



T.C.
Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

**EKONOMİK PARAMETRELER DİKKATE
ALINARAK BİNA DIŞ DUVARLARINA
UYGULANAN ISIL YALITIM
KALINLIĞININ OPTİMİZASYONU**

Özlem ERDOĞAN

Yüksek Lisans Tezi



**EKONOMİK PARAMETRELER DİKKATE
ALINARAK BİNA DIŞ DUVARLARINA
UYGULANAN ISIL YALITIM
KALINLIĞININ OPTİMİZASYONU**

Özlem ERDOĞAN



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EKONOMİK PARAMETRELER DİKKATE ALINARAK BİNA DIŞ
DUVARLARINA UYGULANAN ISIL YALITIM KALINLIĞININ
OPTİMİZASYONU**

Özlem ERDOĞAN

Prof. Dr. Ömer KAYNAKLI
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2018

TEZ ONAYI

Özlem Erdoğan tarafından hazırlanan ‘‘EKONOMİK PARAMETRELER DİKKATE ALINARAK BİNA DIŞ DUVARLARINA UYGULANAN ISIL YALITIM KALINLIĞININ OPTİMİZASYONU’’ adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Ömer KAYNAKLI

Başkan : Prof. Dr. Ömer KAYNAKLI
Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Muhsin KILIÇ
Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Dr. Öğr. Üyesi K. Furkan SÖKMEN
Bursa Teknik Üniversitesi
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım



Prof. Dr. Ali BAYRAM

Enstitü Müdürü

78.../2018

U. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- 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.

19/07/2018

Özlem ERDOĞAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

EKONOMİK PARAMETRELER DİKKATE ALINARAK BİNA DIŞ DUVARLARINA UYGULANAN ISIL YALITIM KALINLIĞININ OPTİMİZASYONU

Özlem ERDOĞAN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Ömer KAYNAKLI

Bu çalışmada, ülkemizde derece-gün (DG) sınıflandırmasına göre ikinci bölgede yer alan Bursa ili için, reel faizin sıfır ve sıfırdan farklı olması durumlarında farklı yalıtım malzemeleri ve farklı ömür süreleri için optimum ısı yalıtım kalınlığı (Xopt), yalıtım maliyetinin geri ödeme süreleri ve yalıtım maliyetleri hesaplanmıştır. Bursa ili için güncel dış hava sıcaklık ölçüm verilerinden hareketle hem ısıtma hem de soğutma DG sayıları ve ardından yıllık ısıtma-soğutma enerji gereksinimleri hesaplanmıştır. Bursa için yapılan analizlerde ısıtma enerji gereksiniminin soğutmaya göre yaklaşık 5,5 kat daha fazla olduğu bulunmuştur. Ekonomik parametreler dikkate alındığında (reel faiz % 5, ömür süresi 10 yıl), bugünkü değer analizi kullanılarak Xopt, EPS için 3,8 cm, XPS için 3,05 cm, Cam yünü için 11,54 cm ve Taş yünü için ise 8,44 cm bulunmuştur. Xopt, belirli bir ömür sonunda toplam maliyetin minimum olduğu değerdir. Geri ödeme süreleri de, EPS ve XPS için 7 yıl, Cam yünü için 4 yıl, Taş yünü için 5 yıl olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde, Bursa ili için, bina dış duvarlarına uygulanan yalıtım malzemesi olarak EPS seçilmiştir. Yalıtım maliyetinin peşin ödenmesi ya da kredili olarak bankadan çekilmesi durumunda, geri ödeme süreleri ve farklı ömür süreleri için optimum yalıtım kalınlıklarının değişimi incelenmiştir. Yalıtım yapılmadan önce, yalıtım için ayrılan maliyetin bankaya yatırılmasının, yalıtım yapmaktan daha avantajlı olup olmadığı değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yalıtım kalınlığı, optimizasyon, Xopt., geri ödeme süresi, ömür, ekonomik parametreler, enflasyon, faiz, reel faiz, EPS, XPS, Cam yünü, Taş yünü.

2018, ix + 51 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

OPTIMIZATION OF THERMAL INSULATION THICKNESS APPLIED TO BUILDING EXTERNAL WALLS CONSIDERING ECONOMIC PARAMETERS

Özlem ERDOĞAN

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Ömer KAYNAKLI

In this study, the calculation of an optimum thermal insulation thickness, payback period of the insulation cost and insulation cost for the different insulation materials and different lifetime period, for Bursa, located in the second degree-day (DD) region in Turkey, was carried out in case of being zero of the rate of real interest and being different from zero of the rate of real interest. Both the heating and cooling DDs and the annual heating and cooling energy requirements were calculated by using the current outside air temperatures for Bursa. It was found that the heating energy requirement was 5.5 times greater than the cooling energy requirement for Bursa. When the economic parameters were considered (the real interest is % 5, the lifetime period is 10 years), the optimum insulation thickness was found as 3,8 cm for EPS, as 3,05 cm for XPS, as 11,54 cm for glass wool and as 8,44 cm for rock wool by using present worth analysis. X_{opt} is value that total energy cost is minimum at the end of the specific life time. The payback periods has been calculated as 7 years for EPS and XPS, 4 years for glass wool, 5 years for rock wool. When the results were evaluated, EPS was chosen as the insulation material applied to building external walls for Bursa. In the case of prepayment of the insulation cost or withdrawal from the bank with credit, the payback periods and the change in optimum insulation thicknesses for different life time were examined. Before the insulation is made, it has been evaluated whether depositing the insulation cost on the bank is more advantageous than the insulation application.

Key Words: Insulation thickness, optimization, X_{opt} , payback period, lifetime, economic parameters, inflation, interest, real interest, EPS, XPS, Glass wool, Rock wool.

2018, ix + 51 pages

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim süresince değerli görüş ve önerileriyle bana yol gösteren danışmanım Sayın Prof. Dr. Ömer KAYNAKLI' ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca olduğu gibi yüksek lisans çalışmalarım esnasında da bana destek olan, maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen aileme ve tez konusu ile ilgili araştırmalarımındaki desteği için Erkalıp A.Ş. Satınalma Şefi, Makine Mühendisi Murat TEZEL' e teşekkür ederim.

Özlem ERDOĞAN

19/07/2018

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM	8
3.1. Derece-Gün Yöntemi	8
3.2. Isıtma ve Soğutma Yükleri.....	11
3.3. Isıtma-Soğutma Maliyeti ve Optimum Yalıtım Kalınlığı.....	12
3.4. Dış Duvar Modeli ve Yapısı	14
3.5. Parametreler	15
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	17
4.1. Reel Faizin Sıfır Olması Durumu	17
4.1.1. Toplam maliyetin hesaplanması.....	17
4.1.2. Xopt yalıtım kalınlığının hesaplanması	18
4.1.3. Tam geri ödeme süresinin hesaplanması.....	20
4.2. Reel Faizin % 5 Olması Durumu	22
4.2.1. Toplam maliyetin hesaplanması.....	22
4.2.2. Xopt yalıtım kalınlığının hesaplanması	24
4.2.3. Geri ödeme süresinin hesaplanması	26
4.3. Farklı Yalıtım Kalınlıkları için Peşin Ödeme, Kredili Ödeme ve Kar Maliyet Oranının Karşılaştırılması	30
4.3.1. Yalıtım maliyetinin peşin ödenmesi durumu	30
4.3.2. Yalıtım maliyetinin kredili ödenmesi durumu	31
4.3.2.1. Yalıtım maliyetinin çeşitli vadede kredili ödenmesi.....	36
4.4. Yalıtıma Ayrılan Paranın Bankaya Yatırılması	38
4.5. Farklı Ömür Süreleri İçin Xopt ve Geri Ödeme Sürelerinin Hesaplanması ..	40
4.6. Isı Yalıtım Malzemelerinin Özellikleri ve Malzeme Cinslerine Göre Xopt, Maliyet ve Geri Ödeme Sürelerinin Hesaplanması.....	43

5. SONUÇ	47
KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ	51



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
Q	Dış duvarda oluşan ısı kazanç ve kaybı (W)
$q_{A,H}$	Dış duvarın birim yüzeyinden oluşan ısı kaybı (W/m^2)
$q_{A,C}$	Dış duvarın birim yüzey alanından oluşan ısı kazancı (W/m^2)
U	Toplam ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
ΔT	Gün boyunca değişen dış ortam sıcaklığı ile sabit iç ortam sıcaklığının farkı (K)
T_m	Günlük ortalama dış ortam (hava) sıcaklığı (K)
T_i	Bina iç ortam sıcaklığı (K)
T_{ref}	Yaz ve kış şartları için denge sıcaklığı (K)
R_w	Yalıtımsız duvar tabakalarının ısı direnci (m^2K/W)
$R_{t,w}$	Yalıtımsız duvar tabakalarının toplam ısı direnci (m^2K/W)
h_i	İç taraftaki ısı taşınım katsayısı (W/m^2K)
h_{dy}	Yaz için dış taraftaki ısı taşınım katsayısı (W/m^2K)
h_{dk}	Kış için dış taraftaki ısı taşınım katsayısı (W/m^2K)
$U_{kış}$	Kış için ısı geçirgenlik (W/m^2K)
U_{yaz}	Yaz için ısı geçirgenlik (W/m^2K)
$E_{A,H}$	Isıtma için gerekli yıllık enerji miktarı
$E_{A,C}$	Soğutma için gerekli yıllık enerji miktarı
$C_{A,H}$	Isıtmanın yıllık enerji maliyeti (TL/ m^2)
$C_{A,C}$	Soğutmanın yıllık enerji maliyeti (TL/ m^2)
$C_{A,Toplam}$	Yıllık toplam yakıt maliyeti (Yalıtım maliyeti hariç) (TL/ m^2)
Hu	Doğal gaz ile ısıtmada alt ısı değer (kJ/m^3)
C_f	Doğal gaz ile ısıtmada fiyat (TL/ m^3)
η	Doğal gaz ile ısıtmada ısıtma sisteminin verimi
C_E	Elektrik ile soğutmada elektrik fiyatı (TL/kWh)
STK	Soğutma Tesir Katsayısı
k	Isı iletim katsayısı (W/mK)
x	Yalıtım malzemesi kalınlığı (m)
x_{opt}	Yalıtım malzemesinin optimum kalınlığı (m)
C_{ins}	Yalıtım malzemesi fiyatı (TL/ m^3)
C_{uyg}	Uygulama maliyeti (TL/ m^2)
$C_{t,ins}$	Toplam yalıtım maliyeti (TL/ m^2)
C_t	Yıllık toplam enerji maliyeti (Yalıtım maliyeti dahil) (TL/ m^2)
g	Enflasyon oranı (%)
i	Faiz oranı (%)
r	Gerçek (reel) faiz oranı (%)
LT	Ömür (yıl)
BGD	Belli bir zamandaki bugünkü değerdir.
PWF	Belirli bir süre sonundaki bugünkü değerlerin toplamıdır.
t	Zaman (yıl)
B	Elde edilen gelirler (Yakıt tasarrufu)
C	Toplam giderler (Yalıtım masrafı)
n	Süre (yıl)

Kısaltmalar**Açıklama**

DG	Derece Gün
IDG	Isıtma Derece Gün
SDG	Soğutma Derece Gün
EPS	Expanded Polystyrene (Genleştirilmiş Polistiren)
XPS	Extruded Polystyrene (Ekstrüde Polistiren)
GÖS	Geri Ödeme Süresi
TGÖS	Tam Geri Ödeme Süresi
KMO	Kar/Maliyet Oranı
YTO	Yakıt Tasarruf Oranı



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Dış duvar modeli.....	14
Şekil 4.1. PWF siz toplam maliyetin minimum olduğu noktadaki..... optimum yalıtım kalınlığı.....	20
Şekil 4.2. Kalınlıklara göre bulunan TGÖS.....	21
Şekil 4.3. PWF li toplam maliyetin minimum olduğu noktadaki optimum yalıtım kalınlığı.....	25
Şekil 4.4. Farklı kalınlıklarda uygulanan yalıtımda kredisiz GÖS.....	29
Şekil 4.5. Kredisiz KMO ve kredisiz YTO.....	31
Şekil 4.6. Farklı kalınlıklarda uygulanan yalıtımda 36 ay kredili GÖS.....	34
Şekil 4.7. Farklı kalınlıklardaki yalıtım maliyetinin 36 ay kredili..... ödenmesinde KMO ve YTO.....	35
Şekil 4.8. 4 cm EPS yalıtım maliyetinin farklı vadelerde kredili..... ödenmesinde KMO ve YTO.....	37
Şekil 4.9. 4 cm EPS yalıtım maliyetinin farklı vadelerde kredili..... ödenmesinde optimum GÖS.....	37
Şekil 4.10. $r = \% 5$ iken farklı ömürlerdeki optimum yalıtım kalınlıkları...	42

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Bursa merkez için yıllık ortalama ve toplam 9 yılın ortalama IDG ve SDG sayıları.....	10
Çizelge 3.2. Yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları ve birim..... fiyatları.....	14
Çizelge 3.3. Hesaplamalarda kullanılan veriler.....	16
Çizelge 4.1. PWF siz X_{opt} yalıtım kalınlığını veren (20) nolu eşitlikte..... kullanılan veriler.....	18
Çizelge 4.2. PWF siz yani reel faiz $r=0$ ve ömür $LT=10$ yıl iken optimum yalıtım kalınlığını veren toplam maliyet ve TGÖS.....	19
Çizelge 4.3. Reel faizin % 5 olması durumunda yıllara göre PWF.....	23
Çizelge 4.4. PWF ve LT ile birlikte hesaplanan maliyetler ve GÖS.....	24
Çizelge 4.5. PWF li X_{opt} yalıtım kalınlığını veren (18) nolu eşitlikte..... kullanılan veriler.....	25
Çizelge 4.6. Reel faizin % 5 olması durumunda yıllara göre BGD.....	27
Çizelge 4.7. 3,8 cm EPS yalıtımlı duvar için bugünkü değer analizi ve.... peşin geri ödeme.....	28
Çizelge 4.8. Kredisiz kar maliyet oranı ve kredisiz yakıt tasarrufu oranı....	30
Çizelge 4.9. 3,8 cm EPS yalıtımlı duvar için bugünkü değer analizi ve.... kredili geri ödeme.....	33
Çizelge 4.10. 3,8 cm EPS yalıtımı için 36 ay vadeli yalıtım kredisi ödeme.. durumu.....	34
Çizelge 4.11. 36 ay kredili KMO ve YTO.....	35
Çizelge 4.12. 4 cm EPS yalıtımı için gerekli yalıtım maliyetinin farklı..... vadelerde kredi ile ödenmesi.....	36
Çizelge 4.13. 4 cm EPS yalıtımı maliyetinin farklı vadeli ödemedeki YTO, KMO ve GÖS.....	36
Çizelge 4.14. Yalıtımlı ve yalıtımsız durumdaki kar zarar durumu.....	38
Çizelge 4.15. Reel faiz $r=0$ iken farklı ömür süreleri için X_{opt} , maliyetler ve geri ödeme süreleri.....	40
Çizelge 4.16. Reel faiz $r=%5$ iken farklı ömür süreleri için X_{opt} , maliyetler ve geri ödeme süreleri.....	41
Çizelge 4.17. $r=0$ ve $r=%5$ iken farklı ömür sürelerine göre X_{opt} , C_t ,... TGÖS ve GÖS.....	42
Çizelge 4.18. Farklı yalıtım malzemelerinin X_{opt} kalınlıkları, $C_{t,ins}$, C_t ve GÖS.....	43

1. GİRİŞ

Enerji tüketimi ülkelerin en önemli sorunlarından biri olup, nüfus artışı, endüstrileşme ve şehirleşme gibi etkenler nedeniyle sürekli olarak artmaktadır. Ülkemizde enerji üretiminin az olması, büyük bir kısmının dışarıdan ithal edilmesi ve aynı zamanda enerji tüketiminin neden olduğu çevre kirliliği, enerji tasarrufunu zorunlu hale getirmiştir (Ogulata 2002, Kaygusuz 2004). Enerji tasarrufu, binalarda enerji tüketimini azaltarak sağlanabilir. Bunu sağlamanın yollarından biri de dış duvarlara optimum yalıtım kalınlığı uygulamaktır. Bina dış duvarlarının uygun yalıtım malzemeleri ile yalıtımı; enerji tasarrufu açısından önemli olduğu gibi, çevrenin korunması, ısı konforu, binanın korunması ve işletme maliyetlerini azaltma yönünde de katkı sağlar. Binalarda ısı yalıtımıyla, ısıtma ve soğutma için gerekli enerji ihtiyacı daha az yakıt tüketimi ile sağlanacaktır.

Isı yalıtımı, kışın ısınmak yazın da serinlemek için harcadığımız enerjiyi azaltarak daha konforlu ortamlarda yaşamak amacıyla yapılır. Bu çerçevede ısı yalıtımı, binaların dışarıya veya garaj, depo gibi ısıtılmayan bölümlerine bakan duvar, çatı, döşeme, cam, ve ısıtma, soğutma, havalandırma vb. tesisatlarına uygulanır. Bir başka deyişle, bina sakinlerinin daha az enerji kullanarak ısınması veya serinlemesi ve dolayısıyla çevre kirliliğinin azaltılmasının sağlanması, binanın iç ve dış etkenlerden korunarak ömrünün uzatılması amacıyla; farklı sıcaklığa sahip yaşam alanları ile çevresi arasındaki ısı geçişini azaltmak için yapılan işlemlere “ısı yalıtımı” denir. Buradaki çalışmamızda binanın dış duvarlarına ısı yalıtımı yapılmıştır.

Yalıtımsızlık nedeniyle israf edilen enerji, kükürtdioksit, karbonmonoksit vb. gazlar hava kirliliğine yol açmaktadır. Bu durum sadece Türkiye açısından değil küresel anlamda büyük ve tehlikeli bir problemdir. Bu nedenle, enerji verimliliği ile ilgili çalışmalarda, inşaat sektörüne yönelik düzenlemeler önemli yer tutmaktadır. Birçok ülke, yeni bina kodları ve standartları geliştirmiştir. Bu standartlar, gelişen yalıtım teknolojisine bağlı olarak sürekli yenilenmektedir.

TS 825 “Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları” standardında ülkemiz, derece-gün (DG) sayılarına göre 4 bölgeye ayrılmıştır. 1. bölge, ısıtma için en az enerji ihtiyacının olduğu, 4. bölge ise en fazla enerji ihtiyacının olduğu bölgeyi temsil etmektedir (Anonim, 2008).

Bu çalışma, 2. derece gün bölgesinde bulunan Bursa ili için, hem Isıtma Derece-Gün (IDG) hem de Soğutma Derece-Gün (SDG) değerlerine göre yapılmıştır. Bursa ili için yaklaşık 9 yıllık dış hava sıcaklık verilerinden yararlanılmıştır. Bu çalışmada, ısıtma-soğutma enerji ihtiyacından hareketle, ekonomik parametreler dikkate alınarak, reel faizin sıfır ve sıfırdan farklı olması durumları için binaların dış duvarlarına uygulanacak optimum ısı yalıtım kalınlığının belirlenmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Enerji (doğalgaz ve elektrik) maliyetlerine yalıtımın malzeme ve uygulama maliyetleri de ilave edilerek toplam maliyet elde edilmiştir. Toplam maliyetin minimizasyonunda ömür maliyet analizi (life cycle cost) kullanılmıştır (Kaynaklı ve ark. 2012).

Daha sonra, optimum yalıtım kalınlıkları ve yalıtımın geri ödeme süreleri, reel faizin sıfır ve % 5 olması halinde ve farklı ömür süreleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Reel faizin sıfırdan farklı olduğu durum için, bugünkü değer yöntemi kullanılmıştır. Paranın zaman değeri vardır ve bu değer faiz olarak adlandırılır. Faiz, paranın değerine yani enflasyona göre reel ve nominal faiz olarak ikiye ayrılmaktadır. Ceylan, Piyasa Rehberi’ndeki yazısında, nominal faizin, enflasyon oranından bağımsız, fiyatlar genel seviyesini (enflasyonu) göz ardı eden oran olduğunu, reel faizin ise nominal faiz oranından enflasyon oranının arındırılmasıyla bulunduğunu belirtmiştir (<http://piyasarehberi.org/yatirim/yatirim-araclari/58-nominal-ve-reel-faiz>, 2017). Reel faizin tespit edilebilmesi için enflasyon ve faiz oranının bilinmesi gerekir. Yıl sonu enflasyon beklentileri Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası (TCMB) tarafından yayınlanmaktadır (<http://www.tcmb.gov.tr>, 2017). Reel faizin sıfırdan farklı olduğu durum incelenirken, nominal faiz (i) % 13, enflasyon (g) % 8 alınmış, reel faiz (r) % 4,6 olarak hesaplanmış, % 5 olarak kabul edilmiştir.

Belirli bir süre sonundaki bugünkü değerlerin toplamı (PWF), reel faize ve zamana bağlıdır. PWF ile ömür süresi (LT) birlikte değerlendirilerek toplam enerji maliyeti, X_{opt} ve geri ödeme süresi hesaplanır.

Isı yalıtım malzemelerinin seçiminde ise, malzemenin bulunma ve uygulanma kolaylığı ile birlikte maliyet önemli bir faktördür. Çünkü yalıtım, binanın ilk yatırım giderlerini arttıran bir uygulamadır. Ancak, maliyet ve enerji tasarrufuna bağlı olarak hesaplanan geri dönüşüm süresiyle, ekonomiye artı bir katkı ve enerji tüketiminde de azalma sağlanır.

EPS (Genleştirilmiş Polistiren), XPS (Extrüde Polistiren), Camyünü ve Taşyünü gibi farklı yalıtım malzemeleri için optimum yalıtım kalınlıkları, yıllık yakıt tasarrufları ve geri ödeme süreleri hesaplanmış, bina dış duvar yalıtım malzemesi olarak malzemenin bulunma ve uygulanma kolaylığı, maliyeti ve ısı iletim katsayıları nedeniyle EPS seçilmiştir.

Enflasyon ve faiz oranları dikkate alınarak yapılan çalışmada, reel faizin % 5 olması, yalıtım giderinin peşin ödenmesi ve binanın ömrünün 10 sene alınması durumunda yakıt tasarrufunun maksimum olduğu optimum EPS yalıtım kalınlığı 3,8 cm olarak bulunmuştur. Bu kalınlık için yalıtım giderinin peşin ödenmesi durumunda geri ödeme süresi 7 yıl iken, kredili ödenmesi durumunda örneğin 36 ay vadede geri ödeme süresi 8 yıl olarak değişmektedir. Bir konutun izolasyon seviyesinin artırılması ile birlikte yalıtım yatırımı artmakta ancak buna karşılık ısıtma tesisatı yatırımı azalarak belli bir zaman sonra yalıtım harcaması amorti edilmekte ve binanın kullanıldığı sonraki senelerde ısıtma giderlerinden önemli ölçüde tasarruf sağlanmaktadır. Bu nedenle optimum izolasyon kalınlıklarının tespiti ve konutlarda uygulanması önem arz etmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Optimum yalıtım kalınlığı hakkında birçok çalışma vardır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde Ogulata (2002), Türkiye'de birincil enerji üretimi ve sektörel tüketimi araştırmıştır. Türkiye'nin birincil enerji için bir ithalatçı ülke olduğunu ve yerli enerji kaynaklarının sınırlı olduğunu, Türkiye sanayisinin büyümesinin enerji talebinde önemli bir artışa neden olduğunu belirtmiştir. Kaygusuz ve Kaygusuz (2004), çalışmalarında, enerji kullanımını ve başlıca çevresel etkileri, gelecekteki enerji kullanımı ve sonraki çevresel sorunlar gibi sürdürülebilir kalkınma açısından incelemişlerdir.

Binalarda enerji tüketimini azaltmak için, Türkiye'de bina yalıtımına ilişkin TSE tarafından, TS 825 Binalarda ısı yalıtım kalınlığı yönetmeliği çıkarılmıştır (Anonim, 2008). Yönetmeliğe göre, Türkiye dört ısıtma derece gün bölgelerine ayrılmıştır. Dördüncü bölge en şiddetli kışa sahip olduğu için enerjinin büyük bir miktarı bu bölgedeki binaları ısıtmak için kullanılır.

Kaynaklı ve ark. (2012), ülkemizde derece-gün sınıflandırmasına göre birinci bölgede yer alan Antalya ili için, öngörülen bir ömür süresi dikkate alarak enerji maliyetini minimize eden optimum ısı yalıtım kalınlığı hesabı yapmıştır. Toplam maliyetin minimizasyonunda ömür maliyet analizi kullanmıştır.

Ceylan, nominal ve reel faizi tanımlamıştır (<http://piyasarehberi.org/yatirim/yatirim-aracлари/58-nominal-ve-reel-faiz>, 2017). Reel faizin hesaplama formülleri Mearing ve ark. (1999)'nın ve Kaynaklı ve ark. (2012)'nin çalışmasında belirtilmiştir.

Reel faizin hesaplanması için gerekli yıl sonu enflasyon beklentileri TCMB tarafından yayınlanmaktadır (<http://www.tcmb.gov.tr>, 2017).

Büyükalaca ve ark. (2001), güncel ölçüm datalarını kullanarak Türkiye için ısıtma ve soğutma derece gün değerlerini hesaplamıştır. Kaynaklı (2008)'nin çalışmasında, Bursa'daki binaların dış duvarları için 1992'den 2005'e kadar dış hava sıcaklık

değerleri dikkate alınarak derece saat değerleri hesaplanmış ve ömür maliyet analizine dayanarak farklı yakıt türleri için optimum yalıtım kalınlıkları belirlenmiştir.

Bursa ili için ısıtma ve soğutma derece gün değerleri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından belirlenmiş değerlerdir (<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gun-derece.aspx?g=merkez&m=16-00&y=2017&a=01>, 2017).

Mearing ve ark. (1999), eğitim tesislerinin inşaat projelerini değerlendirmek için okul bölgelerine ve danışmanlarına yardımcı olmak amacıyla bir binanın yaşamı boyunca yapı operasyonlarının Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi (LCCA) ile ilgili kuralları sunmuşlardır. İlk ve gelecekteki harcamalar, artık değer, gerçek iskonto oranı, sabit dolar ve bugünkü değer gibi bir LCCA'da bulunan terminolojiyi tanımlamışlar ve en uygun, makul ve uygun maliyetli alternatifleri seçerken dikkat edilmesi gereken olası proje seçeneklerini listelemişlerdir.

Bolattürk (2006), binalarda uygun yalıtım kalınlıkları kullanılarak, binalardan kaynaklanan ısı kaybı azaltılıp önemli miktarda enerji tasarrufunun sağlanabileceğini anlattığı çalışmada, Türkiye'nin farklı bölgelerinde var olan önemli iklim değişiklikleri göz önünde bulundurulduğunda, Türkiye'nin dört iklim bölgesinden 16 ili, analiz için seçmiş ve optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufu ve geri ödeme sürelerini hesaplamıştır. Bu çalışmada, farklı iklim bölgelerindeki binaların yıllık ısıtma gereksinimleri, ısınma derecesi-gün konsepti ile elde edilmiş olup, optimizasyon, yaşam döngüsü maliyet analizine dayanmaktadır.

Çomaklı ve Yüksel (2003), Erzurum, Kars ve Erzincan gibi Türkiye'nin en soğuk üç şehri için optimum yalıtım kalınlığını, derece-gün sayılarını esas alarak araştırmışlardır. Dombaycı ve ark. (2006), Denizli ili için beş farklı enerji kaynağı (kömür, doğal gaz, LPG, akaryakıt ve elektrik) ve iki farklı yalıtım malzemesi (genişletilmiş polistren, taş yünü) için dış duvarın optimum yalıtım kalınlığını hesaplamışlardır. Optimizasyon, bir yaşam döngüsü maliyet analizine dayanmaktadır. Sonuçlara göre, enerji kaynağı olarak kömür kullanılarak ve yalıtım malzemesi olarak genişletilmiş polistren ile optimum elde edilmiştir.

Özel (2013), Türkiye'nin farklı derece-gün bölgelerinde bulunan Adana, Trabzon, Eskişehir ve Ardahan illeri için iki farklı yakıt türü ve dört farklı yalıtım malzemesi kullanılarak bina dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlıklarını ve çevresel etkileri belirlemiştir. Hesaplamalar ömür maliyet analizine göre ısıtma ve soğutma derece gün değerlerini kullanarak yapılmıştır. Yakıt olarak kömür ve fuel-oil kullanılmış. Yalıtım malzemesi olarak Ekstrüde polistiren (XPS), Ekspande polistiren (EPS), Cam yünü ve Taş yünü seçilmiştir. Bu durumda dış duvarlara bu yalıtım malzemeleri uygulanarak, optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Toplam maliyeti minimum yapacak yalıtım kalınlığı, optimum yalıtım kalınlığını vermektedir. Optimum yalıtım kalınlığı, toplam maliyeti veren denklemin yalıtım kalınlığına (x) göre türevi alınarak bulunmuştur.

Yalıtım malzemelerinin birim fiyatları ve uygulama maliyetleri bilgisi için, Topçuoğlu İzolasyon firmasından Orhan (2017) ile ve İzored firmasından Emre (2017) ile sözlü görüşülmüştür.

Erdem, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği bölümündeki Mühendislik ekonomisi konulu ders notlarında bugünkü değer yöntemini, geri ödeme süresinin nasıl hesaplandığını anlatmış ve yatırımın ekonomik değerlendirilmesinde kullanılan bir yöntem olan kar maliyet oranını incelemiştir (<http://docplayer.biz.tr/10214783-Mühendislik-ekonomisi.html>, 2017).

Özel (2008), Bina dış duvarlarına uygulanan yalıtımın optimum kalınlığını dinamik şartlar altında, Elazığ ili için ele almıştır. Yalıtım malzemesi olarak ekstrüde polistiren ve yakıt olarak ithal kömür, fuel-oil ve doğal gaz kullanılmıştır. Bu durumda, dıştan yalıtımlı güneye bakan bir duvar için maliyet analizi yapılmış ve her bir yakıt türü için optimum yalıtım kalınlıkları, enerji tasarrufları ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.

Çubuk, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği bölümündeki Ekonomik analiz bugünkü değer tabloları konulu ders notlarında bugünkü değer faktörlerini belirtmiştir (<http://www.yildiz.edu.tr/~hcubuk/BDF-1, BDF-2.pdf>, 2017).

Enerji tasarrufuna yönelik her türlü yatırım için Şekerbank' tan kredi alınabilmektedir. Yalıtım için gerekli kredi, uygun faiz oranı ve vade seçenekleriyle Şekerbank'ın Ekokredi ürünlerinden biri olan yalıtım kredisidir (<http://www.sekerbank.com.tr/bireysel/bireysel-krediler/eko-kredi>, 2017).

Gustafsson (2000), İsveç'te, yenilenmesi gereken binalarda, yaşam döngüsünü maliyetini en aza indirmek için, iyileştirme ölçütlerinin optimize edilmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışmada, binanın kullanım süresi, enerji maliyetinin azaltılması, yalıtım uygulaması ve ısıtma sistemlerinin değiştirilmesi gibi parametreleri göz önüne alarak, iyileştirmenin ekonomik boyutunu araştırmıştır.

Yu ve ark. (2009), yalıtım kalınlığının belirlenmesinde yalıtım malzemesinin seçiminin önemli olduğunu ve yalıtım malzemesinin termal iletkenliği ve fiyatının malzeme seçiminde etkili olduğunu belirtmiştir.

Isı yalıtım malzemelerinden beklenen özellikler Gnyapı' nın web sayfasında anlatılmaktadır (<https://www.gnyapi.com.tr/isi-yalitim-malzemeleri>, 2017).

Isı yalıtımı ve malzemeleri hakkında genel bilgi İzoder' in web sayfasından alınmıştır (<http://www.izoder.org.tr>, 2017).

Hesaplamalarda kullanılan doğal gazın özellikleri ve fiyatı, Bursagaz şirketi verilerinden (<http://www.bursagaz.com>, 2017), elektrik fiyatı ise Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. (UEDAŞ) verilerinden (<http://www.uedas.com.tr>, 2017) alınmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Derece-Gün Yöntemi

Isıtma ve soğutma enerji gereksiniminin tahmini için kullanılan en yaygın ve basit yöntemlerden biri derece-gün'dür. DG değeri belirli bir denge sıcaklık (T_{ref}) referans alınarak hesaplanır. Yaz ve kış şartları için T_{ref} sırasıyla 22°C ve 15°C' dir. Denge sıcaklığı, binadaki ısı kaynaklarıyla (insan, aydınlatma, güneş ışıınımı vs.) binadan olan ısı kayıplarının eşit (dengede) olduğu sıcaklık olarak tanımlanır. Bu nedenle binanın yapısal özellikleri (duvar tipi, yalıtım durumu, hava sızıntıları, güneş ışıınımı durumu), iklim koşulları ve bina kullanıcılarının kişisel tercihleri gibi birçok faktör DG değerinin belirlenmesini etkilemektedir (Büyükalaca ve ark. 2001, Kaynaklı 2008). Bu çalışmada bina iç ortam sıcaklığı (T_i), yaz ve kış şartları için sırasıyla 22°C ve 18°C alınmıştır.

Isıtma sezonunda toplam derece-gün sayısı (Isıtma Derece-Gün, IDG) için eşitlik (1) ve (2) kullanılabilir.

$$IDG = \sum_1^{365} (T_i - T_m) \quad (T_m \leq 15^\circ\text{C}) \quad (1)$$

$$IDG = 0 \quad (T_m > 15^\circ\text{C}) \quad (2)$$

Burada T_m günlük ortalama hava sıcaklığıdır. Benzer olarak, soğutma sezonunda toplam derece-gün sayısı (Soğutma Derece-Gün, SDG) için (3) ve (4) eşitlikleri kullanılabilir.

$$SDG = \sum_1^{365} (T_m - T_i) \quad (T_m > 22^\circ\text{C}) \quad (3)$$

$$SDG = 0 \quad (T_m \leq 22^\circ\text{C}) \quad (4)$$

Bursa merkez için yıllık ortalama ve toplam 9 yılın ortalama *IDG* ve *SDG* sayıları Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün verilerinden alınarak Çizelge 3.1 oluşturulmuştur (<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gun-derece.aspx?g=merkez&m=16-00&y=2017&a=01,2017>). Bu çizelgede $T \leq 15^{\circ}\text{C}$ ile başlayan satırda verilen değerler sıcaklığın $T_m \leq 15^{\circ}\text{C}$ olduğu gün sayıdır. $T > 22^{\circ}\text{C}$ ile başlayan satırda verilen değerler ise sıcaklığın $T_m > 22^{\circ}\text{C}$ olduğu gün sayıdır.

Derece gün, 24 saatlik periyodun ne kadarının sıcak ve ne kadarının soğuk geçtiğini ölçmeye yarayan bir birimdir.

IDG ve *SDG* sırasıyla, belirli bir zamanda (gün, ay, yıl) dış ortam ve oda sıcaklığını hesaba katarak soğğun ve sıcaklığın şiddetini açıklar.

Hesaplama günlük bazda yapılır. Aylık ve yıllık (bkz. Çizelge 3.1) derece günler bunların toplanması ile bulunur.

Örneğin; Ankara'nın 29 Aralık 2005 günü ortalama sıcaklığı $2,0^{\circ}\text{C}$ ' dir.

Buna göre, $IDG = 18 - 2 = 16^{\circ}\text{C}$ ' dir.

Ankara'nın 25 Ağustos 2005 günü ortalama sıcaklığı $25,9^{\circ}\text{C}$ ' dir.

Buna göre, $SDG = 25,9 - 22 = 3,9^{\circ}\text{C}$ ' dir.

Bursa için yapılan analizlerde ısıtma enerji gereksiniminin soğutmaya göre yaklaşık 5,5 kat daha fazla olduğu bulunmuştur.

Çizelge 3.1. Bursa merkez için yıllık ortalama ve toplam 9 yılın ortalama IDG ve SDG sayıları

Merkez	DG	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	Yıllık	IDG Ort.	SDG Ort.	
BURSA	IDG	392	195	216	51	20					68	224	468	1634	1634		
	T≤15 °C	28	23	27	12	5					13	22	31	161			
2016	SDG		0			13	90	120	132	38	1	6		400		400	
	T>22 °C		1			5	22	31	30	17	1	3		110			
BURSA	IDG	386	304	272	195	4					41	167	386	1755	1755		
	T≤15 °C	30	27	29	24	4					8	26	31	176			
2015	SDG					4	11	111	136	56	0	0		318		318	
	T>22 °C					6	9	31	31	23	1	1		102			
BURSA	IDG	275	262	228	99	27					49	191	268	1399	1399		
	T≤15 °C	29	27	30	19	7					9	26	30	177			
2014	SDG					8	40	112	118	21	0			299		299	
	T>22 °C					4	17	30	30	14	1			96			
BURSA	IDG	333	247	217	124						153	180	407	1661	1661		
	T≤15 °C	30	25	25	18						24	26	31	179			
2013	SDG					16	39	81	114	6				256		256	
	T>22 °C					10	16	27	31	6				90			
BURSA	IDG	463	423	333	68	7					3	155	312	1764	1764		
	T≤15 °C	31	29	31	9	2					1	23	27	153			
2012	SDG						72	142	97	20	6			337		337	
	T>22 °C						23	31	27	15	4			100			
BURSA	IDG	383	336	298	223	51	0			0	147	346	332	2116	2116		
	T≤15 °C	31	28	30	29	9	0			0	21	30	30	208			
2011	SDG					0	20	126	55	18				219		219	
	T>22 °C					0	15	31	26	13				85			
BURSA	IDG	335	251	280	122	9	0			0	95	85	261	1438	1438		
	T≤15 °C													0			
2010	SDG					14	42	108	162	11				337		337	
	T>22 °C													0			
BURSA	IDG	359	291	279	172	28				0	30	228	259	1646	1646		
	T≤15 °C													0			
2009	SDG					6	55	115	70	7				253		253	
	T>22 °C													0			
BURSA	IDG	464	369	179	99	45					35	164	319	1674	1674		
	T≤15 °C													0			
2008	SDG				6	9	70	96	126	28				335		335	
	T>22 °C													0			
														Ortalama IDG ve SDG		1676,33	306
														IDG / SDG		5,48	
														%		447,82	

3.2. Isıtma ve Soğutma Yükleri

$Q = U.A.\Delta T$ formülü kullanıldığında, sıcaklık farkı nedeniyle dış duvarın birim alanından gerçekleşen ısı kaybı (5) nolu, ısı kazancı (6) nolu denklem ile hesaplanabilir.

$$q_{A,H} = U. (T_i - T_m) \quad (5)$$

$$q_{A,C} = U. (T_m - T_i) \quad (6)$$

Burada U duvarın toplam ısı transfer katsayısıdır. Dış duvarın birim yüzeyinden oluşan ısı kaybı sebebiyle ısıtma için gerekli yıllık enerji miktarı ($E_{A,H}$), yıllık ısı kaybının yakma sisteminin verimine bölünmesiyle hesaplanabilir. Yıllık ısı kaybı, derece-gün kavramından yararlanılarak ifade edilmiştir.

$$E_{A,H} = 86\,400.IDG.U / \eta \quad (7)$$

Benzer şekilde, soğutma için gerekli yıllık enerji miktarı ($E_{A,C}$) aşağıda verilen eşitlikle hesaplanabilir.

$$E_{A,C} = 86\,400.SDG.U / STK \quad (8)$$

Yalıtımın olduğu tipik bir duvar için toplam ısı geçirgenliği, U (W/m^2K),

$$U = \frac{1}{1/h_i + R_w + x/k + 1/h_o} \quad (9)$$

şeklinde. Burada h_i ve h_o (hdy , hdk) sırasıyla iç ve dış taraftaki ısı taşınım katsayıları, R_w yalıtımsız duvarın ısıl direnci, x ve k sırasıyla yalıtım malzemesinin kalınlığı ve ısı iletim katsayısıdır. Binanın iç ve dış tarafındaki ısı taşınım katsayıları için $h_i = 8,29$ W/m^2K , h_o (hdy) = 22,7 W/m^2K (yaz), h_o (hdk) = 34,0 W/m^2K (kış) değerleri kullanılmıştır (Kaynaklı ve ark. 2012).

Yalıtımsız duvarın toplam ısı direnci $R_{t,w}$ olmak üzere toplam ısı geçirgenliği yeniden düzenlenirse aşağıda verilen eşitlik elde edilir.

$$U = \frac{1}{R_{t,w} + x/k} \quad (10)$$

3.3. Isıtma-Soğutma Maliyeti ve Optimum Yalıtım Kalınlığı

Birim dış duvar yüzey alanı için ısıtmanın ve soğutmanın yıllık enerji maliyeti sırasıyla $C_{A,H}$ (TL/m²) ve $C_{A,C}$ (TL/m²) olup, eşitlik (11) ve (12) ile hesaplanabilir.

$$C_{A,H} = \frac{86\,400 \cdot IDG \cdot Cf}{(R_{t,w} + x/k) \cdot Hu \cdot \eta} = (E_{A,H} / Hu) \cdot Cf \quad (11)$$

$$C_{A,C} = \frac{86\,400 \cdot SDG \cdot C_E}{(R_{t,w} + x/k) \cdot STK} = (E_{A,C} \cdot C_E) / 3\,600\,000 \quad (12)$$

Bu çalışmada, öngörülen bir ömür süresince enerji maliyeti hesaplamalarında ömür maliyet analizi kullanılmıştır. Ömür süresi (LT) ve bugünkü değer (PWF) birlikte değerlendirilmesi ve değerlendirilmemesi durumlarına göre toplam ısıtma maliyeti, optimum yalıtım kalınlığı (X_{opt}), geri ödeme süresi ($GÖS$) ve tam geri ödeme süresi ($TGÖS$) hesaplanacaktır. PWF değeri, gerçek faiz oranına (r) ve zamana bağlıdır. Gerçek faiz oranı aşağıda verilen denklemlerle bulunur (Mearing ve ark. 1999, Kaynaklı ve ark. 2012).

$$i > g \text{ ise } r = (i - g) / (1 + g) \quad (13)$$

Burada g enflasyon oranı ve i faiz oranıdır. Bu durumda PWF , aşağıdaki gibidir.

$$PWF = \frac{(1 + r)^{LT} - 1}{r \cdot (1 + r)^{LT}} \quad (14)$$

Burada LT ömür süresidir ve farklı ömür sürelerine göre optimum yalıtım kalınlıkları ve geri ödeme süreleri hesaplanacaktır (Çomaklı ve Yüksel 2003, Dombaycı ve ark. 2006).

Yalıtımın toplam maliyeti ($C_{t,ins}$) aşağıda verilen denklemlerle bulunur.

$$C_{t,ins} = C_{ins} \cdot x + C_{uyg} \quad (15)$$

Burada C_{ins} yalıtım malzemesinin birim maliyeti (TL/m³) ve C_{uyg} yalıtımın uygulama maliyetidir (TL/m²).

Bu çalışmada, ısıtmanın ve soğutmanın yıllık toplam enerji maliyeti, reel faiz % 5 alınarak, PWF ile birlikte eşitlik (16) ve (17) ile hesaplanacaktır.

Reel faizin sıfır olması halinde oluşacak maliyetler ise, bölüm 4.1.1’de anlatılacak olup, (16) ve (17) nolu eşitliklerdeki PWF yerine sadece LT ömür süresi yazılarak bulunacaktır.

Toplam maliyet, ısıtma, soğutma ve yalıtım maliyetlerinin toplamından oluşur.

$$C_t = PWF \cdot (C_{A,H} + C_{A,C}) + C_{t,ins} \quad (16)$$

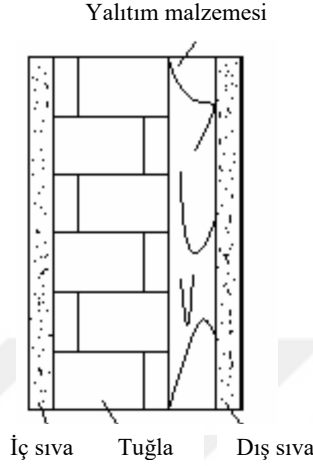
$$C_t = \left(\frac{86\,400 \cdot PWF}{R_{t,w} + x/k} \right) \cdot \left(\frac{C_f \cdot IDG}{Hu \cdot \eta} + \frac{C_E \cdot SDG}{STK} \right) + (C_{ins} \cdot X + C_{uyg}) \quad (17)$$

Verilen bu toplam maliyeti minimize eden yalıtım kalınlığı (x) değeri, en uygun yalıtım kalınlığını (optimum yalıtım kalınlığını, x_{opt}) vermektedir. Bu nedenle toplam maliyet denklemi, x ’ e göre türevi alınıp sıfıra eşitlenirse aşağıda verilen optimum yalıtım kalınlığı eşitliği elde edilir (Özel 2013).

$$X_{opt} = 293,94 \cdot \sqrt{\frac{PWF \cdot k}{C_{ins}} \left(\frac{C_f \cdot IDG}{Hu \cdot \eta} + \frac{C_E \cdot SDG}{3,6 \times 10^6 \cdot STK} \right) - k \cdot R_{t,w}} \quad (18)$$

3.4. Dış Duvar Modeli ve Yapısı

Çalışmada kullanılan bina dış duvarlarına ait görünüm Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Dış duvar modeli

Optimum yalıtım kalınlığını hesaplamak için dış yüzeyinde 3 cm lik sıva, iç yüzeyinde 2 cm kalınlığında sıva, 19 cm kalınlığında tuğla ve yalıtım malzemesinden oluşan dıştan yalıtımlı bir duvar yapısı ele alınmıştır. Yalıtım malzemesi olarak Ekstrüde polistiren (XPS), Ekspanded (Genleştirilmiş) polistiren (EPS), Cam yünü ve Taş yünü seçilmiştir. Bu malzemelerin ısı iletim katsayıları ve birim fiyatları Çizelge 3.2’ de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları ve birim fiyatları

Malzeme Cinsi	k (W/mK)	Fiyat (TL/m ³)	Uygulama Maliyeti (TL/m ²)
EPS	0,035	480	15
XPS	0,029	600	15
Cam Yünü	0,038	96	15
Taş Yünü	0,042	168	15

Yalıtım malzemelerinin birim fiyatları ve uygulama maliyetleri bilgisi için, Topçuoğlu İzolasyon firmasından Orhan (2017) ile ve İzored firmasından Emre (2017) ile sözlü görüşülmüştür.

3.5. Parametreler

Çalışmada kullanılan bazı parametreler Çizelge 3.3' de verilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan duvarın yapısal özellikleri, yakıtla ilgili özellikler ve *PWF* analizinde kullanılan bazı finansal ve maliyet parametreleri bu çizelgede özetlenmiştir.



Çizelge 3.3. Hesaplamalarda kullanılan veriler

Parametre	Değer	
Dış Duvar (cm)		
2,0	İç sıva	k=0,87 W/mK
x	Yalıtım	k=0,035 W/mK
19,0	Tuğla	k=0,45 W/mK
3,0	Dış sıva	k=1,40 W/mK
	İç taraftaki ısı taşınım katsayısı	$h_i= 8,3$ W/m ² K
	Yaz için dış taraftaki ısı taşınım katsayısı	$h_{dY}= 22,7$ W/m ² K
	Kış için dış taraftaki ısı taşınım katsayısı	$h_{dK}= 34,0$ W/m ² K
	Toplam ısı geçirgenliği,	$U=1/(R_{ins}+R_{t,w})$ W/m ² K
	Kış için yalıtımsız duvar tabakalarının ısıl direnci	$R_{t,w,kış} = 0,617$ m ² K / W
	Yaz için yalıtımsız duvar tabakalarının ısıl direnci	$R_{t,w,yaz} = 0,631$ m ² K / W
	Yalıtımsız duvar tabakalarının ort. ısıl direnci	$R_{t,w,ort.} = 0,624$ m ² K / W
Yakıt		
Doğalgaz (ısıtmada)		
	Alt ısıl değer (Hu)	34 526 000 J /m ³
	Doğalgaz Fiyat (C _f)	1,129 TL/m ³
	Isıtma sisteminin verimi (η)	0,93
Elektrik (soğutmada)		
	Elektrik Fiyat (C _E)	0,423 TL/kWh
	Soğutma Tesir Katsayısı (STK)	2,5
	1 kWh	3 600 000 J
Yalıtım malzemesi		
Polistiren (EPS)		
	Isı iletim katsayısı (k)	0,035 W/mK
	Malzeme fiyatı (C _{ins})	480 TL/m ³
	Uygulama maliyeti (C _{uyg})	15 TL/m ²
Finansal parametreler		
	Enflasyon oranı (g) %	8 %
	Faiz oranı (i) %	13 %
	Reel faiz oranı [r] = (i - g) / (1 + g) (Hesaplanan)	4,6 %
	Reel faiz oranı [r] % (Kabul edilen)	5 %
	Ömür (LT)	10 Yıl
	Şimdiki değer faktörü (PWF)	7,722

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Reel Faizin Sıfır Olması Durumu

4.1.1. Toplam maliyetin hesaplanması

Reel faizin sıfır olması halinde, toplam maliyetin hesaplanmasında bölüm 3.3' de verilen (11) , (12) ve (15) eşitlikleri kullanılacaktır.

Birim dış duvar yüzey alanı için ısıtmanın ve soğutmanın yıllık enerji maliyeti sırasıyla $C_{A,H}$ (TL/m²) ve $C_{A,C}$ (TL/m²) olup (11) ve (12) eşitlikleri ile hesaplanır.

$$C_{A,H} = \frac{86\ 400 \cdot IDG \cdot Cf}{(R_{t,w} + x/k) \cdot Hu \cdot \eta} = (E_{A,H} / Hu) \cdot Cf \quad (11)$$

$$C_{A,C} = \frac{86\ 400 \cdot SDG \cdot C_E}{(R_{t,w} + x/k) \cdot STK} = (E_{A,C} \cdot C_E) / 3\ 600\ 000 \quad (12)$$

Yalıtımın toplam maliyeti ($C_{t,ins}$), (15) nolu eşitlik ile bulunur.

$$C_{t,ins} = C_{ins} \cdot x + C_{uyg} \quad (15)$$

Isıtmanın ve soğutmanın yıllık toplam enerji maliyeti (11) ve (12) nolu eşitliklerin toplamı ($C_{A,H} + C_{A,C}$) olup, reel faiz sıfır olduğunda, yani PWF siz olarak hesaplandığında, belli bir ömür sonundaki toplam maliyet (19) nolu eşitlik ile bulunur.

$$C_t = LT \cdot (C_{A,H} + C_{A,C}) + C_{t,ins} \quad (19)$$

Toplam maliyet, ısıtma ve soğutma maliyetleri ile yalıtım maliyetinin toplamından oluşur.

10 yıllık bir ömür süresi öngörüldüğünde, 10 yıllık toplam maliyet (19) nolu eşitlikte LT yerine 10 yıl yazılarak Çizelge 4.2' deki gibi bulunur.

4.1.2. X_{opt} yalıtım kalınlığının hesaplanması

Reel faizin sıfır olması durumunda, X_{opt} yalıtım kalınlığını bulabilmek için, PWF ömür süresine bağlı olarak değiştiğinden dolayı, (18) nolu türev formülündeki PWF yerine sadece LT yani ömür süresi yazılarak (20) nolu eşitlik kullanılır.

$$X_{opt} = 293,94 \cdot \sqrt{\frac{LT \cdot k}{C_{ins}} \left(\frac{C_f \cdot IDG}{H_u \cdot \eta} + \frac{C_E \cdot SDG}{3,6 \times 10^6 \cdot STK} \right) - k \cdot R_{t,w}} \quad (20)$$

Çizelge 4.1. PWF siz X_{opt} yalıtım kalınlığını veren (20) nolu eşitlikte kullanılan veriler

Parametre	Değer	
Ömür (LT)	10,00	Yıl
Isıtma Derece Gün (IDG)	1 676,33	
Doğal gaz fiyat (C_f)	1,129	TL/m ³
EPS Isı iletim katsayısı (k)	0,035	W/mK
Doğal gaz alt ısı değer (H_u)	34 526 000	J/m ³
Yalıtım fiyat (C_{ins})	480	TL/m ³
Isıtma sisteminin verimi (η)	0,93	
1 kWh	3 600 000	J
Elektrik fiyat (C_E)	0,423	TL/kWh
Soğutma Derece Gün (SDG)	306	
Soğutma Tesir Katsayısı (STK)	2,5	
Yalıtımsız Duvar Direnci ($R_{t,w}$)	0,6239	m ² K/W
$k \cdot R_{t,w}$	0,021837	m
X_{opt}	0,04613	m
X_{opt}	4,613	cm

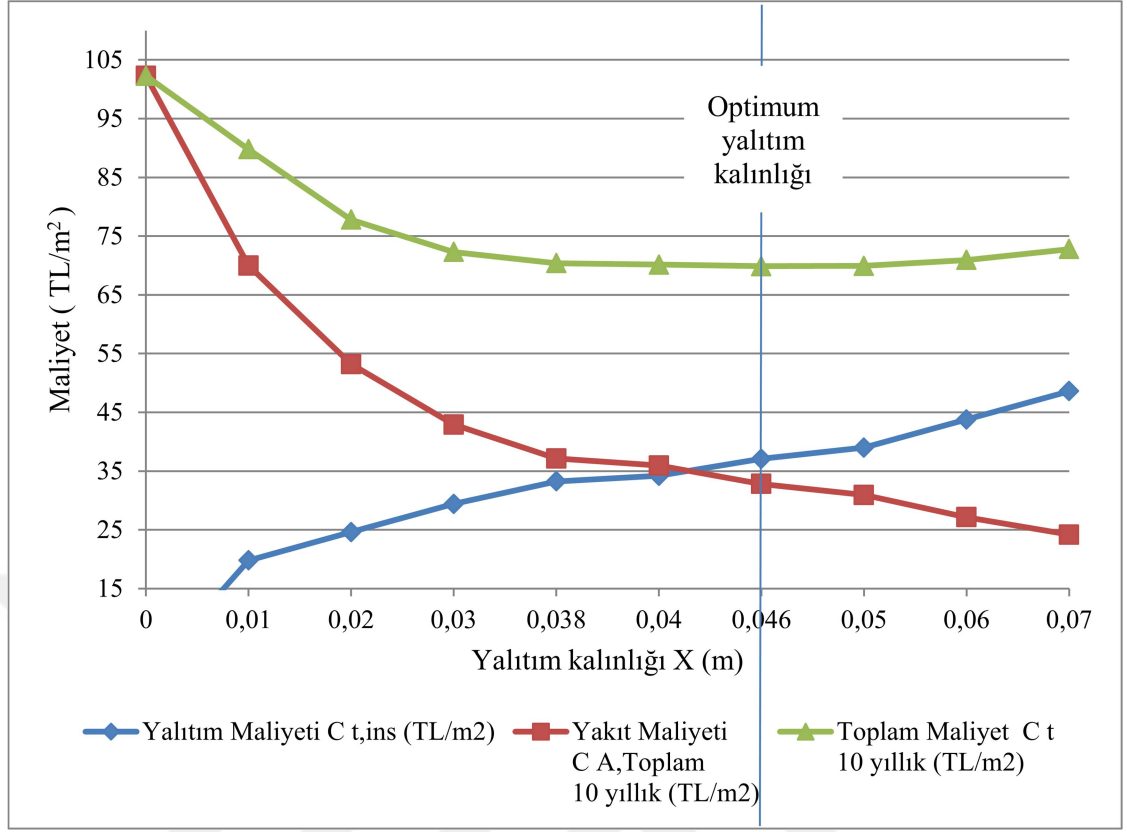
PWF yerine LT nin kullanıldığı X_{opt} ' u veren 20 nolu eşitlik kullanılarak optimum yalıtım kalınlığı 4,6 cm olarak bulunur.

Optimum yalıtım kalınlığı, belirli bir ömür sonunda toplam maliyetin minimum olduğu yerdir.

Çizelge 4.2. PWF siz yani reel faiz $r=0$ ve ömür $LT=10$ yıl iken optimum yalıtım kalınlığını veren toplam maliyet ve TGÖS

Reel Faiz $r=0$ ve Ömür $LT=10$ yıl iken X_{opt} 'u veren Toplam Maliyet ve TGÖS							
Yalıtım Kalınlığı X (m)	Yalıtım Maliyeti $C_{t,ins}$ (TL/m ²)	Yıllık Yakıt Maliyeti $C_{A,H}+C_{A,C}$ $= C_{A,Toplam}$ (TL/m ²)	Yıllık Yakıt Tasarrufu (TL/m ²)	10 yıllık Yakıt Maliyeti $10 \times C_{A,Toplam}$ (TL/m ²)	10 yıllık Toplam Maliyet C_t (TL/m ²)	Tam Geri Ödeme Süresi TGÖS	
0	0	10,23	0	102,29	102,29		
0,01	19,80	7,00	3,23	70,00	89,80	6,13	6yıl, 1ay, 17gün
0,02	24,60	5,32	4,91	53,20	77,80	5,01	5yıl, 4gün
0,03	29,40	4,29	5,94	42,91	72,31	4,95	4yıl, 11ay, 12gün
0,038	33,24	3,72	6,51	37,15	70,39	5,10	5yıl, 1ay, 7gün
0,04	34,20	3,59	6,63	35,95	70,15	5,16	5yıl, 1ay, 25gün
0,046	37,08	3,28	6,95	32,80	69,88	5,34	5yıl, 4ay, 1gün
0,05	39,00	3,09	7,14	30,93	69,93	5,47	5yıl, 5ay, 17gün
0,06	43,80	2,71	7,51	27,15	70,95	5,83	5yıl, 9ay, 28gün
0,07	48,60	2,42	7,81	24,19	72,79	6,22	6yıl, 2ay, 20gün

Binalarda yalıtım kalınlığının artmasına bağlı olarak ısı kaybı azalır. Bu yüzden birim alanı ısıtmak için gerekli enerji ihtiyacı azalır ve toplam maliyet düşer. Ancak yalıtım kalınlığının gereğinden fazla artırılması yalıtım maliyetini arttırır. Bu durumda yüksek yalıtım maliyeti nedeniyle belli bir noktadan sonra toplam maliyet artmaya başlar. Toplam maliyetin minimum olduğu bu nokta optimum yalıtım kalınlığı değeri olarak ifade edilmektedir. Çizelge 4.2' de verilen yalıtım kalınlıkları, 10 yıllık yakıt maliyetleri ve 10 yıllık toplam maliyet değerleri ile çizilen Şekil.4.1' de toplam maliyetin minimum olduğu yerdeki kalınlığın 4,6 cm olduğu görülmektedir.



Şekil 4.1. PWF siz toplam maliyetin minimum olduğu noktadaki optimum yalıtım kalınlığı

4.1.3. Tam geri ödeme süresinin hesaplanması

Geri ödeme süresi yöntemi, projenin zaman değerini göz önüne almadan, yapılan masrafların ne kadar sürede geri döneceğini göstermektedir. Başka bir ifade ile geri ödeme süresi, elde edilen gelirler (B) ile yapılan masrafların (C) eşit olduğu süreyi gösterir. Erdem tarafından geri ödeme süresi için (21) ve (22) eşitlikleri belirtilmiştir (<http://docplayer.biz.tr/10214783-Mühendislik-ekonomisi.html>, 2017).

$$\sum_{t=0}^n (B_{(t)} - C_{(t)}) = 0 \quad (21)$$

Eğer zaman içerisinde elde edilen gelirler sabit ise aşağıda verilen (22) nolu eşitlik kullanılarak, reel faizin sıfır olduğu durumda tam geri ödeme süresi hesaplanır.

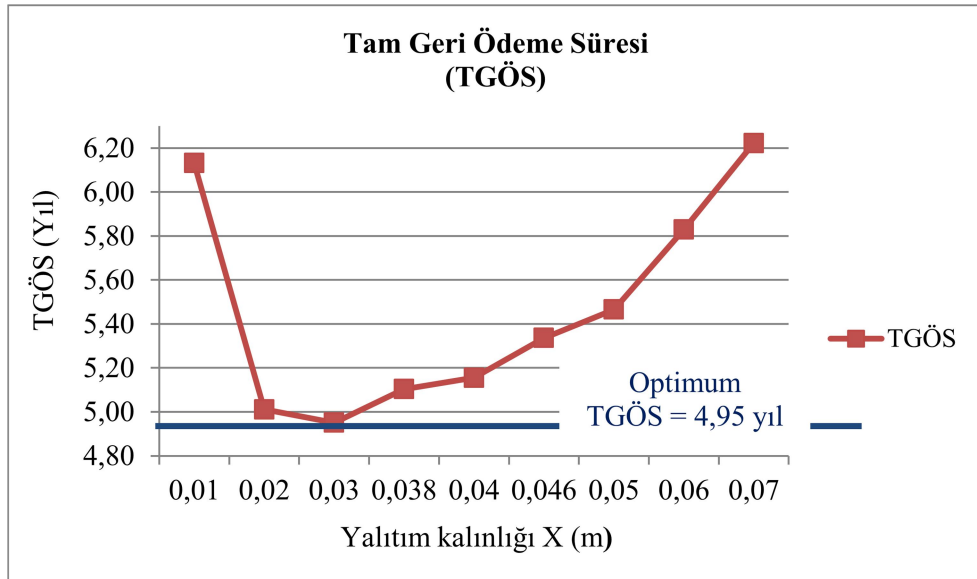
$$TG\ddot{O}S = \frac{\sum_{t=0}^n C(t)}{B} \quad (22)$$

C yalıtım masrafı, B ise yıllık yakıt tasarrufudur. Yıllık yakıt tasarrufu, yalıtımsız yıllık yakıt maliyeti ile yalıtımlı yıllık yakıt maliyeti arasındaki farktır. Yalıtımsız yıllık yakıt maliyeti $10,23 \text{ TL/m}^2$ olup, PWF siz durumda hesaplanan X_{opt} 4,6 cm EPS yalıtımlı yıllık yakıt maliyeti Çizelge 4.2' de görüldüğü gibi $3,28 \text{ TL/m}^2$ dir. Yıllık yakıt tasarrufu B , (23) nolu eşitlik ile hesaplanır.

$$B = (C_{A,H} + C_{A,C})_{x=0} - (C_{A,H} + C_{A,C})_{x=X_{opt}} \quad (23)$$

$B = \text{Yıllık yakıt tasarrufu} = (\text{Yalıtımsız yıllık yakıt maliyeti} - \text{Yalıtımlı yıllık yakıt maliyeti}) = (10,23 - 3,28) = 6,95 \text{ TL/m}^2$ bulunur.

$C = \text{Yalıtım masrafı (maliyeti)} = 37,08 \text{ TL/m}^2$ dir. Buna göre, 4,6cm optimum yalıtım kalınlığı için tam geri ödeme süresi $TG\ddot{O}S = C / B = C_{t,ins} / B = 37,08 / 6,95 = 5,34$ yıl olarak, (22) nolu eşitlik kullanılarak bulunur. 4,6 cm EPS yalıtım kalınlığı için $TG\ddot{O}S$ 5,34 yıl (5 yıl, 4 ay, 1 gün)' dir. Şekil 4.2' de kalınlıklara göre $TG\ddot{O}S$ verilmiştir.



Şekil 4.2. Kalınlıklara göre bulunan TGÖS

Tam geri ödeme süresinin en kısa olduğu 4,95 yıl (4yıl, 11ay, 12gün), 3 cm yalıtım kalınlığı içindir. Ancak, 4,6 cm' deki yıllık yakıt tasarrufu, 3 cm' ye göre daha fazla olduğu için, *TGÖS* 5,34 yıl (5yıl, 4ay, 1gün) olsa da X_{opt} olarak 4,6 cm tercih edilir (bkz. Çizelge 4.2).

4.2. Reel Faizin % 5 Olması Durumu

4.2.1. Toplam maliyetin hesaplanması

Toplam maliyetin hesaplanmasında bölüm 3.3' de verilen (11) , (12) ve (15) eşitlikleri kullanılacaktır. Birim dış duvar yüzey alanı için ısıtmanın ve soğutmanın yıllık enerji maliyeti sırasıyla $C_{A,H}$ (TL/m²) ve $C_{A,C}$ (TL/m²) olup (11) ve (12) eşitlikleri ile hesaplanır.

$$C_{A,H} = \frac{86\,400 \cdot IDG \cdot Cf}{(R_{t,w} + x/k) \cdot Hu \cdot \eta} = (E_{A,H} / Hu) \cdot Cf \quad (11)$$

$$C_{A,C} = \frac{86\,400 \cdot SDG \cdot C_E}{(R_{t,w} + x/k) \cdot STK} = (E_{A,C} \cdot C_E) / 3\,600\,000 \quad (12)$$

Ömür süresi (*LT*) ve belirli bir süre sonundaki bugünkü değerlerin toplamının (*PWF*) birlikte değerlendirilmesi durumuna göre toplam ısıtma maliyeti hesaplanır. *PWF* değeri, gerçek faiz oranına (*r*) ve zamana bağlıdır.

Gerçek (reel) faiz oranı, *r* (%) olup, (13) eşitliği ile hesaplanır.

$$r = (i - g) / (1 + g) \quad (13)$$

Burada *g* enflasyon oranı ve *i* faiz oranı olup, $i > g$ ' dir. Bu çalışmada alınan enflasyon ve faiz oranları (13) nolu eşitlikte yerlerine yazıldığında, $r = (0,13-0,08)/(1+0,08)$ ' den $r = 0,046 = \% 4,6$ hesaplanır, $r = \% 5$ olarak kabul edilir.

Bu durumda PWF , (14) nolu eşitlik ile hesaplanır.

$$PWF = \frac{(1+r)^{LT} - 1}{r \cdot (1+r)^{LT}} \quad (14)$$

Bugünkü değer yöntemi, mühendislik proje ve yatırımlarının ekonomik değerlendirilmesinde sıkça kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde referans tarih olarak bugünkü tarih seçilir. Bu nedenle bu tarihten sonra yapılan tüm nakit akışlarının bugünkü ekonomik eşdeğeri belirlenerek hesaplamalar yapılır. Böylece Erdem'in de belirttiği gibi proje ya da yatırımın ekonomik ömrü içerisinde yapılan tüm masrafların ya da net karların bugünkü değerleri bulunur (<http://www.docplayer.biz.tr/10214783-Muhendislik-ekonomisi.html>, 2017).

Çizelge 4.3. Reel faizin % 5 olması durumunda yıllara göre PWF

PWF																
r (%)	Yıl															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	60	70
5	0,952	1,859	2,723	3,546	4,329	5,076	5,786	6,463	7,108	7,722	12,46	15,37	17,16	18,26	18,93	19,34

Yalıtımın toplam maliyeti ($C_{t,ins}$), $C_{t,ins} = C_{ins} \cdot x + C_{uyg}$ eşitliği ile bulunurken, $PWF \cdot (C_{A,H} + C_{A,C})$ eşitliği ile hesaplanan yalıtım hariç maliyeti bulabilmek için ısıtma ve soğutmanın yıllık enerji maliyetleri toplamı PWF ile çarpılır (Özel 2008). Toplam maliyet ise yalıtım dahil maliyet olacağı için, aşağıdaki (16) ya da (17) eşitliği ile hesaplanır.

$$C_t = PWF \cdot (C_{A,H} + C_{A,C}) + C_{t,ins} \quad (16)$$

$$C_t = \left(\frac{86\,400 \cdot PWF}{R_{t,w} + x/k} \right) \cdot \left(\frac{C_f \cdot IDG}{Hu \cdot \eta} + \frac{C_E \cdot SDG}{STK} \right) + (C_{ins} \cdot X + C_{uyg.}) \quad (17)$$

Ekonomik değerler dikkate alınarak toplam maliyet, (17) nolu eşitlik ile hesaplanıp, reel faiz % 5 iken, 10 yıllık bir ömür süresi öngörüldüğünde, bulunan değerler Çizelge 4.4’ de verilmiştir. Bu hesaplamada (14) nolu eşitlik ile hesaplanıp yıllara göre oluşturulan *PWF* değerlerinin belirtildiği Çizelge 4.3’ den 10 yıl için olan *PWF* değeri alınmıştır.

Çizelge 4.4. *PWF* ve *LT* ile birlikte hesaplanan maliyetler ve GÖS

Yalıtım Kalınlığı <i>X</i> (m)	Yalıtım Maliyeti $C_{t,ins}$ (TL/m ²)	Yakıt Maliyeti ($C_{A,Toplam}$) (TL/m ²) 1 yıllık	Yakıt Maliyeti <i>PWF</i> .($C_{A,Toplam}$) (TL/m ²)10 yıllık	Toplam Maliyet (TL/m ²) 10 yıllık	Kredisiz GÖS (yıl)
0	0	10,23	0	0	0
0,01	19,8	6,99	54,05	73,85	8
0,02	24,6	5,32	41,08	65,68	6
0,03	29,4	4,29	33,13	62,53	6
0,038	33,24	3,72	28,69	61,93	7
0,04	34,20	3,59	27,76	61,96	7
0,05	39	3,09	23,89	62,89	7
0,06	43,8	2,71	20,96	64,76	8
0,07	48,6	2,42	18,68	67,28	8

4.2.2. *X_{opt.}* yalıtım kalınlığının hesaplanması

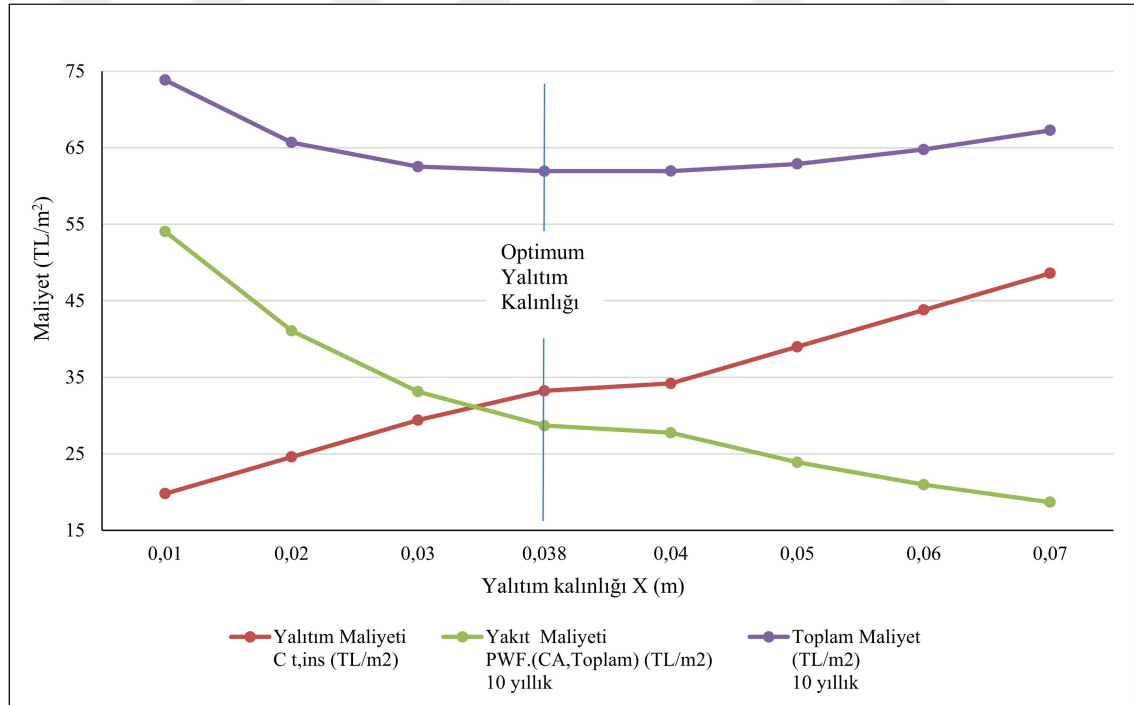
Reel faizin % 5 olması durumunda, *X_{opt.}* yalıtım kalınlığını bulabilmek için, *PWF*, ömür süresine bağlı olarak değiştiğinden dolayı, (18) nolu *X_{opt.}* yalıtım kalınlığını veren eşitlik kullanılır.

$$X_{opt.} = 293,94 \cdot \sqrt{\frac{PWF \cdot k}{C_{ins.}} \left(\frac{C_f \cdot IDG}{Hu \cdot \eta} + \frac{C_E \cdot SDG}{3,6 \times 10^6 \cdot STK} \right) - k \cdot R_{t,w}} \quad (18)$$

Yukarıdaki (18) nolu eşitlikte Çizelge 4.5’deki değerler yerlerine yazıldığında, optimum yalıtım kalınlığı 3,8 cm olarak bulunur.

Çizelge 4.5. PWF li X_{opt} yalıtım kalınlığını veren (18) nolu eşitlikte kullanılan veriler

Parametre	Değer	
Bugünkü Değer Faktörü (PWF)		
LT=10yıl	7,722	
Isıtma Derece Gün (IDG)	1 676,33	
Doğal gaz fiyat (C_f)	1,129	TL/m ³
EPS Isı iletim katsayısı (k)	0,035	W/mK
Doğal gaz alt ısııl değer (H_u)	34 526 000	J/m ³
Yalıtım fiyat (C_{ins})	480	TL/m ³
Isıtma sisteminin verimi (η)	0,93	
1 kWh	3 600 000	J
Elektrik fiyat (C_E)	0,423	TL/kWh
Soğutma Derece Gün (SDG)	306	
Soğutma Tesir Katsayısı (STK)	2,5	
Yalıtımsız Duvar Direnci ($R_{t,w}$)	0,6239	m ² K/W
$k * R_{t,w}$	0,021837	m
X_{opt}	0,03789	m
X_{opt}	3,789	cm



Şekil 4.3. PWF li toplam maliyetin minimum olduğu noktadaki optimum yalıtım kalınlığı

4.2.3. Geri ödeme süresinin hesaplanması

Eğer zaman içerisinde elde edilen gelirler; zamana, enflasyona ve faize bağlı olarak değişiyor ise (21) nolu eşitlik kullanılır.

$$\sum_{t=0}^n (B_{(t)} - C_{(t)}) = 0 \quad (21)$$

Geri ödeme süresi, elde edilen gelirler (B) ile yapılan masrafların (C) eşit olduğu süreyi gösterir. Kar değeri yıllara göre farklılık gösteriyor ise, zaman içindeki karlar toplanarak masraflar ile arasındaki fark kontrol edilerek PWF li geri ödeme süresi bulunur (<http://www.docplayer.biz.tr/10214783-Mühendislik-ekonomisi.html>, 2017). Yıllık tasarrufların yani karların toplamının, masrafı geçtiği süre, PWF li $GÖS$ ' dir.

Bu çalışmada, C yalıtım masrafı, B ise yıllık yakıt tasarrufudur. Yıllık yakıt tasarrufu, yalıtımsız yıllık yakıt maliyeti ile yalıtımlı yıllık yakıt maliyeti arasındaki farktır. Yalıtımsız yıllık yakıt maliyeti 10,23 TL/m² olup, PWF li durumda hesaplanan X_{opt} 3,8 cm EPS yalıtımlı yıllık yakıt maliyeti 3,72 TL/m²' dir (bkz. Çizelge 4.4). Yıllık yakıt tasarrufu B , ekonomik parametrelere bağlı olarak değişeceğinden dolayı yalıtımsız yakıt maliyeti ve yalıtımlı yakıt maliyeti ayrı ayrı bugünkü değer BGD çarpanı ile çarpılır ve çarpım sonuçlarının arasındaki fark alınarak yıllık yakıt tasarrufu hesaplanır. BGD ; belirli bir zamandaki bugünkü değerdir. BGD , (24) nolu eşitlik ile hesaplanır.

$$BGD = \frac{1}{(1+r)^t} \quad (24)$$

Çubuk, Yıldız Teknik Üniversitesi'ndeki ders sunumundaki notlarından Ekonomik Analiz, Bugünkü Değer Tabloları 1 kısmında, reel faiz ve yıllara göre BGD faktörünün alacağı değerleri tabloda belirtmiştir (<http://www.yildiz.edu.tr/~hcubuk/BDF-1.pdf>, 2017). Çizelge 4.6, buna göre hazırlanmıştır.

Çizelge 4.6. Reel faizin % 5 olması durumunda yıllara göre BGD

BGD																
r (%)	Yıl															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	60	70
5	0,952	0,907	0,864	0,823	0,784	0,746	0,711	0,677	0,645	0,614	0,377	0,231	0,142	0,087	0,053	0,033

PWF ise; belirli bir süre sonundaki BGD ' lerin toplamıdır. Başka bir ifadeyle de t dönem boyunca her yılki 1 TL'nin bugünkü değerlerinin toplamıdır. PWF , (25) nolu eşitlik ile bulunabileceği gibi, (14) nolu eşitlik ile de bulunabilir.

Örneğin; $BGD_{(1)} = 0,952$ $BGD_{(2)} = 0,907$
 $PWF_{(1)} = 0,952$ $PWF_{(2)} = (BGD_{(1)} + BGD_{(2)}) = 0,952 + 0,907 = 1,859$

$$PWF_{(t)} = \sum_{t=0}^n BGD_{(t)} = \sum_{t=0}^n (1+r)^{-t} \quad (25)$$

Çubuk, Yıldız Teknik Üniversitesi'ndeki ders sunumundaki notlarından Ekonomik Analiz, Bugünkü Değer Tabloları 2 kısmında, reel faiz ve yıllara göre PWF faktörünün alacağı değerleri tabloda (bkz. Çizelge 4.3) belirtmiştir (<http://www.yildiz.edu.tr/~hcubuk/BDF-2.pdf>, 2017).

$B =$ Elde edilen gelir = Yıllık yakıt tasarrufu olduğuna göre, $B = (Yalıtımsız yıllık yakıt maliyeti * BGD) - (Yalıtımlı yıllık yakıt maliyeti * BGD)$ ' dir. Geri ödeme süresinin bulunabilmesi için, (26) ve (27) nolu eşitlikler ile hesaplanan yakıt tasarrufu toplamının hangi yıl, yatırım masrafını geçtiğine bakılır. $\sum B_{(t)} > C$ olacağı süre $GÖS$ ' dir.

$$B_{(t)} = (C_{A,H} + C_{A,C})_{x=0} * BGD_{(t)} - (C_{A,H} + C_{A,C})_{X=X_{opt}} * BGD_{(t)} \quad (26)$$

$$\sum B_{(t)} = (C_{A,H} + C_{A,C})_{x=0} * PWF_{(t)} - (C_{A,H} + C_{A,C})_{X=X_{opt}} * PWF_{(t)} \quad (27)$$

$$\sum B_{(7,yıl)} = (10,23 \text{ TL/m}^2 * 5,786) - (3,72 \text{ TL/m}^2 * 5,786) = 59,18 - 21,49 = 37,69 \text{ TL/m}^2$$

$\Sigma B_{(7,yıl)} = 37,69 \text{ TL/m}^2$ ve $C = C_{t,ins} = 33,24 \text{ TL/m}^2$ iken, toplam yakıt tasarrufunun, 7 inci yılda yalıtım masrafını geçtiği görülür ($\Sigma B_{(7,yıl)} > C$). Bu nedenle 3,8 cm optimum yalıtım kalınlığı için *GÖS*, 7 yıl olarak bulunur.

Çizelge 4.7' de kredisiz (peşin) geri ödeme süresinin hesaplanmasında kullanılan *BGD* çarpanları ve maliyetlerin bugünkü değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.7. 3,8 cm EPS yalıtımlı duvar için bugünkü değer analizi ve peşin geri ödeme

3,8 cm EPS yalıtımlı duvar için Bugünkü Değer Analizi - Peşin Geri Ödeme										
Yıl	BGD Çarpanı	Yalıtımsız Yakıt Gideri	Yalıtımsız Yakıt Gideri BGD	Yalıtım Peşin Gideri	Yalıtımlı Yakıt Gideri	Yalıtımlı Yakıt Gideri BGD	Yakıt Tasarrufu BGD	Birikimli Yakıt Tasarrufu BGD	PWF'li GÖS	
0	1,00			33,24		33,24				
1	0,95	10,23	9,74		3,72	3,54	6,20	6,20	Gelirin giderden büyük olduğu süre 7 yıl	
2	0,91	10,23	9,28		3,72	3,37	5,91	12,11		
3	0,86	10,23	8,84		3,72	3,21	5,63	17,74		
4	0,82	10,23	8,42		3,72	3,06	5,36	23,10		
5	0,78	10,23	8,01		3,72	2,91	5,10	28,20		
6	0,75	10,23	7,63		3,72	2,77	4,86	33,06		
7	0,71	10,23	7,27		3,72	2,64	4,63	37,69		
8	0,68	10,23	6,92		3,72	2,51		Gelir	> Gider	
9	0,64	10,23	6,59		3,72	2,40		7 yıllık birikimli	> Yalıtım Gideri	
10	0,61	10,23	6,28		3,72	2,28			Peşin	
Toplam Yalıtımsız Yakıt BGD			78,98	Toplam Yalıtımlı Yakıt BGD			61,93		37,69	> 33,24
YTO Yakıt Tasarrufu Oranı : 0,2159										
KMO Kar/Maliyet Oranı: 0,2754										

Ekonomik değerlendirme yöntemlerinden biri olan ve hem gelirler hem de masraflar olduğu nakit akışında, karar almada gelirler ile giderlerin farkı olan net kar kullanılır. Kar/maliyet oranı, Erdem'in Mühendislik ekonomisi notlarında belirttiği gibi yatırımın ömrü boyunca yapılan kar'ların ya da gelirlerin bugünkü değerinin, yapılan tüm masrafların bugünkü değerine oranıdır (<http://www.docplayer.biz.tr/10214783-Mühendislik-ekonomisi.html>, 2017). Bunun için (28) nolu eşitlik kullanılır ve bu eşitlik 0 (sıfır)'dan büyük olmalıdır.

$$KMO = (B-C)/C \quad (28)$$

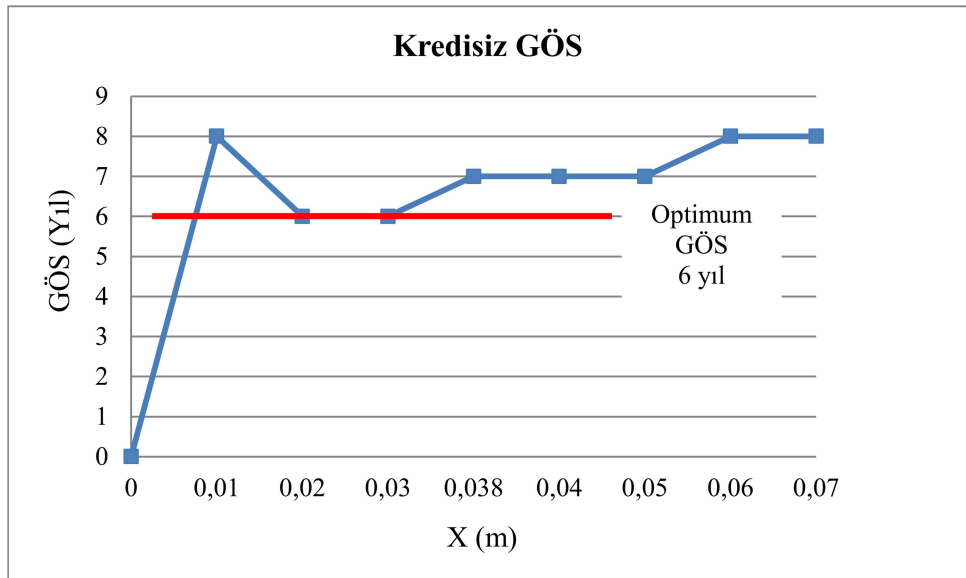
Bir yatırımın yapılıp yapılamayacağına karar verilmesinde, farklı yalıtım kalınlıkları için kar/maliyet oranları karşılaştırılıp, aralarında *KMO* değeri en büyük olan seçilir. Bu yöntem, özellikle kamu yatırım ve projelerinin ekonomik değerlendirilmesinde ve karşılaştırılmalarında kullanılan bir yöntemdir.

$KMO = (B-C)/C = (\text{Gelir } BGD - \text{Gider } BGD) / \text{Gider } BGD$ eşitliğinde, *B* elde edilen gelir olup, yakıt tasarrufunun bugünkü değerlerinin toplamıdır. *C* ise toplam gider olup, yalıtımlı yıllık yakıt maliyetlerinin toplam bugünkü değerleri ile yalıtım maliyetinin değerinin toplamıdır.

X_{opt} . 3,8 cm EPS için, 10. yıl sonundaki $KMO = (78,98 - 61,93) / 61,93 = 0,2754 > 0$ ' dır (bkz. Çizelge 4.7). Yakıt Tasarruf Oranı (*YTO*) ise; (29) nolu eşitlik ile bulunur.

$$YTO = (B-C)/B \quad (29)$$

$YTO = (B-C)/B = (\text{Gelir } BGD - \text{Gider } BGD) / \text{Gelir } BGD$ eşitliğinde *B* ve *C* değerleri yerlerine yazıldığında, 10. yıl sonundaki $YTO = (78,98-61,93) / 78,98 = 0,2159$ olarak bulunur. Bu oran X_{opt} . 3,8 cm EPS içindir (bkz. Çizelge 4.7).



Şekil 4.4. Farklı kalınlıklarda uygulanan yalıtımda kredisiz GÖS

4.3. Farklı Yalıtım Kalınlıkları için Peşin Ödeme, Kredili Ödeme ve Kar Maliyet Oranının Karşılaştırılması

4.3.1. Yalıtım maliyetinin peşin ödenmesi durumu

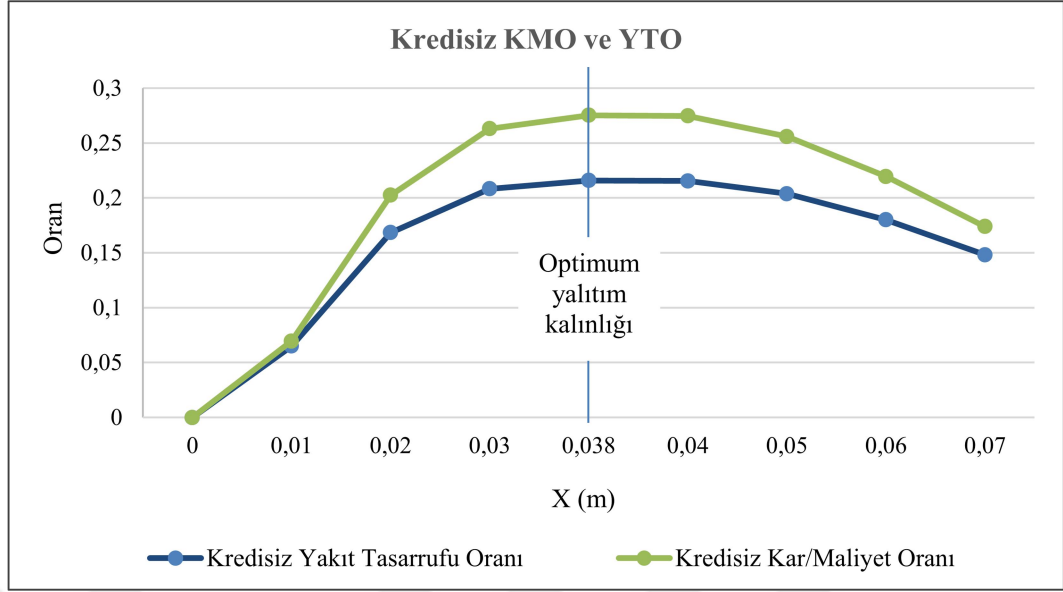
Farklı kalınlıklardaki EPS için, toplam maliyetler ve kredisiz geri ödeme süreleri Çizelge 4.4’ de verilmişti. Yalıtım maliyetinin peşin (kredisiz) ödenmesi durumunda, Çizelge 4.7’ deki gibi hesaplamalar yapıldığında, geri ödeme süreleri (*GÖS*), yakıt tasarruf oranları (*YTO*) ve kar maliyet oranları (*KMO*) Çizelge 4.8 ve Şekil 4.5’ deki gibidir.

Çizelge 4.8. Kredisiz kar maliyet oranı ve kredisiz yakıt tasarrufu oranı

Reel faiz r %	Ömür LT (yıl)	Yalıtım Kalınlığı X (metre)	Kredisiz YTO	Kredisiz KMO	Toplam Maliyet C t (TL/m ²)	Kredisiz GÖS (yıl)
5	10	0,01	0,0650	0,0695	73,85	8
		0,02	0,1684	0,2025	65,68	6
		0,03	0,2083	0,2631	62,53	6
		0,038	0,2159	0,2754	61,93	7
		0,04	0,2155	0,2748	61,96	7
		0,05	0,2038	0,2560	62,89	7
		0,06	0,1801	0,2196	64,76	8
		0,07	0,1482	0,1740	67,28	8

GÖS’ nin en kısa olduğu 6 yıl, 2 cm ve 3 cm yalıtım kalınlıkları içindir. Ancak, 3,8 cm’ deki *YTO* ve *KMO*, 2 cm ve 3 cm’ ye göre daha fazla olduğu için, *GÖS* 7 yıl olsa da X_{opt} olarak 3,8 cm tercih edilir.

Burada anlatılanlara göre, kar maliyet ve yakıt tasarruf oranının en yüksek olduğu yalıtım kalınlığındaki geri ödeme süresinin optimum olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.5. Kredisiz KMO ve kredisiz YTO

4.3.2. Yalıtım maliyetinin kredili ödenmesi durumu

Enerji tasarrufuna yönelik her türlü yatırım için Şekerbank' tan uygun faiz oranı ve vade seçenekleriyle Ekokredi ürünlerinden biri olan yalıtım kredisi alınabilir (<http://www.sekerbank.com.tr/bireysel/bireysel-krediler/eko-kredi>, 2017).

Öncelikle, bugünkü değer analizine göre, toplam maliyet, geri ödeme süresi, yakıt tasarruf oranı ve kar maliyet oranı hesaplanır. Zaman içerisinde elde edilen gelirler; zamana, enflasyona ve faize bağlı olarak değiştiği için, kredili geri ödeme süresinin hesaplanmasında, peşin ödemede kullanılan eşitlik (21) kullanılır.

$$\sum_{t=0}^n (B_{(t)} - C_{(t)}) = 0 \quad (21)$$

Geri ödeme süresi, elde edilen gelirler (B) ile yapılan masrafların (C) eşit olduğu süreyi gösterir. Kar değeri yıllara göre farklılık gösteriyor ise, zaman içindeki karlar toplanarak masraflar ile arasındaki fark kontrol edilerek PWF li geri ödeme süresi bulunur.

Yıllık tasarrufların yani karların toplamının, masrafı geçtiği süre, PWF li $GÖS$ ' dir.

Yıllık yakıt tasarrufu B , ekonomik parametrelere bağlı olarak değişeceğinden dolayı yalıtımsız yakıt maliyeti ve yalıtımlı yakıt maliyeti ayrı ayrı bugünkü değer BGD çarpanı ile çarpılır ve çarpım sonuçlarının arasındaki fark alınarak yıllık yakıt tasarrufu hesaplanır.

Peşin ödemeden farklı olarak, kredili ödeme durumunda yalıtımlı yakıt maliyetinin bugünkü değeri (C), kredi süresi boyunca oluşacak kredili yalıtım maliyetlerinin bugünkü değerlerinin ilave edilmesi ile bulunur. Elde edilen gelir (B) ise, yıllık yakıt tasarrufu olduğuna göre, $B = (\text{Yalıtımsız yıllık yakıt maliyeti} * BGD) - ((\text{Yalıtımlı yıllık yakıt maliyeti} * BGD) + (\text{Kredili yıllık yalıtım maliyeti} * BGD))$ şeklinde (30) ve (31) nolu eşitlikler ile hesaplanır.

$$B_{(t)} = (C_{A,Toplam})_{x=0} * BGD_{(t)} - ((C_{A,Toplam})_{X=Xopt} * BGD_{(t)}) + (C_{t,ins Kredili Yıllık}) * BGD_{(t)} \quad (30)$$

$$\Sigma B_{(t)} = (C_{A,Toplam})_{x=0} * PWF_{(t)} - ((C_{A,Toplam})_{X=Xopt} * PWF_{(t)}) + (C_{t,ins Kredili Yıllık}) * PWF_{(t)} \quad (31)$$

3,8 cm EPS yalıtımlı duvar için, yalıtım maliyetinin 36 ay (3 yıl) kredili olarak geri ödeme süresi yukarıdaki eşitlikler (30 ve 31) ile aşağıdaki gibi hesaplandığında,

$$\Sigma B_{(8,yıl)} = (10,23 \text{ TL/m}^2 * PWF_{(8,yıl)}) - ((3,72 \text{ TL/m}^2 * PWF_{(8,yıl)}) + (14,28 \text{ TL/m}^2 * PWF_{(3,yıl)}))$$

$$\Sigma B_{(8,yıl)} = (10,23 \text{ TL/m}^2 * 6,463) - ((3,72 \text{ TL/m}^2 * 6,463) + (14,28 \text{ TL/m}^2 * 2,723)) =$$

$$\Sigma B_{(8,yıl)} = 66,11 - ((24,01 + 38,88)) = 3,22 \text{ TL/m}^2 \text{ yakıt tasarrufunun bugünkü değeridir.}$$

$\Sigma B_{(t)} > C$ olacağı süre geri ödeme süresidir.

Burada yalıtım maliyeti ($C_{t,ins}$) 36 ay kredili olduğu için, yalıtım maliyeti peşin ödenmeyeceğinden, en başında yapılan masraf $C = C_{t,ins \text{ Peşin}} = 0 \text{ TL/m}^2$ olduğuna göre, toplam yakıt tasarrufunun, 8 inci yılda 0 (sıfır) değerini geçtiği görülür ($\Sigma B_{(8,yıl)} > C$) = (3,22 TL/m² > 0 TL/m²). Bu nedenle 3,8 cm EPS yalıtımlı duvar için kredili GÖS = 8 yıl olarak bulunur.

Çizelge 4.9' da, 3,8 cm EPS yalıtımlı duvar için, 36 ay kredili geri ödeme süresinin hesaplanmasında kullanılan BGD çarpanları ve maliyetlerin bugünkü değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.9. 3,8 cm EPS yalıtımlı duvar için bugünkü değer analizi ve kredili geri ödeme

3,8 cm EPS yalıtımlı duvar için Bugünkü Değer Analizi - 36 ay Kredili Geri Ödeme									
Yıl	BGD Çarpanı	Yalıtımsız Yakıt Gideri	Yalıtımsız Yakıt Gideri BGD	Yalıtım Gideri Kredili	Yalıtımlı Yakıt Gideri	Yalıtımlı Yakıt Gideri BGD	Yakıt Tasarrufu BGD	Birikimli Yakıt Tasarrufu BGD	PWF'li GÖS
0	1,00					0,00			
1	0,95	10,23	9,74	14,28	3,72	17,14	-7,39	-7,39	Gelirin giderden büyük olduğu süre 8 yıl
2	0,91	10,23	9,28	14,28	3,72	16,32	-7,04	-14,44	
3	0,86	10,23	8,84	14,28	3,72	15,54	-6,71	-21,14	
4	0,82	10,23	8,42		3,72	3,06	5,36	-15,78	
5	0,78	10,23	8,01		3,72	2,91	5,10	-10,68	
6	0,75	10,23	7,63		3,72	2,77	4,86	-5,82	
7	0,71	10,23	7,27		3,72	2,64	4,63	-1,19	
8	0,68	10,23	6,92		3,72	2,51	4,41	3,22	
9	0,64	10,23	6,59		3,72	2,40		Gelir	> Gider
10	0,61	10,23	6,28		3,72	2,28		8 yıllık	peşin yatırım
Toplam Yalıtımsız Yakıt BGD			78,98	Toplam Yalıtımlı Yakıt BGD		67,57		3,22	> 0
YTO Yakıt Tasarrufu Oranı :						0,1445			
KMO Kar Maliyet Oranı :						0,1689			

Çizelge 4.9' da belirtilen kar maliyet oranı, peşin ödemedeki (28) nolu eşitlik kullanılarak bulunur. $KMO = (B-C)/C = (\text{Gelir BGD} - \text{Gider BGD}) / \text{Gider BGD}$

Çizelge 4.9' daki değerler ile 3,8 cm kalınlığındaki EPS yalıtım maliyetinin kredili olarak ödenmesi durumunda, $KMO = (78,98 - 67,57) / 67,57 = 0,1689$ bulunur.

Yakıt Tasarruf Oranı (YTO) ise; peşin ödemedeki (29) nolu eşitlik kullanılarak bulunur. $YTO = (B-C)/B = (\text{Gelir BGD} - \text{Gider BGD}) / \text{Gelir BGD} = (78,98 - 67,57) / 78,98 = 0,1445$ bulunur.

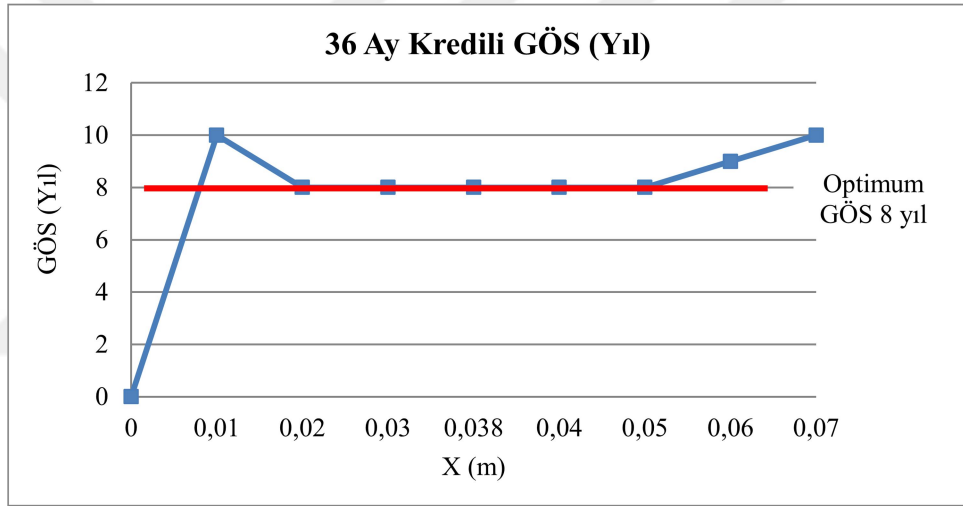
Çizelge 4.9' da belirtilen kredili yıllık yalıtım gideri, Şekerbank' ın verdiği Ekokredi yalıtım kredisinin ödeme şartları ve faiz oranları dikkate alınarak belirlenmiştir.

(<http://www.sekerbank.com.tr/bireysel/bireysel-krediler/eko-kredi>, 2017).

Çizelge 4.10' da belirtildiği gibi 36 aylık kredili ödemede, yalıtım gideri 3 yıl boyunca yıllık 14,28 TL geri ödenecektir.

Çizelge 4.10. 3,8 cm EPS yalıtımı için 36 ay vadeli yalıtım kredisi ödeme durumu

İstenilen Kredi Türü : Eko Kredi Yalıtım (Şekerbank)
Faiz Oranları : 3 - 18 ay için %0,00 19 - 24 ay için %1,12 25 - 36 ay için %1,20 37 - 48 ay için %1,23 49 - 60 ay için %1,26
İstenilen Tutar (TL) : 33,24 Vade Süresi (ay) : 36 Ödenecek Aylık Taksit Tutarı (TL) : 1,18973 Geri Ödenecek Yıllık Tutar (TL) : 14,28 Geri Ödenecek Toplam Tutar (TL) : 42,83



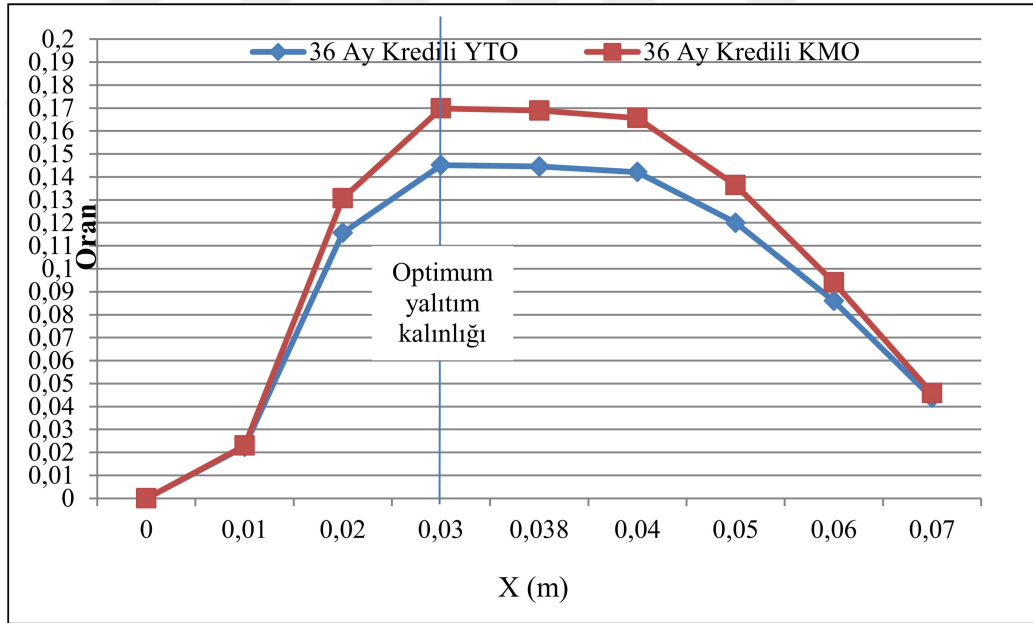
Şekil 4.6. Farklı kalınlıklarda uygulanan yalıtımda 36 ay kredili GÖS

Farklı kalınlıklardaki EPS için, Çizelge 4.9' daki gibi hesaplamalar yapıldığında, yalıtım maliyetinin 36 ay kredili ödenmesi durumunda geri ödeme süreleri (*GÖS*), kar maliyet oranları (*KMO*) ve yakıt tasarruf oranları (*YTO*) Çizelge 4.11 ve Şekil 4.7'deki gibidir.

Çizelge 4.11. 36 ay kredili KMO ve YTO

Yalıtım Kalınlığı X (m)	36 Ay Kredili YTO	36 Ay Kredili KMO	36 Ay Kredili GÖS (Yıl)
0,01	0,0225	0,0230	10
0,02	0,1156	0,1307	8
0,03	0,1452	0,1698	8
0,038	0,1445	0,1689	8
0,04	0,1421	0,1656	8
0,05	0,1200	0,1364	8
0,06	0,0860	0,0941	9
0,07	0,0438	0,0459	10

36 ay kredili geri ödeme süresinin en kısa olduğu 8 yıl, 2 cm'den 5 cm'ye kadar olan yalıtım kalınlıkları içindir. Ancak 3 cm' deki *KMO* ve *YTO*, diğer kalınlıklara göre daha fazladır.



Şekil 4.7. Farklı kalınlıklardaki yalıtım maliyetinin 36 ay kredili ödenmesinde KMO ve YTO

4.3.2.1. Yalıtım maliyetinin çeşitli vadede kredili ödenmesi

Şekerbank' ın Ekokredi yalıtım kredisinin ödeme şartları ve faiz oranları farklı vadeler için Çizelge 4.12' de belirtilmiştir (<http://www.sekerbank.com.tr/bireysel/bireysel-krediler/eko-kredi>, 2017).

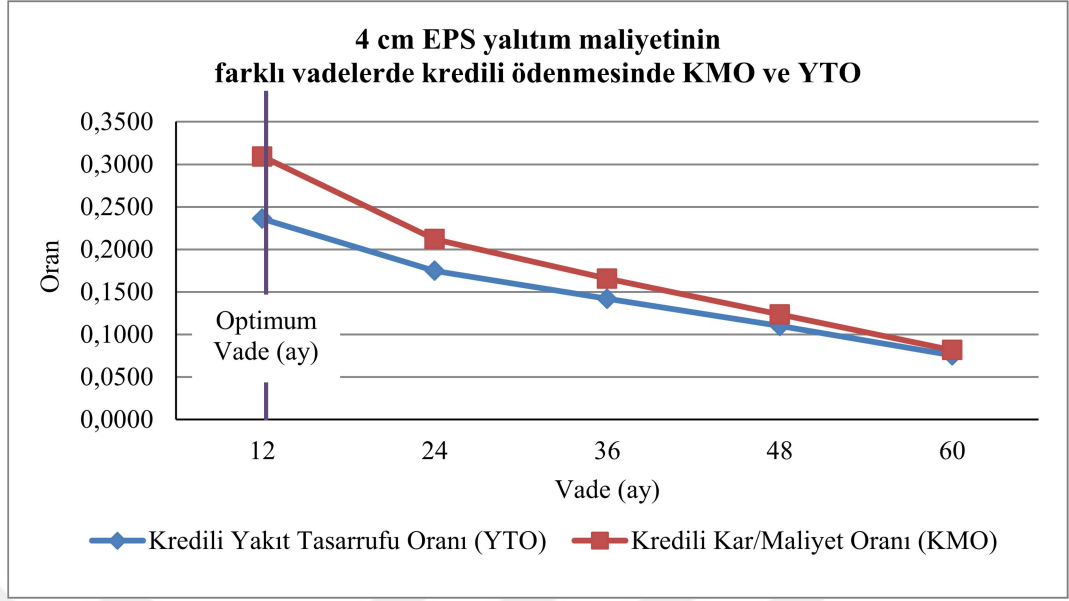
Çizelge 4.12. 4 cm EPS yalıtımı için gerekli yalıtım maliyetinin farklı vadelerde kredi ile ödenmesi

Kredi Türü :	Eko Kredi Yalıtım (Şekerbank)				
Vade Süresi (ay) :	12	24	36	48	60
Faiz Oranı (%) :	0,00	1,12	1,20	1,23	1,26
İstenilen Tutar (TL) :	34,20	34,20	34,20	34,20	34,20
Ödenecek Aylık Taksit Tutarı (TL) :	2,85	1,67663	1,22409	0,99949	0,87114
Geri Ödenecek Yıllık Tutar (TL) :	34,20	20,12	14,69	11,99	10,45
Geri Ödenecek Toplam Tutar (TL) :	34,20	40,24	44,07	47,98	52,27

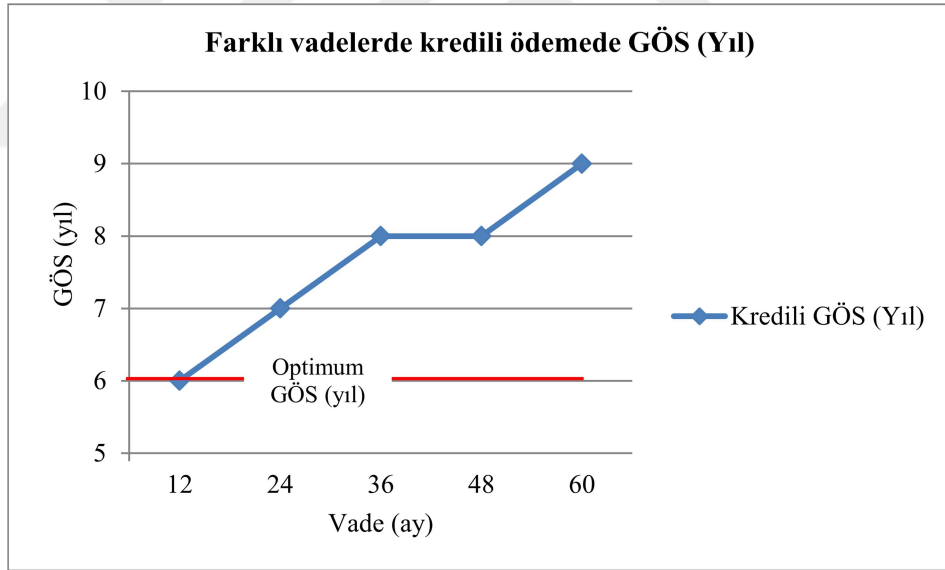
Çizelge 4.13. 4 cm EPS yalıtımı maliyetinin farklı vadeli ödemedeki YTO, KMO ve GÖS

Xopt. 4 cm EPS yalıtımı için			
Vade (Ay)	Kredili Yakıt Tasarrufu Oranı (YTO)	Kredili Kar/Maliyet Oranı (KMO)	Kredili GÖS (Yıl)
12	0,2362	0,3092	6
24	0,1749	0,2120	7
36	0,1421	0,1656	8
48	0,1100	0,1236	8
60	0,0755	0,0817	9

Banka kredisi çekilirken 12 ay için olan kredi faizsiz verildiğinden dolayı optimum vade 12 ay içindir.



Şekil 4.8. 4 cm EPS yalıtım maliyetinin farklı vadelerde kredili ödenmesinde KMO ve YTO



Şekil 4.9. 4 cm EPS yalıtım maliyetinin farklı vadelerde kredili ödenmesinde optimum GÖS

4.4. Yalıtıma Ayrılan Paranın Bankaya Yatırılması

Yalıtım yapılmayıp, yalıtım için ayrılan maliyetin bankaya yatırılması durumunun, yalıtım yapılmasına göre ne kadar süre karlı görüneceği Çizelge 4.14’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.14. Yalıtımlı ve yalıtımsız durumdaki kar zarar durumu

Faiz $i = \%13$, Enflasyon $g = \%8$, Reel faiz $r = \%5$ ve $X_{opt.} = 4$ cm iken;								
		Yalıtımsız Yakıt Maliyeti		10,229	Yalıtım Maliyeti		34,2	
		Yalıtımlı Yakıt Maliyeti		3,595				
Opt. Yalıtım kalınlığı 4 cm		Yıllık Yakıt Tasarrufu		6,634				
Yalıtımsız durumda;				Yalıtımlı durumda;			Yalıtımlı Durumun Yalıtımsız Duruma Göre Karı	
Yıl	Bankaya yatırılan Yalıtım Maliyeti $C_{t,ins}$ (TL/m ²)	Yalıtımsız ($x = 0$) Yakıt Maliyeti $C_{A,Toplam}$ (TL/m ²)	Bankada kalan para (TL/m ²)	Yıl	Yalıtım için harcanan Yalıtım Maliyeti $C_{t,ins}$ (TL/m ²)	Yalıtımlı ($x = x_{opt}$) Yakıt Maliyeti $C_{A,Toplam}$ (TL/m ²)		Harcanan para (TL/m ²)
	34,2				34,2			
1	38,646	10,229	28,417	1	3,595	3,595	-32,012	Zarar
2	32,111	11,047	21,064	2	3,883	7,478	-28,542	
3	23,803	11,931	11,872	3	4,193	11,671	-23,543	
4	13,415	12,885	0,530	4	4,529	16,199	-16,729	
5	0,599	13,916	-13,317	5	4,891	21,090	-7,773	
6	-15,048	15,029	-30,078	6	5,282	26,372	3,705	Kar
7	-33,988	16,232	-50,220	7	5,705	32,077	18,143	
8	-56,748	17,530	-74,279	8	6,161	38,238	36,040	
9	-83,935	18,933	-102,868	9	6,654	44,892	57,975	
10	-116,240	20,447	-136,688	10	7,186	52,079	84,609	

Çizelge 4.14’de belirtildiği gibi, yalıtımsız durumda, her yıl sonunda bankaya yatırılan yalıtım maliyeti %13 lük faiz kadar artarken, yalıtımsız yakıt maliyeti ise, %8 lik enflasyon kadar artacaktır. Her bir yıl sonunda bankada kalan para yalıtım maliyeti ile yalıtımsız yakıt maliyeti farkı kadar olacaktır.

Yalıtımsız durumda 1. yıl sonunda;

$$C_{t,ins(1)} = C_{t,ins} \times 1,13 = 34,2 \times 1,13 = 38,646 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{A,Toplam(1)} = C_{A,Toplam(x=0)} = 10,229 \text{ TL/m}^2$$

$$\text{Bankada kalan para} = C_{t,ins(1)} - C_{A,Toplam(1)} = 38,646 - 10,229 = 28,417 \text{ TL/m}^2$$

Yalıtımsız durumda 2. yıl sonunda;

$$C_{t,ins(2)} = 1. \text{ Yıl sonunda bankada kalan para} \times 1,13 = 28,417 \times 1,13 = 32,111 \text{ TL/m}^2$$

$$C_{A,Toplam(2)} = C_{A,Toplam(1)} \times 1,08 = 10,229 \times 1,08 = 11,047 \text{ TL/m}^2$$

$$\text{Bankada kalan para} = C_{t,ins(2)} - C_{A,Toplam(2)} = 32,111 - 11,047 = 21,064 \text{ TL/m}^2$$

olacaktır.

Bu şekilde hesaplamaya devam edildiğinde, yalıtım maliyetinin bankaya yatırılması durumunda, 5. yıl bankadaki para erimeye başlayacaktır.

Çizelge 4.14' de belirtildiği gibi, yalıtımlı durumda ise, her yıl sonunda yalıtımlı yakıt maliyeti % 8 enflasyon kadar artacaktır.

Yalıtımlı durumda 1. yıl sonunda;

$$C_{A,Toplam(1)} = C_{A,Toplam(x=4)} = 3,595 \text{ TL/m}^2$$

$$\text{Harcanan para} = 3,595 \text{ TL/m}^2$$

Yalıtımlı durumda 2. yıl sonunda;

$$C_{A,Toplam(2)} = C_{A,Toplam(1)} \times 1,08 = 3,595 \times 1,08 = 3,883 \text{ TL/m}^2$$

$$\text{Harcanan para} = 1. \text{ yıl sonunda harcanan para} + C_{A,Toplam(2)} = 3,595 + 3,883 = 7,478 \text{ TL/m}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

Bu şekilde hesaplamaya devam edilerek, yalıtımlı durumda harcanan para ile yalıtımsız durumda bankada kalan para karşılaştırıldığında, yalıtımlı durumdaki kar, yalıtımsız durumda bankada kalan para ile yalıtımlı durumda harcanan paranın farkı alınarak bulunur. Sonuç olarak yalıtımlı durumda, yalıtımsız duruma göre 6. Yılda kara geçilerek daha az para harcanmaya başlayacaktır.

4.5. Farklı Ömür Süreleri İçin X_{opt} ve Geri Ödeme Sürelerinin Hesaplanması

Reel faizin sıfır olduğu durumda, 4.1.2 nolu bölümde anlatıldığı gibi (20) nolu eşitlikte PWF yerine LT Ömür Süresi yazılarak X_{opt} yalıtım kalınlıkları bulunur. Reel faizin % 5 olması durumunda ise 4.2.2 nolu bölümde anlatıldığı gibi (18) nolu eşitlikte PWF yerine kendi değeri, (14) nolu eşitlik ile hesaplanıp yazılarak veya $r = \%5$ durumu için hazırlanmış Çizelge 4.3' den ilgili ömür süresi için alınıp yazılarak X_{opt} hesaplanır.

Isıtma ve soğutmanın yıllık enerji maliyetleri sırasıyla $C_{A,H}$ (11) ve $C_{A,C}$ (12) nolu eşitliklerle, toplam yalıtım maliyeti $C_{t,ins}$ de (15) nolu eşitlik ile hesaplanıp, reel faizin sıfır olması durumunda; yalıtım dahil toplam maliyet C_t (19) nolu eşitlik ile, reel faizin % 5 olması durumunda ise, yalıtım dahil toplam maliyet C_t , (16) veya (17) nolu eşitliklerle hesaplanır.

Reel faizin sıfır olması durumunda, zaman içerisinde elde edilen gelirler sabit ise $TGÖS$, (22) nolu eşitlik ile yalıtım maliyetinin yıllık yakıt tasarrufuna bölünmesiyle bulunur. Reel faizin % 5 olması durumunda ise $GÖS$, (21) nolu eşitlik ile yakıt tasarrufunun yalıtım maliyetini geçtiği süre dikkate alınarak bulunur.

Buna göre oluşturulan tablolar aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.15. Reel faiz $r = 0$ iken farklı ömür süreleri için X_{opt} , maliyetler ve geri ödeme süreleri

Ömür LT (yıl)	PWF siz Optimum Kalınlık X_{opt} (cm)	Yalıtımsız ($x=0$) Yıllık Yakıt Maliyeti $C_{A,Toplam}$ (TL/m ²)	Yalıtımlı ($x=x_{opt}$) Yıllık Yakıt Maliyeti $C_{A,Toplam}$ (TL/m ²)	Yıllık Yakıt Tasarrufu	LT Yıllık Toplam Yakıt Tasarruf Oranı YTO	LT Yıllık Toplam Kar/ Maliyet Oranı KMO	Yalıtım Maliyeti $C_{t,ins}$ (TL/m ²)	LT Yıllık Toplam Enerji Maliyeti C_t (TL/m ²)	TGÖS (yıl, ay, gün)
10	4,61	10,23	3,27	6,96	0,3172	0,4646	37,13	69,84	5yıl,4ay,1gün
20	7,43	10,23	2,31	7,92	0,5265	1,1119	50,66	96,87	6yıl,4ay,23gün
30	9,59	10,23	1,89	8,34	0,6167	1,6092	61,03	117,61	7yıl,3ay,23gün
40	11,41	10,23	1,63	8,60	0,6698	2,0287	69,77	135,09	8yıl,1ay,11gün
50	13,01	10,23	1,46	8,77	0,7057	2,3984	77,45	150,49	8yıl,9ay,29gün
60	14,46	10,23	1,33	8,90	0,7321	2,7327	84,41	164,42	9yıl,5ay,26gün
70	15,80	10,23	1,23	8,99	0,7525	3,0402	90,84	177,22	10yıl,1ay,5gün

Çizelge 4.16. Reel faiz $r = \% 5$ iken farklı ömür süreleri için X_{opt} , maliyetler ve geri ödeme süreleri

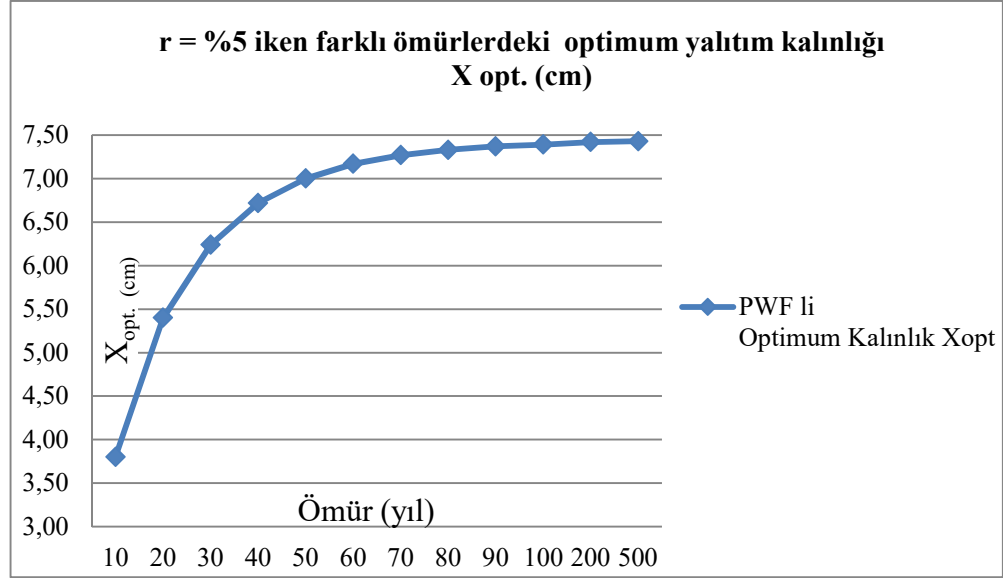
Ömür LT (yıl)	LT Yıllık PWFLi Optimum Kalınlık X_{opt} (cm)	Yalıtımsız ($x = 0$) Yakıt Maliyeti $C_{A,Toplam}$ (TL/m ²)	Yalıtımlı ($x = x_{opt}$) Yakıt Maliyeti $C_{A,Toplam}$ (TL/m ²)	LT Yıllık Toplam Yakıt Tasarruf Oranı YTO	LT Yıllık Toplam Kar/ Maliyet Oranı KMO	Yalıtım Maliyeti $C_{t,ins}$ (TL/m ²)	LT Yıllık Toplam Enerji Maliyeti C_t (TL/m ²)	LT Yıllık BGD Toplamı PWF	GÖS (yıl)
10	3,80	10,23	3,72	0,2159	0,2754	33,24	61,93	7,722	7
20	5,40	10,23	2,93	0,3925	0,6462	40,92	77,43	12,462	7
30	6,24	10,23	2,64	0,4563	0,8392	44,95	85,49	15,372	8
40	6,72	10,23	2,49	0,4869	0,9488	47,26	90,06	17,159	8
50	7,00	10,23	2,42	0,5033	1,0133	48,60	92,75	18,256	8
60	7,17	10,23	2,37	0,5126	1,0519	49,42	94,36	18,929	8
70	7,27	10,23	2,35	0,5181	1,0753	49,90	95,34	19,343	8

Reel faizin % 5 olduğu durumda, ömürlere göre optimum geri ödeme süreleri Çizelge 4.16’ da belirtilmiştir.

Bir binada yaşam döngüsü maliyetini en aza indirmek için, iyileştirme ölçütlerinin optimize edilmesi üzerine, yenilenmesi gereken binalarda, Gustafsson (2000) tarafından yapılan çalışmada, binanın kullanım süresi, enerji maliyetinin azaltılması, yalıtım uygulaması ve ısıtma sistemlerinin değiştirilmesi gibi parametreleri göz önüne alarak, iyileştirmenin ekonomik boyutu araştırılmıştır.

Türkiye’deki binaların ortalama ömrünün 50 yıl olduğu düşünülürse, yeni yapılmış bir bina için optimum yalıtım kalınlığı 7 cm olup, geri ödeme süresi 8 yıldır.

Örneğin, 20 yıllık bir bina için yalıtım yapılacak ise, binanın toplam ömüre ulaşması için 30 sene olduğundan dolayı yapılacak yalıtım kalınlığı 6,24 cm seçilir. Bu durumda da geri ödeme süresi 8 yıl olacaktır.



Şekil 4.10. r = % 5 iken farklı ömürlerdeki optimum yalıtım kalınlıkları

Çizelge 4.17. r = 0 ve r = % 5 iken farklı ömür sürelerine göre X_{opt}, C_t, TGÖS ve GÖS

Reel Faiz r (%)	Ömür LT (yıl)	Optimum Kalınlık X _{opt} (cm)	LT Yıllık Toplam Enerji Maliyeti C _t (TL/m ²)	Geri Ödeme Süresi (yıl)
0	100	19,31	210,93	11,71
	200	28,21	296,39	15,83
	500	45,88	465,96	24,08
	600	50,46	510,00	26,22
	700	54,68	550,49	28,20
5	100	7,39	96,52	8
	200	7,42	96,87	8
	500	7,43	96,87	8
	600	7,43	96,87	8
	700	7,43	96,87	8

Farklı ömür süreleri dikkate alındığında; reel faiz, sıfır iken ve % 5 iken X_{opt} , toplam maliyet (C_t) ve geri ödeme süreleri ($TGÖS$ ve $GÖS$), Çizelge 4.17' de gösterilmektedir.

Reel faiz sıfır iken, ömür süresi (LT) arttıkça, yalıtım kalınlığı (X_{opt}) sürekli olarak artmaktadır. Reel faiz % 5 iken ise ömür süresi (LT) arttıkça, yalıtım kalınlığında (X_{opt}), 100. yıldan sonra çok anlamlı bir artış görülmemektedir. Bu durumda Bursa ili için 7,43 cm' den fazla yalıtım uygulamak gereksiz olacaktır.

4.6. Isı Yalıtım Malzemelerinin Özellikleri ve Malzeme Cinslerine Göre X_{opt} , Maliyet ve Geri Ödeme Sürelerinin Hesaplanması

Isı yalıtımı kullanımı, soğutma ve ısıtma için enerji tasarrufu oluşturmanın en etkili yollarından biridir. Bu nedenle, uygun bir yalıtım malzemesinin seçimi ve optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi özellikle hayati önem taşımaktadır (Yu ve ark. 2009).

Isı yalıtımı amacı ile kullanılan ürünler açık gözenekli ve kapalı gözenekli olarak sınıflandırılabilir. Açık gözenekli veya elyaflı malzemelere; camyünü, taş yünü; kapalı gözenekli malzemelere ise EPS, XPS örnek verilebilir. Bu malzemelerin ısı iletim katsayısı ne kadar düşükse, o ürünün yalıtım özelliği artar (<http://www.izoder.org.tr>, 2017).

Şimdiye kadar olan hesaplamalarda yalıtım malzemesi olarak Ekspande polistiren (EPS) kullanılmıştır. Ekonomik değerlerin dikkate alındığı duruma göre ve reel faiz % 5, ömür 10 yıl iken, yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları, malzeme birim fiyatları ve uygulama maliyetleri (bkz. Çizelge 3.2), (18) nolu eşitlikte yerlerine yazılarak Ekspande polistiren (EPS), Ekstrüde polistiren (XPS), Cam yünü ve Taş yünü için ayrı ayrı X_{opt} kalınlıklar hesaplanır.

Çizelge 4.18. Farklı yalıtım malzemelerinin X_{opt} kalınlıkları, $C_{t,ins}$, C_t ve GÖS

Yalıtım Malzemesi	10 Yıllık X_{opt} (cm)	Yalıtımsız ($x = 0$) Yakıt Maliyeti $C_{A,Toplam}$ (TL/m ²)	Yalıtımlı ($x = X_{opt}$) Yakıt Maliyeti PWFsiz $C_{A,Toplam}$ (TL/m ²)	10 Yıllık Toplam Yakıt Tasarruf Oranı YTO	10 Yıllık Toplam Kar/Maliyet Oranı KMO	Yalıtım Maliyeti $C_{t,ins}$ (TL/m ²)	10 Yıllık Toplam Enerji Maliyeti C_t (TL/m ²)	PWF li GÖS (Yıl)	10 Yıllık BGD Toplamı (10 yıllık PWF)
EPS	3,80	10,23	3,72	0,2159	0,2754	33,24	61,93	7	7,722
XPS	3,05	10,23	3,79	0,2078	0,2623	33,33	62,57	7	7,722
Cam Yünü	11,54	10,23	1,73	0,5004	1,0018	26,08	39,46	4	7,722
Taş Yünü	8,44	10,23	2,41	0,3950	0,6529	29,18	47,79	5	7,722

Isı yalıtımı, yapının dışarıya ve ısıtılmayan bölgelerine bakan duvarlara, çatılara ve teraslara, çıkma tabanlarına, garaj, depo gibi ısıtılmayan bölümlere bakan duvar ve döşemelere, toprakla temas eden duvar ve döşemelere, pencerelerde kullanılan cam ve doğramalara, kombi ile ısıtılan binalarda, katları ayıran döşemelere, tesisat elemanlarına uygulanır.

Burada anlatılan mantolama, yapının duvarlarına yapılan ısı yalıtımı olduğundan, duvarlarda EPS, XPS ve Taş yünü cinsi ısı yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır. Ancak yapıların farklı bölümlerinde kullanılabilen birçok farklı ısı yalıtım malzemeleri bulunmaktadır.

Bitişik yapı malzemelerinin ısı iletim direncini artırmak ya da dışarıya kaçan ısı miktarını minimuma indirmek için kullanılan TS 825 ve Alman DIN 4108 normlarına göre ısı iletim katsayısı 0,060 kcal/mh °C değerinin altında olan malzemeler ısı yalıtım malzemesi, bu değer üzerinde kalan malzemeler de yapı malzemesi olarak adlandırılmaktadırlar. En iyi ısı yalıtım malzemelerini net bir şekilde seçebilmek için ısı yalıtım malzemelerinin özelliklerini iyi bilmek gerekmektedir.

Isı yalıtım malzemelerinin genel özellikleri aşağıdaki gibidir (<https://www.gnyapi.com.tr/isi-yalitim-malzemeleri>, 2017).

Isı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları küçük olmalıdır. Isı yalıtım malzemeleri hafif ve kokusuz olmalıdır. Su ve nem absorbe etme özelliği olmalıdır. Bakteri ve haşerelerin yuva yapmasına elverişli olmamalıdır. Çürümeye karşı dayanıklı olmalıdır. İlk özelliğini kaybetmemelidir. Yanıcı olmamalıdır. Uzun ömürlü olmalıdır. Taşımaya elverişli ve insan sağlığına zarar vermemelidir. Ekonomik ve temin edilebilir olmalıdır.

Dış duvarlarda yapılacak ısı yalıtımı için malzeme seçimi ve seçilen malzemenin kalınlığı önemli iki faktördür. Seçilecek malzemenin bünyesine kesinlikle su almaması gerekmektedir. Ayrıca buhar difüzyon direncinin yüksek olması, basınç ve darbe dayanımı, sıcak tutuculuk ve ısı iletim katsayısı gibi kriterler de önem arz etmektedir.

Bina yalıtımında kullanılan ısı yalıtım malzemeleri ve özellikleri aşağıdaki gibidir.

Ekspande (Genleştirilmiş) Polistiren (EPS)

Polistiren hammaddesinin su buharı ile temas etmesi durumunda hammaddesinde bulunan pentan gazının genişmesiyle büyük bloklar halinde şişirilip ve sıcak tel ile kesilerek üretilirler. Levha şeklinde kalıp içerisinde şişirilerek de üretilirler. EPS levhaların ısı yalıtımı amacıyla kullanılabilmesi için yoğunluğunun en az 15 kg/m³ (15 dansite) olması gerekmektedir. Kullanım sıcaklığı -50/ +80°C aralığındadır. Yangına tepki sınıfı D veya E' dir. TS 825'e göre Isıl iletkenlik hesap değeri $k=0,033-0,040$ W/(mK) dir. Su buharı difüzyon direnç katsayısı $\mu=20-100$ dür. Hacimce su emme %1- %5' dir. Basma dayanımı 30 ile 500 kPa arasında değişir. EPS, genellikle dış cephe ısı yalıtımında kullanılmakta olup, yoğunluğu arttıkça birim fiyatı da artmaktadır.

Ekstrüde Polistiren (XPS)

Polistiren hammaddesinin ekstrüzyon (haddeleme) ile çekilmesi ile üretilen ortak çeperli kapalı hücre yapısına sahip ısı yalıtım malzemeleridir. Pürüzsüz (ciltli), pürüzlü veya pürüzlü kanallı yüzey biçimleri bulunmaktadır. Değişik yoğunluklarda (≥ 25 kg/m³) levha veya boru biçiminde üretilir. Kullanım sıcaklığı -50/ +80°C aralığındadır. Yangına tepki sınıfı D veya E' dir. TS 825'e göre ısı iletkenlik hesap değeri $k=0,026-0,040$ W/(mK)' dir. Su buharı difüzyon direnç katsayısı $\mu=80-250$ 'dir. Hacimce su emme %0-0,5' dir. Basma dayanımı 100 ile 1000 kPa arasında değişir. XPS' nin kalınlığı azaldıkça, yoğunluğu ve birim fiyatı artmaktadır. %100 kapalı gözenekli olup, su almaz. Gazla sıkıştırıldığı için dış yalıtımda deforme olma durumu vardır. Bu nedenle temel yalıtımı gibi kapalı alanlarda kullanılır.

Cam Yünü

İnorganik bir hammadde olan silis kumunun yüksek basınç altında 1200-1250°C de ergitilerek, ince eleklerden geçirilip elyaf haline getirilmesi sonucu oluşturulan açık gözenekli bir malzemedir. Değişik yoğunluklarda (14-100 kg/m³) farklı kaplama malzemeleri ile şilte, levha veya boru formunda üretilir. Kullanım sıcaklığı - 50 / +

250°C aralığındadır. A1 veya A2 sınıfı yanmaz bir malzemedir. TS 825'e göre ısı iletkenlik hesap değeri $k=0,035-0,050$ W/(mK)'dir. Su buharı difüzyon direnç katsayısı $\mu=1$ ' dir. Hacimce su emme %3-10'dur. Cam yünü genellikle çatı yalıtımında kullanılır. Atmosferik şartlara, asitlere karşı dayanıklıdır. Korozyon tehlikesi yoktur. Kolaylıkla istenilen şekil verilebilir.

Taş Yünü

İnorganik bir hammadde olan bazalt ve diabez taşlarının 1350-1400°C sıcaklıklarda, ince eleklerden geçirilip elyaf haline getirilip bunların organik bağlayıcılar ile sıcaklık ve basınç altında levha haline getirilmesi sonucu oluşturulan açık gözenekli bir malzemedir. Değişik yoğunluklarda (30-200 kg/m³) farklı kaplama malzemeleri ile şilte, levha veya boru formunda üretilebilir. Kullanım sıcaklığı -50/ +750°C aralığındadır. A1 veya A2 sınıfı yanmaz malzemedir. TS 825'e göre ısı iletkenlik hesap değeri $k=0,035-0,050$ W/(mK)'dir. Su buharı difüzyon direnç katsayısı $\mu=1$ ' dir. Hacimce su emme %2,5-10'dur. Basma dayanımı 0,5 ile 500 kPa arasında değişir. Taş yünü, ses yalıtımında, yangın güvenliğinde ve ısı yalıtımında kullanılır. Düşük yoğunluklu (50kg/m³) taş yünü genellikle, American siding ile alçıpan arasında ve alçıpan ile bölünmüş odalarda ses ve ısı geçirgenliğini düşürmek için kullanılır.

Çizelge 4.18' e göre, Cam yünün kar maliyet ve yakıt tasarruf oranları diğer malzemelere göre yüksek, geri ödeme süresi ve toplam maliyet ise diğer malzemelere göre en düşük olmasına rağmen, çatı yalıtımında kullanılması daha uygun olduğu için, bina dış yalıtımında kullanılmamaktadır. Bunun yerine düşük ısı iletkenliği ve kullanım ömrü nedeniyle bina dış duvarlarındaki ısı yalıtımında EPS seçilmiştir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, Bursa ili için ısıtma ve soğutma derece-gün sayıları esas alınarak, ekonomik parametrelerin dikkate alındığı ve alınmadığı durumlar için optimum yalıtım kalınlıkları, geri ödeme süreleri, kar maliyet ve yakıt tasarruf oranları belirlenmiştir. Farklı yalıtım malzemelerine göre de ayrı ayrı optimum yalıtım kalınlıkları ve geri ödeme süreleri bulunmuştur (bkz. Çizelge 4.18).

Sonuçlar değerlendirildiğinde, kullanım şartları ve özelliklerine (ısı yalıtım iletkenliği ve fiyat vb.) göre yalıtım malzemesi olarak Bursa için EPS (Ekspande polistiren) seçilmiştir.

Reel faizin % 5 ve ömrün 10 yıl olduğu durumda; EPS için X_{opt} 3,8 cm, GÖS 7 yıl olarak bulunmuştur. Toplam maliyet minimum olup Çizelge 4.4' deki gibidir.

Reel faizin sıfır ve ömrün 10 yıl olduğu durumda ise; EPS için X_{opt} 4,6 cm, TGÖS 5,34 yıl olarak bulunmuştur. Toplam maliyet minimum olup Çizelge 4.2' deki gibidir.

Farklı yalıtım kalınlıklarında, reel faizin 0 ve % 5 olduğu her iki durumda da, toplam maliyetin minimum olduğu yerdeki geri ödeme süreleri optimum olmayabilir.

Faizsiz ya da daha düşük faizli kredi bulunabilirse, yalıtım maliyetini peşin ödemek yerine kredi ile ödemek daha avantajlı olacaktır (bkz. Çizelge 4.13).

Yalıtım yapılmayıp, yalıtım için ayrılan paranın bankaya faize yatırılması durumunda dahi, yalıtım yapmanın daha avantajlı olduğu görülmüştür.

Reel faiz sıfır iken, ömür süresi (LT) arttıkça, yalıtım kalınlığı (X_{opt}) sürekli olarak artmakta, reel faiz % 5 iken ise ömür süresi (LT) arttıkça, yalıtım kalınlığında (X_{opt}), 100. yıldan sonra çok anlamlı bir artış görülmemektedir (bkz. Çizelge 4.17).

Ekonomik değerlerin dikkate alındığı durumda, Bursa ili için 7,43 cm' den fazla yalıtım uygulamak gereksiz olacaktır.

Binaya uygulanacak yalıtım kaç yıl kullanılacak ise, ömür ona göre belirlenir. Yeni bir binanın ömrü eski bir binaya göre daha fazla olacağından, yeni bir binaya uygulanacak yalıtım kalınlığının, eski bir binaya göre daha fazla seçilmesi gerekecektir.



KAYNAKLAR

- Anonim, 2008.** TS 825, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları. Türk Standardları Enstitüsü- Thermal insulation requirements for buildings, Yayın no: ICS 91.120.10, Ankara.
- Anonim, 2017.** Enflasyon verileri. Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB), Ankara, <http://www.tcmb.gov.tr>-(Erişim tarihi: 07.03.2017)
- Anonim, 2017.** Fiyat ve tarife bilgileri. Bursagaz, <http://www.bursagaz.com>-(Erişim tarihi: 07.03.2017)
- Anonim, 2017.** Elektrik tarifeleri. Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. (UEDAŞ), <http://www.uedas.com.tr>-(Erişim tarihi: 07.03.2017) ve <https://www.limakuludag.com.tr>-(Erişim tarihi: 07.03.2017).
- Anonim, 2017.** Isıtma ve soğutma gün dereceleri. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gun-derece.aspx?g=merkez&m=16-00&y=2017&a=01>-(Erişim tarihi:10.03.2017).
- Anonim, 2017.** Ekokredi yalıtım. Şekerbank, <http://www.sekerbank.com.tr/bireysel/bireysel-krediler/eko-kredi>-(Erişim tarihi: 20.03.2017).
- Anonim, 2017.** Isı yalıtımı. Gnyapi, <https://www.gnyapi.com.tr/isi-yalitim-malzemeleri>-(Erişim tarihi: 21.03.2017).
- Anonim, 2017.** Isı yalıtım malzemeleri. İzoder, <http://www.izoder.org.tr>-(Erişim tarihi: 21.03.2017).
- Bolattürk, A. 2006.** Determination of optimum insulation thickness for building walls with respect to various fuels and climate zones in Turkey. *Applied Thermal Engineering*, 26: 1301-1309.
- Ceylan, O. 2017.** Nominal ve Reel Faiz. Piyasa Rehberi. <http://piyasarehberi.org/yatirim/yatirim-araclari/58-nominal-ve-reel-faiz>-(Erişim tarihi: 09.03.2017).
- Çomaklı, K., Yüksel, B. 2003.** Optimum insulation thickness of external walls for energy saving. *Applied Thermal Engineering*, 23(4): 473-479.
- Çubuk, M.H. 2017.** Ekonomik Analiz, Bugünkü Değer Tabloları 1 ve Bugünkü Değer Tabloları 2. Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, <http://www.yildiz.edu.tr/~hcubuk/BDF-1, BDF-2.pdf>-(Erişim tarihi: 07.03.2017).
- Dombaycı, O.A., Gölcü, M., Pancar, Y. 2006.** Optimization of insulation thickness for external walls using different energy-sources. *Applied Energy*, 83(9): 921-928.
- Emre, Y. 2017. Sözlü görüşme.** İzored, Millet Mh., Derya Cd. No:98, Yıldırım, Bursa, (Görüşme tarihi: 08.03.2017), e-posta: info@izored.com.
- Erdem, H. H. 2017.** Mühendislik Ekonomisi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, <http://docplayer.biz.tr/10214783-Mühendislik-ekonomisi.html>-(Erişim tarihi: 10.03.2017).
- Gustafsson, S. 2000.** Optimisation of Insulation Measures on Existing Buildings. *Energy and Buildings*, 33(1): 49-55.
- Kaygusuz, K., Kaygusuz, A. 2004.** Energy and sustainable development. Part II: Environmental impacts of energy use, *Energy Sources*, 26: 1071-1082.
- Kaynaklı, Ö. 2008.** A study on residential heating energy requirement and optimum insulation thickness. *Renewable Energy*, 33(6): 1164-1172.
- Kaynaklı, Ö., Mutlu, M., Kılıç, M., 2012.** Bina duvarlarına uygulanan ısı yalıtım kalınlığının enerji maliyeti odaklı optimizasyonu. *Tesisat Mühendisliği*, 126: 48-54.

Mearing, T., Coffee, N., Morgan, M. 1999. Life cycle cost analysis handbook. Department of Education & Early Development Education Support Services/Facilities, State of Alaska, 1st ed., 31 pp.

Ogulata, R. T. 2002. Sectoral energy consumption in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6(5): 471-480.

Orhan, K. 2017. Sözlü görüşme. Topçuoğlu İzolasyon İnşaat Enerji San. ve Tic. Ltd. Şti., Aladdinbey Mh., Ahıska Cd., No.74, Nilüfer, Bursa, (Görüşme tarihi: 08.03.2017), e-posta: omer_smmm@hotmail.com.

Özel, M. 2008. Bina dış duvarlarının optimum yalıtım kalınlıkları için dinamik yaklaşım ve maliyet analizi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 23(4): 879-884.

Özel, M. 2013. Dört farklı il için optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi ve çevresel analiz. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 10(1): 1-17.

Yu, J., Yang, C., Tian, L., Liao, D. 2009. A study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China. *Applied Energy*, 86(11): 2520-2529.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Özlem ERDOĞAN
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa 18.09.1975
Yabancı Dili : İngilizce, Fransızca

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bursa Cumhuriyet Lisesi (1989 - 1992)
Ön Lisans : Anadolu Üniversitesi, Açık Öğretim Fakültesi,
Dış Ticaret (2008 – 2011)
Lisans : Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık
Fakültesi, Makine Mühendisliği (1993 - 1999)
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Makine Mühendisliği (2011 – Devam)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :

Durmazlar A.Ş., Bursa (Kalite Mühendisi, 1997 – 1998),
Zorlu Holding, Korteks A.Ş., Bursa (Kalite Mühendisi, 1999 – 2002)
Uzman Yay Makine A.Ş., Bursa (Metod Mühendisi 2002 – 2004)
Doğu Pres A.Ş., Bursa (Kalite Sorumlusu, 2004 – 2005)
Coşkunöz Holding, Belka A.Ş., Bursa (Kalite Sorumlusu, 2005 – 2006)
Martec Ltd., Kent, England, UK (Proje Mühendisi, 2007)
L'atelier for Languages, Kent, England, UK (Türkçe Öğretmeni, 2007)
23 Nisan İlköğretim Okulu, Bursa (İngilizce Öğretmeni, 2008 – 2009)
Promak Makine Otomotiv Ltd. Şti., Bursa (Proje Sorumlusu, 2010 – 2011)
Datatech Holding, Toksan A.Ş., Bursa (Proje Sorumlusu, 2011 – 2014)
Floteks Plastik San. ve Tic. A.Ş., Bursa (Satış ve Proje Sorumlusu, 2014 – 2016)

İletişim (e-posta) : ozerdogan75@yahoo.com