlat. Enerjisi	CO_2 Salımı	Birincil Enerji	Global Maliyet	Global Maliyet PV1	Global Maliyet PV2
E1-M2	75.9	57.5	53.8	69.1	70.3	51.3	66.2	67.0
E2	75.6	64.4	52.7	68.8	70.0	50.6	65.7	66.7
E3-M6	75.2	63.7	53.7	68.9	70.0	51.2	66.2	67.0
E4	75.7	56.5	52.7	68.6	69.8	51.1	66.1	67.0
E5	75.4	62.8	52.5	68.6	69.7	50.6	65.6	66.3
E6	74.7	47.1	55.2	68.3	69.4	50.6	65.6	66.4
E8-**M1**	74.4	71.7	52.3	68.2	69.3	51.3	66.3	67.1
E9	74.7	71.5	50.6	68.0	69.1	50.6	65.7	66.6
E10-M3	74.2	72.5	52.0	68.0	69.1	51.3	66.2	67.0
M4	73.2	68.4	54.3	67.8	68.7	51.2	66.3	67.2
M5	73.8	66.2	53.8	68.0	69.0	51.2	66.1	66.7
M7	73.2	76.7	53.1	67.8	68.7	51.2	66.2	67.2
M8	73.2	76.2	53.1	67.8	68.7	51.2	66.1	66.8
M9	73.1	76.6	53.1	67.8	68.7	51.2	66.2	66.9
M10	73.3	76.0	53.0	67.8	68.8	51.2	66.0	66.6

Erzurum ili için referans binaya göre E1 birincil enerji tüketiminde 131,3 kWh/m^2 (%70,3), karbon emisyonunda 32,6 kg eşd. CO_2/m^2.y (%69,1); M1 global maliyette 18 112 TL/m^2.30y'lik (%51,3) bir iyileştirme sağlamıştır.

Enerji tüketimi açısından Örnek 3'ün Erzurum ili için en iyi 100 çözümü incelendiğinde, %21'i 20° (yaşam alanı GB, yatak odaları KD) ve %14'ü 30° (GB/KD) cephe yönlenime sahip olduğu görülmüştür. Çözüm kümesinin tamamında yapı kabuğu sızdırmazlık değeri 0,4 ac/h, %91'inde ρ_{duvar} 0,8 ve %68'inde SO %20'dir. Enerji etkin çözümlerin %46'sında pencere kuruluşu 1 m parapet üzeri 1 m cam ve %28'sinde 1 m parapet üzeri 1,5 m cam şeklindedir. Enerji optimal çözümlerin %17'sinde cam seçeneği G8 (4 mm cam + 16 mm argon + 4 mm cam, T_{vis}: %71, g: %44, U_{cam}: 1,1 W/m^2K) ve %16'sında G7'dir (4 mm cam + 16 mm hava + 4 mm cam, T_{vis}:%71, g: %44, U_{cam}: 1,3 W/m^2K). Seçeneklerin tamamına yakınında (%90) dış duvar yalıtım malzemesi XPS'tir ve yalıtım kalınlığı 10 cm'dir (%95). Enerji odaklı çözümlerin %70'inde güneş kontrol elemanı bulunmazken, aydınlatma kontrol sistemi yer almaktadır (%24 C2, %74 C3).

Örnek 3'ün Erzurum ili için maliyet odaklı en iyi 100 çözümündeki ağırlıklı bina yönlenim açıları enerji odaklı çözümlere paralellik göstermektedir. 100 çözümün 20'si 20° (GB/KD), 16'sı 30° (GB/KD) ve 15'i 25° (GB/KD) cephe yönlenimine sahiptir. Çözümlerin tamamında INF 0,4 ac/h ve tamamına yakınında (%96) ρ_{duvar} 0,8'dir. Maliyet odaklı ilk 100 çözümün 74'ünde SO %20 ve 53'ünde pencere kuruluşu 1 m parapet üzeri 1 m cam şeklindedir. Cam seçeneği olarak ilk 100 çözümün 17'sinde G9, 17'sinde G7, 15'inde G8 ve 10'unda G10 kullanılmıştır. Çözümlerin %91'inde yalıtım malzemesi XPS, %98'inde yalıtım kalınlığı 10 cm ve %79'unda güneş kontrol elemanı bulunmamaktadır. Kombinasyonların tamamında LED lambalar kullanılmıştır ve %40'ında C2, %55'ünde C3 no'lu gün ışığına bağlı loşlaştırma senaryosu bulunmaktadır.



Şekil 4. 85. İzmir ili için optimizasyon çözümleri içinde en düşük global maliyet (M) ve birincil enerji tüketimine sahip (E) seçenekler

Çizelge 4. 74. İzmir ili için Örnek 3'ün enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) optimizasyon çözümlerini oluşturan seçeneklerin kombinasyonu

S. No	Yön (°)	Yön Açıklama	INF (ac/h)	ρ_{duvar}	SO	Pencere kuruluş	Cam tipi	Güneş kontrol	Yalıtım malzemesi	Yalıtım kalınlığı	Aydın. kontrol	PV1 (%)	PV2 (%)
R	Ref	Ort.	0.5	0.5	30	Ref	Gref	YOK	EPS	1,8 cm	YOK	0	0
E1-M7	30	GB/KD	0.8	0.8	20	1m	G10	O2	XPS	10cm	C3	97.9	135.5
E2-M6	15	GB/KD	0.8	0.8	20	1m	G10	O2	XPS	10cm	C3	99.2	138.1
E3-M5	20	GB/KD	0.8	0.8	25	1m	G10	O1	Taşyünü	10cm	C3	99.1	137.9
E4	30	GB/KD	0.8	0.8	20	1m	G4	O2	XPS	10cm	C3	95.7	132.5
E5	20	GB/KD	0.8	0.8	20	1m	G12	O2	XPS	10cm	C3	97.2	135.2
E6	30	GB/KD	0.8	0.8	20	1m	G12	O2	XPS	10cm	C3	96.2	133.1
E7	15	GB/KD	0.8	0.8	20	1m	G12	O2	XPS	10cm	C3	97.4	135.7
E8-M2	20	GB/KD	0.8	0.8	20	1m	G9	O2	XPS	10cm	C3	99.7	138.8
E9-M3	-10	GD/KB	0.8	0.8	20	1m	G9	O1	XPS	10cm	C2	100.2	139.6
E10-M4	15	GB/KD	0.8	0.8	20	1m	G9	O2	XPS	10cm	C3	100	139.2
M1	25	GB/KD	0.8	0.8	25	1m	G10	O1	XPS	8 cm	C3	92.3	128.0
M8	-30	GD/KB	0.8	0.8	20	1m	G10	O1	EPS	6cm	C3	98.1	135.7
M9	5	GB/KD	0.8	0.8	20	1m	G6	O1	XPS	6cm	C3	100.5	139.8
M10	-25	GD/KB	0.8	0.8	20	1m	G10	YOK	XPS	8 cm	C2	94.9	131.7

Çizelge 4. 75. Çizelge 4. 74'teki optimizasyon çözümlerine ait iyileştirme oranları

Senaryo No	İyileştirme oranı (%)							
	Isıtma Enerjisi	Soğutma Enerjisi	Aydınlat. Enerjisi	CO_2 Salımı	Birincil Enerji	Global Maliyet	Global Maliyet PV1	Global Maliyet PV2
E1-M7	95.5	75.1	52.9	73.0	75.1	53.0	65.4	70.5
E2-M6	95.5	75.3	52.9	73.0	75.1	53.1	65.6	70.9
E3-M5	94.9	75.6	53.0	72.9	74.9	53.1	65.6	70.8
E4	96.3	70.7	53.9	72.6	74.9	52.5	64.9	70.0
E5	95.8	74.3	52.5	72.7	74.9	52.7	65.1	70.4
E6	95.9	74.0	52.4	72.6	74.8	52.6	65.0	70.1
E7	95.8	74.2	52.4	72.6	74.8	52.6	65.1	70.4
E8-M2	94.2	76.2	53.0	72.8	74.8	53.2	65.7	70.9
E9-M3	94.2	76.2	53.0	72.7	74.8	53.2	65.7	71.0
E10-M4	94.2	76.2	52.9	72.7	74.8	53.2	65.7	71.0
M1	94.4	74.0	49.5	70.9	73.1	53.3	65.7	70.9
M8	91.1	76.3	52.7	71.6	73.4	52.9	65.2	70.3
M9	90.2	76.4	52.8	71.3	73.1	52.9	65.5	70.7
M10	96.1	71.1	48.3	72.4	74.6	52.8	65.2	70.3

İzmir ili için elde edilen enerji odaklı en iyi çözüm (E1) ile referans binaya göre birincil enerjide 84,5 kWh/m^2 (%75,1), karbon emisyonunda 22,6 kg eşd. CO_2/m^2.y (%73); maliyet odaklı en iyi çözüm (M1) ile global maliyette 17 955 TL/m^2.30y'lik (%53,3) bir iyileştirme sağlanmıştır. Enerji ve maliyet odaklı 20 çözüm için PV1 no'lu senaryo aydınlatma ve soğutma enerjisi tüketimi toplamının ortalama %98'ini, PV2 no'lu senaryo ise tamamını karşılayabilmektedir.

Enerji tüketimi açısından Örnek 3'ün İzmir ili için optimal 100 çözüm analiz edildiğinde, çözümlerin %16'sının 20° (yaşam alanı GB, yatak odaları KD) ve %12'sinin 30° cephe yönlenimine sahip olduğu görülmüştür. Seçeneklerin %93'ünde yapı kabuğu sızdırmalık değeri 0,4 ac/h, %92'sinde ρ_{duvar} 0,8, %55'inde SO %20 ve %28'inde SO %30, %62'sinde pencere ve parapet yüksekliğinin1 m olduğu hesaplanmıştır. Cam seçeneklerinin %23'ü G9 ve %11'i G10'dan meydana gelmektedir. Enerji odaklı çözümlerin %73'ünde yalıtım malzemesi XPS ve %23'ünde taşyünü; %77'sinde yalıtım kalınlığı 10 cm'dir. İzmir ili için değişken kombinasyonlarının %90'ında güneş kontrol elemanı (%17 O1, %73 O2) ve %97'sinde gün ışığına bağlı aydınlatma otomasyonu mevcuttur (%32 C2; %65 C3).

Global maliyet açısından İzmir ili için en iyi 100 çözüm değerlendirildiğinde, çözümlerin %15'inde cephe yönleniminin 20°(GB/KD), %13'ünde 30° (GB/KD) olduğu hesaplanmıştır. Çözüm kümesinin %80'inde INF 0,4 ac/h, %94'ünde ρ_{duvar} 0,8, %57'sinde SO %20 (%24'ünde SO %30) ve %65'inde pencere ve parapet yüksekliği 1 m'dir. Seçeneklerin %27'sinde G9, %14'ünde G12 (6 mm cam + 16 mm argon + 6 mm cam, T_{vis}: %63, g: %43, U_{cam}: 1,1 W/m^{2}K) ve %12'sinde G10 özellikteki cam kullanılmıştır. Maliyet odaklı ilk 100 çözümün 91'inde güneş kontrol elemanı (%19 O1, %72 O2) bulunmaktadır. Tasarım çözümlerinin %68'inde yalıtım malzemesi XPS ve %74'ünde yalıtım kalınlığı 10 cm'dir. Ayrıca seçeneklerin kombinasyonlarının %86'sında gün ışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemi (%26 C2, %60 C3) vardır.

4.3.2. Optimal çözümlere ait konfor sonuçları

Çalışmanın son aşamasında üç farklı konut sitesinin beş farklı iklim bölgesi için optimizasyon sonuçları ısıl konfor (PMV, PPD, adaptif konfor, karşılanmayan yük saati), görsel konfor (E_m, U_o, UGR, Ra) ve gün ışığı alımı ölçütlerine (aDF, UDI, aSE, sDA) göre değerlendirilmiştir. Sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

a) Isıl konfor sonuçları

Optimizasyon sonuçlarına göre tüm illerdeki en iyi 100 çözümün tamamına yakınında T3 no'lu iç ortam ayar (termostat/set) sıcaklığı senaryosu (ısıtma dönemi T_i: 20°C $I_{cl\ kış}$: 1,0 clo, soğutma dönemi (T_i: 27°C, $I_{cl\ yaz:}$ 0,5 clo) enerji performansı açısından en iyi sonucu vermiştir. Bu doğrultuda binaların orta katında yer alan, aynı kattaki diğer mekanlara göre olumsuz performans gösteren bölümlerinin ısıl konfor şartları iklime dayalı dinamik simülasyon yöntemiyle değerlendirilmiştir. Örnek 1, Örnek 2 ve Örnek 3 için ısıl konfor çıktılarının yıllık ortalaması ile mekan kullanım süresi boyunca ısıtma ve soğutma yükünün iklimlendirme sistemi tarafından karşılanmadığı saat sayısının toplamı (*unmet hours*) sırasıyla Çizelge 4. 76, Çizelge 4. 77 ve Çizelge 4. 78'de sunulmuştur. Enerji odaklı (E1) ve maliyet odaklı (M1) çözümlerin aylık ortalama iç mekan operatif sıcaklık (T_o), bağıl nem (*Rh*), PMV ve PPD değerleri iklim bölgeleri bazında ayrıntılı olarak EK 39 – EK 43'te yer almaktadır.

Çizelge 4. 76. 1 no'lu konut sitesinin 3. katta yer alan örnek dairesinin yıllık ortalama T_o, Rh, PMV, PPD değerleri ve karşılanmayan yük saati toplamı

Mekan	Değerlendirme endeksi	ÖRNEK 1									
		Bursa (E1)	Bursa (M1)	Ankara (E1)	Ankara (M1)	Diyarbakır (E1)	Diyarbakır (M1)	Erzurum (E1)	Erzurum (M1)	İzmir (E1)	İzmir (M1)
Mutfak	To (°C)	26.2	25.6	25.2	24.2	26.3	25.3	24.9	24.7	26.2	25.8
	Rh (%)	40.0	40.9	29.8	30.5	31.5	31.4	26.8	26.9	41.1	41.8
	PMV	0.0	-0.2	-0.4	-0.8	-0.1	-0.4	-0.6	-0.7	0.0	-0.2
	PPD (%)	11.4	14.0	18.3	27.3	13.4	20.2	22.8	24.0	10.1	11.6
	Konforsuz saat	335	298	315	323	355	332	328	316	307	277
Salon	To (°C)	25.0	24.5	24.2	23.4	25.1	24.3	23.8	23.6	24.9	24.5
	Rh (%)	39.2	40.1	27.4	28.2	28.7	29.4	23.6	23.8	40.4	41.2
	PMV	-0.5	-0.6	-0.8	-1.1	-0.5	-0.8	-1.0	-1.1	-0.5	-0.6
	PPD (%)	16.4	21.3	27.1	35.8	19.1	27.7	32.5	34.8	16.2	19.7
	Konforsuz saat	220	234	307	314	268	309	297	287	209	207
Ebeveyn yatak odası	To (°C)	25.1	25.1	25.1	23.9	25.3	25.2	24.1	24.7	25.1	25.0
	Rh (%)	42.5	42.4	30.6	31.7	32.0	31.0	27.7	27.2	43.8	43.9
	PMV	-0.4	-0.4	-0.4	-0.9	-0.4	-0.5	-0.9	-0.6	-0.4	-0.4
	PPD (%)	14.5	16.3	19.8	29.2	17.1	21.3	27.6	24.2	14.8	15.5
	Konforsuz saat	297	339	449	450	368	424	428	446	286	276
Oda 1	To (°C)	25.2	24.6	24.8	23.8	25.4	24.8	24.6	24.3	25.2	24.9
	Rh (%)	41.1	42.7	30.6	30.4	31.9	31.3	26.8	27.0	43.3	42.0
	PMV	-0.4	-0.5	-0.6	-0.9	-0.4	-0.6	-0.7	-0.8	-0.4	-0.5
	PPD (%)	13.7	19.3	22.1	29.2	17.3	23.9	26.2	27.3	14.8	15.8
	Konforsuz saat	152	235	304	261	241	296	334	312	175	141

Çizelge 4. 77. 2 no'lu konut sitesinin 3. katta yer alan örnek dairesinin yıllık ortalama T_o, Rh, PMV, PPD değerleri ve karşılanmayan yük saati toplamı

Mekan	Değerlendirme endeksi	ÖRNEK 2									
		Bursa (E1)	Bursa (M1)	Ankara (E1)	Ankara (M1)	Diyarbakır (E1)	Diyarbakır (M1)	Erzurum (E1)	Erzurum (M1)	İzmir (E1)	İzmir (M1)
Mutfak	To (°C)	26.7	25.8	25.9	24.5	27.0	25.7	25.4	25.0	26.4	25.6
	Rh (%)	39.5	39.2	29.6	28.1	30.7	29.2	26.6	26.7	39.4	39.9
	PMV	0.1	-0.2	-0.2	-0.7	0.2	-0.3	-0.5	-0.6	0.0	-0.3
	PPD (%)	10.2	12.7	11.9	24.9	11.1	16.2	17.6	20.5	9.5	13.4
	Konforsuz saat	369	300	302	410	291	319	312	292	299	258
Salon	To (°C)	25.0	24.5	24.0	23.1	25.7	24.1	23.6	23.1	24.7	24.1
	Rh (%)	39.3	39.7	27.5	27.8	27.9	28.9	23.8	24.2	40.6	41.5
	PMV	-0.5	-0.6	-0.9	-1.2	-0.4	-0.8	-1.1	-1.3	-0.6	-0.8
	PPD (%)	16.2	21.7	28.6	39.5	15.4	28.8	35.8	41.6	18.0	24.4
	Konforsuz saat	172	199	233	290	226	288	230	250	156	212
Ebeveyn yatak odası	To (°C)	25.3	25.2	24.5	24.0	26.1	24.5	24.1	23.5	25.1	24.7
	Rh (%)	40.9	39.6	29.6	27.9	29.5	29.2	26.1	26.3	41.2	41.3
	PMV	-0.4	-0.4	-0.7	-0.9	-0.2	-0.7	-0.9	-1.1	-0.4	-0.5
	PPD (%)	13.8	16.7	22.8	30.5	14.5	25.9	29.3	36.2	15.0	19.3
	Konforsuz saat	263	307	363	472	326	429	340	386	231	282
Oda 1	To (°C)	26.2	25.6	25.0	24.5	26.6	25.5	25.0	24.6	26.0	25.4
	Rh (%)	39.6	38.9	29.8	27.6	29.3	28.2	25.5	25.6	39.7	40.1
	PMV	-0.1	-0.3	-0.6	-0.7	0.0	-0.4	-0.6	-0.7	-0.2	-0.3
	PPD (%)	10.0	12.7	17.1	23.8	11.4	17.3	18.8	22.6	10.0	13.9
	Konforsuz saat	177	193	98	203	206	207	147	151	164	167

Çizelge 4. 78. 3 no'lu konut sitesinin 4. katta yer alan örnek dairesinin yıllık ortalama T_o, Rh, PMV, PPD değerleri ve karşılanmayan yük saati toplamı

Mekan	Değerlendirme endeksi	ÖRNEK 3									
		Bursa (E1)	Bursa (M1)	Ankara (E1)	Ankara (M1)	Diyarbakır (E1)	Diyarbakır (M1)	Erzurum (E1)	Erzurum (M1)	İzmir (E1)	İzmir (M1)
Mutfak	To (°C)	25.5	25.4	24.1	24.1	24.9	24.7	24.4	24.1	25.7	25.4
	Rh (%)	41.1	41.2	30.2	30.3	42.2	42.3	26.3	30.3	42.1	42.4
	PMV	-0.3	-0.3	-0.8	-0.9	-0.5	-0.5	-0.8	-0.9	-0.2	-0.3
	PPD (%)	13.8	14.9	28.2	28.9	17.9	18.8	28.1	28.9	11.9	13.4
	Konforsuz saat	273	279	279	281	230	240	318	281	250	243
Salon	To (°C)	24.7	24.5	23.3	23.2	24.1	24.0	23.4	23.2	24.8	24.6
	Rh (%)	39.6	39.9	28.0	28.1	40.8	41.0	23.4	28.1	40.6	41.0
	PMV	-0.6	-0.6	-1.2	-1.2	-0.8	-0.8	-1.2	-1.2	-0.6	-0.6
	PPD (%)	19.9	21.6	37.7	38.8	25.5	26.2	38.0	38.8	17.7	19.9
	Konforsuz saat	171	190	264	273	172	192	300	273	146	154
Ebeveyn yatak odası	To (°C)	24.4	24.2	23.4	23.2	24.0	24.0	23.1	23.2	24.6	24.4
	Rh (%)	41.8	42.1	29.9	30.0	42.5	42.5	25.7	30.0	42.8	43.0
	PMV	-0.7	-0.7	-1.1	-1.2	-0.8	-0.8	-1.3	-1.2	-0.6	-0.7
	PPD (%)	21.4	23.9	34.9	36.2	25.0	25.2	40.0	36.2	19.3	21.3
	Konforsuz saat	276	328	373	383	287	295	404	383	219	252
Oda 1	To (°C)	25.2	25.1	24.0	23.9	24.6	24.5	24.1	23.9	25.3	25.1
	Rh (%)	40.4	40.5	29.5	29.6	41.6	41.7	25.2	29.6	41.7	42.1
	PMV	-0.4	-0.4	-0.9	-0.9	-0.6	-0.6	-0.9	-0.9	-0.4	-0.4
	PPD (%)	14.4	15.6	28.3	29.4	19.0	19.6	29.1	29.4	12.9	14.8
	Konforsuz saat	138	150	199	212	123	138	221	212	114	115

Konut mekanlarının ısıl konfor bileşenlerinin yıllık ortalaması BS EN ISO 7730'da (2005) tavsiye edilen operatif sıcaklık (T_o: 20 – 26°C) ve bağıl nem (*Rh*: %30 - %70) değer aralığındadır. Öte yandan, bazı mekanlarda yıllık tahmini ortalama oy ve memnuniyetsizlerin tahmini yüzdesi değerleri EN 16798-1: 2019 (PMV: ±0,7, PPD < %15 Kategori C/III) ve ASHRAE 55: 2017 (PMV: ±0,85, PPD < %20) standartlarında tavsiye edilen aralığın dışında kalmaktadır ve Çizelge 4. 76 - Çizelge 4. 78'de kırmızı renkle ifade edilmiştir. Optimal çözümler içinde ısıl açıdan konforsuz mekanlar özellikle Ankara (3.

DGB, ılımlı kuru) ve Erzurum'da (4. DGB, soğuk) ortaya çıkmış olup bu mekanlar yıl ortalaması için hafif serin olarak değerlendirilmiştir. ASHRAE 90.1 (2004) standardına göre iç mekan ayar sıcaklıklarının iklimlendirme sistemi tarafından karşılanamadığı saat sayısının toplamının bir yılda (8760 saat) 300 saati geçtiği durumlar çizelgelerde görülmektedir.

Tüm ayları kapsayan ısıl konfor simülasyon sonuçları incelendiğinde, ısıtma döneminde her üç konut sitesinin mutfak, salon ve yatak odaları için hesaplanan PMV değerinin tüm illerde eşik değerin dışında kaldığı (-1: biraz serin < PMV < -2: serin) ve buna karşılık gelen PPD değerinin %20'nin üstünde olduğu görülmüştür. Konut mekanlarındaki operatif sıcaklıklar kıyaslandığında iklim bölgesine bağlı farklar oluştuğu, diğer yandan aynı iklim bölgesinde yer alan optimal çözümler arasında operatif sıcaklıkların benzer olduğu gözlemlenmiştir. Soğutma döneminde tüm iklim bölgeleri için her üç konut sitesindeki ısıl konfor şartları uygundur. Ancak ısıtma gün derecesi arttıkça, ısıtma gereksiniminin artmasına bağlı olarak, Erzurum ve Ankara ilinde yer alan enerji ve maliyet odaklı çözümlere ait konut mekanlarının konfor koşulları İzmir'de yer alan eşdeğer mekanlara kıyasla olumsuzdur (EK 39 – EK 43).

Ayrıca, ele alınan beş ilin aylık dış ortam sıcaklık ortalamalarına (T_d, °C) bağlı olarak ASHRAE 55 (2017) ve EN 16798-1 (2019) standartlarında belirtilen yöntemle TMY verilerine göre iç ortam alt ve üst konfor sınır değerleri (T_i, °C) hesaplanmıştır. Çizelge 4. 79'da görüldüğü gibi, tüm illerde Ocak, Şubat, Mart (İzmir hariç) ve Aralık aylarında dış ortam sıcaklık ortalaması 10°C'nin altında olduğu için bu aylar adaptif konfor hesaplamalarına dahil edilmemiştir. Buna ek olarak, Nisan ayında Erzurum ve Ankara'da, Ekim ayında Erzurum'da, ve Kasım ayında Ankara, Diyarbakır ve Erzurum'da dış ortam sıcaklık ortalamalarının 10°C'nin altında seyrettiği, aynı şekilde Temmuz - Ağustos aylarında Diyarbakır'da sıcaklık ortalamasının 30°C'nin üzerine çıktığı göz önüne alınarak, ilgili iller için bu dönem boyunca adaptif konfor değerlendirmesi yapılmamıştır.

Çizelge 4. 79. ASHRAE-55 (2017) ve EN 16798'e (2019) göre adaptif konfor alt ve üst sınır değerleri

İl	Adaptif konfor endeksi	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Bursa	Dış ortam sıcaklığı Td (°C)	4.9	7.1	8.6	13.6	18.5	22.0	24.9	25.4	20.6	15.3	11.3	7.1
	Alt sınır (ASHRAE-55, %80)	-	-	-	18.5	20.0	21.1	22.0	22.2	20.7	19.1	17.8	-
	Alt sınır (EN 16798 Kategori III)	-	-	-	19.3	20.9	22.0	23.0	23.2	21.6	19.9	18.5	-
	Üst sınır (ASHRAE-55, %80)	-	-	-	25.5	27.0	28.1	29.0	29.2	27.7	26.1	24.8	-
	Üst sınır (EN 16798 Kategori III)	-	-	-	27.3	28.9	30.0	31.0	31.2	29.6	27.9	26.5	-
Ankara	Dış ortam sıcaklığı Td (°C)	-2.4	0.5	2.6	8.9	13.7	17.0	21.5	21.1	17.1	10.3	3.8	0.8
	Alt sınırı (ASHRAE-55, %80)	-	-	-	-	18.5	19.6	21.0	20.8	19.6	17.5	-	-
	Alt sınırı (EN 16798 Kategori III)	-	-	-	-	19.3	20.4	21.9	21.8	20.4	18.2	-	-
	Üst sınırı (ASHRAE-55, %80)	-	-	-	-	25.5	26.6	28.0	27.8	26.6	24.5	-	-
	Üst sınırı (EN 16798 Kategori III)	-	-	-	-	27.3	28.4	29.9	29.8	28.4	26.2	-	-
Diyarbakır	Dış ortam sıcaklığı Td (°C)	1.1	4.5	9.9	14.5	19.6	26.6	31.6	31.2	26.2	17.4	9.8	3.5
	Alt sınır (ASHRAE-55, %80)	-	-	-	18.8	20.4	22.5	-	-	22.4	19.7	-	-
	Alt sınır (EN 16798 Kategori III)	-	-	-	19.6	21.3	23.6	-	-	23.4	20.6	-	-
	Üst sınır (ASHRAE-55, %80)	-	-	-	25.8	27.4	29.5	-	-	29.4	26.7	-	-
	Üst sınır (EN 16798 Kategori III)	-	-	-	27.6	29.3	31.6	-	-	31.4	28.6	-	-
Erzurum	Dış ortam sıcaklığı Td (°C)	-9.5	-7.7	-0.6	6.2	10.6	15.2	19.6	20.1	15.1	8.7	1.2	-4.4
	Alt sınır (ASHRAE-55, %80)	-	-	-	-	17.6	19.0	20.4	20.5	19.0	-	-	-
	Alt sınır (EN 16798 Kategori III)	-	-	-	-	18.3	19.8	21.3	21.4	19.8	-	-	-
	Üst sınırı (ASHRAE-55, %80)	-	-	-	-	24.6	26.0	27.4	27.5	26.0	-	-	-
	Üst sınırı (EN 16798 Kategori III)	-	-	-	-	26.3	27.8	29.3	29.4	27.8	-	-	-
İzmir	Dış ortam sıcaklığı Td (°C)	8.9	8.4	10.7	14.4	21.0	24.4	25.8	25.4	23.0	16.9	11.4	9.8
	Alt sınırı (ASHRAE-55, %80)	-	-	17.6	18.8	20.8	21.9	22.3	22.2	21.4	19.6	17.8	-
	Alt sınır (EN 16798 Kategori III)	-	-	18.3	19.5	21.7	22.9	23.3	23.2	22.4	20.4	18.6	-
	Üst sınır (ASHRAE-55, %80)	-	-	24.6	25.8	27.8	28.9	29.3	29.2	28.4	26.6	24.8	-
	Üst sınır (EN 16798 Kategori III)	-	-	26.3	27.5	29.7	30.9	31.3	31.2	30.4	28.4	26.6	-

Örnek 1, Örnek 2 ve Örnek 3'ün enerji (E1) ve maliyet odaklı (M1) çözümlerine ait konut mekanlarının adaptif konfor sonuçları EK 44'te yer almaktadır. Mekanik sistemlerin devre dışı bırakıldığı ve doğal havalandırmanın kullanıldığı durumda, Çizelge 4. 79'daki alt ve üst adaptif konfor sıcaklığı aralığında bulunan mekanlar yeşil renkle, konfor aralığı dışında kalan mekanlar ise kırmızı renkle gösterilmiştir (bkz. EK 44). Simülasyon sonuçları, özellikle Örnek 1 ve Örnek 2'e ait mekanlarda yaz aylarında iç ortam sıcaklığının adaptif konfor üst sınırını aştığını göstermektedir.

b) Görsel konfor sonuçları

Optimizasyon sonuçlarına göre tüm illerde en iyi 100 çözümün tamamında LED lambalardan oluşan konut aydınlatma senaryosu (L3) kullanılmıştır. Örnek konut sitelerini temsil eden daireler için L3 no'lu senaryoya ait simülasyon sonuçları ve aydınlatma sistemi

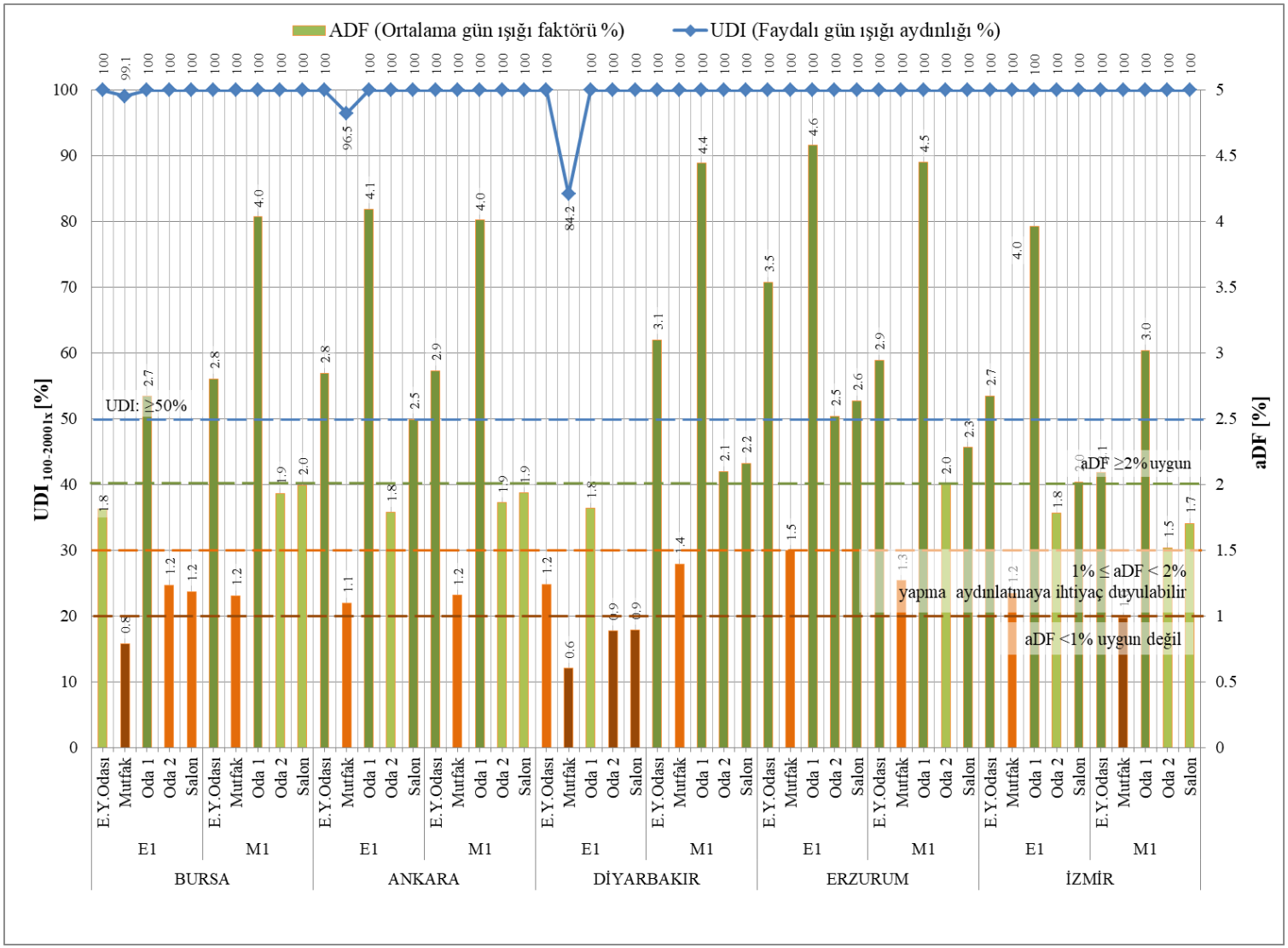
yerleşim planı Bölüm 4.2.1 (k)'de sunulmuş (bkz Çizelge 4. 31 – Çizelge 4. 33) ve bu bölümde tekrar yer verilmemiştir. Gün ışığının olmadığı durumda, L3 no'lu senaryo ile TS EN 12464-1 (2021) ve IESNA (2011) standartlarındaki görsel konfor gereksinimleri olan E_m (yaşama alanı genel: 150-200 lx, okuma alanı – bölgelik: 500 lx, giyinme odası – ayna önü bölgelik: 500 lx, yatak odaları genel: 100 lx, çalışma alanı bölgelik: 300 lx, mutfak genel: 300 lx, mutfak tezgahı bölgelik: 500 lx, banyo/WC genel: 300 lx), U_o (mutfak, antre, koridor, odalar vb. genel kullanım alanları için 0,40, çalışma alanları için 0,60), Ra ($\geq$ 0,8) ve UGR'nin (genel kullanım alanları için 22, çalışma alanları için 19) sınır ve eşik değerleri sağlanmıştır.

Enerji (E1) ve maliyet odaklı (M1) optimal çözümlere ait orta katta yer alan örnek dairelerin gün ışığı performansı değerlendirildiğinde, 1 no'lu konut sitesindeki tüm mekanlarda 08:00 – 18:00 saatleri arasında taban alanının tamamına yakınında UDI referans aralığının (100 lx < E < 2000lx) sağlandığı görülmektedir (Şekil 4. 86). Diğer yandan tüm çözümlerdeki mutfak hacimleri ile Bursa E1 ve Diyarbakır E1'in salon ve odalarında aDF değeri eşik değerin (%1,5) altında kalmıştır. Bu mekanlarda kapalı gök koşulları altında yapma aydınlatmaya ihtiyaç duyulabileceği söylenebilir. aDF bulgularına benzer şekilde, CIE ortamala gök modeli ile aynı mekanların taban alanının %55'inde 300 lx sDA eşik değerin gün ışığı ile sağlanamadığı görülmektedir (Şekil 4. 87). ASE ölçütlerine göre bazı mekanlarda (örneğin Bursa E1: 5° GB cepheli mutfak ve salon; Ankara M1: -30° GD cepheli salon; Erzurum E1: 0° güney cepheli mutfak ve salon) yılda 250 saatten ve taban alanının %10'nundan fazlasında ısıl ve görsel konforsuzluğa neden olabilecek 1000 lx aydınlık düzeyi meydana gelmiştir.

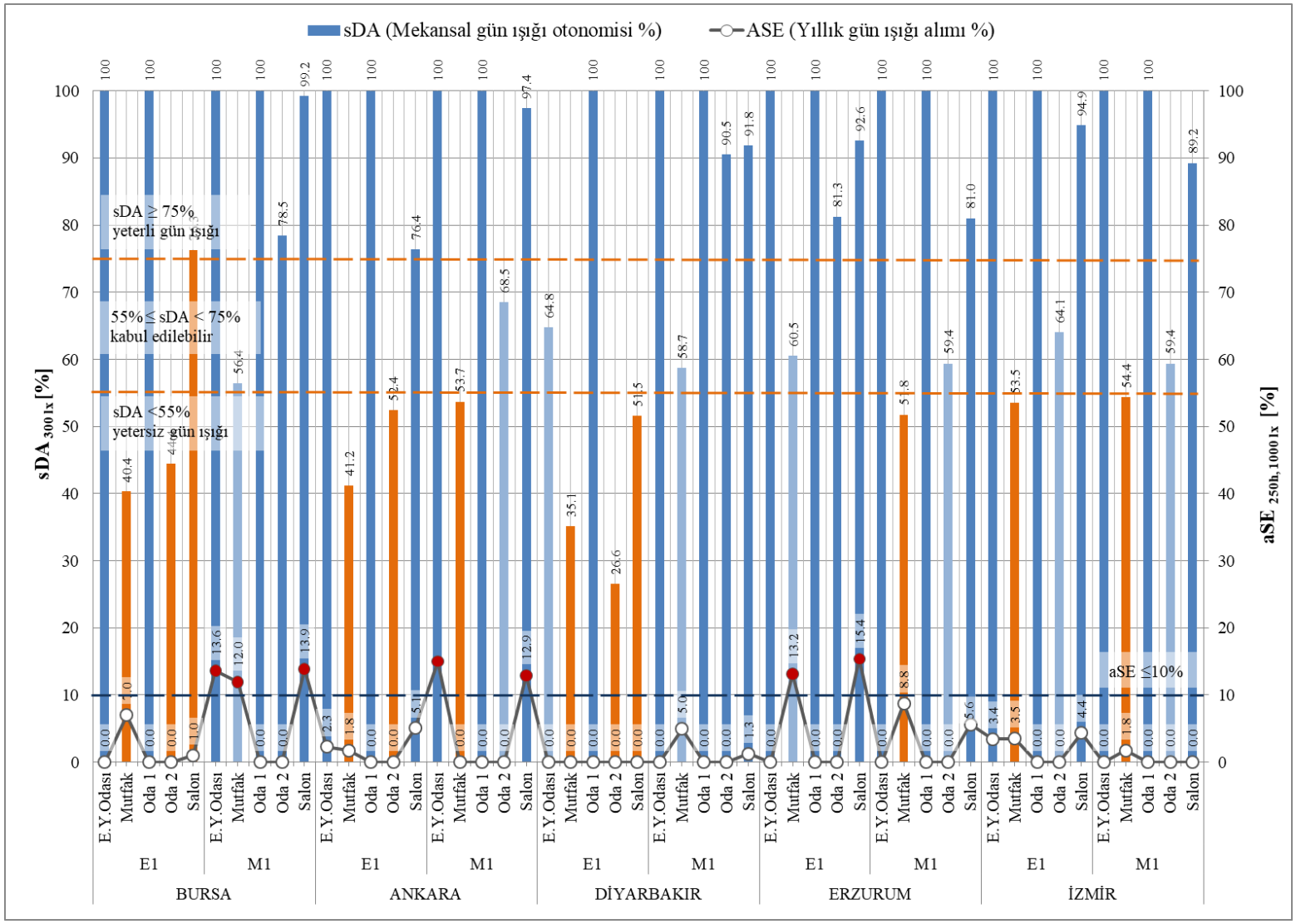
2 no'lu konut sitesine ait optimal çözümler gün ışığı performans ölçütleri bakımından değerlendirildiğinde, tüm bloklardaki mutfaklarda aDF değerinin %0,5'in, Bursa M1, Ankara M1 ve Diyarbakır E1 haricindeki tüm çözümlerde salon ve odalarda ise %1,5'in altında kaldığı tespit edilmiştir (Şekil 4. 88). Mutak hacimlerinde UDI sonuçlarının da düşük olduğu; özellikle Ankara (E1, M1) ve İzmir (E1) ili için önerilen en iyi çözümlerdeki mutfakların görsel yetersizliğe neden olabilecek 100lx'ten düşük aydınlık düzeylerine sahip

olduğu belirlenmiştir (Şekil 4. 88). Şekil 4. 89'da görüldüğü gibi mutfak hacimlerinde mekânsal gün ışığı otonomisi kriterleri sağlanmamıştır. İncelenen dairelerdeki diğer 11 mekanda da (Bursa E1, Ankara E1, Erzurum E1, M1, İzmir E1, M1'deki oda 1 ve oda 2) 08:00-18:00 saatleri arasında taban alanının asgari %55'i için sDA eşik değeri elde edilmemiştir. Diğer yandan sDA performansı %95 ve üzeri olan güney ve batı yönlü salon (Bursa E1, M1, Diyarbakır E1) ve ebeveyn yatak odalarında (Bursa E1, M1, Ankara M1, Diyarbakır E1, Erzurum E1, M1, İzmir E1, M1) ASE değerleri eşik değerin (250 sa, 1000 lx) üzerindedir (Şekil 4. 89).

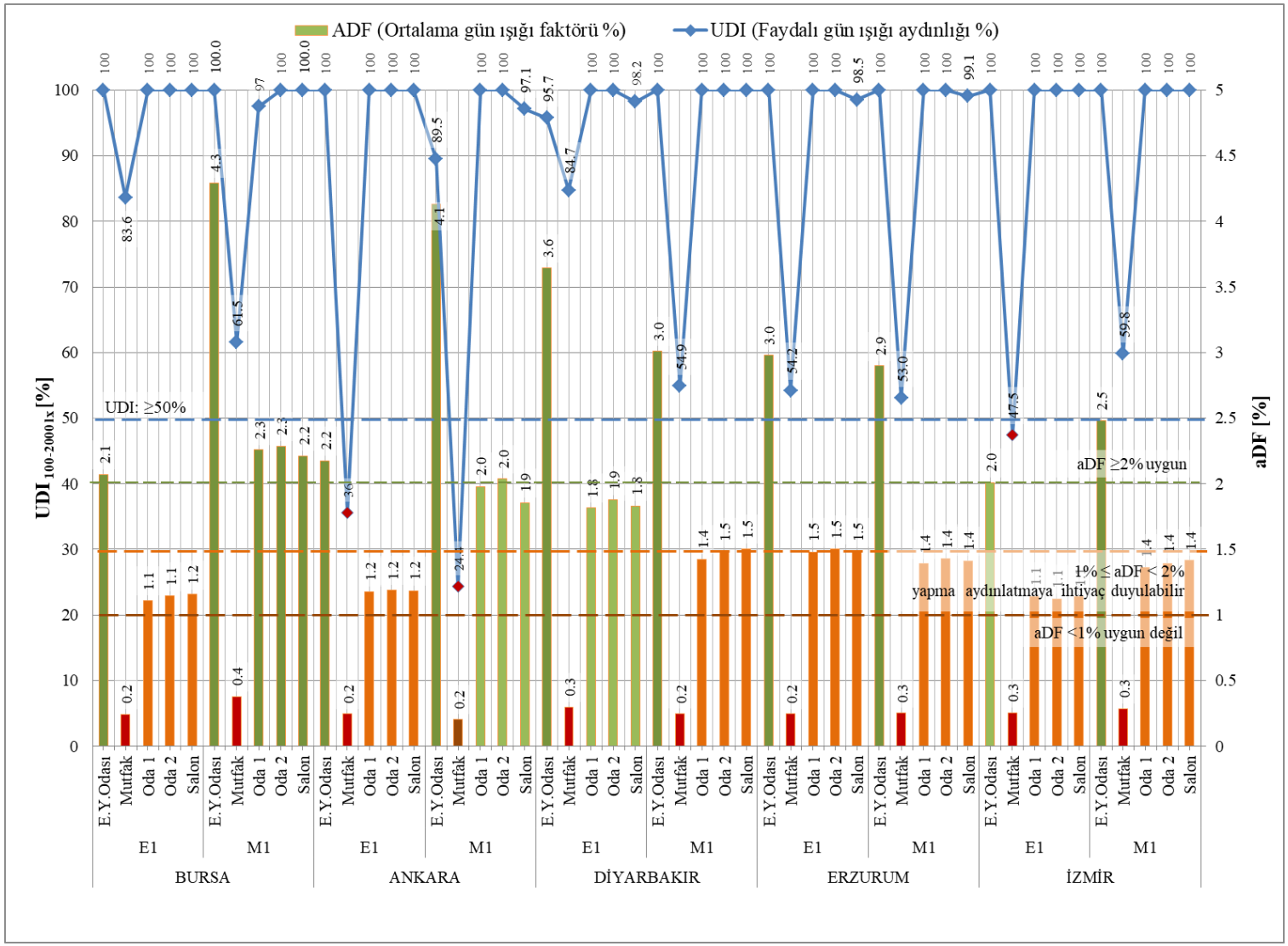
3 no'lu konut sitesinin gün ışığı simülasyon sonuçları incelendiğinde, tüm konut mekanları için taban alanın en az %95'inde yıllık gün ışığı düzeyinin faydalı aydınlık düzeyi aralığında (100lx<E<2000lx) kaldığı görülmektedir (Şekil 4. 90). CIE kapalı gök koşullarında tüm konut mekanları için yatay çalışma düzlemi üzerindeki yayınık gün ışığına bağlı aDF değeri yetersizlik eşiği %1'in üzerindedir. Öte yandan Şekil 4. 90 ve Şekil 4. 91'deki grafiklerde turuncu renkle ifade edilen hacimlerde aDF değeri %1,5'in ve sDA değeri taban alanın en az %55'i için 300 lüksün altında kaldığından, bu mekanlarda gerçekleştirilecek eyleme bağlı olarak gün saatleri içerisinde fazladan yapma aydınlatmaya ihtiyaç duyulabilir. Optimizasyon sonucu ele alınan 50 mekandan 19'unun yerden 0,8 m yükseklikte ve oda çeperinden 0,5 m mesafede konumlandırılmış hesap düzlemleri üzerinde $ASE_{1000lx,\ 250\ saat}$ değeri %10'un üzerindedir. Bu durum ilgili mekanlarda günışığı kaynaklı kamaşma ve soğutma yüklerinde artışın meydana gelebileceğini göstermektedir (Şekil 4. 91). 5 iklim bölglesi için elde edilen optimal çözümlerin ilk, orta ve üst katlarında yer alan tüm dairelerine ait gün ışığı performans sonuçları Örnek 1, Örnek 2 ve Örnek 3 için sırasıyla EK 45, EK 46 ve EK 47'de yer almaktadır.



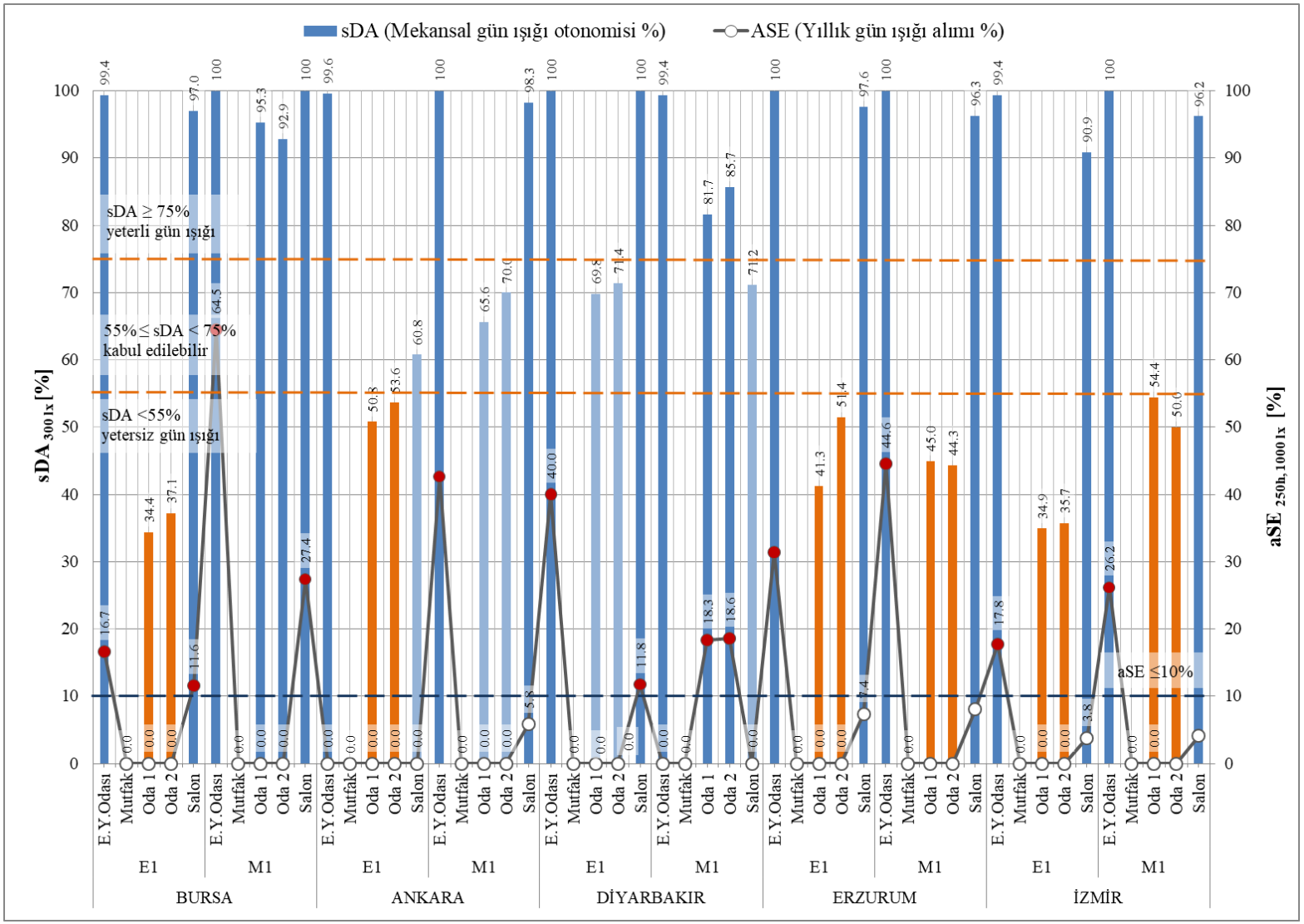
Şekil 4. 86. Örnek 1'in optimal çözümlerine ait aDF ve UDI hesap sonuçları



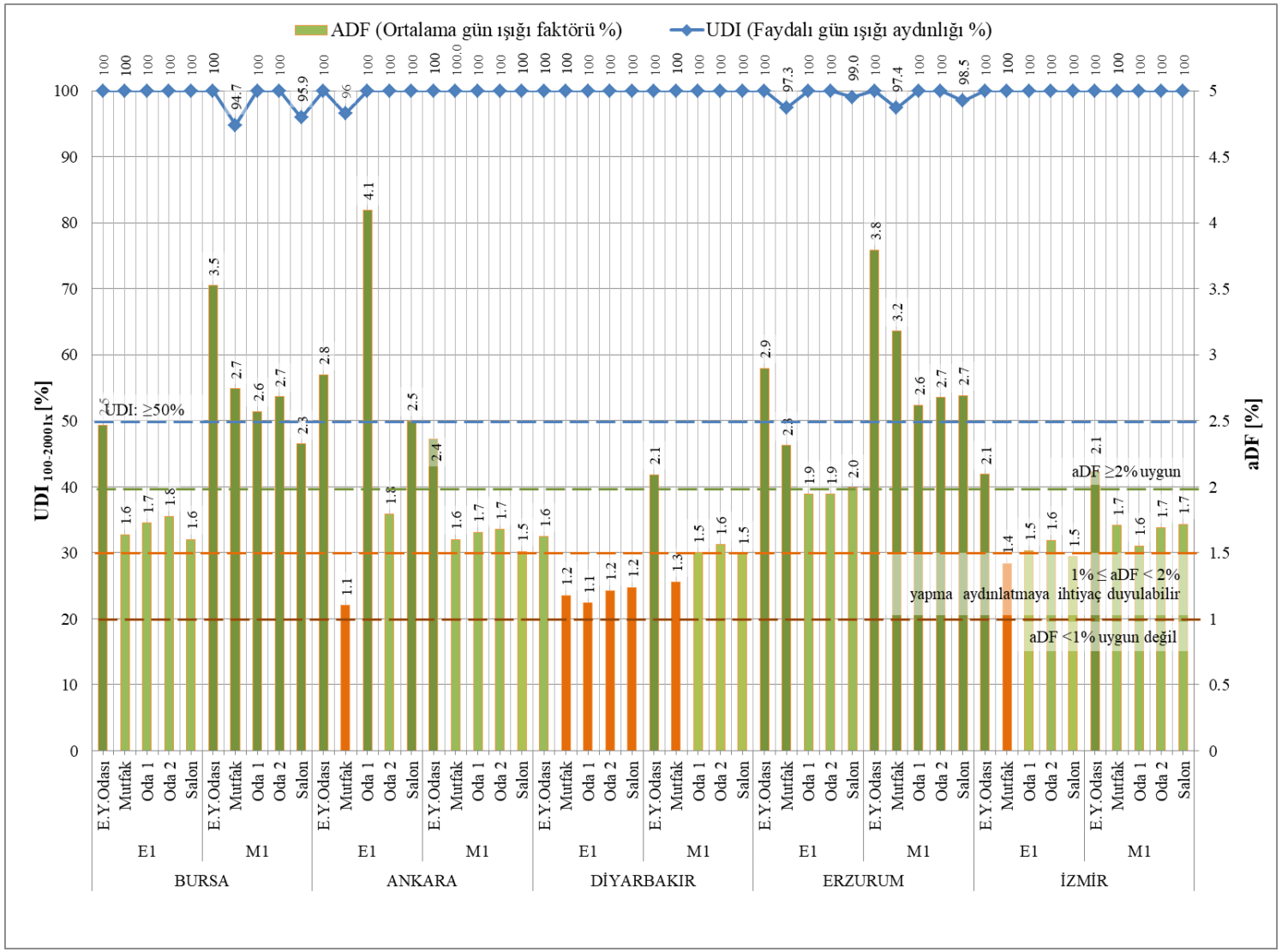
Şekil 4. 87. Örnek 1'in optimal çözümlerine ait ASE ve sDA hesap sonuçları



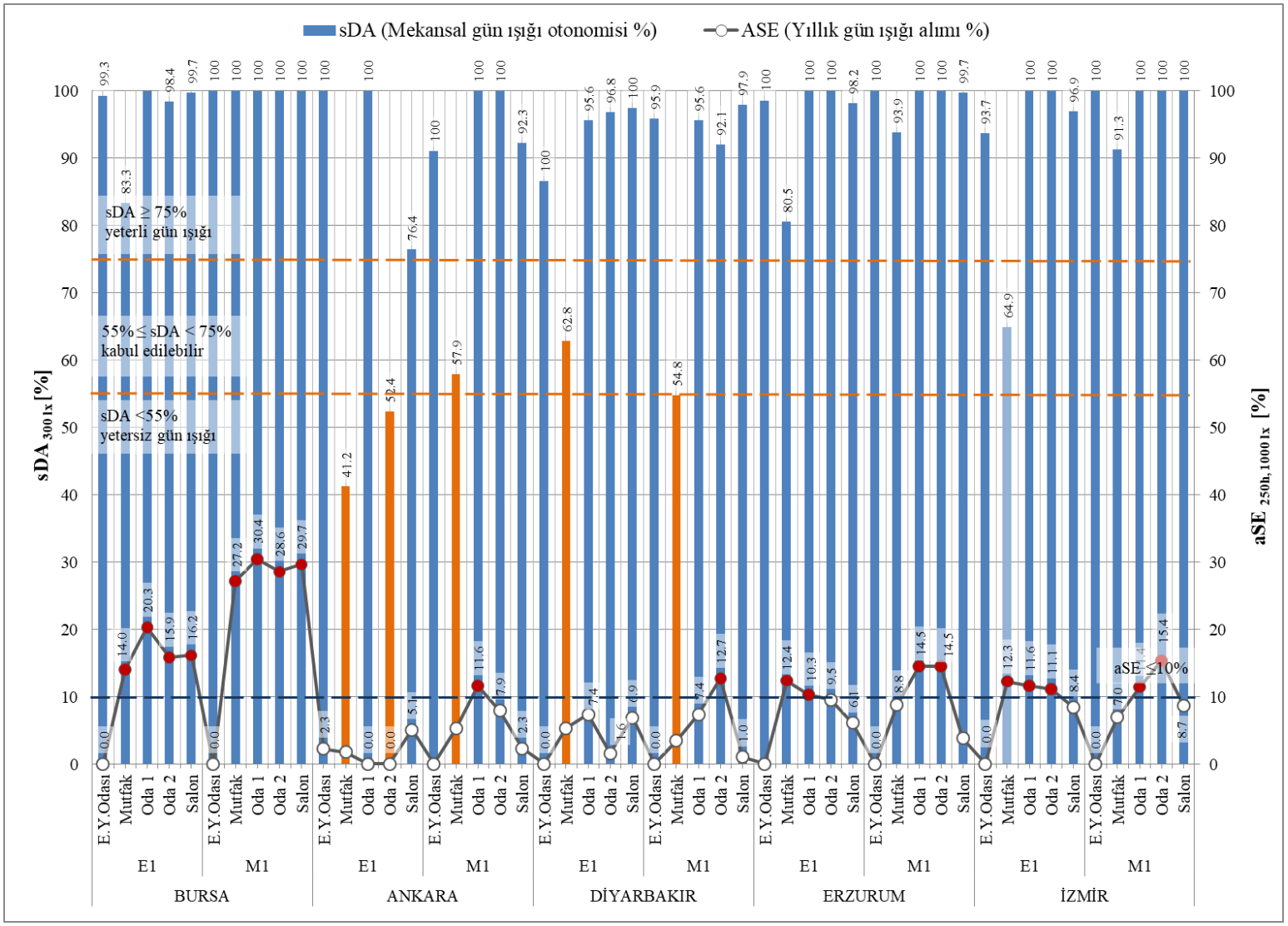
Şekil 4. 88. Örnek 2'nin optimal çözümlerine ait aDF ve UDI hesap sonuçları



Şekil 4. 89. Örnek 2'in optimal çözümlerine ait ASE ve sDA hesap sonuçları



Şekil 4. 90. Örnek 3'ün optimal çözümlerine ait aDF ve UDI hesap sonuçları



Şekil 4. 91. Örnek 3'in optimal çözümlerine ait ASE ve sDA hesap sonuçları

4.4. Çalışmanın Bulgularının Değerlendirilmesi

Araştırma kapsamında enerji tüketiminin azaltılması yönünde alınabilecek önlemler BES tabanlı optimizasyon yöntemiyle incelenmiş, genetik algoritmalar aracılığıyla her iklim bölgesi için yaklaşık 2 000 – 2 500 adet tasarım alternatifi geliştirilmiştir. Elde edilen bulguların karşılaştırılması ile farklı iklim bölgeleri için yıllık toplam birincil enerji tüketimi ve 30 yıllık süre için global maliyet açısından optimum performans gösteren enerji odaklı ve maliyet odaklı tasarım seçenekleri elde edilmiştir. Uygun cephe yönlenimi, ısıtma ve soğutma döneminde iç mekan ayar (termostat) sıcaklıklarının değiştirilmesi, yapı kabuğu sızdırmazlığının iyileştirilmesi, yalıtım kalınlığının arttırılması, saydamlık oranın düşürülmesi, cephe kuruluşunun (pencere ve parapet yüksekliğinin) değiştirilmesi, cam özelliğinin (ısıl iletkenlik katsayısı, toplam gün ışığı ve güneş ışınımı geçirgenlik değeri) iyileştirilmesi, dış mekan gölgeleme elemanı eklenmesi, iç duvar yüzeylerinin açık renkte olması ve bütünleşik aydınlatma sistemi binanın kullanım dönemindeki enerji tüketimi ve karbon emisyonunu önemli ölçüde azalttığı hesaplanmıştır. Çalışmanın bulguları aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- Referans binaların yer aldığı Bursa ili (2. DGB/ılımlı nemli iklim bölgesi) için yapılan tekil değişken analizlerine göre, yıllık toplam ısıtma enerjisi tüketimine en çok etki eden değişkenler sırasıyla şunlardır: yapı kabuğu sızdırmazlık değerinin düşürülmesi (0,4 ac/h), iç mekanın ısıtıldığı dönemde termostat sıcaklığının 23°C'den 20°C'ye düşürülmesi, yalıtım kalınlığının artırılması (XPS, 10 cm) ve camın termofiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi (G16: 6 mm cam + 16 mm argon + 6 mm cam, Tvis: %80, g: %64, Ucam: 1,1 W/m^2K).
- Bursa ilinde yıllık toplam soğutma enerjisi bakımından sırasıyla iç mekanın soğutulduğu dönemde ayar sıcaklığının 24°C'den 27°C'ye yükseltilmesi, uygun cephe yönlenimi, dış cephe güneş kontrol elemanlarının kullanılması ve camın termofiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi (G9: 6 mm cam+16 mm hava+6 mm cam, T_{vis}:%69, g:%40, U_{cam}:1,4 W/m^2K) en yüksek iyileştirmeyi sağlamıştır.

- Bursa ilinde yıllık toplam aydınlatma enerjisi tüketiminde en yüksek iyileştirme sırasıyla bütünleşik aydınlatma sistemi (loşlaştırılabilir LED lamba ve uygun armatürler ile gün ışığına bağlı aydınlatma kontrolü) kullanılması, saydamlık oranının arttırılması ve iç yüzey ışık yansıtma katsayısının değiştirilmesi (ρ_{duvar}: 0,8) ile gerçekleşmiştir.
- Bursa ilindeki 3 referans konutun yıllık toplam birincil enerji tüketimi ve buna karşılık gelen karbon emisyonunda en yüksek iyileştirme sağlayan değişkenler sırasıyla iç mekan ayar sıcaklıkları (T3: 20°C/27°C), yapı kabuğu sızdırmazlığı (INF4: 0,4 ac/h), aydınlatma sistemi ve otomasyonu (L3: LED/C3: Lineer loşlaştırma), cephe yönlenimi ve ısı yalıtımıdır (10 cm XPS). İyileştirme oranı sıralaması referans binaya göre değişmekle birlikte bu senaryoları pencere camı ve saydamlık oranı - cephe kuruluşu senaryoları takip etmektedir. Çizelge 4. 80'de ilgili senaryoların iyileştirme oranları görülmektedir.

Çizelge 4. 80. Referans binaya göre birincil enerji tüketimi ve karbon emisyonunda en yüksek iyileştirme sağlayan değişkenler ve iyileştirme oranları

Değişken	**T3**		**INF4**		**L3/C3**		**YÖN***		**Y15**		**G***	
Site	Enerji	CO_2	Enerji	CO_2	Enerji	CO_2	Enerji	CO_2	Enerji	CO_2	Enerji	CO_2
Örnek 1	28,5	26,8	17,6	13,6	11,6	13,6	10,8	11,0	17,3	8,6	8,8	7,4
Örnek 2	27,5	25,6	16,8	12,7	18,0	20,2	7,8	10,7	12	6,9	9,2	7,5
Örnek 3	31,5	30,1	19,0	15,1	11,8	14,0	6,1	6,3	11,1	5,5	12,2	10,3
*Referans binaya göre değişmektedir.												

- Örnek konut sitelerindeki farklı yöne bakan ve aynı plan tipolojisine sahip dört bloğunun ortalaması referans bina olarak kabul edilmiştir. Çizelge 4. 81'de 3 konut sitesini temsil eden referans bina değerleri görülmektedir. En yüksek değerler kırmızı ile en düşük değerler yeşil renkle ifade edilmiştir.

Çizelge 4. 81. Referans binalara ait birincil enerji, CO_2 emisyonu, global maliyet değerleri

Ref.	**İl (iklim bölgesi)**	**Birincil Enerji (kWh/m^2.y)**	**Karbon Emisyonu (kg.eşd.CO2/m^2.y)**	**Global Maliyet (TL/m^2.30y)**
ÖRNEK 1	Bursa (2. DGB)	120,9	33,1	35 204 TL
	İzmir (1. DGB)	114,7	31,9	35 784 TL
	Diyarbakır (2. DGB)	143,6	39,2	40 635 TL
	Ankara (3. DGB)	158,8	41,5	36 589 TL
	Erzurum (4. DGB)	177,4	45,6	37 235 TL

Çizelge 4. 81. Referans binalara ait birincil enerji, CO_2 emisyonu, global maliyet değerleri (devamı)

Ref.	İl (iklim bölgesi)	Birincil Enerji (kWh/m^2.y)	Karbon Emisyonu (kg.eşd.CO2/m^2.y)	Global Maliyet (TL/m^2.30y)
ÖRNEK 2	Bursa (2. DGB)	140,2	30,3	35 547 TL
	İzmir (1. DGB)	105,0	29,8	36 351 TL
	Diyarbakır (2. DGB)	128,5	35,7	40 586 TL
	Ankara (3. DGB)	108,4	37,1	35 609 TL
	Erzurum (4. DGB)	159,0	41,1	35 881 TL
ÖRNEK 3	Bursa (2. DGB)	121,3	32,8	33 491 TL
	İzmir (1. DGB)	112,5	30,9	33 701 TL
	Diyarbakır (2. DGB)	143,8	38,9	39 227 TL
	Ankara (3. DGB)	160,6	41,3	34 048 TL
	Erzurum (4. DGB)	186,8	47,1	35 329 TL

- Referans binalar birim alan için karşılaştırıldığında bir katta 4 dairenin bulunduğu Örnek 3'ün yıllık toplam birincil enerji tüketimi ve karbon emisyonu bir katta simetrik 2 dairenin bulunduğu Örnek 1 ve Örnek 2'den genel olarak daha yüksektir.
- 5 iklim bölgesi arasında en yüksek birincil enerji tüketimi, elektrik ve doğalgaz tüketimine karşılık gelen karbon emisyonu ile tüm konut sitelerinde Erzurum'da, en düşük tüketim İzmir'de gerçekleşmiştir (Çizelge 4. 81).
- Referans binalarda en düşük global maliyet Bursa'da gerçekleşmiştir. Isıtma ve soğutma enerjisi tüketiminde nihai enerji ve birincil enerji arasında dönüşüm kat sayısına bağlı ~1,83 kat fark ve enerji maliyetlerinde doğal gaz ve elektriğin birim fiyatına bağlı ~5,75 kat fark söz konusudur. Bu nedenle soğutma yükünün ele alınan diğer illerden daha fazla olduğu Diyarbakır'da toplam global maliyet diğer illerden yüksektir (Çizelge 4. 81).
- Farklı iklim bölgeleri için enerji odaklı (E) ilk on çözümün yıllık birincil enerji tüketimi ve karbon emisyonundaki tasarruf oranları ortalaması Çizelge 4. 82'de verilmiştir. Referans binaya göre oransal olarak en yüksek iyileştirme potansiyeli Örnek 1 için Ankara'da, Örnek 2 için Erzurum'da, Örnek 3 için İzmir'de bulunmaktadır.

Çizelge 4. 82. Enerji odaklı (E) ilk 10 çözümün referans binaya göre yıllık birincil enerji tüketimindeki tasarruf oranları ortalaması (%)

İl	Bursa		İzmir		Diyarbakır		Ankara		Erzurum	
Konut sitesi	**Enerji**	**CO_2**	**Enerji**	**CO_2**	**Enerji**	**CO_2**	**Enerji**	**CO_2**	**Enerji**	**CO_2**
Örnek 1	67,8	64,9	67,7	65,1	63,1	60	69,7	67,1	69,1	67
Örnek 2	65,8	63,3	65,8	63,5	62,0	59,2	69,4	66,4	71,4	68,9
Örnek 3	74,1	72,2	74,9	72,7	68,8	67	71,1	69,8	69,6	68,5

- Farklı iklim bölgeleri için maliyet odaklı (M) ilk on çözümün global maliyetteki tasarruf oranları ortalaması Çizelge 4. 83'te görülmektedir. Referans binaya göre oransal olarak en yüksek iyileştirme potansiyeli Örnek 1 için Ankara'da, Örnek 2 için Erzurum'da, Örnek 3 için İzmir'de bulunmaktadır.

Çizelge 4. 83. Maliyet odaklı (M) ilk 10 çözümün referans binaya göre toplam global maliyetteki tasarruf oranları ortalaması (%)

İl	Bursa	İzmir	Diyarbakır	Ankara	Erzurum
Örnek 1	44,3	44,0	40,1	44,8	45,6
Örnek 2	45,8	45,9	41,1	44,7	47,7
Örnek 3	53,6	53,1	50,2	51,5	51,2

- Global maliyet kategorileri içerisinde enerji ve işletme maliyetleri en yüksek paya sahiptir. Bursa ilinde yer alan referans binalarda Örnek 1 için bu pay %91,8, Örnek 2 için %89,4, Örnek 3 için %91,1 olarak hesaplanmıştır. Enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) ilk on çözümün enerji maliyetinin toplam global maliyete oranının ortalaması Çizelge 4. 84'te görülmektedir. Optimal çözümlerde referans binaya göre enerji – işletme maliyetinin toplam global maliyetteki payı düşmüş, ilk yatırım, bakım – onarım, yenileme – hurda maliyetlerinin payı yükselmiştir.

Çizelge 4. 84. Enerji odaklı ve maliyet odaklı en iyi 10 çözümde enerji – işletme maliyetinin toplam global maliyet içindeki payının ortalaması (%)

İl	Bursa		İzmir		Diyarbakır		Ankara		Erzurum	
Konut sitesi	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**
Örnek 1	70,2	70,4	70,6	70,7	76,0	76,4	71,6	72,6	71,6	71,7
Örnek 2	69,1	80,4	68,9	81,1	74,4	80,2	70,3	80,4	68,6	80,0
Örnek 3	66,8	74,5	66,9	67,5	73,2	74,7	68,7	69,8	62,2	69,8

- PV1 (P_{max}: 440Wp, modül verimi %20,2, mevcut çatı eğimi) ve PV2 (P_{max}: 440Wp, modül verimi %20,2, optimal çatı eğimi) güneş paneli senaryolarının simülasyon hesabına eklenmesi ile panel sayısı, kurulu güç ve çatı yönlenimine bağlı olarak (Örnek 1 için 36 adet PV panel, toplam 15,84 kWp; Örnek 2 için 74 adet PV panel, toplam 32,56 kWp; Örnek 3 için 100 adet PV panel, toplam 44 kWp) binaların aydınlatma ve soğutmaya bağlı elektrik tüketiminin tamamı ya da tamamına yakınının karşılanabileceği görülmüştür. 5 farklı iklim bölgesi için enerji etkin (E) ilk on çözümün aydınlatma ve soğutma amaçlı yıllık elektrik tüketimini karşılama oranları ortalaması, referans (R) binalarla karşılaştırmalı olarak Çizelge 4. 85'te verilmiştir.

Çizelge 4. 85. Referans durum (R) ve enerji odaklı (E) ilk 10 çözümün ortalaması için PV1 ve PV2 senaryoları yıllık elektrik (aydınlatma + soğutma) enerjisini karşılama oranları (%)

Site		**ÖRNEK 1**					**ÖRNEK 2**					**ÖRNEK 3**				
İl		Bursa	İzmir	Diyarb	Ankara	Erzurum	Bursa	İzmir	Diyarb.	Ankara	Erzurum	Bursa	İzmir	Diyarb.	Ankara	Erzurum
PV1	**R**	41,7	38,2	36,4	38,9	44,8	84,8	77,8	74,0	79,3	91,2	55,5	51,6	47,6	56,4	65,4
	E	78,6	77,6	57,6	68,6	79,6	165,8	156,9	129,5	142,5	160,8	138,3	98,2	78,8	126,6	141,9
PV2	**R**	42,7	38,7	36,9	39,5	45,6	87,2	79,3	75,6	80,8	93,3	59,7	54,4	50,2	59,2	69,4
	E	80,0	78,4	60,4	69,4	80,4	167,3	157,9	129,6	143,4	164,2	147,5	136,6	110,4	131,8	149,4

- Farklı iklim bölgeleri için, PV1 ve PV2 senaryoları ile birlikte maliyet odaklı ilk on çözümün global maliyetteki iyileştirme oranları ortalaması Çizelge 4. 86'da özetlenmiştir. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin mimari (pasif) ve bina alt sistemleri (aktif) değişkenlerinden oluşan optimal çözümlerle birleştirilmesiyle, referans binaların global maliyetindeki iyileştirme oranlarını da yükselmektedir. Örnek 1, Örnek 2 ve Örnek 3 için PV2 senaryosu ile global maliyetteki ek iyileştirme oranları sırasıyla Bursa'da %22,7, %26, %18,4; İzmir'de %21,8, %24,9, %17,6; Ankara'da %18,6, %21,8, %15,1 Diyarbakır'da %19,4, %22,6, %15,9 ve Erzurum'da %19,7, %23,7, %15,8 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4. 86. Maliyet optimal ilk 10 çözümün PV1 ve PV2 senaryoları ile birlikte global maliyetteki iyileştirme oranları ortalaması (%)

İl	Bursa		İzmir		Diyarbakır		Ankara		Erzurum	
Senaryo	**PV1**	**PV2**	**PV1**	**PV2**	**PV1**	**PV2**	**PV1**	**PV2**	**PV1**	**PV2**
Örnek 1	66,7	67,0	65,7	65,8	59,1	59,5	63,3	63,4	65,1	65,3
Örnek 2	71,7	71,8	70,6	70,8	63,9	63,7	66,4	66,5	71,3	71,4
Örnek 3	70,8	72,0	65,5	70,7	61,3	66,1	65,9	66,6	66,2	67,0

- Örnek 1, Örnek 2 ve Örnek 3'ün enerji ve maliyet odaklı ilk on çözümünün bina performans değerlendirme ölçütleri için iyileştirme oranları ortalaması Çizelge 4. 87'de bir arada verilmiştir. Optimizasyon analizi sonuçlarına göre en iyi on çözüm binanın bulunduğu iklim bölgesine bağlı olarak ısıtma enerjisinde %70 – 98, soğutma enerjisinde % 40 – 76, aydınlatma enerjisinde % 41 – 53, karbon emisyonunda % 55 – 73, birincil enerjide % 57 – 75 ve global maliyette %38 – 54 iyileştirme sağlayabilmektedir.

Çizelge 4. 87. Referans binaya göre birincil enerji tüketimi ve global maliyette en yüksek iyileştirme sağlayan enerji (E) ve maliyet odaklı (M) ilk 10 seçeneğin bina performans ölçütleri için iyileştirme oranları ortalaması

Performans değerlendirme ölçütü		Isıtma Enerjisi (%)		Soğutma Enerjisi (%)		Aydınlatma Enerjisi (%)		CO_2 Emisyonu (%)		Birincil Enerji (%)		Global Maliyet (%)		Global Maliyet PV1 (%)		Global Maliyet PV2 (%)	
Senaryo		**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**
Örnek 1	Bursa	94.2	84.5	55.3	66.6	43.6	44.7	64.9	64.3	67.8	66.3	40.9	44.2	63.8	66.7	64.1	67.0
	Ankara	86.0	73.6	49.9	69.1	42.1	42.9	67.1	63.0	69.7	64.5	42.7	44.8	61.8	63.3	61.9	63.4
	Diyar	90.4	79.9	41.5	46.3	40.9	45.0	60.0	58.7	63.1	60.9	37.9	40.1	56.6	59.1	57.3	59.5
	Erzurum	80.7	69.9	46.9	75.8	45.0	44.8	67.0	62.9	69.1	64.1	44.5	45.6	64.1	65.2	64.2	65.3
	İzmir	95.5	90.3	61.4	64.9	45.5	44.9	65.1	64.2	67.7	66.4	43.6	44.0	65.4	65.7	65.5	65.8
Örnek 2	Bursa	94.7	85.3	56.6	56.4	47.2	41.9	63.4	58.2	65.8	60.3	42.3	45.9	68.7	71.7	69.0	71.7
	Ankara	80.7	75.1	39.3	49.3	44.0	40.7	66.4	58.9	69.4	61.0	41.2	44.7	63.5	66.4	63.6	66.4
	Diyarb	92.6	82.2	41.8	44.4	46.0	41.5	59.2	55.0	62.0	57.3	39.0	41.1	62.4	63.8	62.4	63.6
	Erzurum	85.4	78.8	39.2	43.9	47.4	42.1	68.9	63.6	71.3	65.9	44.7	47.7	67.0	71.3	66.4	71.3
	İzmir	97.7	91.8	61.9	57.3	46.9	41.0	63.5	57.9	65.8	60.2	43.5	45.9	68.2	70.8	68.0	70.6
Örnek 3	Bursa	89.1	86.0	74.2	72.1	53.4	49.6	72.2	69.1	74.1	71.0	52.6	53.6	69.9	70.9	71.2	72.0
	Ankara	78.7	77.8	73.8	75.2	51.5	51.4	69.8	69.3	71.2	70.6	51.0	51.5	65.4	65.9	66.0	66.6
	Diyarb	83.7	82.3	59.0	58.4	52.0	52.2	67.0	66.3	68.8	68.1	49.6	50.2	60.8	61.3	65.6	66.1
	Erzurum	75.1	74.0	63.1	70.6	52.8	53.2	68.5	68.1	69.6	69.1	51.0	51.2	66.0	66.2	66.8	67.0
	İzmir	95.2	94.0	74.8	75.2	52.9	52.1	72.8	72.3	74.9	74.4	52.9	53.1	65.4	65.5	70.6	70.7

- Tüm optimizasyon alternatifleri içinde binaların kullanım döneminde en düşük enerji tüketimi ile sonuçlanan ve en düşük global maliyete sahip seçenekler Çizelge 4. 89'da

bir arada görülmektedir. En düşük enerji tüketimine sahip tasarım seçeneği aynı zamanda en düşük karbon salımına da sahiptir. Söz konusu iyileştirmelerin bina hizmet ömrü boyunca sağlandığı öngörüldüğünde, 3 konut sitesi için enerji odaklı (E) en iyi çözümlerin blok kullanım alanına bağlı 50 yıllık enerji tasarrufu ve karbon emisyon azaltım değeri Çizelge 4. 88'de verilmiştir.

Çizelge 4. 88. Enerji odaklı en iyi çözümlerin (E) referans binaya göre 50 yıllık enerji tasarrufu (MWh.50y) ve karbon emisyon (Ton.eşd.CO_2.50y) azaltım değerleri

İl	**Bursa**		**İzmir**		**Diyarbakır**		**Ankara**		**Erzurum**	
Site	Enerji	CO_2	Enerji	CO_2	Enerji	CO_2	Enerji	CO_2	Enerji	CO_2
Örnek 1	6937	1818	6571	1761	7707	2000	9410	1658	10382	2583
Örnek 2	8267	1537	5524	1516	6471	1713	5510	2037	9102	2274
Örnek 3	16637	4371	15607	4164	18324	4833	21159	5332	24253	6025

Çizelge 4. 89. En düşük enerji tüketimi (E) ve global maliyete (M) sahip seçenekler ve bu seçeneklere ait toplam yıllık birincil enerji tüketimi (kWh/m^2.y), karbon emisyonu (kg.eşd.CO_2/m^2.y), global maliyet (TL/m^2.30y) ve iyileştirme oranları (%)

İL	Örnek 1		Örnek 2		Örnek 3	
	Enerji odaklı (E)	**Maliyet odaklı (M)**	**Enerji odaklı (E)**	**Maliyet odaklı (M)**	**Enerji odaklı (E)**	**Maliyet odaklı (M)**
BURSA	YÖN: 5° (GB/KD) INF: 0,4 ac/h Y: EPS 10 cm SO: %20 $h_{pencere}$:1m $h_{parapet}$:1 m O2: yatay 1 m G16: T_{vis}:0,80, g:0,64, U: 1,1 W/m^2K (argon) LED, C3 (lineer) **38,5 kWh/m^2 (%68)** **11,5 CO_2/m^2 (%65)** **14 523 TL/m^2 (%42)**	YÖN: -5° (GD/KB) INF: 0,4 ac/h Y: EPS 10 cm SO: %20 $h_{pencere}$:1 m $h_{parapet}$:1 m O1: yatay 0,5 m G_{ref}: T_{vis}:0,80, g:0,75, U: 2,9 W/m^2K (hava) LED, C3 (lineer) **39,6 kWh/m^2 (%67)** **11,6 CO_2/m^2 (%66)** **13 896 TL/m^2 (%44)**	YÖN: -30° (GD/KB) INF: 0,4 ac/h Y: EPS 10 cm SO: %20 $h_{pencere}$:1m $h_{parapet}$:1 m O2: yatay 1 m G9: T_{vis}:0,69, g:0,40, U: 1,4 W/m^2K (hava) LED, C3 (lineer) **36,8 kWh/m^2 (%66)** **11,1 CO_2/m^2 (%63)** **20 620 TL/m^2 (%42)**	YÖN: -80° (GD/KB) INF: 0,4 ac/h Y: XPS 6 cm SO: %30 $h_{pencere}$:1m $h_{parapet}$:1 m O1: yatay 0,5 m G9: T_{vis}:0,69, g:0,40, U: 1,4 W/m^2K (hava) LED, C1 (manuel) **41,6 kWh/m^2 (%61)** **12,2 CO_2/m^2 (%60)** **18 594 TL/m^2 (%48)**	YÖN: 25° (GB/KD) INF: 0,4 ac/h Y: XPS 10 cm SO: %20 $h_{pencere}$:1m $h_{parapet}$:1 m O1: yatay 0,5 m G5: T_{vis}:0,79, g:0,56, U: 1,1 W/m^2K(argon) LED, C3 (lineer) **31,2 kWh/m^2 (%74)** **9,1 CO_2/m^2 (%72)** **15 911 TL/m^2 (%52)**	YÖN: 30° (GB/KD) INF: 0,4 ac/h Y: XPS 10 cm SO: %30 $h_{pencere}$:1,5m $h_{parapet}$:1 m O1: yatay 0,5 m G9: T_{vis}:0,69, g:0,40, U: 1,4 W/m^2K (hava) LED, C3 (lineer) **34,4 kWh/m^2 (%72)** **9,9 CO_2/m^2 (%70)** **15 347 TL/m^2 (%54)**
ANKARA	YÖN: 5° (GB/KD) INF: 0,4 ac/h Y: Taşyünü 10 cm SO: %20 $h_{pencere}$:1,5 m $h_{parapet}$:1 m G16: T_{vis}:0,80, g:0,64, U: 1,1 W/m^2K (argon) O1: yatay 0,5 m LED, C3 (lineer) **47 kWh/m^2 (%70)** **13,4 CO_2/m^2 (%68)** **20 615 TL/m^2 (%44)**	YÖN: -30° (GD/KB) INF: 0,4 ac/h Y: EPS 10 cm SO: %20 $h_{pencere}$:1 m $h_{parapet}$:1 m G1: T_{vis}:0,80, g:0,75, U: 2,7 W/m^2K (hava) O1: yatay 0,5 m LED, C3 (lineer) **53 kWh/m^2 (%67)** **14,6 CO_2/m^2 (%65)** **20 088 TL/m^2 (%45)**	YÖN: -170°(KD/GB) INF: 0,4 ac/h Y: XPS 10 cm SO: %20 $h_{pencere}$:1 m $h_{parapet}$:1 m G7: T_{vis}:0,71, g:0,44, U: 1,3 W/m^2K (hava) O2: yatay 1 m LED, C3 (lineer) **39,5 kWh/m^2 (%72)** **11,6 CO_2/m^2 (%69)** **20 389 TL/m^2 (%43)**	YÖN: -100°(KD/GB) INF: 0,4 ac/h Y: EPS 6 cm SO: %20 $h_{pencere}$:1,5 m $h_{parapet}$:1 m G4: T_{vis}:0,79, g:0,56, U: 1,3 W/m^2K (hava) O1: yatay 0,5 m LED, C1 (manuel) **59 kWh/m^2 (%58)** **16,1 CO_2/m^2 (%56)** **19 139 TL/m^2 (%46)**	YÖN: 20° (GB/KD) INF: 0,4 ac/h Y: XPS 10 cm SO: %20 $h_{pencere}$:1m $h_{parapet}$:1 m G8: T_{vis}:0,71, g:0,44, U: 1,1 W/m^2K(argon) O1: yatay 0,5 m LED, C3 (lineer) **46,1 kWh/m^2 (%71)** **12,4 CO_2/m^2 (%70)** **16 535 TL/m^2 (%51)**	YÖN: 25° (GB/KD) INF: 0,4 ac/h Y: XPS 10 cm SO: %20 $h_{pencere}$:1,5m $h_{parapet}$:1 m G9: T_{vis}:0,69 g:0,40, U: 1,4 W/m^2K (hava) O1: yatay 0,5 m LED, C3 (lineer) **49,9 kWh/m^2 (%69)** **13,4 CO_2/m^2 (%67)** **16 279 TL/m^2 (%52)**
DİYARBAKIR	YÖN: 0° (G/K) INF: 0,4 ac/h Y: Taşyünü 10 cm SO: %25 $h_{pencere}$:1m $h_{parapet}$:1 m G14: T_{vis}:0,72, g:0,53, U: 1,1 W/m^2K (argon) O2: yatay 1 m LED, C3 (lineer) **52 kWh/m^2 (%64)** **15,4 CO_2/m^2 (%64)** **25 110 TL/m^2 (%38)**	YÖN: 15° (GB/KD) INF: 0,5 ac/h Y: EPS 10 cm SO: %20 $h_{pencere}$:1m $h_{parapet}$:1 m G_{ref}: T_{vis}:0,80, g:0,75, U: 2,9 W/m^2K (hava) O1: yatay 0,5 m LED, C3 (lineer) **57,8 kWh/m^2 (%60)** **16,5 CO_2/m^2 (%58)** **24 149 TL/m^2 (%41)**	YÖN: -80° (GD/KB) INF: 0,4 ac/h Y: Taşyünü 10 cm SO: %25 $h_{pencere}$:1m $h_{parapet}$:1 m G10: T_{vis}:0,69,g:0,40, U: 1,1 W/m^2K (argon) O1: yatay 0,5 m LED, C3 (lineer) **47,5 kWh/m^2 (%63)** **14,3 CO_2/m^2 (%60)** **24 638 TL/m^2 (%39)**	YÖN: -90° (B/D) INF: 0,7 ac/h Y: Taşyünü 5 cm SO: %20 $h_{pencere}$:1m $h_{parapet}$:1 m G10: T_{vis}:0,69,g:0,40, U: 1,1 W/m^2K (argon) O1: yatay 0,5 m LED, C1 (manuel) **59,3 kWh/m^2 (%54)** **17,1 CO_2/m^2 (%52)** **23 352 TL/m^2 (%42)**	YÖN: 20° (GB/KD) INF: 0,4 ac/h Y: XPS 10 cm SO: %20 $h_{pencere}$:1m $h_{parapet}$:1 m G7: T_{vis}:0,71, g:0,44, U: 1,3 W/m^2K(hava) O2: yatay 1 m LED, C3 (lineer) **44,6 kWh/m^2 (%69)** **12,7 CO_2/m^2 (%67)** **19 570 TL/m^2 (%50)**	YÖN: -10° (GD/KB) INF: 0,4 ac/h Y: XPS 10 cm SO: %20 $h_{pencere}$:1m $h_{parapet}$:1 m G9: T_{vis}:0,69 g:0,40, U: 1,4 W/m^2K (hava) O1: yatay 0,5 m LED, C3 (lineer) **44,8 kWh/m^2 (%69)** **12,8 CO_2/m^2 (%50)** **19 410 TL/m^2 (%67)**

Çizelge 4. 89. En düşük enerji tüketimi (E) ve global maliyete (M) sahip seçenekler ve bu seçeneklere ait toplam yıllık birincil enerji tüketimi (kWh/m^2.y), karbon emisyonu (kg.eşd.CO_2/m^2.y), global maliyet (TL/m^2.30y) ve iyileştirme oranları (devamı)

İL	Örnek 1		Örnek 2		Örnek 3	
	Enerji odaklı (E)	**Maliyet odaklı (M)**	**Enerji odaklı (E)**	**Maliyet odaklı (M)**	**Enerji odaklı (E)**	**Maliyet odaklı (M)**
ERZURUM	YÖN: 0° (G/K) INF: 0,4 ac/h Y: Taşyünü 10 cm SO: %25 $h_{pencere}$:1m $h_{parapet}$:1 m Güneş kontrol yok G16: T_{vis}:0,80, g:0,64, U: 1,1 W/m^2K (argon) LED, C3 (lineer) **54,1 kWh/m^2 (%70)** **14,9 CO_2/m^2 (%67)** **20 694 TL/m^2 (%44)**	YÖN: 0° (G/K) INF: 0,4 ac/h Y: EPS 10 cm SO: %20 $h_{pencere}$:1m $h_{parapet}$:1 m Güneş kontrol yok G16: T_{vis}:0,80,g:0,64, U: 1,1W/m^2K (argon) LED, C3 (lineer) **55 kWh/m^2 (%69)** **15 CO_2/m^2 (%67)** **20 122 TL/m^2 (%46)**	YÖN: -80° (GD/KB) INF: 0,4 ac/h Y: Taşyünü 10 cm SO: %20 $h_{pencere}$:1m $h_{parapet}$:1 m O1: yatay 0,5 m G8: T_{vis}:0,71, g:0,44, U: 1,1 W/m^2K (argon) LED, C3 (lineer) **45,1 kWh/m^2 (%72)** **12,7 CO_2/m^2 (%69)** **19 639 TL/m^2 (%45)**	YÖN: -90° (D/B) INF: 0,4 ac/h Y: XPS 6 cm SO: %20 $h_{pencere}$:1m $h_{parapet}$:1 m Güneş kontrol yok G9: T_{vis}:0,69, g:0,40, U: 1,4 W/m^2K (hava) LED, C1 (manuel) **53,1 kWh/m^2 (%67)** **14,7 CO_2/m^2 (%64)** **18 411 TL/m^2 (%49)**	YÖN: 20° (GB/KD) INF: 0,4 ac/h Y: XPS 10 cm SO: %20$h_{pencere}$:1,5m $h_{parapet}$:1 m O1: yatay 0,5 m G16: T_{vis}:0,80,g:0,64, U: 1,1 W/m^2K(argon) LED, C3 (lineer) **55,5 kWh/m^2 (%70)** **14,5 CO_2/m^2 (%69)** **17 218 TL/m^2 (%51)**	YÖN: -10° (GD/KB) INF: 0,4 ac/h Y: XPS 10 cm SO: %25 $h_{pencere}$:1,5m $h_{parapet}$:1 m Güneş kontrol yok G8: T_{vis}:0,71, g:0,44, U: 1,1 W/m^2K (argon) LED, C3 (lineer) **60,9 kWh/m^2 (%69)** **15,8 CO_2/m^2 (%68)** **16 731 TL/m^2 (%51)**
İZMİR	YÖN: 0° (G/K) INF: 0,4 ac/h Y: XPS 10 cm SO: %20 $h_{pencere}$:1,5m $h_{parapet}$:1 m O2: yatay 1 m G1: T_{vis}:0,80, g:0,75, U: 2,7 W/m^2K (hava) LED, C3 (lineer) **36,6 kWh/m^2 (%68)** **11,0 CO_2/m^2 (%65)** **20 140 TL/m^2 (%44)**	YÖN: 0° (G/K) INF: 0,4 ac/h Y: EPS 10 cm SO: %20 $h_{pencere}$:1m $h_{parapet}$:1 m O2: yatay 1 m G_{ref}: T_{vis}:0,80, g:0,75, U: 2,9 W/m^2K (hava) LED, C3 (lineer) **36,8 kWh/m^2 (%68)** **11 CO_2/m^2 (%65,5)** **19 915 TL/m^2 (%44)**	YÖN: -80° (GD/KB) INF: 0,6 ac/h Y: EPS 10 cm SO: %20 $h_{pencere}$:1m $h_{parapet}$:1 m O2: yatay 1 m G9: T_{vis}:0,69, g:0,40, U: 1,4 W/m^2K (hava) LED, C3 (lineer) **35,9 kWh/m^2 (%66)** **10,8 CO_2/m^2 (%64)** **20 457 TL/m^2(%44)**	YÖN: -110°(KD/GB) INF: 0,8 ac/h Y: XPS 6 cm SO: %20 $h_{pencere}$:1m $h_{parapet}$:1 m O2: yatay 1 m G1: T_{vis}:0,80, g:0,75, U: 2,7 W/m^2K (hava) LED, C1 (manuel) **43,1 kWh/m^2 (%59)** **12,7 CO_2/m^2 (%57)** **19 320 TL/m^2 (%47)**	YÖN: 30° (GB/KD) INF: 0,4 ac/h Y: XPS 10 cm SO: %20 $h_{pencere}$:1m $h_{parapet}$:1 m O1: yatay 0,5 m G10:T_{vis}:0,69,g:0,40, U: 1,1 W/m^2K(argon) LED, C3 (lineer) **28,0 kWh/m^2 (%75)** **8,4 CO_2/m^2 (%53)** **15 823 TL/m^2 (%73)**	YÖN: 25° (GB/KD) INF: 0,4 ac/h Y: XPS 8 cm SO: %25 $h_{pencere}$:1m $h_{parapet}$:1 m O1: yatay 0,5 m G10:T_{vis}:0,69, g:0,40, U: 1,1 W/m^2K (argon) LED, C3 (lineer) **30,3 kWh/m^2 (%73)** **9,0 CO_2/m^2 (%71)** **15 746 TL/m^2 (%53)**
Tüm iklim bölgelerindeki optimal çözümlerde $T_{i\ kış}$:20°C $I_{cl\ kış}$: 1 clo $T_{i\ yaz}$: 27°C $I_{cl\ yaz:}$ 0,5 clo, M: 1 met, ρ_{duvar}:0,8'dir.						

BES tabanlı optimizasyon sonuçları optimal tasarım seçeneklerinin enerji, maliyet ve çevresel etkiler açısından illere göre farklı performans sergilediğini göstermektedir. Bu farklılık öncelikle binanın bulunduğu enlem ve iklim bölgesine bağlı ısıtma ve soğutma derece gün sayısıyla ilişkilidir. İklim bölgesi bağlamında bina performans değerlendirme ölçütlerine göre iyileştirme oranları farklı olsa da, aynı iklim bölgesinde yer alan optimal çözümleri meydana getiren değişkenlerin sıklığında benzer bulgular elde edildiği söylenebilir. Her il için yaklaşık 2 000 – 2 500 tasarım alternatifi arasından seçilen enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) ilk 100 çözümü oluşturan seçenekler bu anlamda aşağıda özetlenmiştir.

- Duyarlılık analizi Örnek 1 ve Örnek 3'ün ±30° cephe yönlenim aralığında birincil enerji tüketimi bakımından en iyi sonuçları verdiğini göstermiştir. Öte yandan salon ve mutfak hacminin önünde yer alan geniş terasların ve kolonların en sık kullanılan yaşam alanını gölgelemesi nedeniyle birincil enerji tüketimi açısıdan Örnek 2'nin en iyi cephe yönlenimi diğer konut sitelerinden farklılık göstermiştir. Optimizasyon analizi sonuçları da bu durumu doğrulamıştır. 5 farklı iklim bölgesinin ortalaması için Örnek 2'nin enerji odaklı ilk 100 çözümünün ~72'sinde ve maliyet odaklı ilk 100 çözümünün ~71'inde cephe yönlenimi ±30° aralığının dışında kalmaktadır (Çizelge 4. 90).

Çizelge 4. 90. Tüm illerdeki enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) en iyi 100 çözümün (yaşam alanı/yatak odaları) cephe yönlenimi frekans dağılımı (%)

Örnek 1	Cephe Yönlenimi	-15° (GD/KB)	-10° (GD/KB)	-5° (GD/KB)	0° (G/K)	5° (GB/KD)	10° (GB/KD)	15° (GB/KD)	Diğer Toplam
Bursa	**E**	10	15	11	41	5	8	7	3
	M	11	13	10	32	5	19	15	10
İzmir	**E**	13	2	10	56	2	2	5	10
	M	11	0	12	49	1	2	11	14
Diyarb.	**E**	12	5	10	26	8	5	13	21
	M	12	7	9	25	5	6	13	23
Ankara	**E**	16	10	7	30	8	4	8	17
	M	12	8	13	30	6	9	9	13
Erzurum	**E**	7	7	11	28	12	12	5	18
	M	1	23	8	14	8	41	2	3

Çizelge 4. 90. Tüm illerdeki enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) en iyi 100 çözümün (yaşam alanı/yatak odaları) cephe yönlenimi frekans dağılımı (%) (devamı)

Örnek 2	Cephe Yönlenimi	-100° (KD/GB)	-90° (D/B)	-80° (GD/KB)	-70° (GD/KB)	-60° (GD/KB)	-50° (GD/KB)	±30°	Diğer Toplam
Bursa	**E**	4	3	10	10	1	10	34	28
	M	4	5	14	10	1	6	26	34
İzmir	**E**	3	15	26	8	0	8	29	11
	M	2	12	22	7	0	6	25	26
Diyarb.	**E**	6	4	14	4	2	3	25	42
	M	3	6	8	4	0	3	34	42
Ankara	**E**	3	8	9	4	4	3	29	40
	M	7	3	5	3	0	2	32	48
Erzurum	**E**	2	8	21	10	0	10	25	24
	M	3	9	22	10	0	11	28	17
Örnek 3	**Cephe Yönlenimi**	**0° (G/K)**	**5° (GB/KD)**	**10° (GB/KD)**	**15° (GB/KD)**	**20° (GB/KD)**	**25° (GB/KD)**	**30° (GB/KD)**	**Diğer Toplam**
Bursa	**E**	11	0	8	12	16	21	15	17
	M	7	2	8	13	17	22	20	11
İzmir	**E**	8	4	3	9	16	5	12	43
	M	8	4	6	9	16	4	12	41
Diyarb.	**E**	5	6	11	8	20	6	7	37
	M	4	6	14	8	20	3	8	37
Ankara	**E**	10	5	10	12	19	8	11	25
	M	10	4	10	14	20	8	10	34
Erzurum	**E**	6	2	9	12	20	12	14	25
	M	7	2	10	13	20	15	16	17

- Enerji odaklı en iyi 100 çözümün çoğunluğunda yapı kabuğu hava sızdırmazlık katsayısı 0,4 ac/h'dir. INF senaryoların dağılımı Çizelge 4. 91'de görülmektedir. Simülasyon sonuçları, özellikle soğuk iklim bölgesinde hava sızdırmazlık değerinin düşük olmasının enerji tüketimi açısından önem kazandığını göstermektedir.

Çizelge 4. 91. Tüm illerdeki en iyi 100 çözümün yapı kabuğu sızdırmazlık (infiltrasyon) kat sayısının (ac/h) frekans dağılımı (%)

Site	Örnek 1		Örnek 2		Örnek 3		Örnek 1		Örnek 2		Örnek 3		Örnek 1		Örnek 2		Örnek 3	
İl	**Bursa**						**İzmir**						**Diyarbakır**					
INF	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**
0,4	98	80	54	23	100	92	86	69	19	6	93	80	78	60	52	37	63	58
0,5	2	12	13	12	0	8	12	17	14	4	7	13	17	15	11	13	13	12
Diğer	0	8	33	65	0	0	2	14	67	90	0	7	5	25	37	50	24	30
İl	**Ankara**						**Erzurum**						**Toplam**					
INF	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**
0,4	86	79	65	36	96	92	90	100	100	87	100	100	88	77	58	38	90	84
0,5	13	14	7	10	4	8	10	0	0	7	0	0	11	12	9	9	5	8
Diğer	1	7	28	54	0	0	0	0	0	6	0	0	1	7	33	53	5	8

- Tüm konut siteleri ve iklim bölgeleri için optimal çözümlerde dış duvar yalıtım malzemesi (XPS, EPS, taşyünü) ve yalıtım kalınlığı (3 cm, 4 cm, 5cm, 6 cm, 8 cm, 10 cm) seçenekleri arasından Örnek 1'de en sık taşyünü, Örnek 2 ve Örnek 3'te en sık XPS'in kullanıldığı görülmüştür (Çizelge 4. 92). Optimal çözümlerin tamamında yalıtım kalınlığı 10 cm'dir (Çizelge 4. 93). Erzurum'da yalıtım kalınlığının 10 cm olması oranı diğer illerden yüksekken, sıcak ve ılımlı iklim bölgelerinde yalıtım kalınlığı 10 cm'in altında olan seçenek kombinasyonlarının sıklığı diğer iklim bölgelerinden daha fazladır.

Çizelge 4. 92. Tüm illerdeki en iyi 100 çözümün yalıtım malzemesi sıklık dağılımı (%)

Site	**Örnek 1**		**Örnek 2**		**Örnek 3**		**Örnek 1**		**Örnek 2**		**Örnek 3**		**Örnek 1**		**Örnek 2**		**Örnek 3**	
İl	**Bursa**						**İzmir**						**Diyarbakır**					
Yalıtım	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**
XPS	19	15	42	44	91	88	31	32	61	52	73	68	19	20	45	37	62	64
EPS	20	30	29	26	1	2	41	38	34	38	4	5	35	34	29	39	12	12
Taşyünü	61	55	29	30	8	10	28	30	5	10	23	27	46	46	26	24	26	24
İl	**Ankara**						**Erzurum**						**Toplam**					
Yalıtım	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**
XPS	17	13	46	38	62	61	20	3	28	41	90	91	21	17	42	42	76	75
EPS	45	43	29	42	8	11	22	6	39	33	1	1	33	30	36	30	5	6
Taşyünü	38	44	25	20	30	28	58	91	33	26	9	8	46	53	22	28	19	19

Çizelge 4. 93. Tüm illerdeki en iyi 100 çözümün yalıtım kalınlığı sıklık dağılımı (%)

Site	**Örnek 1**		**Örnek 2**		**Örnek 3**		**Örnek 1**		**Örnek 2**		**Örnek 3**		**Örnek 1**		**Örnek 2**		**Örnek 3**	
İl	**Bursa**						**İzmir**						**Diyarbakır**					
Yalıtım	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**
10 cm	75	70	44	38	99	91	61	56	43	38	77	74	67	66	45	39	55	52
8 cm	18	13	9	14	1	6	19	21	9	13	7	9	17	18	19	14	22	24
6 cm	7	13	28	29	0	1	14	14	36	28	4	5	10	13	17	23	4	5
Diğer	7	4	19	19	0	2	6	9	12	21	12	12	6	3	19	24	19	19
İl	**Ankara**						**Erzurum**						**Toplam**					
Yalıtım	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**
10 cm	61	59	43	38	76	75	68	96	82	60	95	98	66	70	49	42	80	78
8 cm	20	19	25	20	9	13	22	4	18	16	5	2	20	15	16	15	10	11
6 cm	13	15	17	24	9	3	6	0	0	15	0	0	9	11	22	24	3	3
Diğer	6	7	15	18	6	9	4	0	0	9	0	0	5	4	13	19	7	8

- Binanın saydamlık oranı referans değerlerinin (Örnek 1: %27, Örnek 2: %29, Örnek 3: %30) altına düşürülmesi ve cephe kuruluşunun değiştirilmesi binaların kullanım aşmasındaki yıllık toplam birincil enerji tüketiminin azaltılmasında önemli rol oynamıştır. Üç konut sitesi için tüm illerdeki enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M)

en iyi 100 çözümün saydamlık oranı dağılımı Çizelge 4. 94'te, cephe kuruluşu dağılımı Çizelge 4. 95'te görülmektedir.

Çizelge 4. 94. Tüm illerde en iyi 100 çözümün saydamlık oranı (SO) dağılımı (%)

Site	Örnek 1		Örnek 2		Örnek 3		Örnek 1		Örnek 2		Örnek 3		Örnek 1		Örnek 2		Örnek 3	
İl	Bursa						İzmir						Diyarbakır					
SO	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M
20	16	30	35	42	73	83	20	19	70	57	55	57	13	17	43	36	37	45
25	75	70	22	20	5	2	56	52	16	18	7	9	46	55	24	30	13	15
30	7	0	30	26	21	15	21	27	13	14	28	24	19	21	16	14	22	21
35	2	0	9	9	0	0	3	2	0	7	4	5	16	6	11	13	12	8
40	0	0	4	3	1	0	0	0	1	4	6	5	6	1	6	7	16	11
İl	Ankara						Erzurum						Toplam					
SO	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M
20	26	27	46	36	63	67	9	17	48	52	68	74	17	22	47	45	59	66
25	49	53	16	23	4	7	35	81	32	28	7	3	52	62	22	24	5	6
30	8	14	14	16	19	17	29	2	17	12	16	19	17	13	19	16	21	20
35	8	6	13	12	4	4	13	0	2	4	7	4	8	3	7	9	5	4
40	9	0	11	13	10	5	14	0	1	4	2	0	6	0	5	6	5	4

Çizelge 4. 95. Tüm illerdeki en iyi 100 çözümün cephe kuruluşu sıklık dağılımı (%)

Site	Örnek 1		Örnek 2		Örnek 3		Örnek 1		Örnek 2		Örnek 3		Örnek 1		Örnek 2		Örnek 3	
İl	Bursa						İzmir						Diyarbakır					
Cephe	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M
1 m	93	86	78	78	69	80	69	66	91	82	62	65	57	65	59	49	43	46
1,5 m	6	13	4	9	18	17	28	30	7	5	15	17	21	19	18	18	24	25
2 m	1	0	7	10	4	0	2	2	2	10	10	5	10	10	13	22	10	13
2,5 m	0	1	11	3	9	3	1	2	0	3	13	13	12	6	10	11	23	16
İl	Ankara						Erzurum						Toplam					
Cephe	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M
1 m	57	62	48	35	58	59	52	92	96	88	46	53	64	74	76	67	56	61
1,5 m	21	21	15	17	16	17	13	2	2	0	28	32	19	4	8	9	20	22
2 m	10	6	23	15	8	7	9	1	2	10	8	2	9	17	10	17	8	5
2,5 m	12	11	14	33	18	17	16	5	0	2	18	13	8	5	6	7	16	12
1 m parapet üzeri 1 m cam, 1 m parapet üzeri 1,5 m cam, parapetsiz 2 m cam ve parapetsiz 2,5 m cam																		

- Çizelge 4. 94'te tüm iklim bölgelerinde saydamlık oranının (SO) %20 – 25 aralığında kaldığı seçeneklerin yıllık toplam birincil enerji tüketimini düşürdüğü ve algoritmanın oluşturduğu kombinasyonlarda öne çıktığı görülmektedir.
- Saydam bileşenin ilk yatırım maliyetinin opak bileşenden daha yüksek olmasına bağlı olarak M çözümlerde SO düşük seçeneklerin sıklığı, E çözümlerdeki sıklığına göre daha yüksektir (Çizelge 4. 94).
- Pencere kuruluşu bakımından farklı iklim bölgeleri için 4 senaryo (1 m parapet üzeri 1 m cam, 1 m parapet üzeri 1,5 m cam, parapetsiz 2 m cam ve parapetsiz 2,5 m cam)

karşılaştırıldığında, pencere alanını dikey yönlü değil yatay yönlü büyütmenin enerji tüketimi açısından daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Diğer bir deyişle aynı optimal çözüm kümesinde yer alan ve aynı saydamlık oranına sahip pencere kuruluşları karşılaştırıldığında, 1 m parapet üzeri 1 m saydam bileşene sahip çözümler 5 farklı iklim bölgesinde de en iyi sonucu vermiştir (Çizelge 4. 95).

- Çalışma kapsamında ele alınan tüm cam senaryolarının ısıl geçirgenlik katsayısı referans binadan düşüktür (U < 2,4 W/m^{2}K) ve ısıtma enerjisinde tasarruf sağlamaktadır. Optimizasyon sonuçları özellikle soğuk (Erzurum) iklim bölgesinde G8, G10 ve G16 gibi argon dolgulu ve düşük ısıl geçirgenliğe sahip (U: 1,1 W/m^{2}K) camların tercih edilebileceğini göstermektedir (Çizelge 4. 96).
- Tüm cam senaryolarının güneş enerjisi toplam geçirgenlik değeri (g veya *SHGC*) referans binadaki cam seçeneğinden (G_{ref}: 0,75) düşüktür. Bu durum özellikle sıcak nemli (İzmir) ve sıcak kuru (Diyarbakır) iklim bölgelerinde saydam bileşen yoluyla istenmeyen güneş ışınımı kazancını ve soğutma enerjisi tüketimi düşürürken, kışın konut mekanlarının pasif solar enerjiden daha az yararlanmasına neden olmaktadır.
- G15 ve G16 dışındaki tüm cam senaryolarının gün ışığı geçirgenlik değeri (T_{vis}) referans binadaki berrak çift camın gün ışığı geçirgenlik değerinden (G_{ref}: 0,80) düşüktür. Bu durum G15 ve G16 dışındaki tüm seçeneklerde aydınlatma enerjisi tüketimini bir miktar arttırmaktadır (bkz. Bölüm 4.2.1 Çizelge 4. 17). Her üç konut sitesi için tüm illerdeki optimal 100 çözümde kullanılan cam tipleri ve frekans dağılımı Çizelge 4. 96'da yer almaktadır.

Çizelge 4. 96. Tüm illerdeki 100 optimal çözümde kullanılan cam tipi ve sıklık dağılımı

Örnek 1	**Camın Özelliği** / **Senaryo**	**G4** T_{vis}: 0,79 g:0,56 (hava) U:1,3 W/m^{2}K	**G7** T_{vis}: 0,71 g:0,44 (hava) U: 1,3 W/m^{2}K	**G8** T_{vis}: 0,71 g: 0,44(argon) U:1,1 W/m^{2}K	**G9** T_{vis}: 0,69 g: 0,40 (hava) U:1,4 W/m^{2}K	**G10** T_{vis}: 0,69 g: 0,40 (argon) U: 1,1 W/m^{2}K	**G16** T_{vis}: 0,80 g:0,64(argon) U:1,1 W/m^{2}K	**Diğer Toplam**
Bursa	**E**	10	10	2	19	33	19	7
	M	4	14	19	35	28	0	0
İzmir	**E**	0	2	2	36	34	18	8
	M	5	8	6	38	36	6	1
Diyarbakır	**E**	13	6	10	20	12	7	32
	M	10	12	8	25	21	4	20
Ankara	**E**	9	7	3	24	8	19	30
	M	4	9	2	30	18	12	25
Erzurum	**E**	8	5	17	11	10	27	22
	M	5	5	10	32	32	14	2

Çizelge 4. 96. Tüm illerdeki 100 optimal çözümde kullanılan cam tipi ve sıklık dağılımı (devamı)

Örnek 2	Camın Özelliği / Senaryo	G6 T_{vis}: 0,71 g:0,44 (hava) U:1,6 W/m^{2}K	G7 T_{vis}: 0,71 g:0,44 (hava) U: 1,3 W/m^{2}K	G8 T_{vis}: 0,71 g: 0,44(argon) U:1,1 W/m^{2}K	G9 T_{vis}: 0,69 g:0,40 (hava) U:1,4 W/m^{2}K	G10 T_{vis}: 0,69 g:0,40 (argon) U: 1,1 W/m^{2}K	G12 T_{vis}: 0,63 g:0,43(argon) U:1,1 W/m^{2}K	Diğer Toplam
Bursa	**E**	10	6	11	25	27	6	15
	M	8	6	9	33	23	8	13
İzmir	**E**	7	11	16	38	22	2	4
	M	7	13	16	32	19	5	8
Diyarbakır	**E**	6	13	6	21	18	4	32
	M	5	10	11	23	16	3	32
Ankara	**E**	2	9	10	23	15	9	32
	M	1	10	9	20	12	6	42
Erzurum	**E**	2	3	17	20	35	7	16
	M	3	3	18	35	30	4	7
Örnek 3	**Camın Özelliği / Senaryo**	**G4** T_{vis}: 0,79 g:0,56 (hava) U:1,3 W/m^{2}K	**G7** T_{vis}: 0,71 g:0,44 (hava) U: 1,3 W/m^{2}K	**G8** T_{vis}: 0,71 g: 0,44(argon) U:1,1 W/m^{2}K	**G9** T_{vis}: 0,69 g:0,40 (hava) U:1,4 W/m^{2}K	**G10** T_{vis}: 0,69 g:0,40 (argon) U: 1,1 W/m^{2}K	**G12** T_{vis}: 0,63 g:0,43(argon) U:1,1 W/m^{2}K	**Diğer Toplam**
Bursa	**E**	6	7	16	15	22	11	23
	M	6	11	15	24	17	9	18
İzmir	**E**	5	3	8	23	11	14	36
	M	5	3	10	27	12	14	29
Diyarbakır	**E**	8	9	6	15	11	7	44
	M	9	9	7	18	11	8	37
Ankara	**E**	4	6	12	35	16	7	20
	M	5	10	12	34	16	7	16
Erzurum	**E**	16	16	17	5	13	5	28
	M	14	18	15	16	10	2	25

Çizelge 4. 97. Tüm illerdeki en iyi 100 çözümün güneş kontrol elemanı seçeneği ve sıklık dağılımı (%)

Site	Örnek 1		Örnek 2		Örnek 3		Örnek 1		Örnek 2		Örnek 3		Örnek 1		Örnek 2		Örnek 3	
	Bursa						İzmir						Diyarbakır					
Güneş K.	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**
O1	64	65	55	53	81	87	34	37	28	38	17	19	42	42	35	31	21	22
O2	36	35	45	40	15	9	66	63	72	62	73	72	51	56	42	49	61	63
Yok	0	0	5	7	4	4	0	0	0	0	10	9	7	2	23	20	18	15
İl	Ankara						Erzurum						Toplam					
Güneş K.	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**
O1	48	54	43	45	82	80	38	9	30	23	25	16	45	40	38	38	45	45
O2	42	43	31	36	11	10	16	2	2	6	5	5	43	41	38	39	33	32
Yok	10	3	26	19	7	10	46	89	68	73	70	79	11	19	24	24	22	23

- Çizelge 4. 97'deki 100 optimal çözümün güneş kontrol elemanı seçeneği ve sıklık dağılımı incelendiğinde, özellikle Bursa ve Ankara'ya göre soğutma yükü daha yüksek olan İzmir ve Diyarbakır'da dış cephe güneş kırıcı derinliğinin (O2: yatay 1 m) ve kullanım sıklığının arttığı, Erzurum'da en iyi performans gösteren

seçeneklerin kombinasyonlarında ise sıklıkla güneş kontrol elemanı bulunmadığı görülmektedir.

- 30 yıl için gerçekleştirilen global maliyet hesabında, günde 10 saat kullanım için ömrü 3 yıl (10 000 sa) kabul edilen kompakt floresan lambaların 9 kez, ömrü 5 yıl (20 000 sa) kabul edilen LED lambaların 5 kez değiştirileceği öngörülmüştür. LED lambaların toplam enerji ve işletim maliyetindeki tasarrufun yanı sıra, loşlaştırılmayan LED lambaların yenileme maliyetinin CFL lambalardan daha düşük olması nedeniyle tüm optimal seçeneklerde LED lambalar bulunmaktadır.
- Optimizasyon analizi sonuçları duvar iç yüzey ışık yansıtma çarpanlarının her iklim bölgesindeki kombinasyonlarda çoğunlukla 0,8 (çok açık renkli) olduğunu göstermektedir. 5 faklı iklim bölgesi için enerji etkin ilk 100 çözümün ortalaması hesaplandığında ρ_{duvar}:0,8 olan seçenekler Örnek 1, 2 ve 3 için sırasıyla %81, %76, %89'dir. Maliyet odaklı çözümlerde bu oran Örnek 1, 2 ve 3 için sırasıyla %85, %96 ve %92 olarak hesaplanmıştır.
- Çalışma kapsamında C1 (manuel kontrol), C2 (ışık sensörü aracılığıyla kademeli kontrol) ve C3 (ışık sensörü aracılığıyla lineer loşlaştırma) olmak üzere üç farklı iç aydınlatma kontrol stratejisi ele alınmıştır. Enerji odaklı (E) ve maliyet odaklı (M) çözümleri oluşturan seçeneklerin büyük bölümünde, gün ışığına bağlı aydınlatma kontrol sistemi C3 bulunmaktadır. Aydınlatma otomasyon sisteminin ilk yatırırm maliyetine bağlı olarak, M çözümlerde kullanım sıklığı E çözümlere göre daha azdır. Her üç konut sitesi için tüm illerdeki optimal 100 çözümde kullanılan aydınlatma kontrol stratejisi frekans dağılımı Çizelge 4. 98'de görülmektedir.

Çizelge 4. 98. Tüm illerdeki en iyi 100 çözümün gün ışığına bağlı aydınlatma kontrolü stratejisi frekans dağılımı (%)

Site	**Örnek 1**		**Örnek 2**		**Örnek 3**		**Örnek 1**		**Örnek 2**		**Örnek 3**		**Örnek 1**		**Örnek 2**		**Örnek 3**	
İl	**Bursa**						**İzmir**						**Diyarbakır**					
A.K.	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**
C1	0	10	2	25	14	14	0	13	0	31	3	14	7	23	14	35	5	8
C2	1	11	17	16	26	36	3	5	2	3	32	26	19	10	37	26	45	45
C3	99	79	81	59	60	50	97	82	98	63	65	60	74	67	49	39	50	47
İl	**Ankara**						**Erzurum**						**Toplam**					
A.K.	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**	**E**	**M**
C1	11	18	8	35	7	12	8	14	7	16	2	5	5	16	5	27	3	11
C2	21	18	36	23	39	38	25	21	7	4	24	40	14	13	20	16	35	37
C3	68	64	56	42	54	50	67	65	86	70	74	55	81	71	76	57	61	52

- T3 no'lu iç mekan ayar sıcaklığı senaryosu (ısıtma dönemi Ti: 20°C, soğutma dönemi Ti: 27°C) tüm senaryolar arasında birincil enerji tüketimi, buna bağlı enerji maliyetleri ve karbon emisyonu açısından en yüksek iyileştirmeyi sağlamaktadır. Simülasyon sonuçlarının paralelinde, enerji optimizasyon analizi sonuçları da enerji ve maliyet odaklı ilk 100 çözümün hemen hemen hepsinde iç ortam ayar sıcaklığının ısıtma döneminde 20°C, soğutma döneminde 27°C olduğunu göstermektedir. Öte yandan iklime dayalı yıllık simülasyonlar, en yüksek tasarruf sağlayan T3 ile özellikle soğuk (Erzurum) ve ılımlı kuru (Ankara) iklim bölgelerinde ısıtma döneminde konfor aralığının (ASHRAE-55: 2017'e göre -0,85<PMV<+0,85, PPD <%20 ve EN 16798-1: 2019'a göre 0,7<PMV<+0,7, PPD <%15) sağlanmadığı durumların ortaya çıktığını göstermiştir (bkz. EK 39 - EK 43).
- Optimal çözümlerin saydamlık oranı ve kullanılan camın gün ışığı (g - *SHGC*) ve güneş enerjisi toplam geçirgenliğinin (T_{vis}) referans binadaki cam seçeneğinden düşük olması ve dış gölgeleme elemanlarına bağlı olarak, konut mekanlarında gün ışığı performans ölçütleri bakımından eşik değerlerin sağlanmadığı iç mekan koşulları meydana gelmiştir. Bu durum özellikle yaşama alanı 3,60 m derinliğe sahip terasların arkasında kalan Örnek 2'de ortaya çıkmaktadır (bkz.EK 46)

5. SONUÇ

Konutlar, dünyada ve Türkiye'de iklim değişikliği ile mücadele çabalarının artırılması bakımından önemli bir potansiyele sahiptir. AB enerji politikaları yakın gelecekte adil, insan odaklı, kaynakları verimli kullanan, sağlıklı, karbondan arındırılmış, dayanıklı ve sürdürülebilir bir ekonomiye ve inşaat sektörüne ulaşmayı hedeflemektedir. Türkiye gibi enerjiye olan talebin her geçen gün arttığı ülkelerde, enerji arz güvenliğinin temini için mevcut binaların enerji performansının iyileştirilmesi ve yeni binaların karbondan arındırılması, Avrupa Yeşil Mutabakatı ve 55'e Uyum Paketi kapsamında 2030 NSEB ve 2050 karbon-nötr iklim hedeflerine ulaşılması açısından kritik bir öneme sahiptir. Bunu sağalamak üzere sürdürülebilir kalkınma temelinde çevrenin korunması ve AB direktifleri doğrultusunda maliyet optimum enerji verimli, yaklaşık sıfır enerjili, sıfır emisyonlu bina uygulamalarının ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının desteklenmesi öncelikli hedefler arasında yer almalıdır.

Konutlarda maliyet optimum enerji verimli bina seviyesine ulaşmak için, iç mekan iklimsel ve görsel konfor koşulları ile kullanıcı tercihleri gözetilerek oluşturulan bu çalışmada tasarım stratejileri ve bu doğrultuda ortaya konan konut tasarım destek modelinin muhtemel kazanımları aşağıda sıralanmaktadır:

- Literatürde binalarda enerji performansını geliştirmeye yönelik tasarım ve iyileştirmeye olanak sağlayan, enerji etkin bina çözümlerine odaklanan çok sayıda bilimsel araştırma ve öneri model bulunmaktadır. Ancak, konuyu farklı ölçekteki (bina, mekan, yapı kabuğu, mekanik, elektrik ve yenilenebilir enerji sistemleri) tasarım değişkenlerini kullanarak BES tabanlı optimizasyon yöntemiyle ele alan ve yıl boyunca gerçekleşen konfor bileşenlerini çalışmaya dahil eden bütünleşik tasarım çözümlerine yönelik doktora düzeyindeki ulusal çalışmalar oldukça sınırlı sayıdadır. Bu nedenle, diğer çalışmalardan farklı olarak, bu tezde Türkiye'nin farklı iklim bölgelerindeki konutları içeren kapsamlı bir çalışma yapılarak literatüre katkı sağlanması hedeflenmiştir.
- Ulusal literatürdeki bina enerji performans modelleri genellikle sanal referans bina, mevcut tekil blok ya da bir adet yerleşke üzerinde uygulanmıştır. Bu tez çalışmasında önerilen model, gerçekte var olan üç farklı konut projesi üzerinde

uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu sayede, 2. DGB ılımlı nemli iklim bölgesinde yer alan Bursa ilindeki konutlarda elektrik ve doğalgaz tüketiminin azaltılması için alınabilecek erken tasarım kararları ve bu kararların enerji tüketimine olası etkileri ortaya konmuştur.

- Bursa ili için binalarda enerji performansını geliştirmeye yönelik iyileştirme senaryoları enerji tüketiminin yanı sıra maliyet ve çevresel etkiler gibi farklı bina performans ölçütleri için de değerlendirilmiş; iyileştirme senaryolarına ait değişkenlerin yıllık enerji tüketimine bağlı CO_2 emisyonu ve enerji maliyetlerine etkisi hesaplanmıştır. Simülasyon çalışmasında elde edilen bulguların yorumlanarak, her bir değişken için yatırımın geri ödeme süresinin hesaplanması gelecekteki konut projelerinin tasarım kararlarına yol göstermesi bakımından önemli görülmektedir.
- Literatürde yer alan BES tabanlı optimizasyon yaklaşımlarında genellikle ASHRAE, ISO, IESNA, EN ve CIBSE standartlarındaki ısıl ve görsel konfor bileşenleri esas alınmış veya binalarda konfor koşullarının sağlandığı kabulü yapılmıştır. Bu çalışmada iç mekan konfor bileşenleri, standartlarda yer alan kriterlere göre sanal bina üzerinden statik ve iklime dayalı dinamik yöntemlerle değerlendirilmiştir. Buna ilave olarak, konut kullanıcıları ile bir anket çalışması yapılmış; hane halkı tercihleri, iç ortamdan duyulan memnuniyet düzeyi ve enerji tasarruf algısı kullanım sonrası değerlendirme (KSD - *POE*) yaklaşımıyla araştırılmıştır.
- Ulusal literatürdeki lisansüstü çalışmalarda, enerji etkin bina tasarımı ve iç aydınlatma tasarımı konuları genellikle ayrı ayrı ele alınmış, konuyu bütüncül bir bakış açısıyla ele alan sınırlı sayıdaki doktora tez çalışmasında ise, çözümler LED lamba seçimi ile sınırlı kalmıştır. Diğer tezlerden farklı olarak bu tezde kullanıcı tercihleri gözetilerek, günışığı ve yapma aydınlatma stratejilerini içeren bütünleşik aydınlatma senaryoları geliştirilmeye çalışılmıştır.
- Literatürde yer alan mevcut optimizasyon algoritmaları, çoğunlukla maliyetleri azaltmak, yıllık ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimini minimize etmek veya ısıl konforu arttırmak gibi tek amaçlı optimizasyon problemleri üzerine kuruludur. Bu noktada, ele alınan tasarım değişken sayısı da hedeflenen bina performansının başarısında belirleyici rol oynamaktadır. Konunun tek boyutlu ve kısıtlı değişken sayısı ile ele alınmasıyla yetersiz çözümlere ulaşılabilmektedir. Bunun sonucu olarak da enerji performans hedefleri arasındaki ödünleşim göz ardı

edilebilmektedir. Bu nedenle tasarım ve iyileştirme kararları alınırken, birbiriyle çelişen hedeflerin eş zamanlı olarak dikkate alınması ve bütüncül olarak değerlendirilmesi önemli görülmüştür. Bu çalışmada tasarım değişkenlerinin enerji tüketimine etkisi, enerji performans ölçütleri arasındaki (ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi) ödünleşim dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

- Literatürde yer alan benzer çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada, duyarlılık analiziyle belirlenen tasarım değişkenleri içinden en iyi performans gösteren seçeneklerin kombinasyonları, olasılıksal bir araştırma metodu olan genetik algoritmalarla oluşturulmuştur. Bu algoritmalar, birden fazla ayrık ve sürekli değişkenin eş zamanlı ele alınmasını ve büyük bir çözüm kümesi içerisinde araştırma yapılmasını gerektiren optimizasyon problemlerinde bina performans hedeflerine ulaşılmasını kolaylaştırmıştır.
- Optimizasyon analiziyle mevcut popülasyonda (tasarım uzayında) referans duruma göre daha iyi enerji performansı gösteren çözümler elde edilerek; birincil enerji tüketiminin en düşük olduğu "enerji odaklı çözümler" ve minimum maliyetle maksimum enerji verimliliği sağlayan "maliyet odaklı çözümler" belirlenmiştir. Lineer regresyon modeli kullanılarak, birincil enerji tüketimi ile global maliyet arasındaki ilişki modellenmiş ve bulgular MS Excel programında XY dağılım grafikleriyle sunulmuştur.
- AB 2030 NSEB ve 2050 karbon-nötr bina hedeflerine ulaşmak için, yenilenebilir enerji kaynaklarına odaklanmıştır. Bu doğrultuda bu çalışmada da yenilenebilir enerji sistemleri mimariye entegre edilmiş; güneş enerjisi santralleri (PV panel) ile binaların yıllık aydınlatma ve soğutma enerjisi ihtiyacının tamamı ya da tamamına yakınının karşılanabildiği görülmüştür. Diğer yandan, güneş enerjisine bağlı yerinde (*on-site*) elektrik üretiminin toplam evsel tüketimin ne kadarını karşılayabileceği, enerjinin deplanması (akü maliyeti) veya dağıtım şirketlerine satılmasının (çift yönlü sayaç ile şebekeye verilmesi) global maliyete etkisinin hesaplanması da önem taşımaktadır.

Yukarıda muhtemel kazanımları sıralanmış olan ve bu çalışmada ortaya konan konut tasarım destek modelinin bir takım kısıtları da mevcuttur. Bu çalışmanın kısıtları ve gelecekte bu konuda yapılacak araştırmalar için öneriler aşağıda özetlenmiştir:

- BES tabanlı optimizasyon analizi, modelleme deneyimi ve simülasyon programlarının kullanımında belirli düzeyde yeterlilik gerektirmektedir. Aynı zamanda, genetik algoritmaların kullanıldığı bu çalışmada (bina modeli basit bir geometriye sahip olsa bile) optimizasyon işlemi süresi optimizasyon hedeflerlerine, araştırma uzayının büyüklüğüne (değişken sayısına) ve bilgisayar işlemcisinin hızına bağlı olarak oldukça uzun sürebilmektedir. Optimizasyonun başarıyla tamamlanması için yüksek performanslı bilgisayarlar kullanılmalı veya işlem ağ sunucu üzerinden gerçekleştirilmelidir.
- Çalışma kapsamında, konut mekan kullanım sıklığı ve süresi ile buna bağlı bina alt sistemlerinin işletim takviminin enerji tüketimine etkisi 3 farklı senaryo üzerinden analiz edilmiştir. Bunlar; anket sonuçlarına göre oluşturulmuş "pandemi öncesi senaryosu", tez çalışmasının devam ettiği süreçte ortaya çıkan "pandemi senaryosu" ve günümüz hibrit çalışma koşullarına göre gözlemlenebilir veriler üzerinden oluşturulmuş "pandemi sonrası senaryosu"dur. Bu anlamda kullanıcı faktörünün enerji tüketimine etkisinin analizi kısıtlanmış sayılabilir. Bu çalışmanın devamı olarak gelecek araştırmalarda yapay sinir ağları yöntemiyle farklı konut kullanıcı modellerinin geliştirilmesi ve kullanıcı faktörünün enerji tüketimine etkisinin daha detaylı analiz edilmesi hedeflenmektedir.
- BS EN 15459-1:2017 "Binalarda Enerji Sistemleri için Ekonomik Değerlendirme Prosedürü" dikkate alınarak değerlendirilen iyileştirme senaryolarının geri ödeme süresi ve optimal çözümlerin global maliyetleri için hesap başlangıç yılı 2022 olarak kabul edilmiş ve 2017-2021 yıllarına ait finansal göstergeler (%14,9 enflasyon) kullanılmıştır. Ancak Türkiye'nin içinde bulunduğu ekonomik koşullar Kasım 2021'den bu yana inşaat ve enerji sektöründe hızlı fiyat artışlarını beraberinde getirmiştir. Gelecek çalışmalarda binaların uzun dönem maliyet analizinin gelişmiş (%2-3 enflasyon) ve gelişmekte olan (%6-8 enflasyon) ülkeleri temsil edecek finansal göstergeler kullanarak tekrarlanması ve bu yolla elde edilecek verilerin mevcut bulgularla karşılaştırarak yorumlanması, konutlar için uygulanabilir finans modelleri üretmede faydalı olacaktır.
- Binaların uzun dönem davranışının ölçümünün (tez çalışma süreci ve imkanları içerisinde) mümkün olamaması nedeniyle, tasarım değişkenlerinin performans tahmini mevcut mimari, mekanik ve elektrik proje verileri, ulusal ve uluslararası

asgari performans standartları, üretici beyanları, alan çalışması ve anket sonuçlarından yararlanılarak yapılan kabuller ile sanal model üzerinden gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında konut birimlerine ait doğalgaz ve elektrik faturalarına ulaşılamaması dolayısıyla da simülasyonların kalibrasyonu yapılamamıştır. Konutlar veya farklı bina tipolojileri için enerji, konfor ve gün ışığı similasyonu bulgularının uygulamadaki karşılığının araştırılması ve yerinde ölçümlerle doğrulanması gelecekte yapılacak çalışmalara dahil edilerek ortaya konan bu modelin geliştirilmesi düşünülmektedir.

- Simülasyon sonuçları, yapı kabuğundaki boşluklardan kaynaklanan kontrolsüz hava kaçaklarına bağlı infiltrasyon katsayısının düşürülmesinin, binalarda yıllık toplam birincil enerji tüketiminin iyileştirilmesinde en etkili değişkenlerden biri olduğunu göstermektedir. Öte yandan binalarda infiltrasyon katsayısının azaltılmasıyla daha düşük hava geçirimine sahip bir yapı kabuğu tasarlanması, iç ortam hava kalitesini ve dolayısıyla insan sağlığını etkileyebileceğinden, bu çalışmanın fiziksel çevre kontrolüne bağlı diğer yapı fiziği faktörlerini içeren araştırmalarla desteklenmesi önerilebilir.
- Tez kapsamında elde edilen simülasyon sonuçları tasarım değişkenlerini konfor, enerji, maliyet, CO_2 emisyonu ve gün ışığı performansı açısından değerlendirmektedir. Gelecekte enerji tüketimi ile doğrudan ilişkili mekanik ve elektrik sistem değişkenlerinin detaylı modellenerek optimizasyon analizlerinin gerçekleştirilmesi, konunun mühendislik boyutuyla ve farklı performans ölçütleriyle daha kapsamlı bir şekilde ele alınmasında fayda görülmektedir.
- Bu çalışmada ele alınan optimizasyon problemi binaların yıllık toplam ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi tüketimi ile sınırlıdır. Enerji ve maliyet odaklı en iyi çözümlerin iç mekan konfor koşullarına etkisi simülasyon yöntemiyle araştırılarak, ısıl konfor açısından olumsuz çıkan sonuçlar raporlanmıştır. Optimal çözümlerin konut mekanlarının aylık tahmini ortalama oy değeri (PMV) ve memnuniyetsizlerin tahmini yüzdesinin (PPD) ısıl konfor standartlarındaki ideal ısıl çevre kategorilerini sağlaması için (ASHRAE-55:2017'ye göre PMV: ±0,5, PPD: <%10 ve EN 16798-1: 2019'a göre PMV: ±0,2, PPD: <%6) optimizasyon probleminin amaç fonksiyonuna ısıl konfor hedefi eklenebilir. İklimlendirme (HVAC) sistemleri başta olmak üzere

konfora etki eden parametreler modifiye edilerek optimizasyon analizleri geliştirilebilir.

- Bu çalışmada optimizasyon seçenekleri kapsamında ele alınmayan hacim derinliği ve genişliği ve konut yerleşimine ilişkin yapı dışı engeller (örneğin; yeşil doku ve peyzaj elemanları, balkon ve teras boyutları) çalışmaya dahil edilerek; enerji tüketimini minimize ve gün ışığı performansını maksimize etmek üzere çok amaçlı optimizasyon analizleri gerçekleştirilebilir.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Türkiye için iklim projeksiyonu model veri setleri kullanılarak önümüzdeki 100 yılda iklimde gözlenecek eğilimlerin (yıllık ortalama sıcaklık anomalileri, yağış düzensizlikleri vb.) iç ortam konfor koşullarına ve binaların enerji tüketimine etkilerinin belirlenmesi yönünde simülasyon tabanlı performans tahminleri yapılması ve iklim değişikliğine yönelik mutlidisipler işbirlikleri oluşturulması önemli görülmektedir.

Bu tez kapsamında başta mimarlar olmak üzere proje paydaşlarına konfor, maliyet, enerji ve çevresel etkiler gibi bina performans değerlendirme ölçütleri için karar desteği sağlayabilecek, çağdaş bütünleşik tasarım anlayışına uygun bir model oluşturulmuştur. Binalarda enerji tüketimiyle ilgili nicel veri üretilmesi, konut sektörü için enerji ve karbon emisyonu tasarruflarının somutlaştırılması, bu sayede araştırma çıktılarının toplumsal ve ekonomik faydaya dönüşmesi amaçlanmıştır. İklim değişikliğine karşı mücadelede, sürüdürülebilir kalkınma ilkelerine uygun yasal düzenlemelerle enerji sistemlerinin karbondan arındırılması ve verimliliğin sağlanması sera gazı emisyonunun azaltılmasında uzun soluklu öte yandan en ekolojik ve ekonomik çözüm olarak görülmektedir. Yaşamakta olduğumuz iklim krizi, her binanın topografyaya ve biyo-iklimsel yerel koşullara uygun, sürdürülebilir yapı malzemeleri ve inşaat yöntemleriyle inşa edilmesi, güneş enerjisinden ısıtma, soğutma ve aydınlatmada optimum şekilde yararlanılması ve binaların enerji gereksiniminin yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması yolunda atılacak adımlarda kaybedecek zamanımız olmadığını göstermektedir. Bu sektörel değişim ve dönüşüm birçok farklı zanaatı bünyesinde barındıran inşaat sektörü ve mimarlık mesleği için fırsatlar sunmakta ve sayısız örnek bunun pratikte mümkün olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

AB Başkanlığı (2023). *Fasıl 15: Enerji - Avrupa Birliği'nin Enerji Politikası.* T.C. Dış İşleri Bakanlığı Avrupa Birliği ile İlişkiler Genel Müdürlüğü, Sektörel Politikalar Daire Başkanlığı raporu. Mart 2023 tarihinde https://www.ab.gov.tr/fasil-15-enerji_80.html adresinden erişildi.

Abouleish, M.Y.Z. (2021) Indoor air quality and COVID-19. *Public Health*. 191:1-2. doi: 10.1016/j.puhe.2020.04.047

Agarwal, N., Meena, C.S., Raj, B.P., Saini, L., Kumar, A., Gopalakrishnan, N., Kumar, A., Balam, N.B., Alam, T., Kapoor, N.R., Aggarwal, V. (2021). Indoor air quality improvement in COVID-19 pandemic: Review, *Sustainable Cities and Society*, 70: 102942.

Al-Saadi, S.N. & Al-Jabri, K.S. (2020). Optimization of envelope design for housing in hot climates using a genetic algorithm (GA) computational approach. J. *Build. Eng*. 32: 101712.

Anđelković, A.S., Mujan, I. & Dakić, S. (2016). Experimental validation of a EnergyPlus model: Application of a multi-storey naturally ventilated double skin façade, *Energy and Buildings*, 118: 27-36.

ANSI/ASHRAE Standard 140 (2001). *Building Energy Simulation Test* – BESTEST. Standard method of test for the evaluation of building energy analysis computer programs. Atlanta, GA 30329.

ANSI/ASHRAE Standard 55 (2017). Thermal environmental conditions for human occupancy, American Society of Heating, Refrigerating and AirConditioning Engineers, Atlanta, GA, USA: American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc.

ANSI/ASHRAE/IESNA (2004). ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1-2004: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta-USA.

ANSI/IES LM-79-19 (2019). Approved Method: Optical and Electrical Measurements of Solid-State Lighting Products. Illuminating Engineering Society, ABD.

Ascione, F., Bianco, N., De Masi, R.F., Mauro, G.M. & Vanoli, G.P. (2015). Design of the building envelope: A novel multi-objective approach for the optimization of energy performance and thermal comfort. *Sustainability*, 7(8): 10809-10836.

ASHRAE (2009). ASHRAE Hand book – Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., Atlanta-USA. ASHRAE, 2010.

ASHRAE (2009). Chapter 8: Thermal Comfort. 2009 ASHRAE Handbook: Fundamentals. Atlanta.GA, American Society for Heating, Ventilation, Refrigerating and Air-conditioning Engineers.

ASHRAE 55 (2004) ASHRAE Standard 55-2004. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.

Atthajariyakul, S., Leephakpreeda, T. (2004). Real-time determination of optimal indoor-air condition for thermal comfort, air quality and efficient energy usage. *Energy Build* 36:720–733.

Attia S., Hamdy, M., Brien, W.O. & Carlucci, S. (2013). Assessing gaps and needs for integrating building performance optimization tools in net zero energy buildings design. *Energy Build* 60:110–24.

Attia, S., Gratia, E., Herde, A.D. & Hensen, J.L.M. (2012). Simulation-based decision support tool for early stages of zero-energy building design. *Energy Build.* 46: 2–15.

Augenbroe, G. (2002). Trends in building simulation. *Building and Environment,* 37(8): 891- 902.

Auliciems, A. and Szokolay, S. (2007). Thermal Comfort. 2nd Revised Edition, Brisbane, PLEA: Passive and Low Energy Architecture International in association with Department of Architecture, The University of Queensland.

Avrupa Birliği (2002). Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the Energy Performance of Buildings, Official Journal of the European Union L 001 (2003) 65–71.

Avrupa Birliği (2009). Directive 2009/125/EC of The European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products (recast) Nisan 2023 tarihinde https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02009L0125-20121204 adresinden erişildi.

Avrupa Birliği (2010). EPBD recast (2010) Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast); Official Journal of the European Union, L153/13-35 (2010)

Avrupa Birliği (2011). *Constructions Products Directive (CPD)*. 2011/305/AB Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC Text with EEA relevance.

Avrupa Birliği (2015). *Smarter, Greener More Inclusive: Indicators to Support the 2020 Strategy*, Luxembourg, s.15.

Avrupa Birliği (2017). Regulation 2017/1369 of the European Parliament and of the Council of 4 july 2017 setting a framework for energy labelling and repealing Directive 2010/30/EU Nisan 2023 tarihinde https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02017R1369-20210501 adresinden erişildi.

Avrupa Birliği (2018a). EPBD recast (2018) Directive 2018/844/EU of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency

Avrupa Birliği (2018b). Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast).

Avrupa Birliği (2018c). EED (Energy Efficiency Directive) - 2018/2002 of The European Parliament ando The Council of 11 December 2018 amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency. Official Journal of the European Union.

Avrupa Birliği (2021). Regulatıon (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law'). Mart 2023 tarihinde https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1119&from=EN adresinden erişildi.

Avrupa Komisyonu (2019). *European Green Deal* (COM/2019/640) final report. Communication from the Commission to The European Parliament, The European Council, The Council, The European Economic and Social Committee and The

Committee of The Regions. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN

Azari, R., Garshasbi, S., Amini, P., Rashed Ali, H. & Mohammadi, Y. (2016). Multiobjective optimization of building envelope design for life cycle environmental performance. *Energy and Buildings*, 126: 524-534.

Bae, N. R. (2016). Influence of uncertainty in user behaviors on the simulation-based building energy optimization process and robust decision-making [Doctoral dissertation]. University of Michigan.

Baker, N. & Steemers, K. (2002). *Daylight Design of Buildings*, James & James Ltd., London.

Bambrook, S.M., Sproul, A.B. & Jacob, D. (2011). Design optimisation for a low energy home in Sydney. *Energy Build*. 43: 1702–1711.

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (2007). *Enerji verimliliği kanunu* (EN-VER), Ankara.

Bayındırlık ve İskân Bakanlığı (2010). *Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ* (Tebliğ No: YİG/2010-02) - Bina Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi (BEP-TR) Bina Enerji Performansı – Isıtma ve Soğutma için Net Enerji İhtiyacının Hesaplanması, T.C. Resmi Gazete, 27778, Ankara.

Bayraktar, M. & Yılmaz, Z. (2007). *Bina Enerji Tasarrufunda Pasif Akıllılığın Önemi*, VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir: 115-128.

Beale, A. (2022). *Solar Panel Tilt Angle Calculator*. Temmuz 2022 tarihinde https://docs.google.com/spreadsheets/d/1ZOxE0J54LcIlSX82I2SIYGq5_QTmsnpQ6eFDw-Gc-zk/edit#gid=0 adresinden erişildi.

BEP (2008). *Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği.* Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, T. C. Resmi Gazete, 27075, 5 Aralık 2008.

BEP (2010). *Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde (BEP) Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik* .T. C. Resmi Gazete, 27539, 1 Nisan 2010.

BEP (2022). *Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde (BEP) Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik* . T. C. Resmi Gazete, 31755, 19 Şubat 2022.

Berköz, E., Küçükdogu, M. (1983). Çevre kontrolünde aydınlatma ders notları, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi, İstanbul.

Berköz, E., Küçükdoğu, M., Yilmaz, Z., Kocaaslan, G., Yıldız, E., Köknel, A., Unver, R., Ak, F., Enarun, D. ve Yıldız, D. (1995). Enerji etkin konut ve yerleşme tasarımı. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (Proje No: Tübitak-Intag 201).

Bornatico, R., Pfeiffer, M., Witzig, A. & Guzzella, L. (2012). Optimal sizing of a solar thermal building installation using particle swarm optimization. *Energy*: 41:31–7.

Boubekri, M. (2008). *Daylighting, Architecture and Health*, Routledge: London, UK, 2008.

Boyce, P.R. (2010). The impact of light in buildings on human health. *Indoor Built Environ*, 19: 8–20.

Boyce, P.R., Hunter, C. & Howlett, O. (2003). The Benefits of Daylight through Windows, Lighting Research Center of the Rensselaer Polytechnic Institute; New York, ABD.

Brodeur, A., Grigoryeva, I. & Kattan L. (2021). Stay-at-home orders, social distancing, and trust," *Journal of Population Economics*. 34: 1321-1354.

Brown, K., E., Henze, D., K. & Milford, J., B. (2017). How accounting for climate and health impacts of emissions could change the US energy system. *Ener. Policy*, 102: 396-405.

BS 8206-2 (2008). *Lighting for buildings- Part 2: Code of practice for Daylighting*, London.

BS EN 12464 (2011). Light and Lighting of Workplaces: Part1-Indoor Workplaces. CEN/TC 169, European Committee for Standardisation.

BS EN 12464 (2021). Light and lighting. Lighting of work places Indoor work places, European Committee for Standardisation.

BS EN 15459-1 (2017). *Energy performance of buildings - Economic evaluation procedure for energy systems in buildings* (Binalarda Enerji Sistemleri için Ekonomik Değerlendirme Prosedürü).

BS EN 15978 (2011). *Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings*. Calculation method.

BS EN ISO 7730 (1994). *Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*. International Organization for Standardisation, Berlin.

BS EN ISO 7730 (2005) . *Ergonomics of the thermal environment.* Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. International Standardization Organization, Geneva.

Bursagaz (2022). *Doğalgaz Fiyat Tarifesi – Bursa*. Aralık, 2022 tarihinde https://www.bursagaz.com/uploads/2022_yili_fiyat_dagilimi.pdf adresinden erişildi.

Busch, J.F. (1992). A tale of two populations: Thermal comfort in air-conditioned and naturally ventilated offices in Thailand, *Energy and Buildings* 18: 235–249.

Caldas, L.G. & Norford, L.K. (2002). A design optimization tool based on a genetic algorithm. *Autom Constr* 11: 173–84.

Can Alüminyum (2021). [Alüminyum doğrama kataloğu] Temmuz 2021 tarihinde https://www.canaluminyum.com.tr/katalog adresinden erişildi.

Cano, E.L., Moguerza, J.M., Alonso-Ayuso, A. (2016). A multi-stage stochastic optimization model for energy systems planningand risk management. *Energy Build* 110:49–56.

Cao, X., Dai, X. & Liu, J. (2016). Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. *Energy and Buildings,* 128: 198-213.

Carlucci, S., Cattarin, G., Causone, F. & Pagliano, L. (2015). Multi-objective optimization of a nearly zero-energy building based on thermal and visual discomfort minimization using a non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II). *Energy and Buildings*, 104: 378-394.

Castilla, M.M., Álvarez, J.D., Rodriguez, F. & Berenguel, M. (2014). *Comfort Control in Buildings*, Springer.

CEN EN 15251 (2007) *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*. European Committee for Standardization (CEN), Brussels.

CEN EN 16798-1 (2019). *Energy performance of buildings — Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance*

of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Module M1-6.
CEN ISO 7730 (1994). Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. International Organization for Standardization, Geneva.
Chen, X., Yang, H. & Zhang, W. (2018). Simulation-based approach to optimize passively design buildings: A case study on a typical architectural form in hot and humid climates. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 82: 1712–1725.
CIBSE (2012a) *SLL Code for Lighting: the Impact on Design and Commissioning*. The Society of Light and Lighting, Rich Hill.
CIBSE (2012b) *Guide F. Energy efficiency in buildings.* The Chartered Institution of Building Services Engineers, London.
CIBSE (2018) *The SLL Lighting Handbook.* The Society of Light and Lighting, Rich Hill
CIBSE (2022) *SLL Lighting Guide 9: Lighting for communal residential buildings*, The Society of Light and Lighting, Rich Hill.
CIE (2003). *Spatial distribution of daylight - CIE Standard General Sky*, CIE S011/E:2003, Viyana.
CIE 190 (2010). *Calculation and Presentation of Unified Glare Rating Tables for Indoor Lighting Luminaires*. Commission Internationale de L'Eclairage.
CIE S 026/E (2018). *CIE System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light Commission*. Vienna, Austria: CIE (Commission Internationale de l'Eclairage). doi:10.25039/S026.2018
Climate Action Tracker (CAT) (2019). *Türkiye'de iklim eylemini arttırmak.*19 Ağustos 2022tarihindehttps://climateactiontracker.org/publications/scalingupturkeyturkish/ adresinden erişildi.
Climate Action Tracker (CAT) (2023). Climate Action Tracker (İklim Eylem Takipçisi) *Country Targets: Turkiye Main Climate Targets*. 15 Haziran 2023 tarihinde https://climateactiontracker.org/countries/turkey/targets/ adresinden erişildi.
ClimateOnebuilding (n.d.). [Türkiye il bazlı iklim dosyaları]. Şubat 2018 tarihinde https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_6_Europe/TUR_Turkey/index.html adresinden erişildi.
CSN EN 12665 (2018). Light and lighting - Basic terms and criteria for specifying lighting requirements.
CW Enerji (n.d.) [Güneş paneli teknik verileri – CWT440-144MB 440W] Ağusots 2021 tarihindebhttps://www.cw-enerji.com/tr/urunler/cw-enerji-gunes-paneli-2.html adresinden erişildi.
Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği (ÇEDBİK) (2019). B.E.S.T: Binalarda Ekolojik ve Sürdürülebilir Tasarım ve Konut Sertifika Kılavuzu. 16 Temmuz 2020 tarihinde https://ik.imagekit.io/eywz9hvpg/cedbik/media/page/12/attachments/b-e-s-t-konut-sertifika-kilavuzu-2019-agustos-v-2-0.pdf?v=100919110112 adresinden erişildi.
Daniels, K. (1997). *The Technology of Ecological Building: Basic Principles and Measures Examples and Ideas*, Birkhauser Verlag, Basel.
Davies Morris G. (2004). *Building Heat Transfer*. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons.
de Wilde, P., Tian, W. & Augenbroe, G. (2011). Longitudinal prediction of the operational energy use of buildings. *Building and Environment* 46 (8): 1670-1680.

DeDear, R. Brager, G. & Cooper, D. (1997). Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. p. XIV, 296 S TS-WorldCat T4-Final report.

DeDear, R., Leow, K. & Ameen, A. (1991). *Thermal comfort in the humid tropics.* Part 1, ASHRAE Transactions 97 (1) 874–879.

Demir Enerji (n.d.) [Güneş paneli teknik verileri] Ağusots 2021 tarihinde http://www.demir-enerji.com/wp-content/uploads/2018/03/Solar_Katalog1.pdf adresinden erişildi.

DesignBuilder (n.d.a). Optimisation Tutorial - Custom Script KPI Example 2 - Reading The EUI KPI Using EpNet (C#) And Eppy (Python) Nisan 2021 tarihinde https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/Content/CustomKPIsExample.htm adresinden erişildi.

DesignBuilder (n.d.b). Lighting Control. Mayıs 2020 tarihinde https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/Content/_Lighting_control.htm adresinden erişildi.

Diab Bahman, R., & Al Enzi, A. (2020). The Impact of COVID-19 Pandemic on Conventional Work Settings. *International Journal of Sociology & Social Policy*, 40(9): 909–927.

Dimoudi, A., Zoras, S. (2016). *The Role of Buildings in Energy Systems, Energy Performance of Buildings: Energy Efficiency and Built Environment in Temperate Climates*, Springer.

Djuric, N., Novakovic, V., Holst, J. & Mitrovic, Z. (2007). Optimization of energy consumption in buildings with hydronic heating systems considering thermal comfort by use of computer-based tools. *Energy Build* 39: 471–7.

Dounis, A.I., Caraiscos, C. (2009) Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment: A review. *Renew Sustain Energ Rev*. 13: 1246–1261.

Du, W. & Wang, G. (2020). Indoor Air Pollution was Nonnegligible during COVID-19 Lockdown. *Aerosol Air Qual. Res.* 20: 1851–1855.

Egan, M.D. & Olgyay, V. (2002). Architectural Lighting. McGraw-Hill. 2nd Edition.

EIA (2023). Enerji Enstitüsü dünya enerji tüketimine ilişkin istatistiksel veriler (Energy Institute Statistical Review of World Energy) Ocak 2023 tarihinde https://ourworldindata.org/fossil-fuels adresinden erişildi.

EN 15193 (2007). Energy Performance of Buildings – Energy Requirements for Lighting, CEN/TC 169, European Committee for Standardisation.

EN 17037 (2019). Daylight in buildings.

EN ISO 16346 (2013). *Energy performance of buildings — Assessment of overall energy performance.* Geneva, Switzerland.

EN ISO 52000-1 (2017). *Energy performance of buildings: Overarching EPB assessment — Part 1: General framework and procedures.* Geneva, Switzerland.

EnergyPlus (n.d.). [Ankara ve İzmir iklim datası]. Şubat 2018 tarihinde https://energyplus.net/weather-region/europe_wmo_region_6/TUR adresinden erişildi.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) (2007). *5627 sayılı Enerji Verimliliği kanunu.* Resmî Gazete: 26510. Ankara. Mayıs 2020 tarihinde https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=5627&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5 adresinden erişildi.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) (2018). Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (EİGM) faaliyet raporları. https://enerji.gov.tr/eigm-raporlari

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) (2018). *Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023.* Ankara. Mayıs 2020 tarihinde https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/01/20180201M1-1.htm adresinden erişildi.

EPA (2017). *Climate change indicators.* Ocak 2021 tarihinde https://www.epa.gov/climateindicators/ climate-change-indicators-us-and-global-temperature adersinden erişildi.

EPDK (2022). *Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu Sektör Raporları.* Ankara. Nisan 2022 tarihinde https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/1-1271/electricityreports adresinden erişildi.

Ercan, B. & Elias Ozkan, S. T. (2015). Performance-based parametric design explorations: A method for generating appropriate building components. *Design Studies*, 38: 33-53.

EU Infographics (2023). *Fit for 55: how the EU will turn climate goals into law.* Mart 2023 tarihinde https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/fit-for-55-how-the-eu-will-turn-climate-goals-into-law/ adresinden erişildi.

European Comission (2011) . *Energy roadmap 2050.* Communication from the commission to the council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the regions. Mart 2023 tarihinde https://energy.ec.europa.eu/system/files/2014-10/roadmap2050_ia_20120430_en_0.pdf adresinden erişildi.

European Comission (2015). COM(2015) 80 final – *A framework strategy for a resilient Energy Union with a forward-looking climate change policy*. Mart 2023 tarihinde https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:1bd46c90-bdd4-11e4-bbe1-01aa75ed71a1.0001.03/DOC_1&format=PDF adresinden erişildi.

European Commission (2019a). Directorate-General for Energy, Clean energy for all Europeans, Publications Office, Mart 2023 tarihinde https://data.europa.eu/doi/10.2833/9937 adresinden erişildi.

European Commission (2019b). COM/2019/640 final. The *European Green Deal*. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Mart 2023 tarihinde https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2019:640:FIN adresinden erişildi.

European Commission (2020). *A Renovation Wave for Europe - greening our buildings, creating jobs, improving lives.* Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Nisan 2023 tarihindehttps://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?qid=1603122220757&uri=CELEX:52020DC0662 adresinden erişildi.

European Commission (2021). *Fit for 55: delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality.* COM(2021) 550 final. Brussels.

European Comission (2021). COM(2021) 802 final Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast). Brussels. Nisan 2023 tarihinde https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0802&qid=1641802763889 adresinden erişildi.

European Comission (2022a). 2021/0426 (COD) Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings

(recast). Nisan 2023 tarihinde https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-13280-2022-INIT/en/pdf adresinden erişildi.

European Commission (2022b). *Fit for 55: Council agrees on stricter rules for energy performance of buildings*. Press release 25 October 2022. Mart 2023 tarihinde https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2022/10/25/fit-for-55-council-agrees-on-stricter-rules-for-energy-performance-of-buildings/ adresinden erişildi.

European Commission (2022c). *REPowerEU Plan.* Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Nisan 2023 tarihinde https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A230%3AFIN&qid=1653033742483 adresinden erişildi.

Evans, M. (1980). *Housing, climate and comfort.* London: Architectural Press.

Evins, R. (2013). A review of computational optimisation methods applied to sustainable building design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 22: 230-245.

Fan, Y. & Xia, X. (2017). A multi-objective optimization model for energy-efficiency building envelope retrofitting plan with rooftop PV system installation and maintenance. *Applied Energy,* 189: 327-335.

Fanger, P., O. (1985). *Energy and Building*, 3rd edition. Danish Technical Press, Copenhagen.

Fanger, P.O. (1970). *Thermal Comfort: Analysis and applications in environmental engineering*. Danish Technical Press, Copenhagen.

Fesanghary, M., Asadi, S. & Geem, Z.W. (2012). Design of low-emission and energy-efficient residential buildings using a multi-objective optimization algorithm. *Build. Environ.* 49: 245–250.

Fidan, A.N., Dedeoğlu, Y., Cindoruk, Y. & Ünlü, H. (2015). *İklim Değişikliği Çalışmalarında Bursa Örneği: Bursa Karbon Ayakizi* [Konferans sunumu].11. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi. 15-17 Ekim 2015, Bursa.

Flager, F., Welle, B., Bansal, P., Soremekun, G. & Haymaker, J. (2009). Multidisciplinary process integration and design optimization of a classroom building. *Information Technology in Construction,* 14(38): 595-612.

Forde, J., Hopfe, C.J., McLeod, R.S. & Evins, R. (2020). Temporal optimization for affordable and residential passivhaus dwellings in the social housing sector. *Appl. Energy* 261: 114383.

Frontczak, M. & Wargocki, P. (2011) Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments, *Building and Environment,* 46(4): 922-937.

Futrell, B.J., Ozelkan, E.C. & Brentrup, D. (2015). Bi-objective optimization of building enclosure design for thermal and lighting performance. *Building and Environ.,* 92: 591-602.

Galletly, J. (1998). Evolutionary algorithms in theory and practice: Evolution strategies, evolutionary programming, genetic algorithms. *Kybernetes*, 27(8): 979-980.

Gassar, A.A.A., Koo, C., Kim, T.W., & Cha, S.H. (2021). Performance Optimization Studies on Heating, Cooling and Lighting Energy Systems of Buildings during the Design Stage: A Review. *Sustainability*, 13: 9815.

Gercek, M. & Arsan, Z.D. (2019) Energy and environmental performance based on decision support process for early design stages of residential buildings under climate change. *Sustain. Cities Soc.* 48: 101580.

Givoni, B. (1976). *Man Climate and Architecture,* Applied Science Publishers, London.

Google Maps (n.d.). [Bursa Balat ve Ahmet Yesevi Mahalleleri]. Aralık, 2022 tarihinde https://www.google.com/maps adresinden erişildi.

Gou, S., Nik, V.M., Scartezzini, J.-L., Zhao, Q. & Li, Z. (2018). Passive design optimization of newly-built residential buildings in Shanghai for improving indoor thermal comfort while reducing building energy demand. *Energy Build.* 169: 484–506.

Goulding, J.R., Lewis, J.O., Steemers & T.C. (1993). *Energy Conscious Design*, B. T. Batsford, Dublin.

Grösche, P. (2009). Measuring residential energy efficiency improvements with DEA. *Journal of Productivity Analysis* 31(2): 87–94.

Gut, P., & Ackerknecht D. (1993). *Climate Responsive Building; Appropriate building construction in tropical and subtropical regions*, SKAT, Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management, İsviçre.

Güvenkaya, R. & Küçükdoğu, M.Ş. (2009). An Approach to Determine Façade Options in Accordance with Different Orientations in Elementary School Classrooms from the Perspective of Lighting Energy Management. *ITU Journal Series A, Architecture, Planning, Design,* 8: 77-88.

Hamdy, M., Hasan, A. & Siren, K. (2013). A multi-stage optimization method for cost optimal and nearly-zero-energy building solutions in line with the EPBD recast 2010. *Energy Build* 56:189–203.

Hamdy, M., Nguyen, A.T. & Hensen, J.L.M. (2016). A performance comparison of multiobjective optimization algorithms for solving nearly-zero-energy-building design problems. *Energy Build* 121: 57–71.

Hani, A. & Koiv, T.A. (2012). Optimization of Office Building Facades in a Warm Summer Continental Climate. *Smart Grid Renew Energy* 3:222–30.

Hegger, M., Fuchs, M., Stark, T., & Zeumer, M. (2008). *Energy Manual. Sustainable Architecture.* Volume in the series. Detail Construction Manuals.

Heijs, W.J.M. (1994). *The dependent variable in thermal comfort researchsome psychological considerations*. In N. Oseland, & M. Humphreys (Eds.), Thermal comfort past present and future: Proceedings of the conference of June 1993 (pp. 40-51). Watford Building Research Establishment.

Heschong, L., Wymelenberg, V.D., Andersen, M., Digert, N., Fernandes, L., Keller, A., Loveland, J., McKay, H., Mistrick, R., Mosher, B. (2012). *Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)*. IES-Illuminating Engineering Society: New York, NY, USA, 2012

Hinnells M. (2008) Technologies to achieve demand reduction and microgeneration in buildings. *Energy Policy,* 36(12):4427–33.

Ho, M., Chiang, C., Chou, P., Chang, K. & Lee, C. (2008). Optimal sun-shading design for enhanced daylight illumination of subtropical classrooms. *Energy and Buildings,* 40(10):1844-1855.

Holland, J.H. (1975). *Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. U. Michigan Press.

Homaei, S. & Hamdy, M. (2020). A robustness-based decision making approach for multi-target high performance buildings under uncertain scenarios. *Appl. Energy* 267: 114868.

Hong, T., Chou, S. & Bong, T. (2000). Building simulation: An overview of developments and information sources. *Building and Environment*, 35(4): 347-361.

HT- SAAE (n.d.) [Güneş paneli teknik verileri – HT72-166M 455W] Ağusots 2021 tarihindehttps://drive.google.com/file/d/1PfMvjhRmr1eP0ww4EWDubcBLIL_rQmsw/view adresinden erişildi.

Humphreys, M. & Nicol, J.F. (2000). Outdoor temperature and indoor thermal comfort: raising the precision of the relationship for the 1998 ASHRAE database of field studies, *ASHRAE Trans*., vol. 106, pp. 485–92.

IES (2008). *Light + Design: A Guide to Designing Quality Lighting for People and Buildings*. Illuminating Engineering Society (IES).

IESNA (2011). *The IESNA Lighting Handbook: Reference & Application*. 10th Edition, New York: Illuminating Engineering Society of North America, ABD.

IESNA (2012). *LM-83-12 IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)*. Iesna Lighting Meas: New York, NY, USA.

Ihm, P. & Krarti, M. (2012). Design optimization of energy efficient residential buildings in Tunisia. *Build. Environ*. 58: 81–90.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland (p. 151)

International Energy Agency (IEA) (2023a). *Energy Technology Perspectives 2023*, IEA, Paris https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023 License: CC BY 4.0

International Energy Agency (IEA) (2023b). World Energy Outlook 2022, IEA, . Licence: Creative Commons Attribution CC BY-NC-SA 4.0.

International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı – IEA) (2021). *Turkey 2021: Energy Policy Review*. Licence: Creative Commons Attribution CC BY-NC-SA 4.0. 5 Nisan 2022 tarihinde https://www.iea.org/reports/turkey-2021 adresinden erişildi.

ISO/CIE 20086 (2019). Light and lighting — Energy performance of lighting in buildings. ICS: 91.160.10 Interior lighting.

IWBI (2022). International Well Building Institute WELL building standard v2 Q1 2022 version. Section L03: circadian lighting design. 17 Temmuz 2022 tarihinde https://v2.wellcertified.com/v/en/light/feature/3 adresinden erişildi.

İzoder (n.d.) TS 825 Hesap Programı Haziran 2020 tarihinde https://www.izoder.org.tr/sayfa/30/ts-825-hesap-programi adresinden erişildi.

Jakubiec, A., Reinhart, C. (2010). *The use of glare metrics in the design of daylit spaces: Recommendations for practice*, 9th International Radiance Workshop.

Jarboe, C., Snyder, J. & Figueiro, M. (2020).The effectiveness of light-emitting diode lighting for providing circadian stimulus in office spaces while minimizing energy use, *Light. Res. Technol*., 52: 167–188.

Junghans, L. (2013). Sequential equi-marginal optimization method for ranking strategies for thermal building renovation. *Energy Build* 65:10–8.

Kampf, J. H., Wetter, M. & Robinson, D. (2010). A comparison of global optimization algorithms with standard benchmark functions and real-world applications using EnergyPlus. J *Build Perform Simul* 3:103–20.

Karaboğa D. (2014). *Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları.* Nobel Akademik Yayıncılık.

Kayo, G. & Ooka, R. (2009). *Application multi-objective genetic algorithm for optimal design method of distributed energy system*. 11th. International IBPSA Conference: 27-30.

Kim, G. & Kim J.T. (2010). Overview and new developments in optical daylighting systems for building a healthy indoor environment. *Building Environ* 45:256–269.

Koçlar G., Köknel A. & Tamer N. (2004) Building envelope design with the objective to ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions. *Building Environ* 39(3):281–287.

Koenigsberger, O.H., Ingersoll, T.G., Mayhew, A., Szokolay, S.V. (1975). *Manual of tropical housing and building*. Orient Blackswan.

Konis, K. (2013). Evaluating daylighting effectiveness and occupant visual comfort in a side-lit open-plan office building in San Francisco, California. Building Environ 59: 662–77.

Krarti, M., Erickson, P.M., Hillman, T.C. (2005). A simplified method to estimate energy savings of artificial lighting use from daylighting. *Build Environment,* 40 (6): 747–54.

Kusiak, A. & Xu, G. (2012). Modeling and optimization of HVAC systems using a dynamic neural network. *Energy*, 42(1): 241-250.

Labib, R. (2015). Trade-off method to assess the interaction between light shelves and complex ceiling forms for optimized daylighting performance. Ad*vances in Building Energy Research*, 9(2): 224-237.

Lartigue, B., Lasternas, B. & Loftness, V. (2013). Multi-objective optimization of building envelope for energy consumption and daylight. *Indoor and Built Environ.*. 23(1):70-80.

Lechner, N. (2009). *Heating, Cooling, Lighting Design Methods for Architects.* John Wiley & Sons, 3rd Edition, Canada.

Lin, S.E. & Gerber, D.J. (2014). Designing-in performance: A framework for evolutionary energy performance feedback in early stage design. *Automation in Construction*, 38: 59- 73.

Littlefair, P.J. (2011). *BRE Report Site Layout Planning for daylight and sunlight: A good practice*, Second Edition, Building Research Establishment, Watford, U.K.

Lumsearch (n.d.). [DIALux luminaire finder] Nisan 2020 tarihinde https://luminaires.dialux.com/en#0 adresinden erişildi.

Machairas, V., Tsangrassoulis, A. & Axarli, K. (2014). Algorithms for optimization of building design: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31: 101-112.

Mahmoud, A.H.A., Elghazi, Y. (2016). Parametric-based designs for kinetic facades to optimize daylight performance: Comparing rotation and translation kinetic motion for hexagonal facade patterns. *Solar Energy*, 126: 111-127.

Maile, T., Fischer, M. & Bazjanac, V. (2007). *Building Energy Performance Simulation Tools - a Life-Cycle and Interoperable Perspective*. Stanford, CA.

Manav, B., Kutlu Güvenkaya R. & Küçükdoğu, M.Ş. (2010). *Sürdürülebilir Uygulama Örnekleri Üzerinde Aydınlatma Sistemlerinin Değerlendirilmesi,* Yapı Fiziği ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Mardaljevic, J., Heschong, L. & Lee, E. (2009). Daylight metrics and energy savings. *Light. Res. Technol.* 41: 261–283.

Mateus, N.M., Pinto, A. & da Graça, G.C. (2014). Validation of EnergyPlus thermal simulation of a double skin naturally and mechanically ventilated test cell. *Energy and Buildings,* 75: 511-522.

Mathwoks (n.d.) *What Is a Genetic Algorithm?* Eylül 2019 tarihinde https://www.mathworks.com/discovery/genetic-algorithm.html adresinden erişildi.

Matzarakis, A. & Mayer, H. (1996). Another kind of environmental stress: Thermal stress. WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control, Newsletters, 18; 7–10.

McIntyre, D.A (1980). *Indoor Climate*. London: Applied Science Publishers.

Mehdi, T. & Morisette, R. (2021). Working from home after the COVID-19 pandemic: An estimate of worker preferences. *Economic and Social reports.*1(5), 2021, Statistics Canada Catalogue no. 36-28-0001.

Moghadam, T.T., Morales, C.E.O, Zambrano, M.J.L., Bruton, K. & O'Sullivan, D.T.J. (2023). Energy efficient ventilation and indoor air quality in the context of COVID-19 - A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.*182: 113356.

Nabil, A. & Mardaljevic, J. (2006). Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors, *Energy and Buildings*,38 (7): 905-913.

NASA (2023). *NASA Clocks July 2023 as Hottest Month on Record Ever Since 1880*. Ağustos 2023 tarihinde https://www.nasa.gov/press-release/nasa-clocks-july-2023-as-hottest-month-on-record-ever-since-1880 adresinden erişildi.

Nguyen, A.T., Reiter, S. & Rigo, P. (2014). A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis. *Appl Energy* 113: 1043–58.

NIST (2022a). *NIST Handbook 135: Life-Cycle Costing Manual For The Federal Energy Management Program.* National Institute of Standards and Technology (ABD Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü). U.S. Department of Commerce.

NIST (2022b). *Energy Price Indices and Discount Factors for Life-Cycle Cost Analysis – 202*. Annual Supplement to NIST Handbook 135. U.S. Department of Commerce.

Nicklas, M. & Atre, U. (2009). *Comparison of Daylighting Strategies For Schools, High Performance Schools* – Council of Educational Facility Planners, Tampa, Florida.

Nikolaou, T., Kolokotsa, D. & Stavrakakis, G. (2011). Review on methodologies for energy benchmarking, rating and classification of buildings. *Advances in Building Energy Research*, 5(1): 53-70.

Olesen, B.W. (2012). Revision of EN 15251: indoor environmental criteria, REHVA Journal 49 (4) 6–12.

Olgyay, V. (1992). *Design with Climate, Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*, Princeton University Press, Princeton.

Orosa, J.A. (2009) Research on general thermal comfort models. *European Journal of Scientific Research*, 27(2):217–227.

Oseland, N.A. & Raw, M.A. (1994). *Outdoor climate influences on indoor thermal comfort requirements. Thermal Comfort: Past, Present and Future* --Proceedings of a conference held at the BRE, Garston, 9-10 June: 106-133.

Özkaya, M. (2004). *Aydınlatma Tekniği,* Birsen Yayınevi.

Öztürk, M.Z., Çetinkaya, G. & Aydın, S. (2017). Köppen-Geiger İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye'nin İklim Tipleri, *İstanbul Üniversitesi Cografya Dergisi*, 35: 17-27.

Pohl W., Werner, M. (2010) Lighting, comfort and energy and the evaluation of the recommendations of EN 15251. *Intell Energy Eur*.

Quellman E.M. & Boyce P.R. (2002) The light source color preferences of people of different skin tones, *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 31(1): 109-118.

Rea, M. & Figueiro, M. (2018). Light as a circadian stimulus for architectural lighting, *Lighting Research & Technology*, 50 (4): 497–510.

Reinhart, C.F. & Wienold, J. (2011). The daylighting dashboard – a simulation-based design analysis for daylit spaces. *Build Environment*, 46: 386–96.

Reinhart, C.F., Mardaljevic, J. & Rogers, Z. (2006). Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. *Leukos*, 3 (1): 7-31.

Ritchie H. & Roser, M. (2023). *Our World in Data: Turkey: CO_2 Country Profile*. Ocak 2023 tarihinde https://ourworldindata.org/co2/country/turkey adresinden erişildi.

Robbins, C.L. (1986). *Daylighting: Design and Analysis*. New York: Van Nostrand Reinhold.

Roberts, T. (2016, Aralık 15). *We Spend 90% of Our Time Indoors.* 16 Temmuz 2020 tarihinde https://www.buildinggreen.com/blog/we-spend-90-our-time-indoors-says-who adresinden erişildi.

Saffari, M., de Gracia, A., Ushak, S., Cabeza, L.F. (2016). Economic impact of integrating PCM as passive system in buildings using Fanger comfort model. *Energy Build*. 112: 159–172.

Sahin, L., Wood, B.M., Plitnick, B. & Figueiro, M.G. (2014). Daytime light exposure: Effects on biomarkers, measures of alertness, and performance. *Behav. Brain Res*. 274:176–185.

Saray (2017). [Alüminyum ve PVC doğrama kataloğu] Temmuz 2021 tarihinde https://saray.com/wp-content/uploads/2017/08/36-SARAY-PVC-KATALOG.pdf adresinden erişildi.

Schlueter, A., Thesseling, F. (2009). Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages. *Automation in Construction*, 18(2): 153-163.

Schwartz, Y., Raslan, R. & Mumovic, D. (2016). Implementing multi objective genetic algorithm for life cycle carbon footprint and life cycle cost minimisation: A building refurbishment case study. *Energy*, 97: 58-68.

Sherman, M. (1985) A simplified model of thermal comfort. *Energy Build* 8(1):37–50.

Sim, J. & Sim, J. (2016). The effect of external walls on energy performance of a Korean traditional building. *Sustain. Cities Soc*. 24: 10–19.

Sirel, Ş. (1997). *Aydınlatma Sözlüğü*, Yem Yayınları, 92.

Spall, J.C. (2004). *Stochastic Optimization*. In: Gentle JE, Hardle W, Mori Y, editors. Handb. Comput. Stat. - Concepts Methods, Berlin: Springer: 169–97.

Straaten, J.F. (1967). *Thermal Performance of Buildings*, Elsevier Publishing, Amsterdam & New York.

Su, Z., & Yan, W. (2015). A fast genetic algorithm for solving architectural design optimization problems. *AI EDAM*, 29(4), 457-469

Sümengen, Ö. (2015). Türkiye için konut binalarının aydınlatma enerjisi gereksinimi açısından değerlendirilmesine ilişkin bir yaklaşım. [Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].

Şenel Solmaz, A. (2015). Bina enerji performansını geliştirmede optimum çözümleri belirlemeye yönelik simülasyon ve çok amaçlı optimizasyon tabanlı bir karar destek modeli. [Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi].

Şener Yılmaz, F. (2019). *Binalarda günışığı performans ölçütlerine güncel bir bakış: EN 17037 standardı ve uygulaması,* 10. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, 21-24 Ekim, İzmir, Türkiye.

Şişecam (2018). [Kaplamalı camlar performans tablosu] Haziran 2020 tarihinde https://www.trakya-cam.com.tr/wp-content/uploads/2018/08/Kaplamali-Camlar-Performans-Tablosu.pdf adresinden erişildi.

T.C. Çevre, Şehircilik ve Bakanlığı (ÇŞB) (2010). *Türkiye İklim Değişikliği Stratejisi 2010-2023.* Temmuz 2020 tarihinde *https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/Turkiye-Iklim-Degisikligi-Stratejisi.pdf* adresinden erişildi.

T.C. Çevre, Şehircilik ve Bakanlığı (ÇŞB) (2010). *Türkiye Cumhuriyeti İklim değişikliği Eylem planı 2011–2023.* Temmuz 2020 tarihinde https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/banner/banner591.pdf adresinden erişildi.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB) (2021). *Bina Sektörü Enerji Verimliliği Teknoloji Atlası*. Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü, Ankara.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB) (2016). *Binalarda Enerji Verimliliği AB ve Türk Mevzuatı el kitabı.* Binalarda Enerji Verimliliğinin Artırılması İçin Teknik Yardım Projesi. Proje Referans No: EuropeAid/134786/IH/SER/TR.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB) (2022). İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları, Ankara. Ocak 2022 tarihinde https://yfk.csb.gov.tr/birim-fiyatlar-i-100468 adresinden erişildi.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB) (2020). Birincil Enerji ve Sera Gazı Salımı Dönüşüm Katsayıları. 16 Nisan 2022 tarihinde https://meslekihizmetler.csb.gov.tr/elektrik-enerjisinin-birincil-enerji-ve-sera-gazi-salimi-katsayilari-2021-yilindan-itibaren-kullanilmak-uzere-guncellenmistir-duyuru-411795 adresinden erişildi.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB) (2012). Türkiye İklim Değişikliği Stratejisi 2010-2020, Ankara.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB) (2011). Türkiye Cumhuriyeti İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı 2011-2023, Ankara.

T.C. Kalkınma Bakanlığı (2013). *Onuncu Kalkınma Planı 2014 – 2018.* Ankara. Mayıs 2020 tarihinde https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Onuncu_Kalkinma_Plani-2014-2018.pdf adresinden erişildi.

T.C. Merkez Bankası (2022). Ocak 2022 tarihinde https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/EN/TCMB+EN/Main+Menu/Statistics/Interest+Rate+Statistics/Weighted+Average+Interest+Rates+For+Banks+Loans/ adresinden erişildi.

Taleghani, M., Tenpierik, M., Kurvers, S., Dobbelsteen, A. (2013). A review into thermal comfort in buildings. *Renew Sustain Energ Rev* 26:201–215.

Tartarini, F., Schiavon, S., Cheung, T. & Hoyt, T. (2020). CBE Thermal Comfort Tool : online tool for thermal comfort calculations and visualizations. SoftwareX 12, 100563.

Tian, Z. C., Chen, W.Q., Tang, P., Wang, J.G. & Shi, X. (2015). Building Energy Optimization Tools and Their Applicability in Architectural Conceptual Design Stage. *Energy Procedia* 78: 2572–7.

Toksoy, M. (1993). *Isıl konfor modelleri ve ısıl konforun belirlenmesi.* I. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi 15-17 Nisan, İzmir.

TS 2164 (1983). Kalorifer tesisatı projelendirme kuralları, Ankara.

TS EN 12207 (2004). Pencereler ve kapılar - Hava geçirgenliği – Sınıflandırma.

TS EN 12464-1 (2021). Işık ve Aydınlatma- .Çalışma yerlerinin aydınlatılması-Bölüm 1: Kapalı çalışma alanları.

TS EN 15193-1 (2017). Binalardaki enerji performansı – Aydınlatma ile ilgili enerji gerekleri – Bölüm 1: Özellikler.

TSE (2019). TS EN 17037: *Binalarda Gün ışığı.* Türk Standartları Enstitüsü.

Tuhus Dubrow, D. & Krarti, M. (2009). Comparative Analysis of Optimization Approaches to Design Building Envelope for Residential Buildings. ASHRAE Trans 169 (115) :554–62.

Tuhus Dubrow, D. & Krarti, M. (2010). Genetic-algorithm based approach to optimize building envelope design for residential buildings. *Build Environ* 45:1574–81.

Türk Standardları Enstitüsü (TSE), (2008). *TS 825: Binalarda Isı Yalıtım Kuralları (revize),* ICS. 91.120.10, Ankara.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği TBDY (2007). D*eprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik.* TC. Resmi Gazete, 26454, 6 Mart 2007. Türkiye Cumhuriyeti, Ankara.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2022). *Yapı İzin İstatistikleri, IV. Çeyrek: Ekim - Aralık, 2022.* https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Yapi-Izin-Istatistikleri-IV.-Ceyrek:-Ekim---Aralik,-2022-49530

Ulrich, K., Tillmann, K., Marcel, B., Thomas, A. (2007). *Façades principles of construction*. Birkhäuser Verlag AG. Medialis, Berlin.

Uludağelektrik (2022). Elektrik Fiyat Tarifesi – *Bursa*. Aralık 2022 tarihinde https://www.uludagelektrik.com.tr/2022-guncel-elektrik-tarifeleri adresinden erişildi.

Ulukavak Harputlugil, G. (2009). Enerji performansı öncelikli mimari tasarım sürecinin ilk aşamasında kullanılabilecek tasarıma destek değerlendirme modeli. [Doktora tezi, Gazi Üniversitesi].

UNFCCC (2022). Türkiye Ulusal Katkı Niyet Beyanı (INDC) iklim hedefleri. Temmuz 2022 tarihinde https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/The_INDC_of_TURKEY_v.15.19.30.pdf adresinden erişildi.

Van Hoof, J. (2008) Forty years of Fanger's model of thermal comfort: Comfort for all? *Indoor Air* 18(3):182–201.

Waide P, Tanishima S. (2006). *Light's labour's lost: policies for energy efficient lighting*. Paris (France): OECD/IEA.

Wan, J.W., Yang, K., Zhang, W.J., Zhang, J.L. (2009) A new method of determination of indoor temperature and relative humidity with consideration of human thermal comfort. *Building Environ* 44(2):411– 417.

Wang, H., Zhai, Z.J. (2016). Advances in building simulation and computational techniques: A review between 1987 and 2014. *Energy and Building*s, 128: 319-335.

Wang, W., Zmeureanu, R. & Rivard, H. (2005). Applying multi-objective genetic algorithms in green building design optimization. *Build Environ* 40:1512–25.

WBCSD (2009). *Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi* (World Business Council for Sustainable Development) *Binalarda Enerji Verimliliği (BEV) Projesi Raporu.* Şubat, 2018 tarihinde https://www.skdturkiye.org/files/yayin/Enerji-Tuketiminde-Donusum-Icin-BEV.pdf adresinden erişildi.

Webster (2018). The word optimization. Merriam Webster Online Dictionary. Ocak, 2018 tarihinde https://www.merriam-webster.com/dictionary/optimization adresinden erişildi.

WEC (2017). Dünya Enerji Konseyi (Word Energy Council) fosil yakıt rezerv verileri https://www.worldenergy.org/wpcontent/uploads/2013/09/Complete_WER_2017_Survey.pdf

Wetter, M. & Wright, J. (2003). *Comparison of a generalized pattern search and a genetic algorithm optimization method*. Eighth Int. IBPSA Conf., Eindhoven, Netherlands: International Building Performance Simulation Association:1401–8.

World Bank (2023). *A World Bank Group Flagship Report: Global Economic Prospects.* International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. DOI: 10.1596/978-1-4648-1951-3

Wright, J.A., Loosemore, H.A. & Farmani, R. (2002). Optimization of building thermal design and control by multi-criterion genetic algorithm. *Energy Build* 34: 959–167 72.

Yavuz, M. & Ünver, R. (2009). *Işık Kaynağı Renginin Yapı Yüzü Rengine Etkisi*, V. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu Bildiri Kitabı.

Yeşil Ekonomi (2019). *Sanayi tesislerinin lisanssız GES başvurusu 600 MW'ı aştı.* Ağustos, 2022 tarihinde https://yesilekonomi.com/sanayi-tesislerinin-lisanssiz-ges-basvurusu-600-mwi asti/?utm_source=newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=gue adresinden erişildi.

Yılmaz, A. Z. (2012). Bina Performans Modelleme ve Simülasyonları. Ekoyapı. Ocak 2022 tarihinde https://www.ekoyapidergisi.org/bina-performans-modelleme-ve-simulasyonlari adresinden erişildi.

Yılmaz, Z. (2015). *Binalarda Optimum Enerji Verimliliği Seviyesi için Türkiye Koşullarına Uygun Yöntemin ve Referans Binaların Belirlenmesi*. TÜBİTAK bilimsel araştırma projesi 113M596, İstanbul.

Yu, W., Li, B., Jia, H., Zhang, M. & Wang, D. (2015). Application of multi-objective genetic algorithm to optimize energy efficiency and thermal comfort in building design. *Energy Build.* 88: 135–14.

Yu, X. & Su, Y. (2015). Daylight availability assessment and its potential energy saving estimation –A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 52: 494–503.

Zeren, L. (1962). *Türkiye'nin tipik iklim bölgelerinde en sıcak devre ve en az sıcak devre tayini*. İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul.

Zhang, J., Liu, N. & Wang, S. (2020). A parametric approach for performance optimization of residential building design in Beijing. *Build. Simul.* 13: 223–235.

Zhang, L., Zhang, L. & Wang, Y. (2016). Shape optimization of free-form buildings based on solar radiation gain and space efficiency using a multi-objective genetic algorithm in the severe cold zones of china. *Solar Energy,* 132: 38-50.

Znouda, E., Ghrab Morcos, N. & Hadj Alouane, A. (2007). Optimization of Mediterranean building design using genetic algorithms. *Energy Build* 39:148–53.

Zorer Gedik, G. (2014). Lisansüstü Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Yapı Fiziği Bilim Dalı.

EKLER

EK 1. Örnek 1'e ait bina tanıtım formu
EK 2. Örnek 2'ye ait bina tanıtım formu
EK 3. Örnek 3'e ait bina tanıtım formu
EK 4. Konut kullanıcı anket formu
EK 5. Örnek 1 ve Örnek 2'de kullanılan kompakt floresan (L1), LED (L2) ve ışık akısı ayarlanabilir LED (L3) lambaların maliyeti
EK 6. Örnek 3'te kullanılan kompakt floresan (L1), LED (L2) ve ışık akısı ayarlanabilir LED (L3) lambaların maliyeti
EK 7. 1 no'lu konut sitesinin örnek mekanlarına ait operatif sıcaklık, bağıl nem, PMV ve PPD aylık ortalama değerleri
EK 8. 2 no'lu konut sitesinin örnek mekanlarına ait operatif sıcaklık, bağıl nem, PMV ve PPD aylık ortalama değerleri
EK 9. 3 no'lu konut sitesinin örnek mekanlarına ait operatif sıcaklık, bağıl nem, PMV ve PPD aylık ortalama değerleri
EK 10. Örnek 1, 2 ve 3'e ait adaptif konfor sonuçları
EK 11. Örnek 1'e ait konut mekanlarının gün ışığı performans sonuçları
EK 12. Örnek 2'ye ait konut mekanlarının gün ışığı performans sonuçları
EK 13. Örnek 3'e ait konut mekanlarının gün ışığı performans sonuçları
EK 14. Konut siteleri için yıllık nihai enerji tüketimi (a), enerji tüketim maliyeti (b) – iklim bölgesi ilişkisi
EK 15. 3 konut sitesini temsil eden bloklar için ısıtma, soğutma, aydınlatma enerjisi, yıllık yıllık nihai enerji tüketimi (a) ve enerji maliyeti (b) – cephe yönlenimi ilişkisi
EK 16. 3 konut sitesindeki farklı yönlenime sahip 4 blok için yıllık nihai enerji tüketimi – ısı yalıtım malzemesi ve kalınlığı ilişkisi
EK 17. 3 konut sitesinde farklı yönlenime sahip 4 blok için yıllık nihai enerji tüketim maliyeti – ısı yalıtım malzemesi ve kalınlığı ilişkisi
EK 18. Örnek 1 için nihai enerji tüketimi – cephe kuruluşu ve saydamlık oranı ilişkisi
EK 19. Örnek 1 için enerji maliyeti – cephe kuruluşu ve saydamlık oranı ilişkisi
EK 20. Örnek 2 için nihai enerji tüketimi – cephe kuruluşu ve saydamlık oranı ilişkisi
EK 21. Örnek 2 için enerji maliyeti – cephe kuruluşu ve saydamlık oranı ilişkisi
EK 22. Örnek 3 için nihai enerji tüketimi – cephe kuruluşu ve saydamlık oranı ilişkisi
EK 23. Örnek 3 için enerji maliyeti – cephe kuruluşu ve saydamlık oranı ilişkisi
EK 24. Ele alınan 3 konut sitesi için yıllık toplam nihai enerji tüketimi - pencere camı özelliği ilişkisi
EK 25. Ele alınan 3 konut sitesi için yıllık toplam enerji tüketim maliyeti - pencere camı özelliği ilişkisi
EK 26. 3 konut sitesi için yıllık toplam nihai enerji tüketimi (a), enerji maliyeti (b) – pencere doğraması özellikleri ilişkisi

EK 27. 3 konut sitesi için nihai enerji tüketimi (a), enerji tüketim maliyeti (b) – dış cephe güneş kontrol elemanları ilişkisi
EK 28. 3 konut sitesi için yıllık toplam nihai enerji tüketimi (a), enerji tüketim maliyeti (b) – yapı kabuğu sızdırmazlık (infiltrasyon) katsayısı ilişkisi
EK 29. 3 konut sitesi için nihai enerji tüketimi (a), enerji tüketim maliyeti (b) – döşeme, duvar ve tavan yansıtma çarpanları ilişkisi
EK 30. 3 konut sitesi için nihai enerji tüketimi (a), enerji tüketim maliyeti (b) – döşeme, duvar ve tavan yansıtma çarpanları ilişkisi
EK 31. 3 konut sitesi için nihai enerji tüketimi (a), enerji tüketim maliyeti (b) – aydınlatma senaryoları ilişkisi
EK 32. 3 konut sitesi için nihai enerji tüketimi (a), enerji tüketim maliyeti (b) – gün ışığına bağlı aydınlatma kontrolü senaryoları ilişkisi
EK 33. 3 konut sitesi için toplam yıllık nihai enerji tüketimi (a), enerji tüketim maliyeti (b) – iç ortam ayar (termostat) sıcaklıkları ilişkisi
EK 34. Konut siteleri için yıllık nihai enerji tüketimi (a), enerji tüketim maliyeti (b) – konut kullanım senaryoları (mekan kullanım sıklığı) ilişkisi
EK 35. Mevcut çatı eğimi (PV1) ve optimum eğim (PV2) senaryolarına ait PV panel yıllık elektrik üretimi (kWh/m2) – PV panel yönlenimi ilişkisi
EK 36. Örnek 1 için optimizasyon algoritması ile elde edilen 12 621 tasarım seçeneğinin birincil enerji tüketimi ve global maliyet sonuçları
EK 37. Örnek 2 için optimizasyon algoritması ile elde edilen 12 789 tasarım seçeneğinin birincil enerji tüketimi ve global maliyet sonuçları
EK 38. Örnek 3 için optimizasyon algoritması ile elde edilen 10 170 tasarım seçeneğinin birincil enerji tüketimi ve global maliyet sonuçları
EK 39. Bursa ili (2. DGB – ılımlı nemli iklim) için enerji odaklı (E1) ve maliyet odaklı (M1) optimal çözümlerin örnek konut mekanlarına ait operatif sıcaklık (T_o), bağıl nem oranı (Rh), PMV ve PPD aylık ortalama değerleri
EK 40. Ankara ili (3. DGB – ılımlı kuru iklim) için enerji odaklı (E1) ve maliyet odaklı (M1) optimal çözümlerin örnek konut mekanlarına ait operatif sıcaklık (T_o), bağıl nem oranı (Rh), PMV ve PPD aylık ortalama değerleri
EK 41. Diyarbakır ili (2. DGB – sıcak kuru iklim) için enerji odaklı (E1) ve maliyet odaklı (M1) optimal çözümlerin örnek konut mekanlarına ait operatif sıcaklık (T_o), bağıl nem oranı (Rh), PMV ve PPD aylık ortalama değerleri
EK 42. Erzurum ili (4. DGB – soğuk iklim) için enerji odaklı (E1) ve maliyet odaklı (M1) optimal çözümlerin örnek konut mekanlarına ait operatif sıcaklık (T_o), bağıl nem oranı (Rh), PMV ve PPD aylık ortalama değerleri
EK 43. İzmir ili (1. DGB – sıcak nemli iklim) için enerji odaklı (E1) ve maliyet odaklı (M1) optimal çözümlerin örnek konut mekanlarına

ait operatif sıcaklık (T_o), bağıl nem oranı (Rh), PMV ve PPD aylık ortalama değerleri
EK 44. Konut sitelerinin enerji odaklı (E1) ve maliyet odaklı (M1) optimal çözümleri için örnek mekanlarına ait adaptif konfor sonuçları (T_o, °C)
EK 45. Örnek 1'e ait optimal çözümlerin konut mekanlarının gün ışığı performans sonuçları
EK 46. Örnek 2'ye ait optimal çözümlerin konut mekanlarının gün ışığı performans sonuçları
EK 47. Örnek 3'e ait optimal çözümlerin konut mekanlarının gün ışığı performans sonuçları

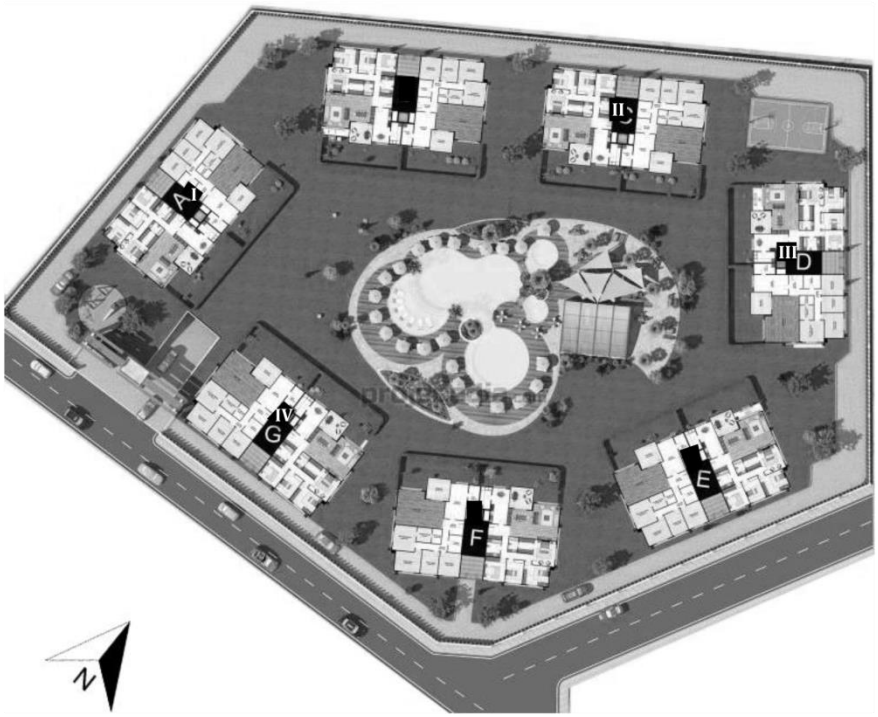
EK 1. Örnek 1'e ait bina tanıtım formu

İNCELENEN KONUT PROJESİNE İLİŞKİN GENEL BİLGİLER		
Site adı: Adress Balat	Konum/adres:Balat-Nilüfer/Bursa	Yapım yılı (başlangıç – bitiş):2011-2013
Mimari proje:TİBA Mimarlık /KUMOVA	Mekanik tesisat projesi: -	Elektrik projesi: AKALAN Mühendislik
Ada-parsel:2691/7	Parsel alanı (m^2):12.052	Bağımsız blok ve birim sayısı:7
Sitedeki toplam daire sayısı:84	Toplam inşaat alanı(m^2): 21.500	
İNCELENEN KONUT BLOĞUNA ve BİRİMİNE AİT BİLGİLER AİT BİLGİLER		
Blok Adı: I-II-III-IV Blok	Daire sayısı: 12	Toplam yüksekliği (çatı dahil):25,1 m
Blok taban alanı (m^2): 433,6	Blok inşaat alanı(m^2): 3035	Boyutlar: 28,8 x 16,1 m
Toplam kat sayısı:7	Kat sayısı: 1 Bodrum, Zemin+5	Binalar arası min. mesafe(m) : 8,95 m
Daire tipi: 4+1	Daire alanı (m^2): 185 (brüt 232 m^2)	Kat yüksekliği:3 m Net tavan: 2,65m
OPAK BİLEŞENLER		
Taşıyıcı sistem: ✓Betonarme İskelet □Çelik İskelet □Diğer (yığma, ahşap, kompozit,prefabrik)	Dış duvar dolgu malzemesi: ✓Tuğla ✓Gazbeton □Bims □Diğer (briket, taş, ahşap, panel,..)	Döşeme sistemi: ✓Asmolen □Plak döşeme □Diğer
Yalıtım malzemesi: XPS	Yalıtım kalınlığı: 3 cm	Yalıtımın yeri: □içeride ✓dışarıda □diğer
Dış cephe kaplama malzemesi: Sıva+boya Yer yer alüminyum kompozit (konstrüktif cephe)		Hava boşluğu: □var ✓yok
Biçimine göre çatı: Kırma	Çatı eğimi: %40	Çatı - ısı yalıtım malzemesi: 5cm XPS
Dış duvar opak bileşeni: 0,57 W/m²K	Çatı: 0,40 W/m²K	Zemine oturan döşeme: 0,60 W/m²K
SAYDAM BİLEŞENLER		
Dış duvar saydam (cam) bileşeni: 2,9 W/m²K	Güneş enerjisi geçirgenlik kat sayısı (g_gl, SHGC): 0,75	Toplam saydamlık oranı(%): 27
Doğrama malzemesi ve yeri: PVC, Ortada	Camın kuruluşu: 4+12+4 mm, ısıcam	Camın ışık geçirme özelliği (Tvis): 0,8
Dış gölgeleme elemanı: **manuel kontrollü* □Cepheye sabit ✓Yatay hareketli □Düşey ayarlanabilir/katlanabilir (stor, panjur, tente, kepenk) □Diğer	İç gölgeleme elemanları: □ Jaluzi ✓stor perde ✓Tekstil □Diğer	Balkon tipi: ✓Açık □Gömme □Kapatılmış (cam, pvc)
ISITMA SİSTEMİ		
✓Kazanlı merkezi sistem (bina içi kaorifer sistemi) □Kat kaloriferi sistemi (Kombi) □Klima □Diğer	✓Yoğuşmalı □Yoğuşmasız kazan Kurulu güç: 14145W (Daire başına) 2 adet 80 kW kazan	Yakıt türü: ✓Doğalgaz □Diğer (kömür, fueloil, motorin, sıvı yakıt vb.)
✓Yerden ısıtma □ Radyatör sistemi	Mevsim ayar sıcaklıkları: T_i: 23 °C	Verim (COP): 0,9
SOĞUTMA SİSTEMİ		
□Multi-split klima ✓Split klima □Fancoil □Diğer	Yakıt türü: ✓Elektrik □Diğer	Verim (COP): 3 Mevsim ayar sıcaklıkları: T_i: 24 °C
SICAK SU TEMİNİ		
□Merkezi boyler □Kombi □Termosifon ✓Şofben (elektrikli) □Güneş kollektörü □Diğer		Yakıt türü: □Doğal gaz ✓Elektrik □Diğer
AYDINLATMA SİSTEMİ		
Kurulu güç (daire başına): 120,2 W	Lamba türü: □ Enkandesan X Kompakt flüoresan X LED □Diğer	Duvar yansıtma çarpanı (%): 0,5 Tavan yansıtma çarpanı (%): 0,8 Döşeme yansıtma çarpanı (%): 0,3

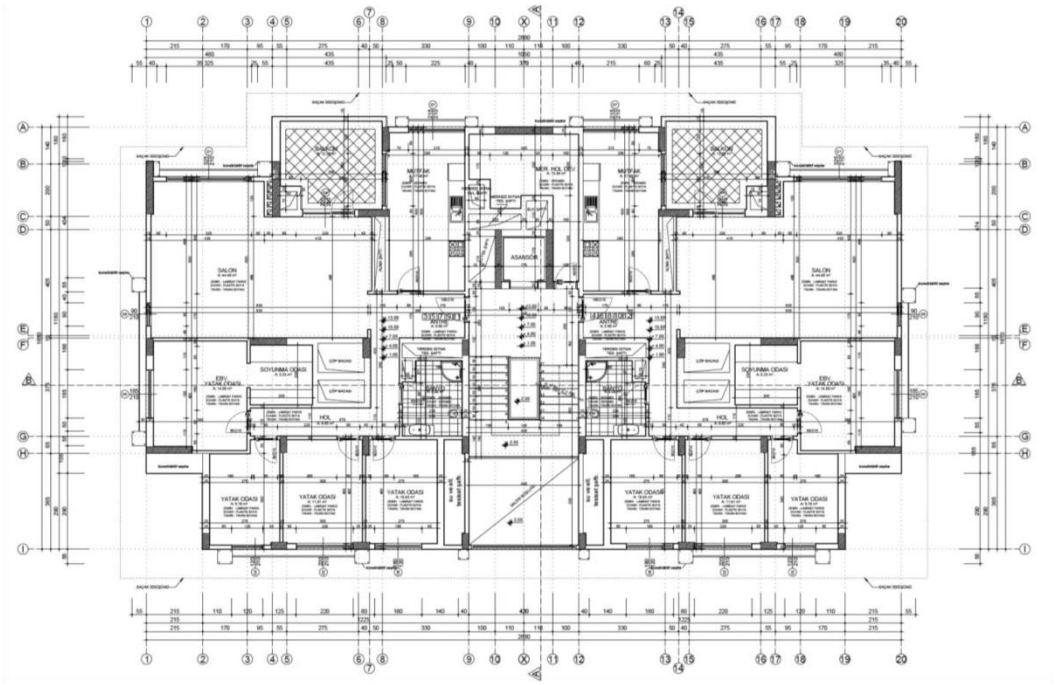
FOTOĞRAFLAR:

EK 1. Örnek 1'e ait bina tanıtım formu (devamı)

VAZİYET PLANI:



KAT PLANLARI:



I-II-III-IV BLOK ZEMİN, 1,2,3 ve 4. KAT PLANI (STANDART DAİRE)

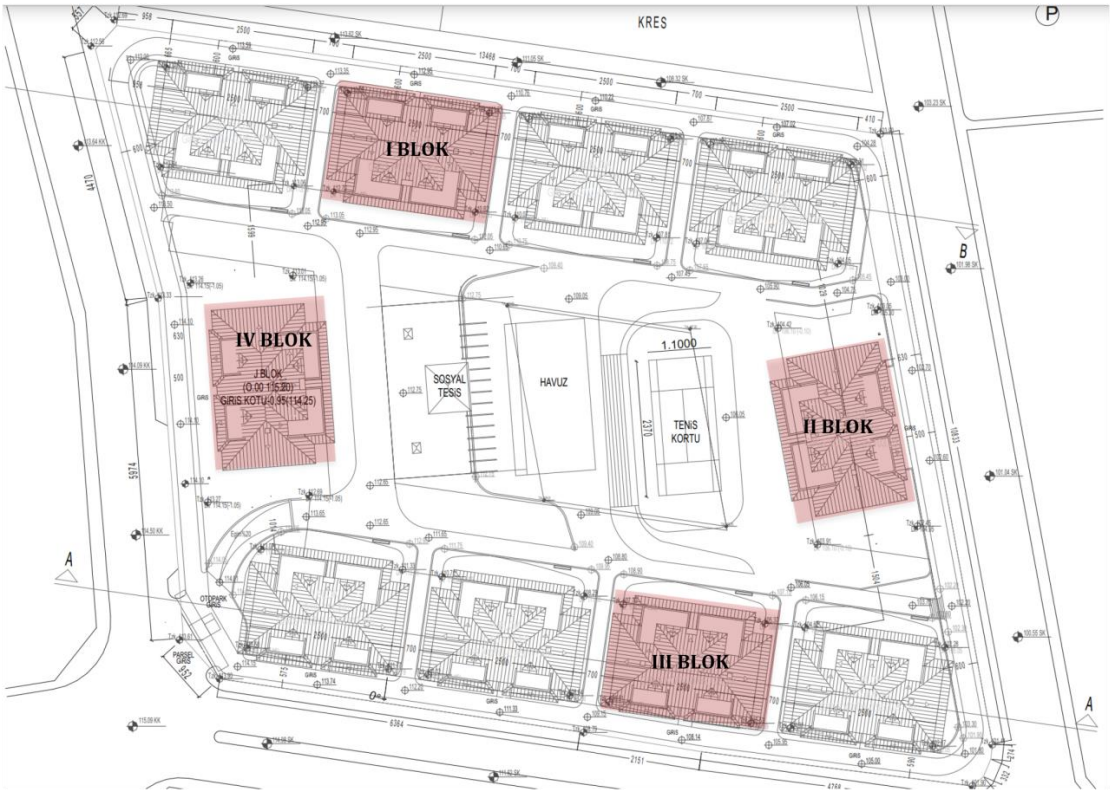
EK 2. Örnek 2'ye ait bina tanıtım formu

İNCELENEN KONUT PROJESİNE İLİŞKİN GENEL BİLGİLER		
Site adı: TERAS EVLER	Konum/adres: BALAT	Yapım yılı (başlangıç – bitiş): 2013-2014
Mimari proje: Zırhlıoğlu Mimarlık	Mekanik tesisat projesi: Hamit Mutlu	Elektrik projesi: Ahmet Kahraman
Ada-parsel: 6472-1	Parsel alanı(m^2): 15.373 m^2	Bağımsız blok - birim sayısı: 10 Blok
Sitedeki toplam daire sayısı: 132	T. inşaat alanı (m^2): 108.576 m^2 (sosyal tesis hariç)	
İNCELENEN KONUT BLOĞUNA ve BİRİMİNE AİT BİLGİLER AİT BİLGİLER		
Blok Adı: B-E-G-J Blok	Daire sayısı: 12 (2 adet çatı dubleksi)	Toplam yüksekliği (çatı dahil): 26 m
Blok Taban alanı (m^2): 340	Blok inşaat alanı(m^2): 3141	Boyutlar(m): 28 x 20,5 m
Toplam kat sayısı: 8	Kat sayısı: 1 Bodrum, Zemin+6	Binalar arası min. mesafe(m) : 7 m
Daire tipi: Standart 3+1, 5+1 (dubleks)	Daire alanı (m^2): 235, 379 (dubleks)	Kat yüksekliği(m): 2,95m
OPAK BİLEŞENLER		
Taşıyıcı sistem: X Betonarme İskelet □Çelik İskelet □Diğer (yığma, ahşap, kompozit,prefabrik)	Dış duvar dolgu malzemesi: X Tuğla (20/20/8,5cm) X Gazbeton (60/25/25cm) □Bims	Döşeme sistemi: X Asmolen (32 cm) □ Plak döşeme □Diğer
Yalıtım malzemesi: EPS Köpük, Taşyünü	Yalıtım kalınlığı: EPS 3 cm, Taşyünü 3cm	Yalıtımın yeri: □içeride X dışarıda □diğer
Dış cephe kaplama malzemesi: Ankraj profili üzeri seramik kaplama (40x40x0,7cm), Mantolama sıvası ve dekoratif sıva üzeri akrilik esaslı dış cephe boyası		Hava boşluğu: X var (7 cm) □yok Taban: 0,28 W/m²K
Biçimine göre çatı: Kırma Çatı	Çatı eğimi (%): 36	Çatı - ısı yalıtım malzemesi: Camyünü (16 cm)
Dış duvar opak bileşeni: 0,57 W/m²K	Çatı: 0,32 W/m²K	Çatı kaplama: Marsilya tipi kiremit
SAYDAM BİLEŞENLER		
Dış duvar saydam (cam) bileşeni: 2,9 W/m²K	Güneş enerjisi geçirgenlik kat sayısı (g_gl, SHGC): 0,75	Toplam saydamlık oranı(%): 29
Doğrama malzemesi ve yeri: PVC, ortada	Camın kuruluşu: 4+12+4 mm, ısıcam	Camın ışık geçirme özelliği (Tvis): 0,8
Dış gölgeleme elemanı: □Cepheye sabit X Yatay hareketli(manuel kontrol) □Düşey ayarlanabilir/katlanabilir (stor, panjur, tente, kepenk) □Diğer	İç gölgeleme elemanları: □ Jaluzi X Stor perde X Tekstil □Diğer	Balkon tipi: X Açık X Fransız balkon X Kapatılmış (cam, pvc)
ISITMA SİSTEMİ		
□ Kazanlı merkezi sistem (bina içi kaorifer sistemi) X Kat kaloriferi sistemi (Kombi) □Klima □Diğer	X Yoğuşmalı (Duvar tipi) □Yoğuşmasız kombi Mevsim ayar sıcaklıkları: T_i: 23 °C	Yakıt türü: X Doğalgaz □Diğer (kömür, fueloil, motorin - sıvı yakıt vb.)
□ Yerden ısıtma X Radyatör sistemi	Verim (COP): 0,9	Kurulu Güç: 22.000 W
SOĞUTMA SİSTEMİ		
X Multi-split klima □Split klima □Fancoil	Yakıt türü: X Elektrik □Diğer	Verim (COP): 3,0
Mevsim ayar sıcaklıkları: T_i: 24 °C	Kurulu güç (daire başına): 20,8 W ısıtma; 23,3 W(soğutma)	
SICAK SU TEMİNİ		
□Merkezi boyler X Kombi □Termosifon □Şofben (elektrikli) □Güneş kollektörü □Diğer		Yakıt türü: X Doğal gaz □Elektrik □Diğer
AYDINLATMA SİSTEMİ		
Kurulu güç (daire başına): 122 W	Lamba türü: □ Enkandesan X Kompakt flüoresan X LED □Diğer	Duvar yansıtma çarpanı (%): 0,5 Tavan yansıtma çarpanı (%): 0,8 Döşeme yansıtma çarpanı (%): 0,3

EK 2. Örnek 2'ye ait bina tanıtım formu (devamı)

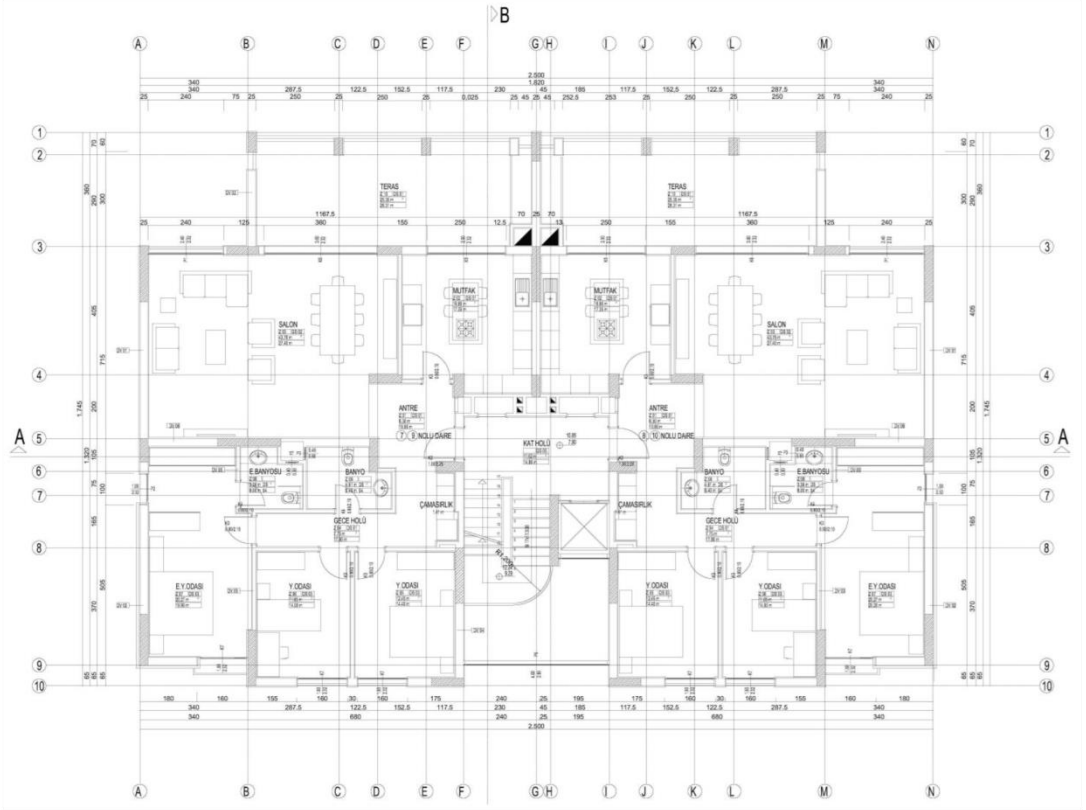
FOTOĞRAFLAR:

VAZİYET PLANI:



EK 2. Örnek 2'ye ait bina tanıtım formu (devamı)

KAT PLANI:



I-II-III-IV BLOK 1,2,3 ve 4. KAT PLANI (STANDART DAİRE)

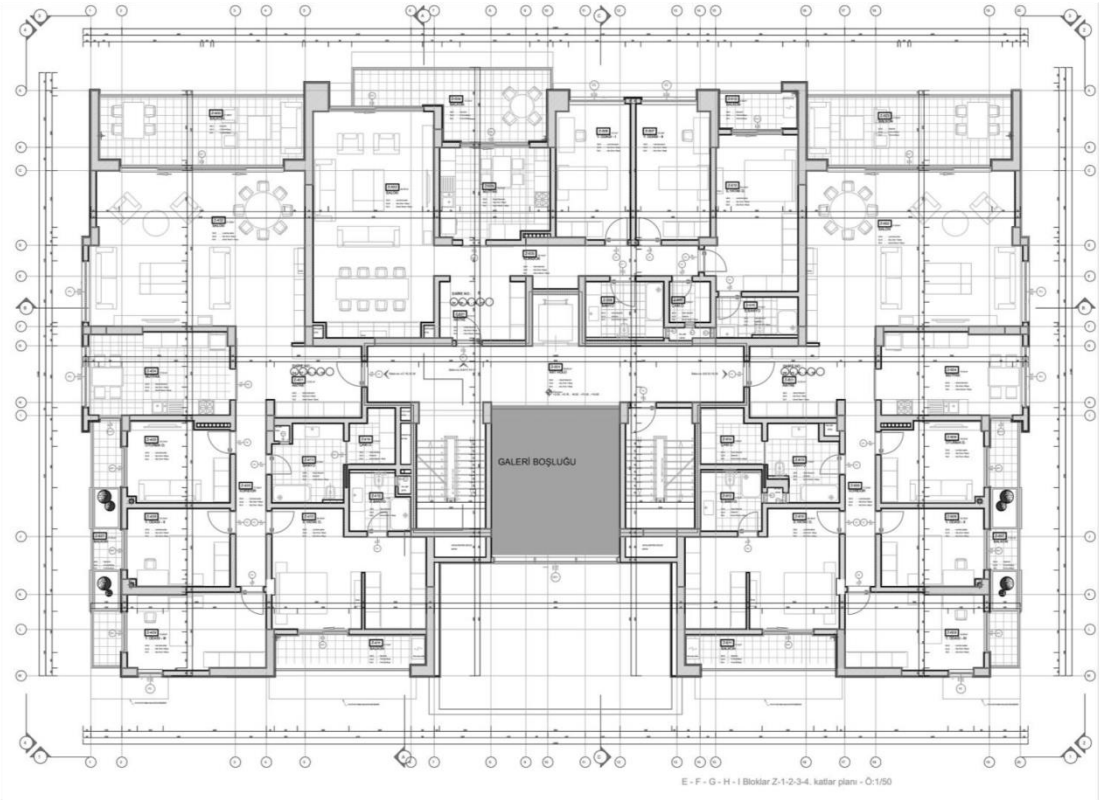
EK 3. Örnek 3'e ait bina tanıtım formu

İNCELENEN KONUT PROJESİNE İLİŞKİN GENEL BİLGİLER		
Site adı: TURKUAZPLUS	Konum/adres: BALAT	Yapım yılı (başlangıç – bitiş): 2014-2016
Mimari proje: Tatbikat Mimarlık	Mekanik tesisat projesi: Gültay İnşaat	Elektrik projesi: Gültay İnşaat
Pafta-Ada-parsel: H21B24C2D, 4130-2	Parsel alanı(m^2): 30.000	Bağımsız blok - birim sayısı: 9 blok 34 dükkan
Sitedeki toplam daire sayısı: 187	T. inşaat alanı (m^2): 110.000 (dükkanlar hariç)	
İNCELENEN KONUT BLOĞUNA ve BİRİMİNE AİT BİLGİLER AİT BİLGİLER		
Blok Adı: I-II-III-IV Blok	Daire: 21 (3 adeti çatı; 3 zemin dubleks)	Toplam yüksekliği (çatı dahil): 33,35
Blok Taban alanı (m^2): 720	Blok inşaat alanı(m^2): 6616	Boyutlar(m): 19,5 x35,9
Toplam kat sayısı: 9	Kat sayısı: 2 Bodrum, Zemin+6	Binalar arası min. mesafe(m) : 8,75
Daire tipi: Standart 3+1, 4+1, 5+1 (dubleks)	Daire alanı (m^2): Standart 212, 269 Dubleks 384, 508	Kat yüksekliği(m): 3,15
OPAK BİLEŞENLER		
Taşıyıcı sistem: X Betonarme İskelet □Çelik İskelet □Diğer (yığma, ahşap, kompozit,prefabrik)	Dış duvar dolgu malzemesi: □Tuğla XGazbeton □Bims □Diğer (briket, taş, ahşap, panel,..)	Döşeme sistemi: □Asmolen X Plak döşeme (15 cm) □Diğer (20 cm asma tavan mevcut)
Yalıtım malzemesi: EPS Köpük, Taşyünü	Yalıtım kalınlığı: EPS 3cm, Taşyünü 5cm	Yalıtımın yeri: □içeride X dışarıda □diğer
Dış cephe kaplama malzemesi: Kompozit porselen seramik(sinterflex), Ak.esaslı boya		Hava boşluğu: X var (4 cm) □yok
Biçimine göre çatı: Kırma Çatı	Çatı eğimi (%): 10	Çatı - ısı yalıtım malzemesi: Taşyünü (6 cm)
Dış duvar opak bileşeni: 0,6 W/m²K	Çatı: W/m²K	Çatı kaplama:Taşyünü dolgulu alü.panel(5cm)
SAYDAM BİLEŞENLER		
Dış duvar saydam bileşeni: 2,4 W/m²K	Güneş enerjisi geçirgenlik kat sayısı (g_gl, SHGC): 0,75	Toplam saydamlık oranı(%): 30
Doğrama malzemesi ve yeri: PVC, ortada	Camın kuruluşu: 4+12+4 mm, ısıcam	Camın ışık geçirme özelliği (Tvis): 0.80
Dış gölgeleme elemanı: **manuel kontrollü* □Cepheye sabit X Yatay hareketli □Düşey ayarlanabilir/katlanabilir (stor, panjur, tente, kepenk) □Diğer	İç gölgeleme elemanları: X Jaluzi X Stor perde X Tekstil □Diğer	Balkon tipi: X Açık X Gömme □Kapatılmış (cam, pvc)
ISITMA SİSTEMİ		
X Kazanlı merkezi sistem (bina içi kaorifer sistemi) □Kat kaloriferi sistemi (Kombi) □Klima □Diğer	X Yoğuşmalı kazan □Yoğuşmasız kazan Mevsim ayar sıcaklıkları: T_i: 23 °C	Yakıt türü: X Doğalgaz □Diğer (kömür, fueloil, motorin - sıvı yakıt vb.)
X Yerden ısıtma □ Radyatör sistemi	Verim (COP): 0,9	Kazan çalışma sıcaklığı: 90/70°C
SOĞUTMA SİSTEMİ		
X Multi-split klima □Split klima □Fancoil □Diğer	Yakıt türü: X Elektrik □Diğer	Verim (COP): 3
SICAK SU TEMİNİ		
X Merkezi boyler □Kombi □Termosifon □Şofben (elektrikli) □Güneş kollektörü □Diğer		Yakıt türü: X Doğal gaz □Elektrik □Diğer
AYDINLATMA SİSTEMİ		
Kurulu güç (4+1 daire başına): 134,7 W Kurulu güç (3+1 daire başına): 122,3 W	Lamba türü: □ Enkandesan X Kompakt flüoresan X LED □Diğer	Duvar yansıtma çarpanı (%): 0,5 Tavan yansıtma çarpanı (%): 0,8 Döşeme yansıtma çarpanı (%): 0,3

EK 3. Örnek 3'e ait bina tanıtım formu (devamı)

FOTOĞRAF:

KAT PLANI:



I-II-III-IV BLOK, 1, 2, 3, 4. KAT PLANI (STANDART DAİRE)

EK 3. Örnek 3'e ait bina tanıtım formu (devamı)

VAZİYET PLANI:

EK 4. Konut kullanıcı anket formu

Bu Anket Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim dalı Yapı Bilgisi Doktora Programında Prof. Dr. Filiz ŞENKAL SEZER'in danışmanlığında Arş. Gör. Egemen KAYMAZ'ın *"Konutlarda İklimsel ve Görsel Konfor Koşullarının Sağlanması ve Enerji Optimizasyonu Üzerine Bir Tasarım Destek Modeli"* başlıklı doktora tezi kapsamında hazırlanmıştır.

BALAT'TAKİ KONUT SİTELERİNİN ISIL VE GÖRSEL KONFOR AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ ÜZERİNE BİR ANKET ÇALIŞMASI

Anket No:… Anketin Uygulandığı Site:… Daire No: Dairenin Bulunduğu Kat: …. Dairenin Baktığı Yön:……

1. **Cinsiyetiniz**: □ Kadın □ Erkek
2. **Yaşınız**: □ 18'den küçük □ 18-25 yaş □ 26-35 yaş □ 36-45 yaş □ 46-55 yaş □ 56-65 yaş □ 66 yaş ve üzeri
3. **Eğitim durumunuz:** □İlköğretim mezunu □Lise mezunu □Üniversite mezunu □Lisansüstü
4. **Mesleğiniz/Konumunuz:** □ Çalışıyor □ Çalışmıyor □Emekli □ Öğrenci
5. **Konutta kaç yıldır ikamet ediyorsunuz?** □ 1-5 □6-10 □11-15 □16 ve üzeri
6. **Konutta kaç kişi ikamet ediyorsunuz?** □ 1 □2 □3 □4 □5 ve üzeri
7. **Çocuğunuz var mı? Varsa çocuk sayısını belirtiniz.** □ Yok □ 1 □2 □3 □4 □5 ve üzeri
8. **Sizinle birlikte yaşayan bir aile büyüğü var mı? (Varsa sayısını belirtiniz)** □ 1 □2 □3 □4 □5 ve üzeri
9. **Oturduğunuz hanede çalışan kişi sayısı nedir?** □ 1 □2 □3 □4 □5 ve üzeri
10. **Konutunuzda mülkiyet durumunuz:** □Ev sahibi □Kiracı □Akrabamın evi □Diğer (belirtiniz):……
11. **Hafta içi evde bulunma süreniz nedir?**

a) Yaz aylarında: □ Tüm gün evdeyim □ Mesai saatleri dışında evdeyim (Mesai saatleriniz:……) □Diğer

a) Kış aylarında: □ Tüm gün evdeyim □ Mesai saatleri dışında evdeyim (Mesai saatleriniz:……) □Diğer

12. **Hafta sonu evde bulunma süreniz nedir?**

a) Yaz aylarında :□ Genellikle tüm gün evdeyim □ Sabah saatleri □ Öğle saatleri □ Akşam saatleri □ Genellikle tüm gün dışarıdayım

b) Kış aylarında: □ Genellikle tüm gün evdeyim □ Sabah saatleri □ Öğle saatleri □ Akşam saatleri □ Genellikle tüm gün dışarıdayım

13. **Konutunuzda en çok hangi mekanda vakit geçiriyorsunuz**? □Mutfak □Salon □Oturma odası □Diğer
14. **Konutunuzun hangi aydınlatma aygıtları/türleri bulunmaktadır? İşaretleyiniz.**

	Sarkıt lamba	Duvar apliği	Işıklı tavan	Spotlar	Ayaklı Lambader	Masaüstü Aygıtlar	Diğer
a) Mutfak							
b)Salon							
c)Ebeveyn Y. odası							
d)Odalar							
e)Banyo/ WC							

15. **Konutunuzdaki armatürlerde hangi lamba (ampül) çeşidini tercih ediyorsunuz?**

□ Enkandesan lamba (geleneksel) □Kompakt flüoresan lamba □LED □Diğer

16. **Konutunuzdaki lambalarda hangi ışık rengini tercih ediyorsunuz?**

□Soğuk beyaz □Ilık beyaz – gün ışığı □Sıcak sarı

17. **Konutunuzda göz kamaşmasına neden olan herhangi bir durum var mı? (Hangi mekanda ……..)** □Hayır □ Evet ise nedeni:

□Güneş ışığı □Parlak bir yüzey □Lamba ışığı □Aydınlık/karanlık farkına bağlı kamaşma □Diğer

18. **Lambalarınızı hangi sıklıkla temizlersiniz?**

□Her hafta □15 günde 1kez □Ayda 1 kez □3 ayda 1kez □Düzenli bir periyod yok

19. **İç mekan tasarımında (aydınlatma/renk) bir uzmandan (mimar/iç mimardan yardım aldınız mı? (Aldıysanız ……..)** □ Evet □Hayır
20. **Konutunuzun en sık kullanılan mekanında nasıl bir duvar rengi tercih ettiniz?**

□ Çok açık □ Açık □ Orta koyulukta □ Koyu □ Çok koyu

21. **Konutunuzun en sık kullanılan mekanında nasıl bir döşeme rengi tercih ettiniz?**

□ Çok açık □ Açık □ Orta koyulukta □ Koyu □ Çok koyu

22. **Konutunuzun en sık kullanılan mekanında nasıl bir mobilya ve donatı rengi tercih ettiniz?**

□ Çok açık □ Açık □ Orta koyulukta □ Koyu □ Çok koyu

23. **Konutunuzun en sık kullanılan mekanındaki mobilya renk seçiminde nelere dikkat ettiniz?**

□Hoşuma giden rengi seçtim □İç mekanla uyumuna dikkat ettim □Evimin aydınlık görünmesine dikkat ettim

□Renk konusunu dikkate almadım □Renk seçimi konusunda bir uzmanla çalıştım □Diğer (**……..**)

24. **Kış aylarında (aralık –ocak – şubat) ortalama iç mekan hava sıcaklığınız hangi aralıktadır?**

□19°C ve altı □20-22 °C □23-25°C □26°C ve üzeri

25. **Yaz aylarında (haziran – temmuz – ağustos) ortalama iç mekan hava sıcaklığınız hangi aralıktadır?**

□20-22 °C □23-25°C □26°C-28°C □29°C ve üzeri

26. **Kışın konutunuzu ısıtmak için fazladan bir ısıtma elemanına ihtiyaç duyuyor musunuz?** □Hayır □ Evet ise:

□Klima □Infrared ısıtıcı □Fanlı ısıtıcı □Elektrikli radyatör □Konvektör □Şömine

27. **Yazın konutunuzu soğutmak için fazladan bir ısıtma elemanına ihtiyaç duyuyor musunuz?** □Hayır □ Evet ise:

□ Pencereyi açmak □Klimayı açmak □ Vantilatör açmak (hareketli/tavan) □ Stor/perdeleri kapamak □Diğer

EK 4 (devamı). Konut kullanıcı anket formu

28. Kış aylarında (aralık –ocak – şubat) ödediğiniz doğal gaz faturası ortalama ne kadardır?
□100tl'den az □100-200tl arasında □200-300tl arasında □300 – 500tl arasında □500tl ve üzeri
29. Kış aylarında (aralık –ocak – şubat) ödediğiniz elektrik faturası ortalama ne kadardır?
□100tl'nin altında □100-150tl arasında □150-250tl arasında □250 –350tl arasında □350tl ve üzeri
30. Yaz aylarında (haziran – temmuz – ağustos) ödediğiniz elektrik faturası ortalama ne kadardır?
□100tl'nin altında □100-150tl arasında □150-200tl arasında □250 –350tl arasında □350tl ve üzeri
Aşağıda yer alan sorulara ilişkin görüşlerinizi memnuniyet düzeyinize göre lütfen belirtiniz.

	Aşağıda yer alan ifadelere ilişkin görüşlerinizi belirtiniz.	Kesinlikle katılmıyorum	Katılmıyorum	Ne katılıyorum ne katılmıyorum	Katılıyorum	Tamamen katılıyorum
31	Kış mevsiminde konutumun iç ortam sıcaklığı uygundur.					
32	Yaz mevsiminde konutumun iç ortam sıcaklığı uygundur.					
33	Yazın pencereleri açarak doğal havalandırmayı uygun düzeyde sağlayabiliyorum.					
34	Pencere ve balkon kapılarından kış aylarında hava sızmıyor.					
35	Döşemeden ısıtma/radyatör sisteminden memnunum.					
36	Yazın döşeme zemini ve duvar sıcaklıklarından memnunum.					
37	Kışın döşeme zemini ve duvar sıcaklıklarından memnunum.					
38	Konutumun ısıl konfor koşulları dört mevsim uygundur.					
39	Konutumda yazın günışığından ötürü aşırı ısınan mekanlar bulunmamaktadır.					
40	Yaşam alanımda güneşten kaynaklı kamaşma yaşamıyorum.					
41	Gün ışığı açısından yaşama alanımın konumu ve baktığı yönden memnunum.					
42	Yaşama alanımın gündüz doğal aydınlık düzeyi yeterlidir.					
43	Yaşama alanımdaki pencere sayısı, konumu ve büyüklüklükleri gün ışığı açısından yeterlidir.					
44	Yaşama alanımdan gündüz dış ortamla yeterli görsel ilişki kurmak mümkündür.					
45	Yaşama alanımın akşam genel aydınlık (lamba ışığı) düzeyi yeterlidir.					
46	Yaşama alanımın duvar ve döşeme renk seçiminden memnunum.					
47	Konutumun aydınlık ve ferah görünmesinden, görsel konfor koşullarından memnunum.					
48	Satın aldığım lambaların (ampül) ışık renginden memnunum.					
49	Isıtma enerjisi için kış aylarında ödediğim doğalgaz faturası uygundur.					
50	Klimaları aktif kullandığım yaz aylarında ödediğim elektrik faturaları uygundur.					
51	Lamba (ampül) satın alırken enerji sınıfına ve verimliliğine dikkat ederim.					
52	Yaşam standardım ve konforum düşmeden, enerji tüketimimin azaltılması için ek maliyetlere katlanırım.					
53	Enerji tüketimini düşüreceğini bilsem, iç mekan renk tercihlerimi değiştiririm.					
54	Enerji tüketimini düşüreceğini bilsem, kullandığım aydınlatma aygıtlarını (armatürleri) değiştiririm.					
55	Enerji tüketimini düşüreceğini bilsem, kullandığım lambaları (ampülleri) değiştiririm.					
56	Enerji tüketimini düşüreceğini bilsem, salonumun manzara yönünün değişmesini kabul ederdim.					

57. Bu siteden tekrar daire satın almak isteseydiniz hangi blok ve daireyi tercih ederdiniz? Nedenini belirtiniz.

……

……

EK 5. Örnek 1 ve Örnek 2'de kullanılan kompakt floresan (L1), LED (L2) ve ışık akısı ayarlanabilir LED (L3) lambaların maliyeti

ÖRNEK 1 (1 DAİRE İÇİN)																
ARMATÜR TİPİ	Kod	Kompakt Floresan (CFL)					LED (loşlaştırma özellikli değil)					LED (ışık akısı ayarlanabilir)				
		Adet	Güç (W)	Işık akısı (lm)	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)	Adet	Güç (W)	Işık akısı (lm)	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)	Adet	Güç (W)	Işık akısı (lm)	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)
a. Sıva üstü aygıt	A	27	15	1250	57	1539	32	13	1000	188	6016	36 m şerit LED	11.5	800	192	1296
b. Sarkıt lamba	B	1	42	3200	197	197	2	24	1500	135	270	2	13	1520	945	1890
c. Sarkıt lamba	C	1	42	3200	197		3	41	3600	270	810	3	36	3400	233	699
	C*					197	1	14	1000	70	70	1	9.5	1100	290	290
d. Ayaklı lambader	D	1	42	3200	197	197	1	10	800	40	40	1	8	806	321	321
e. Masa lambası	E	1	42	3200	197	197	2 (2,5m şerit LED)	20	325	82	410	2 (2,5m şerit LED)	11.5	800	192	960
f. Sarkıt lamba	F	2	23	1500	60	120	4	10	760	35	140	4	8	806	321	1284
g. Tezgah üstü	G	3	24	1600	135	405	4	12	750	116	464	4	8.7	800	225	900
h. Sarkıt lamba	H	2	42	3200	197	394	1	36	3000	165	165	1	36	3400	233	233
i. Başucu masası	İ	2	26	1800	69	138	2	15	960	70	140	2	9.5	1100	290	580
	İ*	4	13	900	60		3	6	400	43	129	3	5.3	470	562	1686
j. Masa lambası	J					240	4	9	450	43	172	4	5.3	470	562	2248
k. Sıva üstü aygıt	K	2	9	600	45	90	1	24	2500	190	190	1	27	2300	108	108
l. Sıva üstü aygıt	L	2	39	3000	119	238	1	23	1200	110	110	1	18	1600	100	100
m. Spot	M	8	18	1200	64	512	8	7	490	76.5	612	8	5.3	470	562	4496
a'. Sıva üstü aygıt	N	7	15	1250	57	399	4	15	570	20	80	4	4.3	350	300	1200
					1 DAİRE	**₺4863**				1 DAİRE	**₺9818**				1 DAİRE	**₺18291**
					BLOK	**₺58356**				BLOK	**₺117816**				BLOK	**₺219492**

ÖRNEK 2 (1 DAİRE İÇİN)																
ARMATÜR TİPİ	Kod	Kompakt Floresan (CFL)					LED (loşlaştırma özellikli değil)					LED (ışık akısı ayarlanabilir)				
		Adet	Güç (W)	Işık akısı (lm)	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)	Adet	Güç (W)	Işık akısı (lm)	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)	Adet	Güç (W)	Işık akısı (lm)	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)
a. Sıva üstü aygıt	A	21	15	1250	57	1197	20	13	1000	188	3760	33 m şerit LED	11.5	800	192	1188
b. Sarkıt lamba	B	1	42	3200	197	197	1	24	1300	135	135	1	13	1520	945	945
	B*	1	42	3200			1	36	1875	270	270	1	36	3400	233	233
c. Sarkıt lamba	C				197	197	2	41	3600	70	140	2	9.5	1100	290	580
d. Ayaklı lambader	D	1	42	3200	197	197	1	10	800	40	40	1	8	806	321	321
e. Masa lambası	E	1	42	3200	197	197	2 (4m şerit LED)	20	325	82	656	2 (4m şerit LED)	11.5	800	192	1536
f. Sarkıt lamba	F	2	23	1500	60	120	5	10	760	35	175	5	8	806	321	1605
g. Tezgah üstü	G	3	24	1600	135	405	3	12	750	116	348	3	8.7	800	225	675
h. Sarkıt lamba	H	3	42	3200	197	591	1	36	3000	165	165	1	36	3400	233	233
i. Başucu masası	İ	4	26	1800	69	276	2	15	960	70	140	2	9.5	1100	290	580
	İ*	2	13	900			2	6	450	43	86	2	5.3	470	562	1124
j. Masa lambası	J				60	120	2	9	400	43	86	2	5.3	470	562	1124
k. Sıva üstü aygıt	K	4	9	600	45	180	2	24	2500	190	380	2	27	2300	108	216
l. Sıva üstü aygıt	L	6	24	1590	119	714	2	23	1200	110	220	2	18	1600	100	200
m. Spot	M	9	18	1200	64	576	10	7	490	76.5	765	10	5.3	470	562	5620
a'. Sıva üstü aygıt	N	11	15	1250	57	627	8	16	600	20	160	8	4.3	350	300	2400
					1 DAİRE	**₺5594**				1 DAİRE	**₺7526**				1 DAİRE	**₺18580**
					BLOK	**₺67128**				BLOK	**₺90312**				BLOK	**₺222960**

EK 6. Örnek 3'te kullanılan kompakt floresan (L1), LED (L2) ve ışık akısı ayarlanabilir LED (L3) lambaların maliyeti

ÖRNEK 3 (DAİRE 1 veya 3 için)																	
ARMATÜR TİPİ	Kod	Kompakt Floresan (CFL)					LED (loşlaştırma özellikli değil)					LED (ışık akısı ayarlanabilir)					
		Adet	Güç (W)	Işık akısı (lm)	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)	Adet	Güç (W)	Işık akısı (lm)	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)	Adet	Güç (W)	Işık akısı (lm)	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)
a. Sıva üstü aygıt	A	24	15	1250	57	1368	26	13	1000	188	4888	34 m şerit LED	11.5	800	192	1224
b. Sarkıt lamba	B	2	42	3200	197	394	0	24	1300	135	0	0	13	1520	945	0
	B*						2	36	1875	270	540	2	36	3400	233	466
c. Sarkıt lamba	C	1	42	3200	197	197	2	41	3600	70	140	2	9.5	1100	290	580
d. Ayaklı lambader	D	1	42	3200	197	197	1	10	800	40	40	1	8	806	321	321
e. Masa lambası	E	1	42	3200	197	197	3 (3,5+3,5+2,5m şerit LED)	20	325	82	779	3 (3,5+3,5+2,5m şerit LED)	11.5	800	192	1728
f. Sarkıt lamba	F	2	23	1500	60	120	5	10	760	35	175	5	8	806	321	1605
g. Tezgah üstü	G	5	24	1600	135	675	5	12	750	116	580	5	8.7	800	225	1125
h. Sarkıt lamba	H	4	42	3200	197	788	2	36	3000	165	330	2	36	3400	233	466
i. Başucu masası	İ	4	26	1800	69	276	0	15	960	70	0	0	9.5	1100	290	0
	İ*	3	13	900			4	6	450	43	172	4	5.3	470	562	2248
j. Masa lambası	J				60	180	2	9	400	43	86	2	5.3	470	562	1124
k. Sıva üstü aygıt	K	3	9	600	45	135	3	24	2500	190	570	3	27	2300	108	324
l. Sıva üstü aygıt	L	6	24	1590	119	714	3	23	1200	110	330	3	18	1600	100	300
m. Spot	M	17	18	1200	64	1088	16	7	490	76.5	1224	16	5.3	470	562	8992
a'. Sıva üstü aygıt	N	17	15	1250	57	969	9	9	600	20	180	9	4.3	350	300	2700
					1 DAİRE	**₺7298**				1 DAİRE	**₺10034**				1 DAİRE	**₺23203**
					2 DAİRE TOPLAM	**₺14596**				2 DAİRE TOPLAM	**₺20068**				2 DAİRE TOPLAM	**₺46406**

ÖRNEK 3 (DAİRE 2 için)																
ARMATÜR TİPİ	Kod	Kompakt Floresan (CFL)					LED					LED (ışık akısı ayarlanabilir)				
		Adet	Güç (W)	Işık akısı (lm)	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)	Adet	Güç (W)	Işık akısı (lm)	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)	Adet	Güç (W)	Işık akısı (lm)	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)
a. Sıva üstü aygıt	A	28	15	1250	57	1596	22	13	1000	188	4136	28 m şerit LED	11.5	800	192	5376
b. Sarkıt lamba	B	1	42	3200	197	197	2	24	1300	135	270	2	13	1520	945	1890
	B*						1	36	1875	270	270	1	36	3400	233	233
c. Sarkıt lamba	C	0	42	3200	197	0	2	41	3600	70	140	2	9.5	1100	290	580
d. Ayaklı lambader	D	1	42	3200	197	197	1	10	800	40	40	1	8	806	321	321
e. Masa lambası	E	1	42	3200	197	197	2 (2,5m + 4,5m şerit LED)	20	325	82	574	2 (2,5m + 4,5m şerit LED)	11.5	800	192	1728
f. Sarkıt lamba	F	6	23	1500	60	360	5	10	760	35	175	5	8	806	321	1605
g. Tezgah üstü	G	6	24	1600	135	810	6	12	750	116	696	6	8.7	800	225	1350
h. Sarkıt lamba	H	3	42	3200	197	591	1	36	3000	165	165	1	36	3400	233	233
i. Başucu masası	İ	4	26	1800	69	276	0	15	960	70	0	0	9.5	1100	290	0
	İ*	2	13	900			4	6	450	43		4	5.3	470	562	2248
j. Masa lambası	J				60	120	2	9	400	43	172	2	5.3	470	562	1124
k. Sıva üstü aygıt	K	3	9	600	45	135	3	24	2500	190	570	3	27	2300	108	324
l. Sıva üstü aygıt	L	6	24	1590	119	714	3	23	1200	110	330	3	18	1600	100	300
m. Spot	M	11	18	1200	64	704	12	7	490	76.5	918	12	5.3	470	562	6744
a'. Sıva üstü aygıt	N	18	15	1250	57	1026	8	9	600	20	160	8	4.3	350	300	2400
					1 DAİRE	**₺6923**				1 DAİRE	**8616**				1 DAİRE	**₺26456**
					BLOK	**₺172152**				BLOK	**₺229472**				BLOK	**₺582896**

EK 7. 1 no'lu konut sitesinin örnek mekanlarına ait operatif sıcaklık, bağıl nem, PMV ve PPD aylık ortalama değerleri

Örnek 1 (Daire 1)			KAT 1												KAT 3												KAT 5											
Blok/Mekan		Değerlendirme endeksi	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Blok I	Mutfak (D)	To (°C)	21.1	21.5	22.0	24.1	26.0	27.7	28.5	28.6	26.9	24.1	22.2	21.5	21.2	21.6	22.2	24.4	26.3	27.9	28.6	28.7	27.1	24.5	22.3	21.5	20.8	21.3	21.7	23.7	25.6	27.6	28.4	28.6	26.8	24.0	22.0	21.2
		Rh (%)	33.5	34.8	35.2	38.9	44.7	46.5	47.2	45.1	48.5	50.1	47.4	36.4	33.4	34.7	35.0	38.4	44.1	46.0	46.8	44.9	48.0	49.4	47.1	36.3	33.7	34.9	35.5	39.7	45.6	47.0	47.4	45.2	48.8	50.4	47.7	36.6
		PMV	-0.6	-0.5	-0.4	-0.8	-0.1	0.6	0.9	0.9	0.3	0.3	-0.3	-0.5	-0.6	-0.5	-0.4	-0.7	0.0	0.6	0.9	0.9	0.4	0.4	-0.2	-0.5	-0.7	-0.6	-0.5	-0.9	-0.2	0.5	0.9	0.9	0.3	0.2	-0.3	-0.6
		PPD (%)	17.4	13.7	11.9	23.0	12.8	14.7	21.8	22.7	11.0	11.1	9.2	13.6	16.9	12.9	11.3	20.3	12.4	16.1	22.9	23.8	11.7	12.5	9.0	13.2	19.3	14.9	13.1	27.9	14.0	13.2	21.3	22.8	10.3	10.9	9.9	15.3
	Salon (D)	To (°C)	20.9	21.3	21.7	22.9	24.5	26.2	27.2	27.3	25.4	23.1	21.8	21.2	21.0	21.4	21.8	23.1	24.7	26.3	27.3	27.4	25.5	23.2	21.9	21.3	20.7	21.1	21.5	22.7	24.3	26.1	27.2	27.3	25.2	22.9	21.6	21.0
		Rh (%)	29.7	30.9	31.9	37.8	46.6	49.4	50.2	47.8	51.2	50.3	44.3	32.5	29.7	30.8	31.8	37.5	46.2	48.9	49.9	47.5	50.8	49.9	44.2	32.4	29.9	31.0	32.1	38.1	47.2	49.6	50.3	47.8	51.6	50.6	44.5	32.7
		PMV	-0.7	-0.6	-0.5	-1.2	-0.6	0.0	0.4	0.4	-0.3	0.0	-0.4	-0.6	-0.7	-0.6	-0.5	-1.1	-0.5	0.1	0.4	0.4	-0.2	0.0	-0.4	-0.6	-0.8	-0.6	-0.6	-1.3	-0.7	0.0	0.4	0.4	-0.3	-0.1	-0.4	-0.7
		PPD (%)	19.2	15.3	13.2	37.5	18.5	8.5	11.9	12.3	9.9	7.8	10.3	15.4	18.5	14.5	12.5	34.8	16.9	8.5	12.4	12.8	9.4	7.9	9.8	14.8	21.0	16.6	14.5	41.2	20.7	8.2	11.6	12.3	10.3	7.9	11.0	16.9
	Ebeveyn yatak odası (K)	To (°C)	21.7	22.0	22.3	23.2	24.5	25.9	26.7	26.7	25.3	23.4	22.4	22.0	21.8	22.1	22.4	23.3	24.7	26.0	26.7	26.8	25.4	23.6	22.5	22.0	21.5	21.9	22.1	23.1	24.6	26.0	26.9	26.9	25.3	23.4	22.3	21.8
		Rh (%)	32.0	33.2	34.6	41.4	49.8	51.5	53.3	50.8	52.9	53.0	46.7	34.7	32.0	33.2	34.5	41.3	49.3	51.2	53.2	50.7	52.6	52.7	46.6	34.7	32.1	33.3	34.6	41.5	49.8	51.1	52.8	50.3	52.7	53.1	46.8	34.8
		PMV	-0.5	-0.4	-0.3	-1.1	-0.6	-0.1	0.2	0.2	-0.3	0.1	-0.2	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-1.0	-0.5	0.0	0.3	0.3	-0.2	0.1	-0.2	-0.4	-0.5	-0.4	-0.4	-1.1	-0.6	0.0	0.3	0.3	-0.3	0.1	-0.2	-0.5
		PPD (%)	11.5	8.9	8.0	30.7	14.9	7.7	9.9	10.4	8.6	6.4	6.4	8.9	11.2	8.5	7.8	28.7	13.7	7.7	10.3	10.7	8.2	6.6	6.3	8.7	12.9	9.6	8.7	31.9	15.1	8.0	11.2	11.8	8.6	6.5	6.8	9.8
	Oda 1(B)	To (°C)	22.0	22.6	23.2	24.9	26.0	26.9	27.4	27.3	26.3	24.4	22.8	22.3	22.1	22.7	23.3	25.0	26.0	27.0	27.4	27.3	26.3	24.5	22.9	22.3	21.8	22.4	23.0	24.8	25.9	26.9	27.5	27.5	26.3	24.3	22.7	22.1
		Rh (%)	30.5	31.7	32.5	37.3	44.8	47.7	50.0	48.3	49.0	49.0	44.9	33.4	30.5	31.7	32.4	37.2	44.6	47.6	50.0	48.3	48.9	48.7	44.8	33.3	30.6	31.8	32.6	37.5	45.0	47.6	49.8	48.0	48.8	49.2	45.1	33.4
		PMV	-0.4	-0.3	-0.1	-0.5	-0.1	0.3	0.5	0.4	0.0	0.3	-0.1	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	-0.5	-0.1	0.3	0.5	0.4	0.1	0.3	-0.1	-0.3	-0.5	-0.3	-0.2	-0.6	-0.1	0.3	0.5	0.5	0.1	0.3	-0.2	-0.4
		PPD (%)	10.3	7.2	6.9	14.3	11.3	14.3	18.5	17.7	10.7	9.3	6.0	8.1	10.1	7.0	6.8	13.6	11.2	14.5	18.5	17.7	10.7	9.6	6.0	7.9	11.6	8.0	7.3	15.6	11.8	14.8	19.7	19.2	11.4	9.3	6.3	8.9
Blok II	Mutfak (GD)	To (°C)	21.6	22.3	22.7	24.6	25.8	27.4	28.2	28.5	27.5	25.5	23.3	21.9	21.8	22.5	22.9	24.9	26.0	27.6	28.3	28.6	27.7	25.7	23.5	22.1	21.2	21.7	21.9	23.7	25.2	27.2	28.2	28.5	27.0	24.7	22.7	21.6
		Rh (%)	33.0	34.0	34.5	38.2	45.1	47.4	48.0	45.4	47.0	47.1	45.5	35.9	32.9	33.8	34.2	37.7	44.6	46.9	47.6	45.0	46.6	46.6	45.0	35.8	33.4	34.6	35.3	39.6	46.4	47.9	48.2	45.6	48.3	48.8	46.3	36.3
		PMV	-0.5	-0.3	-0.2	-0.6	-0.1	0.5	0.8	0.8	0.5	0.6	0.0	-0.4	-0.5	-0.3	-0.2	-0.5	-0.1	0.5	0.8	0.9	0.6	0.7	0.1	-0.4	-0.6	-0.5	-0.4	-0.9	-0.3	0.4	0.8	0.8	0.3	0.4	-0.1	-0.5
		PPD (%)	15.4	11.1	10.7	19.0	12.2	11.9	18.5	21.2	13.4	18.1	9.8	11.7	15.0	10.7	10.6	16.7	11.7	12.9	19.7	22.7	14.5	19.4	10.3	11.2	17.7	13.2	12.4	27.4	14.7	10.7	18.2	21.0	10.8	13.8	9.7	13.6
	Salon (GD)	To (°C)	21.3	21.7	21.9	23.0	24.3	25.8	26.9	27.1	25.8	23.8	22.3	21.6	21.4	21.9	22.1	23.2	24.6	26.1	27.1	27.2	26.0	24.0	22.5	21.7	20.9	21.4	21.6	22.7	24.1	25.8	27.0	27.2	25.5	23.4	22.0	21.3
		Rh (%)	29.5	30.6	31.7	37.6	47.2	50.3	51.2	48.4	50.0	48.4	43.6	32.3	29.4	30.5	31.5	37.3	46.5	49.6	50.6	47.9	49.6	48.1	43.2	32.2	29.8	30.9	32.0	38.0	47.6	50.3	51.0	48.1	50.7	49.5	44.1	32.5
		PMV	-0.6	-0.5	-0.5	-1.2	-0.7	-0.1	0.3	0.3	-0.1	0.2	-0.3	-0.5	-0.6	-0.5	-0.4	-1.1	-0.6	0.0	0.4	0.4	-0.1	0.2	-0.2	-0.5	-0.7	-0.6	-0.5	-1.3	-0.8	-0.1	0.3	0.4	-0.2	0.1	-0.4	-0.6
		PPD (%)	17.2	13.0	12.1	36.1	19.9	8.2	9.7	10.7	9.1	9.1	8.9	13.5	16.4	12.3	11.5	33.0	17.3	8.0	10.7	11.7	9.0	9.6	8.5	12.8	19.6	15.1	13.8	40.2	21.7	8.0	10.3	11.6	9.4	8.4	10.0	15.6
	Ebeveyn yatak odası (KD)	To (°C)	21.7	22.0	22.3	23.1	24.5	25.9	26.7	26.7	25.2	23.5	22.5	22.0	21.8	22.1	22.4	23.4	25.0	26.4	27.1	27.0	25.5	23.7	22.5	22.1	21.5	21.9	22.2	23.2	24.9	26.3	27.3	27.3	25.5	23.5	22.3	21.8
		Rh (%)	32.0	33.2	34.6	41.5	49.9	51.3	53.3	50.9	53.0	52.8	46.6	34.8	32.0	33.2	34.5	41.2	48.5	50.1	51.9	50.0	52.3	52.4	46.6	34.7	32.1	33.3	34.6	41.3	49.0	50.2	51.6	49.3	52.3	52.9	46.7	34.8
		PMV	-0.5	-0.4	-0.3	-1.1	-0.6	0.0	0.2	0.2	-0.3	0.1	-0.2	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-1.0	-0.4	0.1	0.4	0.3	-0.2	0.1	-0.2	-0.4	-0.5	-0.4	-0.4	-1.1	-0.5	0.1	0.4	0.4	-0.2	0.1	-0.2	-0.4
		PPD (%)	11.4	8.8	8.1	32.0	15.2	8.0	10.3	10.5	8.6	6.5	6.3	8.8	11.0	8.4	7.8	28.4	12.4	9.2	13.7	12.7	8.1	6.8	6.2	8.5	12.7	9.6	8.6	30.5	13.7	9.1	14.7	14.7	8.4	6.6	6.7	9.7
	Oda 1(KB)	To (°C)	21.8	22.1	22.4	23.5	24.8	26.0	26.5	26.5	25.2	23.5	22.5	22.1	21.9	22.2	22.5	23.6	25.0	26.1	26.6	26.5	25.3	23.7	22.5	22.1	21.6	22.0	22.3	23.5	25.0	26.2	26.8	26.8	25.3	23.5	22.3	21.9
		Rh (%)	30.6	31.9	33.2	39.3	47.3	50.0	52.4	50.5	52.1	51.2	45.3	33.4	30.6	31.9	33.2	39.1	46.9	49.7	52.2	50.4	51.8	50.9	45.2	33.4	30.7	31.9	33.3	39.2	47.0	49.4	51.6	49.7	51.6	51.4	45.4	33.5
		PMV	-0.5	-0.4	-0.3	-1.0	-0.5	0.0	0.2	0.1	-0.3	0.1	-0.2	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-0.9	-0.4	0.0	0.2	0.2	-0.3	0.1	-0.2	-0.4	-0.5	-0.4	-0.4	-1.0	-0.4	0.0	0.3	0.2	-0.3	0.1	-0.2	-0.4
		PPD (%)	11.2	8.8	7.9	27.4	12.8	8.7	10.3	10.4	9.2	6.4	6.4	8.9	10.8	8.5	7.6	25.2	11.8	8.8	10.7	10.7	8.8	6.6	6.3	8.6	12.6	9.6	8.4	27.1	12.5	9.6	12.4	12.2	9.0	6.5	6.8	9.8
Blok III	Mutfak (GB)	To (°C)	21.7	22.5	22.9	24.9	26.0	27.5	28.3	28.5	27.6	25.5	23.2	22.1	21.8	22.7	23.1	25.2	26.2	27.7	28.4	28.6	27.8	25.8	23.5	22.3	21.2	21.9	22.1	23.9	25.4	27.3	28.2	28.4	27.2	24.8	22.6	21.7
		Rh (%)	33.0	33.8	34.2	37.6	44.7	46.9	47.7	45.3	46.8	46.9	45.5	35.7	32.9	33.6	34.0	37.1	44.2	46.5	47.4	45.1	46.4	46.4	45.1	35.6	33.4	34.4	35.0	39.1	46.0	47.5	48.0	45.6	47.8	48.5	46.5	36.2
		PMV	-0.5	-0.3	-0.2	-0.5	-0.1	0.5	0.8	0.9	0.5	0.6	0.0	-0.4	-0.5	-0.2	-0.1	-0.4	0.0	0.6	0.8	0.9	0.6	0.7	0.1	-0.3	-0.6	-0.4	-0.4	-0.8	-0.3	0.4	0.8	0.8	0.4	0.4	-0.2	-0.5
		PPD (%)	15.2	10.5	10.5	16.6	11.2	12.6	19.3	21.5	13.3	18.1	9.4	11.1	14.7	10.1	10.4	14.6	10.8	13.8	20.3	22.5	14.5	19.7	9.8	10.5	17.6	12.4	11.8	24.4	13.5	11.3	18.8	20.9	11.0	14.3	9.4	13.0
	Salon (GB)	To (°C)	21.3	22.0	22.4	23.8	24.8	26.2	27.1	27.4	26.3	24.2	22.4	21.7	21.5	22.3	22.6	24.0	25.0	26.3	27.2	27.5	26.5	24.6	22.7	21.9	21.1	21.8	21.9	23.1	24.3	25.9	27.0	27.3	25.9	23.9	22.3	21.5
		Rh (%)	29.5	30.3	31.1	36.5	46.1	49.3	50.3	47.6	48.7	47.4	43.3	32.2	29.3	30.0	30.8	36.1	45.6	48.9	50.0	47.4	48.3	46.6	42.7	32.0	29.7	30.5	31.6	37.5	47.3	50.1	50.9	47.9	49.6	48.1	43.5	32.3
		PMV	-0.6	-0.4	-0.3	-0.9	-0.5	0.0	0.4	0.4	0.1	0.3	-0.3	-0.5	-0.6	-0.4	-0.3	-0.8	-0.4	0.1	0.4	0.5	0.1	0.4	-0.2	-0.5	-0.7	-0.5	-0.5	-1.2	-0.7	-0.1	0.3	0.4	-0.1	0.2	-0.3	-0.5
		PPD (%)	17.0	11.7	10.5	26.3	15.5	7.8	10.9	12.2	8.3	10.5	8.6	12.9	15.8	10.4	9.9	23.2	13.9	7.9	11.4	12.9	8.6	11.7	8.1	11.8	18.5	13.0	12.4	35.2	20.0	7.8	10.3	11.7	8.3	9.5	9.2	14.0
	Ebeveyn yatak odası (KB)	To (°C)	21.9	22.4	23.0	24.3	25.4	26.5	27.3	27.6	26.7	24.7	22.7	22.1	22.3	22.8	23.1	24.5	25.6	26.6	27.4	27.7	26.8	25.1	23.3	22.4	22.0	22.4	22.6	24.0	25.2	26.4	27.3	27.7	26.5	24.6	23.0	22.2
		Rh (%)	32.0	33.1	34.0	39.7	47.5	49.9	51.3	48.2	49.0	49.8	46.5	34.7	31.9	33.0	33.9	39.3	47.0	49.6	51.1	48.1	48.6	48.8	45.2	34.6	31.9	33.1	34.3	40.3	48.2	50.1	51.3	48.2	49.4	49.9	45.9	34.7
		PMV	-0.4	-0.3	-0.2	-0.7	-0.3	0.1	0.5	0.6	0.2	0.4	-0.1	-0.4	-0.4	-0.2	-0.1	-0.6	-0.2	0.2	0.5	0.6	0.2	0.5	0.0	-0.3	-0.4	-0.3	-0.2	-0.8	-0.4	0.1	0.5	0.6	0.1	0.4	-0.1	-0.3
		PPD (%)	10.7	7.5	6.9	17.1	10.8	9.5	16.0	19.1	11.5	11.5	6.0	8.3	9.4	6.6	6.8	15.1	10.3	9.8	16.4	19.6	12.1	13.6	6.2	7.3	10.9	7.7	7.5	21.1	12.0	9.1	15.9	19.4	10.7	11.2	6.2	8.1
	Oda 1(KD)	To (°C)	21.9	22.2	22.5	23.8	25.3	26.4	27.1	27.0	25.5	23.7	22.5	22.1	21.9	22.2	22.6	24.0	25.4	26.5	27.2	27.1	25.5	23.9	22.6	22.1	21.6	22.0	22.3	23.7	25.3	26.5	27.3	27.2	25.5	23.6	22.4	21.9
		Rh (%)	30.6	31.9	33.1	38.8	46.2	49.0	50.9	49.0	51.2	50.7	45.2	33.4	30.6	31.8	33.1	38.5	45.9	48.8	50.7	48.9	51.0	50.4	45.1	33.4	30.7	31.9	33.2	38.9	46.3	48.7	50.5	48.5	51.1	51.0	45.4	33.5
		PMV	-0.5	-0.4	-0.3	-0.9	-0.3	0.1	0.4	0.3	-0.2	0.2	-0.2	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.8	-0.3	0.1	0.4	0.3	-0.2	0.2	-0.2	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-0.9	-0.3	0.1	0.4	0.4	-0.2	0.1	-0.2	-0.4
		PPD (%)	11.1	8.6	7.6	23.4	11.4	10.0	14.5	14.2	8.5	6.9	6.3	8.8	10.7	8.3	7.4	21.2	10.8	10.3	15.1	14.6	8.3	7.1	6.2	8.5	12.5	9.5	8.3	24.8	11.8	10.6	16.2	15.8	8.6	6.8	6.8	9.7
Blok IV	Mutfak (K)	To (°C)	21.2	21.5	21.8	23.3	24.9	26.8	27.8	28.0	26.4	24.2	22.3	21.5	21.2	21.6	21.9	23.4	25.1	27.0	27.9	28.1	26.5	24.2	22.4	21.5	20.8	21.3	21.6	23.2	25.0	27.1	28.1	28.3	26.5	23.9	22.0	21.2
		Rh (%)	33.4	34.8	35.4	40.2	47.2	48.8	49.4	46.7	49.5	50.0	47.2	36.3	33.4	34.7	35.4	40.1	46.8	48.4	49.1	46.6	49.4	49.9	47.0	36.3	33.7	35.0	35.7	40.5	47.0	48.0	48.5	46.1	49.6	50.7	47.8	36.6
		PMV	-0.6	-0.5	-0.4	-1.1	-0.5	0.3	0.6	0.7	0.1	0.3	-0.2	-0.5	-0.6	-0.5	-0.4	-1.0	-0.4	0.3	0.7	0.7	0.2	0.3	-0.2	-0.5	-0.7	-0.6	-0.5	-1.1	-0.4	0.4	0.7	0.8	0.1	0.2	-0.3	-0.6
		PPD (%)	17.2	13.4	12.1	31.8	15.9	9.0	14.7	16.8	8.7	10.7	9.1	13.4	16.8	13.0	11.9	30.5	14.6	9.6	15.6	17.3	8.8	10.9	8.9	13.1	19.4	15.1	13.5	33.7	15.8	10.4	17.5	18.9	9.1	10.2	9.9	15.2
	Salon (K)	To (°C)	21.0	21.4	21.7	22.7	23.9	25.5	26.7	26.8	25.2	23.2	21.9	21.3	21.1	21.5	21.8	22.8	24.1	25.7	26.8	26.9	25.3	23.3	22.0	21.4	20.7	21.2	21.5	22.6	24.0	25.8	26.9	27.0	25.2	23.0	21.7	21.1
		Rh (%)	29.7	30.8	31.9	38.0	48.0	51.0	52.0	49.1	51.6	50.0	44.1	32.4	29.6	30.7	31.8	37.8	47.5	50.4	51.6	48.9	51.4	49.8	44.0	32.4	29.9	31.0	32.0	38.1	47.8	50.3	51.2	48.6	51.6	50.3	44.4	32.6
		PMV	-0.7	-0.6	-0.5	-1.3	-0.8	-0.2	0.2	0.3	-0.3	0.0	-0.4	-0.6	-0.7	-0.6	-0.5	-1.2	-0.7	-0.1	0.3	0.3	-0.3	0.0	-0.4	-0.6	-0.8	-0.6	-0.6	-1.3	-0.8	-0.1	0.3	0.3	-0.3	0.0	-0.4	-0.6
		PPD (%)	18.7	14.6	13.0	40.5	22.5	8.3	8.7	9.6	9.8	7.6	9.8	14.8	18.2	14.1	12.5	38.5	20.5	7.8	9.1	9.9	9.4	7.6	9.6	14.4	20.7	16.1	14.3	41.9	22.2	7.9	9.7	10.5	10.1	7.7	10.8	16.5
	Ebeveyn yatak odası (B)	To (°C)	21.9	22.4	22.8	24.2	25.3	26.5	27.2	27.2	26.2	24.2	22.7	22.2	22.0	22.5	22.9	24.3	25.4	26.6	27.2	27.3	26.2	24.3	22.8	22.3	21.7	22.2	22.5	24.0	25.2	26.6	27.3	27.4	26.2	24.1	22.6	22.0
		Rh (%)	32.0	33.1	34.2	40.0	47.8	49.8	51.5	49.2	50.3	51.0	46.4	34.7	32.0	33.1	34.2	39.8	47.4	49.3	51.3	49.1	50.1	50.8	46.3	34.7	32.1	33.2	34.4	40.3	47.9	49.4	51.0	48.8	50.2	51.3	46.6	34.8
		PMV	-0.4	-0.3	-0.2	-0.8	-0.3	0.1	0.4	0.4	0.0	0.3	-0.1	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.7	-0.3	0.2	0.4	0.4	0.0	0.3	-0.1	-0.3	-0.5	-0.4	-0.3	-0.8	-0.3	0.2	0.5	0.5	0.0	0.3	-0.2	-0.4
		PPD (%)	10.6	7.5	7.0	19.2	11.4	10.3	14.9	15.1	9.2	8.7	6.0	8.0	10.3	7.3	6.9	17.8	10.9	10.8	15.3	15.4	9.3	9.0	6.0	7.8	11.9	8.3	7.6	21.5	12.0	10.8	16.1	16.4	9.6	8.6	6.3	8.9
	Oda 1(G)	To (°C)	23.2	24.4	24.2	25.2	25.4	26.1	26.8	27.4	27.1	26.1	24.7	23.6	23.3	24.5	24.3	25.3	25.5	26.1	26.8	27.4	27.1	26.2	24.8	23.8	22.7	23.8	23.8	25.1	25.4	26.2	27.0	27.6	27.1	25.9	24.3	23.1
		Rh (%)	29.7	30.0	31.5	36.8	46.0	49.9	51.7	48.2	46.8	44.9	41.2	32.3	29.5	29.9	31.3	36.6	45.8	49.8	51.7	48.3	46.8	44.7	40.9	32.1	30.0	30.5	31.8	36.9	46.0	49.5	51.2	47.7	46.7	45.3	41.8	32.7
		PMV	-0.1	0.2	0.1	-0.4	-0.3	0.0	0.3	0.4	0.3	0.7	0.3	0.0	-0.1	0.2	0.2	-0.4	-0.3	0.0	0.3	0.4	0.3	0.8	0.4	0.0	-0.3	0.0	0.0	-0.5	-0.3	0.0	0.3	0.5	0.3	0.7	0.2	-0.1
		PPD (%)	8.4	8.3	8.3	11.8	10.5	8.8	12.7	18.4	16.8	21.4	11.2	6.6	8.4	8.7	8.6	11.3	10.1	8.8	12.7	18.3	16.8	22.0	11.8	6.7	9.4	7.6	8.0	12.7	10.9	9.3	14.6	20.9	17.1	19.9	9.8	6.8

EK 8. 2 no'lu konut sitesinin örnek mekanlarına ait operatif sıcaklık, bağıl nem, PMV ve PPD aylık ortalama değerleri

Örnek 2 (Daire 1)			KAT 1												KAT 3												KAT 5											
Blok/Mekan		Değerlendirme endeksi	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Blok I	Mutfak (G)	To (°C)	22.1	22.5	22.8	24.6	26.0	27.6	28.2	28.3	27.2	25.4	23.5	22.6	21.8	22.2	22.5	24.1	25.3	26.9	27.7	27.8	26.5	24.8	23.1	22.2	21.6	22.2	22.5	24.8	26.4	28.2	28.9	29.0	27.8	25.6	23.4	22.1
		Rh (%)	32.5	33.7	34.2	38.1	44.6	46.9	48.1	45.9	47.7	47.2	45.0	35.2	32.8	34.1	34.6	38.9	46.1	48.5	49.7	47.4	49.3	48.7	45.7	35.5	32.9	34.1	34.6	37.8	43.7	45.3	46.1	44.1	46.3	46.9	45.2	35.6
		PMV	-0.4	-0.3	-0.2	-0.6	-0.1	0.5	0.8	0.8	0.4	0.6	0.1	-0.3	-0.5	-0.4	-0.3	-0.8	-0.3	0.3	0.6	0.6	0.2	0.4	0.0	-0.3	-0.5	-0.4	-0.3	-0.5	0.1	0.7	1.0	1.0	0.6	0.6	0.0	-0.4
		PPD (%)	12.2	9.0	8.6	16.3	9.9	12.3	18.2	19.6	10.3	15.8	8.3	8.7	13.3	10.0	9.3	21.5	11.9	8.8	13.5	14.8	8.1	12.1	7.9	9.7	14.3	10.2	9.5	15.6	10.1	17.9	26.2	28.1	14.6	17.3	8.4	10.0
	Salon (G)	To (°C)	21.3	21.9	22.0	22.9	24.0	25.6	26.7	26.8	25.5	23.8	22.3	21.7	21.1	21.6	21.8	22.7	23.6	25.1	26.2	26.4	25.0	23.4	22.1	21.5	21.0	21.6	21.7	23.0	24.6	26.5	27.6	27.8	26.1	24.0	22.3	21.5
		Rh (%)	29.4	30.4	31.5	37.8	47.9	51.0	52.1	49.3	50.9	48.5	43.5	32.1	29.6	30.6	31.6	38.0	48.7	52.4	53.6	50.5	52.0	49.6	43.8	32.2	29.6	30.6	31.7	37.6	46.6	48.6	49.5	46.9	49.3	48.4	43.4	32.2
		PMV	-0.6	-0.5	-0.4	-1.2	-0.8	-0.2	0.2	0.3	-0.2	0.2	-0.3	-0.5	-0.7	-0.5	-0.5	-1.3	-0.9	-0.4	0.1	0.1	-0.4	0.0	-0.3	-0.5	-0.7	-0.5	-0.5	-1.2	-0.6	0.1	0.5	0.6	0.0	0.2	-0.3	-0.5
		PPD (%)	16.4	12.0	11.2	37.8	21.9	8.0	8.6	9.4	8.5	8.3	8.5	12.4	17.8	13.5	12.0	40.5	25.6	9.7	7.6	8.3	10.5	7.6	9.2	13.5	18.8	13.7	12.8	35.5	16.6	7.9	13.9	15.2	7.6	8.5	8.6	13.6
	Ebeveyn yatak odası (K)	To (°C)	21.6	22.0	22.1	23.0	24.1	25.5	26.3	26.4	25.0	23.4	22.4	21.9	21.5	21.8	22.0	22.8	23.7	25.1	25.9	26.1	24.6	23.2	22.2	21.8	21.4	21.8	22.1	23.3	24.8	26.3	27.3	27.4	25.8	23.8	22.4	21.8
		Rh (%)	30.4	31.5	32.8	39.7	49.3	51.8	53.8	51.2	52.9	51.5	44.9	33.1	30.4	31.6	32.9	39.9	50.3	53.2	55.0	52.3	54.2	52.1	45.0	33.1	30.5	31.6	32.9	39.3	47.7	49.5	51.1	48.7	50.5	50.6	44.9	33.1
		PMV	-0.5	-0.4	-0.4	-1.2	-0.7	-0.2	0.1	0.1	-0.4	0.1	-0.2	-0.4	-0.6	-0.5	-0.4	-1.2	-0.9	-0.3	0.0	0.0	-0.5	0.0	-0.3	-0.5	-0.6	-0.5	-0.4	-1.1	-0.5	0.1	0.4	0.5	-0.1	0.2	-0.2	-0.5
		PPD (%)	12.5	9.5	8.8	35.2	18.6	7.9	8.7	9.5	9.5	6.3	6.7	9.6	13.5	10.2	9.3	38.3	22.6	9.0	7.6	8.5	11.6	6.0	7.0	10.2	14.3	10.3	9.3	30.3	13.8	8.6	14.2	15.3	7.8	7.2	6.8	10.4
	Oda 1 (K)	To (°C)	22.2	22.6	22.9	24.1	25.3	26.3	26.9	26.9	25.7	24.4	23.1	22.5	22.0	22.3	22.6	23.7	24.7	25.8	26.4	26.5	25.2	23.9	22.9	22.3	21.8	22.3	22.7	24.2	25.5	26.8	27.5	27.6	26.3	24.7	23.1	22.3
		Rh (%)	30.1	31.3	32.5	38.1	46.0	49.2	51.4	49.3	50.2	48.7	43.8	32.8	30.1	31.4	32.7	38.6	47.3	50.5	52.8	50.4	51.7	49.8	44.2	32.9	30.2	31.4	32.6	38.0	45.6	48.0	49.9	47.6	48.8	48.1	43.8	32.9
		PMV	-0.4	-0.3	-0.2	-0.8	-0.3	0.1	0.3	0.3	-0.1	0.3	0.0	-0.3	-0.4	-0.3	-0.3	-0.9	-0.5	-0.1	0.1	0.1	-0.3	0.2	-0.1	-0.3	-0.5	-0.3	-0.3	-0.8	-0.3	0.2	0.5	0.5	0.0	0.4	-0.1	-0.4
		PPD (%)	9.7	7.2	6.6	19.3	10.1	8.5	11.5	12.2	7.6	8.1	5.8	7.3	10.7	8.0	7.2	24.9	13.0	7.8	9.0	9.8	8.6	6.8	6.0	8.0	11.5	8.1	7.2	18.6	9.7	10.4	16.7	17.9	8.1	9.3	6.0	8.1
Blok II	Mutfak (GB)	To (°C)	22.0	22.5	23.1	25.3	26.6	28.0	28.5	28.7	27.6	25.6	23.5	22.3	21.6	22.1	22.6	24.7	26.0	27.5	28.2	28.3	27.0	24.9	23.0	21.9	21.6	22.2	22.7	25.2	26.7	28.4	29.0	29.1	28.0	25.8	23.4	22.0
		Rh (%)	32.6	33.7	33.9	36.9	43.3	45.8	47.0	45.0	46.8	47.0	45.1	35.4	33.0	34.2	34.4	37.9	44.5	47.0	48.1	46.0	48.2	48.4	45.9	35.8	33.0	34.0	34.3	37.3	43.1	44.9	45.8	43.8	45.8	46.4	45.2	35.6
		PMV	-0.4	-0.3	-0.1	-0.3	0.1	0.7	0.9	0.9	0.5	0.6	0.1	-0.3	-0.5	-0.4	-0.2	-0.6	-0.1	0.5	0.8	0.8	0.3	0.5	-0.1	-0.4	-0.5	-0.4	-0.2	-0.4	0.2	0.8	1.0	1.1	0.7	0.7	0.0	-0.4
		PPD (%)	12.5	9.0	8.6	11.8	9.6	15.7	22.0	23.3	12.9	16.9	8.3	9.4	14.3	10.5	9.3	16.1	9.9	12.0	18.1	19.3	9.6	13.1	8.0	10.8	14.5	10.1	9.3	13.2	10.4	19.5	28.0	30.2	16.6	18.8	8.5	10.4
	Salon (GB)	To (°C)	21.1	21.6	21.9	23.2	24.4	25.9	26.9	27.1	25.5	23.5	22.0	21.4	20.9	21.3	21.7	22.9	24.1	25.6	26.7	26.8	25.1	23.2	21.9	21.2	20.9	21.4	21.7	23.3	24.9	26.7	27.7	27.9	26.2	23.9	22.1	21.3
		Rh (%)	29.5	30.6	31.5	37.3	47.0	50.0	51.3	48.6	50.9	49.4	43.8	32.2	29.7	30.8	31.8	37.7	47.6	50.8	52.0	49.3	51.9	50.1	44.1	32.4	29.7	30.7	31.7	37.2	46.0	48.1	49.0	46.6	49.0	48.5	43.7	32.3
		PMV	-0.7	-0.5	-0.5	-1.1	-0.6	-0.1	0.3	0.4	-0.2	0.1	-0.3	-0.6	-0.7	-0.6	-0.5	-1.2	-0.8	-0.2	0.2	0.3	-0.3	0.0	-0.4	-0.6	-0.7	-0.6	-0.5	-1.1	-0.5	0.2	0.6	0.6	0.0	0.2	-0.3	-0.6
		PPD (%)	17.7	13.5	11.7	33.6	17.5	7.3	9.6	10.5	8.6	7.6	9.2	14.0	19.6	15.1	13.0	37.2	20.6	7.8	8.7	9.5	10.0	7.5	10.0	15.4	19.7	14.5	12.7	32.1	14.5	8.4	15.0	16.3	7.8	8.5	9.1	14.9
	Ebeveyn yatak odası (KD)	To (°C)	21.6	22.0	22.3	23.5	25.0	26.2	27.0	27.1	25.5	23.6	22.4	21.9	21.4	21.8	22.1	23.2	24.6	25.9	26.8	26.9	25.2	23.4	22.2	21.7	21.4	21.8	22.1	23.4	25.0	26.5	27.4	27.6	26.0	23.9	22.4	21.8
		Rh (%)	30.4	31.5	32.7	39.0	47.2	49.8	51.7	49.4	51.7	51.1	44.9	33.1	30.4	31.6	32.8	39.4	48.1	50.6	52.3	49.9	52.6	51.7	45.0	33.1	30.5	31.5	32.8	39.1	47.2	49.2	50.7	48.2	50.2	50.4	44.8	33.1
		PMV	-0.5	-0.4	-0.4	-1.0	-0.4	0.0	0.4	0.4	-0.2	0.1	-0.2	-0.4	-0.6	-0.5	-0.4	-1.1	-0.6	-0.1	0.3	0.3	-0.3	0.1	-0.3	-0.5	-0.6	-0.5	-0.4	-1.0	-0.4	0.1	0.5	0.5	-0.1	0.2	-0.2	-0.5
		PPD (%)	12.6	9.5	8.4	27.6	12.6	8.4	12.7	13.2	8.3	6.7	6.7	9.7	14.0	10.4	9.2	31.3	14.9	8.0	11.1	11.9	9.2	6.4	7.1	10.6	14.3	10.3	9.2	28.2	12.7	9.0	15.7	17.1	7.8	7.4	6.8	10.5
	Oda 1 (KD)	To (°C)	22.4	22.9	23.5	25.3	26.5	27.4	28.0	28.0	26.6	25.0	23.5	22.6	22.0	22.5	23.0	24.8	26.0	26.9	27.6	27.7	26.2	24.6	23.1	22.3	21.9	22.5	22.9	24.7	26.0	27.2	27.9	28.1	26.6	25.0	23.2	22.3
		Rh (%)	30.0	31.1	31.9	36.4	43.5	46.6	48.5	46.4	48.0	47.1	43.1	32.8	30.2	31.3	32.3	37.1	44.5	47.6	49.3	47.2	49.1	48.2	43.8	32.9	30.2	31.3	32.4	37.3	44.6	47.1	48.8	46.4	47.9	47.4	43.5	32.9
		PMV	-0.3	-0.2	-0.1	-0.4	0.1	0.4	0.7	0.7	0.2	0.5	0.0	-0.3	-0.4	-0.3	-0.2	-0.6	-0.1	0.3	0.6	0.6	0.0	0.4	-0.1	-0.3	-0.5	-0.3	-0.2	-0.6	-0.1	0.3	0.7	0.7	0.2	0.4	0.0	-0.3
		PPD (%)	9.1	6.5	6.3	10.2	10.4	15.6	23.9	24.1	10.1	11.3	6.0	7.0	10.6	7.4	6.7	13.6	9.6	12.4	19.6	20.1	8.8	9.2	6.0	8.0	11.1	7.6	6.9	14.2	9.3	13.0	22.0	23.8	9.6	10.8	6.0	7.9
Blok III	Mutfak (K)	To (°C)	22.3	23.1	23.4	25.4	26.4	27.8	28.3	28.5	27.7	26.1	24.2	22.8	21.9	22.6	22.8	24.7	25.7	27.2	27.9	28.2	27.1	25.4	23.6	22.3	21.8	22.4	22.7	25.1	26.6	28.3	28.9	29.1	28.0	26.0	23.7	22.3
		Rh (%)	32.3	33.2	33.6	36.9	43.8	46.4	47.7	45.3	46.5	45.7	43.8	34.9	32.7	33.7	34.3	38.0	45.2	47.8	48.9	46.5	47.9	47.3	44.9	35.4	32.8	33.9	34.4	37.4	43.4	45.1	46.0	43.9	45.8	46.1	44.6	35.4
		PMV	-0.3	-0.1	-0.1	-0.3	0.1	0.6	0.8	0.9	0.6	0.8	0.2	-0.2	-0.4	-0.3	-0.2	-0.6	-0.2	0.4	0.7	0.8	0.4	0.6	0.1	-0.3	-0.5	-0.3	-0.2	-0.4	0.1	0.8	1.0	1.1	0.7	0.7	0.1	-0.3
		PPD (%)	11.5	8.2	8.4	11.2	9.2	13.7	19.8	21.9	13.6	20.6	10.0	8.2	13.1	9.1	8.9	15.9	10.3	10.1	15.7	17.8	9.8	15.7	8.7	9.4	13.8	9.5	9.2	13.7	10.2	18.6	26.8	29.1	16.1	19.7	9.1	9.6
	Salon (K)	To (°C)	21.2	21.6	21.8	22.9	24.2	25.8	26.8	27.0	25.4	23.6	22.2	21.5	20.9	21.4	21.6	22.6	23.7	25.3	26.4	26.6	24.9	23.2	22.0	21.3	20.9	21.4	21.7	23.1	24.7	26.7	27.7	27.9	26.2	23.9	22.2	21.4
		Rh (%)	29.5	30.5	31.6	37.7	47.4	50.4	51.6	49.0	51.2	49.2	43.5	32.1	29.7	30.7	31.8	38.1	48.4	51.8	53.0	50.1	52.4	49.9	43.8	32.3	29.7	30.6	31.7	37.4	46.3	48.3	49.2	46.7	49.2	48.5	43.5	32.3
		PMV	-0.6	-0.5	-0.5	-1.2	-0.7	-0.1	0.3	0.3	-0.3	0.1	-0.3	-0.5	-0.7	-0.6	-0.5	-1.3	-0.9	-0.3	0.1	0.2	-0.4	0.0	-0.3	-0.6	-0.7	-0.6	-0.5	-1.1	-0.5	0.2	0.6	0.6	0.0	0.2	-0.3	-0.6
		PPD (%)	17.2	13.2	12.0	36.9	19.6	7.5	9.3	10.0	8.6	7.5	8.7	13.4	19.0	14.6	13.3	41.6	24.3	8.8	7.9	8.7	10.7	7.2	9.4	14.7	19.4	14.5	13.0	33.9	15.5	8.2	14.8	16.1	7.7	8.3	8.9	14.6
	Ebeveyn yatak odası (G)	To (°C)	22.1	22.7	22.8	24.1	25.0	26.1	26.9	27.2	26.3	24.8	23.3	22.5	21.8	22.4	22.5	23.5	24.4	25.6	26.4	26.8	25.8	24.4	23.0	22.2	21.7	22.1	22.2	23.5	25.0	26.5	27.4	27.6	26.1	24.4	22.9	22.1
		Rh (%)	30.2	31.3	32.3	38.2	47.1	50.2	52.0	49.1	49.3	48.1	43.7	32.9	30.3	31.4	32.6	39.0	48.6	51.6	53.4	50.2	50.6	49.2	44.2	33.0	30.4	31.5	32.8	39.0	47.2	49.2	50.8	48.2	49.7	49.4	44.3	33.0
		PMV	-0.4	-0.3	-0.2	-0.8	-0.4	0.0	0.3	0.4	0.0	0.4	0.0	-0.3	-0.5	-0.3	-0.3	-1.0	-0.6	-0.2	0.2	0.3	-0.1	0.3	-0.1	-0.4	-0.5	-0.4	-0.4	-1.0	-0.4	0.1	0.5	0.5	0.0	0.3	-0.1	-0.4
		PPD (%)	10.3	7.0	7.0	19.9	11.9	8.1	12.1	14.4	8.7	11.0	6.2	7.5	11.8	7.9	7.8	26.5	15.9	7.9	9.4	11.4	8.2	9.1	6.2	8.3	12.7	8.9	8.7	26.8	12.6	9.0	15.5	17.3	7.9	8.6	6.3	8.8
	Oda 1(G)	To (°C)	23.7	25.1	25.0	26.0	26.1	26.7	27.3	27.8	27.5	26.7	25.4	24.4	23.1	24.4	24.3	25.4	25.7	26.4	27.0	27.4	27.0	26.2	24.8	23.7	22.7	23.4	23.1	24.5	25.6	26.8	27.5	27.7	26.6	25.6	24.4	23.4
		Rh (%)	29.0	29.1	30.5	35.6	44.2	48.0	50.1	47.1	45.9	43.6	39.8	31.2	29.5	29.8	31.1	36.3	45.2	49.0	50.9	47.9	46.9	44.7	40.7	31.9	29.8	30.7	32.3	37.6	45.5	48.1	49.9	47.5	48.0	45.9	41.3	32.2
		PMV	0.0	0.3	0.3	-0.2	0.0	0.2	0.4	0.6	0.5	0.9	0.5	0.2	-0.2	0.2	0.1	-0.3	-0.2	0.1	0.3	0.5	0.3	0.7	0.4	0.0	-0.3	-0.1	-0.1	-0.7	-0.2	0.2	0.5	0.5	0.1	0.6	0.3	-0.1
		PPD (%)	7.7	9.4	9.5	8.5	8.8	10.6	16.2	20.9	17.2	25.1	13.4	6.6	8.1	7.2	7.5	9.9	9.1	9.2	13.6	17.7	13.6	20.0	10.2	5.9	8.9	6.0	6.4	15.9	9.3	10.3	16.7	18.5	9.0	14.7	8.4	5.9
Blok IV	Mutfak (KD)	To (°C)	22.1	22.7	23.2	25.5	26.7	28.0	28.6	28.7	27.6	25.8	23.7	22.4	21.3	21.9	22.3	24.7	26.1	27.8	28.5	28.7	27.3	25.2	22.9	21.7	21.6	22.2	22.7	25.2	26.7	28.3	29.0	29.1	28.0	25.8	23.5	22.1
		Rh (%)	32.5	33.5	33.8	36.9	43.2	45.8	47.1	45.0	46.8	46.5	44.7	35.3	33.3	34.3	34.8	38.1	44.4	46.3	47.3	45.1	47.4	47.8	45.9	36.0	32.9	34.0	34.4	37.3	43.2	45.0	45.9	43.9	45.9	46.5	45.0	35.6
		PMV	-0.4	-0.2	-0.1	-0.3	0.2	0.7	0.9	0.9	0.6	0.7	0.1	-0.3	-0.6	-0.4	-0.3	-0.6	0.0	0.6	0.9	0.9	0.5	0.5	-0.1	-0.5	-0.5	-0.4	-0.2	-0.4	0.2	0.8	1.0	1.1	0.7	0.7	0.1	-0.4
		PPD (%)	12.1	8.6	8.5	11.2	9.5	15.9	22.2	23.8	13.2	18.2	8.7	9.0	16.2	11.5	10.2	16.6	10.1	14.0	21.4	23.4	11.4	14.8	8.4	12.0	14.3	10.0	9.3	13.1	10.2	19.1	27.6	30.0	16.2	18.7	8.6	10.2
	Salon (KD)	To (°C)	21.3	21.8	22.1	23.4	24.6	26.1	27.2	27.4	25.9	24.0	22.3	21.6	20.6	21.2	21.6	23.0	24.4	26.1	27.2	27.5	25.8	23.7	21.8	21.0	21.0	21.5	21.8	23.3	24.9	26.7	27.8	28.0	26.3	24.0	22.3	21.4
		Rh (%)	29.4	30.4	31.4	37.1	46.5	49.5	50.6	47.9	49.9	48.3	43.4	32.1	30.0	30.9	31.9	37.6	47.1	49.7	50.4	47.6	50.2	49.0	44.1	32.6	29.7	30.6	31.7	37.2	46.0	48.1	49.0	46.4	48.8	48.2	43.5	32.3
		PMV	-0.6	-0.5	-0.4	-1.1	-0.6	0.0	0.4	0.5	-0.1	0.2	-0.3	-0.5	-0.8	-0.6	-0.5	-1.2	-0.7	0.0	0.4	0.5	-0.1	0.1	-0.4	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-1.1	-0.5	0.2	0.6	0.7	0.1	0.2	-0.3	-0.6
		PPD (%)	16.7	12.2	11.0	30.9	16.1	7.4	11.1	12.5	7.8	8.6	8.4	13.0	21.9	16.0	13.9	36.1	19.0	7.4	11.6	13.1	8.2	8.2	10.3	16.8	19.1	14.0	12.6	31.6	14.6	8.5	15.6	17.5	8.0	8.8	8.7	14.3
	Ebeveyn yatak odası (GB)	To (°C)	22.0	22.7	23.0	24.5	25.4	26.4	27.1	27.3	26.4	24.8	23.0	22.3	21.4	22.1	22.4	24.0	25.2	26.4	27.2	27.4	26.3	24.4	22.5	21.9	21.7	22.2	22.3	23.7	25.1	26.5	27.4	27.5	26.2	24.5	22.8	22.1
		Rh (%)	30.3	31.3	32.2	37.6	46.0	49.1	51.2	48.6	48.8	48.1	44.0	32.9	30.5	31.5	32.6	38.3	46.6	49.1	50.9	48.3	49.0	49.0	44.7	33.1	30.4	31.4	32.7	38.8	46.9	49.0	50.8	48.3	49.3	49.0	44.3	33.0
		PMV	-0.4	-0.3	-0.2	-0.7	-0.3	0.1	0.4	0.4	0.1	0.4	-0.1	-0.3	-0.6	-0.4	-0.3	-0.8	-0.4	0.1	0.4	0.5	0.1	0.3	-0.2	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-0.9	-0.4	0.1	0.5	0.5	0.0	0.3	-0.1	-0.4
		PPD (%)	10.4	7.0	6.8	15.9	10.2	9.2	14.1	15.7	9.2	10.8	6.0	7.7	14.1	9.2	8.1	20.6	11.7	9.3	14.8	16.7	9.1	9.4	6.6	9.9	12.4	8.5	8.1	24.3	11.7	9.0	15.1	16.6	8.1	9.1	6.2	8.6
	Oda 1 (GB)	To (°C)	22.5	23.4	24.0	25.7	26.5	27.3	27.7	27.7	26.8	25.5	23.8	22.9	21.8	22.6	23.2	25.1	26.1	27.1	27.7	27.7	26.6	25.0	23.2	22.2	22.0	22.7	23.2	24.9	26.0	27.1	27.8	27.9	26.8	25.2	23.4	22.5
		Rh (%)	30.0	30.8	31.5	36.0	43.5	46.7	49.1	47.2	47.4	46.2	42.6	32.6	30.2	31.3	32.1	36.8	44.3	47.0	49.2	47.2	47.8	47.2	43.6	33.0	30.2	31.2	32.2	37.1	44.6	47.2	49.2	46.9	47.6	46.9	43.2	32.9
		PMV	-0.3	-0.1	0.1	-0.2	0.1	0.4	0.6	0.6	0.2	0.6	0.1	-0.2	-0.5	-0.3	-0.1	-0.4	-0.1	0.3	0.6	0.6	0.2	0.5	0.0	-0.4	-0.4	-0.2	-0.1	-0.5	-0.1	0.3	0.6	0.6	0.2	0.5	0.0	-0.3
		PPD (%)	8.6	6.0	6.8	9.3	10.1	15.2	20.4	20.4	11.5	14.0	6.4	6.4	11.9	7.4	6.8	11.9	9.8	14.1	20.0	20.4	10.7	11.6	6.2	8.2	10.7	6.9	6.6	12.6	9.0	12.9	20.2	21.4	10.5	12.1	6.1	7.4

EK 9. 3 no'lu konut sitesinin örnek mekanlarına ait operatif sıcaklık, bağıl nem, PMV ve PPD aylık ortalama değerleri

Örnek 3 (Daire 3: 4+1 Köşe daire)			KAT 1												KAT 4												KAT 7											
Blok/Mekan		Değerlendirme endeksi	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Blok I	Mutfak (KD)	To (°C)	20.8	21.1	21.4	22.5	24.1	26.4	27.6	27.8	25.9	23.4	21.8	21.2	21.3	21.7	22.0	23.3	24.9	27.0	27.9	28.0	26.2	23.8	22.2	21.6	21.4	21.7	22.0	23.4	25.2	27.3	28.1	28.1	26.4	23.9	22.3	21.6
		Rh (%)	33.2	34.5	35.4	41.2	49.2	50.5	50.7	48.1	51.3	52.2	47.6	36.0	32.8	34.0	34.8	40.1	47.3	48.7	49.7	47.5	50.4	51.2	47.0	35.6	32.8	34.0	34.8	39.9	46.7	48.0	49.2	47.2	50.1	51.1	47.0	35.6
		PMV	-0.7	-0.6	-0.6	-1.3	-0.7	0.1	0.6	0.6	0.0	0.1	-0.4	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-1.1	-0.4	0.3	0.7	0.7	0.1	0.2	-0.3	-0.5	-0.6	-0.5	-0.4	-1.0	-0.4	0.4	0.7	0.7	0.1	0.2	-0.3	-0.5
		PPD (%)	19.6	16.0	14.3	43.4	21.9	8.4	13.2	14.9	8.5	8.3	10.0	15.6	15.7	12.3	11.0	31.9	15.0	9.7	15.6	16.3	8.3	8.9	8.5	12.5	15.7	12.3	11.0	30.2	13.7	11.4	17.2	17.3	8.4	9.2	8.5	12.5
	Salon (GD)	To (°C)	20.3	20.7	20.8	21.8	23.0	24.9	26.4	26.6	24.8	22.8	21.5	20.7	20.9	21.3	21.4	22.3	23.6	25.4	26.6	26.8	25.0	23.1	21.9	21.2	21.0	21.3	21.4	22.4	23.7	25.6	26.7	26.9	25.2	23.2	22.0	21.3
		Rh (%)	29.8	30.9	32.1	38.9	49.9	52.8	52.9	49.7	52.9	50.9	44.4	32.4	29.3	30.4	31.6	38.2	48.7	51.5	52.2	49.4	52.2	50.2	43.8	32.0	29.3	30.4	31.6	38.2	48.4	51.0	51.8	49.1	51.7	49.9	43.7	32.0
		PMV	-0.9	-0.8	-0.7	-1.6	-1.1	-0.4	0.1	0.2	-0.5	-0.1	-0.5	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	-1.4	-0.9	-0.2	0.2	0.2	-0.4	0.0	-0.4	-0.6	-0.7	-0.6	-0.6	-1.4	-0.9	-0.2	0.3	0.3	-0.3	0.0	-0.4	-0.6
		PPD (%)	24.8	20.7	19.2	55.1	34.9	11.9	8.6	9.3	12.8	8.7	12.7	20.0	20.2	16.2	15.2	47.2	27.6	9.5	9.1	9.7	11.3	8.5	10.7	16.2	20.0	15.9	15.0	45.7	25.9	9.0	9.6	10.2	10.6	8.7	10.5	16.0
	Ebeveyn yatak odası (KB)	To (°C)	20.9	21.3	21.5	22.5	24.0	26.0	27.0	27.1	25.3	23.0	21.9	21.3	21.4	21.8	22.0	23.1	24.7	26.5	27.3	27.3	25.5	23.4	22.2	21.7	21.4	21.8	22.0	23.1	24.8	26.5	27.3	27.3	25.6	23.4	22.2	21.7
		Rh (%)	29.8	30.9	32.2	39.1	49.1	50.3	51.6	49.1	52.0	51.6	44.3	32.4	29.6	30.7	32.0	38.6	47.3	48.9	50.9	48.7	51.2	51.1	44.1	32.2	29.6	30.7	32.0	38.6	47.1	48.8	50.8	48.6	51.0	51.0	44.1	32.3
		PMV	-0.7	-0.6	-0.5	-1.3	-0.8	0.0	0.4	0.4	-0.3	0.0	-0.4	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-1.1	-0.5	0.1	0.5	0.4	-0.2	0.1	-0.3	-0.5	-0.6	-0.5	-0.4	-1.1	-0.5	0.1	0.5	0.4	-0.2	0.1	-0.3	-0.5
		PPD (%)	18.0	14.0	12.2	42.6	21.2	9.0	13.2	13.7	9.1	6.4	8.5	13.6	14.3	10.8	9.6	33.5	14.6	9.9	15.5	15.1	8.3	6.6	7.3	10.9	14.3	10.8	9.6	33.1	14.1	10.0	15.8	15.3	8.3	6.6	7.3	10.9
	Oda 1 (KD)	To (°C)	21.2	21.6	21.8	22.6	23.8	25.4	26.2	26.4	24.9	23.1	22.1	21.6	21.7	22.0	22.2	23.1	24.4	25.8	26.4	26.4	25.1	23.4	22.4	22.0	21.7	22.0	22.2	23.2	24.7	26.1	26.7	26.6	25.1	23.4	22.4	22.0
		Rh (%)	30.3	31.5	32.9	39.6	49.7	51.8	53.4	50.8	52.8	51.8	44.9	33.0	30.1	31.3	32.7	39.1	48.1	50.6	52.9	50.7	52.3	51.3	44.7	32.9	30.1	31.3	32.7	39.0	47.4	49.8	52.1	50.3	52.1	51.3	44.7	32.9
		PMV	-0.6	-0.5	-0.5	-1.3	-0.8	-0.2	0.1	0.1	-0.4	0.0	-0.3	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-1.1	-0.6	-0.1	0.1	0.1	-0.4	0.1	-0.2	-0.4	-0.5	-0.4	-0.4	-1.1	-0.5	0.0	0.2	0.2	-0.3	0.1	-0.2	-0.4
		PPD (%)	15.0	11.9	10.6	41.7	22.2	8.6	8.6	9.6	10.0	6.2	7.6	11.5	11.9	9.3	8.4	32.7	15.9	8.0	9.3	9.8	9.3	6.3	6.7	9.3	11.9	9.3	8.4	31.8	14.0	8.3	10.8	10.5	9.1	6.3	6.7	9.4
Blok II	Mutfak (GD)	To (°C)	20.8	21.3	21.6	22.9	24.1	25.6	26.6	26.8	25.5	23.3	21.8	21.2	21.3	21.7	22.2	23.7	24.8	26.0	26.8	27.0	25.7	23.7	22.1	21.6	21.3	21.8	22.2	23.8	24.9	26.2	27.0	27.1	25.8	23.8	22.2	21.6
		Rh (%)	33.2	34.3	35.2	40.6	49.2	52.5	54.4	51.8	52.5	52.2	47.6	35.9	32.9	33.9	34.6	39.4	47.6	51.3	53.6	51.1	51.6	51.3	47.2	35.6	32.9	33.9	34.6	39.2	47.3	50.8	53.2	50.9	51.5	51.2	47.2	35.6
		PMV	-0.7	-0.6	-0.5	-1.2	-0.7	-0.1	0.2	0.3	-0.2	0.1	-0.4	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.9	-0.5	0.0	0.3	0.3	-0.1	0.2	-0.3	-0.5	-0.6	-0.5	-0.4	-0.9	-0.4	0.1	0.3	0.4	-0.1	0.2	-0.3	-0.5
		PPD (%)	19.1	15.2	13.2	37.4	21.9	9.9	12.6	14.3	10.7	8.4	9.9	15.0	16.0	12.2	10.7	26.9	16.0	9.8	14.3	15.8	10.2	8.9	8.7	12.5	16.0	12.1	10.6	25.5	15.0	10.4	15.3	16.4	10.1	9.1	8.7	12.5
	Salon (KD)	To (°C)	20.1	20.6	20.8	21.8	23.0	24.8	26.0	26.2	24.3	22.3	21.2	20.6	20.5	21.0	21.3	22.3	23.6	25.3	26.4	26.4	24.6	22.6	21.4	20.9	20.5	21.0	21.3	22.4	23.8	25.5	26.6	26.6	24.7	22.6	21.5	20.9
		Rh (%)	29.8	30.8	32.1	38.7	49.7	53.5	54.7	51.7	54.3	51.8	44.5	32.4	29.5	30.5	31.7	38.2	48.6	52.1	53.7	51.0	53.6	51.4	44.2	32.1	29.5	30.5	31.7	38.1	48.1	51.5	53.2	50.5	53.3	51.3	44.2	32.1
		PMV	-0.9	-0.8	-0.7	-1.6	-1.1	-0.4	0.0	0.0	-0.6	-0.2	-0.5	-0.8	-0.8	-0.7	-0.6	-1.4	-0.9	-0.3	0.1	0.1	-0.5	-0.2	-0.5	-0.7	-0.8	-0.7	-0.6	-1.4	-0.9	-0.2	0.2	0.2	-0.5	-0.1	-0.5	-0.7
		PPD (%)	25.8	21.5	19.2	54.7	34.8	13.2	9.7	10.9	16.7	8.8	13.7	20.8	22.5	18.0	16.0	47.5	28.1	10.5	10.7	11.8	14.9	8.4	12.3	18.0	22.5	18.0	15.9	45.9	25.8	10.0	11.8	12.7	14.1	8.4	12.2	18.0
	Ebeveyn yatak odası (GB)	To (°C)	21.5	22.3	22.5	23.6	24.2	25.4	26.4	26.8	25.8	24.3	22.7	22.0	22.1	23.0	23.2	24.5	24.9	25.8	26.7	27.0	26.2	24.8	23.2	22.5	22.1	23.0	23.2	24.5	24.9	25.9	26.7	27.0	26.2	24.8	23.2	22.5
		Rh (%)	29.6	30.4	31.6	37.8	48.5	51.8	53.2	49.8	50.3	48.8	43.5	32.1	29.3	29.9	31.1	36.7	47.0	50.7	52.4	49.2	49.5	47.7	42.9	31.8	29.3	29.9	31.1	36.7	46.9	50.6	52.5	49.2	49.4	47.6	42.9	31.8
		PMV	-0.6	-0.4	-0.3	-1.0	-0.7	-0.2	0.1	0.2	-0.1	0.3	-0.2	-0.4	-0.4	-0.2	-0.1	-0.7	-0.5	-0.1	0.2	0.3	0.0	0.4	0.0	-0.3	-0.4	-0.2	-0.1	-0.7	-0.5	-0.1	0.2	0.3	0.0	0.4	0.0	-0.3
		PPD (%)	14.2	9.5	9.0	27.0	18.3	9.5	11.2	14.0	11.0	9.9	7.0	9.9	11.4	7.7	7.6	17.6	13.2	9.1	12.5	15.6	11.2	11.9	6.8	8.0	11.4	7.7	7.6	17.4	13.1	9.1	12.5	15.6	11.3	11.9	6.8	8.0
	Oda 1 (GD)	To (°C)	21.3	21.7	21.9	23.0	24.0	25.3	26.1	26.2	24.8	23.2	22.2	21.7	21.7	22.1	22.4	23.6	24.5	25.6	26.3	26.3	25.1	23.5	22.4	22.0	21.8	22.1	22.4	23.6	24.6	25.7	26.3	26.4	25.1	23.6	22.4	22.0
		Rh (%)	30.2	31.4	32.8	39.2	49.3	52.2	53.9	51.5	53.2	51.8	44.9	32.9	30.1	31.3	32.6	38.6	48.0	51.2	53.3	51.1	52.5	51.1	44.7	32.8	30.1	31.3	32.6	38.5	47.9	51.1	53.2	51.0	52.3	51.1	44.7	32.8
		PMV	-0.6	-0.5	-0.4	-1.2	-0.8	-0.3	0.0	0.0	-0.4	0.0	-0.3	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-1.0	-0.6	-0.2	0.1	0.1	-0.4	0.1	-0.2	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-1.0	-0.6	-0.2	0.1	0.1	-0.4	0.1	-0.2	-0.4
		PPD (%)	14.3	11.1	9.8	35.5	19.8	9.5	8.8	9.4	11.0	6.1	7.3	10.8	11.8	8.9	8.0	26.6	14.9	8.7	9.3	9.8	9.9	6.3	6.6	9.1	11.8	8.9	8.0	25.9	14.4	8.7	9.5	9.9	9.7	6.3	6.5	9.1
Blok III	Mutfak (KD)	To (°C)	20.9	21.3	21.4	22.8	24.3	26.1	26.9	26.9	25.5	23.5	22.0	21.3	21.6	21.9	22.2	23.9	25.3	26.5	27.2	27.2	26.0	24.2	22.7	21.9	21.7	22.4	22.9	25.0	25.9	26.8	27.5	27.6	26.6	25.0	23.1	22.0
		Rh (%)	33.3	34.4	35.4	40.7	48.7	51.2	53.5	51.1	52.5	51.8	47.3	36.0	32.7	33.9	34.6	39.0	46.5	49.9	52.6	50.4	51.0	50.3	46.2	35.5	32.6	33.4	33.9	37.4	45.1	49.1	51.7	49.2	49.3	48.2	45.6	35.4
		PMV	-0.7	-0.6	-0.5	-1.2	-0.6	0.0	0.3	0.3	-0.2	0.1	-0.3	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.8	-0.3	0.2	0.4	0.4	0.0	0.3	-0.1	-0.4	-0.5	-0.3	-0.2	-0.5	-0.1	0.2	0.5	0.6	0.2	0.5	-0.1	-0.4
		PPD (%)	19.4	15.3	14.2	39.1	19.7	10.0	14.4	15.3	10.4	8.8	9.7	14.9	14.6	11.3	10.5	24.3	13.5	11.6	17.4	17.7	10.4	10.2	8.3	11.3	14.2	10.2	9.8	16.3	12.3	13.6	15.5	16.0	13.0	14.6	8.6	11.0
	Salon (KB)	To (°C)	19.9	20.5	20.8	22.1	23.7	25.6	26.6	26.7	24.7	22.4	21.2	20.5	20.6	21.1	21.4	22.8	24.4	26.0	26.9	26.8	25.0	22.8	21.5	21.0	20.7	21.2	21.6	23.2	24.7	26.2	27.0	27.1	25.4	23.1	21.6	21.0
		Rh (%)	30.0	31.0	32.2	38.4	48.4	51.3	53.0	50.3	53.4	51.7	44.6	32.6	29.4	30.5	31.6	37.5	46.9	50.2	52.4	49.9	52.5	51.0	44.2	32.1	29.4	30.4	31.5	36.8	46.1	49.9	52.1	49.4	51.3	50.2	44.1	32.1
		PMV	-0.9	-0.8	-0.7	-1.5	-0.9	-0.2	0.2	0.2	-0.5	-0.2	-0.6	-0.8	-0.8	-0.7	-0.6	-1.3	-0.7	0.0	0.3	0.3	-0.4	-0.1	-0.5	-0.7	-0.8	-0.6	-0.5	-1.1	-0.5	0.0	0.3	0.3	-0.2	0.0	-0.4	-0.7
		PPD (%)	27.2	22.3	19.8	50.6	27.6	10.7	12.8	13.6	14.7	9.0	14.2	21.9	22.0	17.6	15.4	40.4	20.9	10.6	14.6	14.8	12.7	8.4	11.8	17.6	21.7	16.7	14.4	34.1	18.2	10.9	16.0	17.1	11.5	8.6	11.4	17.4
	Ebeveyn yatak odası (GD)	To (°C)	21.2	21.8	22.0	23.3	24.3	25.6	26.7	27.2	25.8	24.0	22.5	21.7	22.0	22.5	22.7	24.1	24.9	25.9	26.8	27.3	26.1	24.5	23.2	22.3	22.0	22.5	22.8	24.2	25.0	25.9	26.9	27.3	26.1	24.6	23.2	22.3
		Rh (%)	29.7	30.7	32.0	38.3	48.2	51.3	52.4	48.8	50.6	49.6	43.7	32.3	29.3	30.3	31.5	37.2	46.9	50.6	52.1	48.5	49.8	48.4	42.9	32.0	29.3	30.3	31.5	37.1	46.7	50.5	52.1	48.5	49.6	48.2	42.8	32.0
		PMV	-0.6	-0.5	-0.4	-1.1	-0.7	-0.2	0.2	0.4	-0.1	0.2	-0.2	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.8	-0.5	-0.1	0.3	0.4	0.0	0.3	0.0	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.8	-0.4	-0.1	0.3	0.4	0.0	0.4	0.0	-0.4
		PPD (%)	16.0	11.4	10.4	31.5	17.8	8.5	12.1	15.9	10.1	8.8	7.4	11.7	11.6	8.3	7.9	20.9	13.1	8.3	12.7	16.7	10.3	10.4	6.9	8.7	11.6	8.3	7.9	19.9	12.5	8.3	12.9	17.0	10.4	10.6	6.9	8.7
	Oda 1 (KD)	To (°C)	21.4	21.8	21.9	22.7	23.8	25.2	26.0	26.2	24.9	23.5	22.4	21.9	22.2	22.5	22.5	23.5	24.4	25.5	26.2	26.4	25.2	24.0	23.0	22.5	22.2	22.7	22.9	24.2	24.9	25.7	26.5	26.7	25.8	24.5	23.2	22.5
		Rh (%)	30.2	31.4	32.8	39.5	49.7	52.6	54.2	51.5	53.0	51.2	44.6	32.9	29.9	31.1	32.6	38.6	48.3	51.7	53.7	51.1	52.0	50.0	43.9	32.6	29.9	31.0	32.2	37.6	47.2	51.0	52.9	50.1	50.1	48.6	43.7	32.6
		PMV	-0.6	-0.5	-0.4	-1.3	-0.8	-0.3	0.0	0.0	-0.4	0.1	-0.2	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-1.0	-0.6	-0.2	0.1	0.1	-0.3	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.3	-0.2	-0.7	-0.5	-0.1	0.2	0.2	-0.1	0.3	0.0	-0.3
		PPD (%)	13.9	10.5	10.2	39.3	21.7	9.2	8.2	9.2	10.6	6.4	6.9	10.0	10.1	7.8	7.7	26.9	15.6	8.4	8.7	9.9	9.4	7.1	6.2	7.5	10.0	7.3	7.0	18.5	12.3	8.4	10.3	12.2	9.1	9.3	6.2	7.5
Blok IV	Mutfak (KB)	To (°C)	20.7	21.2	21.3	22.4	23.9	25.8	26.7	26.7	25.2	23.2	21.8	21.2	21.4	21.8	22.0	23.2	24.8	26.3	27.0	26.9	25.5	23.8	22.4	21.8	21.4	21.9	22.2	24.0	25.7	26.9	27.6	27.4	25.9	24.1	22.4	21.8
		Rh (%)	33.2	34.4	35.4	41.2	49.7	52.0	53.9	51.9	53.4	52.5	47.6	35.9	32.7	33.9	34.8	40.0	47.6	50.5	53.0	51.2	52.4	51.3	46.7	35.4	32.7	33.8	34.6	38.9	45.6	49.0	51.4	49.9	51.1	50.6	46.7	35.4
		PMV	-0.7	-0.6	-0.6	-1.4	-0.8	-0.1	0.3	0.3	-0.3	0.0	-0.4	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-1.1	-0.5	0.1	0.4	0.3	-0.2	0.2	-0.2	-0.5	-0.6	-0.4	-0.4	-0.8	-0.2	0.3	0.6	0.5	-0.1	0.2	-0.2	-0.5
		PPD (%)	20.2	15.8	14.6	44.4	23.7	9.7	13.0	13.3	10.8	8.1	10.1	15.4	15.3	11.7	11.0	32.2	16.1	10.7	15.5	15.1	9.8	8.6	8.3	11.6	15.2	11.5	10.5	23.8	13.3	14.6	15.2	14.9	9.8	9.5	8.2	11.6
	Salon (GB)	To (°C)	20.3	21.0	21.0	21.9	23.1	25.0	26.2	26.4	24.8	23.0	21.6	21.0	21.1	21.8	21.7	22.5	23.7	25.4	26.4	26.6	25.2	23.5	22.2	21.6	21.1	21.8	21.8	22.9	24.2	25.9	26.8	26.9	25.5	23.7	22.3	21.7
		Rh (%)	29.7	30.6	32.0	38.6	49.6	53.0	54.3	51.1	52.9	50.5	44.1	32.3	29.1	29.9	31.4	37.8	48.2	51.8	53.6	50.6	52.0	49.4	43.2	31.7	29.1	29.9	31.3	37.3	47.2	50.6	52.6	49.9	51.1	48.9	43.1	31.6
		PMV	-0.9	-0.7	-0.7	-1.6	-1.1	-0.4	0.1	0.1	-0.4	0.0	-0.4	-0.7	-0.7	-0.5	-0.5	-1.3	-0.9	-0.2	0.2	0.2	-0.3	0.1	-0.3	-0.5	-0.7	-0.5	-0.5	-1.2	-0.7	-0.1	0.3	0.3	-0.2	0.1	-0.3	-0.5
		PPD (%)	24.7	18.9	18.4	52.8	34.1	12.2	10.2	11.7	13.6	9.0	12.3	18.8	19.2	13.9	14.0	43.5	26.4	10.2	11.4	12.9	11.8	9.0	10.0	14.2	19.0	13.7	13.5	37.9	21.7	9.9	13.8	15.0	11.1	9.6	9.9	14.1
	Ebeveyn yatak odası (KD)	To (°C)	20.7	21.2	21.5	22.5	23.8	25.4	26.4	26.5	24.5	22.7	21.8	21.2	21.4	21.8	22.0	23.0	24.3	25.7	26.6	26.6	24.7	23.1	22.2	21.7	21.4	21.8	22.0	23.0	24.4	25.7	26.6	26.7	24.8	23.1	22.2	21.7
		Rh (%)	29.8	30.9	32.2	39.1	49.4	51.9	53.1	50.4	54.4	52.2	44.3	32.5	29.6	30.7	32.0	38.8	48.3	51.1	52.8	50.2	53.7	51.8	44.1	32.2	29.6	30.7	32.0	38.7	48.2	51.1	52.8	50.1	53.5	51.7	44.1	32.2
		PMV	-0.7	-0.6	-0.5	-1.3	-0.9	-0.2	0.2	0.2	-0.5	-0.1	-0.4	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-1.2	-0.7	-0.2	0.2	0.2	-0.5	0.0	-0.3	-0.5	-0.6	-0.5	-0.4	-1.2	-0.7	-0.1	0.2	0.2	-0.5	0.0	-0.3	-0.5
		PPD (%)	19.1	14.5	12.6	43.3	23.3	8.8	9.8	10.9	13.0	6.3	8.8	14.2	14.4	10.9	9.7	35.3	17.8	8.3	10.5	11.3	11.7	6.1	7.4	10.9	14.4	10.9	9.7	34.6	17.2	8.2	10.5	11.4	11.4	6.1	7.4	10.9
	Oda 1 (KB)	To (°C)	21.1	21.5	21.7	22.7	24.0	25.4	26.4	26.5	24.7	22.9	22.0	21.5	21.7	22.0	22.2	23.4	24.6	25.7	26.6	26.7	24.9	23.2	22.3	22.0	21.7	22.1	22.4	23.9	24.9	25.8	26.7	27.0	25.3	23.5	22.4	22.0
		Rh (%)	30.3	31.5	32.9	39.4	49.2	51.8	53.1	50.5	53.8	52.4	45.0	33.0	30.1	31.3	32.7	38.7	47.7	50.9	52.6	50.1	53.1	51.9	44.8	32.8	30.1	31.3	32.6	38.0	47.0	50.7	52.3	49.3	51.7	51.3	44.7	32.8
		PMV	-0.7	-0.6	-0.5	-1.3	-0.8	-0.2	0.1	0.2	-0.5	-0.1	-0.3	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-1.0	-0.6	-0.1	0.2	0.2	-0.4	0.0	-0.2	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-0.9	-0.5	-0.1	0.2	0.3	-0.3	0.1	-0.2	-0.4
		PPD (%)	16.1	12.3	10.9	39.1	19.9	8.6	9.3	10.4	12.0	6.1	7.9	11.9	12.0	9.4	8.5	29.0	14.2	8.1	10.3	11.2	10.8	6.0	6.8	9.3	12.0	9.2	8.0	22.8	12.2	8.1	11.1	13.4	9.4	6.4	6.7	9.3

EK 10. Örnek 1, Örnek 2 ve Örnek 3'e ait adaptif konfor sonuçları

Örnek 1			1. KAT								3. KAT								5. KAT							
Blok/Mekan		Değerlendirme endeksi	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım
Blok I	Mutfak	To (°C)	23.5	26.4	29.3	31.4	32.0	27.9	23.9	19.8	24.0	26.8	29.7	31.8	32.4	28.2	24.3	20.1	23.1	25.9	29.0	31.2	31.9	27.7	23.8	19.5
	Salon	To (°C)	22.0	25.1	28.1	30.3	30.9	26.7	22.6	18.1	22.5	25.5	28.5	30.7	31.3	27.0	23.0	18.4	21.7	24.9	28.0	30.2	30.9	26.5	22.5	17.9
	E. yatak odası	To (°C)	22.3	25.3	28.3	29.8	30.1	27.2	23.3	18.8	22.7	25.7	28.7	30.1	30.4	27.5	23.6	19.0	22.3	25.4	28.5	30.1	30.4	27.2	23.2	18.5
	Oda 1	To (°C)	24.1	26.8	29.6	30.8	31.0	28.3	24.3	19.5	24.5	27.2	29.9	31.1	31.3	28.6	24.6	19.7	23.9	26.8	29.7	31.0	31.2	28.3	24.2	19.1
Blok II	Mutfak	To (°C)	22.7	24.9	27.6	29.7	30.7	27.8	24.6	20.7	24.4	26.4	28.9	31.1	32.2	29.0	25.8	22.0	23.0	25.4	28.3	30.5	31.5	27.9	24.6	20.9
	Salon	To (°C)	21.1	23.7	26.5	28.6	29.5	26.4	23.1	19.1	22.7	25.2	28.0	30.2	31.0	27.6	24.2	20.3	21.8	24.5	27.6	29.8	30.7	26.9	23.3	19.2
	E. yatak odası	To (°C)	20.9	24.0	26.9	28.5	28.9	26.2	22.7	18.6	22.6	25.9	29.0	30.4	30.5	27.4	23.7	19.5	22.3	25.6	28.8	30.4	30.7	27.3	23.3	18.9
	Oda 1	To (°C)	21.0	24.2	27.3	28.7	28.9	25.9	22.4	18.2	22.3	25.6	28.7	29.8	30.0	26.8	23.2	18.9	22.1	25.5	28.6	29.9	30.1	26.7	22.9	18.4
Blok III	Mutfak	To (°C)	24.6	26.4	29.0	31.0	31.9	29.0	25.8	21.7	25.1	26.8	29.3	31.3	32.3	29.4	26.1	22.1	23.6	25.7	28.6	30.7	31.6	28.3	24.9	20.9
	Salon	To (°C)	23.7	25.6	28.2	30.4	31.3	28.4	24.8	20.1	24.3	26.1	28.6	30.7	31.8	28.8	25.5	20.9	22.7	24.9	27.7	29.9	31.0	27.8	24.4	20.1
	E. yatak odası	To (°C)	24.3	26.5	29.0	30.7	31.6	29.3	25.4	20.2	24.8	27.0	29.4	31.0	31.9	29.7	26.2	21.5	23.8	26.2	28.9	30.6	31.6	29.0	25.3	20.9
	Oda 1	To (°C)	22.9	25.8	28.5	30.0	30.5	27.4	23.8	19.2	23.3	26.2	28.8	30.3	30.8	27.6	24.2	19.7	22.8	25.9	28.7	30.3	30.7	27.3	23.6	19.1
Blok IV	Mutfak	To (°C)	22.6	24.9	27.7	29.7	30.6	27.3	24.1	20.4	22.8	25.3	28.1	30.0	30.8	27.4	24.3	20.6	22.5	25.2	28.2	30.3	31.0	27.3	23.8	19.8
	Salon	To (°C)	21.7	24.3	27.1	29.2	30.0	26.6	23.1	18.9	22.1	24.7	27.6	29.6	30.3	26.8	23.3	19.0	21.6	24.5	27.5	29.7	30.3	26.6	22.8	18.4
	E. yatak odası	To (°C)	24.0	26.3	28.9	30.4	30.9	28.7	24.9	20.3	24.4	26.7	29.4	30.8	31.2	29.0	25.2	20.5	23.8	26.4	29.3	30.8	31.2	28.7	24.7	19.9
	Oda 1	To (°C)	24.9	26.1	28.3	29.8	31.0	29.6	26.9	22.7	25.3	26.5	28.6	30.0	31.2	29.9	27.2	22.9	24.7	26.2	28.4	30.1	31.2	29.6	26.6	22.1

Örnek 2			1. KAT								3. KAT								5. KAT							
Blok/Mekan		Değerlendirme endeksi	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım
Blok I	Mutfak	To (°C)	24.2	26.3	28.9	30.6	31.3	28.2	25.6	22.4	23.6	25.4	27.7	29.4	30.0	27.2	24.7	21.9	24.5	26.9	29.8	31.8	32.5	29.0	25.8	22.3
	Salon	To (°C)	22.0	24.3	27.1	29.1	29.9	26.8	24.1	20.0	21.8	23.7	26.2	28.0	28.7	26.0	23.3	19.8	22.4	25.2	28.3	30.4	31.2	27.6	24.3	20.4
	E. yatak odası	To (°C)	21.7	24.4	27.3	28.7	29.2	26.5	23.4	19.4	21.4	23.7	26.3	27.6	28.0	25.6	22.8	19.4	22.6	25.5	28.6	30.2	30.7	27.7	24.1	19.8
	Oda 1	To (°C)	23.2	25.7	28.3	29.4	29.8	27.3	24.5	20.8	22.6	24.8	27.1	28.2	28.6	26.2	23.7	20.6	23.7	26.4	29.2	30.6	31.1	28.3	25.0	21.0
Blok II	Mutfak	To (°C)	25.3	27.3	29.8	31.5	32.3	28.9	25.8	22.2	24.5	26.4	28.7	30.4	31.0	27.9	24.9	21.7	25.1	27.3	30.1	32.1	32.9	29.4	26.1	22.3
	Salon	To (°C)	22.7	25.2	27.9	29.9	30.6	27.1	23.5	19.4	22.4	24.6	27.1	28.9	29.6	26.2	23.0	19.3	23.0	25.7	28.8	30.9	31.6	27.9	24.2	19.9
	E. yatak odası	To (°C)	23.1	26.0	28.8	30.1	30.6	27.5	23.7	19.4	22.7	25.3	27.8	29.2	29.6	26.6	23.2	19.4	23.0	26.0	29.0	30.6	31.2	28.1	24.3	19.9
	Oda 1	To (°C)	25.4	28.0	30.3	31.5	31.9	28.9	25.4	21.3	24.5	26.9	29.1	30.3	30.7	27.8	24.6	21.0	24.6	27.3	30.0	31.4	32.0	29.0	25.5	21.3
Blok III	Mutfak	To (°C)	25.4	26.9	29.3	31.0	31.9	29.1	26.7	23.6	24.5	26.0	28.2	29.9	30.6	28.0	25.7	22.8	25.0	27.1	30.0	31.9	32.7	29.3	26.4	23.0
	Salon	To (°C)	22.5	24.8	27.5	29.5	30.2	27.0	24.1	20.3	22.0	24.0	26.5	28.3	29.0	26.0	23.4	20.1	22.8	25.4	28.5	30.7	31.4	27.8	24.4	20.4
	E. yatak odası	To (°C)	24.4	26.1	28.4	29.7	30.6	28.9	26.2	22.2	23.4	25.0	27.2	28.5	29.3	27.6	25.2	21.7	23.3	25.9	28.9	30.5	31.1	28.4	25.2	21.5
	Oda 1	To (°C)	26.9	27.6	29.3	30.4	31.5	30.7	28.8	25.1	25.7	26.4	28.1	29.3	30.3	29.3	27.4	24.1	24.5	26.7	29.3	30.7	31.4	29.1	26.9	23.7
Blok IV	Mutfak	To (°C)	25.6	27.4	29.9	31.6	32.3	29.1	26.2	22.7	24.6	26.6	29.2	31.0	31.7	28.4	25.4	21.6	25.2	27.3	30.1	32.1	32.9	29.4	26.2	22.5
	Salon	To (°C)	23.3	25.6	28.2	30.2	31.2	27.7	24.6	20.4	22.7	25.0	27.8	29.9	30.7	27.2	23.9	19.4	23.2	25.8	28.8	30.9	31.8	28.0	24.6	20.5
	E. yatak odası	To (°C)	25.2	27.1	29.5	30.6	31.2	29.3	26.1	21.5	24.2	26.3	28.9	30.2	30.8	28.7	25.2	20.3	23.8	26.4	29.2	30.7	31.3	28.8	25.4	21.2
	Oda 1	To (°C)	26.7	28.6	30.7	31.5	31.8	29.9	26.9	22.4	25.5	27.6	30.0	30.9	31.3	29.1	25.9	21.3	25.3	27.6	30.1	31.4	31.9	29.5	26.2	22.0

Örnek 3			1. KAT								3. KAT								5. KAT							
Blok/Mekan		Değerlendirme endeksi	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım
Blok I	Mutfak	To (°C)	21.6	24.1	27.0	28.7	29.3	26.1	23.0	19.7	21.7	24.7	28.0	29.8	30.4	27.0	23.5	19.5	21.9	25.1	28.4	30.2	30.8	27.2	23.6	19.5
	Salon	To (°C)	20.3	22.9	25.8	27.8	28.5	25.2	22.2	19.0	20.2	23.3	26.6	28.7	29.5	25.9	22.7	18.9	20.5	23.6	26.9	29.0	29.8	26.2	22.9	19.0
	E. yatak odası	To (°C)	21.2	24.3	27.3	28.6	28.8	26.0	22.5	18.7	21.2	24.9	28.4	29.8	30.0	27.0	22.9	18.3	21.2	25.1	28.6	30.0	30.1	27.1	23.0	18.2
	Oda 1	To (°C)	21.3	23.9	26.6	28.0	28.5	25.9	22.8	19.4	21.3	24.5	27.6	29.0	29.5	26.6	23.3	19.0	21.3	24.8	28.1	29.4	29.7	26.8	23.3	19.0
Blok II	Mutfak	To (°C)	22.5	24.6	27.1	29.0	29.7	26.7	23.4	19.7	22.7	25.2	28.1	30.2	31.0	27.7	23.8	19.3	22.9	25.5	28.5	30.5	31.2	27.9	23.9	19.4
	Salon	To (°C)	20.5	23.1	25.9	28.0	28.6	25.1	21.8	18.1	20.3	23.5	26.8	29.0	29.7	25.8	21.9	17.4	20.5	23.8	27.1	29.4	30.0	26.0	22.0	17.4
	E. yatak odası	To (°C)	23.8	25.3	27.5	28.9	29.8	28.4	25.5	21.4	24.4	26.3	28.8	30.3	31.3	29.9	26.6	21.5	24.4	26.3	28.8	30.4	31.4	30.0	26.7	21.5
	Oda 1	To (°C)	22.3	24.5	26.9	28.3	28.9	26.4	23.3	19.7	22.6	25.3	28.0	29.5	30.1	27.5	23.9	19.4	22.7	25.5	28.3	29.7	30.3	27.7	24.1	19.4
Blok III	Mutfak	To (°C)	22.1	24.6	27.5	29.3	29.9	26.6	23.5	20.5	22.8	25.7	28.8	30.6	31.2	27.9	24.3	20.4	24.4	26.8	29.4	31.3	32.1	29.1	25.6	21.1
	Salon	To (°C)	20.8	23.8	26.8	28.8	29.2	25.4	21.8	18.2	21.2	24.5	27.8	29.9	30.4	26.3	22.2	17.8	22.1	25.2	28.2	30.3	30.9	27.1	23.0	18.2
	E. yatak odası	To (°C)	23.2	25.3	27.7	29.4	30.4	28.2	24.9	21.3	23.7	26.2	28.8	30.6	31.8	29.7	26.0	21.6	23.9	26.5	29.0	30.8	32.0	30.0	26.2	21.7
	Oda 1	To (°C)	21.6	24.0	26.6	28.1	28.7	26.2	23.6	20.6	22.3	25.0	27.7	29.2	30.0	27.5	24.4	20.7	23.8	26.0	28.3	29.8	30.8	28.9	25.8	21.3
Blok IV	Mutfak	To (°C)	20.2	23.6	27.3	29.5	30.1	26.4	22.8	18.6	21.6	24.9	28.4	30.4	30.8	27.0	23.7	19.7	22.9	26.2	29.4	31.4	31.7	27.8	24.1	19.9
	Salon	To (°C)	19.4	22.4	26.0	28.4	29.2	25.8	22.5	18.4	20.7	23.6	26.9	29.1	29.9	26.5	23.5	19.5	21.6	24.3	27.5	29.7	30.4	27.0	23.8	19.6
	E. yatak odası	To (°C)	19.7	23.7	27.4	29.4	29.9	26.3	22.0	17.2	20.9	24.8	28.3	30.0	30.4	27.0	22.8	18.1	21.2	25.1	28.4	30.1	30.5	27.2	23.0	18.2
	Oda 1	To (°C)	19.9	23.5	27.0	28.9	29.5	26.0	22.3	17.9	21.2	24.8	28.0	29.6	30.0	26.6	23.1	18.8	22.5	25.9	28.6	30.3	30.9	27.6	23.7	19.1

EK 11. Örnek 1'e ait konut mekanlarının gün ışığı performans sonuçları

ÖRNEK 1			1. KAT				3. KAT				5. KAT			
			ADF	sDA	ASE	UDI	ADF	sDA	ASE	UDI	ADF	sDA	ASE	UDI
BLOK I	Daire 1	E.Yatak Odası	1.65	33.3	0	96.2	1.86	37.8	0	97	2.04	56.3	0	97
		Mutfak	1.67	38.8	3.4	66.8	1.86	43.3	5.6	71.3	1.32	47.2	2.2	88.7
		Oda 1	1.66	71.4	19.5	96.1	1.67	75.3	19.5	96.1	1.82	83.1	20.8	96.1
		Oda 2	2.63	100	30.1	88.3	2.65	100	30.1	87.3	2.76	100	31.1	87.3
		Oda 3	1.79	66.4	17.6	93.1	1.8	71.8	17.6	93.1	1.88	84	17.6	93.1
		Salon	1.45	28.9	3.1	94.7	1.59	37	3.6	97.8	1.3	46.1	0	100
	Daire 2	E.Yatak Odası	1.89	100	20.7	90.3	1.92	99.3	20.7	90.3	1.88	100	23	90.3
		Mutfak	1.7	45.1	2.3	73.7	1.9	49.7	5.1	79.4	1.35	53.7	1.7	94.2
		Oda 1	1.6	58	18.5	96.2	1.61	60.5	18.5	97.5	1.74	76.5	19.8	96.2
		Oda 2	2.62	100	28.2	87.3	2.64	100	28.2	87.3	2.78	100	28.2	87.3
		Oda 3	1.85	71	21.4	93.8	1.86	79.4	21.4	93.1	1.93	90.1	21.4	93.1
		Salon	1.28	53.6	3.5	96.7	1.46	62.9	6.3	96.7	1.25	62.4	4.4	99
BLOK II	Daire 1	E.Yatak Odası	1.63	36.6	0	98.4	1.77	40.5	0	98.4	1.92	56.5	0	98.4
		Mutfak	1.49	41.2	13.5	75.8	1.66	47.1	15.3	83.5	1.27	50.6	12.9	95.8
		Oda 1	1.77	46.8	2.6	100	1.78	50.6	2.6	100	1.95	57.1	2.6	100
		Oda 2	2.91	77.2	2	95	2.92	84.2	2	95	3.07	99	4	93
		Oda 3	1.89	39.7	0.8	96.9	1.9	45	0.8	97.7	1.98	49.6	0.8	97.7
		Salon	1.27	35.2	7.7	96.6	1.47	48.6	9.6	97.1	1.25	62.2	10	99.2
	Daire 2	E.Yatak Odası	0.71	23.7	0	84.7	0.93	34.4	2.3	97.7	1.47	52.7	15.3	93.8
		Mutfak	1.5	47.6	13.5	84.7	1.67	53.5	13.5	90	1.24	56.5	12.9	97.6
		Oda 1	1.84	44.6	0	100	1.86	48.6	0	98.6	2.03	58.1	0	98.6
		Oda 2	2.87	78.2	4	94	2.91	83.2	4	93	3.05	94.1	4	93
		Oda 3	1.91	42.7	0.8	96.9	1.94	45.8	0.8	96.9	2.01	55	3.1	96.9
		Salon	1.32	61.1	10.1	93.7	1.47	73.1	10.3	93.2	1.24	73.6	11.5	95.9
BLOK III	Daire 1	E.Yatak Odası	1.36	56.8	10.6	96.2	1.54	71.2	13.6	94.6	1.81	86.4	18.9	90.9
		Mutfak	1.46	43.9	17	76.6	1.61	48	20.5	84.7	1.22	52.6	19.9	95.9
		Oda 1	1.79	45.3	0	100	1.8	49.3	0	100	1.96	57.3	0	98.6
		Oda 2	2.71	74.7	0	95.9	2.71	75.8	0	95.9	2.86	94.9	0	95.9
		Oda 3	1.93	40	0	98.4	1.95	44.6	0	97.6	2.01	53.1	0	96.9
		Salon	1.38	47	15.1	97.3	1.53	61.9	15.8	97.1	1.27	73.1	15.8	98.3
	Daire 2	E.Yatak Odası	1.86	44.7	0	97.7	1.93	54.5	3	98.4	1.91	72.7	3.8	98.4
		Mutfak	1.46	38.5	15.4	68.8	1.61	45	19.5	82.2	1.2	52.1	18.3	97
		Oda 1	1.89	47.4	0	98.6	1.9	51.3	0	98.6	2.07	53.9	0	97.3
		Oda 2	2.72	72.7	0	96.9	2.72	77.8	0	96.9	2.86	94.9	0	94.9
		Oda 3	1.76	36.9	0	97.6	1.76	40.8	0	96.9	1.85	47.7	0	97.6
		Salon	1.2	47.1	8.4	96.1	1.35	59.3	9.1	96.4	1.18	61.2	11.5	97.8
BLOK IV	Daire 1	E.Yatak Odası	1.64	77	20.9	94.9	1.8	80.6	20.9	94.2	1.94	95	22.3	92.8
		Mutfak	1.54	32.6	0	64.6	1.71	40.9	0	72.3	1.26	45.3	0	87.8
		Oda 1	1.74	90.1	17.3	90.1	1.74	92.6	17.3	90.1	1.93	93.8	22.2	90.1
		Oda 2	2.84	100	32.4	78	2.86	100	32.4	77.1	3.03	100	33.3	77.1
		Oda 3	1.8	95.6	18.4	88.9	1.83	95.6	18.4	88.9	1.89	99.3	18.4	88.2
		Salon	1.35	37.7	2.1	97.9	1.52	44.7	2.1	96.9	1.28	49.3	2.6	99.7
	Daire 2	E.Yatak Odası	1.04	39.6	5	95.6	1.28	48.2	6.5	96.4	1.68	66.2	9.4	95.6
		Mutfak	1.64	33.9	0	65.5	1.8	38.9	0	73.8	1.29	43.9	0	87.7
		Oda 1	1.68	89.2	15.7	93.9	1.69	91.6	15.7	92.7	1.84	95.2	21.7	89.1
		Oda 2	2.85	100	31.4	78	2.91	100	31.4	78	2.94	100	33.3	76.1
		Oda 3	2.05	96.3	21.3	86.7	2.08	97.8	21.3	86.7	2.14	97.8	22.8	86
		Salon	1.39	33.6	0.7	94.4	1.57	41.3	0.9	97.9	1.28	46.2	0.9	99.5

EK 12. Örnek 2'ye ait konut mekanlarının gün ışığı performans sonuçları

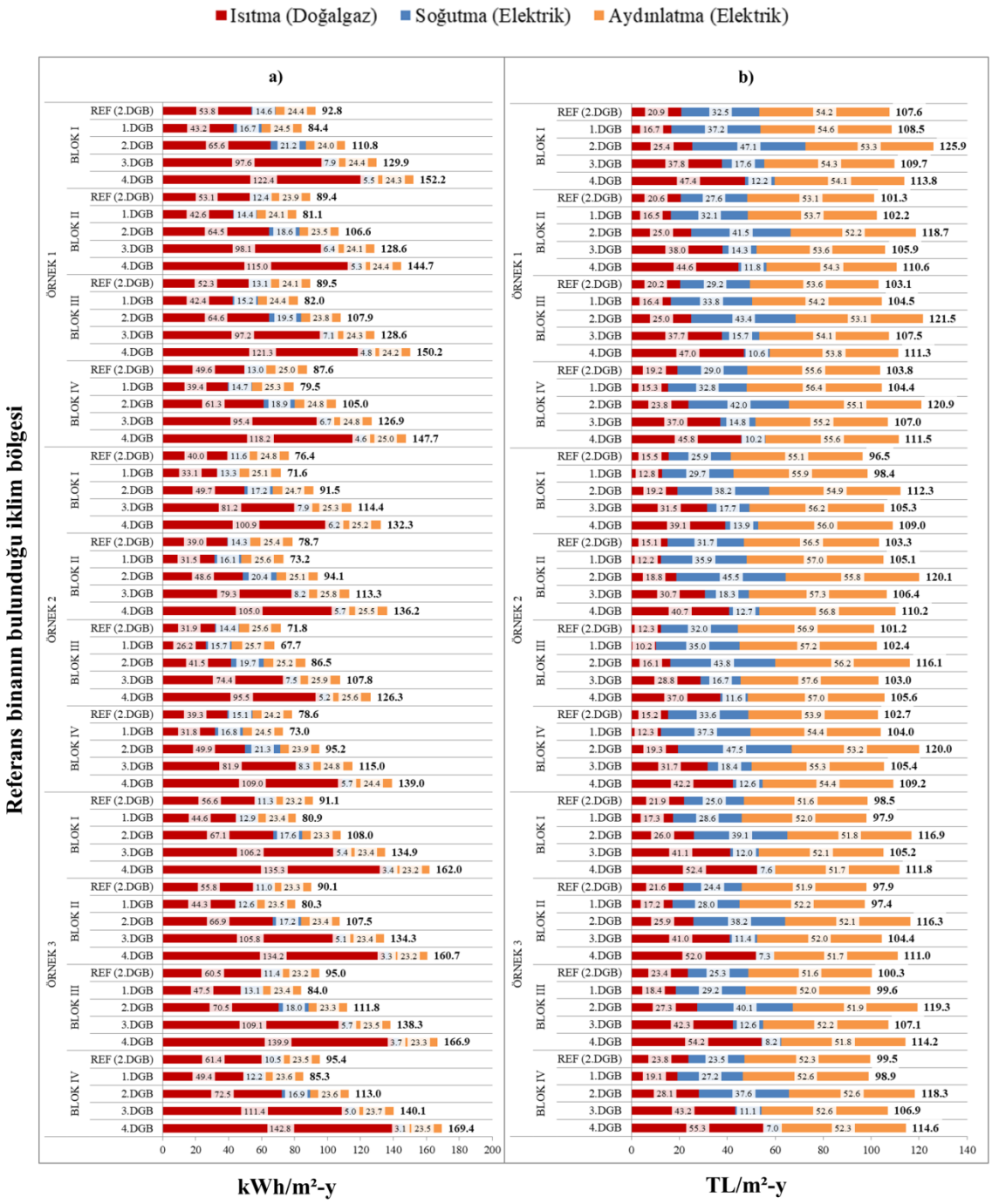
ÖRNEK 2			1. KAT				3. KAT				5. KAT			
			ADF	sDA	ASE	UDI	ADF	sDA	ASE	UDI	ADF	sDA	ASE	UDI
BLOK I	Daire 1	E.Yatak Odası	1.54	43.1	0.4	99.1	1.48	38.7	0	98.6	1.18	58.7	3.6	99.1
		Mutfak	0.3	4.2	0	48.1	0.25	0	0	27.7	0.32	9	0	85.5
		Oda 1	2.52	68.1	0	97.4	2.54	64.7	0	97.4	1.58	60.3	0	100
		Oda 2	2.5	65.1	0	96.1	2.48	62	0	96.1	1.56	55.8	0	100
		Salon	1.02	35.3	6.9	94.4	0.92	30.2	5.5	92.9	0.79	50.1	5.8	100
	Daire 2	E.Yatak Odası	1.73	46.1	0.5	98.6	1.63	38.2	0	98.6	1.3	71	1.4	99.5
		Mutfak	0.35	12.2	0	63.4	0.3	4.9	0	39.6	0.34	8.5	0	90.8
		Oda 1	3.05	72.8	0	93.2	3.01	71.8	0	94.1	1.81	68.9	0	100
		Oda 2	2.64	64.1	0	94.5	2.65	57.8	0	95.3	1.59	56.3	0	98.4
		Salon	1.29	32.1	8.3	94.1	1.18	22.5	8.3	81.1	0.92	48.5	3.8	99.5
BLOK II	Daire 1	E.Yatak Odası	2.03	42.5	2.6	98.9	2.17	54.9	2.6	97.4	1.28	55.4	0	99.4
		Mutfak	0.31	0.6	0	35.6	0.36	4.1	0	52	0.31	4.1	0	65.4
		Oda 1	2.62	71.6	9.8	93.1	2.63	73.5	9.8	93.1	1.66	65.7	1	99
		Oda 2	2.48	54.9	4.4	94.6	2.48	60.2	4.4	94.6	1.55	48.7	0	99.1
		Salon	1.08	17.7	8.6	82.7	1.19	25.1	9.3	94.8	0.85	35.1	4.7	100
	Daire 2	E.Yatak Odası	2.1	48.3	11.8	96.5	2.19	61.1	12.8	96	1.27	68.5	4.9	99
		Mutfak	0.28	0.6	0	28.9	0.33	3	0	47.3	0.31	5.9	0	70.4
		Oda 1	2.59	66.7	5.1	94.9	2.61	73.7	5.1	94.9	1.67	64.6	1	98.9
		Oda 2	2.35	65.4	9.6	94.2	2.37	68.3	9.6	95.1	1.53	62.5	1	100
		Salon	0.97	14.4	7.4	64.3	1.14	21.4	9.3	78.5	0.8	35	7.2	99
BLOK III	Daire 1	E.Yatak Odası	1.96	36.9	16.1	92.1	2.47	48.8	19.8	90.3	1.46	84.8	10.6	97.2
		Mutfak	0.29	0	0	18.1	0.41	2.3	0	54.3	0.36	1.8	0	67.8
		Oda 1	3.14	99.1	30.2	80.1	3.12	100	30.2	80.1	1.94	98.3	24.1	88.7
		Oda 2	2.77	96.9	24	82.9	2.77	98.5	24	83.7	1.69	95.3	17.1	89.9
		Salon	1.24	22.1	0	77.8	1.38	28.9	0	98.2	0.96	37.3	0	99.7
	Daire 2	E.Yatak Odası	1.5	63.6	12.6	92.9	1.64	77.1	13.1	91.5	1.13	82.2	9.3	98.5
		Mutfak	0.3	0	0	23.4	0.39	2.7	0	49.1	0.35	0.5	0	66.1
		Oda 1	2.31	100	23.4	85	2.34	100	23.4	85	1.53	100	15.9	93.4
		Oda 2	2.13	99.1	23.4	87.5	2.15	100	23.4	87.8	1.49	98.1	16.8	94.3
		Salon	1.18	20.6	0	79.7	1.28	26.9	0	97	0.86	28	0	99.7
BLOK IV	Daire 1	E.Yatak Odası	2.17	62.5	19.5	94	2.31	76.5	21.5	94	1.31	81.5	14.5	98.5
		Mutfak	0.4	4.6	0	63	0.43	6.4	0	85.5	0.37	3.5	0	83.8
		Oda 1	2.68	83.5	23.3	89.3	2.67	91.3	23.3	91.2	1.65	82.5	17.5	94.1
		Oda 2	2.55	91	28.8	90.9	2.53	94.6	28.8	90.9	1.6	88.3	21.6	96.3
		Salon	1.24	21.8	4.6	94.7	1.31	27.3	6	97.7	0.93	41.3	2.1	100
	Daire 2	E.Yatak Odası	2.09	74.4	13.3	95	2.19	89.2	13.3	95	1.3	77.8	5.9	99.5
		Mutfak	0.39	4.1	0	63.1	0.43	4.7	0	81.2	0.37	2.9	0	85.3
		Oda 1	2.8	97	34	87	2.82	99	34	88	1.75	95	27	96
		Oda 2	2.49	81	21.9	88.5	2.49	90.5	21.9	89.5	1.56	81	18.1	96.1
		Salon	1.15	23.9	0.2	93.9	1.28	34.7	0	97.9	0.87	36.2	0	99.7

EK 13. Örnek 3'e ait konut mekanlarının gün ışığı performans sonuçları

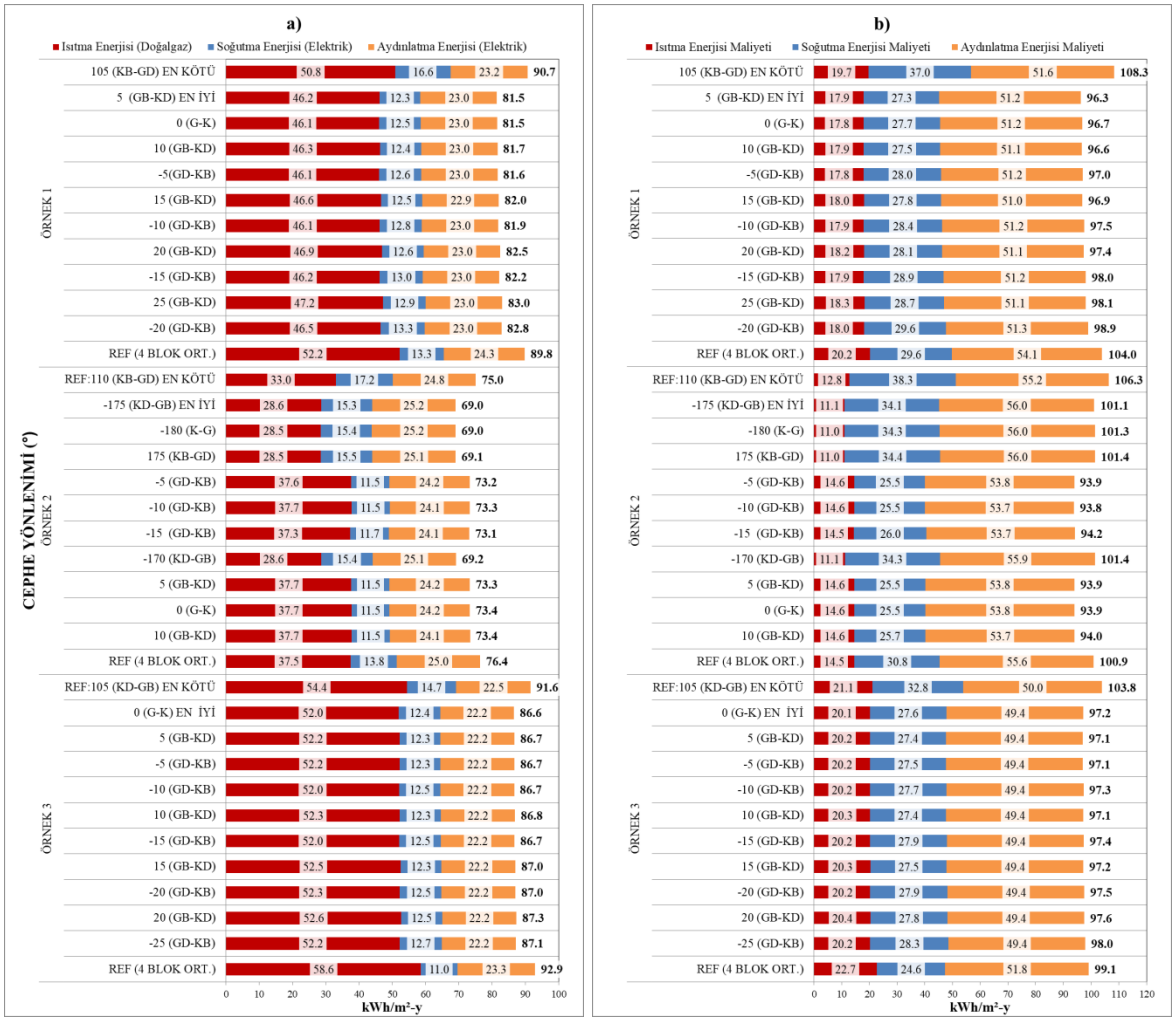
ÖRNEK 3			1. KAT				4. KAT				7. KAT			
			ADF	sDA	ASE	UDI	ADF	sDA	ASE	UDI	ADF	sDA	ASE	UDI
BLOK I	Daire 1	E.Yatak Odası	2.78	93.5	4.3	94.8	2.74	88.8	4.3	94.8	2.75	88.8	4.3	94.8
		Mutfak	3.92	100	0	87.3	3.95	100	0	87.3	4.21	98	0	86.8
		Oda 1	2.16	97.7	0	100	2.2	93.8	0	99.2	2.28	96.1	0	98.4
		Oda 2	2.36	98.3	0	99.1	2.42	96.6	0	98.2	2.52	98.3	0	98.2
		Oda 3	3.26	88.2	0.7	88.1	3.29	84.2	0.7	87.5	3.34	85.5	0.7	87.5
		Salon	2.2	95.6	0	96.5	2.29	93.7	1.9	96.3	2.58	96.4	7.2	95.8
	Daire 2	E.Yatak Odası	2.73	90.5	10.3	94.3	2.69	81.5	11.6	93.5	2.69	81.9	11.6	93.9
		Mutfak	3.87	100	35.5	72	3.95	99.5	40.6	72.5	4.07	100	45.2	70
		Oda 1	2.15	100	24.8	89.1	2.28	98.5	31	88.3	2.46	100	35.7	85.2
		Oda 2	2.42	100	25.9	87	2.58	100	34.5	87	2.75	100	43.1	82.7
		Oda 3	3.79	100	28.3	75.6	3.94	100	36.8	74.3	3.99	100	46.1	73
		Salon	2.71	98.5	15.4	89.7	2.73	97.5	25.7	89.7	2.92	99.8	29.5	88
	Daire 3	E.Yatak Odası	0.76	34.4	4.2	95.7	0.87	36.5	6.3	97.8	0.93	42.3	9.5	100
		Mutfak	0.61	24.4	0	100	0.72	40.3	0	100	0.88	58	0	100
		Oda 1	3.33	99.3	32.9	75.5	3.46	98.6	38.5	74.8	3.64	100	41.3	72.7
		Oda 2	3.15	100	26.4	80.5	3.34	99.4	32.1	81.1	3.54	100	35.8	79.2
		Salon	0.92	46.9	5.4	92.2	1.03	46	8.2	84.4	1.21	51.2	9.9	95.8
BLOK II	Daire 1	E.Yatak Odası	2.87	100	36.2	78.8	2.77	95.7	42.2	80.6	2.77	94.8	42.2	81
		Mutfak	1.65	64.5	8.6	93.9	1.75	56.9	8.6	89.8	2.81	62.9	10.2	85.2
		Oda 1	0.74	34.9	3.1	99.2	0.77	31.8	3.1	96.8	1.3	41.9	3.1	96.8
		Oda 2	1.03	50.9	8.6	99.1	1.07	44.8	8.6	97.4	1.61	56.9	8.6	97.4
		Oda 3	2.88	79.6	29.6	79.6	2.95	67.8	30.3	81.5	3.22	73.7	30.3	80.2
		Salon	1.77	86.1	0	98.7	1.83	84.2	0.4	97.7	2.33	90.9	1.9	96
	Daire 2	E.Yatak Odası	2.91	100	32.8	79.3	2.8	95.7	38.4	79.7	2.81	96.1	38.4	80.6
		Mutfak	3.49	100	29.9	73.6	3.5	100	34.5	75.1	3.81	100	36	72.5
		Oda 1	2.21	100	22.5	89.1	2.23	99.2	27.1	88.3	2.43	99.2	27.1	89.1
		Oda 2	2.41	100	25	87.9	2.44	100	30.2	87.9	2.71	100	30.2	86.2
		Oda 3	3.66	100	43.4	75	3.58	98	45.4	74.3	3.71	98	45.4	75.6
		Salon	2.49	97	9.7	91.2	2.47	94.5	11	91.2	2.77	95.8	11.8	90.4
	Daire 3	E.Yatak Odası	0.85	21.7	0	85.1	0.91	23.3	0	86.7	0.98	28	0	96.2
		Mutfak	0.75	13.4	0	99.1	0.86	21.8	0	99.1	0.96	30.3	0	99.1
		Oda 1	3.3	81.8	0	95.1	3.38	75.5	0	93	3.58	83.2	0	92.3
		Oda 2	3.43	84.9	0	93.7	3.48	79.2	0	93	3.62	84.9	0	91.8
		Salon	1.13	30.7	0	80.1	1.16	31.1	0	75.5	1.29	37.8	0	91.7
BLOK III	Daire 1	E.Yatak Odası	2.72	95.8	26.3	86.8	2.66	92	30	85.4	2.64	92.5	30	84.5
		Mutfak	1.7	62	8.2	94.1	1.89	56.7	12.3	88.3	3.35	57.9	31.6	77.1
		Oda 1	0.84	40.7	0	100	0.91	39.8	0	99.1	1.81	72.6	17.7	92.9
		Oda 2	1.17	56.2	3.8	100	1.25	54.3	3.8	99	2.07	85.7	22.9	91.4
		Oda 3	2.66	76.1	28.3	78.9	2.67	71.7	30.4	78.9	3.11	77.5	32.6	77.5
		Salon	1.72	91.4	1.6	98.8	1.82	93.2	2.8	97.6	2.45	99.2	7.8	93.8
	Daire 2	E.Yatak Odası	2.75	96.3	22.2	89.3	2.64	94	26.4	89.3	2.65	94.4	26.4	88.4
		Mutfak	3.63	99.4	0	91.8	3.67	97.7	0	91.8	3.78	96.5	0	90.6
		Oda 1	2.28	97.3	0	100	2.35	99.1	0	100	2.48	97.3	0	100
		Oda 2	2.48	100	0	100	2.56	100	0	99	2.68	99	0	98
		Oda 3	3.67	83.3	12.3	93.4	3.77	78.3	13	93.4	3.85	81.2	13	92.7
		Salon	2.4	91.3	0	96.4	2.4	89.3	0	96.2	2.58	95	0	96
	Daire 3	E.Yatak Odası	0.84	26.7	0	89.5	0.94	33.7	0	94.7	1.03	36.6	0	98.2
		Mutfak	0.71	17.7	0	100	0.83	34.7	0	100	0.94	45.2	0	100
		Oda 1	2.83	76.9	2.8	94.4	3.05	81.8	3.5	92.3	3.31	92.3	3.5	90.2
		Oda 2	3.01	81.8	11.9	93	3.17	88.1	11.9	92.3	3.41	95.8	11.9	90.9
		Salon	1.08	31	2.1	82.1	1.14	33.3	2.8	86	1.27	39.2	2.8	97.4
BLOK IV	Daire 1	E.Yatak Odası	2.1	92.7	24.1	88.3	2.11	86.2	28.4	86.6	2.33	91.4	32.3	85.7
		Mutfak	4.47	100	4.6	86.2	4.34	98.5	6.6	85.7	4.48	98.5	16.2	85.2
		Oda 1	2.36	96.1	0	97.6	2.33	94.6	0	97.6	2.39	95.3	0	96.8
		Oda 2	2.56	98.3	0	97.4	2.55	98.3	0	97.4	2.63	98.3	0	96.5
		Oda 3	3.05	93.4	9.2	94.8	3.03	85.5	10.5	84.8	3.29	86.8	12.5	84.8
		Salon	3.27	100	2.3	94.2	3.09	99.4	3.2	94.2	3.14	99.6	4.9	94.1
	Daire 2	E.Yatak Odası	2.57	94.4	30.2	83.6	2.57	84.1	34.5	82.3	2.71	89.2	37.9	81.4
		Mutfak	1.35	55.3	2	96.4	1.45	44.2	3	95.4	2.49	53.3	13.7	87.8
		Oda 1	0.69	28.7	0	97.6	0.75	27.9	0	94.5	1.37	45.7	6.2	94.5
		Oda 2	0.92	43.1	2.6	100	1.01	40.5	2.6	99.1	1.66	54.3	8.6	93.1
		Oda 3	2.51	63.2	30.9	94	2.7	59.2	36.8	93.4	3.01	66.4	40.1	86.8
		Salon	2.24	98.5	0.4	97.7	2.15	96.8	1.3	97.3	2.51	97.7	4.9	95.4
	Daire 3	E.Yatak Odası	1.05	36	0	100	1.04	34.9	0	100	1.03	36.5	0	100
		Mutfak	1.05	49.6	0	100	1.06	56.3	0	100	1.06	55.5	0	100
		Oda 1	3.84	100	0	91.6	3.71	99.3	0	91.6	3.71	99.3	0	91.6
		Oda 2	3.83	100	0	91.1	3.74	98.1	0	91.8	3.76	98.7	0	91.8
		Salon	1.49	52.9	0	100	1.42	49.7	0	100	1.42	49	0	100

Daire 1: Köşe (4+1), Daire 2 (Köşe 4+1); Daire 3 (Orta 3+1)

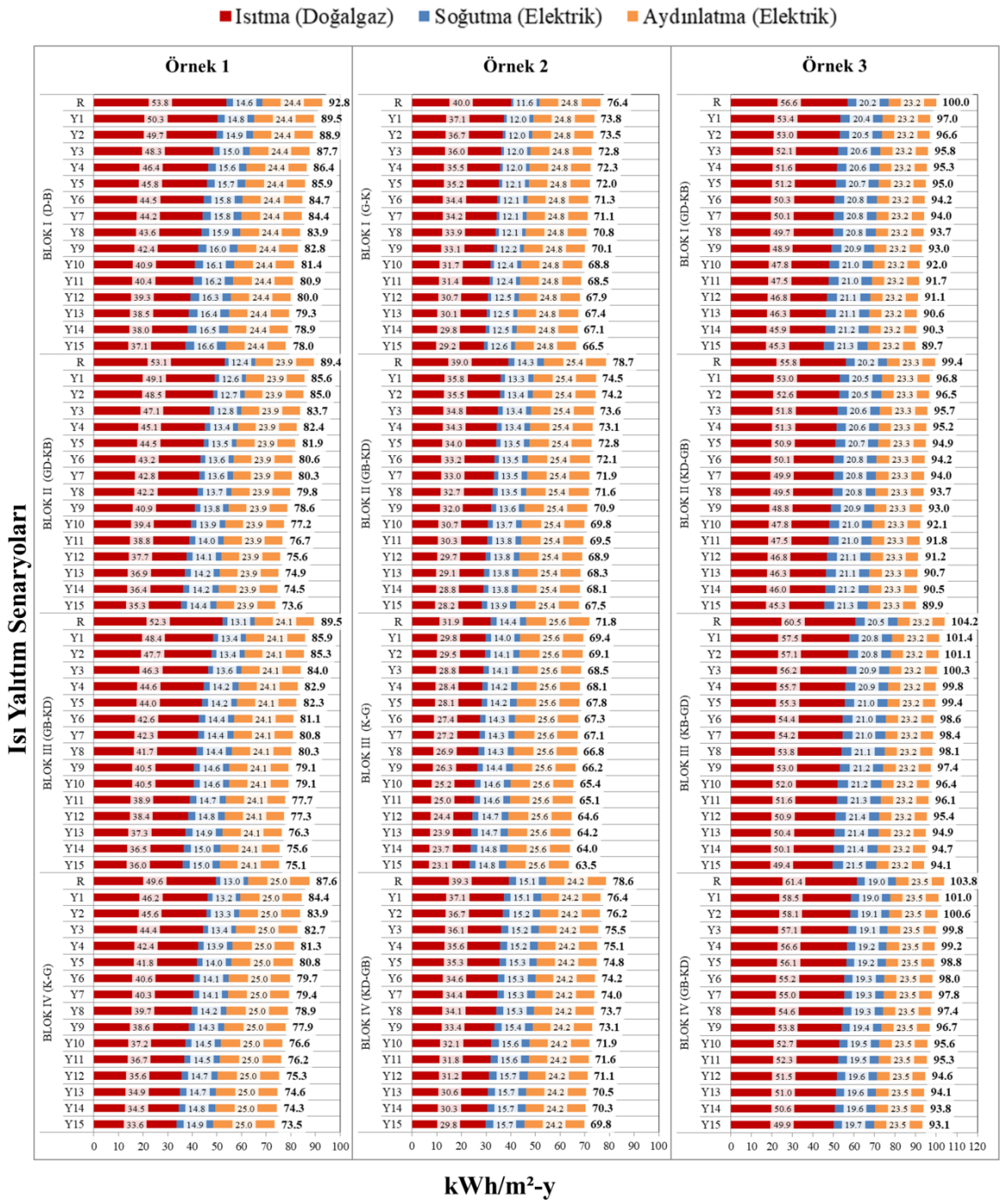
EK 14. Konut siteleri için yıllık nihai enerji tüketimi (a), enerji tüketim maliyeti (b) – iklim bölgesi ilişkisi



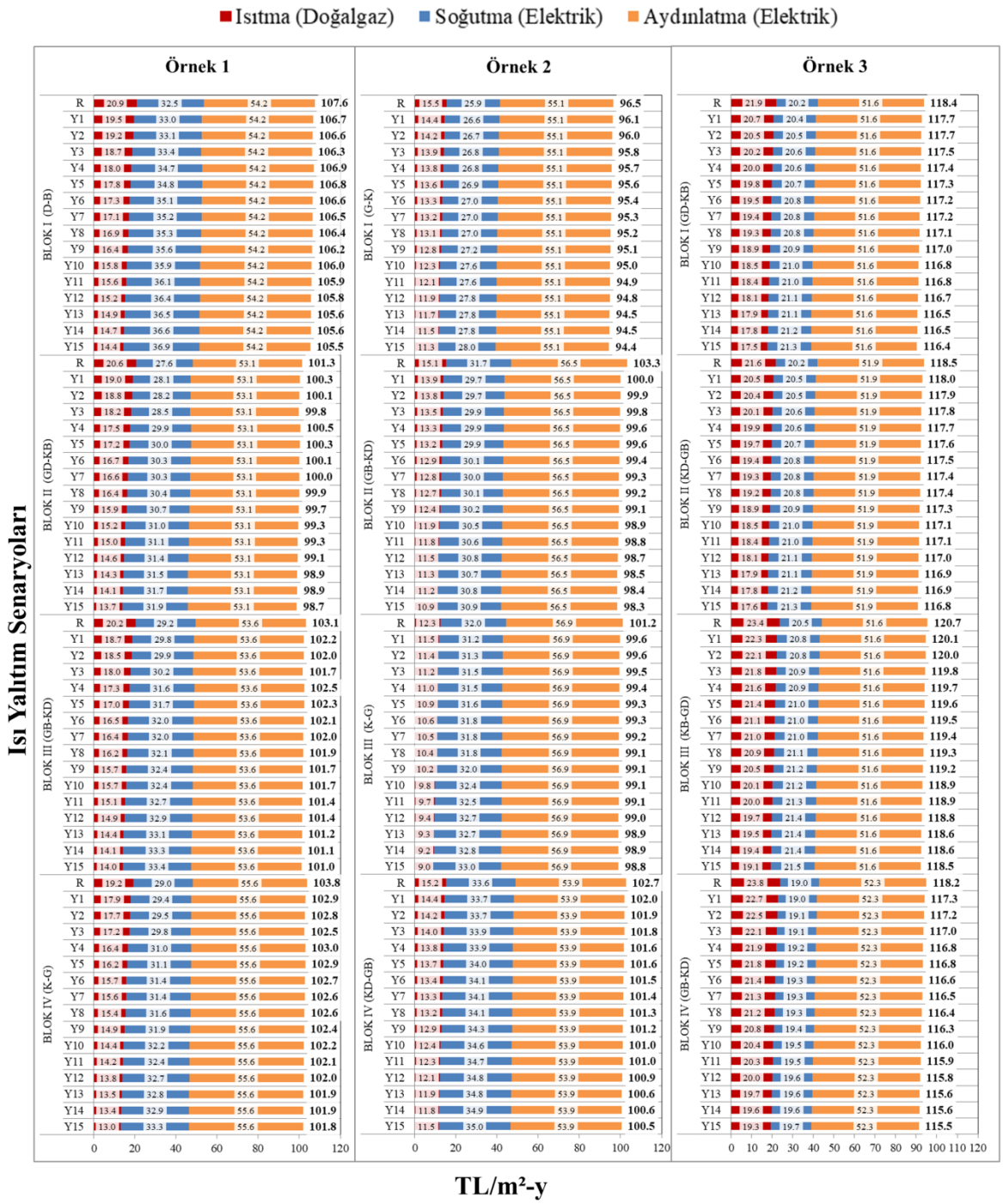
EK 15. 3 konut sitesini temsil eden bloklar için ısıtma, soğutma, aydınlatma enerjisi, yıllık yıllık nihai enerji tüketimi (a) ve enerji maliyeti (b) – cephe yönlenimi ilişkisi



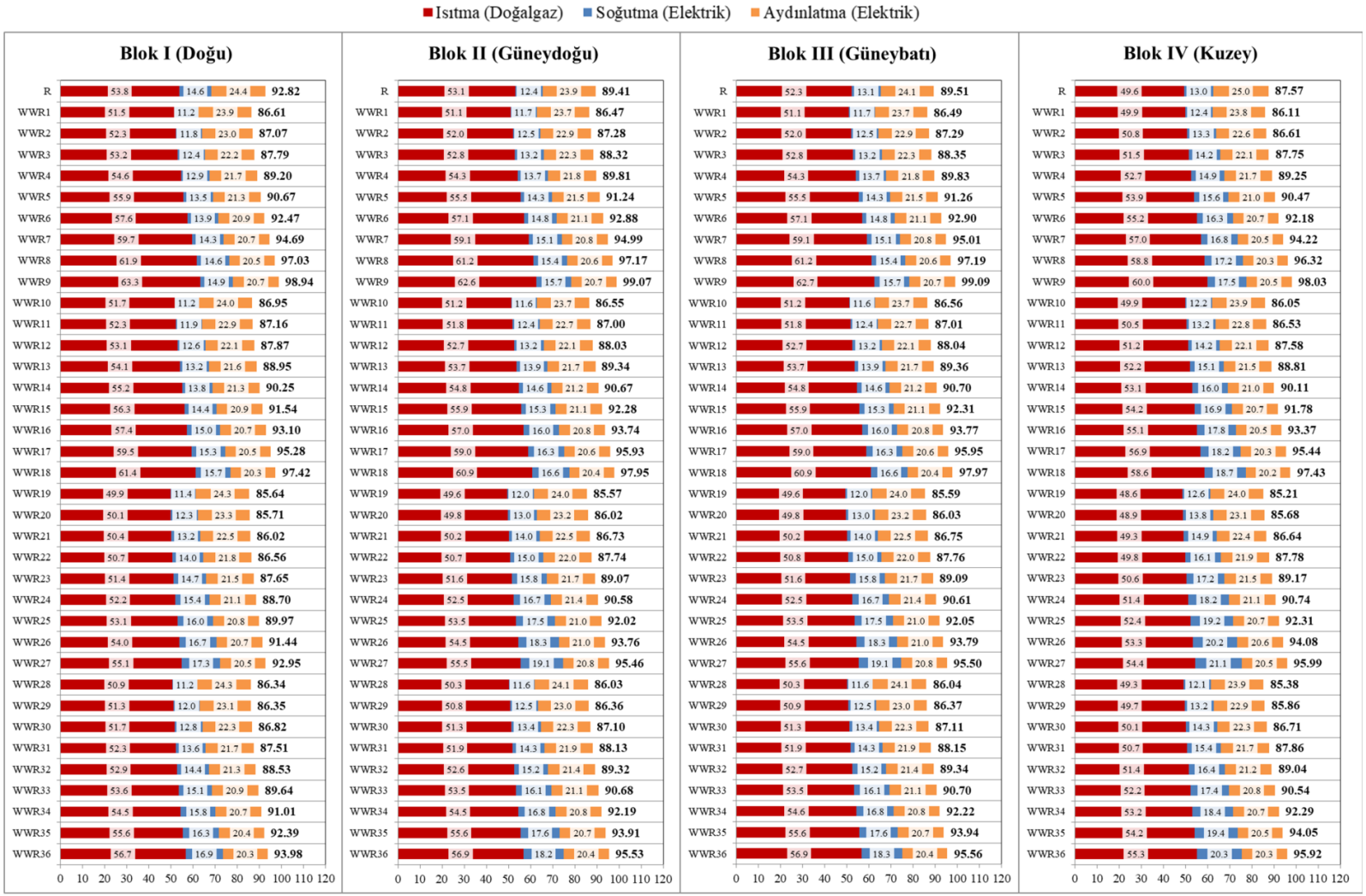
EK 16. 3 konut sitesindeki farklı yönlenime sahip 4 blok için yıllık nihai enerji tüketimi – ısı yalıtım malzemesi ve kalınlığı ilişkisi



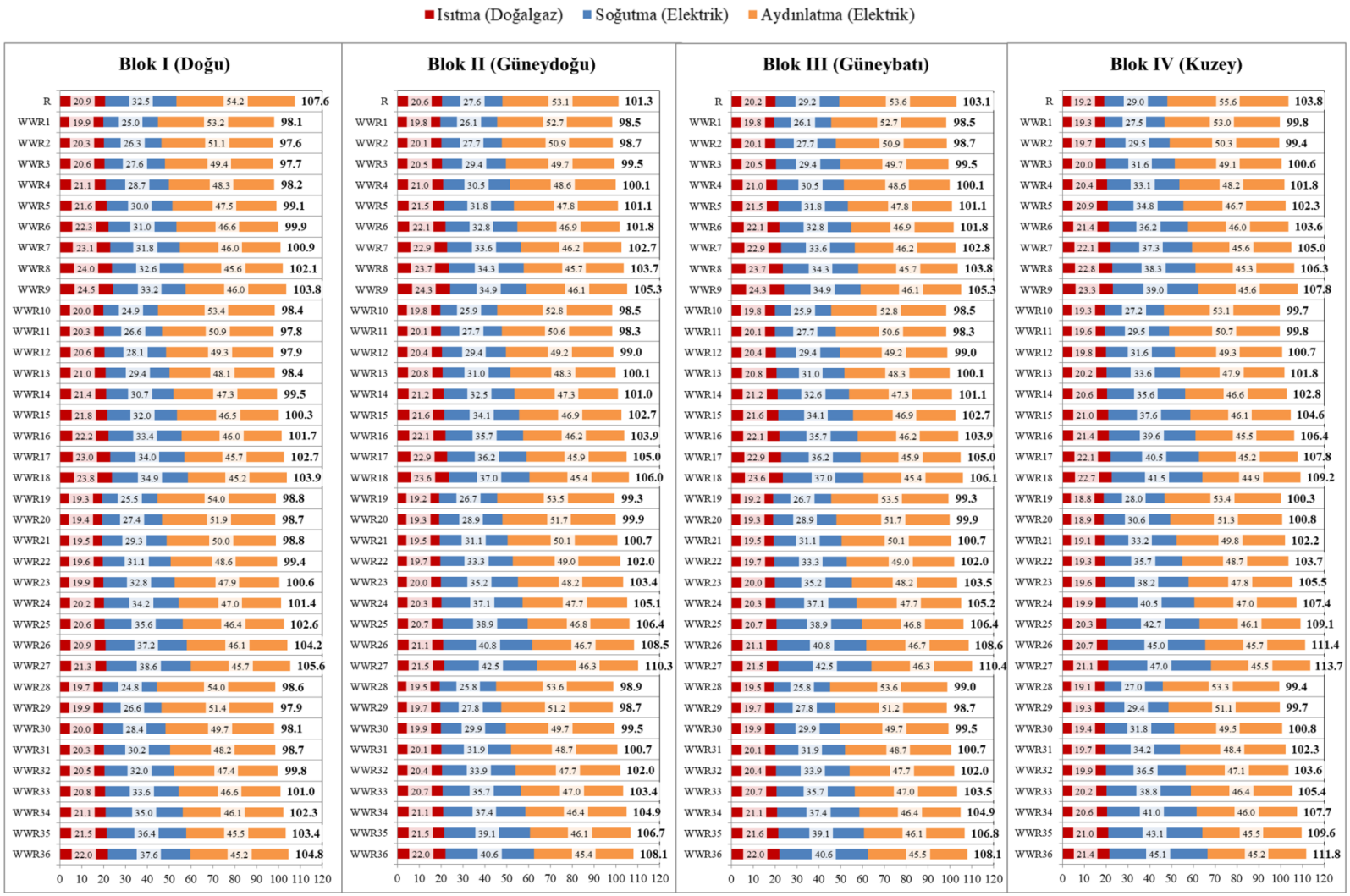
EK 17. 3 konut sitesinde farklı yönlenime sahip 4 blok için yıllık nihai enerji tüketim maliyeti – ısı yalıtım malzemesi ve kalınlığı ilişkisi



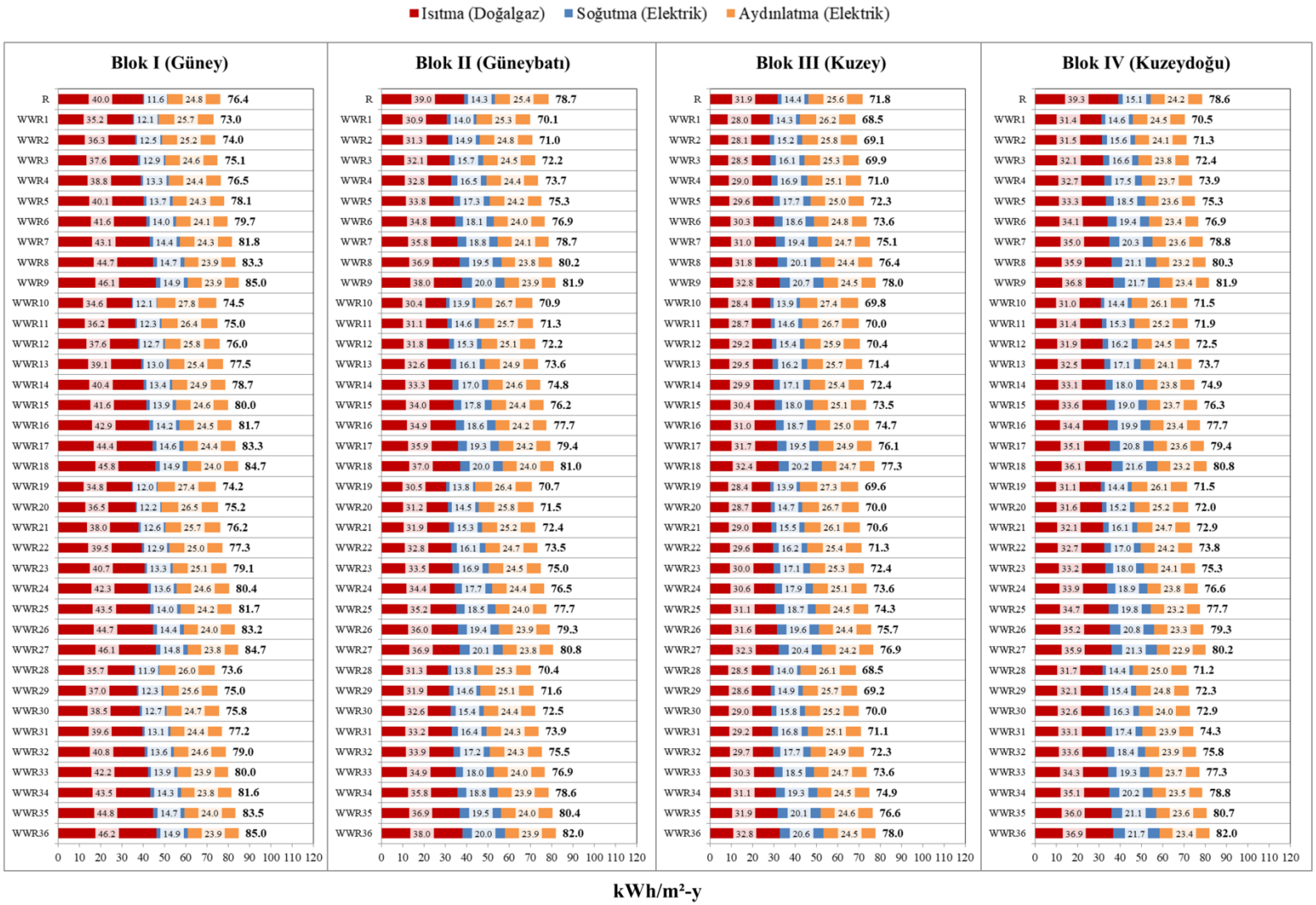
EK 18. Örnek 1 için nihai enerji tüketimi – cephe kuruluşu ve saydamlık oranı ilişkisi



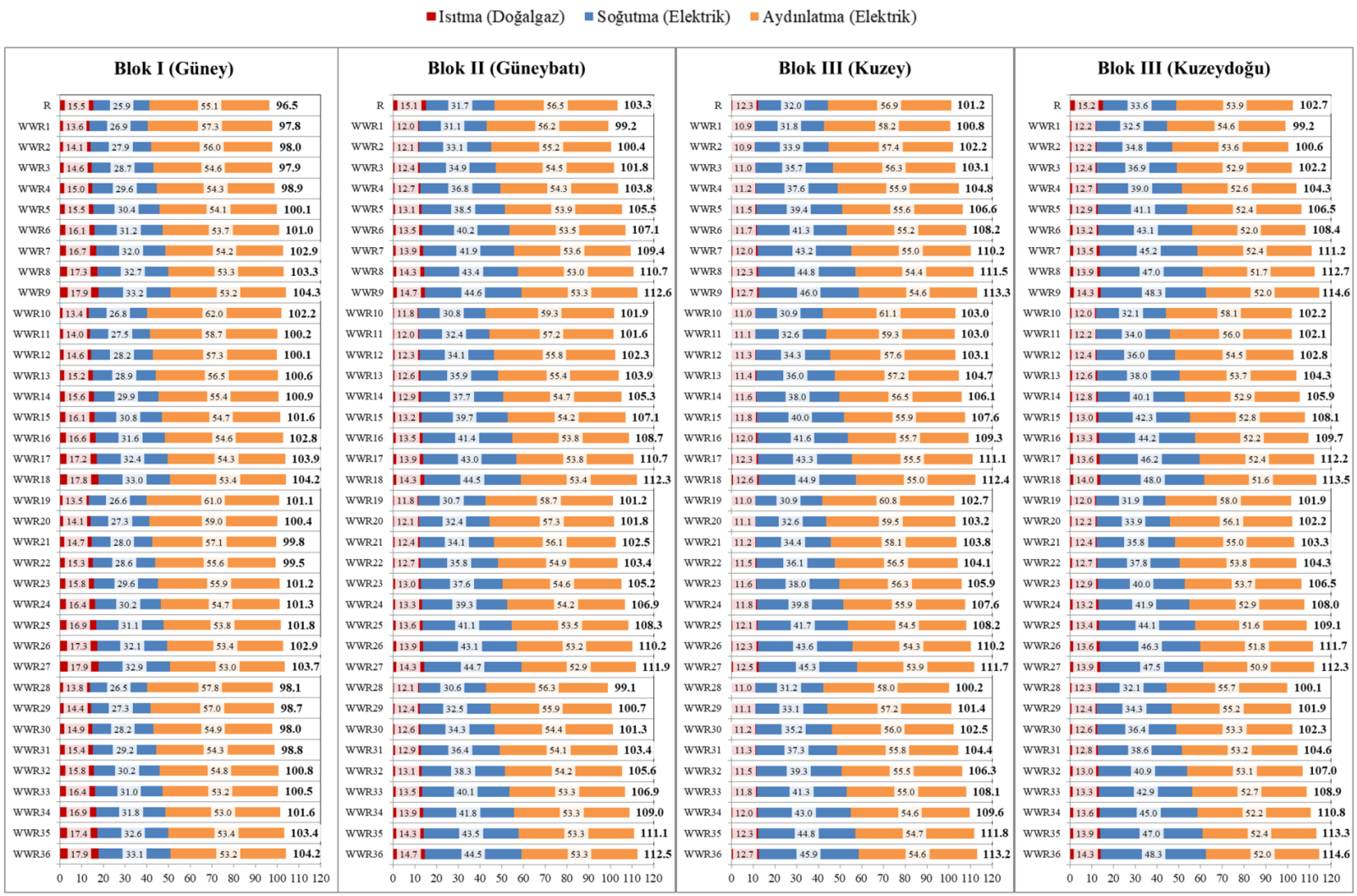
EK 19. Örnek 1 için enerji maliyeti – cephe kuruluşu ve saydamlık oranı ilişkisi



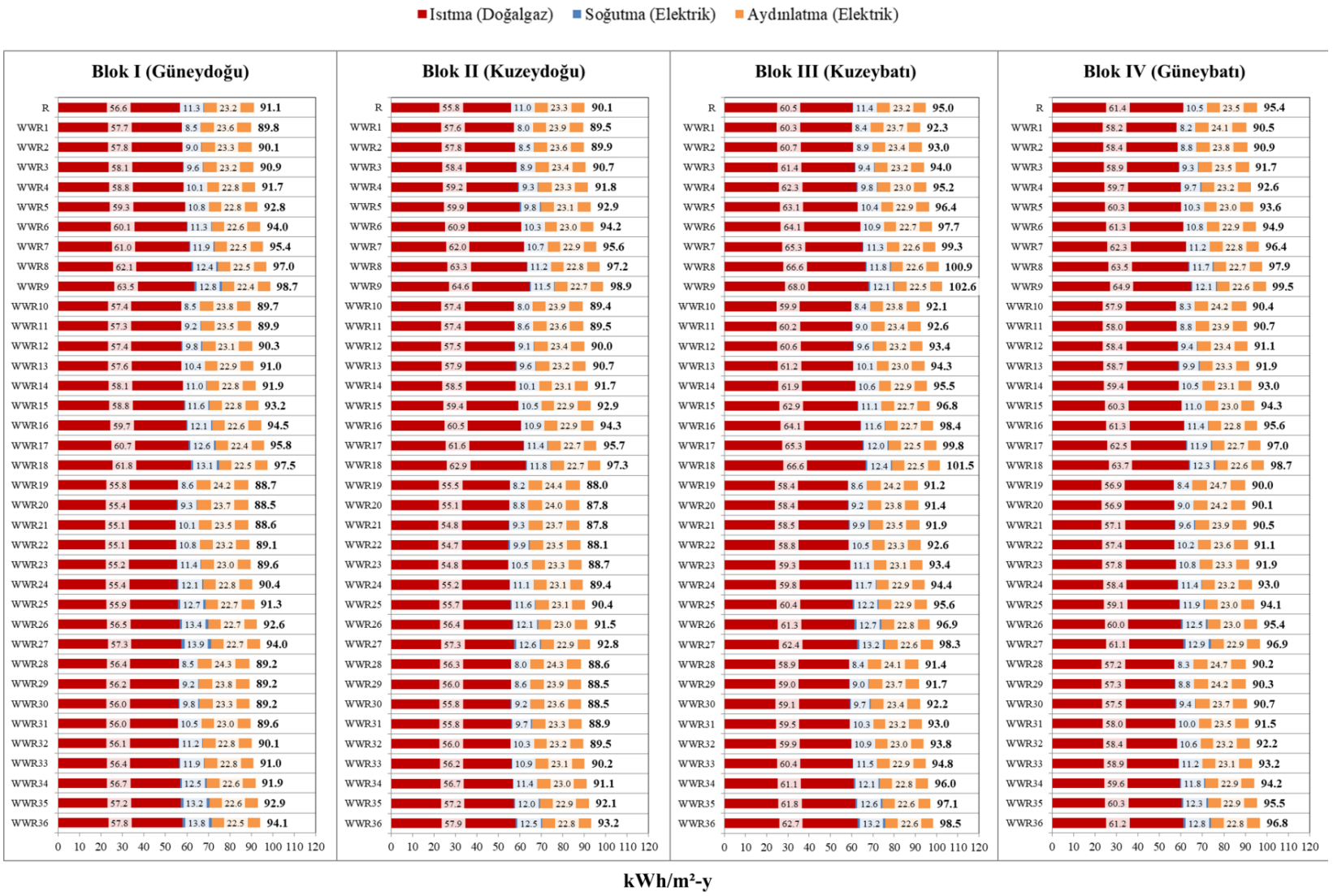
EK 20. Örnek 2 için nihai enerji tüketimi – cephe kuruluşu ve saydamlık oranı ilişkisi



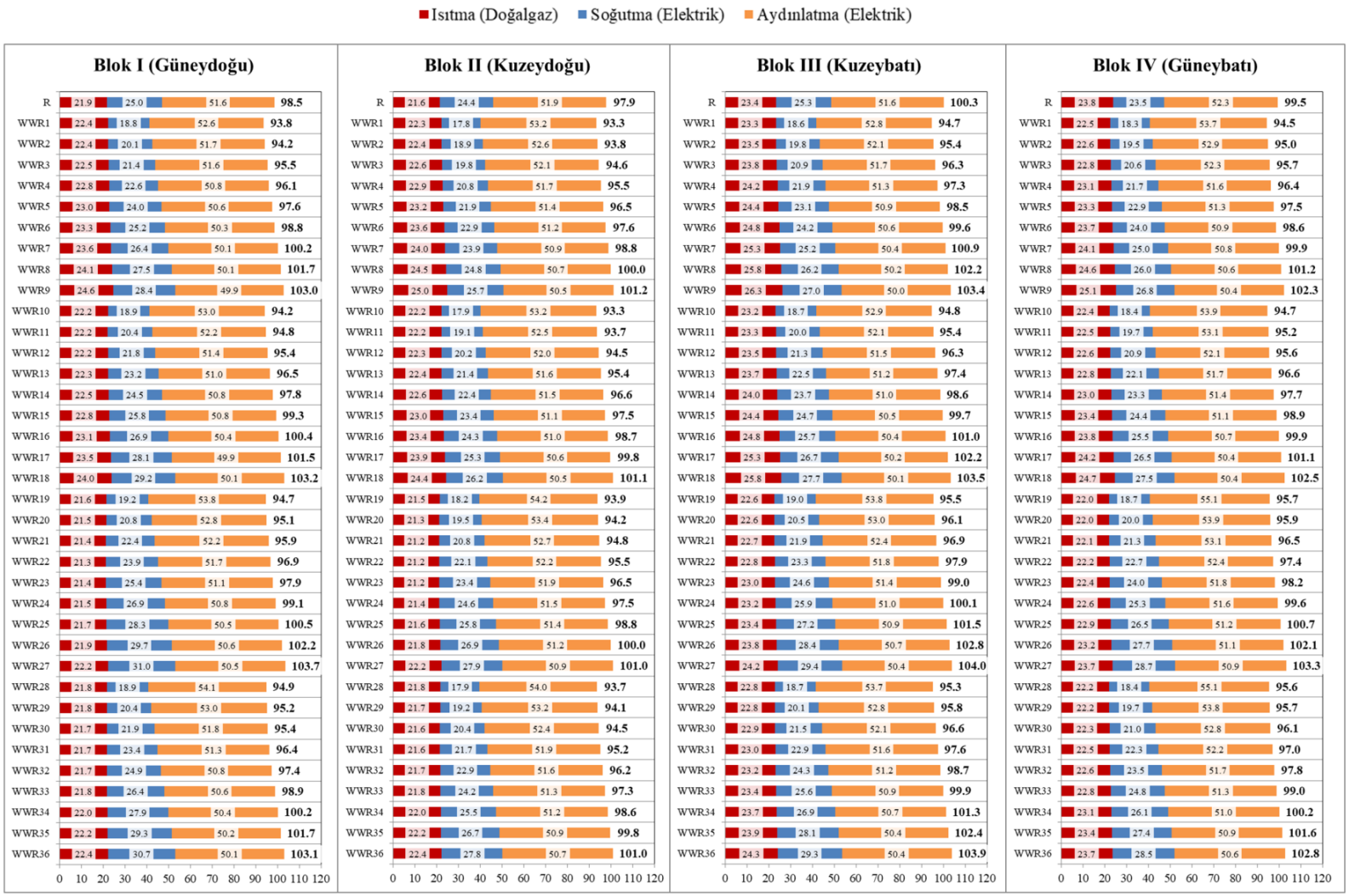
EK 21. Örnek 2 için enerji maliyeti – cephe kuruluşu ve saydamlık oranı ilişkisi



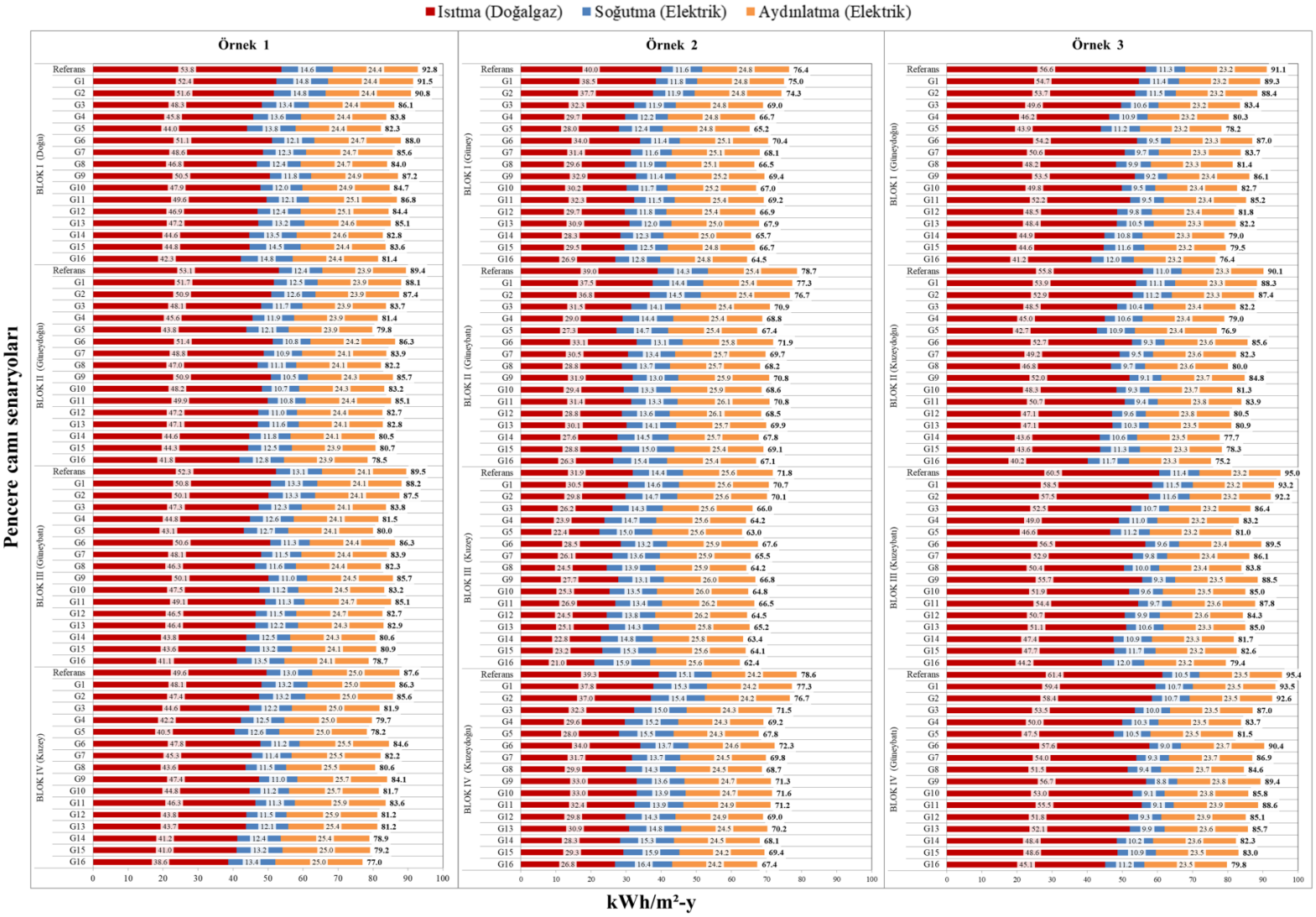
EK 22. Örnek 3 için nihai enerji tüketimi – cephe kuruluşu ve saydamlık oranı ilişkisi



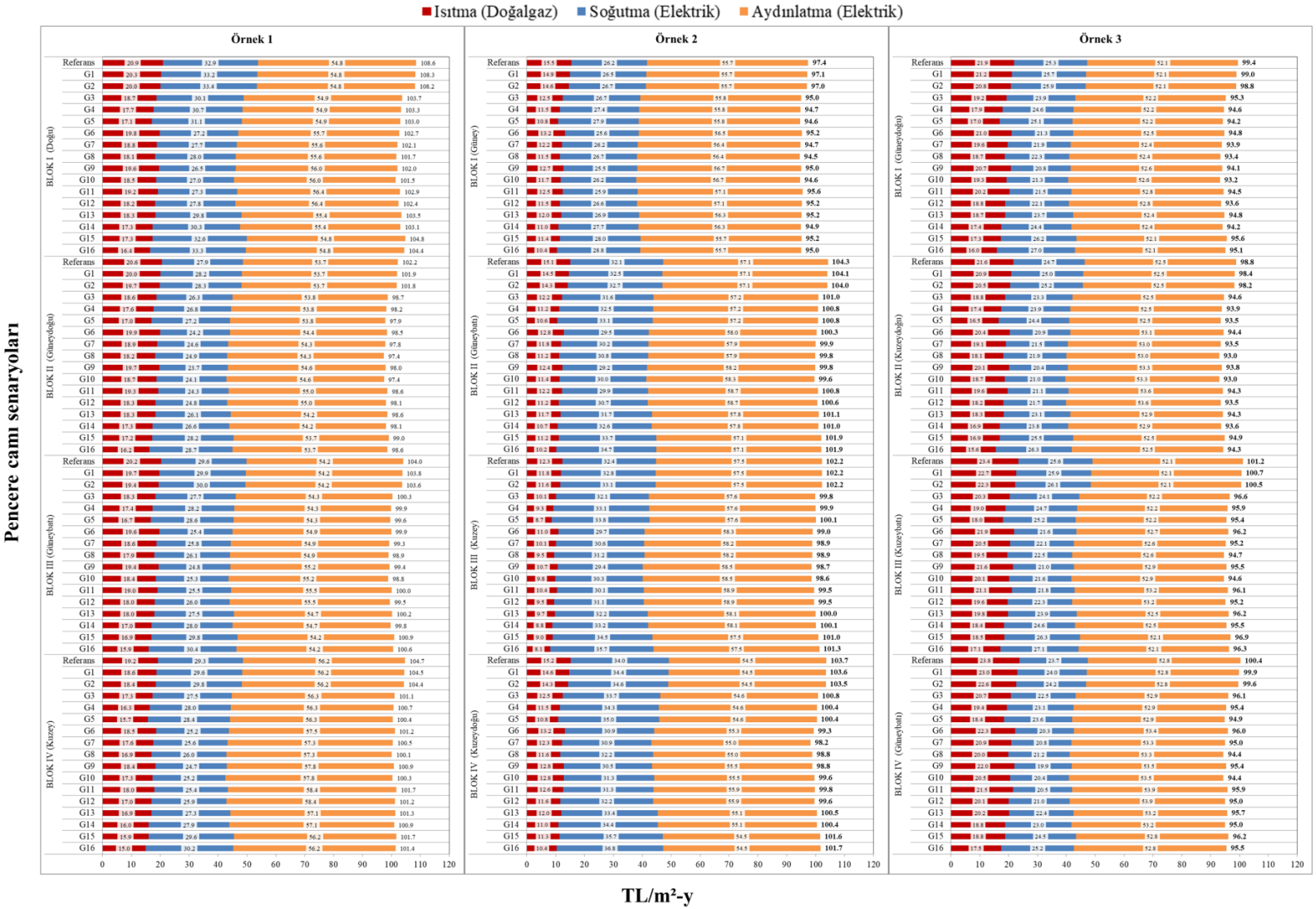
EK 23. Örnek 3 için enerji maliyeti – cephe kuruluşu ve saydamlık oranı ilişkisi



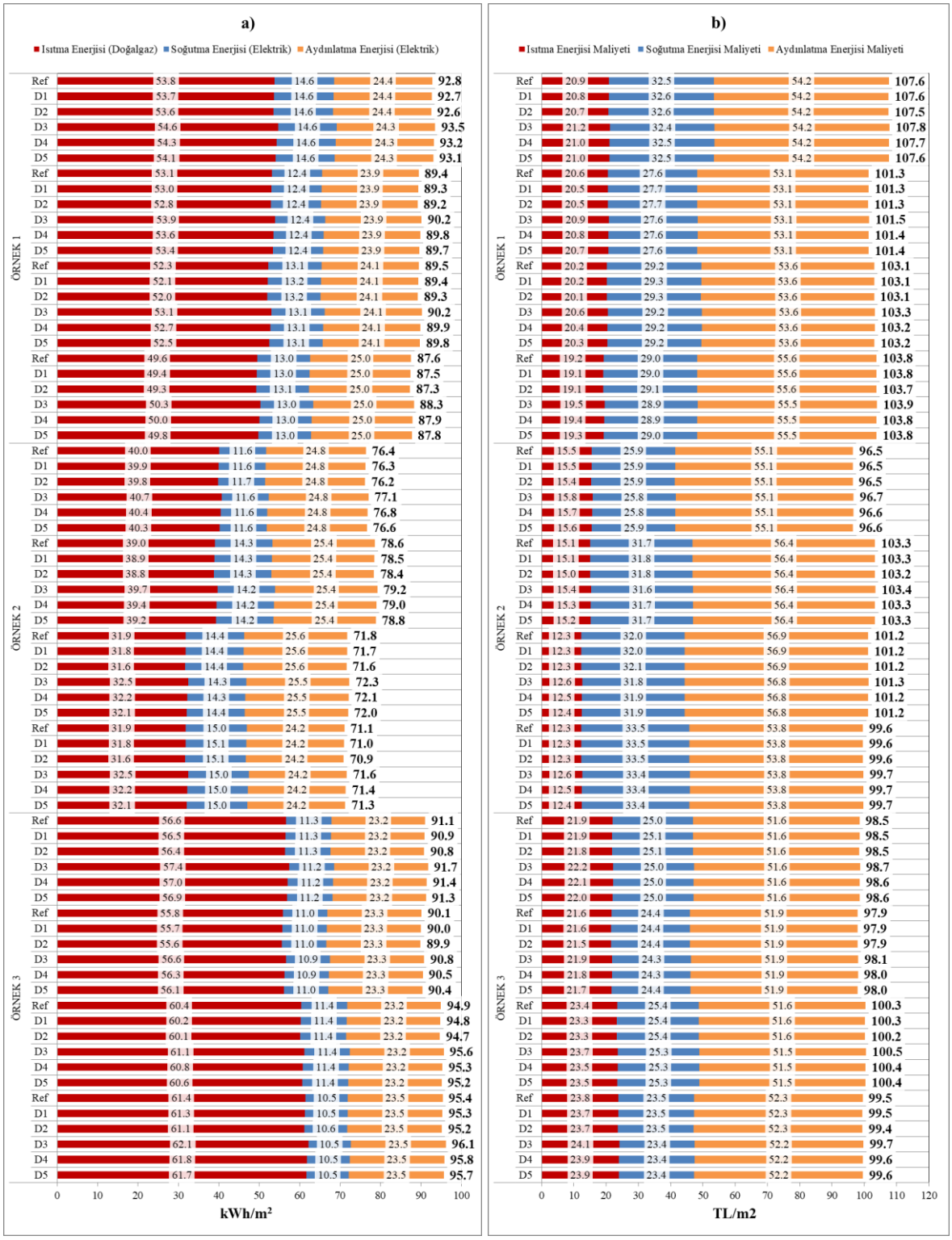
EK 24. Ele alınan 3 konut sitesi için yıllık toplam nihai enerji tüketimi - pencere camı özelliği ilişkisi



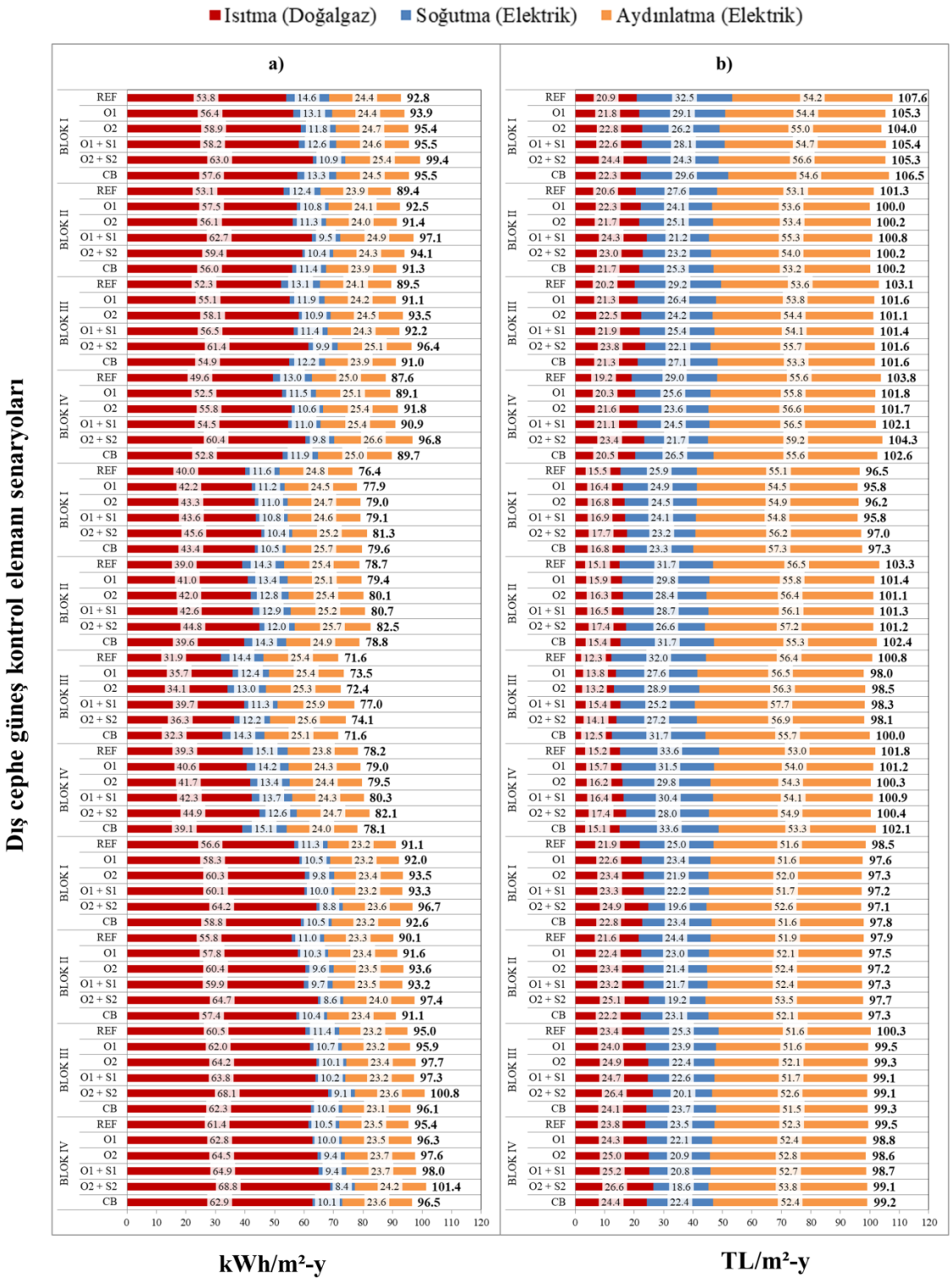
EK 25. Ele alınan 3 konut sitesi için yıllık toplam enerji tüketim maliyeti - pencere camı özelliği ilişkisi



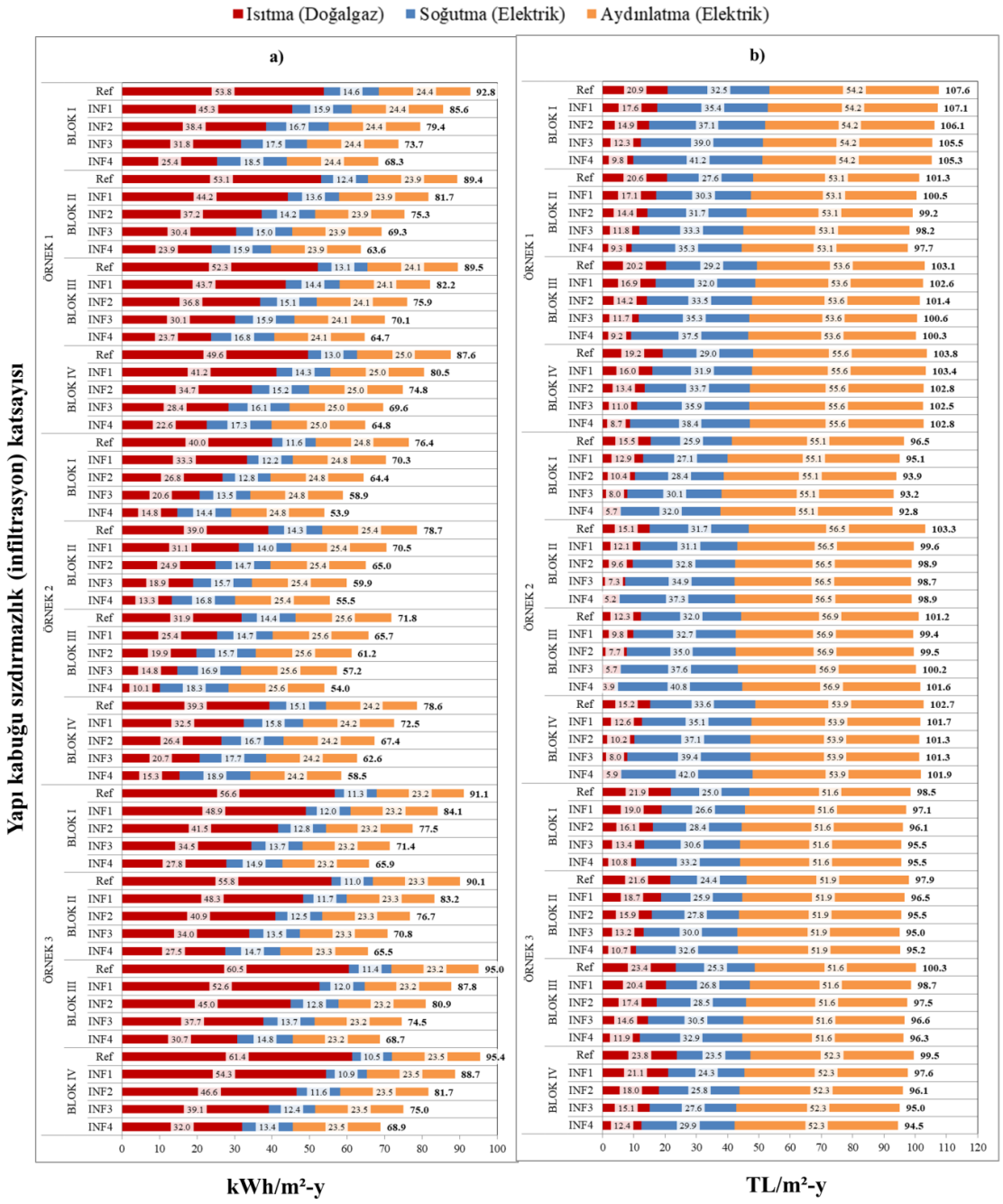
EK 26. 3 konut sitesi için yıllık toplam nihai enerji tüketimi (a), enerji maliyeti (b) – pencere doğraması özellikleri ilişkisi



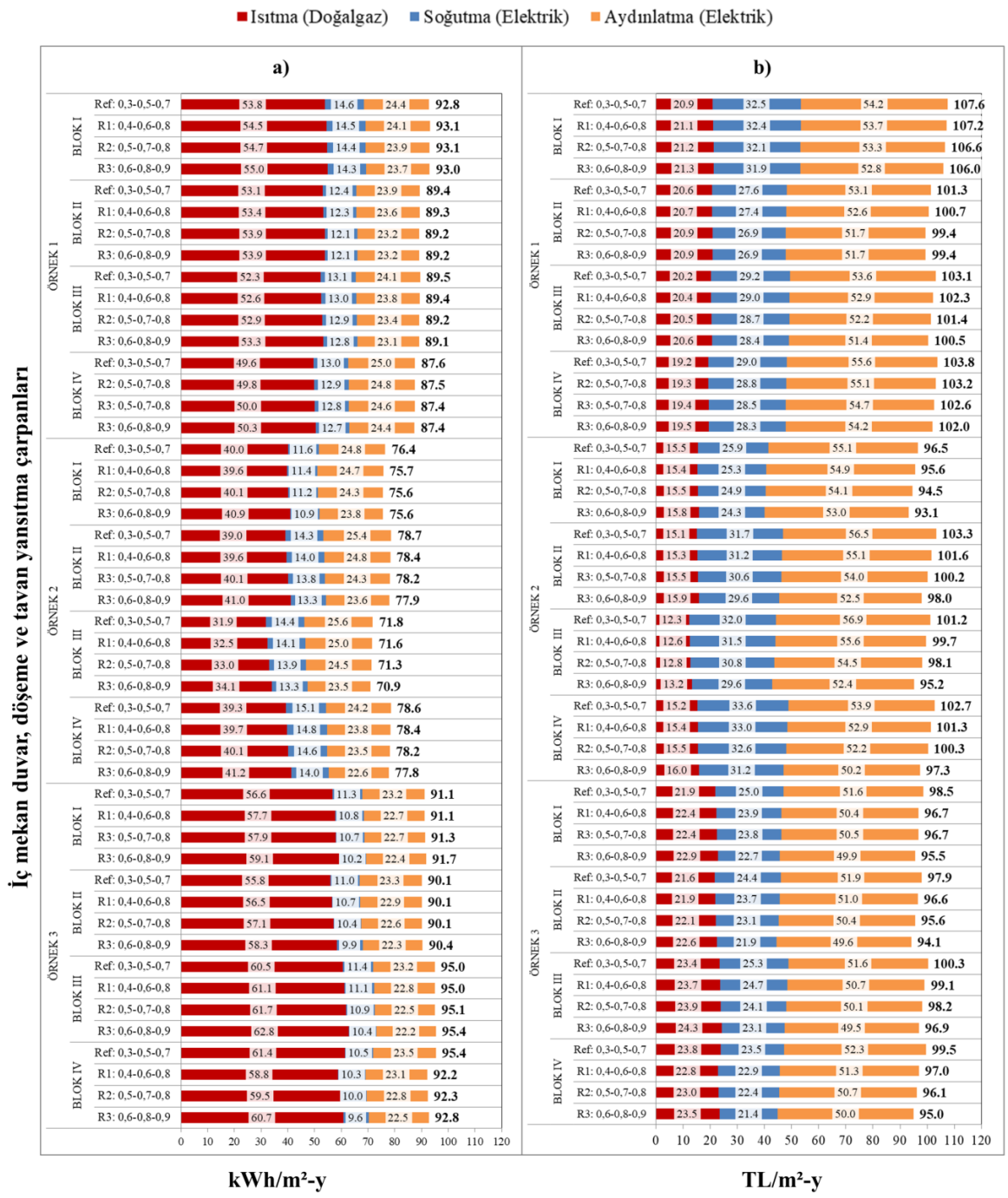
EK 27. 3 konut sitesi için nihai enerji tüketimi (a), enerji tüketim maliyeti (b) – dış cephe güneş kontrol elemanları ilişkisi



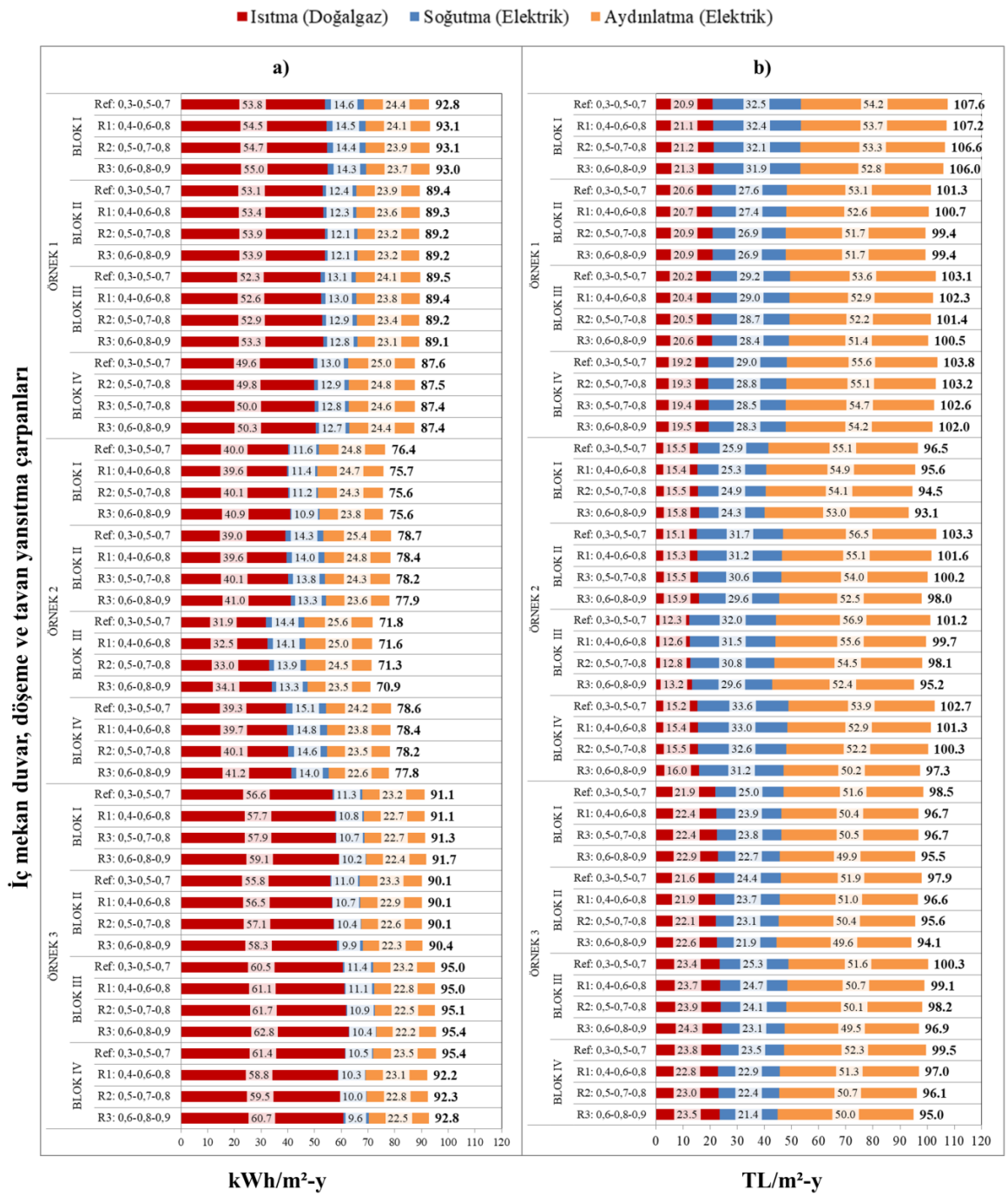
EK 28. 3 konut sitesi için yıllık toplam nihai enerji tüketimi (a), enerji tüketim maliyeti (b) – yapı kabuğu sızdırmazlık (infiltrasyon) katsayısı ilişkisi



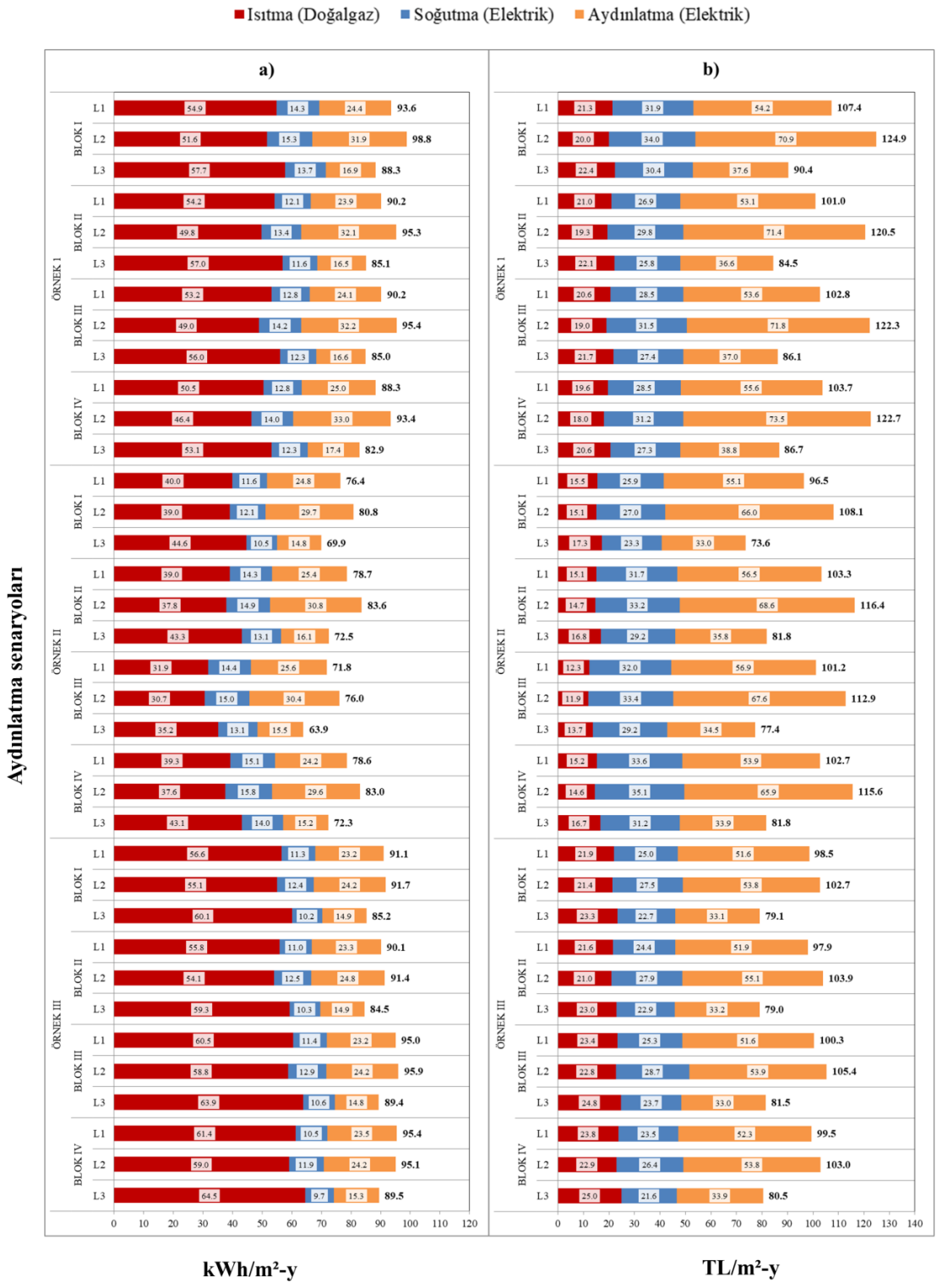
EK 29. 3 konut sitesi için nihai enerji tüketimi (a), enerji tüketim maliyeti (b) – döşeme, duvar ve tavan yansıtma çarpanları ilişkisi



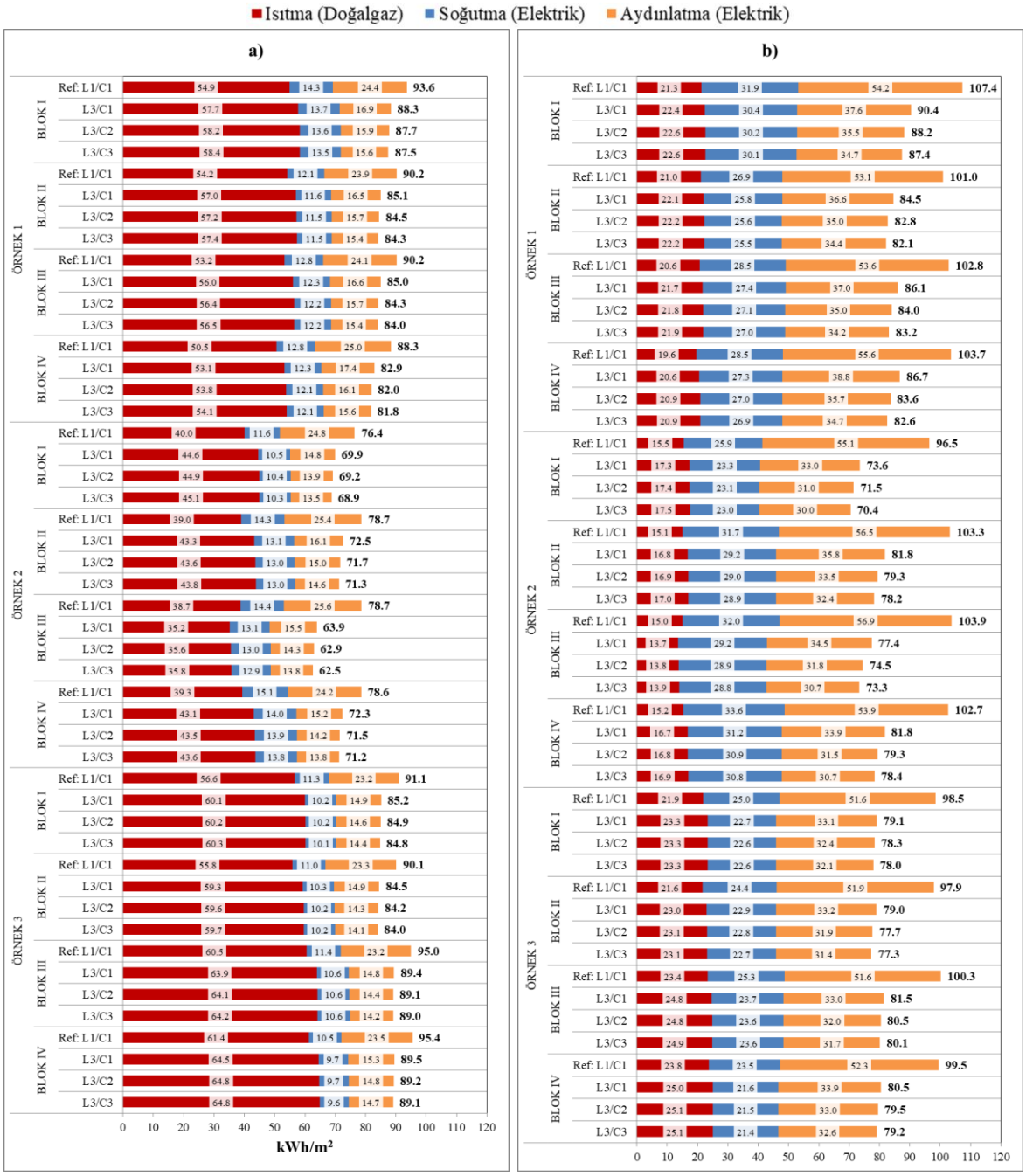
EK 30. 3 konut sitesi için nihai enerji tüketimi (a), enerji tüketim maliyeti (b) – döşeme, duvar ve tavan yansıtma çarpanları ilişkisi



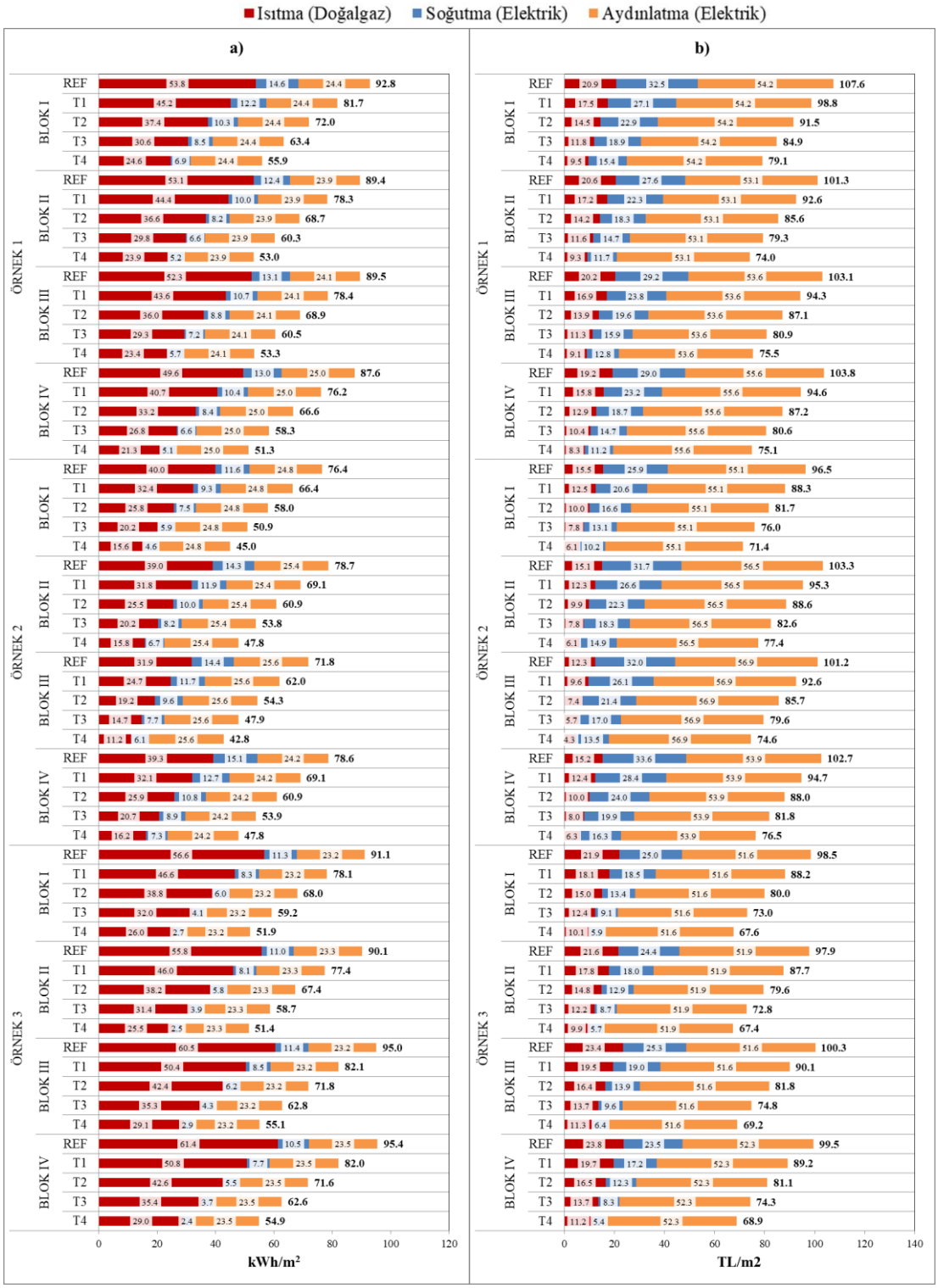
EK 31. 3 konut sitesi için nihai enerji tüketimi (a), enerji tüketim maliyeti (b) – aydınlatma senaryoları ilişkisi



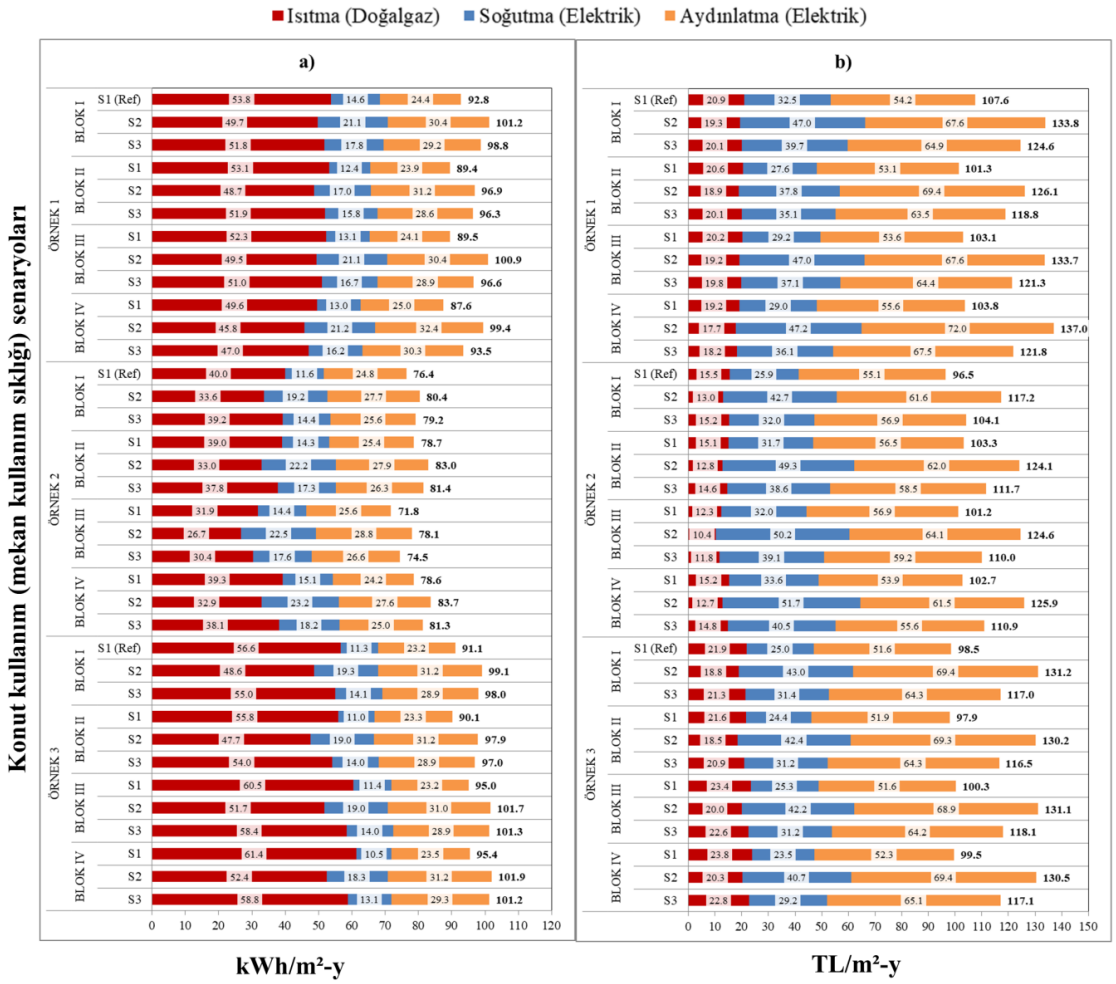
EK 32. 3 konut sitesi için nihai enerji tüketimi (a), enerji tüketim maliyeti (b) – gün ışığına bağlı aydınlatma kontrolü senaryoları ilişkisi



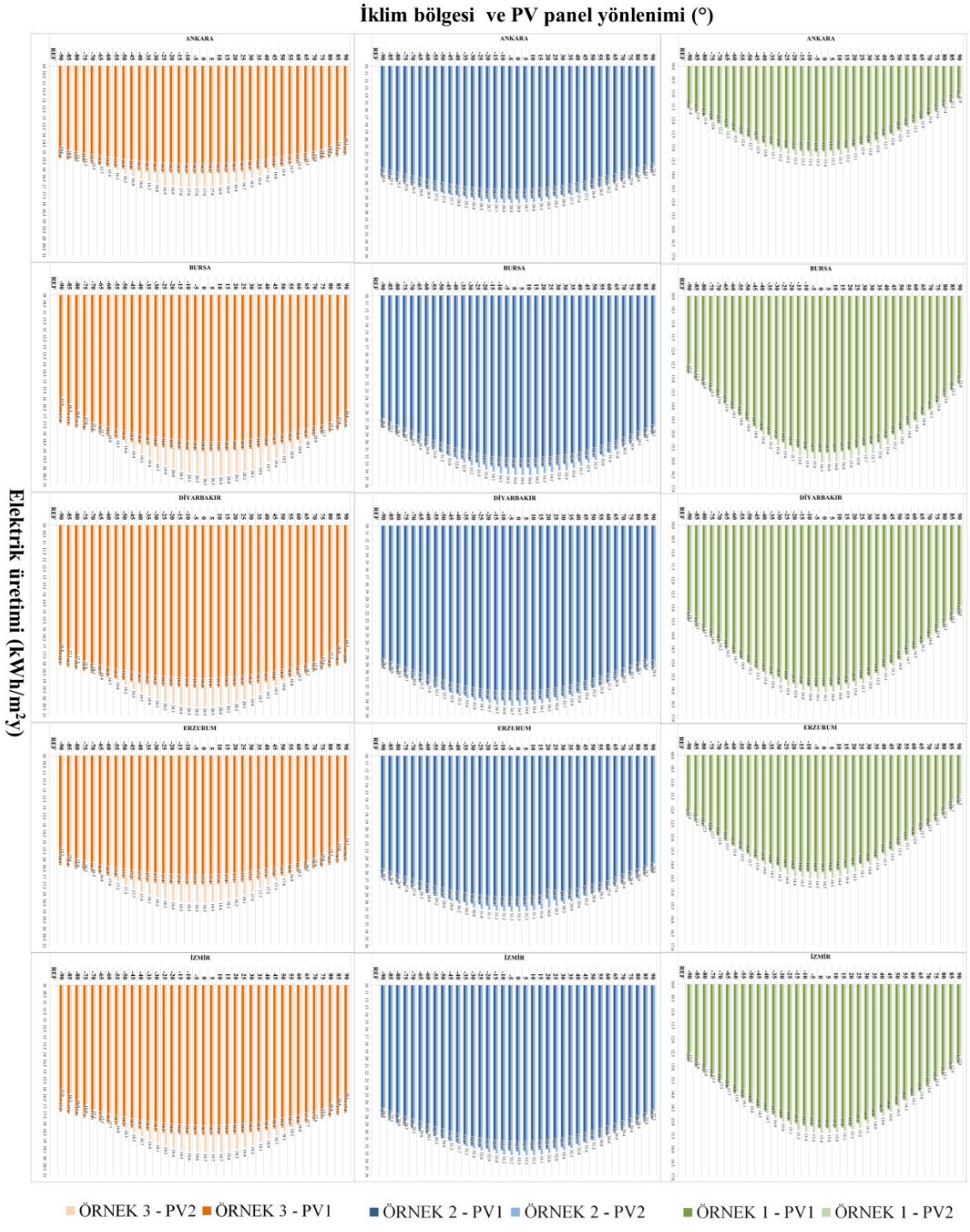
EK 33. 3 konut sitesi için toplam yıllık nihai enerji tüketimi (a), enerji tüketim maliyeti (b) – iç ortam ayar (termostat) sıcaklıkları ilişkisi



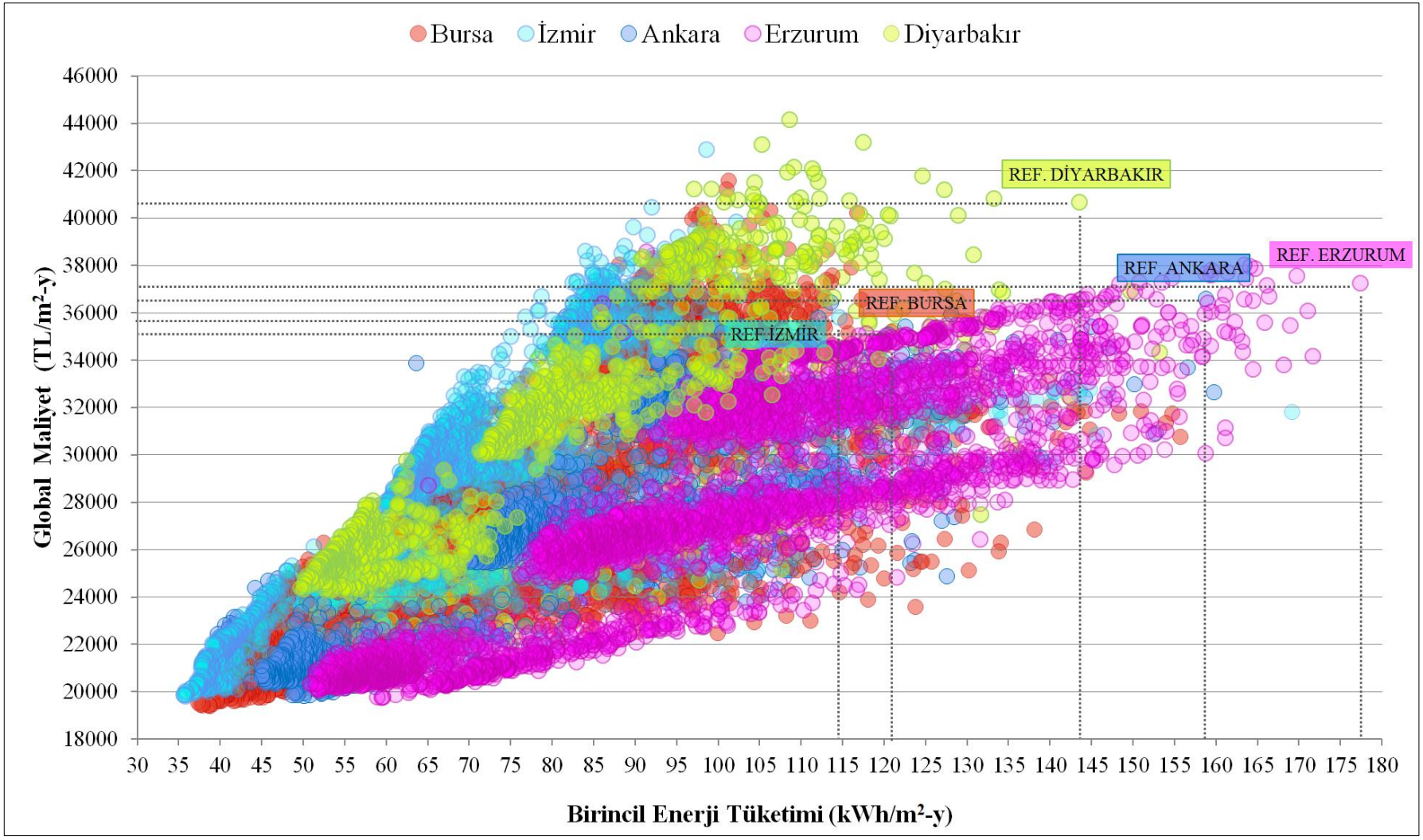
EK 34. Konut siteleri için yıllık nihai enerji tüketimi (a), enerji tüketim maliyeti (b) – konut kullanım senaryoları (mekan kullanım sıklığı) ilişkisi



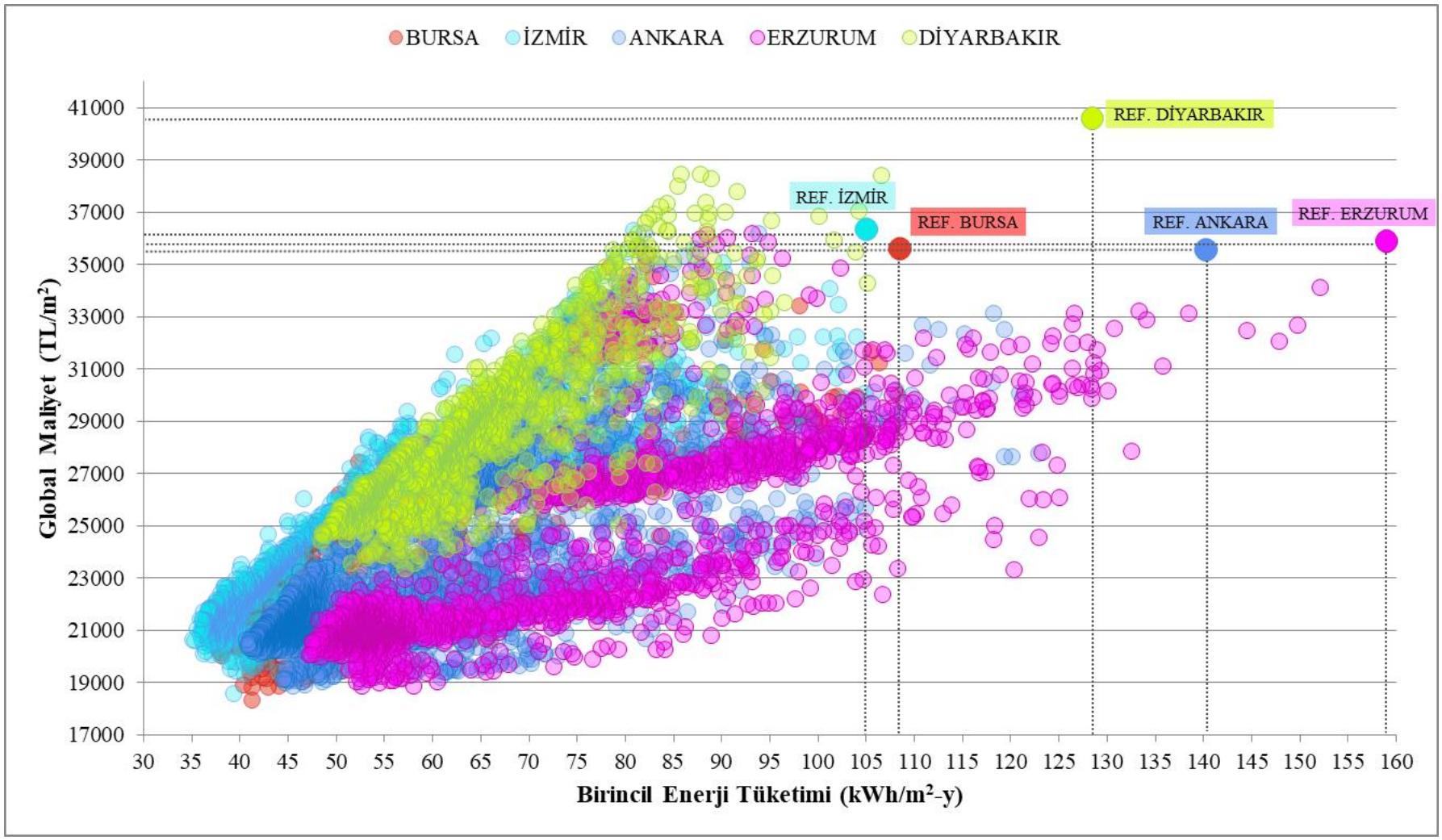
EK 35. Mevcut çatı eğimi (PV1) ve optimum eğim (PV2) senaryolarına ait PV panel yıllık elektrik üretimi (kWh/m2) – PV panel yönlenimi ilişkisi



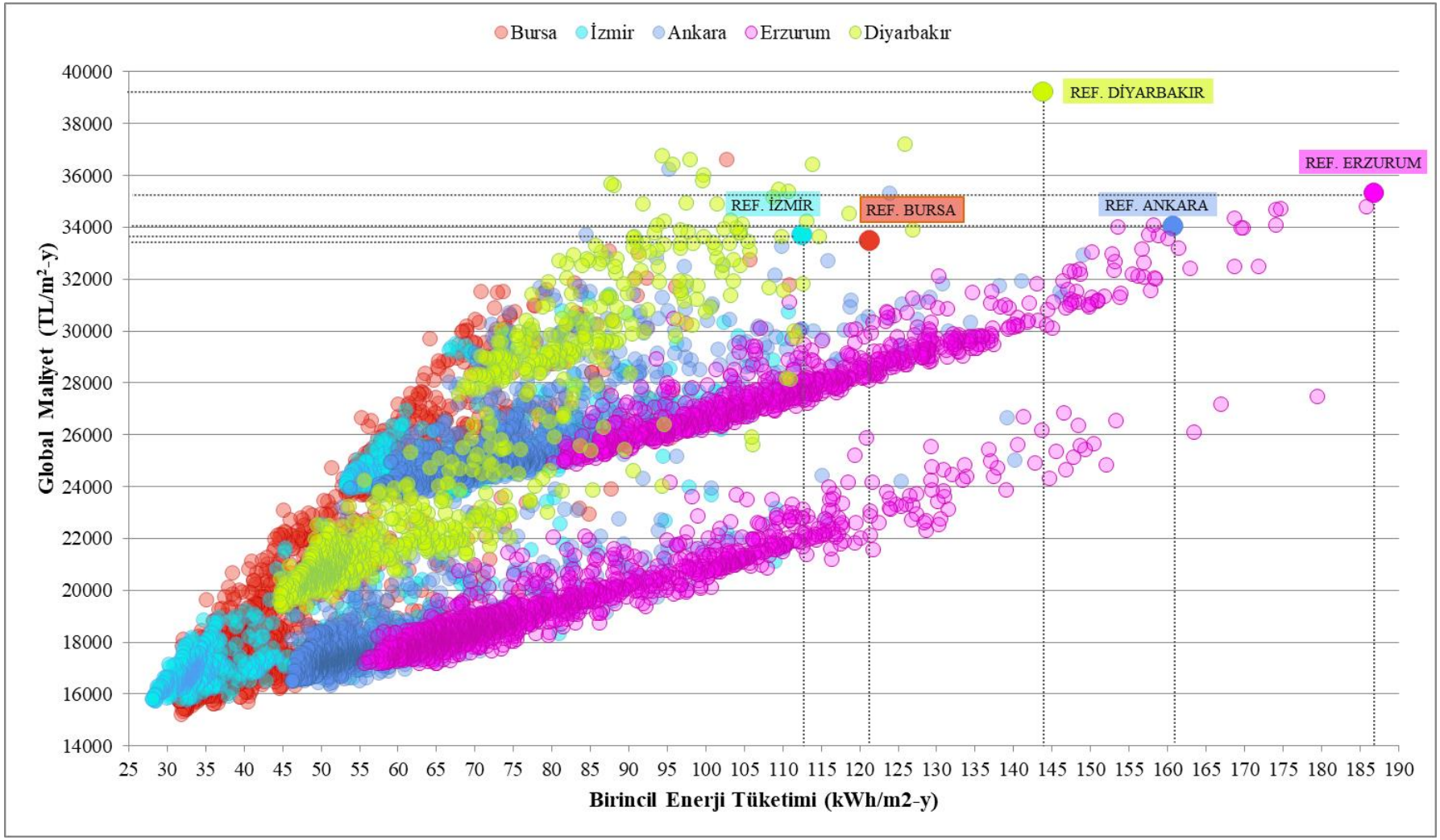
EK 36. Örnek 1 için optimizasyon algoritması ile elde edilen 12 621 tasarım seçeneğinin birincil enerji tüketimi ve global maliyet sonuçları



EK 37. Örnek 2 için optimizasyon algoritması ile elde edilen 12 789 tasarım seçeneğinin birincil enerji tüketimi ve global maliyet sonuçları



EK 38. Örnek 3 için optimizasyon algoritması ile elde edilen 10 170 tasarım seçeneğinin birincil enerji tüketimi ve global maliyet sonuçları



EK 39. Bursa ili (2. DGB – ılımlı nemli iklim) için enerji odaklı (E1) ve maliyet odaklı (M1) optimal çözümlerin örnek konut mekanlarına ait operatif sıcaklık (T_o), bağıl nem oranı (Rh), PMV ve PPD aylık ortalama değerleri

İl	Mekan	Değerlendirme endeksi	ÖRNEK 1												ÖRNEK 2												ÖRNEK 3											
			Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Bursa (E1)	Mutfak	To (°C)	22.5	23.9	24.0	26.7	27.3	28.2	28.5	28.6	28.1	27.2	26.0	23.7	23.5	24.8	25.2	27.2	27.5	28.2	28.4	28.5	28.1	27.5	26.8	25.1	21.7	22.6	22.9	25.6	26.7	27.8	28.2	28.4	27.7	26.6	25.4	22.7
		Rh (%)	33.0	33.8	34.3	35.9	41.6	44.6	46.2	44.2	44.9	43.3	41.8	35.3	32.6	33.2	33.5	35.0	41.1	44.7	46.6	44.7	44.8	42.5	40.1	34.2	33.0	33.8	34.5	37.3	43.3	46.5	48.2	45.8	46.5	45.8	43.2	35.2
		PMV	-0.7	-0.3	-0.2	-0.6	-0.3	0.1	0.3	0.3	0.1	0.8	0.4	-0.3	-0.4	0.0	0.1	-0.4	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.1	0.9	0.7	0.1	-0.9	-0.6	-0.5	-0.7	-0.6	-0.1	0.2	0.2	-0.1	0.6	0.3	-0.6
		PPD (%)	20.2	10.5	9.7	17.1	9.6	6.1	6.7	7.6	6.3	19.9	12.1	10.1	13.8	8.7	7.8	11.6	7.8	6.1	6.5	7.4	6.3	22.0	15.7	8.1	24.8	15.8	13.3	18.7	15.1	6.1	6.0	6.7	6.8	15.0	8.8	14.8
	Salon	To (°C)	21.1	22.1	22.5	25.4	26.4	27.4	27.8	27.9	27.1	25.8	24.1	21.8	21.3	22.3	22.7	25.3	26.1	27.1	27.6	27.7	27.0	25.9	24.6	22.4	21.0	21.7	21.9	24.5	25.7	26.9	27.6	27.7	26.9	25.6	24.4	21.9
		Rh (%)	30.1	30.5	31.3	33.8	42.0	45.7	47.8	45.6	46.2	43.8	40.2	32.5	30.1	30.1	30.9	33.9	42.8	46.7	49.0	46.5	46.7	43.9	39.2	31.6	29.9	30.4	31.6	34.7	43.4	47.1	49.1	46.4	47.0	44.2	39.3	31.8
		PMV	-1.1	-0.8	-0.7	-1.2	-0.7	-0.2	0.0	0.0	-0.3	0.4	-0.2	-0.9	-1.0	-0.7	-0.6	-0.7	-0.8	-0.4	-0.1	-0.1	-0.4	0.4	0.0	-0.7	-1.1	-0.9	-0.9	-1.6	-1.0	-0.4	-0.1	-0.1	-0.5	0.3	-0.1	-0.9
		PPD (%)	31.8	20.9	18.2	37.7	18.5	7.0	6.1	6.4	8.9	9.8	8.5	23.6	30.3	19.2	16.0	18.5	19.9	8.8	6.3	6.5	10.1	9.7	7.1	18.0	33.0	24.2	22.5	56.1	30.0	10.4	6.6	6.6	11.5	8.8	7.4	22.3
	Ebeveyn yatak odası	To (°C)	21.4	22.1	22.7	25.9	26.8	27.6	28.0	28.0	27.1	26.0	24.2	21.7	21.5	22.6	23.1	25.9	26.5	27.3	27.8	27.8	27.1	26.2	24.8	22.5	20.8	21.1	21.4	24.1	25.8	26.9	27.6	27.7	26.7	25.5	23.5	21.3
		Rh (%)	33.9	35.1	36.0	38.6	44.1	46.5	49.8	47.9	47.5	47.7	46.0	37.0	31.9	32.4	33.3	36.5	43.5	46.5	49.7	47.7	46.7	45.6	42.0	34.2	31.4	32.7	33.8	38.2	45.1	47.6	50.7	48.2	48.1	47.0	43.5	34.2
		PMV	-1.0	-0.8	-0.6	-1.0	-0.5	-0.1	0.1	0.0	-0.3	0.5	-0.1	-0.9	-1.0	-0.6	-0.5	-0.7	-0.7	-0.3	0.0	0.0	-0.3	0.5	0.1	-0.7	-1.1	-1.1	-1.0	-1.7	-1.0	-0.4	-0.1	-0.1	-0.6	0.3	-0.3	-1.0
		PPD (%)	27.1	19.2	15.1	26.0	13.1	7.5	8.2	8.3	8.9	10.5	7.9	22.0	26.6	16.0	12.6	16.0	15.9	8.2	7.8	8.3	9.2	11.4	7.0	16.3	33.1	29.2	25.5	61.8	27.0	10.3	7.6	7.9	12.6	7.9	8.4	27.1
	Oda 1	To (°C)	21.6	22.5	23.1	26.0	26.6	27.3	27.6	27.7	26.9	26.1	24.9	22.2	23.1	24.4	25.0	26.5	26.9	27.5	27.8	27.9	27.3	26.7	26.1	24.6	21.7	22.5	22.9	25.6	26.4	27.1	27.6	27.8	27.1	26.3	25.2	22.5
		Rh (%)	31.9	32.8	33.8	36.6	43.2	46.7	50.1	48.1	47.4	45.6	42.2	34.5	30.6	31.0	31.8	35.5	42.1	45.8	49.3	47.3	46.1	43.7	39.4	32.2	31.1	31.7	32.7	36.2	43.2	46.8	50.0	47.6	46.6	44.5	40.5	33.3
		PMV	-0.9	-0.7	-0.5	-0.9	-0.6	-0.3	-0.1	-0.1	-0.5	0.5	0.1	-0.7	-0.5	-0.2	0.0	-0.7	-0.5	-0.2	0.0	0.0	-0.3	0.7	0.4	-0.1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.6	-0.7	-0.3	-0.1	0.0	-0.4	0.5	0.2	-0.7
		PPD (%)	24.8	16.4	13.0	24.9	14.7	8.6	7.6	8.1	10.7	10.6	7.2	17.9	14.3	8.2	6.3	16.8	11.4	7.8	7.6	8.3	8.3	14.5	9.6	7.1	24.4	16.3	13.0	15.5	17.0	9.3	7.7	8.3	9.7	11.8	7.1	16.2
Bursa (M1)	Mutfak	To (°C)	21.7	23.0	23.0	25.8	26.7	27.9	28.3	28.5	27.9	26.8	24.9	22.7	22.1	23.1	23.4	26.2	27.0	28.0	28.4	28.5	27.9	26.9	25.4	23.0	21.4	22.4	22.7	25.5	26.7	27.8	28.3	28.5	27.7	26.5	24.9	22.2
		Rh (%)	33.5	34.4	35.0	37.3	43.1	45.5	46.7	44.5	45.5	44.6	43.9	36.1	30.9	31.4	32.1	34.7	41.7	45.1	47.0	44.9	45.3	43.2	40.3	33.0	33.2	34.0	34.7	37.6	43.3	46.3	47.8	45.4	46.4	46.0	43.8	35.8
		PMV	-0.9	-0.5	-0.5	-1.0	-0.6	0.0	0.2	0.3	0.0	0.7	0.1	-0.6	-0.8	-0.5	-0.4	-0.7	-0.4	0.1	0.2	0.3	0.0	0.7	0.2	-0.5	-1.0	-0.7	-0.6	-0.7	-0.6	0.0	0.2	0.3	-0.1	0.6	0.1	-0.7
		PPD (%)	26.6	14.4	14.3	29.2	15.6	6.0	6.2	7.0	6.3	17.4	10.1	15.1	23.3	13.7	11.9	15.9	12.3	5.9	6.4	7.1	6.3	17.3	9.7	13.6	27.5	17.9	15.4	17.2	15.7	6.1	6.2	7.0	6.9	14.8	8.4	18.6
	Salon	To (°C)	20.5	21.4	21.8	24.7	25.9	27.2	27.8	27.8	27.0	25.4	22.9	21.0	20.8	21.7	21.7	24.4	25.6	27.0	27.6	27.8	26.9	25.7	23.7	21.3	20.7	21.5	21.6	24.3	25.6	27.0	27.6	27.8	26.9	25.5	23.9	21.4
		Rh (%)	30.8	31.5	32.2	35.0	43.1	46.2	48.1	45.8	46.7	44.9	42.7	33.6	29.9	30.3	31.5	34.6	43.6	47.1	49.1	46.5	46.8	43.9	40.2	32.4	30.2	30.8	31.9	35.0	43.5	47.0	48.9	46.1	46.9	44.5	40.3	32.5
		PMV	-1.2	-1.0	-0.9	-1.5	-0.9	-0.3	0.0	0.0	-0.4	0.3	-0.5	-1.1	-1.2	-0.9	-0.9	-1.6	-1.1	-0.4	-0.1	-0.1	-0.4	0.4	-0.3	-1.0	-1.2	-1.0	-0.9	-1.7	-1.1	-0.4	-0.1	-0.1	-0.5	0.3	-0.2	-1.0
		PPD (%)	38.4	28.0	24.7	51.9	26.9	8.3	6.2	6.6	10.6	9.1	13.8	31.7	35.9	25.7	25.2	57.5	32.7	10.3	6.5	6.7	10.7	10.0	10.7	28.8	36.2	27.2	25.4	59.2	31.5	10.4	6.7	6.7	11.6	8.9	9.0	27.5
	Ebeveyn yatak odası	To (°C)	21.2	21.9	22.5	25.7	26.7	27.6	28.2	28.3	27.4	26.1	23.8	21.4	21.4	22.5	22.5	25.5	26.4	27.5	28.0	28.1	27.5	26.6	24.5	21.9	20.6	20.9	21.2	23.6	25.6	26.9	27.6	27.8	26.6	25.1	22.7	20.9
		Rh (%)	33.7	35.0	35.8	39.2	44.5	46.6	49.2	46.9	46.9	47.6	46.5	37.0	30.1	30.4	31.7	35.1	43.1	46.1	49.0	46.8	45.6	43.5	40.4	32.8	31.4	32.8	34.0	38.8	45.6	47.7	50.5	48.0	48.3	47.9	44.7	34.4
		PMV	-1.0	-0.8	-0.7	-0.7	-0.6	-0.1	0.2	0.2	-0.2	0.5	-0.2	-0.9	-1.0	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7	-0.2	0.1	0.1	-0.2	0.6	0.0	-0.9	-1.2	-1.1	-1.0	-1.9	-1.1	-0.4	-0.1	0.0	-0.6	0.2	-0.5	-1.1
		PPD (%)	29.4	20.9	17.5	17.7	14.8	7.9	9.8	10.8	8.5	12.0	10.1	24.9	28.7	17.2	17.8	19.9	18.5	8.5	9.3	10.1	8.8	14.8	9.5	21.7	36.0	32.1	28.5	70.3	30.5	10.5	7.8	8.2	13.5	7.3	12.0	31.2
	Oda 1	To (°C)	20.6	21.2	21.8	25.3	26.5	27.4	27.9	28.1	27.0	25.6	23.0	20.8	22.0	23.1	23.6	26.3	27.0	27.7	28.1	28.1	27.4	26.6	25.1	22.7	21.4	22.2	22.6	25.4	26.4	27.2	27.7	27.9	27.1	26.3	24.8	22.0
		Rh (%)	33.4	34.9	35.9	39.4	44.7	46.9	49.3	47.3	47.7	48.7	47.2	36.8	29.6	29.9	30.7	33.9	41.7	45.3	48.5	46.5	45.7	43.2	39.3	31.8	31.1	31.8	32.9	36.3	43.3	46.8	49.8	47.3	46.5	44.6	41.4	33.7
		PMV	-1.2	-1.0	-0.8	-1.2	-0.7	-0.2	0.1	0.1	-0.4	0.4	-0.4	-1.1	-0.8	-0.5	-0.4	-0.6	-0.5	-0.1	0.1	0.1	-0.2	0.6	0.1	-0.6	-1.0	-0.8	-0.6	-0.6	-0.7	-0.3	-0.1	0.0	-0.3	0.5	0.1	-0.8
		PPD (%)	35.4	28.1	22.4	36.2	17.0	9.1	9.3	10.4	10.7	9.6	12.1	31.6	23.1	13.4	10.8	13.5	12.1	8.1	9.1	10.0	8.3	13.5	7.7	15.4	26.8	18.4	15.2	15.1	17.5	9.2	7.9	8.9	9.6	11.8	7.1	19.9

EK 40. Ankara ili (3. DGB – ılımlı kuru iklim) için enerji odaklı (E1) ve maliyet odaklı (M1) optimal çözümlerin örnek konut mekanlarına ait operatif sıcaklık (T_o), bağıl nem oranı (Rh), PMV ve PPD aylık ortalama değerleri

İl	Mekan	Değerlendirme endeksi	ÖRNEK 1												ÖRNEK 2												ÖRNEK 3											
			Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ankara (E1)	Mutfak	To (°C)	20.9	21.6	22.2	25.7	27.3	28.0	28.5	28.5	28.3	26.8	23.0	21.1	22.4	22.9	23.7	26.4	27.4	28.0	28.4	28.4	28.1	27.3	25.1	23.1	20.4	20.7	21.1	23.1	25.5	27.1	28.0	27.9	27.4	25.6	21.8	20.6
		Rh (%)	22.9	23.5	25.7	32.3	33.6	32.8	34.1	32.6	30.8	31.4	29.8	27.9	23.1	23.6	25.7	31.9	33.3	32.6	34.1	32.4	30.8	31.0	29.1	27.6	22.4	22.7	25.0	33.5	36.1	33.8	34.7	32.9	31.7	32.1	29.6	27.4
		PMV	-1.2	-1.0	-0.8	-1.1	-0.4	-0.1	0.2	0.1	0.0	0.6	-0.5	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.5	-0.3	-0.1	0.1	0.1	-0.1	0.7	0.0	-0.5	-1.3	-1.3	-1.1	-2.2	-1.2	-0.5	-0.1	-0.1	-0.4	0.2	-0.9	-1.2
		PPD (%)	36.4	28.0	21.0	34.3	12.4	7.4	6.4	6.4	6.6	14.7	15.4	31.5	19.7	15.8	10.3	13.6	10.4	6.9	6.0	6.1	6.6	16.4	8.8	13.2	42.5	38.4	32.2	80.3	38.4	13.4	6.2	6.5	10.8	8.6	24.0	38.1
	Salon	To (°C)	20.1	20.6	21.1	24.4	26.4	27.3	28.0	27.9	27.4	25.2	21.3	20.3	20.2	20.5	21.0	24.0	25.8	26.7	27.5	27.4	26.8	25.2	22.0	20.5	20.0	20.2	20.4	22.0	24.4	26.0	27.1	27.1	26.4	24.4	20.9	20.1
		Rh (%)	19.5	19.7	21.8	28.1	31.6	31.6	34.0	32.0	30.5	28.1	26.4	24.5	19.4	19.6	21.7	28.4	32.5	32.2	34.5	32.3	31.1	28.1	25.7	24.3	19.1	19.4	21.6	30.4	34.1	32.8	34.9	32.5	31.3	28.5	26.3	24.2
		PMV	-1.4	-1.3	-1.2	-1.7	-0.8	-0.4	-0.1	-0.2	-0.4	0.1	-1.1	-1.4	-1.4	-1.3	-1.2	-1.9	-1.1	-0.7	-0.3	-0.4	-0.6	0.0	-0.9	-1.3	-1.5	-1.4	-1.3	-2.7	-1.7	-1.0	-0.5	-0.5	-0.7	-0.2	-1.2	-1.4
		PPD (%)	47.7	41.2	34.8	60.5	23.5	12.0	6.5	7.0	10.7	8.6	30.5	43.8	46.3	42.0	34.9	68.1	33.4	17.2	8.3	9.1	15.4	7.1	23.2	40.1	49.6	46.6	42.7	92.4	59.9	28.0	11.4	12.1	17.2	8.5	34.9	45.8
	Ebeveyn yatak odası	To (°C)	20.8	21.5	22.1	25.9	27.4	28.1	28.7	28.7	28.3	26.5	22.4	20.8	20.7	21.0	21.5	24.7	26.4	27.2	27.8	27.8	27.4	25.8	22.5	20.8	20.4	20.5	20.7	21.8	24.4	26.2	27.1	27.0	26.3	24.2	21.0	20.5
		Rh (%)	22.3	22.9	25.3	32.3	35.2	35.1	35.8	34.3	33.9	32.3	30.1	27.5	20.7	21.2	23.6	30.8	34.9	34.8	36.1	34.2	33.7	30.9	27.9	25.9	19.6	20.1	22.5	32.4	36.8	35.7	37.1	35.1	34.7	31.3	27.6	24.8
		PMV	-1.2	-1.0	-0.9	-1.0	-0.4	0.0	0.3	0.2	0.0	0.5	-0.7	-1.2	-1.3	-1.2	-1.0	-1.5	-0.8	-0.4	-0.1	-0.2	-0.4	0.3	-0.7	-1.2	-1.4	-1.3	-1.3	-2.8	-1.7	-0.9	-0.5	-0.5	-0.7	-0.2	-1.1	-1.3
		PPD (%)	37.1	28.9	22.1	29.9	10.6	9.9	12.4	12.2	9.4	12.6	18.7	34.2	39.1	34.0	28.4	53.3	20.5	11.7	8.0	8.2	10.0	8.3	18.1	34.7	43.3	41.2	37.9	94.2	58.0	22.6	10.9	11.6	16.7	8.3	32.5	39.2
	Oda 1	To (°C)	20.4	20.9	21.6	25.7	27.2	27.9	28.5	28.4	27.8	26.1	21.8	20.5	21.4	22.0	22.6	25.5	26.6	27.1	27.5	27.5	27.2	26.4	24.0	21.8	20.7	20.9	21.2	23.1	25.4	26.7	27.3	27.3	26.9	25.5	21.8	20.8
		Rh (%)	21.8	22.4	24.9	32.4	35.2	35.3	35.8	34.4	34.5	32.7	29.8	27.0	21.0	21.3	23.5	30.7	34.9	35.4	36.7	34.7	34.3	30.8	27.3	25.8	20.0	20.5	22.8	31.5	35.5	35.2	36.6	34.5	34.0	30.4	27.5	25.1
		PMV	-1.3	-1.2	-1.0	-1.1	-0.4	-0.1	0.1	0.1	-0.2	0.4	-0.9	-1.3	-1.1	-0.9	-0.7	-0.8	-0.7	-0.5	-0.3	-0.3	-0.5	0.4	-0.3	-0.9	-1.3	-1.2	-1.1	-2.2	-1.2	-0.7	-0.4	-0.4	-0.6	0.2	-0.9	-1.2
		PPD (%)	42.2	35.5	27.0	33.3	12.0	10.6	11.7	11.1	9.4	10.6	23.8	38.9	29.6	23.3	16.9	17.9	17.7	11.5	8.5	8.7	10.4	9.6	9.5	23.9	39.0	35.8	31.0	82.3	38.3	15.7	9.6	9.7	13.5	7.2	23.9	35.2
Ankara (M1)	Mutfak	To (°C)	20.2	20.7	21.0	23.6	26.0	27.2	28.1	28.1	27.7	25.7	21.8	20.4	20.6	20.9	21.5	24.1	26.2	27.3	28.2	28.1	27.6	25.8	22.2	21.0	20.4	20.7	21.0	23.0	25.3	27.0	28.0	28.0	27.3	25.4	21.7	20.6
		Rh (%)	23.0	23.5	25.8	33.8	35.5	33.8	34.7	33.1	31.5	32.4	30.3	28.0	20.3	20.7	22.7	29.9	33.0	32.2	34.1	32.1	30.7	28.9	26.8	25.1	22.4	22.7	25.0	33.7	36.3	33.9	34.7	32.9	31.7	32.2	29.6	27.5
		PMV	-1.4	-1.2	-1.2	-2.0	-1.0	-0.4	0.0	-0.1	-0.3	0.2	-0.9	-1.3	-1.3	-1.2	-1.0	-1.8	-0.9	-0.4	0.0	0.0	-0.3	0.2	-0.8	-1.2	-1.3	-1.3	-1.1	-2.3	-1.3	-0.5	-0.1	-0.1	-0.4	0.2	-0.9	-1.3
		PPD (%)	44.8	38.6	34.5	70.9	30.5	12.5	6.1	6.3	8.8	11.0	24.5	40.2	41.6	36.6	29.1	64.7	28.5	11.8	6.0	6.1	9.1	10.1	21.8	34.3	43.1	39.1	33.5	82.0	40.7	14.1	6.3	6.5	11.0	8.6	25.2	38.7
	Salon	To (°C)	19.7	20.1	20.3	22.5	25.0	26.4	27.6	27.4	26.8	24.2	20.6	19.8	19.7	20.0	20.2	21.9	24.3	25.9	27.1	27.2	26.6	24.0	20.5	19.8	19.9	20.1	20.3	21.8	24.2	26.0	27.1	27.1	26.4	24.2	20.8	20.0
		Rh (%)	19.7	19.9	22.2	30.4	33.6	32.8	34.6	32.6	31.2	29.3	27.1	24.8	18.8	19.1	21.4	30.0	33.9	33.0	34.9	32.5	31.2	28.3	26.3	24.0	19.2	19.4	21.6	30.6	34.4	33.0	35.0	32.6	31.4	28.7	26.4	24.3
		PMV	-1.5	-1.4	-1.4	-2.5	-1.4	-0.8	-0.3	-0.4	-0.7	-0.2	-1.2	-1.5	-1.6	-1.5	-1.4	-2.8	-1.8	-1.1	-0.5	-0.5	-0.8	-0.3	-1.3	-1.5	-1.5	-1.4	-1.4	-2.8	-1.8	-1.0	-0.5	-0.5	-0.6	-0.2	-1.2	-1.4
		PPD (%)	52.7	47.5	43.6	85.8	46.5	22.7	8.2	9.3	16.7	10.9	38.7	49.2	53.3	49.3	46.3	91.6	59.7	32.1	11.1	11.4	19.3	11.3	40.3	49.8	50.6	47.7	44.0	93.2	62.6	29.7	11.8	12.4	16.1	9.1	36.6	46.9
	Ebeveyn yatak odası	To (°C)	20.3	20.6	20.8	23.1	25.8	27.0	27.9	27.8	27.1	24.5	20.9	20.4	20.3	20.8	20.9	23.0	25.6	26.9	28.0	28.1	27.8	25.3	21.1	20.3	20.3	20.4	20.6	21.6	24.1	26.1	27.0	27.0	26.2	23.9	20.9	20.5
		Rh (%)	21.9	22.5	25.0	34.6	37.8	36.8	37.2	35.7	35.9	34.6	30.2	27.2	18.7	19.2	21.4	29.8	33.6	33.3	35.1	32.9	31.5	28.3	26.4	23.9	19.6	20.1	22.5	32.6	37.2	35.9	37.2	35.3	34.9	31.6	27.6	24.8
		PMV	-1.4	-1.3	-1.2	-2.2	-1.0	-0.5	-0.1	-0.2	-0.5	-0.1	-1.1	-1.3	-1.4	-1.3	-1.2	-2.3	-1.2	-0.6	-0.1	-0.1	-0.2	0.1	-1.1	-1.3	-1.4	-1.3	-1.3	-2.9	-1.8	-0.9	-0.5	-0.5	-0.8	-0.3	-1.2	-1.3
		PPD (%)	43.6	39.7	35.2	79.1	30.4	13.6	8.2	8.4	11.9	9.6	32.8	39.9	45.2	38.8	36.5	81.8	37.0	16.2	8.6	9.2	9.3	10.6	32.0	42.6	44.4	42.3	39.0	95.1	61.4	24.3	11.3	12.2	19.6	9.2	34.1	40.2
	Oda 1	To (°C)	20.4	20.6	20.9	23.2	25.8	26.9	27.4	27.3	26.7	24.7	21.0	20.6	20.6	20.9	21.2	23.4	25.3	26.5	27.2	27.2	26.7	24.8	21.5	20.8	20.6	20.9	21.1	22.9	25.3	26.6	27.3	27.3	26.9	25.4	21.7	20.8
		Rh (%)	20.7	21.2	23.6	32.5	35.8	35.8	37.0	35.3	35.2	32.3	28.7	25.9	18.7	19.2	21.4	29.3	34.0	34.0	36.2	33.9	33.1	29.0	26.1	23.8	20.0	20.5	22.8	31.7	35.7	35.3	36.7	34.6	34.0	30.5	27.5	25.1
		PMV	-1.3	-1.3	-1.2	-2.2	-1.1	-0.6	-0.3	-0.4	-0.7	0.0	-1.1	-1.3	-1.3	-1.2	-1.1	-2.1	-1.3	-0.8	-0.4	-0.4	-0.7	-0.1	-1.0	-1.2	-1.3	-1.2	-1.1	-2.3	-1.3	-0.7	-0.4	-0.4	-0.6	0.1	-0.9	-1.2
		PPD (%)	42.1	39.5	35.0	78.2	30.9	14.0	8.9	9.7	15.9	8.5	31.5	38.3	41.2	37.1	32.1	77.7	41.5	20.6	11.1	11.1	16.8	8.2	27.4	36.6	39.7	36.6	32.3	84.9	41.8	16.6	9.8	9.9	13.8	7.3	25.3	36.0

EK 41. Diyarbakır ili (2. DGB – sıcak kuru iklim) için enerji odaklı (E1) ve maliyet odaklı (M1) optimal çözümlerin örnek konut mekanlarına ait operatif sıcaklık (T_o), bağıl nem oranı (Rh), PMV ve PPD aylık ortalama değerleri

İl	Mekan	Değerlendirme endeksi	ÖRNEK 1												ÖRNEK 2												ÖRNEK 3											
			Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Diyarbakır (E1)	Mutfak	To (°C)	21.5	22.3	25.2	26.5	27.8	28.6	29.2	29.2	28.7	27.9	26.0	22.8	23.0	23.9	26.7	27.3	28.0	28.6	29.1	29.0	28.7	28.2	27.1	24.7	21.3	21.9	22.1	24.5	25.9	27.3	27.9	28.2	27.2	25.9	24.4	22.0
		Rh (%)	28.3	30.5	34.7	35.3	32.7	31.3	32.8	31.9	27.7	31.1	35.0	27.0	27.9	29.8	33.0	34.0	31.9	30.3	32.6	31.6	27.0	30.4	33.6	26.3	33.3	34.4	35.2	38.8	45.1	47.7	49.3	46.7	47.7	47.4	44.3	35.8
		PMV	-1.0	-0.7	0.1	-0.7	-0.2	0.1	0.4	0.4	0.2	0.8	0.4	-0.6	-0.6	-0.3	0.6	-0.3	-0.1	0.1	0.4	0.4	0.1	0.8	0.7	-0.1	-1.0	-0.8	-0.8	-1.6	-0.9	-0.3	0.1	0.1	-0.3	0.5	0.0	-0.8
		PPD (%)	27.7	19.0	7.9	18.6	7.9	6.8	9.7	9.3	6.3	19.6	11.0	15.9	15.4	9.4	13.4	10.1	6.4	6.2	8.4	8.2	6.1	19.9	15.9	9.2	28.7	21.5	19.1	54.1	26.4	7.7	5.5	6.0	8.8	10.8	7.3	19.9
	Salon	To (°C)	20.4	20.9	23.5	25.2	26.8	27.9	28.6	28.6	28.0	26.6	23.8	20.9	20.9	21.7	24.8	25.6	26.8	27.8	28.4	28.4	28.0	27.3	25.5	22.6	20.7	21.1	21.2	23.5	25.0	26.5	27.3	27.5	26.4	25.0	23.4	21.2
		Rh (%)	25.0	27.0	30.9	34.2	32.0	27.3	29.3	28.1	23.7	31.0	32.2	23.3	24.6	26.3	29.1	33.5	31.9	27.1	29.2	27.9	23.5	30.0	30.1	21.9	30.3	31.3	32.5	36.4	45.1	48.3	50.1	47.2	48.2	45.9	41.2	32.7
		PMV	-1.3	-1.2	-0.4	-0.6	-0.6	-0.2	0.1	0.1	-0.2	0.5	-0.3	-1.2	-1.2	-1.0	0.0	-1.1	-0.6	-0.3	0.0	0.0	-0.2	0.7	0.1	-0.7	-1.2	-1.1	-1.0	-2.0	-1.3	-0.6	-0.2	-0.2	-0.7	0.2	-0.3	-1.0
		PPD (%)	41.9	34.5	10.3	16.9	16.1	7.9	6.9	6.7	7.2	10.9	9.9	36.3	35.7	26.2	6.2	33.6	15.7	8.4	6.5	6.4	7.1	14.7	6.8	18.9	36.8	31.1	29.1	74.0	44.1	14.8	7.5	7.2	16.7	7.0	9.7	28.7
	Ebeveyn yatak odası	To (°C)	20.8	21.2	23.7	25.7	27.2	28.1	28.8	28.7	28.0	26.6	23.9	21.0	21.3	22.2	25.5	26.2	27.2	28.1	28.8	28.7	28.4	27.6	26.1	23.2	20.7	21.0	21.2	23.3	25.2	26.6	27.3	27.5	26.4	25.1	22.9	21.0
		Rh (%)	28.0	30.5	36.3	39.2	35.8	28.9	30.3	28.9	25.2	36.4	37.8	26.8	26.2	28.2	31.8	36.0	34.1	27.5	28.9	27.5	23.6	32.9	32.7	24.3	31.4	32.8	34.0	39.3	46.8	48.8	51.5	48.8	48.9	48.2	44.6	34.4
		PMV	-1.2	-1.1	-0.3	-0.5	-0.4	-0.1	0.2	0.1	-0.2	0.5	-0.2	-1.1	-1.1	-0.8	0.2	-0.8	-0.4	-0.1	0.2	0.2	0.0	0.8	0.4	-0.5	-1.2	-1.1	-1.0	-2.1	-1.2	-0.6	-0.2	-0.1	-0.7	0.2	-0.5	-1.1
		PPD (%)	35.3	29.4	7.7	11.7	11.3	9.2	11.3	10.5	9.0	11.6	9.9	32.5	29.4	20.2	6.4	21.0	11.1	9.9	12.4	12.0	10.8	19.5	8.8	12.5	34.4	30.9	28.1	76.9	38.0	13.5	8.0	7.9	15.5	6.9	11.2	29.6
	Oda 1	To (°C)	20.5	21.1	24.1	26.0	27.2	28.1	28.7	28.6	28.0	26.7	24.4	21.0	22.7	23.7	26.4	26.9	27.6	28.3	28.8	28.8	28.3	27.4	26.4	24.4	21.3	21.8	22.0	24.5	25.8	26.7	27.2	27.5	26.6	25.8	24.3	21.9
		Rh (%)	27.5	30.0	35.7	38.5	35.8	29.7	30.8	29.7	25.6	36.0	37.0	26.4	25.5	27.3	31.1	35.0	33.8	27.9	29.4	28.3	23.9	33.3	32.5	23.6	31.3	32.4	33.6	37.8	45.0	48.1	51.2	48.7	48.1	46.0	42.5	33.9
		PMV	-1.3	-1.1	-0.2	-0.5	-0.4	-0.1	0.2	0.1	-0.2	0.6	-0.1	-1.1	-0.7	-0.4	0.4	-0.5	-0.3	-0.1	0.2	0.2	-0.1	0.7	0.4	-0.2	-1.0	-0.9	-0.8	-1.6	-1.0	-0.5	-0.3	-0.2	-0.6	0.4	-0.1	-0.8
		PPD (%)	38.1	30.8	6.4	11.7	11.3	10.3	12.4	11.7	10.1	12.4	8.0	33.0	17.1	9.3	9.3	12.8	8.7	9.8	12.5	12.1	9.9	16.6	9.9	8.6	28.0	22.2	19.4	54.5	27.0	12.1	8.1	8.0	13.1	8.8	6.7	21.1
Diyarbakır (M1)	Mutfak	To (°C)	20.3	20.9	23.1	24.9	27.0	28.3	29.1	29.1	28.6	27.2	23.7	20.9	21.0	21.7	24.0	25.6	27.4	28.4	29.1	29.1	28.6	27.4	24.6	21.7	21.0	21.6	21.9	24.4	25.9	27.4	28.0	28.2	27.1	25.7	23.9	21.6
		Rh (%)	27.5	29.7	34.7	36.9	33.5	30.6	32.0	31.0	26.9	31.7	35.8	26.0	25.6	27.6	31.8	34.5	31.8	28.1	30.1	28.9	24.9	30.7	32.6	23.7	33.5	34.6	35.3	38.9	45.0	47.5	49.0	46.6	47.9	47.8	45.0	36.1
		PMV	-1.3	-1.1	-0.5	-0.6	-0.5	0.0	0.4	0.4	0.1	0.7	-0.3	-1.2	-1.1	-0.9	-0.3	-1.1	-0.4	0.0	0.4	0.3	0.1	0.7	-0.1	-1.0	-1.1	-0.9	-0.8	-1.6	-0.9	-0.2	0.1	0.1	-0.3	0.4	-0.2	-0.9
		PPD (%)	41.8	33.7	12.6	15.1	15.0	7.2	9.0	8.9	6.0	15.8	11.3	35.0	33.7	25.6	8.8	33.4	11.1	6.5	8.4	8.1	5.9	16.6	9.8	27.1	31.0	24.5	20.8	55.3	25.5	7.3	5.6	6.1	9.3	9.7	7.7	23.3
	Salon	To (°C)	19.7	20.1	21.5	23.6	26.0	27.6	28.6	28.5	27.8	25.8	21.8	20.0	19.8	20.1	21.2	23.3	25.8	27.5	28.4	28.4	27.6	25.4	21.8	20.0	20.5	20.8	21.1	23.5	25.0	26.6	27.3	27.5	26.3	24.8	23.0	21.0
		Rh (%)	25.2	27.3	33.1	36.7	33.1	27.2	28.6	27.3	23.4	32.2	34.6	23.5	24.7	26.9	32.9	36.7	33.1	26.6	27.7	26.3	22.8	32.4	34.0	22.9	30.5	31.6	32.6	36.5	44.9	48.1	49.9	47.0	48.3	46.4	42.1	33.1
		PMV	-1.5	-1.4	-1.0	-2.0	-1.0	-0.3	0.1	0.1	-0.3	0.3	-0.9	-1.4	-1.5	-1.4	-1.0	-2.1	-1.1	-0.4	0.0	0.0	-0.4	0.2	-0.9	-1.4	-1.2	-1.2	-1.1	-2.0	-1.3	-0.6	-0.2	-0.2	-0.7	0.1	-0.5	-1.1
		PPD (%)	50.5	44.6	26.1	71.6	29.5	10.6	6.7	6.6	8.6	7.9	23.6	47.9	50.3	45.6	28.8	77.3	33.4	11.6	6.5	6.5	9.8	6.6	23.7	47.8	38.4	33.8	30.3	74.4	42.9	14.0	7.3	7.1	17.2	6.9	11.6	31.5
	Ebeveyn yatak odası	To (°C)	20.5	20.9	22.7	24.9	26.9	28.1	29.0	29.0	28.5	27.0	23.4	20.8	20.2	20.5	21.4	23.9	26.5	27.9	28.8	28.7	27.9	25.9	22.0	20.4	20.7	20.9	21.2	23.2	25.2	26.6	27.3	27.5	26.4	25.0	22.7	21.0
		Rh (%)	26.5	28.9	35.0	39.2	35.7	28.4	29.3	27.9	24.2	35.3	36.4	25.2	24.4	26.8	33.5	37.1	33.7	26.6	27.3	26.1	23.0	33.8	34.7	23.0	31.5	32.8	34.0	39.4	46.7	48.5	51.4	48.8	49.0	48.3	44.9	34.4
		PMV	-1.3	-1.1	-0.6	-0.7	-0.6	-0.1	0.3	0.3	0.0	0.6	-0.4	-1.2	-1.4	-1.3	-1.0	-1.8	-0.8	-0.2	0.2	0.1	-0.3	0.3	-0.8	-1.3	-1.2	-1.1	-1.0	-2.1	-1.2	-0.6	-0.2	-0.1	-0.7	0.2	-0.5	-1.1
		PPD (%)	39.4	32.7	13.7	18.1	15.4	10.2	13.5	13.5	10.4	14.6	11.6	35.5	44.5	39.6	25.2	66.5	21.2	10.7	12.3	11.2	9.8	7.9	21.0	42.5	34.8	31.3	28.4	77.6	37.5	12.9	7.9	7.9	15.6	6.8	12.1	30.1
	Oda 1	To (°C)	20.1	20.5	22.1	24.6	26.8	28.0	28.8	28.8	28.1	26.5	22.5	20.4	21.1	21.5	23.7	25.7	27.2	28.2	28.9	28.8	28.2	26.8	24.2	21.5	21.1	21.5	21.9	24.5	25.9	26.8	27.4	27.5	26.6	25.6	23.8	21.6
		Rh (%)	26.3	28.8	35.3	38.9	35.8	29.1	29.9	28.9	24.8	35.7	36.8	25.0	24.2	26.3	30.6	34.4	32.8	26.7	27.7	26.6	22.9	32.3	31.8	22.6	31.4	32.6	33.7	37.8	44.7	47.7	50.8	48.4	48.2	46.6	43.3	34.2
		PMV	-1.4	-1.2	-0.8	-1.5	-0.6	-0.1	0.2	0.2	-0.1	0.5	-0.6	-1.3	-1.2	-1.0	-0.3	-1.1	-0.5	-0.1	0.2	0.2	-0.1	0.6	-0.2	-1.0	-1.1	-1.0	-0.8	-1.6	-0.9	-0.5	-0.2	-0.1	-0.6	0.4	-0.2	-0.9
		PPD (%)	44.5	38.0	18.3	52.0	16.5	11.2	13.7	13.3	11.0	11.4	16.6	41.8	33.3	26.8	8.3	31.9	12.1	9.9	13.4	12.6	9.5	11.9	9.4	28.8	29.8	24.8	20.7	55.1	25.2	11.1	7.8	8.1	13.4	8.2	7.5	23.9

EK 42. Erzurum ili (4. DGB – soğuk iklim) için enerji odaklı (E1) ve maliyet odaklı (M1) optimal çözümlerin örnek konut mekanlarına ait operatif sıcaklık (T_o), bağıl nem oranı (Rh), PMV ve PPD aylık ortalama değerleri

İl	Mekan	Değerlendirme endeksi	ÖRNEK 1												ÖRNEK 2												ÖRNEK 3											
			Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Erzurum (E1)	Mutfak	To (°C)	20.3	20.7	21.8	24.6	26.5	27.7	28.3	28.4	28.1	26.9	23.7	21.3	21.2	21.5	22.9	25.3	27.0	27.6	28.2	28.3	28.0	27.0	24.8	22.2	20.2	20.4	21.2	23.3	25.6	27.5	28.3	28.4	27.9	26.2	22.4	20.6
		Rh (%)	17.7	19.1	23.7	29.3	32.9	29.6	35.5	32.5	25.0	28.1	26.3	21.5	17.7	19.1	23.8	28.9	32.4	29.6	35.1	32.1	24.8	28.0	26.1	21.6	17.0	18.3	22.9	28.9	33.0	29.5	35.1	31.8	24.4	27.6	25.4	20.7
		PMV	-1.4	-1.3	-0.9	-1.6	-0.8	-0.3	0.0	0.1	-0.1	0.6	-0.4	-1.1	-1.2	-1.1	-0.6	-1.3	-0.6	-0.3	0.0	0.0	-0.2	0.6	-0.1	-0.8	-1.4	-1.4	-1.1	-2.2	-1.2	-0.3	0.0	0.1	-0.2	0.3	-0.8	-1.3
		PPD (%)	45.6	40.6	25.3	53.0	21.1	8.9	6.1	6.4	7.3	14.1	14.2	32.0	35.0	30.5	15.1	43.2	14.1	8.8	6.0	6.2	7.4	14.1	9.2	22.7	46.7	44.0	32.6	76.1	36.3	10.7	6.3	6.5	8.3	9.9	20.8	41.0
	Salon	To (°C)	19.7	20.0	20.8	23.4	25.3	27.0	27.6	27.7	27.1	25.2	21.7	20.2	20.0	20.1	20.7	22.6	24.7	25.9	26.9	27.1	26.7	25.3	22.6	20.4	19.8	19.9	20.4	22.0	24.2	26.3	27.4	27.5	26.9	24.8	21.4	20.2
		Rh (%)	14.2	15.5	19.8	24.4	28.5	27.7	34.8	31.5	22.8	23.5	22.2	17.8	14.0	15.4	19.8	24.9	29.2	29.0	35.6	32.0	23.0	23.3	21.4	17.6	13.7	15.1	19.4	25.0	29.1	27.9	34.7	31.1	22.3	22.9	21.7	17.3
		PMV	-1.6	-1.5	-1.3	-2.2	-1.4	-0.6	-0.2	-0.2	-0.6	0.0	-1.0	-1.4	-1.5	-1.5	-1.3	-2.5	-1.6	-1.1	-0.6	-0.5	-0.8	0.0	-0.7	-1.4	-1.6	-1.5	-1.4	-2.8	-1.8	-0.9	-0.4	-0.3	-0.7	-0.1	-1.1	-1.4
		PPD (%)	54.3	50.4	38.6	75.5	43.9	14.9	7.7	7.7	16.0	7.3	28.5	47.1	51.5	49.4	39.6	85.6	58.2	31.3	12.6	11.6	20.6	6.2	19.3	44.2	53.5	51.8	44.0	92.5	66.6	25.4	9.7	9.3	18.6	7.2	31.0	48.0
	Ebeveyn yatak odası	To (°C)	20.2	20.4	21.1	23.7	26.0	27.5	27.9	27.8	27.1	25.0	21.4	20.5	20.5	20.6	21.1	23.2	25.2	26.5	27.2	27.4	27.1	26.0	23.2	20.9	20.0	20.2	20.6	21.4	23.6	25.8	27.0	27.0	26.3	23.9	20.9	20.3
		Rh (%)	16.4	18.0	23.1	29.4	33.7	32.9	37.6	34.7	29.3	29.6	26.2	20.5	15.2	16.7	21.5	27.3	32.2	32.0	37.5	34.0	26.6	26.3	23.7	19.1	14.1	15.6	20.4	27.2	32.4	32.0	37.5	34.2	26.5	26.4	23.4	18.0
		PMV	-1.4	-1.4	-1.1	-2.0	-1.0	-0.4	-0.1	-0.2	-0.5	0.0	-1.0	-1.3	-1.4	-1.3	-1.2	-2.2	-1.3	-0.8	-0.4	-0.4	-0.6	0.3	-0.5	-1.2	-1.5	-1.4	-1.3	-3.0	-2.1	-1.1	-0.5	-0.5	-0.6	-0.3	-1.2	-1.4
		PPD (%)	46.8	43.1	32.7	68.0	26.1	9.5	8.4	8.2	13.3	7.2	28.5	41.3	44.1	41.7	33.4	79.2	42.8	19.2	9.8	9.5	13.9	7.1	15.2	36.8	50.3	47.4	39.7	96.5	78.5	30.6	11.6	12.0	14.9	10.0	35.4	45.0
	Oda 1	To (°C)	20.1	20.3	21.1	24.6	26.9	28.1	28.5	28.5	27.9	26.2	22.1	20.3	21.3	21.6	22.9	25.2	26.5	27.1	27.6	27.6	27.3	26.5	24.6	22.0	20.6	20.7	21.2	23.1	25.4	26.8	27.5	27.6	27.3	25.9	22.2	20.8
		Rh (%)	16.0	17.6	22.7	28.6	32.6	31.6	36.1	33.2	27.8	28.6	25.7	20.0	15.3	16.7	21.1	26.0	30.7	31.1	36.5	33.4	26.3	25.9	23.2	19.0	14.6	16.0	20.7	26.3	30.9	30.8	36.4	33.1	25.7	25.5	23.3	18.4
		PMV	-1.5	-1.4	-1.1	-1.6	-0.6	-0.1	0.1	0.1	-0.2	0.3	-0.9	-1.4	-1.2	-1.1	-0.7	-1.4	-0.8	-0.5	-0.3	-0.3	-0.5	0.4	-0.2	-0.9	-1.4	-1.3	-1.1	-2.3	-1.3	-0.6	-0.3	-0.3	-0.5	0.2	-0.8	-1.3
		PPD (%)	48.5	44.9	32.7	50.7	15.6	10.4	13.1	12.8	11.4	8.9	23.0	43.9	34.2	30.0	15.6	45.6	19.4	11.7	8.2	8.3	11.5	9.0	8.7	24.7	43.0	40.6	32.0	81.4	40.8	15.1	8.9	8.9	12.6	7.0	21.4	38.7
Erzurum (M1)	Mutfak	To (°C)	20.3	20.6	21.7	24.3	26.2	27.5	28.2	28.3	28.0	26.7	23.4	21.2	20.9	21.2	22.5	24.7	26.5	27.4	28.1	28.2	27.8	26.6	24.0	21.7	20.4	20.7	21.0	23.0	25.3	27.0	28.0	28.0	27.3	25.4	21.7	20.6
		Rh (%)	17.6	19.0	23.7	29.3	33.1	29.8	35.6	32.5	25.1	28.2	26.3	21.5	17.5	19.0	23.7	29.2	32.8	29.7	35.2	32.1	24.7	28.2	26.2	21.4	22.4	22.7	25.0	33.7	36.3	33.9	34.7	32.9	31.7	32.2	29.6	27.5
		PMV	-1.4	-1.3	-1.0	-1.7	-0.9	-0.4	0.0	0.0	-0.2	0.5	-0.5	-1.1	-1.2	-1.2	-0.7	-1.5	-0.8	-0.4	0.0	0.0	-0.3	0.5	-0.3	-1.0	-1.3	-1.3	-1.1	-2.3	-1.3	-0.5	-0.1	-0.1	-0.4	0.2	-0.9	-1.3
		PPD (%)	46.2	41.6	26.6	58.6	25.1	10.1	6.1	6.3	7.7	12.7	14.8	33.4	38.9	34.9	18.9	52.5	20.5	10.5	6.1	6.2	8.1	12.1	10.9	27.5	43.1	39.1	33.5	82.0	40.7	14.1	6.3	6.5	11.0	8.6	25.2	38.7
	Salon	To (°C)	19.7	19.9	20.7	22.9	24.9	26.7	27.5	27.6	26.9	24.8	21.4	20.1	19.7	19.8	20.3	21.8	23.8	25.5	26.7	26.9	26.4	24.5	21.5	20.1	19.9	20.1	20.3	21.8	24.2	26.0	27.1	27.1	26.4	24.2	20.8	20.0
		Rh (%)	14.2	15.5	19.9	24.8	29.0	28.0	35.0	31.7	23.0	23.8	22.4	17.8	14.1	15.4	19.9	25.7	30.2	29.6	36.0	32.2	23.3	23.9	22.2	17.7	19.2	19.4	21.6	30.6	34.4	33.0	35.0	32.6	31.4	28.7	26.4	24.3
		PMV	-1.6	-1.5	-1.3	-2.4	-1.5	-0.7	-0.3	-0.3	-0.7	-0.1	-1.1	-1.4	-1.6	-1.6	-1.4	-2.8	-2.0	-1.3	-0.7	-0.6	-0.5	-0.2	-1.0	-1.5	-1.5	-1.4	-1.4	-2.8	-1.8	-1.0	-0.5	-0.5	-0.6	-0.2	-1.2	-1.4
		PPD (%)	54.6	51.2	40.2	81.7	52.0	18.5	8.6	8.5	18.5	7.6	31.0	47.8	55.3	53.3	44.8	93.3	74.4	40.0	15.2	13.5	11.7	7.4	29.9	49.0	50.6	47.7	44.0	93.2	62.6	29.7	11.8	12.4	14.9	9.1	36.6	46.9
	Ebeveyn yatak odası	To (°C)	20.5	20.7	21.4	24.4	26.4	27.9	28.3	28.5	28.0	26.5	22.8	20.8	20.1	20.2	20.7	22.1	24.1	26.0	27.0	27.1	26.8	25.2	21.9	20.5	20.3	20.4	20.6	21.6	24.1	26.1	27.0	27.0	26.2	23.9	20.9	20.5
		Rh (%)	16.6	18.1	23.2	29.0	33.2	32.3	36.7	33.7	28.1	28.4	26.0	20.6	14.9	16.4	21.3	27.7	33.1	32.6	38.0	34.3	26.8	26.7	24.0	18.9	19.6	20.1	22.5	32.6	37.2	35.9	37.2	35.3	34.9	31.6	27.6	24.8
		PMV	-1.3	-1.3	-1.1	-1.7	-0.8	-0.2	0.1	0.1	-0.1	0.4	-0.6	-1.2	-1.5	-1.4	-1.3	-2.7	-1.8	-1.0	-0.5	-0.5	-0.7	0.0	-0.9	-1.3	-1.4	-1.3	-1.3	-2.9	-1.8	-0.9	-0.5	-0.5	-0.6	-0.3	-1.2	-1.3
		PPD (%)	42.6	39.7	29.6	55.5	20.5	8.7	9.7	10.4	9.9	10.0	17.6	37.1	48.8	46.5	38.9	92.6	67.7	27.6	12.1	11.2	17.8	6.3	24.2	42.0	44.4	42.3	39.0	95.1	61.4	24.3	11.3	12.2	14.9	9.2	34.1	40.2
	Oda 1	To (°C)	20.1	20.3	21.0	24.0	26.4	27.6	28.1	28.1	27.6	25.8	21.7	20.3	21.0	21.2	22.2	24.5	26.0	26.9	27.4	27.5	27.1	26.2	23.6	21.5	20.6	20.9	21.1	22.9	25.3	26.6	27.3	27.3	26.9	25.4	21.7	20.8
		Rh (%)	16.1	17.6	22.7	28.8	33.2	32.1	36.7	33.7	28.1	28.9	25.7	20.1	15.2	16.6	21.2	26.3	31.1	31.4	36.7	33.6	26.4	26.1	23.4	18.9	20.0	20.5	22.8	31.7	35.7	35.3	36.7	34.6	34.0	30.5	27.5	25.1
		PMV	-1.5	-1.4	-1.2	-1.8	-0.8	-0.3	0.0	0.0	-0.4	0.2	-0.9	-1.4	-1.2	-1.2	-0.9	-1.7	-1.0	-0.6	-0.3	-0.3	-0.6	0.3	-0.4	-1.1	-1.3	-1.2	-1.1	-2.3	-1.3	-0.7	-0.4	-0.4	-0.6	0.1	-0.9	-1.2
		PPD (%)	48.7	45.4	34.7	61.4	20.7	9.9	10.3	10.1	11.4	7.7	25.5	44.0	37.9	34.2	21.2	58.4	27.2	14.3	8.8	8.8	12.9	7.6	11.9	29.2	39.7	36.6	32.3	84.9	41.8	16.6	9.8	9.9	13.8	7.3	25.3	36.0

EK 43. İzmir ili (1. DGB – sıcak nemli iklim) için enerji odaklı (E1) ve maliyet odaklı (M1) optimal çözümlerin örnek konut mekanlarına ait operatif sıcaklık (T_o), bağıl nem oranı (Rh), PMV ve PPD aylık ortalama değerleri

İl	Mekan	Değerlendirme endeksi	ÖRNEK 1												ÖRNEK 2												ÖRNEK 3											
			Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
İzmir (E1)	Mutfak	To (°C)	23.6	23.2	24.2	26.3	27.4	28.2	28.5	28.3	28.3	27.2	25.6	24.0	24.0	23.6	24.4	26.5	27.4	28.2	28.4	28.3	28.2	27.1	25.8	24.7	22.8	22.5	23.2	25.3	26.7	27.8	28.2	28.1	28.0	26.6	25.1	23.4
		Rh (%)	41.1	36.9	40.4	41.3	41.5	43.3	41.7	46.1	43.5	39.7	37.4	40.2	37.5	33.5	37.2	38.9	41.1	43.4	41.8	46.8	43.7	38.8	34.1	36.0	41.0	36.6	40.9	43.0	43.2	45.0	43.1	48.4	45.1	41.2	37.2	39.9
		PMV	-0.3	-0.4	-0.1	-0.7	-0.3	0.1	0.2	0.2	0.2	0.8	0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.1	-0.7	-0.3	0.1	0.2	0.2	0.1	0.7	0.3	0.0	-0.5	-0.6	-0.4	-0.7	-0.6	-0.1	0.1	0.1	0.0	0.6	0.1	-0.4
		PPD (%)	8.8	12.2	8.8	17.8	9.5	6.6	6.4	6.1	6.3	18.1	9.3	9.0	8.1	10.3	8.1	18.6	9.0	6.5	6.3	6.1	6.1	17.0	9.1	8.8	12.0	15.5	10.4	17.8	15.5	6.7	5.7	5.6	5.8	13.8	7.1	9.5
	Salon	To (°C)	21.5	21.4	22.6	24.9	26.7	27.6	27.9	27.7	27.5	25.8	23.5	21.9	21.6	21.3	22.0	24.5	26.1	27.2	27.6	27.4	27.2	25.6	23.7	22.3	21.8	21.5	22.1	24.3	25.9	27.1	27.6	27.4	27.2	25.8	24.1	22.4
		Rh (%)	39.2	34.1	37.6	39.6	42.2	44.0	42.4	47.7	44.7	40.0	34.8	37.9	38.3	33.5	37.9	39.9	43.3	45.4	43.3	49.1	45.6	40.2	33.6	36.5	38.1	33.5	38.0	40.4	43.7	45.5	43.3	49.0	45.6	40.0	33.3	36.7
		PMV	-0.9	-1.0	-0.6	-0.7	-0.6	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2	0.4	-0.4	-0.8	-0.9	-1.0	-0.8	-1.6	-0.9	-0.4	-0.2	-0.2	-0.3	0.3	-0.3	-0.7	-0.8	-1.0	-0.7	-1.6	-0.9	-0.4	-0.2	-0.2	-0.3	0.3	-0.2	-0.7
		PPD (%)	23.5	26.8	16.2	17.7	16.6	7.9	6.4	6.2	7.3	8.5	10.6	20.6	22.7	27.5	19.8	56.0	24.2	10.3	7.0	6.7	8.5	7.3	9.6	18.2	20.3	25.6	18.2	58.4	26.6	10.8	7.0	6.8	8.3	7.9	7.5	16.3
	Ebeveyn yatak odası	To (°C)	21.4	21.4	22.7	25.4	27.0	27.8	28.1	27.9	27.5	26.0	23.4	21.9	22.0	21.7	22.5	25.1	26.5	27.5	27.8	27.7	27.5	26.2	24.3	22.6	21.3	21.2	21.6	24.1	25.9	27.2	27.8	27.5	27.0	25.7	23.5	21.8
		Rh (%)	43.5	38.2	42.5	44.1	43.9	45.6	43.9	49.7	46.2	44.0	40.6	42.4	39.1	34.3	38.6	40.7	43.5	45.8	43.8	49.9	45.5	40.9	34.7	37.6	40.7	35.6	40.7	43.6	45.3	46.9	44.2	50.7	46.8	42.3	36.7	39.5
		PMV	-0.9	-0.9	-0.5	-0.6	-0.4	0.0	0.1	0.0	-0.2	0.4	-0.3	-0.7	-0.8	-0.9	-0.6	-0.7	-0.7	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2	0.5	-0.1	-0.6	-1.0	-1.0	-0.9	-1.7	-0.9	-0.3	-0.1	-0.2	-0.4	0.4	-0.3	-0.8
		PPD (%)	22.2	24.1	13.9	16.2	12.2	9.3	9.1	8.4	8.1	9.4	10.6	18.7	18.2	22.6	15.1	17.7	16.7	9.7	8.5	8.1	8.2	9.7	7.2	14.6	24.7	27.6	21.6	60.8	24.3	10.6	7.9	7.9	9.8	7.9	9.4	19.8
	Oda 1	To (°C)	21.5	21.5	22.8	25.5	27.0	27.8	28.0	27.9	27.6	26.2	23.8	21.9	23.6	23.3	24.4	26.2	27.0	27.7	28.0	27.8	27.6	26.7	25.4	24.3	22.5	22.4	23.1	25.3	26.3	27.2	27.6	27.5	27.3	26.4	25.0	23.2
		Rh (%)	42.9	37.7	41.8	43.7	43.6	45.3	43.8	49.4	45.6	43.4	39.6	41.9	36.6	32.3	35.8	38.6	42.4	45.1	43.4	49.3	44.9	39.5	33.2	35.0	39.2	34.6	38.8	41.4	44.2	46.5	44.4	50.4	45.7	40.9	35.2	38.0
		PMV	-0.9	-0.9	-0.5	-0.6	-0.4	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.5	-0.2	-0.7	-0.3	-0.4	-0.1	-0.8	-0.5	-0.1	0.0	0.0	-0.2	0.6	0.2	-0.1	-0.6	-0.7	-0.4	-0.8	-0.7	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	0.5	0.1	-0.4
		PPD (%)	22.1	24.1	12.5	16.5	12.1	10.1	9.9	9.3	8.8	10.8	8.9	18.7	8.7	10.8	7.1	19.9	11.6	9.0	8.4	8.2	7.9	12.4	6.7	7.9	13.3	16.1	10.0	18.7	18.0	10.0	8.1	8.1	8.5	11.0	6.1	10.0
İzmir (M1)	Mutfak	To (°C)	22.9	22.5	23.4	25.7	27.1	28.1	28.4	28.3	28.1	26.7	24.8	23.4	22.4	22.2	23.0	25.4	27.0	28.1	28.4	28.3	28.1	26.5	24.2	23.0	22.4	22.1	22.8	25.0	26.6	27.8	28.2	28.1	27.9	26.4	24.6	22.9
		Rh (%)	41.8	37.4	41.4	42.6	42.1	43.6	41.9	46.5	44.0	40.7	38.2	40.8	38.4	33.8	37.8	39.7	41.7	43.5	41.8	47.0	43.9	39.5	34.7	36.8	41.6	36.9	41.4	43.5	43.3	44.8	42.9	48.3	45.2	41.7	37.7	40.4
		PMV	-0.5	-0.6	-0.3	-0.5	-0.4	0.1	0.2	0.2	0.1	0.6	0.1	-0.3	-0.6	-0.8	-0.5	-0.6	-0.4	0.0	0.2	0.2	0.1	0.5	-0.2	-0.5	-0.6	-0.8	-0.5	-0.6	-0.6	-0.1	0.1	0.1	0.0	0.5	0.0	-0.5
		PPD (%)	11.6	16.2	11.0	13.9	12.3	6.7	6.3	5.9	6.1	14.6	8.3	10.9	15.8	19.7	13.4	16.5	14.3	6.9	6.3	6.0	6.1	12.4	9.4	13.9	15.0	18.7	12.8	16.8	17.1	6.9	5.8	5.6	5.9	12.4	7.2	12.4
	Salon	To (°C)	21.1	21.0	21.9	24.3	26.3	27.4	27.8	27.6	27.3	25.4	22.8	21.5	20.7	20.5	21.1	23.4	25.8	27.2	27.7	27.5	27.2	25.0	22.2	21.0	21.4	21.1	21.7	24.0	25.8	27.1	27.6	27.4	27.2	25.5	23.6	21.9
		Rh (%)	40.0	34.7	38.9	40.8	42.9	44.5	42.7	48.1	45.2	41.0	35.9	38.6	39.6	34.3	39.3	41.9	43.9	45.3	43.2	49.0	45.6	41.3	35.8	38.4	38.8	34.0	38.8	41.1	43.9	45.4	43.2	49.0	45.7	40.5	34.1	37.5
		PMV	-1.0	-1.1	-0.8	-1.6	-0.8	-0.3	-0.1	-0.1	-0.3	0.2	-0.5	-0.9	-1.1	-1.2	-1.0	-2.1	-1.0	-0.4	-0.1	-0.1	-0.3	0.1	-0.7	-1.1	-0.9	-1.1	-0.8	-1.8	-1.0	-0.4	-0.2	-0.2	-0.3	0.3	-0.4	-0.8
		PPD (%)	28.2	31.3	21.7	57.8	21.7	8.9	6.7	6.4	8.1	7.0	14.7	24.8	32.9	36.8	29.2	74.5	30.0	11.2	7.1	6.7	9.2	6.5	19.7	30.2	24.4	29.5	22.1	64.6	28.6	10.9	7.0	6.9	8.7	7.2	9.7	20.8
	Ebeveyn yatak odası	To (°C)	21.6	21.5	22.4	25.0	26.7	27.7	28.0	27.9	27.6	26.1	23.7	22.0	21.2	21.1	21.6	24.1	26.4	27.7	28.1	27.9	27.7	26.0	23.0	21.4	21.1	21.0	21.4	23.7	25.8	27.2	27.8	27.5	27.0	25.6	23.0	21.4
		Rh (%)	43.4	38.1	42.8	45.1	44.7	46.0	44.2	49.8	46.0	43.8	40.3	42.4	39.3	34.0	39.1	41.5	43.4	45.1	43.2	49.2	44.9	40.7	35.5	38.4	40.8	35.6	40.9	44.2	45.7	46.8	44.1	50.6	46.7	42.9	37.4	40.0
		PMV	-0.8	-0.9	-0.6	-1.3	-0.6	-0.1	0.0	0.0	-0.1	0.5	-0.3	-0.7	-1.0	-1.0	-0.9	-1.7	-0.7	-0.1	0.0	0.0	-0.1	0.4	-0.5	-0.9	-1.0	-1.1	-0.9	-1.9	-1.0	-0.3	-0.1	-0.1	-0.4	0.3	-0.5	-0.9
		PPD (%)	20.9	23.6	15.0	40.8	14.5	9.3	8.8	8.2	7.8	10.3	9.1	18.3	25.7	29.0	22.6	61.7	20.6	10.6	9.8	9.2	8.5	9.2	13.1	24.4	27.0	29.9	24.0	68.6	27.1	11.0	8.2	8.1	9.9	7.4	12.6	23.7
	Oda 1	To (°C)	21.6	21.4	22.3	25.2	26.5	27.4	27.7	27.5	27.1	25.9	23.6	22.1	22.2	22.1	23.1	25.5	26.8	27.7	28.1	27.9	27.7	26.5	24.2	22.7	22.0	21.9	22.6	25.0	26.2	27.2	27.6	27.4	27.3	26.2	24.4	22.6
		Rh (%)	40.2	35.3	39.6	41.3	43.7	45.7	44.0	50.3	46.3	41.8	36.7	38.9	37.8	32.9	36.7	39.0	42.5	44.9	43.1	49.1	44.7	39.3	33.8	36.2	39.9	35.1	39.5	42.1	44.5	46.5	44.4	50.5	45.9	41.3	35.9	38.7
		PMV	-0.9	-0.9	-0.7	-0.8	-0.7	-0.2	-0.1	-0.2	-0.4	0.4	-0.3	-0.7	-0.7	-0.8	-0.5	-0.6	-0.5	-0.1	0.0	0.0	-0.1	0.5	-0.2	-0.6	-0.7	-0.8	-0.6	-0.8	-0.8	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	0.5	-0.1	-0.6
		PPD (%)	21.5	24.8	16.2	20.7	16.5	9.7	8.5	8.3	9.6	8.4	9.8	17.8	16.7	19.5	12.0	15.3	14.2	9.7	9.2	8.7	8.3	11.3	8.3	14.4	17.4	19.9	13.0	19.4	19.7	10.1	8.1	8.1	8.7	10.0	6.6	13.9

EK 44. Konut sitelerinin enerji (E1) ve maliyet odaklı (M1) optimal çözümleri için örnek mekanlarına ait adaptif konfor sonuçları (T_o, °C)

İl	Mekan	ÖRNEK 1												ÖRNEK 2												ÖRNEK 3											
		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Bursa (E1)	Mutfak	-	-	-	27.3	28.3	30.1	31.7	32.8	29.8	28.2	26.8	-	-	-	-	28.1	28.7	30.1	31.2	31.9	29.7	28.6	27.7	-	-	-	-	24.9	26.7	28.6	30.0	31.0	28.7	26.9	25.2	-
	Salon	-	-	-	26.3	27.5	29.3	31.0	32.2	29.0	27.4	25.5	-	-	-	-	26.2	27.2	28.8	30.0	30.8	28.5	27.1	25.4	-	-	-	-	23.9	25.7	27.7	29.3	30.4	27.8	26.1	24.3	-
	E.Yatak odası	-	-	-	26.9	28.3	29.9	30.8	31.5	29.5	27.8	25.7	-	-	-	-	26.9	28.1	29.7	30.1	30.6	29.4	27.7	25.5	-	-	-	-	23.3	25.8	27.9	28.8	29.4	28.0	25.9	23.3	-
	Oda 1	-	-	-	26.7	28.3	29.9	30.6	31.3	29.1	27.3	25.0	-	-	-	-	27.5	28.5	29.6	29.9	30.4	29.2	28.2	26.6	-	-	-	-	25.1	26.9	28.5	29.3	30.2	28.8	27.3	25.2	-
Bursa (M1)	Mutfak	-	-	-	26.3	27.3	29.4	31.2	32.3	29.4	27.6	25.4	-	-	-	-	26.4	27.7	29.6	30.9	31.7	29.2	27.5	25.6	-	-	-	-	24.8	26.6	28.6	30.2	31.2	28.8	26.8	24.7	-
	Salon	-	-	-	25.4	26.7	28.9	30.8	32.1	28.8	26.7	23.8	-	-	-	-	24.7	26.2	28.4	29.9	30.7	28.2	26.4	23.9	-	-	-	-	23.7	25.6	27.8	29.5	30.5	27.9	25.9	23.7	-
	E.Yatak odası	-	-	-	26.0	27.7	29.6	30.7	31.6	29.3	26.9	23.8	-	-	-	-	25.8	27.3	29.4	30.2	30.8	29.5	27.6	24.7	-	-	-	-	22.8	25.5	27.8	28.8	29.4	27.7	25.4	22.5	-
	Oda 1	-	-	-	25.5	27.4	29.4	30.4	31.2	28.7	26.2	22.9	-	-	-	-	26.5	27.9	29.6	30.2	30.7	29.3	27.6	24.9	-	-	-	-	24.8	26.8	28.5	29.4	30.4	28.8	27.1	24.6	-
Ankara (E1)	Mutfak	-	-	-	-	28.7	30.5	31.8	32.1	31.1	28.7	-	-	-	-	-	-	28.8	30.1	30.8	30.9	30.2	29.0	-	-	-	-	-	-	24.6	27.3	29.0	29.2	28.3	25.7	-	-
	Salon	-	-	-	-	28.6	30.6	32.1	32.3	31.7	28.2	-	-	-	-	-	-	27.0	28.8	29.8	29.7	29.0	26.7	-	-	-	-	-	-	23.6	26.2	28.0	28.1	27.3	24.5	-	-
	E.Yatak odası	-	-	-	-	29.8	32.2	33.6	33.7	33.0	28.7	-	-	-	-	-	-	28.2	30.3	31.5	31.5	30.8	27.7	-	-	-	-	-	-	23.4	26.6	28.6	28.7	27.7	24.3	-	-
	Oda 1	-	-	-	-	29.8	32.4	33.7	33.5	32.4	28.0	-	-	-	-	-	-	28.7	30.5	31.1	31.3	31.1	28.7	-	-	-	-	-	-	24.8	27.7	29.3	29.6	29.0	25.9	-	-
Ankara (M1)	Mutfak	-	-	-	-	26.4	28.5	30.1	30.2	29.1	26.3	-	-	-	-	-	-	26.4	28.4	29.9	30.0	28.9	26.2	-	-	-	-	-	-	24.5	27.2	29.0	29.2	28.3	25.5	-	-
	Salon	-	-	-	-	25.8	28.3	30.2	30.1	28.8	24.9	-	-	-	-	-	-	24.5	26.8	28.8	28.9	28.1	24.4	-	-	-	-	-	-	23.4	26.1	27.9	28.1	27.2	24.3	-	-
	E.Yatak odası	-	-	-	-	26.8	29.6	31.4	31.2	29.7	25.1	-	-	-	-	-	-	26.0	28.6	30.8	31.0	30.5	25.9	-	-	-	-	-	-	23.2	26.4	28.5	28.6	27.5	24.0	-	-
	Oda 1	-	-	-	-	26.6	29.5	31.3	30.9	29.1	24.4	-	-	-	-	-	-	26.6	29.0	30.7	30.9	30.2	26.2	-	-	-	-	-	-	24.6	27.5	29.2	29.5	28.9	25.7	-	-
Diyarbakır (E1)	Mutfak	-	-	-	27.1	29.6	33.6	-	-	35.4	29.9	-	-	-	-	-	28.4	30.0	32.8	-	-	33.9	30.6	-	-	-	-	-	23.6	25.6	27.8	-	-	27.9	26.1	-	-
	Salon	-	-	-	26.0	28.7	32.9	-	-	34.6	29.3	-	-	-	-	-	26.7	28.7	31.7	-	-	33.1	29.9	-	-	-	-	-	22.7	24.8	27.0	-	-	27.1	25.3	-	-
	E.Yatak odası	-	-	-	26.7	29.8	32.6	-	-	33.5	30.0	-	-	-	-	-	27.7	29.9	31.9	-	-	33.0	31.5	-	-	-	-	-	22.3	24.9	27.2	-	-	27.4	25.3	-	-
	Oda 1	-	-	-	26.6	29.8	32.6	-	-	33.0	29.5	-	-	-	-	-	28.4	30.4	32.1	-	-	32.6	31.2	-	-	-	-	-	23.6	25.7	27.6	-	-	27.9	26.2	-	-
Diyarbakır (M1)	Mutfak	-	-	-	25.2	28.1	32.3	-	-	34.4	28.7	-	-	-	-	-	25.7	28.4	32.0	-	-	33.0	28.4	-	-	-	-	-	23.5	25.7	27.9	-	-	27.8	25.8	-	-
	Salon	-	-	-	24.2	27.2	31.7	-	-	33.9	28.2	-	-	-	-	-	23.3	26.6	30.6	-	-	31.4	26.4	-	-	-	-	-	22.6	24.8	27.1	-	-	27.0	25.0	-	-
	E.Yatak odası	-	-	-	24.9	28.2	31.5	-	-	33.0	29.0	-	-	-	-	-	23.9	27.6	30.8	-	-	31.2	27.2	-	-	-	-	-	22.2	25.0	27.3	-	-	27.4	25.2	-	-
	Oda 1	-	-	-	24.6	28.3	31.6	-	-	32.5	28.3	-	-	-	-	-	25.0	28.3	31.1	-	-	31.5	28.2	-	-	-	-	-	23.5	25.8	27.8	-	-	27.8	26.0	-	-
Erzurum (E1)	Mutfak	-	-	-	-	27.7	29.8	32.0	32.6	32.1	-	-	-	-	-	-	-	27.7	29.0	30.6	30.7	30.3	-	-	-	-	-	-	-	24.2	27.6	30.0	30.4	29.7	-	-	-
	Salon	-	-	-	-	27.3	30.3	32.4	33.0	32.7	-	-	-	-	-	-	-	25.2	27.2	29.1	29.3	29.0	-	-	-	-	-	-	-	22.8	26.4	28.8	29.2	28.5	-	-	-
	E.Yatak odası	-	-	-	-	28.3	32.0	33.9	34.3	33.6	-	-	-	-	-	-	-	25.8	28.4	30.5	30.7	30.3	-	-	-	-	-	-	-	22.0	25.7	28.6	28.9	27.9	-	-	-
	Oda 1	-	-	-	-	28.5	32.4	34.3	34.1	32.9	-	-	-	-	-	-	-	27.0	29.2	31.0	31.0	30.6	-	-	-	-	-	-	-	24.0	27.6	30.2	30.5	30.1	-	-	-
Erzurum (M1)	Mutfak	-	-	-	-	27.1	29.2	31.4	31.9	31.4	-	-	-	-	-	-	-	26.8	28.4	30.2	30.4	29.8	-	-	-	-	-	-	-	22.4	26.1	28.8	29.1	27.8	-	-	-
	Salon	-	-	-	-	26.5	29.5	31.6	32.2	31.7	-	-	-	-	-	-	-	23.9	26.3	28.6	28.8	28.3	-	-	-	-	-	-	-	21.1	25.0	27.7	28.0	26.8	-	-	-
	E.Yatak odası	-	-	-	-	27.4	31.0	33.0	33.4	32.7	-	-	-	-	-	-	-	24.2	27.1	29.6	29.9	29.3	-	-	-	-	-	-	-	20.5	24.4	27.6	28.0	26.6	-	-	-
	Oda 1	-	-	-	-	27.4	31.1	33.1	33.0	31.9	-	-	-	-	-	-	-	25.7	28.2	30.2	30.3	29.9	-	-	-	-	-	-	-	22.2	26.2	29.1	29.3	28.1	-	-	-
İzmir (E1)	Mutfak	-	-	24.4	26.8	28.4	31.0	32.9	32.0	31.1	28.5	26.4	-	-	-	24.2	26.8	28.2	30.4	31.9	31.0	30.2	28.0	26.0	-	-	-	22.2	24.8	26.7	29.0	30.8	30.1	29.3	27.3	25.1	-
	Salon	-	-	23.0	25.7	27.8	30.4	32.2	31.2	30.3	27.9	25.0	-	-	-	21.6	24.7	26.7	29.0	30.6	29.7	28.8	26.6	24.0	-	-	-	20.8	24.1	26.6	28.7	29.7	28.8	28.5	26.9	23.5	-
	E.Yatak odası	-	-	23.3	26.3	28.5	30.6	31.6	30.6	30.5	28.5	25.0	-	-	-	22.2	25.4	27.4	29.4	30.4	29.5	29.4	27.5	24.6	-	-	-	20.3	23.5	26.0	28.2	29.3	28.5	28.2	26.6	23.5	-
	Oda 1	-	-	22.6	25.9	28.2	30.4	31.3	30.1	29.8	27.8	24.0	-	-	-	23.3	26.2	27.8	29.5	30.3	29.4	29.3	28.0	25.2	-	-	-	22.1	24.8	26.7	28.6	29.8	29.0	28.9	27.9	25.1	-
İzmir (M1)	Mutfak	-	-	23.3	26.0	27.9	30.5	32.4	31.5	30.4	27.6	25.3	-	-	-	22.2	25.4	27.6	30.1	31.7	30.8	29.8	26.9	24.1	-	-	-	21.6	24.4	26.6	29.1	30.9	30.0	29.2	27.0	24.5	-
	Salon	-	-	21.6	24.6	27.0	29.7	31.5	30.5	29.5	26.8	23.7	-	-	-	19.7	23.3	26.2	29.0	30.6	29.7	28.6	25.5	22.0	-	-	-	20.4	23.4	25.8	28.3	30.3	29.5	28.4	26.2	23.5	-
	E.Yatak odası	-	-	22.0	25.1	27.6	29.9	30.9	29.9	29.6	27.3	23.8	-	-	-	20.6	24.1	27.0	29.4	30.5	29.6	29.4	26.7	23.0	-	-	-	19.7	23.1	25.8	28.1	29.3	28.5	28.1	26.2	22.8	-
	Oda 1	-	-	21.4	24.8	27.4	29.7	30.6	29.5	29.1	26.7	23.0	-	-	-	21.6	25.0	27.2	29.4	30.4	29.4	29.3	27.2	23.6	-	-	-	21.4	24.4	26.5	28.5	29.8	28.9	28.8	27.4	24.3	-

EK 45. Örnek 1'e ait optimal çözümlerin konut mekanlarının gün ışığı performans sonuçları

ÖRNEK 1			1. KAT				3. KAT				5. KAT			
			ADF	sDA	ASE	UDI	ADF	sDA	ASE	UDI	ADF	sDA	ASE	UDI
BURSA (E1)	Daire 1	E.Yatak Odası	1.9	100	12.5	100	1.8	100	12.5	100	1.6	100	15.9	100
		Mutfak	0.8	40.9	9.6	95.7	0.8	47.0	9.6	99.1	0.6	47.0	3.5	97.4
		Oda 1	2.7	100	2.5	100	2.9	100	2.5	100	2.2	100	0.0	100
		Oda 2	1.3	41.3	0.0	100	1.3	50.8	0.0	100	1.2	52.4	0.0	100
		Oda 3	1.4	46.1	0.0	100	1.3	51.7	0.0	100	1.2	55.1	0.0	100
		Salon	1.3	83.0	12.3	100	1.2	86.6	12.3	100	1.3	95.1	10.4	100
	Daire 2	E.Yatak Odası	1.9	98.9	0.0	100	1.8	100	0.0	100	1.6	100	0.0	100
		Mutfak	0.8	42.1	7.0	95.6	0.8	40.4	7.0	99.1	0.6	42.1	3.5	98.2
		Oda 1	2.7	100	0.0	100	2.7	100	0.0	100	2.2	100	0.0	100
		Oda 2	1.3	41.3	0.0	100	1.2	44.4	0.0	100	1.2	52.4	0.0	100
		Oda 3	1.4	43.8	0.0	100	1.3	50.6	0.0	100	1.2	53.9	0.0	100
		Salon	1.3	72.2	1.0	100	1.2	76.3	1.0	100	1.2	88.4	0.0	100
BURSA (M1)	Daire 1	E.Yatak Odası	2.9	100	25.0	100	2.8	100	25.0	100	2.5	100	29.5	100
		Mutfak	1.2	56.9	13.8	99.1	1.2	59.5	13.8	100	0.8	55.2	3.4	99.1
		Oda 1	4.1	100	27.5	100	4.1	100	27.5	100	3.2	100	0.0	100
		Oda 2	1.9	70.8	0.0	100	1.9	80.0	0.0	100	1.8	73.8	0.0	100
		Oda 3	2.0	75.3	0.0	100	2.0	86.5	0.0	100	1.9	85.4	0.0	100
		Salon	2.0	99.6	21.6	92.4	2.0	99.4	21.6	96.0	2.0	100	17.2	97.1
	Daire 2	E.Yatak Odası	2.9	100	13.6	100	2.8	100	13.6	100	2.5	100	12.5	100
		Mutfak	1.2	58.1	12.0	100	1.2	56.4	12.0	100	0.8	56.4	3.4	100
		Oda 1	4.0	100	0.0	100	4.0	100	0.0	100	3.1	100	0.0	100
		Oda 2	1.9	70.8	0.0	100	1.9	78.5	0.0	100	1.8	76.9	0.0	100
		Oda 3	2.0	80.9	0.0	100	2.0	91.0	0.0	100	2.0	88.8	0.0	100
		Salon	2.0	98.7	13.9	100	2.0	99.2	13.9	100	1.8	100	8.5	100
ANKARA (E1)	Daire 1	E.Yatak Odası	2.9	100	14.8	100	2.9	100	14.8	100	2.1	100	13.6	100
		Mutfak	1.1	41.7	1.7	90.4	1.1	41.7	1.7	95.7	0.6	35.7	0.0	93.0
		Oda 1	4.3	100	15.0	100	4.1	100	15.0	100	2.6	100	0.0	100
		Oda 2	1.9	50.8	0.0	100	1.8	52.4	0.0	100	1.6	58.7	0.0	100
		Oda 3	2.2	57.3	0.0	100	2.0	67.4	0.0	100	1.8	66.3	0.0	100
		Salon	2.3	89.7	21.4	99.5	2.2	91.5	21.4	99.5	1.7	96.9	10.6	100
	Daire 2	E.Yatak Odası	2.9	100	2.3	100	2.8	100	2.3	100	2.0	100	0.0	100
		Mutfak	1.1	40.4	1.8	92.1	1.1	41.2	1.8	96.5	0.6	33.3	0.0	90.4
		Oda 1	4.2	100	0.0	100	4.1	100	0.0	100	2.6	100	0.0	100
		Oda 2	1.9	47.6	0.0	100	1.8	52.4	0.0	100	1.6	60.3	0.0	100
		Oda 3	2.2	58.4	0.0	100	2.1	66.3	0.0	100	1.8	66.3	0.0	100
		Salon	2.3	73.5	5.1	100	2.5	76.4	5.1	100	1.6	83.8	0.2	100
ANKARA (M1)	Daire 1	E.Yatak Odası	2.9	100	13.8	100	2.9	100	13.8	100	2.6	100	13.8	100
		Mutfak	1.2	49.1	2.8	100	1.2	55.6	2.8	100	0.8	48.1	0.0	100
		Oda 1	4.0	100	11.4	100	4.0	100	11.4	100	3.2	100	0.0	100
		Oda 2	1.9	61.1	0.0	100	1.9	66.7	0.0	100	1.8	64.8	0.0	100
		Oda 3	2.0	72.8	0.0	100	2.0	71.6	0.0	100	2.0	71.6	0.0	100
		Salon	1.9	91.9	1.5	100	2.0	93.4	1.5	100	1.9	98.5	0.2	100
	Daire 2	E.Yatak Odası	2.9	100	15.0	100	2.9	100	15.0	100	2.5	100	16.3	100
		Mutfak	1.9	50.9	0.0	99.1	1.2	53.7	0.0	100	1.9	49.1	0.0	100
		Oda 1	1.2	100	0.0	100	4.0	100	0.0	100	0.8	100	0.0	100
		Oda 2	4.0	55.6	0.0	100	1.9	68.5	0.0	100	3.1	64.8	0.0	100
		Oda 3	1.9	70.4	0.0	100	2.0	75.3	0.0	100	1.9	72.8	0.0	100
		Salon	2.0	96.8	12.9	100	1.9	97.4	12.9	100	2.0	99.5	6.1	100
DIYARBAKIR (E1)	Daire 1	E.Yatak Odası	1.3	84.1	4.5	100	1.3	90.9	4.5	100	1.3	100	15.9	100
		Mutfak	0.6	32.2	0.0	78.3	0.6	35.7	0.0	82.6	0.6	35.7	0.0	88.7
		Oda 1	1.9	100	5.1	100	1.8	100	5.1	100	1.7	100	0.0	100
		Oda 2	0.9	25.0	0.0	100	0.9	29.7	0.0	100	0.9	35.9	0.0	100
		Oda 3	1.1	31.0	0.0	100	1.1	34.5	0.0	100	1.0	35.6	0.0	100
		Salon	1.0	55.7	7.0	100	1.0	57.2	7.0	100	1.0	75.0	4.6	100
	ai re	E.Yatak Odası	1.3	61.4	0.0	100	1.2	64.8	0.0	100	1.3	85.2	0.0	100

		Mutfak	0.6	35.1	0.0	82.5	0.6	35.1	0.0	84.2	0.6	34.2	0.0	90.4
		Oda 1	1.8	100	0.0	100	1.8	100	0.0	100	1.7	100	0.0	100
		Oda 2	0.9	20.3	0.0	100	0.9	26.6	0.0	100	0.9	32.8	0.0	100
		Oda 3	1.0	29.9	0.0	100	1.0	33.3	0.0	100	1.0	37.9	0.0	100
		Salon	0.9	47.4	0.0	100	0.9	51.5	0.0	100	1.0	67.4	0.0	100
DİYARBAKIR (M1)	**Daire 1**	E.Yatak Odası	3.2	100	16.0	100	3.1	100	16.0	98.9	2.5	100	26.6	100
		Mutfak	1.4	56.2	5.0	100	1.4	60.3	5.0	100	0.9	60.3	0.0	100
		Oda 1	4.6	100	7.1	100	4.3	100	7.1	100	3.1	100	0.0	100
		Oda 2	2.1	85.7	0.0	100	2.1	90.5	0.0	100	1.9	87.3	0.0	100
		Oda 3	2.4	95.2	0.0	100	2.3	98.8	0.0	100	2.0	100	0.0	100
		Salon	2.3	96.9	23.9	99.7	2.5	98.7	23.9	99.5	2.0	100	18.3	99.2
	Daire 2	E.Yatak Odası	3.3	100	0.0	100	3.1	100	0.0	100	2.6	100	0.0	100
		Mutfak	1.4	55.4	5.0	100	1.4	58.7	5.0	100	0.9	58.7	0.0	100
		Oda 1	4.6	100	0.0	100	4.4	100	0.0	100	3.1	100	0.0	100
		Oda 2	2.2	84.1	0.0	100	2.1	90.5	0.0	100	1.9	87.3	0.0	100
		Oda 3	2.4	97.6	0.0	100	2.2	98.8	0.0	100	2.0	100	0.0	100
		Salon	2.2	89.5	1.3	100	2.2	91.8	1.3	100	1.8	96.9	0.0	100
ERZURUM(E1)	**Daire 1**	E.Yatak Odası	3.6	100	31.8	100	3.5	100	31.8	100	2.8	100	42.0	100
		Mutfak	1.5	60.9	17.4	100	1.5	62.6	17.4	100	0.9	57.4	0.0	100
		Oda 1	5.4	100	33.3	100	5.3	100	33.3	100	3.8	100	0.0	100
		Oda 2	2.6	81.3	0.0	100	2.5	90.6	0.0	100	2.6	87.5	0.0	100
		Oda 3	3.0	98.9	0.0	100	2.9	100	0.0	100	2.8	100	0.0	100
		Salon	2.7	97.7	35.1	86.3	2.7	98.5	35.1	85.3	2.1	99.5	23.7	100
	Daire 2	E.Yatak Odası	3.6	100	0.0	100	3.5	100	0.0	100	2.7	100	0.0	100
		Mutfak	1.5	56.1	13.2	100	1.5	60.5	13.2	100	0.9	56.1	0.0	100
		Oda 1	5.6	100	0.0	100	5.6	100	0.0	100	3.8	100	0.0	100
		Oda 2	2.6	81.3	0.0	100	2.5	81.3	0.0	100	2.6	89.1	0.0	100
		Oda 3	3.0	98.9	0.0	100	3.0	100	0.0	100	2.8	97.7	0.0	100
		Salon	2.8	88.7	15.6	100	2.6	92.6	15.4	100	2.0	97.7	0.0	100
ERZURUM(M1)	**Daire 1**	E.Yatak Odası	3.0	100	28.4	100	3.0	100	28.4	100	2.2	100	27.3	100
		Mutfak	1.3	53.9	10.4	100	1.2	55.7	10.4	100	0.7	46.1	0.0	99.1
		Oda 1	4.5	100	23.1	100	4.4	100	23.1	100	3.0	100	0.0	100
		Oda 2	2.0	59.4	0.0	100	2.0	60.9	0.0	100	2.0	62.5	0.0	100
		Oda 3	2.4	74.7	0.0	100	2.3	75.9	0.0	100	2.2	79.3	0.0	100
		Salon	2.3	89.9	30.4	97.4	2.3	95.4	29.9	96.6	1.7	96.4	18.3	100
	Daire 2	E.Yatak Odası	3.0	100	0.0	100	2.9	100	0.0	100	2.1	100	0.0	100
		Mutfak	1.3	51.8	8.8	100	1.3	51.8	8.8	100	0.7	44.7	0.0	100
		Oda 1	4.6	100	0.0	100	4.5	100	0.0	100	3.0	100	0.0	100
		Oda 2	2.0	57.8	0.0	100	2.0	59.4	0.0	100	2.0	65.6	0.0	100
		Oda 3	2.4	78.2	0.0	100	2.3	79.3	0.0	100	2.2	75.9	0.0	100
		Salon	2.3	77.9	5.6	100	2.3	81.0	5.6	100	1.6	89.7	0.0	100
İZMİR (E1)	**Daire 1**	E.Yatak Odası	2.8	100	15.9	100	2.7	100	15.9	100	2.3	100	18.2	100
		Mutfak	1.2	50.4	3.5	100	1.2	51.3	3.5	100	0.9	51.3	0.9	100
		Oda 1	4.2	100	10.3	100	4.1	100	10.3	100	3.1	100	0.0	100
		Oda 2	1.8	59.4	0.0	100	1.8	62.5	0.0	100	1.8	65.6	0.0	100
		Oda 3	2.1	83.9	0.0	100	2.0	94.3	0.0	100	2.0	88.5	0.0	100
		Salon	2.0	98.2	20.6	98.7	2.0	99.2	20.6	99.5	2.0	100	15.7	100
	Daire 2	E.Yatak Oda	2.7	100	3.4	100	2.7	100	3.4	100	2.3	100	3.4	100
		Mutfak	1.2	52.6	3.5	100	1.2	53.5	3.5	100	0.8	48.2	0.9	100
		Oda 1	4.0	100	0.0	100	4.0	100	0.0	100	3.1	100	0.0	100
		Oda 2	1.9	57.8	0.0	100	1.8	64.1	0.0	100	1.8	68.8	0.0	100
		Oda 3	2.0	86.2	0.0	100	2.0	88.5	0.0	100	1.9	85.1	0.0	100
		Salon	2.1	92.6	4.4	100	2.0	94.9	4.4	100	1.9	99.2	0.8	100
İZMİR (M1)	**Daire 1**	E.Yatak Odası	2.1	100	5.7	100	2.1	100	5.7	100	2.1	100	13.6	100
		Mutfak	1.0	53.0	1.7	99.1	1.0	54.8	1.7	100	0.9	50.4	0.0	100
		Oda 1	3.3	100	5.1	100	3.0	100	5.1	100	2.9	100	0.0	100
		Oda 2	1.5	57.8	0.0	100	1.4	64.1	0.0	100	1.5	62.5	0.0	100
		Oda 3	1.6	72.4	0.0	100	1.6	80.5	0.0	100	1.6	86.2	0.0	100
		Salon	1.4	93.0	5.3	100	1.4	94.5	5.3	100	1.6	99.6	3.8	100
	Daire 2	E.Yatak Odası	2.1	100	0.0	100	2.1	100	0.0	100	2.1	100	0.0	100
		Mutfak	1.0	51.8	1.8	99.1	1.0	54.4	1.8	100	0.9	50.9	0.0	100

		Oda 1	3.0	100	0.0	100	3.0	100	0.0	100	2.7	100	0.0	100
		Oda 2	1.5	59.4	0.0	100	1.5	59.4	0.0	100	1.5	67.2	0.0	100
		Oda 3	1.6	77.0	0.0	100	1.6	79.3	0.0	100	1.6	82.8	0.0	100
		Salon	1.3	83.6	0.0	100	1.7	89.2	0.0	100	1.4	98.7	0.0	100

EK 46. Örnek 2'ye ait optimal çözümlerin konut mekanlarının gün ışığı performans sonuçları

ÖRNEK 2			**1. KAT**				**3. KAT**				**5. KAT**			
			ADF	**sDA**	**ASE**	**UDI**	**ADF**	**sDA**	**ASE**	**UDI**	**ADF**	**sDA**	**ASE**	**UDI**
BURSA (E1)	**Daire 1**	E.Yatak Odası	2.2	98.8	16.7	100	2.1	99.4	16.7	100	1.9	100	11.3	100
		Mutfak	0.2	0.0	0.0	84.5	0.2	0.0	0.0	83.6	0.2	0.0	0.0	86.2
		Oda 1	1.2	42.2	0.0	100	1.1	34.4	0.0	100	1.1	39.1	0.0	100
		Oda 2	1.2	42.9	0.0	100	1.1	37.1	0.0	100	1.1	45.7	0.0	100
		Salon	1.2	99.4	11.9	100	1.2	97.0	11.6	100	1.1	98.8	10.7	100
	Daire 2	E.Yatak Odası	2.3	96.2	0.0	100	2.1	95.3	0.0	100	2.1	96.6	0.0	100
		Mutfak	0.2	0.0	0.0	93.0	0.2	0.0	0.0	90.4	0.2	0.0	0.0	82.5
		Oda 1	1.2	41.9	0.0	100	1.1	37.1	0.0	100	1.1	43.5	0.0	100
		Oda 2	1.2	40.6	0.0	100	1.1	37.5	0.0	100	1.1	45.3	0.0	100
		Salon	1.2	90.6	0.0	100	1.1	79.1	0.0	100	1.1	88.3	0.0	100
BURSA (M1)	**Daire 1**	E.Yatak Odası	4.4	100	64.5	64.5	4.3	100	64.5	61.5	3.1	100	44.9	97.9
		Mutfak	0.4	0.0	0.0	100	0.4	0.0	0.0	97.5	0.3	0.0	0.0	100
		Oda 1	2.3	96.9	0.0	100	2.3	95.3	0.0	100	1.9	100	0.0	100
		Oda 2	2.4	100	0.0	100	2.3	92.9	0.0	100	1.9	98.6	0.0	100
		Salon	2.3	100	28.0	84.0	2.2	100	27.4	86.6	1.8	100	19.5	95.6
	Daire 2	E.Yatak Odası	4.6	100	15.1	100	4.4	100	15.1	100	3.7	100	3.6	100
		Mutfak	0.4	0.0	0.0	98.3	0.4	0.0	0.0	93.1	0.3	0.0	0.0	94.8
		Oda 1	2.4	100	0.0	100	2.3	96.8	0.0	100	1.9	100	0.0	100
		Oda 2	2.4	100	0.0	100	2.3	100	0.0	100	2.0	98.5	0.0	100
		Salon	2.3	99.7	0.0	100	2.2	99.4	0.0	100	1.8	100	0.0	100
ANKARA (E1)	**Daire 1**	E.Yatak Odası	2.3	100	0.0	100	2.2	99.6	0.0	100	2.1	99.6	0.0	100
		Mutfak	0.3	0.0	0.0	38.1	0.2	0.0	0.0	35.6	0.2	0.0	0.0	33.9
		Oda 1	1.3	58.7	0.0	100	1.2	50.8	0.0	100	1.1	57.1	0.0	100
		Oda 2	1.3	58.0	0.0	100	1.2	53.6	0.0	100	1.1	56.5	0.0	100
		Salon	1.2	73.5	0.0	100	1.2	60.8	0.0	100	1.1	72.3	0.0	100
	Daire 2	E.Yatak Odası	2.2	98.7	0.0	100	2.1	98.3	0.0	100	1.9	98.7	0.0	100
		Mutfak	0.3	0.0	0.0	39.5	0.3	0.0	0.0	28.9	0.2	0.0	0.0	43.9
		Oda 1	1.3	59.0	0.0	100	1.2	49.2	0.0	100	1.1	54.1	0.0	100
		Oda 2	1.3	56.9	0.0	100	1.2	53.8	0.0	100	1.2	61.5	0.0	100
		Salon	1.2	73.1	0.6	100	1.2	63.4	0.6	100	1.1	74.6	0.3	100
ANKARA (M1)	**Daire 1**	E.Yatak Odası	4.2	100	42.7	95.3	4.1	100	42.7	89.5	2.1	100	0.6	100
		Mutfak	0.2	0.0	0.0	37.8	0.2	0.0	0.0	24.4	0.2	0.0	0.0	32.8
		Oda 1	2.0	68.8	0.0	100	2.0	65.6	0.0	100	1.1	53.1	0.0	100
		Oda 2	2.1	77.1	0.0	100	2.0	70.0	0.0	100	1.2	58.6	0.0	100
		Salon	1.8	99.7	5.2	97.7	1.9	98.3	5.8	97.1	1.1	92.2	0.6	100
	Daire 2	E.Yatak Odası	4.2	100	6.5	100	4.1	100	6.5	100	2.4	100	0.0	100
		Mutfak	0.2	0.0	0.0	34.5	0.2	0.0	0.0	17.2	0.2	0.0	0.0	28.4
		Oda 1	2.0	71.0	0.0	100	2.0	62.9	0.0	100	1.2	53.2	0.0	100
		Oda 2	2.0	72.7	0.0	100	2.0	60.6	0.0	100	1.2	57.6	0.0	100
		Salon	1.9	79.5	0.0	100	1.8	73.0	0.0	100	1.2	63.5	0.0	100
DİYARBAKIR (E1)	**Daire 1**	E.Yatak Odası	3.7	100	40.0	98.7	3.6	100	40.0	95.7	2.6	100	22.1	100
		Mutfak	0.3	0.0	0.0	92.4	0.3	0.0	0.0	84.7	0.3	0.0	0.0	86.4
		Oda 1	1.9	82.5	0.0	100	1.8	69.8	0.0	100	1.5	87.3	0.0	100
		Oda 2	1.9	87.1	0.0	100	1.9	71.4	0.0	100	1.6	88.6	0.0	100
		Salon	1.5	98.8	7.6	99.7	1.8	100	11.8	98.2	1.5	100	5.6	100
	Daire 2	E.Yatak Odası	3.7	100	1.7	100	3.7	100	1.7	100	2.7	100	0.0	100
		Mutfak	0.3	0.0	0.0	90.4	0.3	0.0	0.0	75.4	0.3	0.0	0.0	85.1
		Oda 1	1.9	82.0	0.0	100	1.9	67.2	0.0	100	1.6	90.2	0.0	100
		Oda 2	2.0	84.8	0.0	100	1.9	72.7	0.0	100	1.6	86.4	0.0	100

		Salon	1.8	97.2	0.0	100	1.8	87.5	0.0	100	1.4	93.2	0.0	100
DİYARBAKIR (M1)	Daire 1	E.Yatak Odası	3.1	100	0.0	100	3.0	99.4	0.0	100	2.3	100	0.0	100
		Mutfak	0.2	0.0	0.0	68.1	0.2	0.0	0.0	54.9	0.2	0.0	0.0	65.5
		Oda 1	1.5	90.0	18.3	100	1.4	81.7	18.3	100	1.2	90.0	8.3	100
		Oda 2	1.5	91.4	18.6	100	1.5	85.7	18.6	100	1.2	95.7	10.0	100
		Salon	1.5	82.7	0.0	100	1.5	71.2	0.0	100	1.2	80.0	0.0	100
	Daire 2	E.Yatak Odası	2.9	100	38.0	94.9	2.8	100	38.0	96.4	2.4	100	27.0	100
		Mutfak	0.2	0.0	0.0	78.3	0.2	0.0	0.0	69.6	0.2	0.0	0.0	75.7
		Oda 1	1.5	83.3	14.8	100	1.4	74.1	14.8	100	1.2	90.7	9.3	100
		Oda 2	1.5	98.1	14.8	100	1.5	77.8	14.8	100	1.3	94.4	13.0	100
		Salon	1.5	98.9	6.6	99.7	1.4	96.3	6.6	99.4	1.2	98.9	3.7	100
ERZURUM(E1)	Daire 1	E.Yatak Odası	3.1	100	31.4	100	3.0	100	31.4	100	2.2	100	13.5	100
		Mutfak	0.3	0.0	0.0	75.4	0.2	0.0	0.0	54.2	0.2	0.0	0.0	59.3
		Oda 1	1.5	54.0	0.0	100	1.5	41.3	0.0	100	1.2	50.8	0.0	100
		Oda 2	1.6	57.1	0.0	100	1.5	51.4	0.0	100	1.3	57.1	0.0	100
		Salon	1.5	99.1	7.4	98.8	1.5	97.6	7.4	98.5	1.2	96.2	5.3	100
	Daire 2	E.Yatak Odası	3.1	99.4	0.0	100	3.0	99.4	0.0	100	2.3	100	0.0	100
		Mutfak	0.3	0.0	0.0	66.7	0.3	0.0	0.0	43.9	0.2	0.0	0.0	60.5
		Oda 1	1.5	50.8	0.0	100	1.5	50.8	0.0	100	1.3	59.0	0.0	100
		Oda 2	1.6	57.6	0.0	100	1.5	51.5	0.0	100	1.3	57.6	0.0	100
		Salon	1.5	74.6	0.0	100	1.5	65.8	0.0	100	1.2	69.8	0.0	100
ERZURUM(M1)	Daire 1	E.Yatak Odası	3.1	100	44.6	100	2.9	100	44.6	100	2.2	100	20.5	100
		Mutfak	0.2	0.0	0.0	67.8	0.3	0.0	0.0	53.0	0.2	0.0	0.0	57.4
		Oda 1	1.5	50.0	0.0	100	1.4	45.0	0.0	100	1.2	48.3	0.0	100
		Oda 2	1.5	50.0	0.0	100	1.4	44.3	0.0	100	1.2	52.9	0.0	100
		Salon	1.4	98.1	8.1	99.1	1.4	96.3	8.1	99.1	1.2	95.4	4.3	100
	Daire 2	E.Yatak Odası	3.1	100	3.7	100	3.0	99.3	3.7	100	2.4	100	0.0	100
		Mutfak	0.3	0.0	0.0	57.5	0.2	0.0	0.0	42.5	0.2	0.0	0.0	44.2
		Oda 1	1.5	57.4	0.0	100	1.5	46.3	0.0	100	1.3	57.4	0.0	100
		Oda 2	1.5	61.1	0.0	100	1.4	50.0	0.0	100	1.2	55.6	0.0	100
		Salon	1.5	73.0	0.0	100	1.4	67.3	0.0	100	1.1	67.9	0.0	100
İZMİR (E1)	Daire 1	E.Yatak Odası	2.2	100	17.8	100	2.0	99.4	17.8	100	1.9	100	13.0	100
		Mutfak	0.3	0.0	0.0	65.3	0.3	0.0	0.0	47.5	0.2	0.0	0.0	65.3
		Oda 1	1.2	44.4	0.0	100	1.1	34.9	0.0	100	1.1	46.0	0.0	100
		Oda 2	1.2	48.6	0.0	100	1.1	35.7	0.0	100	1.1	51.4	0.0	100
		Salon	1.2	95.3	3.8	100	1.1	90.9	3.8	100	1.0	94.4	2.9	100
	Daire 2	E.Yatak Odası	2.2	98.9	0.0	100	2.1	97.7	0.0	100	1.9	100	0.0	100
		Mutfak	0.2	0.0	0.0	54.4	0.3	0.0	0.0	41.2	0.2	0.0	0.0	58.8
		Oda 1	1.2	45.9	0.0	100	1.2	41.0	0.0	100	1.1	47.5	0.0	100
		Oda 2	1.2	48.5	0.0	100	1.1	33.3	0.0	100	1.1	50.0	0.0	100
		Salon	1.2	68.7	0.0	100	1.1	55.6	0.0	100	1.0	71.8	0.0	100
İZMİR (M1)	Daire 1	E.Yatak Odası	2.6	100	26.2	100	2.5	100	26.2	100	2.3	100	14.3	100
		Mutfak	0.3	0.0	0.0	72.7	0.3	0.0	0.0	59.8	0.3	0.0	0.0	69.2
		Oda 1	1.5	58.5	0.0	100	1.4	55.4	0.0	100	1.3	66.2	0.0	100
		Oda 2	1.5	61.1	0.0	100	1.4	50.0	0.0	100	1.3	65.3	0.0	100
		Salon	1.5	98.8	4.1	99.7	1.4	96.2	4.1	100	1.3	99.4	2.6	100
	Daire 2	E.Yatak Odası	2.8	100	3.6	100	2.7	100	3.6	100	2.5	100	0.7	100
		Mutfak	0.3	0.0	0.0	68.6	0.3	0.0	0.0	52.5	0.2	0.0	0.0	61.9
		Oda 1	1.5	64.5	0.0	100	1.4	51.6	0.0	100	1.3	72.6	0.0	100
		Oda 2	1.5	63.1	0.0	100	1.4	56.9	0.0	100	1.3	72.3	0.0	100
		Salon	1.4	78.1	0.0	100	1.4	68.3	0.0	100	1.2	81.7	0.0	100

EK 47. Örnek 3'e ait optimal çözümlerin konut mekanlarının gün ışığı performans sonuçları

ÖRNEK 3			1. KAT				4. KAT				7. KAT			
			ADF	sDA	ASE	UDI	ADF	sDA	ASE	UDI	ADF	sDA	ASE	UDI
BURSA (E1)	Daire 1	E.Yatak Odası	2.4	97.2	0.0	100	2.4	99.3	0.0	100	2.5	100	0.0	100
		Mutfak	1.6	74.6	14.0	100	1.7	82.5	14.0	100	1.7	83.3	14.0	100
		Oda 1	1.7	100	20.3	100	1.7	100	20.3	100	1.8	100	20.3	100
		Oda 2	1.7	100	15.9	100	1.8	100	15.9	100	1.8	100	15.9	100
		Oda 3	4.3	100	10.6	100	4.5	100	10.6	100	4.3	100	10.6	100
		Salon	1.6	98.7	16.2	100	1.6	99.7	16.2	100	1.6	99.7	16.2	100
	Daire 2	E.Yatak Odası	2.3	99.3	0.0	100	2.4	100	0.0	100	2.5	100	2.1	100
		Mutfak	1.6	64.0	7.9	100	1.7	71.9	7.9	100	1.7	67.5	7.9	100
		Oda 1	1.7	71.0	0.0	100	1.7	76.8	0.0	100	1.8	75.4	0.0	100
		Oda 2	1.8	66.7	0.0	100	1.8	79.4	0.0	100	1.8	74.6	0.0	100
		Oda 3	4.3	100	0.0	100	4.5	100	0.0	100	4.3	100	0.0	100
		Salon	1.6	98.7	3.6	100	1.6	99.0	3.6	100	1.6	99.5	3.6	100
	Daire 3	E.Yatak Odası	0.7	42.1	1.8	97.4	0.7	46.5	1.8	100	0.7	47.4	1.8	100
		Mutfak	0.8	96.1	0.0	100	0.9	98.7	0.0	100	0.9	98.7	0.0	100
		Oda 1	1.3	54.9	0.0	100	1.4	61.5	0.0	100	1.4	59.3	0.0	100
		Oda 2	1.3	50.5	0.0	100	1.3	56.0	0.0	100	1.3	57.1	0.0	100
		Salon	0.8	44.7	9.6	98.8	0.8	49.7	9.6	99.1	0.8	51.5	9.6	99.4
BURSA (M1)	Daire 1	E.Yatak Odası	3.5	100	0.0	100	3.6	100	0.0	100	3.7	100	0.0	100
		Mutfak	2.4	99.1	27.2	93.9	2.6	100	27.2	92.1	2.5	100	27.2	94.7
		Oda 1	2.6	100	30.4	100	2.7	100	30.4	100	2.8	100	30.4	100
		Oda 2	2.6	100	28.6	98.4	2.7	100	28.6	100	2.9	100	30.2	98.4
		Oda 3	6.5	100	20.2	75.0	6.6	100	20.2	65.5	6.5	100	20.2	64.3
		Salon	2.3	100	29.7	96.4	2.4	100	29.7	95.4	2.3	100	29.7	96.4
	Daire 2	E.Yatak Odası	3.5	100	3.5	100	3.5	100	3.5	100	3.6	100	6.3	100
		Mutfak	2.4	89.5	10.5	100	2.5	98.2	10.5	100	2.6	95.6	10.5	100
		Oda 1	2.5	100	0.0	100	2.5	100	0.0	100	2.7	100	0.0	100
		Oda 2	2.5	100	0.0	100	2.6	100	0.0	100	2.8	100	0.0	100
		Oda 3	6.4	100	2.4	88.1	6.6	100	2.4	82.1	6.5	100	2.4	81.0
		Salon	2.3	100	13.0	100	2.4	100	13.0	99.5	2.3	100	13.0	100
	Daire 3	E.Yatak Odası	0.9	54.4	7.0	100	1.0	59.6	7.0	100	1.0	64.9	7.0	100
		Mutfak	1.2	100	0.0	100	1.2	100	0.0	100	1.2	100	0.0	100
		Oda 1	2.1	76.4	0.0	100	2.2	79.8	0.0	100	2.0	83.1	0.0	100
		Oda 2	2.1	67.8	0.0	100	2.1	73.3	0.0	100	2.1	71.1	0.0	100
		Salon	1.1	57.5	12.0	98.5	1.1	61.9	12.0	98.8	1.1	65.1	12.0	98.5
ANKARA (E1)	Daire 1	E.Yatak Odası	2.1	87.3	0.0	100	2.2	95.1	0.0	100	2.2	95.8	0.0	100
		Mutfak	1.4	54.0	3.5	100	1.5	61.9	3.5	100	1.5	60.2	3.5	100
		Oda 1	1.5	100	13.2	100	1.5	100	13.2	100	1.5	100	13.2	100
		Oda 2	1.6	98.4	9.5	100	1.6	98.4	9.5	100	1.6	100	9.5	100
		Oda 3	3.8	100	8.2	100	4.0	100	8.2	100	3.8	100	8.2	100
		Salon	1.4	93.9	1.8	100	1.4	97.4	1.8	100	1.4	96.4	1.8	100
	Daire 2	E.Yatak Odası	2.1	94.4	0.0	100	2.1	97.9	0.0	100	2.2	98.6	0.0	100
		Mutfak	1.4	49.6	1.8	100	1.5	54.9	1.8	100	1.5	55.8	1.8	100
		Oda 1	1.5	48.5	0.0	100	1.6	54.4	0.0	100	1.6	54.4	0.0	100
		Oda 2	1.5	50.8	0.0	100	1.6	57.1	0.0	100	1.6	54.0	0.0	100
		Oda 3	3.8	100	0.0	100	4.0	100	0.0	100	3.8	100	0.0	100
		Salon	1.4	88.8	0.0	100	1.4	94.4	0.0	100	1.4	95.2	0.0	100
	Daire 3	E.Yatak Odası	0.6	28.4	0.0	94.8	0.6	31.9	0.0	94.8	0.6	34.5	0.0	94.8
		Mutfak	0.7	77.9	0.0	100	0.8	88.3	0.0	100	0.8	83.1	0.0	100
		Oda 1	1.2	44.4	0.0	100	1.2	46.7	0.0	100	1.2	46.7	0.0	100
		Oda 2	1.2	39.1	0.0	98.9	1.2	41.3	0.0	100	1.2	44.6	0.0	100
		Salon	0.7	37.2	0.0	88.0	0.7	40.5	0.0	94.4	0.7	42.5	0.0	95.0
ANKARA (M1)	Daire 1	E.Yatak Odası	2.3	86.2	0.0	100	2.4	92.4	0.0	100	2.4	96.6	0.0	100
		Mutfak	1.6	53.5	5.3	100	1.6	58.8	5.3	100	1.6	58.8	5.3	100
		Oda 1	1.8	98.6	11.6	100	1.7	100	11.6	100	1.9	100	13.0	100
		Oda 2	1.7	98.4	7.9	100	1.7	100	7.9	100	1.8	98.4	9.5	100

		Oda 3	4.2	100	7.1	100	4.4	100	7.1	100	4.2	100	7.1	100
		Salon	1.5	90.0	2.3	100	1.5	94.4	2.3	100	1.5	93.1	2.3	100
	Daire 2	E.Yatak Odası	2.3	90.3	0.7	100	2.4	98.6	0.7	100	2.5	98.6	1.4	100
		Mutfak	1.6	46.5	3.5	100	1.6	52.6	3.5	100	1.6	50.9	3.5	100
		Oda 1	1.5	49.3	0.0	100	1.6	53.6	0.0	100	1.7	53.6	0.0	100
		Oda 2	1.6	44.4	0.0	100	1.6	52.4	0.0	100	1.7	52.4	0.0	100
		Oda 3	4.2	100	0.0	100	4.4	100	0.0	100	4.2	100	0.0	100
		Salon	1.5	85.3	1.8	100	1.5	89.5	1.8	100	1.5	91.8	1.8	100
	Daire 3	E.Yatak Odası	0.6	22.8	0.0	93.0	0.6	24.6	0.0	98.2	0.6	28.9	0.0	99.1
		Mutfak	0.7	64.5	0.0	100	0.8	77.6	0.0	100	0.8	81.6	0.0	100
		Oda 1	1.4	40.7	0.0	100	1.4	46.2	0.0	100	1.4	42.9	0.0	100
		Oda 2	1.4	34.1	0.0	100	1.4	39.6	0.0	100	1.4	40.7	0.0	100
		Salon	0.7	34.2	1.2	89.2	0.7	37.4	1.2	93.0	0.7	40.1	1.2	95.3
DİYARBAKR (E1)	Daire 1	E.Yatak Odası	1.6	81.0	0.0	100	1.7	89.4	0.0	100	1.7	93.7	0.0	100
		Mutfak	1.1	54.9	5.3	100	1.2	62.8	5.3	100	1.1	60.2	5.3	100
		Oda 1	1.2	98.5	7.4	100	1.2	95.6	7.4	100	1.2	97.1	7.4	100
		Oda 2	1.2	98.4	1.6	100	1.2	100	1.6	100	1.3	100	1.6	100
		Oda 3	2.9	100	2.4	100	3.1	100	2.4	100	3.0	100	2.4	100
		Salon	1.2	95.9	6.9	100	1.3	98.0	6.9	100	1.2	97.2	6.9	100
	Daire 2	E.Yatak Odası	1.6	83.3	0.0	100	1.6	91.0	0.0	100	1.6	95.1	0.0	100
		Mutfak	1.1	48.7	0.9	100	1.2	54.9	0.9	100	1.2	56.6	0.9	100
		Oda 1	1.1	44.1	0.0	100	1.2	50.0	0.0	100	1.2	47.1	0.0	100
		Oda 2	1.2	49.2	0.0	100	1.2	55.6	0.0	100	1.3	58.7	0.0	100
		Oda 3	2.9	100	0.0	100	3.1	100	0.0	100	3.0	100	0.0	100
		Salon	1.2	93.9	0.5	100	1.3	96.9	0.5	100	1.2	96.9	0.5	100
	Daire 3	E.Yatak Odası	0.5	29.3	0.0	94.0	0.6	31.0	0.0	96.6	0.6	34.5	0.0	92.2
		Mutfak	0.7	90.9	0.0	100	0.7	93.5	0.0	100	0.8	94.8	0.0	100
		Oda 1	0.9	42.2	0.0	100	1.0	46.7	0.0	100	1.0	47.8	0.0	100
		Oda 2	0.9	35.9	0.0	100	0.9	41.3	0.0	100	0.9	41.3	0.0	100
		Salon	0.6	38.7	6.7	92.1	0.6	43.1	6.7	96.8	0.6	42.5	6.7	98.2
DİYARBAKR (M1)	Daire 1	E.Yatak Odası	2.0	93.1	0.0	100	2.0	97.9	0.0	100	2.1	98.6	0.7	100
		Mutfak	1.4	50.4	3.5	100	1.4	60.9	3.5	100	1.4	55.7	3.5	100
		Oda 1	1.4	89.7	7.4	100	1.4	91.2	7.4	100	1.5	94.1	7.4	100
		Oda 2	1.5	87.3	12.7	100	1.5	96.8	12.7	100	1.6	95.2	12.7	100
		Oda 3	3.6	100	8.3	100	3.8	100	8.3	100	3.6	100	8.3	100
		Salon	1.3	95.6	1.0	100	1.4	95.9	1.0	100	1.3	97.9	1.0	100
	Daire 2	E.Yatak Odası	2.0	90.9	0.0	100	2.0	93.7	0.0	100	2.1	97.9	0.0	100
		Mutfak	1.4	66.1	19.1	100	1.4	71.3	19.1	100	1.5	69.6	19.1	100
		Oda 1	1.4	60.3	0.0	100	1.5	70.6	0.0	100	1.5	73.5	0.0	100
		Oda 2	1.5	63.5	0.0	100	1.5	69.8	0.0	100	1.6	74.6	0.0	100
		Oda 3	3.7	100	0.0	100	3.8	100	0.0	100	3.7	100	0.0	100
		Salon	1.4	95.9	12.8	100	1.4	99.0	12.8	100	1.4	98.5	12.8	100
	Daire 3	E.Yatak Odası	0.6	36.0	5.3	94.7	0.6	38.6	5.3	100	0.6	40.4	5.3	99.1
		Mutfak	0.7	87.0	0.0	100	0.7	93.5	0.0	100	0.7	93.5	0.0	100
		Oda 1	1.2	63.7	0.0	100	1.2	63.7	0.0	100	1.2	60.4	0.0	100
		Oda 2	1.1	57.6	0.0	100	1.2	58.7	0.0	100	1.2	60.9	0.0	100
		Salon	0.6	41.5	4.1	93.9	0.7	43.3	4.1	95.3	0.7	45.9	4.1	96.8
ERZURUM (E1)	Daire 1	E.Yatak Odası	2.8	96.5	0.0	100	2.9	98.6	0.0	100	3.0	99.3	0.0	100
		Mutfak	2.3	71.7	12.4	97.3	2.3	82.3	12.4	96.5	2.5	81.4	12.4	96.5
		Oda 1	1.9	100	10.3	100	2.0	100	10.3	100	2.6	100	17.6	100
		Oda 2	1.9	100	9.5	100	1.9	100	9.5	100	2.6	100	15.9	100
		Oda 3	5.9	100	4.7	95.3	6.0	100	4.7	94.1	6.2	100	9.4	89.4
		Salon	2.0	97.4	6.1	99.2	2.0	98.0	6.1	99.2	2.0	98.5	6.1	99.0
	Daire 2	E.Yatak Odası	2.8	97.9	0.0	100	2.9	98.6	0.0	100	3.0	98.6	2.1	100
		Mutfak	2.2	61.1	4.4	100	2.3	74.3	4.4	99.1	2.4	69.9	4.4	99.1
		Oda 1	1.9	72.1	0.0	100	1.9	79.4	0.0	100	2.6	88.2	0.0	100
		Oda 2	1.9	68.3	0.0	100	1.9	74.6	0.0	100	2.6	84.1	0.0	100
		Oda 3	5.9	100	0.0	97.6	6.0	100	0.0	97.6	6.2	100	1.2	96.5
		Salon	2.0	94.9	1.8	100	2.0	96.4	1.8	100	1.9	96.4	1.8	100
	Daire 3	E.Yatak Odası	0.7	34.5	0.0	99.1	0.7	37.9	0.0	100	0.7	40.5	0.0	100
		Mutfak	0.9	93.5	0.0	100	0.9	94.8	0.0	100	0.9	89.6	0.0	100

		Oda 1	2.1	54.4	0.0	100	2.0	57.8	0.0	100	2.0	56.7	0.0	100
		Oda 2	2.0	53.3	0.0	100	2.0	54.3	0.0	100	2.0	55.4	0.0	100
		Salon	0.8	41.6	2.6	95.9	0.8	45.2	2.6	98.5	0.9	48.4	2.3	96.8
ERZURUM (M1)	**Daire 1**	E.Yatak Odası	3.7	100	0.0	100	3.8	100	0.0	100	4.0	100	0.7	100
		Mutfak	3.1	89.5	8.8	98.2	3.1	97.4	8.8	97.4	3.3	93.0	8.8	96.5
		Oda 1	2.5	100	14.5	100	2.6	100	14.5	100	3.5	100	26.1	100
		Oda 2	2.7	100	14.5	100	2.7	100	14.5	100	3.8	100	22.6	100
		Oda 3	7.9	100	10.7	76.2	7.9	100	10.7	73.8	8.2	100	16.7	70.2
		Salon	2.6	100	3.8	98.7	2.7	100	3.8	98.5	2.6	100	3.8	98.7
	Daire 2	E.Yatak Odası	3.6	100	0.0	100	3.7	100	0.0	100	3.8	100	0.0	100
		Mutfak	3.1	99.1	23.7	93.9	3.1	100	23.7	93.0	3.3	99.1	23.7	89.5
		Oda 1	2.6	100	0.0	100	2.6	100	0.0	100	3.6	100	0.0	100
		Oda 2	2.7	100	0.0	100	2.7	100	0.0	100	3.7	100	0.0	100
		Oda 3	7.8	100	0.0	95.2	8.0	100	0.0	91.7	8.2	100	0.0	91.7
		Salon	2.6	100	14.6	96.2	2.7	100	14.6	96.2	2.6	100	14.6	96.2
	Daire 3	E.Yatak Odası	0.9	53.5	0.0	100	1.0	57.9	0.0	100	1.0	63.2	0.0	100
		Mutfak	1.1	100	0.0	100	1.2	100	0.0	100	1.2	100	0.0	100
		Oda 1	2.7	87.8	0.0	100	2.7	94.4	0.0	100	2.7	92.2	0.0	100
		Oda 2	2.7	79.3	1.1	100	2.7	87.0	1.1	100	2.7	89.1	1.1	100
		Salon	1.1	52.8	3.5	100	1.2	56.3	3.5	99.7	1.2	58.9	3.5	99.4
İZMİR (E1)	**Daire 1**	E.Yatak Odası	2.1	86.0	0.0	100	2.1	93.7	0.0	100	2.2	95.8	0.0	100
		Mutfak	1.4	57.9	12.3	100	1.5	66.7	12.3	100	1.4	62.3	12.3	100
		Oda 1	1.5	95.7	11.6	100	1.5	100	11.6	100	1.6	100	11.6	100
		Oda 2	1.5	100	11.1	100	1.6	100	11.1	100	1.6	100	11.1	100
		Oda 3	3.8	100	8.3	100	3.9	100	8.3	100	3.8	100	8.3	100
		Salon	1.4	92.3	8.4	100	1.4	96.9	8.4	100	1.4	95.7	8.4	100
	Daire 2	E.Yatak Odası	2.0	91.0	0.7	100	2.1	93.8	0.7	100	2.2	98.6	2.1	100
		Mutfak	1.4	46.5	2.6	100	1.4	52.6	2.6	100	1.4	50.0	2.6	100
		Oda 1	1.5	47.8	0.0	100	1.5	53.6	0.0	100	1.5	49.3	0.0	100
		Oda 2	1.5	49.2	0.0	100	1.6	57.1	0.0	100	1.6	60.3	0.0	100
		Oda 3	3.8	100	0.0	100	3.8	100	0.0	100	3.7	100	0.0	100
		Salon	1.3	88.2	0.5	100	1.4	94.4	0.5	100	1.3	94.4	0.5	100
	Daire 3	E.Yatak Odası	0.6	27.2	0.0	96.5	0.6	31.6	0.0	97.4	0.6	31.6	0.0	98.2
		Mutfak	0.7	61.0	0.0	100	0.7	81.8	0.0	100	0.8	87.0	0.0	100
		Oda 1	1.2	39.3	0.0	98.9	1.2	43.8	0.0	100	1.2	44.9	0.0	100
		Oda 2	1.2	37.8	0.0	100	1.2	42.2	0.0	100	1.2	43.3	0.0	100
		Salon	0.7	34.3	2.6	88.9	0.7	39.3	2.6	95.0	0.7	41.1	2.6	96.5
İZMİR (M1)	**Daire 1**	E.Yatak Odası	2.0	100	0.0	100	2.1	100	0.0	100	2.2	100	0.0	100
		Mutfak	1.6	80.0	7.0	100	1.7	96.5	7.0	100	1.6	96.5	7.0	100
		Oda 1	1.6	100	11.4	100	1.7	100	11.4	100	1.6	100	11.4	100
		Oda 2	1.7	100	15.4	100	1.7	100	15.4	100	1.8	100	15.4	100
		Oda 3	4.2	100	8.1	100	4.4	100	8.1	100	4.2	100	8.1	100
		Salon	1.6	99.7	8.7	100	1.7	100	8.7	100	1.7	100	8.7	99.7
	Daire 2	E.Yatak Odası	2.0	98.6	0.0	100	2.1	100	0.0	100	2.2	100	0.0	100
		Mutfak	1.6	66.1	0.0	100	1.7	84.3	0.0	100	1.7	78.3	0.0	100
		Oda 1	1.5	70.0	0.0	100	1.6	90.0	0.0	100	1.6	82.9	0.0	100
		Oda 2	1.7	81.5	0.0	100	1.7	96.9	0.0	100	1.8	87.7	0.0	100
		Oda 3	4.2	100	0.0	100	4.3	100	0.0	100	4.2	100	0.0	100
		Salon	1.6	100	0.0	100	1.7	100	0.0	100	1.6	100	0.0	100
	Daire 3	E.Yatak Odası	0.7	37.7	0.0	99.1	0.7	40.4	0.0	100	0.7	45.6	0.0	100
		Mutfak	1.0	98.7	0.0	100	1.0	100	0.0	100	1.0	100	0.0	100
		Oda 1	1.1	49.5	0.0	100	1.1	57.1	0.0	100	1.2	57.1	0.0	100
		Oda 2	1.0	42.9	0.0	100	1.1	47.3	0.0	100	1.1	51.6	0.0	100
		Salon	0.8	45.3	2.6	98.5	0.8	49.1	2.6	99.7	0.9	50.9	2.6	100

Daire 1: Köşe (4+1), Daire 2: Köşe (4+1), Daire 3: Orta (3+1)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	: Egemen KAYMAZ
Doğum Yeri ve Tarihi	: 23.04.1986/Bursa
Yabancı Dil	: İngilizce
Eğitim Durumu	
Lise	: Şükrü Şankaya Anadolu Lisesi 2004 Marquette Senior High School, ABD 2005
Lisans	: İstanbul Teknik Üniversitesi 2004-2009
Yüksek Lisans	: İstanbul Teknik Üniversitesi 2009-2013 : Technische Universität Dortmund (Erasmus) 2013
Çalıştığı Kurum/Kurumlar	: Sarıtabak Mimarlık (2006 - 2010) IKEA Bursa (2011-2014) Bursa Uludağ Üniversitesi Mimarlık Fakültesi (2015 – devam ediyor)
İletişim (e-posta)	: ekaymaz@uludag.edu.tr
Yayınları	:

Kaymaz E. & Acar Bilgin E. (2023). Facade Lighting Proposal for Industrial Heritage Buildings: The Case Tirilye Olive Oil Factory. *Online Journal of Art and Design*, 11(5): 72-81.

Kaymaz E. & Şenkal Sezer, F. (2023). *Konutlarda farklı yalıtım malzemeleri ve kalınlıkları için maliyet optimum enerji verimliliği seviyesinin hesaplanması: Bursa Örneği*. 3rd International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies (ISSRIS'23): 533-534.

Kaymaz E. & Manav B. (2022). A proposal on residential lighting design considering visual requirements, circadian factors and energy performance of lighting. *Journal of Asian Architecture and Engineering*. 22(5): 2851-2866.

Kaymaz E. & Şenkal Sezer, F. (2022*). Calculating cost optimal energy efficiency levels for opening elements on an exemplar residential building*. Parallelism in Architecture, Engineering & Computing Techniques - 4th Edition, 38-40.

Kaymaz E. & Manav, B. (2022). *Konutlarda insan odaklı aydınlatma tasarımına ilişkin bir öneri.* ELECO 2022: Elektrik-Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı.

Manav, B. & Kaymaz E. (2022). *Home as the new office: Considerations of interior lighting including occupancy scenarios of ongoing Covid-19*. LUX Europa 2022, 14th European Lighting Conference, 209-215.

Manav, B. & Kaymaz E. (2021). *Analyses on occupant patterns and energy consumption in residential buildings including the Covid-19 pandemic*. CIE Midterm Meeting & Conference "Light for Life – Living with Light", 92-93.

Kaymaz E. & Şenkal Sezer, F. (2020). *Cities and Cultural Landscapes: Recognition, Celebration, Preservation and Experience,* Bölüm adı: Evaluation of the environmental comfort conditions in historıcal and present-day mosques: A user

perception survey. Cambridge Scholars Publishing, Editör: Greg Bailey, Francesco Defilippis, Azra Korjenic and Amir Causevic, Basım sayısı:1, Sayfa Sayısı 362, ISBN:1-5275-4650-0.

Şenkal Sezer, F., Erbil, Y. & Kaymaz E. (2019). *Cittaslow Turkey-Leave No One Behind: Sustainable Development Goals Local Goverments*, Bölüm adı: The public's perception of physical space quality in light railway station buildings. Detay Yayıncılık, Editör: Kaya Ozan, Yurtseven H. Rıdvan, Basım sayısı:1, ISBN:978-605-254-147-0.

Kaymaz E., Manav, B. (2019). Kapalı konut sitelerinde görsel konfor ve aydınlatmaya bağlı enerji tükketiminin değerlendirilmesi: Bursa Balat Örneği. 12. Ulusal Aydınlatma Kongresi (ATMK), 218- 226.

Kaymaz, E. (2019). *Advanced Studies in Energy Efficiency and Built Environment for Developing Countries*, Bölüm adı: Monitoring thermal bridges by infrared thermography. Springer, Editör: Chaham Alalouch, Hassan Abdalla, Emmanuel Bozonnet, George Elvin, Oscar Carracedo. sf. 189, ISBN:978 3-030-10855-7.

Acar Bilgin, E. & Kaymaz E. (2019). *A cultural route proposal for early republican architectural heritage of Bursa.* International Conference on Conservation of 20th Century Heritage from Architecture to Landscape, 117-132.

Kaymaz E. & Şenkal Sezer, F. (2019). *Simulation based evaluation of visual comfort, daylighting and energy efficiency in a gated commuity*. 15th International Conference "Standardization, Protypes and Quality": A Means of Balkan Countries' Collaboration.

Kaymaz E., Ediz, Ö. & Manav B. (2019). *A lighting proposal for a library project in terms of energy efficiency.* Second Balkan Junior Conference on Lighting, Balkan Light Junior 2019.

Kaymaz E. (2018). A study of the daylight analysis and shading device proposal for retrofitting a classroom. I*nternational Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering* (IJAMCE), 5(5): 20-25.

Kaymaz E. & Şenkal Sezer, F. (2017). User satisfaction assesment of indoor environmental quality in today's mosques: The case of Nilufer, Bursa. International *Refereed Journal of Design and Architecture,* 12: 75-97.

Kaymaz E. (2016). *Thermographic inspection and heating energy audit of residential buildings.* 41st IAHS World Congress: Sustainability and Innovation for the Future.

Şenkal Sezer, F. & Kaymaz E. (2016). The user s perception of indoor comfort conditions in historical mosques: The case of Bursa, Turkey. *International Journal of Humanities and Social Science,* 6(9): 43-54.

Kaymaz E. & Şenkal Sezer, F. (2015). Thermal performance assessment of existing buildings: A case study from Turkey. *SSRN OIDA International Journal of Sustainable Development,* 8(09), 97-112.

Kaymaz, E. (2015). *Bursa Reşat Oyal Kültürparkı*. DOCOMOMO - Türkiye Mimarlığında Modernizmin Yerel Açılımları.