

**TÜRKİYE KOŞULLARINDA GÜNEŞ PANELLERİ İÇİN
OPTİMUM SABİT VE AYARLANABİLİR EĞİM AÇILARININ
BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

Merve Aydın



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE KOŞULLARINDA GÜNEŞ PANELLERİ İÇİN OPTİMUM SABİT VE
AYARLANABİLİR EĞİM AÇILARININ BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR
ARAŞTIRMA**

Merve Aydın

0000 0001 8207 4617

Prof. Dr. Ali VARDAR
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020

Her Hakkı Saklıdır

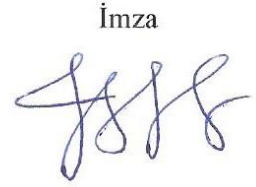
Merve AYDİN tarafından hazırlanan “TÜRKİYE KOŞULLARINDA GÜNEŞ PANELLERİ İÇİN OPTİMUM SABİT VE AYARLANABİLİR EĞİM AÇILARININ BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Ali VARDAR

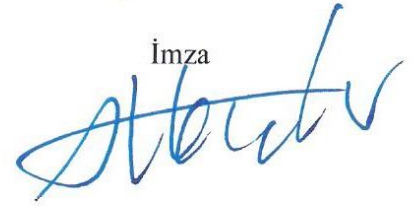
Başkan : Prof. Dr. Bülent EKER
0000 0002 3542 9531
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi,
Ziraat Fakültesi,
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza


Üye : Prof. Dr. Kamil ALİBAŞ
0000 0001 5628 5648
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Ziraat Fakültesi,
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza


Üye : Prof. Dr. Ali VARDAR
0000 0001 6349 9687
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Ziraat Fakültesi,
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza


Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

.. / .. / ..



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.

28/02/2020

Merve AYDIN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TÜRKİYE KOŞULLARINDA GÜNEŞ PANELLERİ İÇİN OPTİMUM SABİT VE AYARLANABİLİR EĞİM AÇILARININ BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Merve AYDIN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali VARDAR

Dünya hem kendi eksenini etrafında günlük dönüşünü tamamlarken hem de güneşin etrafındaki dönüşünü tamamlamaktadır. Dünya elips şeklinde bir yörünge üzerindeki bu hareketini 365 gün 6 saatte tamamlamaktadır. Elips şeklinde izlenen bu yörüngeden dolayı yıl içerisinde güneşin doğuş ve batış saatleri ile güneş ışınımının yeryüzüne düşme açıları değişmektedir. Güneş enerjisinden maksimum düzeyde yararlanılmak istenildiğinde ise enerji üretiminde kullanılan panellerin konum açılarının güneş ışınımına dik bir şekilde ayarlanması gerekmektedir.

Güneş, en temel yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bunun yanı sıra birçok enerji türünün de kaynağı olarak dünyaya tükenmeyen ve çevre dostu bir enerji sağlamaktadır. Bu sınırsız enerjiden yararlanmanın yollarından biri de; üzerine düşen güneş ışınımı sayesinde elektrik üreten fotovoltaik hücreler ve paneller kullanmaktır. Bu sistemlerde, güneş ışınımından maksimum düzeyde verim elde edebilmek için sabit ve izleyici güneş paneli sistemlerinden yararlanılmaktadır. Bu eğim, bölgenin coğrafi konumuna ve mevsimlere göre değişkenlik göstermektedir. Bölgede, yıl içerisindeki mevsimlere bağlı olarak da optimum eğim açısı hesaplanarak güneş ışığından elde edilen enerji miktarının artması sağlanabilmektedir.

Bu çalışmada; 36° - 42° kuzey enlemleri içerisinde yer alan ülkemizin farklı coğrafi bölgelerinde bulunan 13 ili (Ankara, Bursa, Edirne, Erzurum, Gaziantep, Hatay, İstanbul, İzmir, Kayseri, Konya, Muğla, Sinop, Van) için yatay düzleme gelen aylık, mevsimsel ve yıllık bazda güneş paneli performanslarını en üst düzeye çıkarmak amacıyla optimum panel açıları belirlenmiştir. Sonuçlar istatistiksel karşılaştırma metodları, belirlilik katsayısı, bağıl hata yüzdesi, sapma hatası, ortalama karekök hatası ve t-istatistik olmak üzere 5 farklı istatistik yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Güneş Işınımı, Fotovoltaik Paneli, Panel Açısı, Modelleme

2020, xii + 182 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

**A RESEARCH ON DETERMINATION OF OPTIMAL FIXED AND ADJUSTABLE
TILT ANGLE FOR SOLAR PANELS TO CONDITIONS IN TURKEY**

Merve AYDIN

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

Supervisor: Prof. Dr. Ali VARDAR

While the world completes its daily rotation around its own axis, it completes its rotation around the sun. The earth completes this movement on an elliptical orbit in 365 days and 6 hours. Due to this orbit, which is monitored in the form of an ellipse, the sunrise and sunset times and the angle of falling of the sun's rays on the earth change during the year. When it is desired to utilize solar energy at the maximum level, the position angles of the panels used in energy production should be adjusted perpendicularly to the solar radiation.

The sun is the main renewable energy source. In addition, it provides an inexhaustible and environmentally friendly energy to the world as the source of many energy types. One of the ways to utilize this unlimited energy is; is to use photovoltaic cells and panels that generate electricity thanks to the solar radiation falling on them. In these systems, fixed and tracer solar panel systems are used to obtain maximum efficiency from solar radiation. This slope varies according to the geographical location of the region and the seasons. In the region, depending on the seasons during the year, the optimum slope angle can be calculated to increase the amount of energy obtained from sunlight.

In this study; Monthly correction for 13 provinces (Ankara, Bursa, Edirne, Erzurum, Gaziantep, Hatay, Istanbul, Izmir, Kayseri, Konya, Mugla, Sinop, Van) located in different geographical regions of our country, located within the latitudes of 36° - 42° north, optimum panel angles have been determined in order to maximize solar panel performance on a seasonal and annual basis. The results were compared with 5 different statistical methods; statistical comparison methods, coefficient of determination, relative error percentage, deviation error, mean square root error and t-statistics.

Key words: Solar Energy, Solar Radiation, Photovoltaic Panel, Panel Angle, Modeling

2020, xii + 182 pages.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitim hayatım boyunca ve bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde başta bana inanarak, bu periyot boyunca da faydalı olabilmek adına kazanılmış bilgi ve tecrübelerini bana da kazandırıp yol göstererek en büyük destekçim olan çok kıymetli, saygı değer Prof. Dr. Ali VARDAR'a teşekkürü borç biliyor ve saygılarımı içtenlikle sunarım.

Tezimin başlangıcından bitimine kadar benden yardımlarını esirgemeyen, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek adına elinden gelenin fazlasını sunan Sayın Arş. Gör. Mehmet Ali KALLIOĞLU'na sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunar, müteşekkird olduğumu bildirmek isterim.

Çalışmalarım ve tüm eğitim öğretim hayatım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan saygı değer annem Gülümser AYDİN ve saygı değer babam Ali AYDİN'e ve kıymetli kardeşlerime ithaf ediyorum.

Merve AYDİN

28/02/2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	14
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	17
2.1. Güneşin Bileşimi.....	19
2.2. Güneş Işınımı.....	19
2.3. Dünya Güneş İlişkisi.....	21
2.4. Dünyanın Periyodik Hareketleri.....	22
2.5. Güneşin Periyodik Hareketleri.....	23
2.6. Temel Güneş Açıları.....	23
2.6.1. Enlem Açısı.....	24
2.6.2. Saat Açısı.....	25
2.6.3. Deklinasyon Açısı.....	25
2.7. Türetilen Güneş Açıları.....	27
2.7.1. Zenit Açısı.....	27
2.7.2. Güneş Yükseklik Açısı.....	28
2.7.3. Güneş Azimut Açısı.....	28
2.7.4. Eğim Açısı.....	29
2.7.5. Güneş Geliş Açısı.....	29
2.7.6. Güneş Batış Saat Açısı.....	30
2.8. Hava Kütleli.....	31
2.9. Güneş Işığı Spektrumu ve Önemi.....	32
2.10. Türkiye’de Güneş Enerjisi.....	33
2.11. Literatür Araştırması.....	35
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	39
3.1. Materyal.....	39
3.2. Yöntem.....	53
3.2.1. Bağlı hata yüzdesi.....	56
3.2.2. Belirlilik (determinasyon) katsayısı.....	56
3.2.3. Ortalama yüzde hata.....	56
3.2.4. Ortalama mutlak hata yüzdesi.....	57
3.2.5. Bağlı hata karesi.....	57
3.2.6. Bağlı standart hata.....	57
3.2.7. Ortalama sapma hatası.....	58
3.2.8. Ortalama hata kareleri kökü.....	58
3.2.9. t-testi metodu.....	58
3.3. Algoritma.....	59
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	60
4.1. Ankara.....	60
4.2. Bursa.....	64
4.3. Edirne.....	67

	Sayfa
4.4. Erzurum.....	71
4.5. Gaziantep.....	74
4.6. Hatay	78
4.7. İstanbul.....	81
4.8. İzmir	85
4.9. Kayseri	88
4.10. Konya	92
4.11. Muğla	95
4.12. Sinop	99
4.13. Van	102
4.14. Geliştirilen Modeller ve İstatiksel Analiz Sonuçları.....	106
4.14.1. Deklinasyon	106
4.14.2. Günlük Toplam Güneş Işınımı (H)	139
5. SONUÇ.....	173
KAYNAKLAR	177
ÖZGEÇMİŞ..	182

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
c	Işık hızı ($3,00 \times 10^8$ m/s)
e %	Bağıl hata yüzdesi
eV	Elektronvolt
E	Fotonun enerjisi
G_{sc}	Güneş sabiti ($1\,367$ W/m ²)
λ	Dalga boyu (m)
\emptyset	Enlem açısı (°)
β	Eğim açısı (°)
ω	Güneşin doğuş ve batış açısı (°)
δ	Deklinasyon açısı (°)
θ_z	Zenit açısı (°)
α	Güneş yükseklik açısı (°)
γ_s	Güneş azimut açısı (°)
γ	Yüzey azimut açısı (°)
ρ	Yerin yansıtma oranıdır (≈ 0.2)
h	Planck sabiti ($4,14 \cdot 10^{-15}$ eV.s)
HK	Hava kütlesi
H	Aylık ortalama günlük toplam güneş ışıınımı (W/m ² .gün)
H _b	Yatay bir düzleme gelen direkt güneş ışıınımı değeri (W/m ² .gün)
H _d	Yatay bir düzleme gelen yayılı güneş ışıınımı değeri (W/m ² .gün)
H _o	Aylık ortalama atmosfer dışı güneş ışıınım (W/m ² .gün)
H _T	Eğik yüzeye gelen radyasyon (MJ/m ² gün)
H _R	Eğik yüzeye gelen global ışıınım (MJ/m ² gün)
H _S	Eğik yüzeye gelen yayılı ışıınım (MJ/m ² gün)
k	Düzeltilme faktörü
n	Yıl içindeki gün sayısı (1 - 365)
R _b	Atmosfer dışı radyasyon oranı (%)
R ²	Belirlilik katsayısı
V	Işımanın frekansı

Kısaltmalar	Açıklama
GHI	Eğimli yüzeyle ulaşan Global Yatay Işınım
Gİb	Eğimli yüzeyle ulaşan Global Işınım
HDKR	Hay, Davis, Klucher, Reindl
IRENA	International Renewable Energy Agency
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MPE %	Ortalama yüzde hata
MAPE %	Ortalama mutlak hata yüzdesi
SSRE	Bağıl hata karesi
RSE	Bağıl standart hata
MBE	Ortalama sapma hatası
PV	Fotovoltaik
RMSE	Ortalama hata kareleri kökü
t-stat	t-testi metodu

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. 2020 Şubat ayı itibariyle ülkemizde elektrik üretimi.....	15
Şekil 2.1. Güneş ışınım spektrumu	17
Şekil 2.2. Yeryüzüne gelen güneş ışınımının dağılımı	20
Şekil 2.3. Dünya'nın güneş enerji haritası.....	22
Şekil 2.4. Yerküre üzerinde gözlenen kuvvetler	22
Şekil 2.5. Güneş'in periyodik hareket zinciri	23
Şekil 2.6. Enlem,saat ve deklinasyon açıları.....	24
Şekil 2.7. Güneş'in doğrultusu ve ekinokslar	25
Şekil 2.8. Deklinasyon açısının bir yıl içerisindeki değişimi.....	26
Şekil 2.9. Enlem,saat ve deklinasyon açılarının ilişkileri	26
Şekil 2.10. Zenit,güneş yükseklik ve azimut açıları.....	27
Şekil 2.11.Yaz ve kış mevsimlerinde zenit,deklinasyon ve enlem açıları	28
Şekil 2.12. Güneş yükseklik açısı ve azimut açısı	28
Şekil 2.13. Güneşle ilgili açıların birbirleri ile ilişkileri	29
Şekil 2.14. Güneş geliş ışınlarının dünya üzerinde aldığı açısal değerleri	30
Şekil 2.15. Sabit lokasyonlarda güneş batış saat açısı için kullanılan abak.....	30
Şekil 2.16. Hava kütlesi	31
Şekil 2.17. Güneş ışınımının sahip olduğu dalga boyu,frekans değerleri.....	33
Şekil 2.18. Türkiye güneş enerji potansiyel atlası... ..	34
Şekil 3.1. Ankara güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı	40
Şekil 3.2. Ankara global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri	40
Şekil 3.3. Bursa güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı	41
Şekil 3.4. Bursa global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri.....	41
Şekil 3.5. Edirne güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı	42
Şekil 3.6. Edirne global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri	42
Şekil 3.7. Erzurum güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı.....	43
Şekil 3.8. Erzurum global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri	43
Şekil 3.9. Gaziantep güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı.....	44
Şekil 3.10. Gaziantep global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri.....	44
Şekil 3.11. Hatay güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı	45
Şekil 3.12. Hatay global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri	45
Şekil 3.13. İstanbul güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı	46
Şekil 3.14. İstanbul global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri	46
Şekil 3.15. İzmir güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı	47
Şekil 3.16. İzmir global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri	47
Şekil 3.17. Kayseri güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı	48
Şekil 3.18. Kayseri global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri	48
Şekil 3.19. Konya güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı	49
Şekil 3.20. Konya global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri	49
Şekil 3.21. Muğla güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı	50
Şekil 3.22. Muğla global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri	50
Şekil 3.23. Sinop güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı	51
Şekil 3.24. Sinop global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri.....	51
Şekil 3.25. Van güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı	52
Şekil 3.26. Van global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri	52
Şekil 3.27. Yapılan işlemlerin algoritmik akış şeması.....	59

Şekil 4.1. Ankara için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü	61
Şekil 4.2. Ankara için eğim açısının aylara göre değişimi.....	61
Şekil 4.3. Ankara için yıllık optimum açığa göre güneş ışınlam değerleri.....	63
Şekil 4.4. Bursa için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü	65
Şekil 4.5. Bursa için eğim açısının aylara göre değişimi.....	65
Şekil 4.6. Bursa için yıllık optimum açığa göre güneş ışınlam değerleri	67
Şekil 4.7. Edirne için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü	68
Şekil 4.8. Edirne için eğim açısının aylara göre değişimi.....	69
Şekil 4.9. Edirne için yıllık optimum açığa göre güneş ışınlam değerleri.....	70
Şekil 4.10. Erzurum için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü.....	72
Şekil 4.11. Erzurum için eğim açısının aylara göre değişimi	72
Şekil 4.12. Erzurum için yıllık optimum açığa göre güneş ışınlam değerleri.....	74
Şekil 4.13. Gaziantep için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü	75
Şekil 4.14. Gaziantep için eğim açısının aylara göre değişimi	76
Şekil 4.15. Gaziantep için yıllık optimum açığa göre güneş ışınlam değerleri	77
Şekil 4.16. Hatay için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü	79
Şekil 4.17. Hatay için eğim açısının aylara göre değişimi.....	79
Şekil 4.18. Hatay için yıllık optimum açığa göre güneş ışınlam değerleri.....	81
Şekil 4.19. İstanbul için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü.....	82
Şekil 4.20. İstanbul için eğim açısının aylara göre değişimi.....	83
Şekil 4.21. İstanbul için yıllık optimum açığa göre güneş ışınlam değerleri.....	84
Şekil 4.22. İzmir için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü	86
Şekil 4.23. İzmir için eğim açısının aylara göre değişimi.....	86
Şekil 4.24. İzmir için yıllık optimum açığa göre güneş ışınlam değerleri.....	88
Şekil 4.25. Kayseri için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü	89
Şekil 4.26. Kayseri için eğim açısının aylara göre değişimi.....	90
Şekil 4.27. Kayseri için yıllık optimum açığa göre güneş ışınlam değerleri.....	91
Şekil 4.28. Konya için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü	93
Şekil 4.29. Konya için eğim açısının aylara göre değişimi.....	93
Şekil 4.30. Konya için yıllık optimum açığa göre güneş ışınlam değerleri.....	95
Şekil 4.31. Muğla için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü	96
Şekil 4.32. Muğla için eğim açısının aylara göre değişimi	97
Şekil 4.33. Muğla için yıllık optimum açığa göre güneş ışınlam değerleri	98
Şekil 4.34. Sinop için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü	100
Şekil 4.35. Sinop için eğim açısının aylara göre değişimi	100
Şekil 4.36. Sinop için yıllık optimum açığa göre güneş ışınlam değerleri	102
Şekil 4.37. Van için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü	103
Şekil 4.38. Van için eğim açısının aylara göre değişimi.....	104
Şekil 4.39. Van için yıllık optimum açığa göre güneş ışınlam değerleri.....	105
Şekil 4.40. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – Ankara	106
Şekil 4.41. Polimetrik Merlin - II modelinin deklinasyon eğrisi – Ankara	107
Şekil 4.42. Polimetrik Merlin - III modelinin deklinasyon eğrisi – Ankara.....	107
Şekil 4.43. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – Bursa.....	109
Şekil 4.44. Polimetrik Merlin - II modelinin deklinasyon eğrisi – Bursa.....	110
Şekil 4.45. Polimetrik Merlin - III modelinin deklinasyon eğrisi – Bursa.....	110
Şekil 4.46. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – Edirne	112
Şekil 4.47. Polimetrik Merlin - II modelinin deklinasyon eğrisi – Edirne.....	112

Şekil 4.48. Polimetrik Merlin - III modelinin deklinasyon eğrisi – Edirne	113
Şekil 4.49. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – Erzurum	114
Şekil 4.50. Polimetrik Merlin - II modelinin deklinasyon eğrisi – Erzurum	115
Şekil 4.51. Polimetrik Merlin - III modelinin deklinasyon eğrisi – Erzurum	115
Şekil 4.52. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – Gaziantep	117
Şekil 4.53. Polimetrik Merlin - II modelinin deklinasyon eğrisi – Gaziantep	117
Şekil 4.54. Polimetrik Merlin - III modelinin deklinasyon eğrisi – Gaziantep	118
Şekil 4.55. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – Hatay	119
Şekil 4.56. Polimetrik Merlin - II modelinin deklinasyon eğrisi – Hatay	120
Şekil 4.57. Polimetrik Merlin - III modelinin deklinasyon eğrisi – Hatay	120
Şekil 4.58. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – İstanbul	122
Şekil 4.59. Polimetrik Merlin - II modelinin deklinasyon eğrisi – İstanbul	122
Şekil 4.60. Polimetrik Merlin - III modelinin deklinasyon eğrisi – İstanbul	123
Şekil 4.61. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – İzmir	124
Şekil 4.62. Polimetrik Merlin - II modelinin deklinasyon eğrisi – İzmir	125
Şekil 4.63. Polimetrik Merlin - III modelinin deklinasyon eğrisi – İzmir	125
Şekil 4.64. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – Kayseri	127
Şekil 4.65. Polimetrik Merlin - II modelinin deklinasyon eğrisi – Kayseri	127
Şekil 4.66. Polimetrik Merlin - III modelinin deklinasyon eğrisi – Kayseri	128
Şekil 4.67. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – Konya	129
Şekil 4.68. Polimetrik Merlin - II modelinin deklinasyon eğrisi – Konya	130
Şekil 4.69. Polimetrik Merlin - III modelinin deklinasyon eğrisi – Konya	130
Şekil 4.70. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – Muğla	132
Şekil 4.71. Polimetrik Merlin - II modelinin deklinasyon eğrisi – Muğla	132
Şekil 4.72. Polimetrik Merlin - III modelinin deklinasyon eğrisi – Muğla	133
Şekil 4.73. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – Sinop	134
Şekil 4.74. Polimetrik Merlin - II modelinin deklinasyon eğrisi – Sinop	135
Şekil 4.75. Polimetrik Merlin - III modelinin deklinasyon eğrisi – Sinop	135
Şekil 4.76. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – Van	137
Şekil 4.77. Polimetrik Merlin - II modelinin deklinasyon eğrisi – Van	137
Şekil 4.78. Polimetrik Merlin - III modelinin deklinasyon eğrisi – Van	138
Şekil 4.79. Lineer Merlin - I modelinin H eğrisi – Ankara	139
Şekil 4.80. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – Ankara	140
Şekil 4.81. Polimetrik Merlin - III modelin H eğrisi – Ankara	140
Şekil 4.82. Lineer Merlin - I modelinin H eğrisi – Bursa	142
Şekil 4.83. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – Bursa	143
Şekil 4.84. Polimetrik Merlin - III modelin H eğrisi – Bursa	143
Şekil 4.85. Lineer Merlin - I modelinin H eğrisi – Edirne	145
Şekil 4.86. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – Edirne	145
Şekil 4.87. Polimetrik Merlin - III modelin H eğrisi – Edirne	146
Şekil 4.88. Lineer Merlin - I modelinin H eğrisi – Erzurum	147
Şekil 4.89. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – Erzurum	148
Şekil 4.90. Polimetrik Merlin - III modelin H eğrisi – Erzurum	148
Şekil 4.91. Lineer Merlin - I modelinin H eğrisi – Gaziantep	150
Şekil 4.92. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – Gaziantep	150
Şekil 4.93. Polimetrik Merlin - III modelin H eğrisi – Gaziantep	151
Şekil 4.94. Lineer Merlin - I modelinin H eğrisi – Hatay	152

	Sayfa
Şekil 4.95. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – Hatay	153
Şekil 4.96. Polimetrik Merlin - III modelin H eğrisi – Hatay	153
Şekil 4.97. Lineer Merlin - I modelinin H eğrisi – İstanbul.....	155
Şekil 4.98. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – İstanbul.....	155
Şekil 4.99. Polimetrik Merlin - III modelin H eğrisi – İstanbul.....	156
Şekil 4.100. Lineer Merlin - I modelinin H eğrisi – İzmir	157
Şekil 4.101. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – İzmir	158
Şekil 4.102. Polimetrik Merlin - III modelin H eğrisi – İzmir.....	158
Şekil 4.103. Lineer Merlin - I modelinin H eğrisi – Kayseri	160
Şekil 4.104. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – Kayseri	160
Şekil 4.105. Polimetrik Merlin - III modelin H eğrisi – Kayseri.....	161
Şekil 4.106. Lineer Merlin - I modelinin H eğrisi – Konya.....	162
Şekil 4.107. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – Konya	163
Şekil 4.108. Polimetrik Merlin - III modelin H eğrisi – Konya.....	163
Şekil 4.109. Lineer Merlin - I modelinin H eğrisi – Muğla	165
Şekil 4.110. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – Muğla	165
Şekil 4.111. Polimetrik Merlin - III modelin H eğrisi – Muğla.....	166
Şekil 4.112. Lineer Merlin - I modelinin H eğrisi – Sinop	167
Şekil 4.113. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – Sinop.....	168
Şekil 4.114. Polimetrik Merlin - III modelin H eğrisi – Sinop	168
Şekil 4.115. Lineer Merlin - I modelinin H eğrisi – Van.....	170
Şekil 4.116. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – Van	170
Şekil 4.117. Polimetrik Merlin - III modelin H eğrisi – Van.....	171

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Hava kütlelerini etkileyen bileşenler	32
Çizelge 2.2. Bölgesel toplam güneş enerjisi miktarı ve güneşlenme süreleri.....	34
Çizelge 4.1. Ankara için optimum eğim açısı ve ışınım değerleri	60
Çizelge 4.2. Ankara için eğim açısı verim ilişkisi	62
Çizelge 4.3. Bursa için optimum eğim açısı ve ışınım değerleri	64
Çizelge 4.4. Bursa için eğim açısı verim ilişkisi.....	66
Çizelge 4.5. Edirne için optimum eğim açısı ve ışınım değerleri	68
Çizelge 4.6. Edirne için eğim açısı verim ilişkisi.....	69
Çizelge 4.7. Erzurum için optimum eğim açısı ve ışınım değerleri.....	71
Çizelge 4.8. Erzurum için eğim açısı verim ilişkisi	73
Çizelge 4.9. Gaziantep için optimum eğim açısı ve ışınım değerleri.....	75
Çizelge 4.10. Gaziantep için eğim açısı verim ilişkisi.....	76
Çizelge 4.11. Hatay için optimum eğim açısı ve ışınım değerleri	78
Çizelge 4.12. Hatay için eğim açısı verim ilişkisi.....	80
Çizelge 4.13. İstanbul için optimum eğim açısı ve ışınım değerleri.....	82
Çizelge 4.14. İstanbul için eğim açısı verim ilişkisi	83
Çizelge 4.15. İzmir için optimum eğim açısı ve ışınım değerleri	85
Çizelge 4.16. İzmir için eğim açısı verim ilişkisi.....	87
Çizelge 4.17. Kayseri için optimum eğim açısı ve ışınım değerleri	89
Çizelge 4.18. Kayseri için eğim açısı verim ilişkisi.....	90
Çizelge 4.19. Konya için optimum eğim açısı ve ışınım değerleri	92
Çizelge 4.20. Konya için eğim açısı verim ilişkisi.....	94
Çizelge 4.21. Muğla için optimum eğim açısı ve ışınım değerleri	96
Çizelge 4.22. Muğla için eğim açısı verim ilişkisi.....	97
Çizelge 4.23. Sinop için optimum eğim açısı ve ışınım değerleri	99
Çizelge 4.24. Sinop için eğim açısı verim ilişkisi.....	101
Çizelge 4.25. Van için optimum eğim açısı ve ışınım değerleri	103
Çizelge 4.26. Van için eğim açısı verim ilişkisi	104
Çizelge 4.27. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Ankara	108
Çizelge 4.28. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Bursa.....	111
Çizelge 4.29. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Edirne	113
Çizelge 4.30. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Erzurum.....	116
Çizelge 4.31. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Gaziantep.....	118
Çizelge 4.32. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Hatay	121
Çizelge 4.33. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – İstanbul	123
Çizelge 4.34. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – İzmir	126
Çizelge 4.35. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Kayseri	128
Çizelge 4.36. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Konya	131
Çizelge 4.37. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Muğla	133
Çizelge 4.38. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Sinop.....	136
Çizelge 4.39. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Van	138
Çizelge 4.40. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Ankara	141
Çizelge 4.41. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Bursa.....	144
Çizelge 4.42. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Edirne	146

	Sayfa
Çizelge 4.43. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Erzurum.....	149
Çizelge 4.44. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Gaziantep.....	151
Çizelge 4.45. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Hatay	154
Çizelge 4.46. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – İstanbul	156
Çizelge 4.47. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – İzmir	159
Çizelge 4.48. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Kayseri	161
Çizelge 4.49. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Konya	164
Çizelge 4.50. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Muğla	166
Çizelge 4.51. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Sinop.....	169
Çizelge 4.52. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Van	171

1. GİRİŞ

Artan dünya nüfusuna karşılık yerküre üzerinde bulunan doğal kaynaklar kısıtlıdır. Çevre dostu enerji kaynakları ile birlikte hidrokarbon kökenli enerjilere olan talep artmaktadır. Bu talebin altında yatan sebepler ülke nüfuslarının yüksek ivmeli artışı, plansız sanayileşme, sanayileşen nüfusun dağınık ve kontrolsüz bir şekilde şehirleşmesi, teknolojinin hızlı tüketimi vb. olarak sayılabilir.

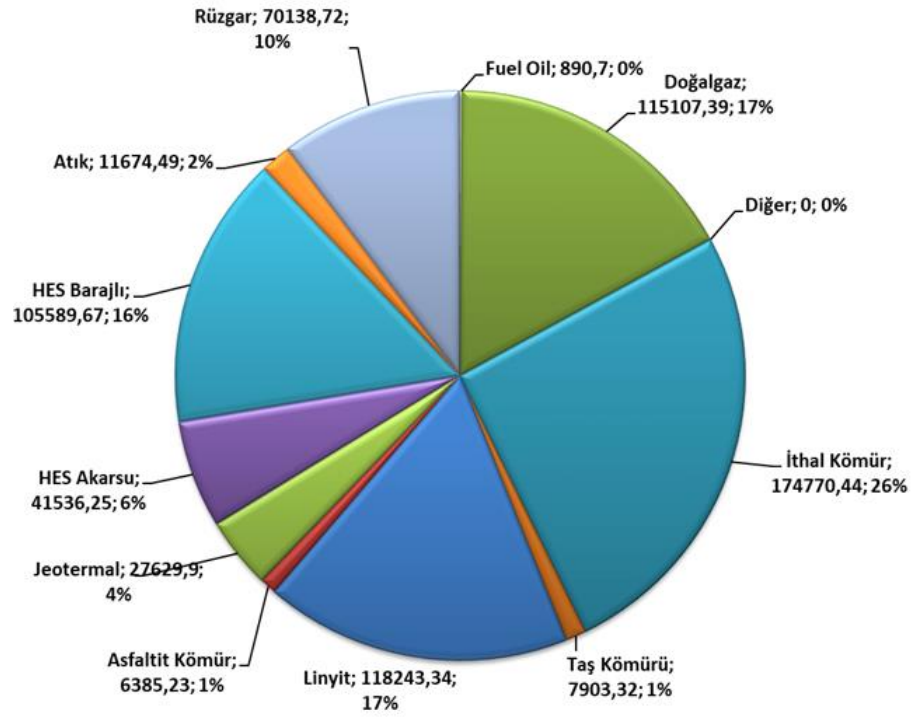
Mevcut üretim faaliyetlerinin karşılanmasına yönelik olarak kısıtlı hidrokarbon kökenli yakıtlara alternatif oluşturan enerji kaynaklarına yönelim artmıştır. Güneş, rüzgar, med-cezir, dalga, biyogaz gibi yenilenebilir enerji kaynakları aynı zamanda alternatif enerji kaynakları içerisinde yer almaktadır (Hua ve ark. 2016).

Ülkemiz fosil enerji kaynaklarına sahip olma konusunda limitli bir imkâna sahip olmasına rağmen başta Güneş ve rüzgâr kaynaklı enerjiler olmak üzere yenilenebilir enerji kaynakları bakımından son derece avantajlı bir konumdadır. 2000’li yılların başından itibaren artan teknolojik olanaklarla beraber kamuoyunda yenilenebilir enerjiye olan farkındalık artmıştır. Özellikle hidrokarbon kökenli yakıtların getirdiği çevre kirliliği sorunlarının artması sebebiyle devlet tarafından yenilebilir enerji konusunda çeşitli kanun ve yönetmelikler hazırlanmıştır. “Enerji Verimliliği Kanunu” da bunlardan biridir (Bulut 2009).

Getirilen bu düzenlemelerin yanı sıra 2012 yılında yürürlüğe giren “Enerji Verimliliği Strateji Belgesi” ile birlikte ülkemiz içerisinde yenilenebilir enerji kullanımı devlet tarafından verilen kredi, hibe, destek, vergi avantajları ve özel sektör politikaları ile desteklenmektedir (Çapık ve ark. 2012).

Gözlenen iklimsel değişimlere bağlı olarak yaz ve kış aylarında ortalama sıcaklıklardan sapmaların artması ile birlikte enerji tüketimi de artmaktadır. Artan bu enerji tüketimin karşılanması yüksek oranda ithal edilen hidrokarbon kökenli yakıtlardan sağlanmaktadır. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (2020) tarafından elektrik üretimine yönelik kullanılan kaynakların dağılımı Şekil 1.1’de verilmiştir.

Gelişmekte olan ülkelerin; gelişmişlik sınıflarında üst seviyelere geçmesini engelleyen en büyük faktörlerden biri de enerji kaynaklarında büyük oranda dışa bağlı olmalarıdır. Bununla birlikte ülkemiz, 1997 - 2005 yılları arasında süren müzakerelerin tamamlanması sonucu 2009 yılında Kyoto Protokolü’de taraf üye statüsüne geçmiştir. Bu protokolün sahip olduğu çevre koruma prosedürlerine ait olası yaptırımların hali hazırda uygulanabilir olması yakın gelecekte ülkemiz adına gerek cezai yaptırımlar gerekse salınan kirletici etmenlerin azaltılmasına yönelik yeni mali yükümlülükler getirme olasılığına sahiptir. Bu ve benzeri sebeplerden ötürü; artan enerji talebinin karşılanabilmesi durumu ve ekolojik faktörler, araştırmacıların yeni enerji kaynakları arayışına girmesini gerektirmektedir (Gençoğlu 2002; Çapık ve ark. 2012).



Şekil 1.1. 2020 Şubat ayı itibariyle ülkemizde elektrik üretimi
(Anonim 2020)

Belirtilen temiz enerji kaynakları dahilinde yer alan Güneş enerjisi; yenilenebilir bir kaynak olup yaygın kullanımı ile birlikte karmaşık teknoloji gerektirmeyen bir yapıya sahiptir. Gelişen teknolojiyle paralel olarak ilerleyen Güneş enerjisi uygulamalarına ait donanımlarının üretimi ve kullanımı sırasında belirgin bir çevre kirliliği meydana

gelmemektedir. Güneş enerjisi alanında günümüzde mevcut birçok uygulamanın hali hazırda kullanılması ve geliştirme çalışmalarının artarak devam etmesi, bu teknolojinin kullanılma olanaklarının artmasına sebep olmaktadır (Gençoğlu 2002).

Ülkemiz, çeşitli çalışmalar dahilinde belirlenen Güneş enerji potansiyeli bakımından dünya genelinde avantajlı bir konumdadır. Bu konum; ekvatora yakınlık ile ilişkili olarak geliş açılarının uygunluğu, güneş ışınlarının birim alan başına düşen yaklaşık 4,0 – 5,2 kWh/m² seviyeleri ile ortalamanın üstünde bir noktadadır (Öztürk 2008, Öztürk ve Kaya 2013). Bununla birlikte yeryüzünün sahip olduğu asimetrik morfolojik yapılar nedeniyle tesisleşme yeterli verimlilikte gerçekleşmemektedir. Ülkemiz dahilinde tespit edilen ve literatürde yer alan kapsamlı çalışmalar detaylı şekilde tez kapsamında ilgili başlıklar dahilinde incelenmiştir.

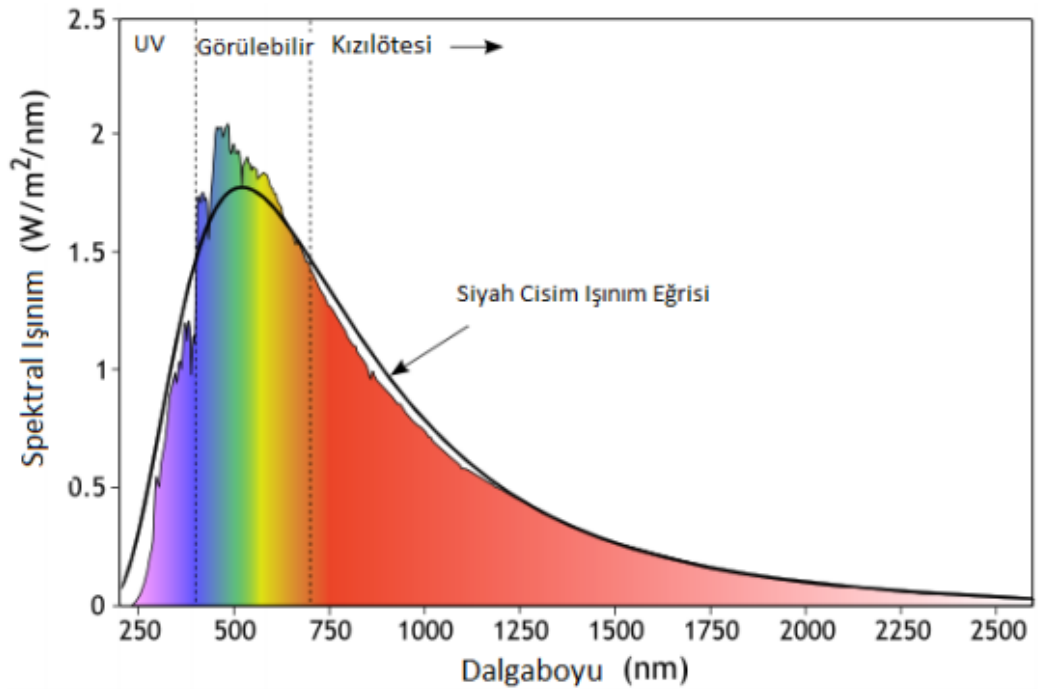
Bu yüksek lisans tezi çalışmasında ise literatüre ek olarak; Türkiye'nin değişik bölgelerindeki elektrik ihtiyacının Güneş panelleri ile karşılanmasına yönelik olarak, farklı bölgelerin coğrafi özellikleri (enlem, boylam vb.) dikkate alınmış ve yıl boyunca oluşan Güneş açıları belirlenmiştir. Sonraki aşamada, güneş açılara bağlı olarak farklı coğrafi bölgelerin günlük olarak uygun panel açısı değerleri ortaya konulmuştur. Bu değerlere bağlı olarak panel açılarının optimum olması durumunda üretilebilecek enerji miktarlarının belirlenmesi ve istatistiksel hata testleri uygulanarak en iyi modelin oluşturulması amaçlanmıştır.

Bu kapsamda, Güneş panellerinin yıl boyunca sabit bir açıda olması durumu için ve mevsimsel olarak (yaz-kış veya ilkbahar-yaz-sonbahar-kış) ayarlanabilmesi durumu için en uygun açıların saptanması ile üretilebilecek yıllık toplam enerji miktarları simüle edilerek nokta bazlı verim endeksleri oluşturulmuştur.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Dünyamızın hem ısı hem de ışık kaynağı olarak mevcut canlı yaşamının oluşmasını ve devam etmesini sağlayan Güneş'in bu denli verimli ve süre kıstası olmadan sürdürülebilir özelliklere sahip oluşu, özellikle insanoğlunu Güneş'ten çok çeşitli yaşamsal aktiveleri konu alan alanlarda yararlanmaya itmiştir. Güneş'ten yararlanma çalışmaları günümüzde de hızla devam etmektedir (Esin 2012).

Güneş enerjisinin temeli, içerisinde bulunan hidrojen gazının radyoaktif ışınım ile helyuma dönüşmesi şeklindeki çekirdek tepkimesinden oluşan füzyon süreci sonucunda açığa çıkan enerjinin yayınımindan kaynaklanmaktadır. Bu enerji yayınımlı farklı güç spektrumlarına sahip olmakla birlikte Foukal ve Lean (1990) tarafından belirlenen dalga boyları ve bu dalga boylarına ait spektrum aralıkları ile atmosfer dışı, atmosfer içi ve yeryüzündeki farklı değerleri almaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Güneş ışınım spektrumu (Foukal ve Lean 1990)

Güneş'e ait çekirdek başta olmak üzere yüzeye kadar yer alan çeşitli katmanlarda oluşan füzyon tepkimeleri sonucu açığa çıkan enerji, ışınım yoluyla uzaya yayılmaktadır.

Güneş'ten Dünya üzerine gelen ışınımın gücü 1366 W/m^2 olup atmosfer ve havanın düşük frekanslı bu ışınımı soğurma etkisi sebebiyle yerküre üzerine ortalama 1100 W/m^2 değerinde bir enerji aktarımı gözlenmektedir (Altın 2002; Gilbert 2004).

Güneş ışınlarının yeryüzüne ulaşması sonucu artan sıcaklık ile birlikte tüm canlılar bazında yaşamsal aktiviteleri oluşmaktadır. Bunun yanı sıra yaşamsal döngüler (mevsimler, yerküre üzerinde buzul-su seviyesi dengeleri vb.) ve okyanuslarda gözlenen akıntılar, rüzgârlar vb. meydana gelmektedir (Ewing 2003).

Güneş enerjisi diğer pek çok enerji türlerinin de doğrudan veya dolaylı yollardan kaynağı konumundadır (Gilbert 2004). Bununla birlikte özellikle hidrokarbon kökenli yakıtlara kıyasla doğrudan veya dolaylı yoldan çevre kirliliği oluşturmaması, dağıtımının ve iletiminin mevcut iletim hatlarıyla sorunsuz şekilde sağlanması, yakın gelecekte tükenmeyecek olması, bakım maliyetlerinin az olması vb. artıları ile hızlı nüfus artışı gösteren Dünya düzenine son derece uygun bir enerji kaynağıdır (Esin 2012; Altın 2002).

Bununla birlikte Güneş ışınlarının Dünya'ya ulaşmasında gözlenen atmosferik koşulların yanı sıra mevsimsel ve iklimsel koşullar ile yerel değişkenler etkilidir. Bu değişkenlere bağlı olarak gelen ışınlar için enerji spektrumu lokasyon bazlı farklılık göstermekte ortalamadan sapmaların bulunduğu enerji periyodu grafikleri oluşturmaktadır. Lokasyona bağlı olumsuz etkiler ise farklı çözümler ile konuma ait enerji panelleri üzerinde yapılan çözümler ile kısmi olarak giderilebilmektedir (Santamouris ve ark. 1999).

2.1. Güneşin Bileşimi

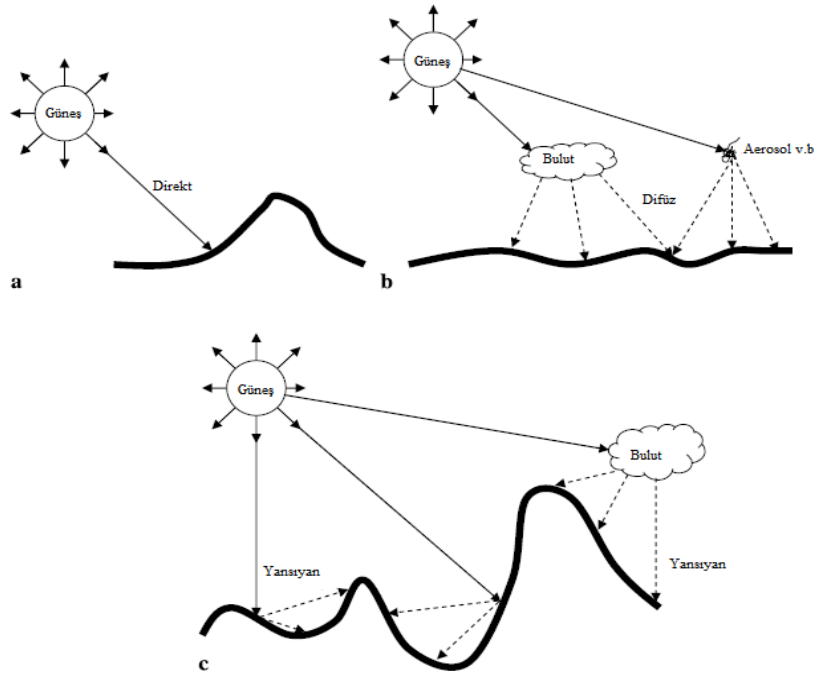
Güneş'in iç yapısı, farklı yoğunlukta katmanlara sahip olup %78.5'i Hidrojen, %19.7'si Helyum ve ~%2'lik kısmı ergiyik malzemelerden oluşmaktadır (Altın 2002). Hidrojen çekirdekleri Güneş'in çekirdeğinde (inner core) ve çekirdeğe yakın katmanlarında (outer core) tepkimeye girerek Helyum çekirdeklerini oluşturur. Bu radyoaktif tepkimeler sonucunda dört adet Hidrojen atomu, aynı nötron sayısına sahip bir adet Helyum atomuna dönüşmektedir. Nükleer füzyon süreciyle ortaya çıkan yüksek miktarda ışıınım enerjisi harcanan proton miktarından oluşan kütle farkından dolayı ortaya çıkmaktadır (Esin 2012). Enerjinin korunum prensiplerine istinaden bu kütle farkı enerji türlerinde uzay boşluğuna yayılmaktadır. Bu enerji Kılıç ve Öztürk (1983) tarafından yapılan bir çalışmada; "Güneş'te, saniyede 564 milyon ton hidrojenin 560 milyon ton helyuma dönüşmesi sonucunda yitirilen dört milyon ton kütlede 38×10^{22} kJ enerji açığa çıkar" şeklinde ifade edilmiştir.

2.2. Güneş Işınımı

Güneş ışıınının çoğu, Güneş'in fotosfer denilen nispeten daha soğuk olan yüzeyinden gelmekte olup, ışıınların yeryüzüne gelmesi sırasında morötesi, gama ve X ışıınları da dahil tüm spektrumu ihtiva etmektedir (Ewing 2003). Güneş ışıınları, Dünya atmosferinden geçerken zararlı olan ışıınların çoğu ile görülebilir dalga boyundaki ışıığın bir kısmı filtrelenmektedir. Atmosfer dışında birim alana dik gelen güneş ışıınının ortalama değerine Güneş sabiti (1366 W/m^2) denilmektedir. Bu değer; Dünya - Güneş mesafesine bağlı olduğundan ve dünya yörüngesinin de eliptik olmasından dolayı sürekli değişkenlik göstermektedir (Altın 2002).

Atmosfer dışından gelen güneş ışıınılarının atmosferi geçmesi esnasında iyonosfer bölgesinde bulunan ağır oksijen parçacıkları tarafından ilk soğrulma etkisine uğramaktadır. Burada filtrelenen güneş ışıını (atmosferik ışıınım olarak adlandırılmakta) atmosfer içindeki partikül, toz ve diğer moleküller vasıtasıyla yansımaya veya saçılmaya uğramaktadır. Güneş ışıınının bu bölümüne *difüz* ve *yansıyan* güneş ışıını, doğrudan yeryüzüne ulaşan kısmına da *direkt* güneş ışıını

denilmektedir (Şekil 2.2). Difüz ışınım ile yansıyan ışınım arasındaki temel fark, difüz ışınımın atmosferdeki parçacıklardan gelmiş olması, yansıyan ışınımın ise yeryüzündeki ağaç, kar, ayna vb. diğer yeryüzü cisimlerinden yansıtılarak alınmış olmasıdır. Yeryüzüne gelen toplam güneş ışınımı, direkt, difüz ve yansıyan güneş ışınımının toplamına eşittir (Santamouris ve ark. 1999; Gueymard, 2000; Li ve ark. 2000; Notton ve ark. 2006).



Şekil 2.2. Yeryüzüne gelen güneş ışınımının dağılımı

Optimum yöndeki birim yüzeye düşen güneş ışınımının güç yoğunluğu ve dolayısıyla elde edilen enerji miktarı; neredeyse bir litre petrolün verebileceği enerji miktarına tekabül etmektedir. Bu kapsamda sadece dünya üzerindeki kara parçalarına gelen güneş ışınımının enerji karşılığı, dünyada yıllık bazında toplam tüketilen enerji miktarından yaklaşık olarak 2 900 kat fazladır (Yılmaz ve Bulut 1996; Yılmaz 2013).

Yeryüzüne gelen güneş ışınımı çok sayıda değişkenin fonksiyonu olup bu değişkenlere ait faktörler Bulut ve ark. (1999) tarafından aşağıdaki şekilde belirtilmiştir;

- Astronomik faktörler (Güneş sabiti, Dünya - Güneş mesafesi, deklinasyon açısı)
- Coğrafik faktörler (bulunan yerin enlemi, boylamı ve deniz seviyesinden yüksekliği)

- Geometrik faktörler (yüzeyin azimut açısı, yüzeyin eğimi, güneş yükseklik açısı, güneşin azimut açısı)
- Fiziksel faktörler (hava moleküllerinin saçılımı, atmosferdeki su buharının azalması, tozların saçılımı, ozon ve karbondioksitin enerjiyi kendi iç tepkimelerinde kullanması vs.)

Belirlenen bu faktörlerin hepsinin etkisini teorik olarak hesaplamak amacıyla, ölçülen Güneş ışınımı verilerinden yararlanılarak geliştirilen ampirik eşitlikler kullanılmaktadır.

2.3. Dünya Güneş İlişkisi

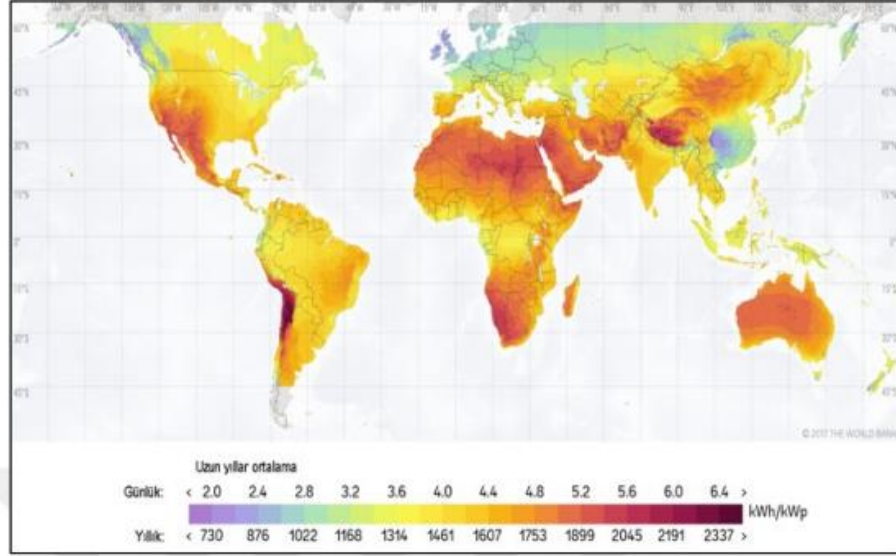
Güneş, Dünya'nın kütlesinin 330 000 katından daha büyük, ortalama 150 milyon km uzaklıkta, 1,3 milyon katı büyüklüğünde, 2×10^{27} ton kütleyle sahip ve 7×10^5 km yarıçaplı, sıcak bir gaz kütesidir. Güneş'ten çıkan enerji miktarı 3.8×10^{20} MW civarındadır (Anonim 2018; Altın 2002). Yerküreyi saran atmosfer bu enerjinin %6'sını yansıtır ve %16'sını da belirtilen faktörlerin etkileşimiyle sönmölemektedir. Bundan dolayı yeryüzüne ulaşan Güneş ışınım yoğunluğu genel olarak 0 - 1 100 W/m² değerleri arasındadır (Altın 2002). Yerkürenin Güneş ile mesafesi yılda %3,5 oranında değişmekte olup atmosfer dışından gelen ışınım yıl bazlı ortalamalarda 1 325 ile 1 420 W/m² arasında değişmektedir.

Belirtilen bu avantajlardan dolayı Dünya üzerinde Güneş enerjisinin kullanım oranı 2000'li yılların başından günümüze artmakta olup, her ülkede farklı seviyelerde güneş enerjisinden yararlanıldığı gözlenmektedir (Xu ve ark. 2017). Şekil 2.3'de Dünya'ya ait güneş enerjisi haritası verilmektedir.

Dünya'nın kuzey - güney enlemleri güneş enerjisinden maksimum faydalanan bölgeler olup yıl içerisinde 3 500 saate varan Güneş ışınımına ve 7 kWh/m²-gün enerji potansiyeline sahiptir (Aksungur ve ark. 2013).

IRENA istatistiklerine göre; 2017 yılında fotovoltaik enerjiden elektrik üretimi 118 257 618 GWh olan Çin birinci sırada yer almaktadır. Çin'i sırasıyla ABD, Japonya,

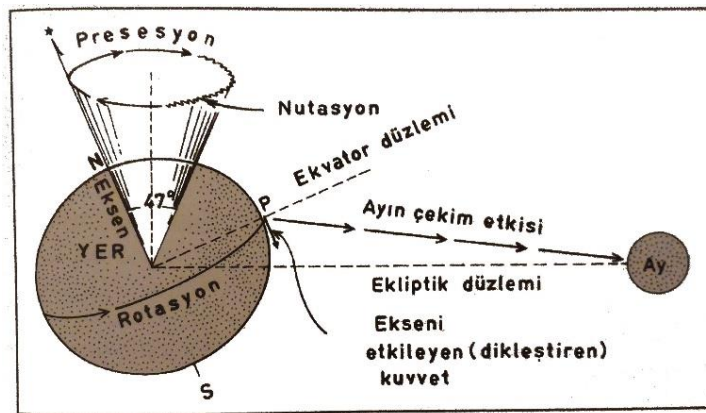
Almanya, İtalya, Hindistan, İngiltere, Fransa, İspanya, ve Avustralya takip etmektedir (Anonim 2018a).



Şekil 2.3. Dünya'nın güneş enerjisi haritası (Anonim 2016)

2.4. Dünyanın Periyodik Hareketleri

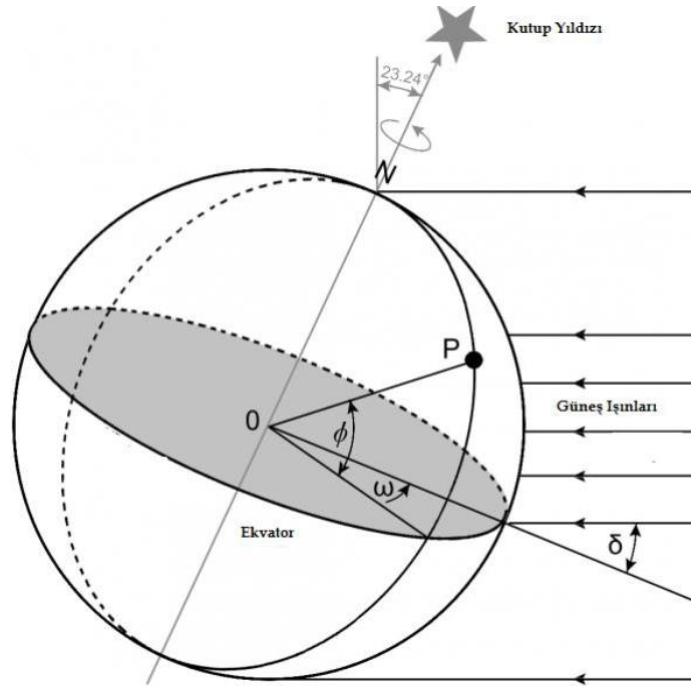
Yerkürenin belirli periyotlar ile kendini tekrarlayan rotasyon, revolusyon ve presesyon olarak adlandırılan üç adet farklı hareketi mevcuttur (Şekil 2.4). Rotasyon olarak adlandırılan hareket yerkürenin bir gün içerisinde kendi eksenini etrafında dönüş hareketini ifade etmektedir (Yılmaz ve Bulut 1996).



Şekil 2.4. Yerküre üzerinde gözlenen kuvvetler (Yılmaz ve Bulut 1996)

Güneş'in sahip olduğu yerküre üzerinde incelemek mümkündür. Bu açıların geliş, faz, frekans ve soğrulma parametrelerinin eğimler özelinde değerlendirilmesiyle güneş ışınlarına ait verimlilik ölçümlerinin yapılabilmesi mümkündür.

Yerkürenin kendi ve Güneş eksenine çevresinde olmak üzere iki adet farklı yörüngesi bulunmaktadır. Belli zaman periyotlarında yerküre üzerine gelen ışınlarla ilgili yapılabilecek hesaplamaların temelinde enlem açısı (ϕ), saat açısı (ω) ve güneş deklinasyon açısı (δ) bulunmaktadır. Şekil 2.6'da yerküre üzerinde yer alan açıları ve birbirleri ile yapmış oldukları bağıntıları görülmektedir.



Şekil 2.6. Enlem (ϕ), saat (ω) ve deklinasyon açıları (δ)

2.6.1. Enlem Açısı

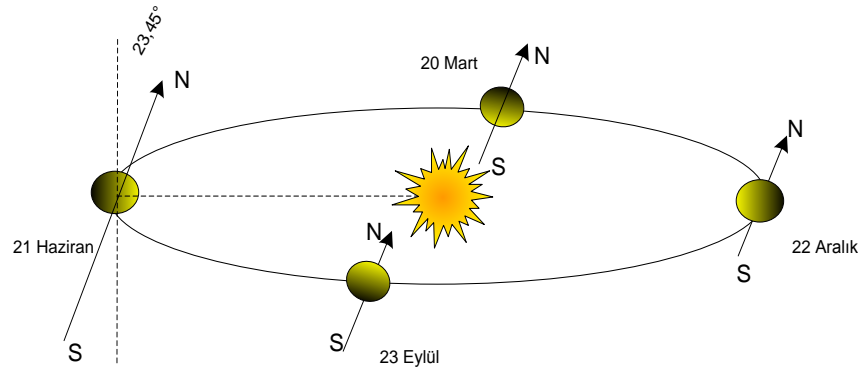
Enlem açısı, konumlandırılan yeri dünya merkezine birleştiren doğrunun ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Ekvatordan kuzeye gidildikçe 0° 'den $+90^\circ$ 'ye kadar değer alırken, ekvatordan güneye gidildikçe 0° 'den -90° 'ye kadar değer almaktadır.

2.6.2. Saat Açısı

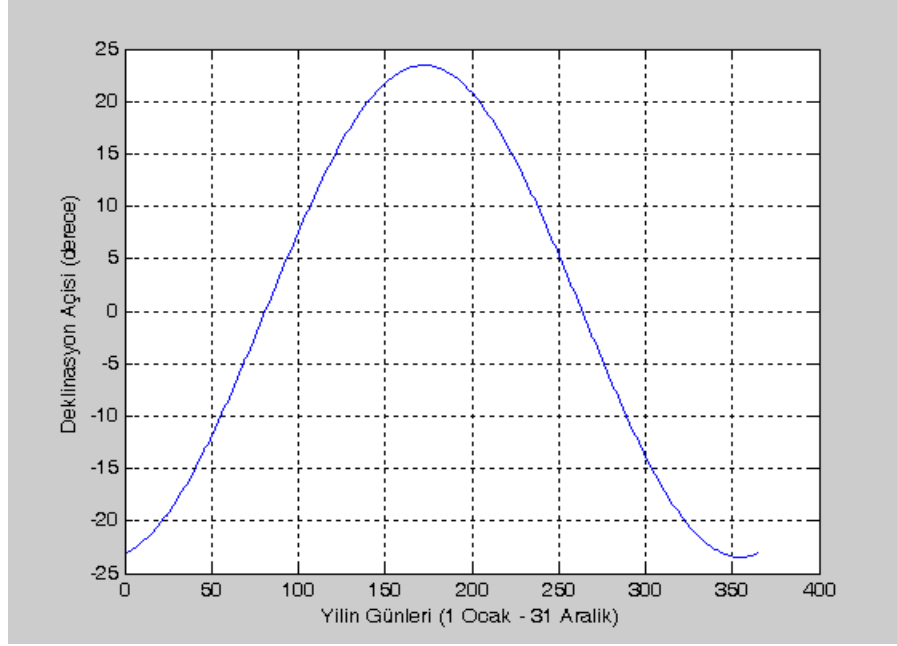
Saat açısı, Güneş ışınlarının bulunduğu boylam ile göz önüne alınan yerin boylamı arasındaki açıdır. Kısaca, zamanın açısal hali denilecek olursa, 1 saat 15° boylama denk gelmektedir. Güneş öğleden önce eksi işaret alırken, öğleden sonra artı işaret almaktadır.

2.6.3 Deklinasyon Açısı

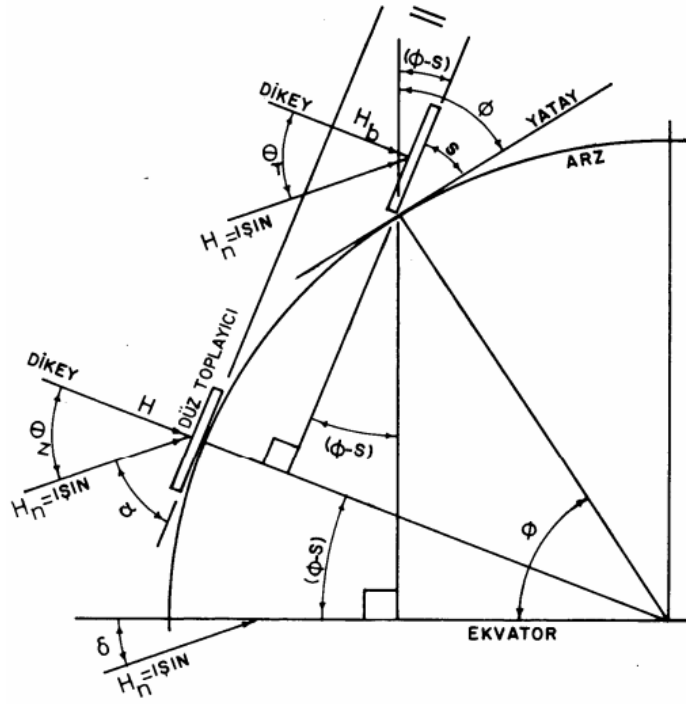
Temel olarak denklinasyon açısı, güneş ışınlarının geliş yönüne göre yerkürenin ekvatorial düzlemi ile yaptığı açı olarak bilinmektedir. Kuzey ve güney yarım küreler için $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$ değerleri arasında değişmektedir (Duffie ve Beckman 1991). Deklinasyon açısı yıl içerisinde farklı değerler almakla birlikte ekinoks dönemlerinde (20 Mart – 23 Eylül) ekvatora dik gelen güneş ışınları sebebiyle sıfır değerini almaktadır (Şekil 2.7). Bununla birlikte 21 Aralık'ta minimum ve 21 Haziran'da maksimum olmak üzere kuzey yarım küre için sınır değerleri almaktadır. Bu açıya ait değişim Şekil 2.8'de ve ilişkileri ise Şekil 2.9'da görülmektedir (Duffie ve Beckman 1991).



Şekil 2.7. Güneş'in doğrultusu ve ekinokslar (Duffie ve Beckman 1991)



Şekil 2.8. Deklasyon açısının bir yıl içerisindeki değişimi



Şekil 2.9. Enlem (ϕ), saat (ω) ve deklasyon açılarının (δ) ilişkileri

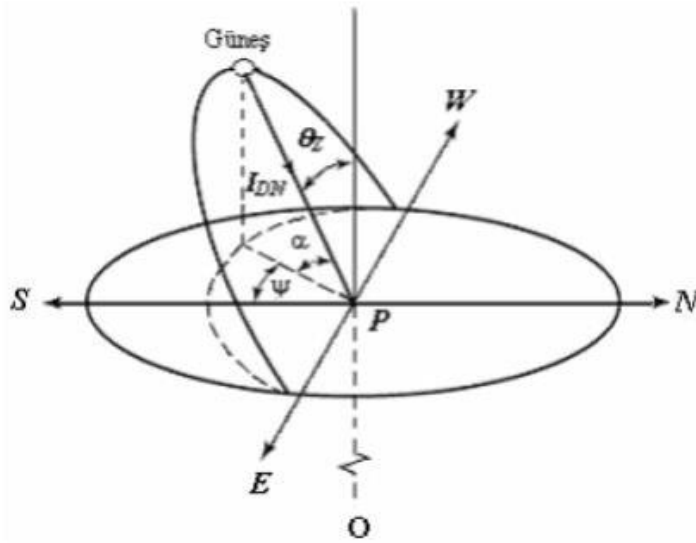
2.7. Türetilen Güneş Açıları

Güneş ışınlarına ait sınır değerlerin yeryüzüne ait farklı eksenler üzerinde hesaplamasına yönelik olarak türetilen açılar zenit açısı (θ_z), güneş yükseklik açısı (α), güneş azimut açısı (ψ), yüzey azimut açısı, güneş geliş açısı ve güneş batış saat açısıdır. İlgili açılar aşağıda alt başlıklar halinde verilmiştir.

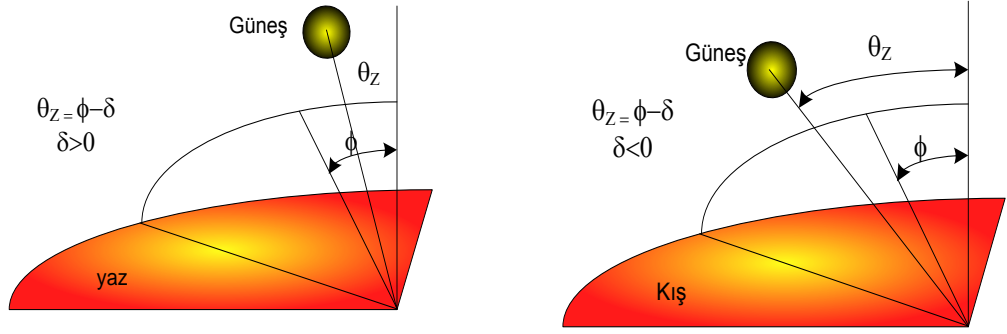
2.7.1. Zenit Açısı

Zenit açısı, doğrudan güneş ışınımı ile yatay düzlemin normali (90° 'ye tamamlanan açı) arasındaki açıdır (Şekil 2.10). Başka bir ifadeyle güneş ışınlarının yatay düzleme geliş açısıdır. Bu açı, güneş doğarken ve batarken 90° iken, güneş ışınlarının dik geldiği zaman ise sıfırdır. (Ramsey 2003).

Güneşin yeryüzü üzerinde yapmış olduğu maksimum sınır açısı; herhangi bir konum üzerine gelen ve gün içerisinde Güneş ışınlarının azami yüksekliğe ulaştığı bir yay şekli olarak betimlenmektedir. Bu hususta; zenit açısı ilgili konum bazında yatay düzlem üzerinde güneşin doğuşu ve batışı sırasında 90° ve öğle saatinde ise (12:00) 0° olmaktadır. Güneşin en yüksek noktada bulunduğu zaman; zenit açısının öğle saatinde 0° olduğu vakittir (Şekil 2.11).



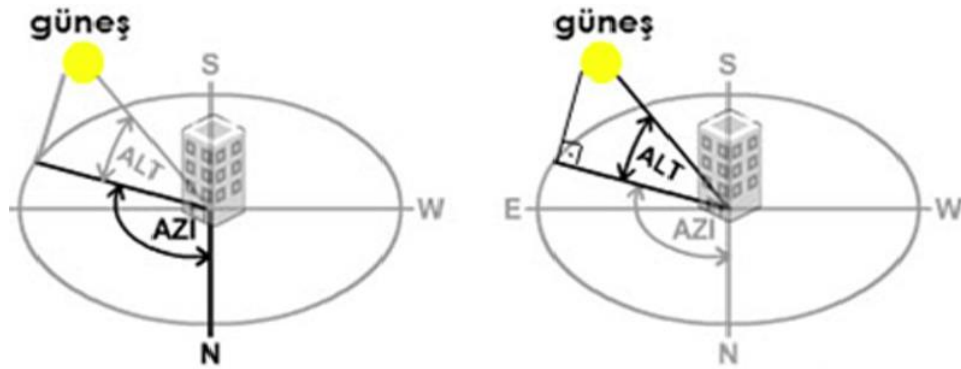
Şekil 2.10. Zenit (θ_z), güneş yükseklik (α) ve azimut (ψ) açıları (Ramsey 2003)



Şekil 2.11. Yaz ve kış mevsimlerinde zenit, deklinasyon ve enlem açıları (Messenger ve Abtahi 2010)

2.7.2. Güneş Yükseklik Açısı

Güneş Yükseklik Açısı (α) yatay düzlem ile güneş çizgisi arasında kalan açı olarak nitelendirilmektedir (Şekil 2.12). Bu açı ile zenit açısı birbirini 90° 'ye tamamlamaktadır (Ramsey 2003).



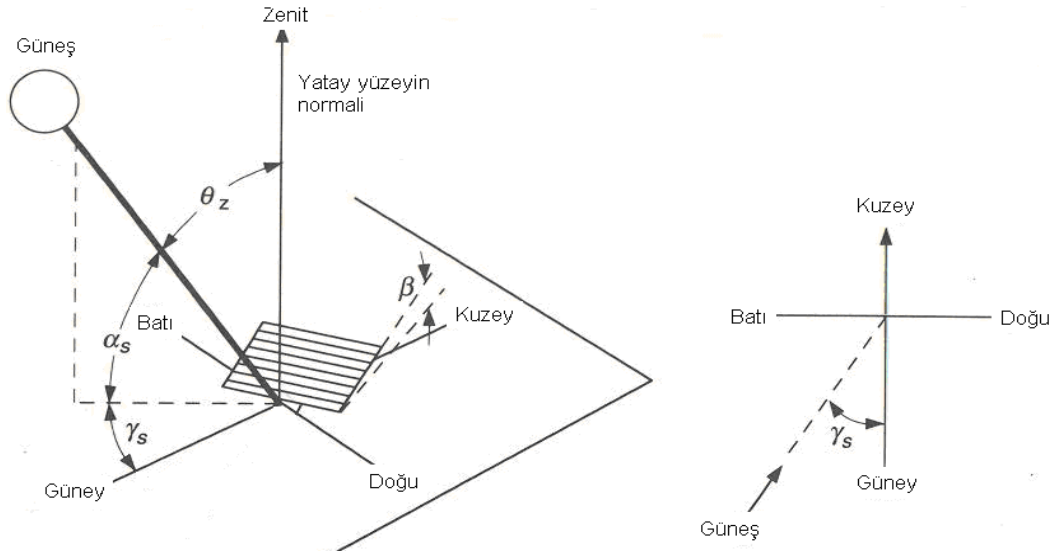
Şekil 2.12. Güneş yükseklik açısı ve azimut açısı

2.7.3. Güneş Azimut Açısı

Güneşin pusula açısı, doğu-batı yönünde hareketi olmasına rağmen, azimut gerçek güneyden bir açı olarak hesaplanabilir (Şekil 2.12). Güneşin öğle saatindeki açısı azimut açısı olarak tanımlanır (Ramsey 2003)

2.7.4. Eğim Açısı

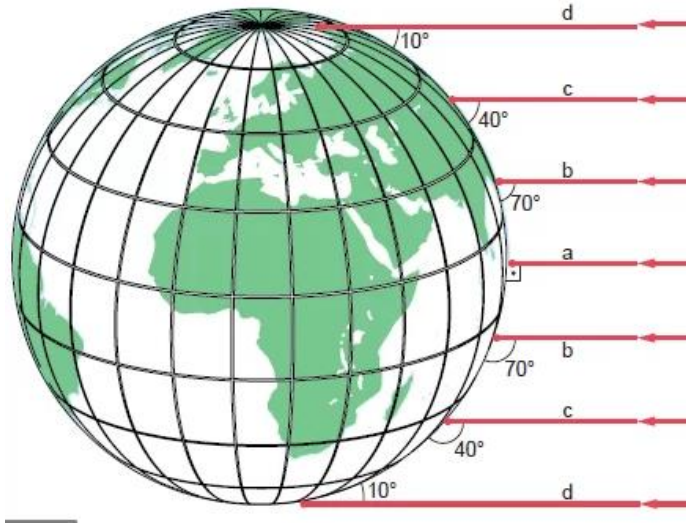
Yeryüzünde bulunan herhangi bir eğimli yüzey ile yatay düzlem arasındaki açıdır. Bu açı sayesinde eğimli yüzeyin güneş ışınlarının geliş eksenine dik olabilmektedir. Yerküre üzerinde kuzey yarımküreden güneye doğru gidildikçe açı değerinin düşmesi beklenmekte olup $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ arasında değer almaktadır (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Güneşle ilgili açıların birbirleri ile ilişkileri

2.7.5. Güneş Geliş Açısı

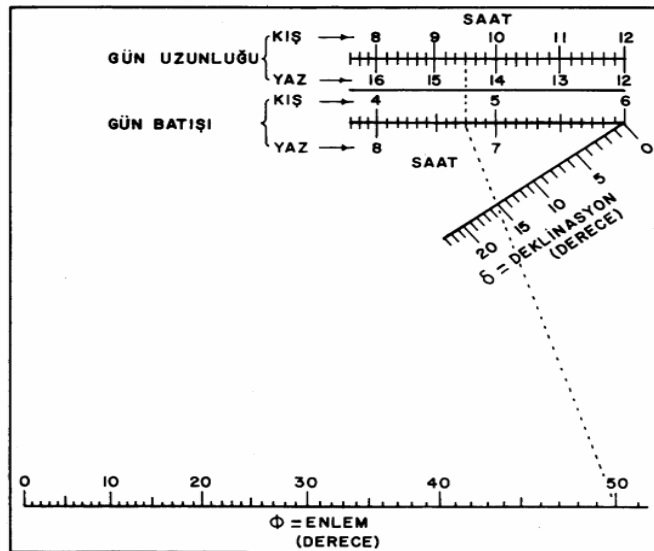
Yeryüzünde bulunan noktalara gelen güneş ışınlarının o yüzeyin normali ile yapmış olduğu açıyı nitelendirmektedir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Güneş geliş ışınlarının dünya üzerinde aldığı açısal değerleri

2.7.6. Güneş Batış Saat Açısı

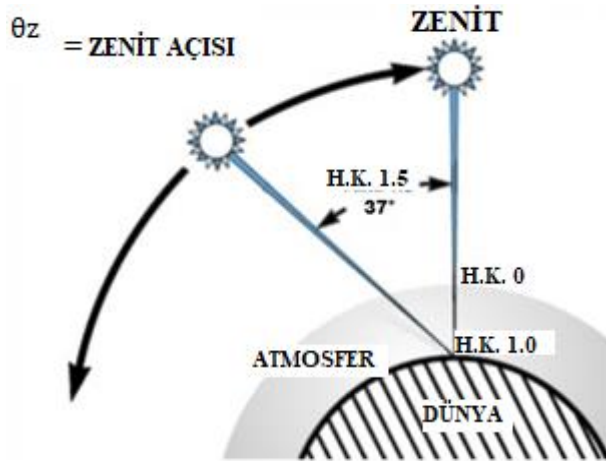
Güneş geliş açılarının ilgili lokasyonlar boyunca hesaplanarak belirli bir konum için gün uzunluğunun hesaplanmasına yönelik uygulamalar batış saat açısının kestirimi şeklinde ifade edilmektedir (Messenger ve Abtahi 2010). Bununla ilgili abak Şekil 2.15’de verilmiştir.



Şekil 2.15. Sabit lokasyonlarda güneş batış saat açısı için kullanılan abak (Messenger ve Abtahi 2010)

2.8. Hava Kütlesi

Hava kütlesi; teorik olarak ışığın kaynağından dünya yüzeyine ulaşması sırasında kat ettiği en kısa mesafede tabakalar halinde farklı fiziksel ve kimyasal özellikler gösteren atmosferi tanımlar. Özellikle güneş ışınının atmosferden geçerken hava ve toz bulutlarından kaynaklı soğurulmasından dolayı enerji ve dalga genliğinde oluşan azalma miktarını içermektedir. Hava kütlesine ait sayısal değer HK sabiti (Şekil 2.16) olarak hesaplamalara $1/\cos\theta$ olarak dâhil olmakta, θ simgesi ise güneş ışınımı ile yeryüzü normali arasındaki açıyı ifade etmektedir (Ramsey 2003). Güneş ışınlarının yerküreye ulaşması sürecinde; ışınların hava kütlesinden geçmesi sırasında ışığın kırılması, dalga boylarında gözlenen düşük frekansların soğurulması ve yüksek frekanslı ışınların dispersiyona uğraması gibi fiziksel ve enerji kaybına sebep olan olaylar meydana gelmektedir.



Şekil 2.16. Hava Kütlesi

Hava kütlesini lokal bazlı etkileyen bileşenler ve etkileri Çizelge 2.1’de verilmiştir (Aksungur ve ark. 2013)

Çizelge 2.1. Hava kütlesini etkileyen bileşenler

Bileşen	Etkileri
Güneş Çıktısı	11 Yıllık Güneş Periyodu
Dünya – Güneş Mesafesi	Yıllık %3,5 Değişim
Bulut ve Su Buharı	Baskın Faktör
Hava Kirliliği	Direkt Işınımın %50 Azaltılması
Orman Yangıları	Bölgesel Bazlı Etkilenme
Volkanik Küller	Küresel Yıllık Etki
Konum ve Gün İçerisinde Değişen Zaman/Mevsim Özellikleri	Güneşin Konumu

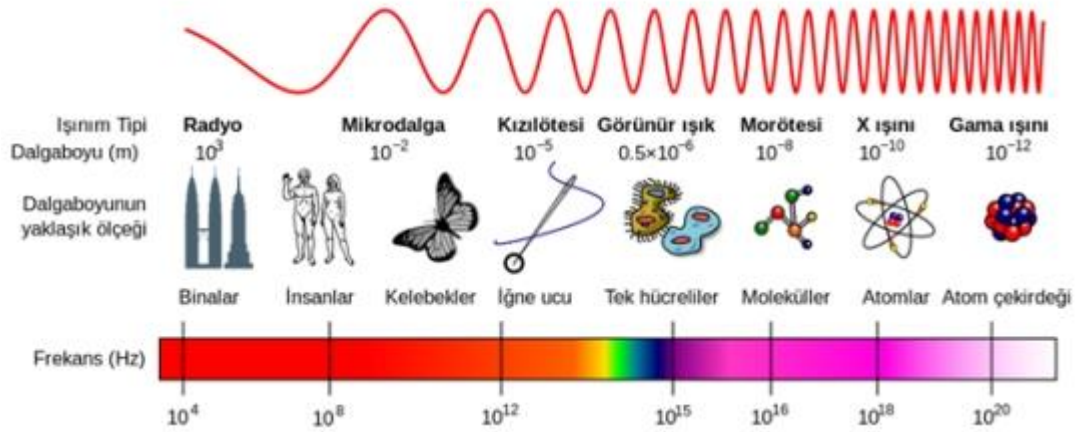
2.9. Güneş Işığı Spektrumu ve Önemi

Güneş enerjisinin atmosfer dışında, birim alana $1\ 400\ \text{W/m}^2$ olarak kabul edildiğinde yılda toplam $3 \times 10^{21}\text{J}$ büyüklüğünde enerji yeryüzüne ulaşmaktadır. Yarıdan fazlasını atmosfer bölgelerinde, $9 \times 10^{20}\ \text{J}$ kadarı karalarda ve bir miktarı da denizlerde soğurulmaktadır. Geriye kalan enerji seviyesi içerisinde çok küçük bir kısmı ($0,15 \times 10^{18}\ \text{J}$) yeryüzünde yer alan bitki örtüsünce fotosentezde kullanılır (Lee ve ark. 2017). Güneş'ten gelen ışık foton enerjisine sahiptir. Foton enerjisi atomların en son enerji düzeyinde bulunan elektronlara etki ederek onları harekete geçirmektedir.

Işığın foton enerjisi; Planck tarafından ortaya konulan $E = h \cdot c / \lambda$ eşitliği ile hesaplanabilmektedir. Bu eşitlikte foton enerjisinin ışığın dalga boyu, hızı ve Planck sabiti ile ilişkili olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak ışığın dalga boyuna göre taşıdığı foton enerjisi $13,59\ \text{eV}$ olduğu durumda hidrojen atomunun ilk orbitalinde bulunan atomların, diğer orbitallere geçişi sağlanmaktadır (Lee ve ark. 2017). Buna istinaden fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi aşağıdaki gibi açıklanabilir:

“Güneş ışınımının sahip olduğu enerji, hücrenin yapısını oluşturan atomlarının son yörüngesindeki elektronları hareketlendirerek fotovoltaik hücrenin elektrik üretmesini sağlamaktadır ”

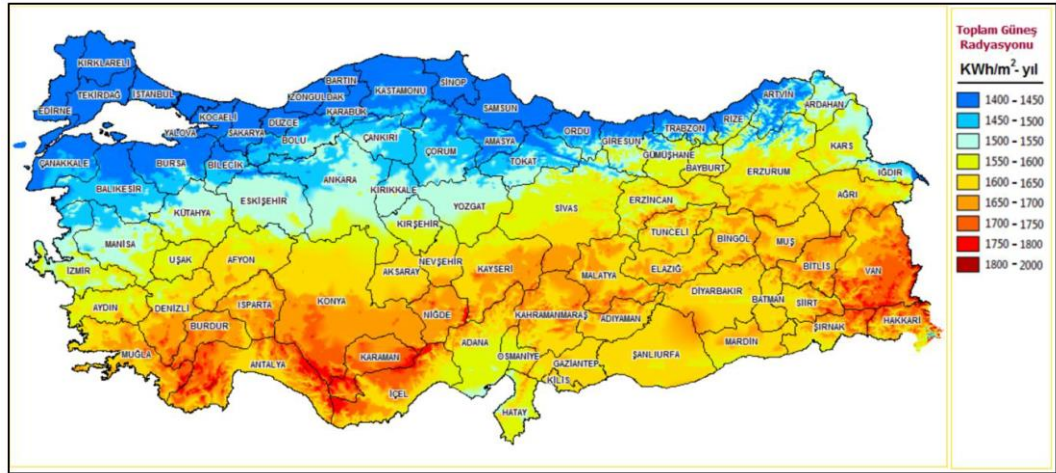
Güneş hücrelerin çalışmasını sağlayan enerji, görünür ışık bölgesindeki foton enerjisidir (Şekil 2.17). Foton enerjisinin değeri, pillerin yapısını oluşturan maddenin son yörüngesindeki enerji değerinden fazla olduğu durumda son yörüngedeki elektronu kopararak harekete geçirir. Bu elektronların malzeme içerisindeki hareketi ise elektrik üretilmesini sağlamaktadır.



Şekil 2.17. Güneş ışınımının sahip olduğu dalga boyu, frekans değerleri (Anonim 2013)

2.10. Türkiye’de Güneş Enerjisi

Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, ülkemizin yıllık toplam güneşlenme süresi 2 741 saat olup günlük olarak ortalaması da 7,5 saate tekabül etmektedir. Bununla beraber ülkemize gelen güneş ışınımının yıllık toplam değeri ise 1 527 kWh/m².yıl olup günlük ortalaması da 4,18 kWh/m².gün olarak tespit edilmiştir (Anonim 2018b).



Şekil 2.18. Türkiye güneş enerji potansiyel atlası (Anonim 2018c)

Ülkemizin en fazla güneş enerjisi potansiyeline sahip bölgesi Güneydoğu Anadolu olup akabinde sırasıyla Akdeniz, Doğu Anadolu, İç Anadolu, Ege, Marmara ve Karadeniz bölgeleri gelmektedir. Güneş enerjisi miktarları ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgesel olarak dağılımı ise Çizelge 2.2’de gösterilmiştir (Şensoy ve ark. 2010).

Çizelge 2.2. Bölgesel toplam güneş enerjisi miktarı ve güneşlenme süreleri (Şensoy ve ark. 2010)

Bölgeler	Toplam Güneş Enerjisi (kW/m ² yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)
Güneydoğu Anadolu	1648	2845
Akdeniz	1548	2737
Doğu Anadolu	1528	2615
İç Anadolu	1523	2519
Ege	1481	2563
Marmara	1329	2250
Karadeniz	1305	1929

2.11. Literatür Araştırması

Güneş panellerinin güneş açıları ile ilgili olan ilişkileri konusunda literatürde incelenen makaleler aşağıda sunulmuştur. Bunlardan ilki Bakırcı'nın (2012) yaptığı çalışmadır. Bu çalışmada Türkiye'de kurulmuş ya da kurulacak olan PV paneller için optimum eğim açısı tespiti yapılmıştır. Bu araştırma yapılırken ülkemizin 8 büyük ilinde yıllık güneş ışınım değerleri ölçülmüş ve optimizasyon yapılmıştır. Bulgulara göre optimum eğim açısı Türkiye için bir yıllık periyotta 0° - 65° arasında olup, Haziran - Temmuz aylarında minimum ve Aralık ayında ise maksimum değerini almaktadır (Bakırcı 2012). Raptis ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada bir yıllık süre zarfında Atina Bölgesi'ne gerçek atmosferik hava koşulları altında gelen güneş ışınım değeri ve bu ışınım değerinden faydalanılabilecekleri optimum eğim açısını hesaplamaya çalışmışlardır. Dört adet piranometreyi Atina Merkez Laboratuvarlarına 1 yıllık periyot ve 1 dakikalık frekans sıklığı değerleri için yerleştirmişler ve ölçüm yapmışlardır. Panellerin düzlem üzerinde farklı yerleşim senaryoları için GHI ve G_lb açılarının değerleri de ölçülmüştür. Optimum açı değerlerini yıllık ortalama 30° olarak bulmuşlardır (Raptis ve ark. 2017).

Abdeen ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada Yukarı Mısır Bölgesi'nde çöl ikliminde bulunan ve 12° , 20° , 30° , 45° değişik eğim açılara sahip panellerin üstünde biriken tozların, çıkış gücü ve verimliliğe etkisini araştırmışlardır. Ayrıca biriken bu tozların panel üstünde oluşturduğu sıcaklık artışı da ölçülmüştür. 10 ay boyunca temizlenmemiş paneller üstünde yapılan çalışmalarda 15° için %43, 20° için %38, 30° için %31, 40° için %25 güç kaybı tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca tozlanan panellerin, tuttuğu toz miktarına bağlı olarak ne kadar sıklıkta temizlenmesi gerektiğine ilişkin bir ampirik eşitlik geliştirilmiştir (Abdeen ve ark. 2017).

Xu ve ark. (2017), sabit eğim açısına sahip paneller için optimum çıkış gücü değerini veren bir eğim açısı formülü geliştirmişlerdir. Bu formülde eğim açısına bağlı olarak etki eden çevresel faktörler (tozluluk ve sıcaklık gibi) göz önünde bulundurulmuş ve HDKR (Hay, Davies, Klucher, Reindl) modeli analiz edilmiştir. Bunun yanında tozluluk değerinin PV paneldeki transmittans (iletkenlik) değerine olan etkileri de araştırılmış ve Matlab ortamında simüle edilmiştir (Xu ve ark. 2017).

Bertrand ve ark. (2018), çatı üstü olarak tabir edilen şehir içi evsel panel uygulamalarından elde edilen güç çıkışına bağlı olarak Belçika'da yıllık güneş ışınım değerlerini hesaplamışlardır. 1 500'e yakın çatı üstü uygulaması projeye dahil edilmiş ve uydu bazlı ışınım hesaplama teknik ve aygıtları ile sonuçlar kıyaslanmıştır. Elde edilen bulgulara göre, faydalanılan güneş ışınım değeri, sistemlerin verimliliğini etkileyen birçok parametreye bağlıdır. Hava durumu, sistemlerin (kümülatif toplamının) birim güç başına kapladığı alan (sistem yoğunluğu) gibi parametreler sistemleri etkileyen veriler arasındadır. Hesaplanmış güneş yansıma verileri, panellerin dizilimini olumsuz anlamda etkilemekte, eğim açılarının ve sistemlerin verimliliği üstündeki etkisini azaltmaktadır. Güneş'in bazı pozisyonları, bu çalışmada kullanılan yaklaşımın daha kaba sonuçlar vermesini sağladığı vurgulanmıştır (Bertrand ve ark. 2018).

Hafez ve ark. (2017), eğim ve azimut açılarının Güneş enerjisi uygulamalarındaki yerine ait bir derleme çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada panellerin yerleşimi ve tasarımında kullanılan parametreler, uygulamalar, simülasyonlar ve matematiksel tekniklerin farklı uygulamalarda nasıl kullanıldığını göstermişlerdir. Ayrıca 1956 yılından günümüze kullanılan güneş takip tekniklerine ve enerji eldesine ait değişik matematiksel modellere (inklinasyon, eğim ve güneş ışınım parametrelerini içeren) çalışmalarında değinmişlerdir (Hafez ve ark. 2017).

Ozbay ve ark. (2017), 10°, 20°, 30°, 40°, 50° ve 60° eğim açısı ile yerleştirdikleri panellerden maksimum güç çıkışının Bilecik için hangi açıda olduğunu tespit etmeye çalışmışlardır. Bu çalışmada güç çıkışının kontrolü raspberry - pi kartı ile yapılmış ve zamana bağlı olarak bilgisayar ortamında kurulan entegre devre vasıtasıyla izlenmiştir (Ozbay ve ark. 2017).

Lee ve ark. (2017), çalışmalarında maksimum enerji elde edilebilecek eğim açısının tespiti için, maksimum güç üretilebilmesine olanak veren tek eksenli güneş takip algoritması geliştirmişlerdir. İlk olarak tek eksenli maksimum güç çıkışına olanak sağlayacak güneş takip sistemleri 50° doğu 50° batı açıları arasında döndürülecek şekilde ayarlanmıştır. Bu dönüş sırasında her bir açı değerine karşılık gelen güç çıkışı

değerleri kaydedilmiş ve en fazla güç çıkışının olduğu eğim açısı değeri tespit edilmiştir. Sonuç olarak tek eksenle Güneş'i takip eden ancak iki eksenle sabit bir sistemin, üç eksenle optimize edilmiş sabit eğim açısının kurulmuş sisteme göre ilkbahar ve sonbahar dönemlerinde %3,4 oranında, yaz döneminde %5,4 ve kış döneminde de %8,3 oranında verim artışına sebep olduğu görülmüştür (Lee ve ark. 2017).

Nadia ve ark. (2018), panel sistemlerin maksimum enerji üretmesi için gereken faktörleri (PV malzeme, coğrafi konum, ortam sıcaklığı ve panelin yerleşimi gibi) ve güneş takip mekanizmalarını, en iyi PV panel yerleşimi için avantaj ve dezavantajları ile kıyaslamışlar ve gelecekte kullanılması muhtemel güneş takip sistem ve sürücülerinden bahsetmişlerdir (Nadia ve ark. 2018).

Babatunde ve ark. (2018), yaptıkları çalışmada, panel sistemlerinin toz, eğim açısı ve yönelim gibi farklılık gösteren şartlar altında verimliliklerini hem teorik hem de pratik olarak kıyaslamışlardır. Çalışma, sahada 1 yıl boyunca toplanan, analitik olarak hesaplanan ve simüle edilen verilerin kıyaslanması şeklinde gerçekleşmiştir. Verilerin toplandığı 3 farklı PV santrali olup bu santrallerin toplam güç çıkışı 1 280 kW olup santral sahaları Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde bulunmaktadır. Sonuç olarak, tozlu ve temizlenmiş sistemler arasında %2,5 farklılık bulunmaktadır. Ayrıca eğim açıları belirlenmiş üç farklı santral sahası için üretilen enerji, analitik yol ile hesaplanan miktara simüle edilen verilerden daha yakın olup %0,3 lük bir ortalama varyans değerine sahiptir (Babatunde ve ark. 2018).

Vasel ve Iakovidis (2017), PV panellerin enerji verimliliğine esen rüzgârın yönünün etkisini araştırmışlar ve bunun için İngiltere'de kurulu olan Hadley Güneş Çiftliği'nden faydalanmışlardır. Araştırmacıların tezine göre aynı güneş ışınım yoğunluğu, ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızında, esen rüzgârın güney yönünden ya da diğer yönlerden gelmesi PV panellerin ürettiği enerji miktarında farklılığa sebebiyet vermektedir. Çalışmalar sonucunda 42 adet çiftli güneş paneli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Panellerin ürettiği enerjiler incelendiğinde, güneyden esen rüzgârın etkisine maruz kalan

panellerin diğerklerine göre daha fazla enerji ürettiğı görülmüştür (Vasel ve Iakovidis, 2017).

Jacobson ve Jadhav (2018), çalışmalarında dünya geneli için coğrafi konuma bağı olarak panel yerleşiminin optimum eğim açısı değerini hesaplamaya çalışmışlardır. Enleme bağı olarak optimum eğim açısını 3.dereceden polinom şeklinde türetmişlerdir. 40° kuzey enlem civarlarında bulunan eğim açıları türetilen eğriye daha yakın sonuçlar vermektedir. Optimum olarak bulunan açılar yatay ve dikey doğrultuda 2 eksenli güneş takip sistemine sahip panellere entegre edilmiştir. Tek eksenli takip sistemine sahip sistemlerinin verimliliğı iki eksenli takip sistemlerine nazaran %1 - 3 arasında farklılık göstermektedir. 75° kuzey - yukarısı ve 60° güney - aşağısı enleminde takip sistemleri en verimli çözümler sağladığı tespit edilmiştir (Jacobson ve Jadhav, 2018).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

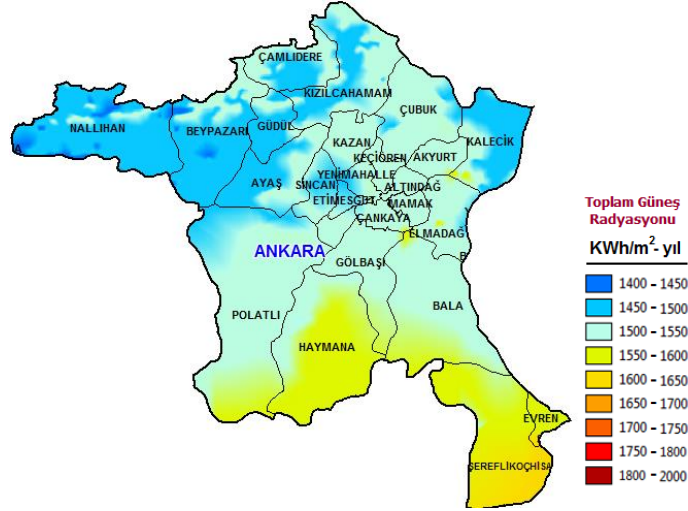
Güneş, yıl içerisinde farklı konumlarda ve farklı zaman dilimlerinde bulunmaktadır. Gün içerisinde de sürekli olarak yer değişkenliği söz konusudur. Bu durumdan dolayı optimal eğim açısı hesaplamaları yapılmaktadır. Güneş kolektörleri için eğim önemli bir parametredir. Güneş panellerinin tasarımı yapılırken, güneş enerjisi potansiyelinden en iyi şekilde yararlanabilmek adına paneller doğru açıda yerleştirilmelidir. Güneş panelleri optimal eğim açısı ile yerleştirildiği takdirde azami düzeyde ışıınım değerleri elde edilmektedir. Güneş enerjisi hesaplamaları yapılırken, kullanılan ışıınım miktarına etki eden faktörler bölgenin coğrafik yapısına ve zamana bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu değişimlerin etkisini minimize hale getirmek için optimum açıda konumlandırmak gerekir. Bu sebepten dolayı güneş panel eğim açısı, enlem değeri yardımıyla hesaplanmaktadır.

Çalışmada Güneş panellerinden yıl boyunca en iyi verimde yararlanabilmek adına ülkemizin koordinatlarını temsilen 36° - 42° enlemleri arasından her bir enleme yönelik olarak on üç farklı şehir seçilmiştir. Bu şehirler; Ankara, Bursa, Edirne, Erzurum, Gaziantep, Hatay, İstanbul, İzmir, Kayseri, Konya, Muğla, Sinop ve Van olarak belirlenmiştir.

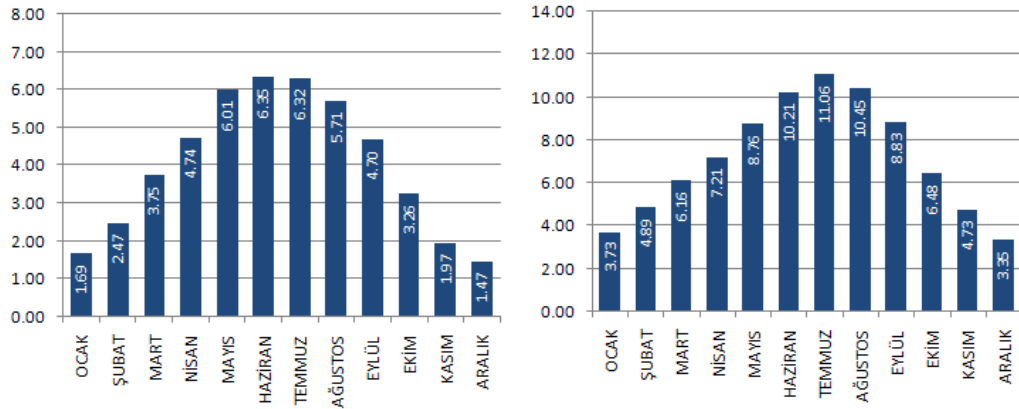
Çalışma kapsamında araştırma bölgesinde belirlenen illere ilişkin güneş ışıınımı yoğunluğu, global radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri Şekil 3.1 - 3.26'da sırasıyla verilmiştir.

Ankara

Coğrafi koordinat sistemine göre Ankara ilinin konumu 39.93° kuzey enlemi ile 32.87° doğu boylamındadır. Yüzölçümü ise $2\,516\text{ km}^2$ olarak verilmiştir.



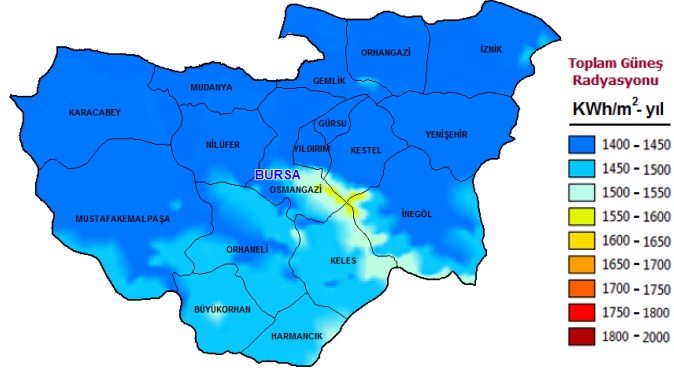
Şekil 3.1. Ankara güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı (Anonim 2018d)



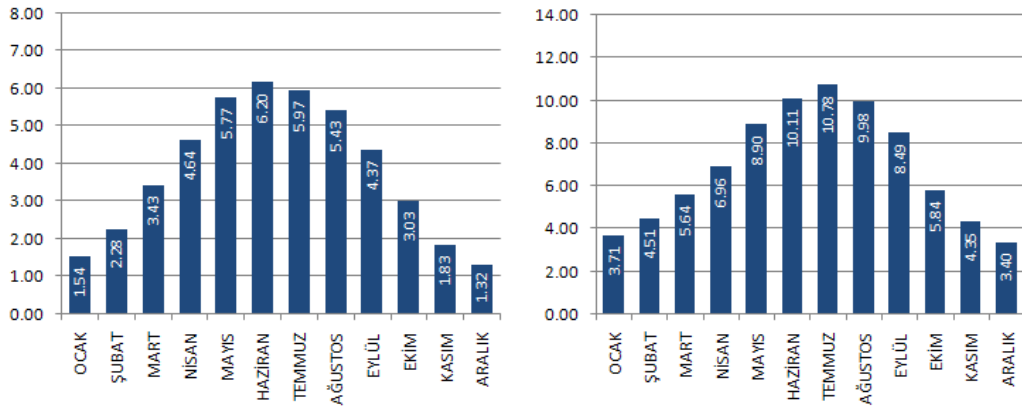
Şekil 3.2. Ankara global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) ve güneşlenme süreleri (saat) (Anonim 2018d)

Bursa

Coğrafi koordinat sistemine göre Bursa ilinin konumu 40.18° kuzey enlemi ile 29.07° doğu boylamındadır. Yüzölçümü ise $1\,036\text{ km}^2$ olarak verilmiştir.



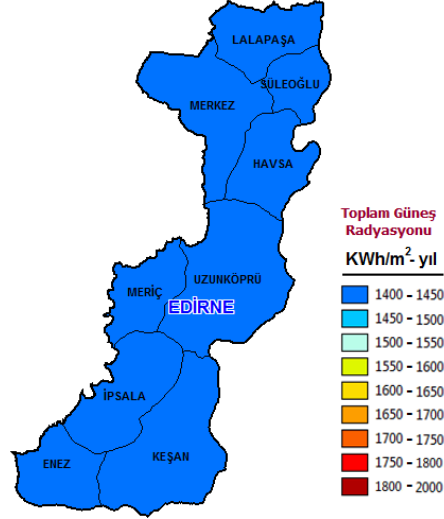
Şekil 3.3. Bursa güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı (Anonim 2018e)



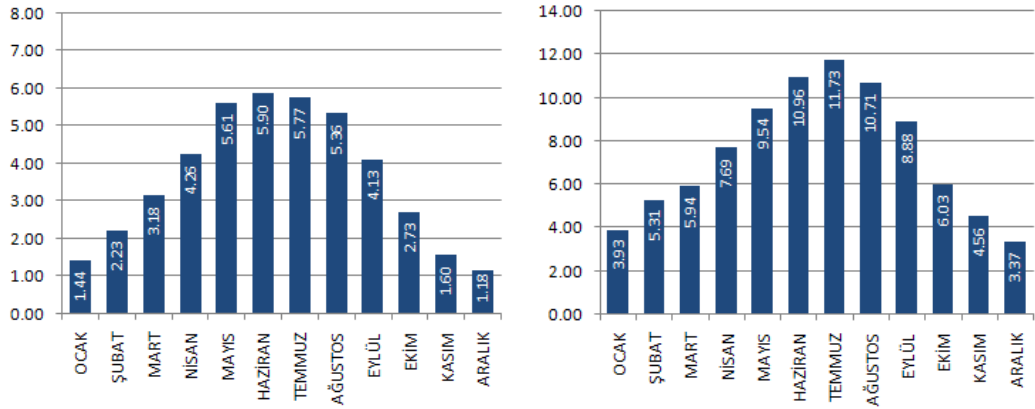
Şekil 3.4. Bursa global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) ve güneşlenme süreleri (saat) (Anonim 2018e)

Edirne

Coğrafi koordinat sistemine göre Bursa ilinin konumu 41.67° kuzey enlemi ile 26.57° doğu boylamındadır. Yüzölçümü ise $6\,279\text{ km}^2$ olarak verilmiştir.



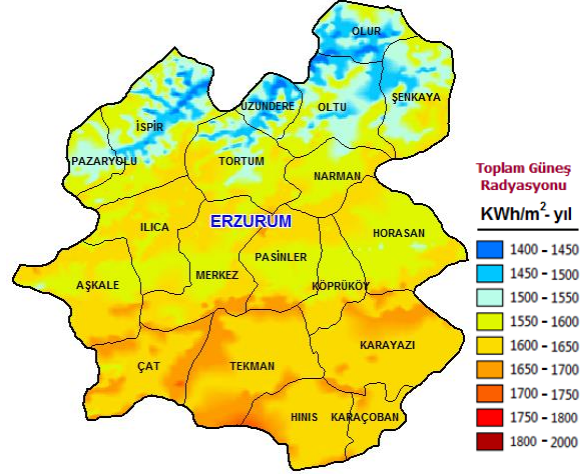
Şekil 3.5. Edirne güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı (Anonim 2018f)



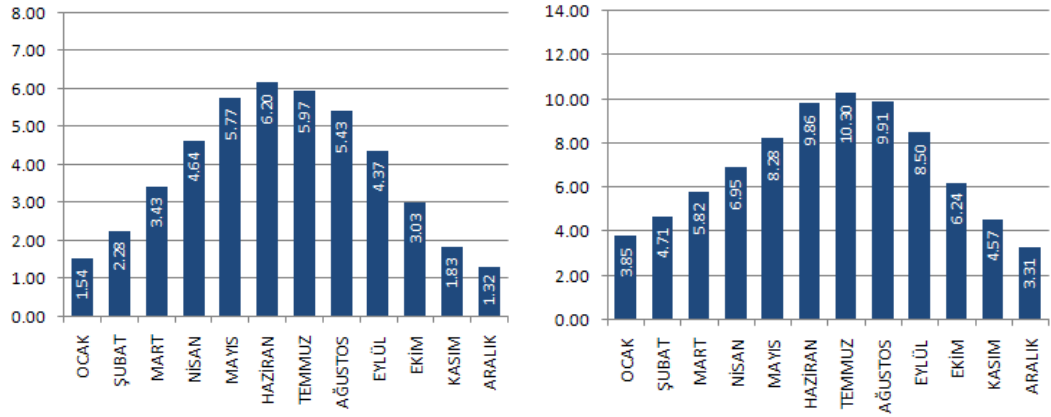
Şekil 3.6. Edirne global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) ve güneşlenme süreleri (saat) (Anonim 2018f)

Erzurum

Coğrafi koordinat sistemine göre Bursa ilinin konumu 39.92° kuzey enlemi ile 41.28° doğu boylamındadır. Yüzölçümü ise 25 066 km² olarak verilmiştir.



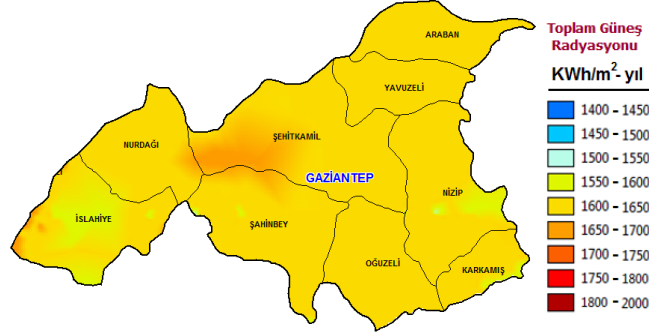
Şekil 3.7. Erzurum güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı (Anonim 2018g)



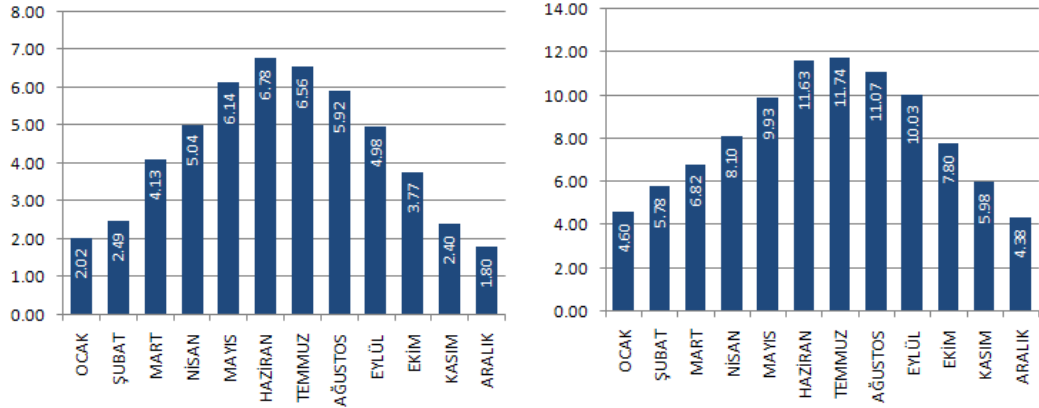
Şekil 3.8. Erzurum global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) ve güneşlenme süreleri (saat) (Anonim 2018g)

Gaziantep

Coğrafi koordinat sistemine göre Hatay ilinin konumu 37.08° kuzey enlemi ile 37.37° doğu boylamındadır. Yüzölçümü ise 7 642 km² olarak verilmiştir.



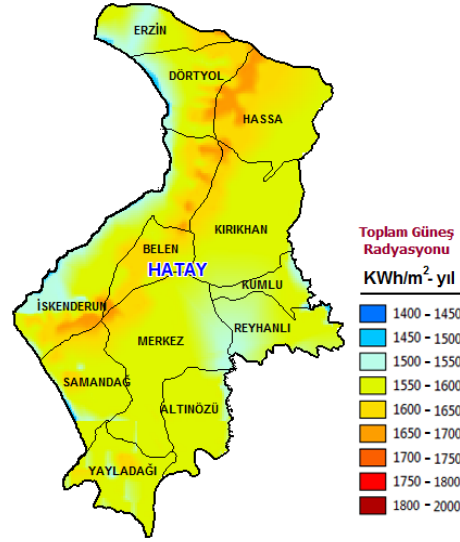
Şekil 3.9. Gaziantep güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı (Anonim 2018h)



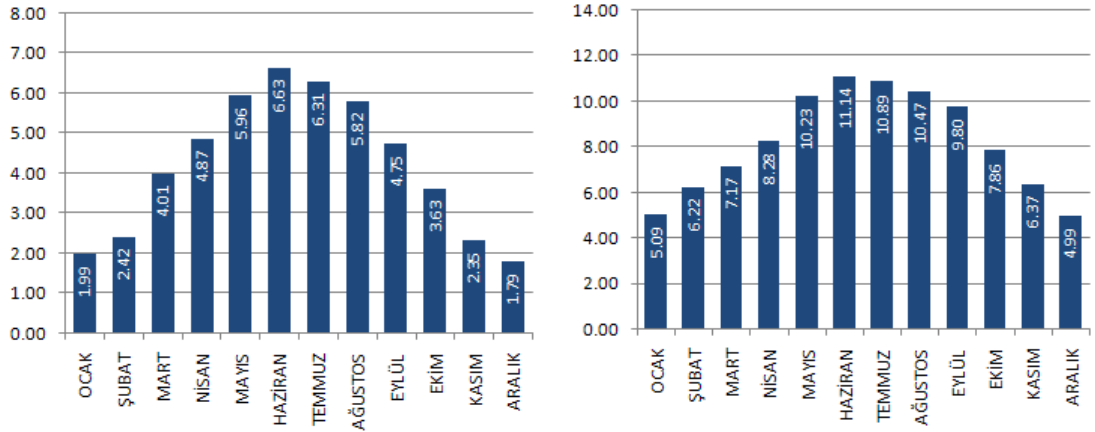
Şekil 3.10. Gaziantep global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) ve güneşlenme süreleri (saat) (Anonim 2018h)

Hatay

Coğrafi koordinat sistemine göre Hatay ilinin konumu 39.92° kuzey enlemi ile 36.16° doğu boylamındadır. Yüzölçümü ise 5 403 km² olarak verilmiştir.



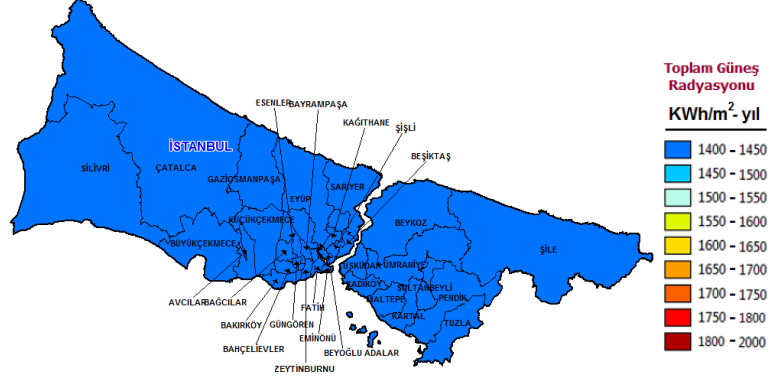
Şekil 3.11. Hatay güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı (Anonim 2018)



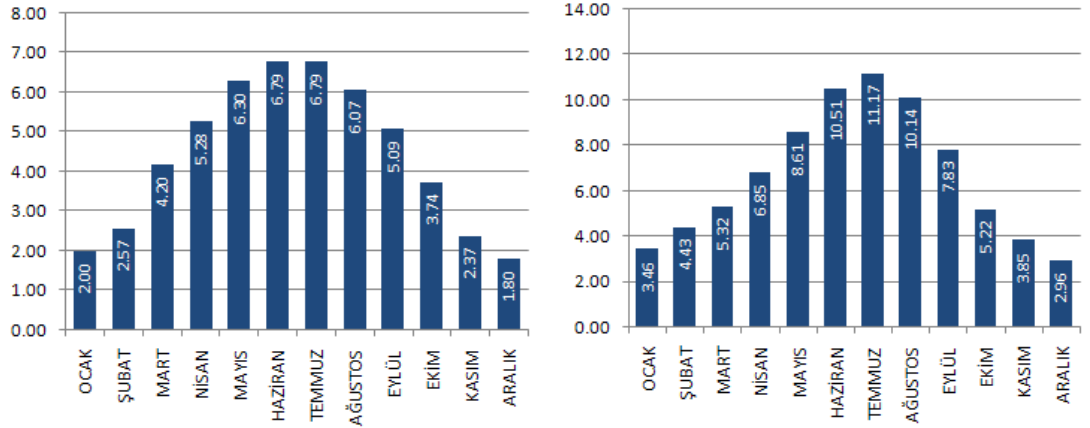
Şekil 3.12. Hatay global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) ve güneşlenme süreleri (saat) (Anonim 2018)

İstanbul

Coğrafi koordinat sistemine göre İstanbul ilinin konumu 41.02° kuzey enlemi ile 28.97° doğu boylamındadır. Yüzölçümü ise 5 461 km² olarak verilmiştir.



Şekil 3.13. İstanbul güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı (Anonim 2018i)



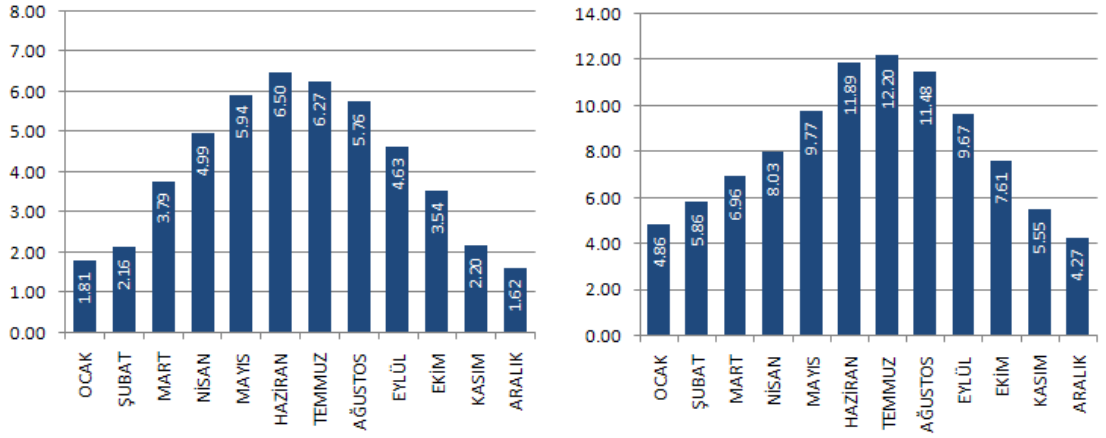
Şekil 3.14. İstanbul global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) ve güneşlenme süreleri (saat) (Anonim 2018i)

İzmir

Coğrafi koordinat sistemine göre İzmir ilinin konumu 38.42° kuzey enlemi ile 27.15° doğu boylamındadır. Yüzölçümü ise 7 340 km² olarak verilmiştir.



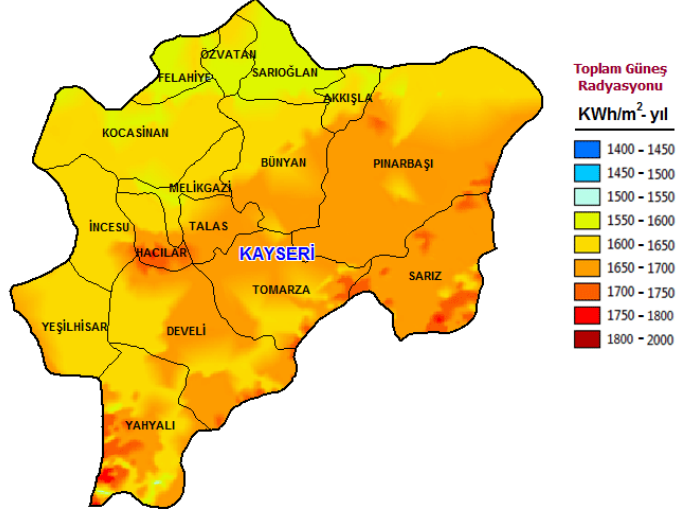
Şekil 3.15. İzmir güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı (Anonim 2018j)



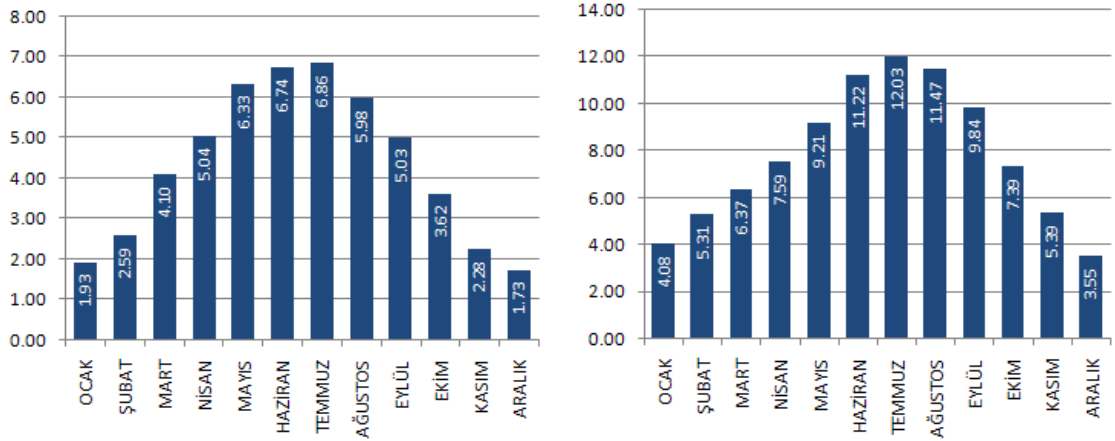
Şekil 3.16. İzmir global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) ve güneşlenme süreleri (saat) (Anonim 2018j)

Kayseri

Coğrafi koordinat sistemine göre Kayseri ilinin konumu 38.72° kuzey enlemi ile 35.50° doğu boylamındadır. Yüzölçümü ise 16 917 km² olarak verilmiştir.



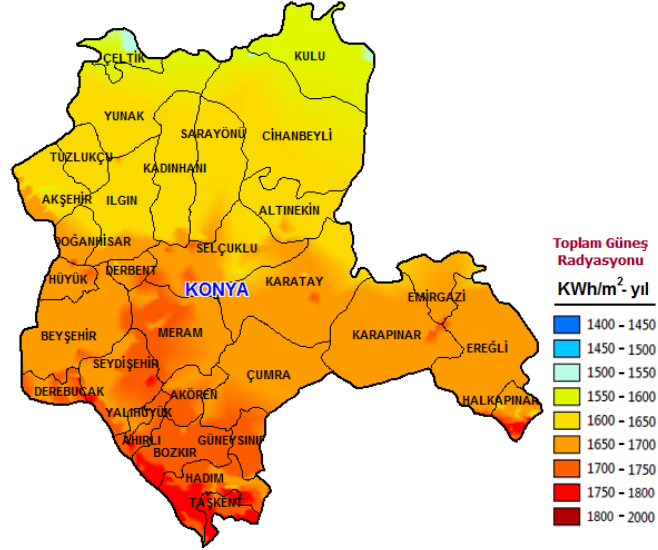
Şekil 3.17. Kayseri güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı (Anonim 2018k)



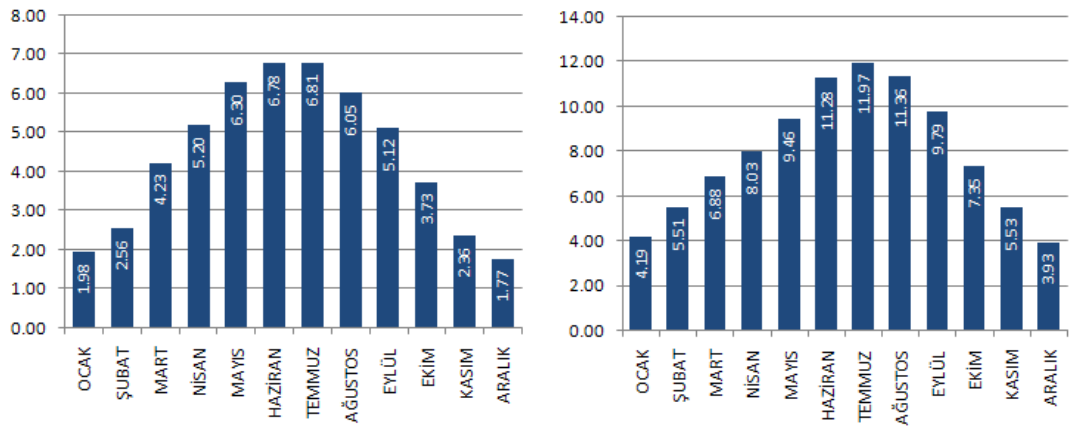
Şekil 3.18. Kayseri global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) ve güneşlenme süreleri (saat) (Anonim 2018k)

Konya

Coğrafi koordinat sistemine göre Konya ilinin konumu, 37.87° kuzey enlemi ile 32.52° doğu boylamındadır. Yüzölçümü ise 38 873 km² olarak verilmiştir.



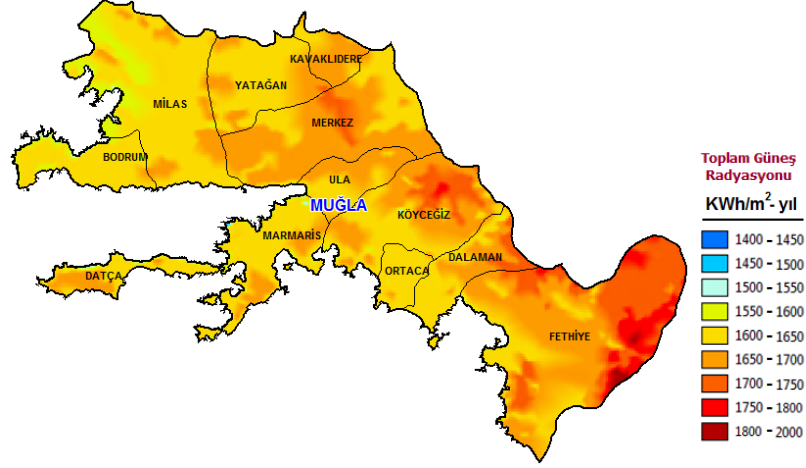
Şekil 3.19. Konya güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı (Anonim 2018)



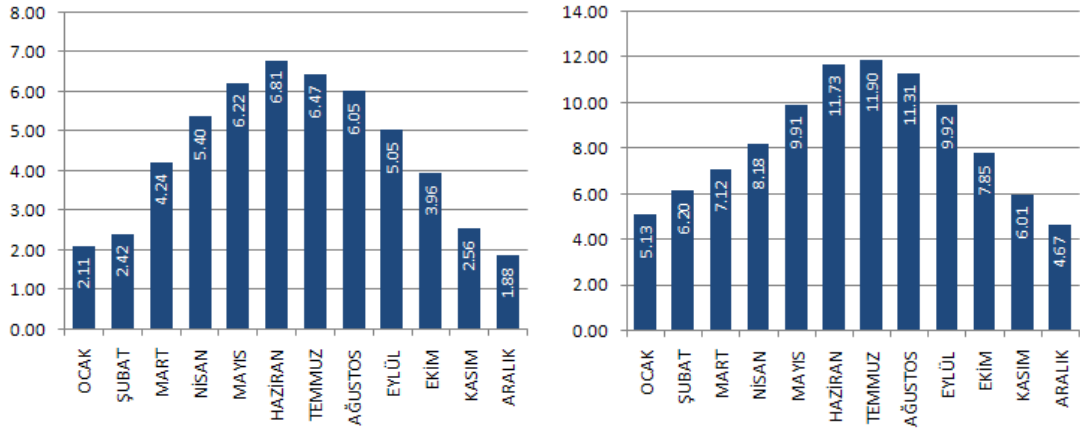
Şekil 3.20. Konya global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) ve güneşlenme süreleri (saat) (Anonim 2018)

Muğla

Coğrafi koordinat sistemine göre Muğla ilinin konumu 37.20° kuzey enlemi ile 28.37° doğu boylamındadır. Yüzölçümü ise $12\,974\text{ km}^2$ olarak verilmiştir.



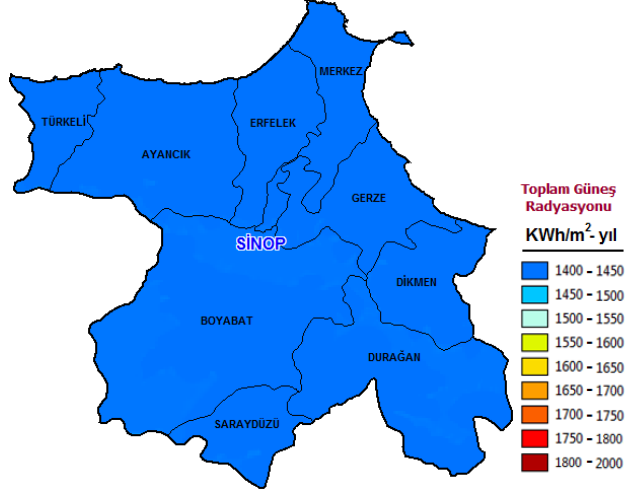
Şekil 3.21. Muğla güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı (Anonim 2018m)



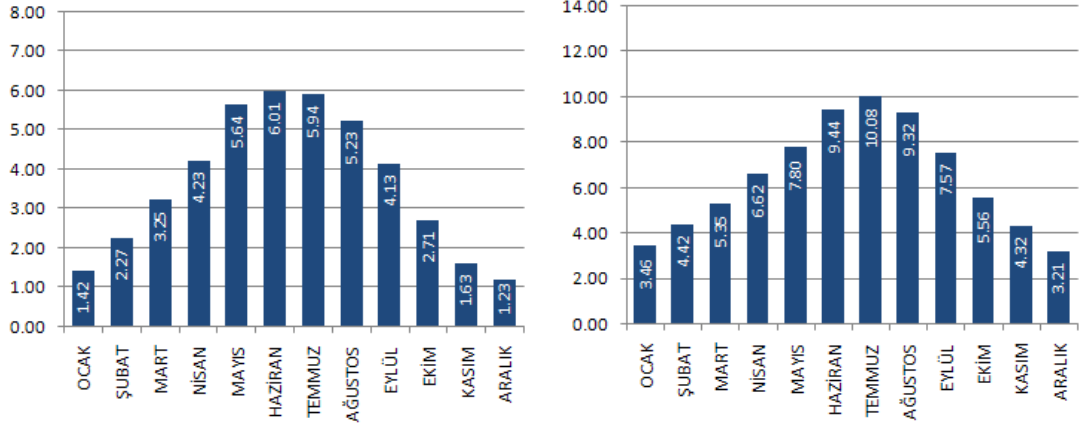
Şekil 3.22. Muğla global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) ve güneşlenme süreleri (saat) (Anonim 2018m)

Sinop

Coğrafi koordinat sistemine göre Sinop ilinin konumu 42.02° kuzey enlemi ile 35.15° doğu boylamındadır. Yüzölçümü ise 5 862 km² olarak verilmiştir.



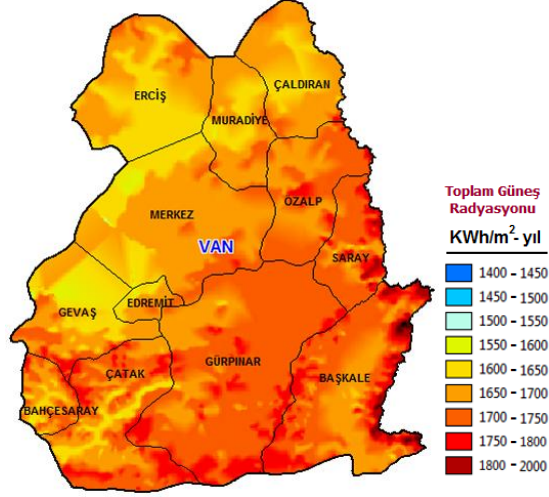
Şekil 3.23. Sinop güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı (Anonim 2018n)



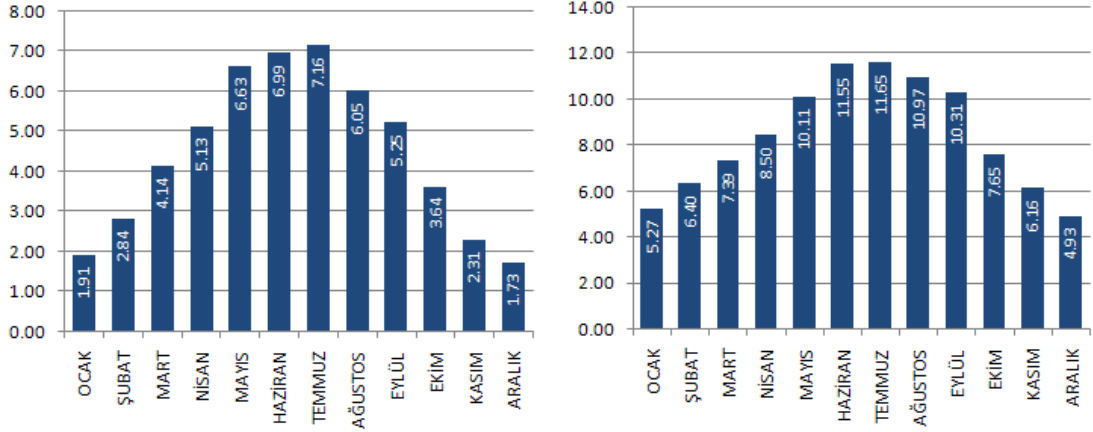
Şekil 3.24. Sinop global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) ve güneşlenme süreleri (saat) (Anonim 2018n)

Van

Coğrafi koordinat sistemine göre Sinop ilinin konumu 38.50° kuzey enlemi ile 43.38° doğu boylamındadır. Yüzölçümü ise 19 069 km² olarak verilmiştir.



Şekil 3.25. Van güneş ışınımı yoğunluğunun ilçelere göre dağılımı (Anonim 2018o)



Şekil 3.26. Van global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) ve güneşlenme süreleri (saat) (Anonim 2018o)

3.2. Yöntem

Güneş ışınım ölçümleri yatay düzlem üzerinde kaydedilen verilerden oluşmaktadır. Çalışmada eğimli yüzeye düşen ışınım miktarını hesaplamak için günlük toplam ışınım değerleri kullanılmıştır.

Eğik düzlem üzerine düşen aylık ortalama olarak günlük global ışınım değeri (H_T) 3.1 no.lu eşitlikte verilmiştir. Bu eşitlik direkt güneş ışınımı (H_B), yansıyan ışınım (H_R) ve yayılı ışınım (H_S) değerlerinin toplamından oluşmaktadır (Benghanem 2011).

$$H_T = H_B + H_R + H_S \quad (3.1)$$

Eğimli yüzeye gelen direkt güneş ışınım (H_B) değeri 3.2 no.lu eşitlikte verilmiştir. Bu eşitlik yatay düzleme gelen aylık toplam ışınım (H) ve yayılı ışınım (H_d) yardımıyla hesaplanmaktadır (Benghanem 2011).

$$H_B = (H - H_d) \cdot R_b \quad (3.2)$$

3.2 no.lu eşitlikte geçen R_b değeri, eğik düzlem üzerine gelen direkt güneş ışınımının yatay düzlem üzerine gelen ışınım miktarına oranıdır ve 3.3 no.lu bağıntı yardımıyla hesaplanabilmektedir. Bu bağıntıda; enlem (θ), güneş sapma açısı (δ), güneşin ortalama doğuş açısı (ω_s) ve eğimli düzlemde güneş doğuş açısı (ω'_s) parametreleri yer almaktadır (Bakırcı 2012).

$$R_b = \frac{\cos(\theta - \beta) \cos(\delta) \sin(\omega'_s) + \omega'_s \left(\frac{\pi}{180}\right) \sin(\theta - \beta) \sin(\delta)}{\cos(\theta) \cos(\delta) \sin(\omega_s) + \omega_s \left(\frac{\pi}{180}\right) \sin(\theta) \sin(\delta)} \quad (3.3)$$

Yerden yansıyan ve eğimli yüzeye düşen günlük ışınım miktarı 3.4 no.lu denklemle hesaplanmaktadır. Bu denklemdeki ρ simgesi; yerin yansıtma katsayısı olup bölgenin bitki örtüsüne, rakımına, topoğrafyasına ve mevsime göre değişkenlik göstermektedir.

Bu çalışmada $\rho = 0,2$ alınmıştır (Kallioğlu ve ark. 2017). Denklemdaki β simgesi panelin yatay düzlemle yapmış olduğu eğim açısıdır.

$$H_R = \frac{H\rho(1-\cos\beta)}{2} \quad (3.4)$$

Eğimli yüzey üzerine düşen yayılı ışınım miktarı 3.5 no.lu eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$H_s = H_d \cdot R_d \quad (3.5)$$

H_d ; yatay düzleme düşen yayılı ışınım miktarıdır ve 3.6 no.lu eşitlik ile hesaplanmaktadır (Liu ve Jordan 1962).

$$H_d = H \left(1 - 1,13 \frac{H}{H_0} \right) \quad (3.6)$$

3.6 no.lu bağıntıdaki yatay yüzeye gelen günlük dünya dışı güneş radyasyonu (H_0); güneş sabiti (G_{sc}), dünyanın yörünge eksantriklik düzeltme faktörü (k), güneş sapması (δ), bölgenin enlemi (\varnothing) ve güneşin ortalama doğuş açısı (ω_s) değerlerinin bir fonksiyonu olarak, 3.7 no.lu eşitlik ile aylık olarak hesaplanmaktadır.

$$H_0 = \left(\frac{24}{\pi} \right) G_{sc} \cdot k \left(\cos(\varnothing)\cos(\delta)\sin(\omega_s) + \left(\frac{\pi}{180} \right) \sin(\varnothing) \sin(\delta) \omega_s \right) \quad (3.7)$$

Güneş sabiti genel olarak $1\,367\text{ W/m}^2$ kabul edilir. Dünyanın yörünge düzeltme faktörü; yeryüzüne gelen güneş ışınımı ve atmosfer dışına gelen güneş ışınımı ile ilişkili olarak bulunur. Güneş sabitinin düzeltme faktörü (k) günlere göre değişim göstermektedir. n ; yıl içindeki gün sayısı ($1 - 365$) olmak üzere 3.8 no.lu eşitlikten hesaplanmaktadır (Kallioğlu 2014).

$$k = 1 + 0,033 \cos \left(360 \frac{n}{360} \right) \quad (3.8)$$

Güneş sapması (δ) 3.9 no.lu eşitlik ile hesaplanır. Bu formüldeki n değeri, 1 Ocak'tan itibaren gün olarak zamanı ifade etmektedir. Bu değerler bir ayda bulunan bütün günler yerine, aylık belirlenen ortalama gün üzerinden aylık ortalama deklinasyon açısı olarak hesaplanmaktadır (Kallioğlu 2014).

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \frac{(n+284)}{365}\right) \quad (3.9)$$

Güneşin yatay (ω_s) ve eğimli (ω'_s) yüzeylere doğuş açısı sırasıyla 3.10 ve 3.11 no.lu denklemlerle hesaplanmaktadır. Bu bağıntılar eğimli yüzeye, enleme ve güneş sapmasına bağlı olarak değişmektedir (Duffie ve Beckman 1980).

$$\omega_s' = \cos^{-1}(-\tan(\theta) \cdot \tan(\delta)) \quad (3.10)$$

$$\omega' = \begin{bmatrix} w = \cos^{-1}(-\tan\theta \tan\delta) \\ \cos^{-1}(-\tan(\theta - \beta) \tan\delta) \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

3.5 no.lu denklemde geçen R_d değeri; ortalama günlük eğimli ve yatay yüzeyler arasındaki kalibre katsayısı olup 3.7 no.lu eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$R_d = \frac{(1 + \cos \beta)}{2} \quad (3.12)$$

Global güneş ışınımının tahmin modellerinin verimlerini analiz etmek için, literatürde birçok istatistiksel test yöntemi bulunmaktadır. Bunların içinde en yaygın olanları; belirlilik katsayısı (R^2), ortalama sapma hatası (MBE), ortalama yüzde hata (MPE), ortalama mutlak hata yüzdesi (MAPE), bağıl standart hata (RSE), karekök hatası (RMSE), bağıl hata karesi (SSRE), bağıl hata yüzdesi (e) ve t-istatistik (t-sat) olarak bilinmektedir.

3.2.1. Bağıl hata yüzdesi

Bağıl hata aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir.

$$e = \left(\frac{mi-ci}{mi} \right) \times 100 \quad (3.13)$$

Hesaplanan ve ölçülen veri arasındaki yüzdesel sapma miktarı e ile ifade edilmekte olup ideal değeri sıfıra eşittir. Denklemdaki, ci (calculated) hesaplanan değeri gösterirken mi (measured) de ölçülen değeri belirtmektedir.

Denklemlerde kullanılan “ölçülen” (mi) ve “hesaplanan” (ci) ifadeleri ile kastedilenler aşağıda verilmiştir:

Ölçülen: Aylık optimum açılış değerleridir.

Hesaplanan: İstatistiksel analiz sonucunda oluşturulan modellerdeki her bir denkleme göre hesaplanan optimum açılış değerleridir.

3.2.2. Belirlilik (determinasyon) katsayısı

Belirlilik katsayısı bir değişkenin diğerine hangi oranda bağlı olduğunu göstermektedir. Hesaplanan ve ölçülen değerler arasındaki doğrusal ilişkiyi belirlemede kullanılmaktadır. Bu katsayının değeri 0 (sıfır) ile 1 ($0 < R^2 < 1$) arasında değişmektedir ve ideal değeri 1'dir.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (ci-ca)x(mi-ma)}{\left[\sqrt{\sum_{i=1}^n (ci-ca)^2} \right] x \left[\sum_{i=1}^n (mi-ma)^2 \right]} \quad (3.14)$$

Burada, ca ve ma sırasıyla hesaplanan ve ölçülen değerlerin ortalamasıdır.

3.2.3. Ortalama yüzde hata

Önerilen modellerden tahmin edilen aylık ortalama olarak günlük radyasyon değeri ile ölçülen değerlerin sapması aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$MPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{mi-ci}{mi} \right)}{n} \times 100 \quad (3.15)$$

Buradaki n değeri hesaplanan ve ölçülen değerlerin sayısıdır.

3.2.4. Ortalama mutlak hata yüzdesi

Ortalama yüzde hata değerinin, tahmin edilen ve ölçülen değer ile arasındaki farkın mutlak ortalama değeri olarak aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \left(\frac{mi-ci}{mi} \right) \right|}{n} \times 100 \quad (3.16)$$

3.2.5. Bağlı hata karesi

Bağlı hataların karelerinin toplamı aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmaktadır.

$$SSRE = \sum_{i=1}^n \left(\frac{mi-ci}{mi} \right)^2 \quad (3.17)$$

Bu bağıntının sonucu pozitif değerlidir ve ayrıca ideal değeri 0 (sıfır) olarak kabul edilmektedir.

3.2.6. Bağlı standart hata

Korelasyon tahmininin doğruluk derecesini saptamak için kullanılır ve sonuçlar pozitif değerlidir.

$$RSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{mi-ci}{mi} \right)^2}{n}} \quad (3.18)$$

3.2.7. Ortalama sapma hatası

Korelasyonun uzun vadeli değeri hakkında bilgi vermektedir. Düşük değeri arzu edilmektedir ve ideal değeri 0 (sıfır)'dır. Aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (mi - ci) \quad (3.19)$$

3.2.8. Ortalama hata kareleri kökü

Bu istatistiksel veri, kısa dönem ölçülen ve tahmin edilen model performans kıyaslanmasında önem teşkil etmektedir. Her zaman pozitif değer almakla birlikte ideal değeri 0 (sıfır)'dır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (ci - mi)^2} \quad (3.20)$$

3.2.9. t-testi metodu

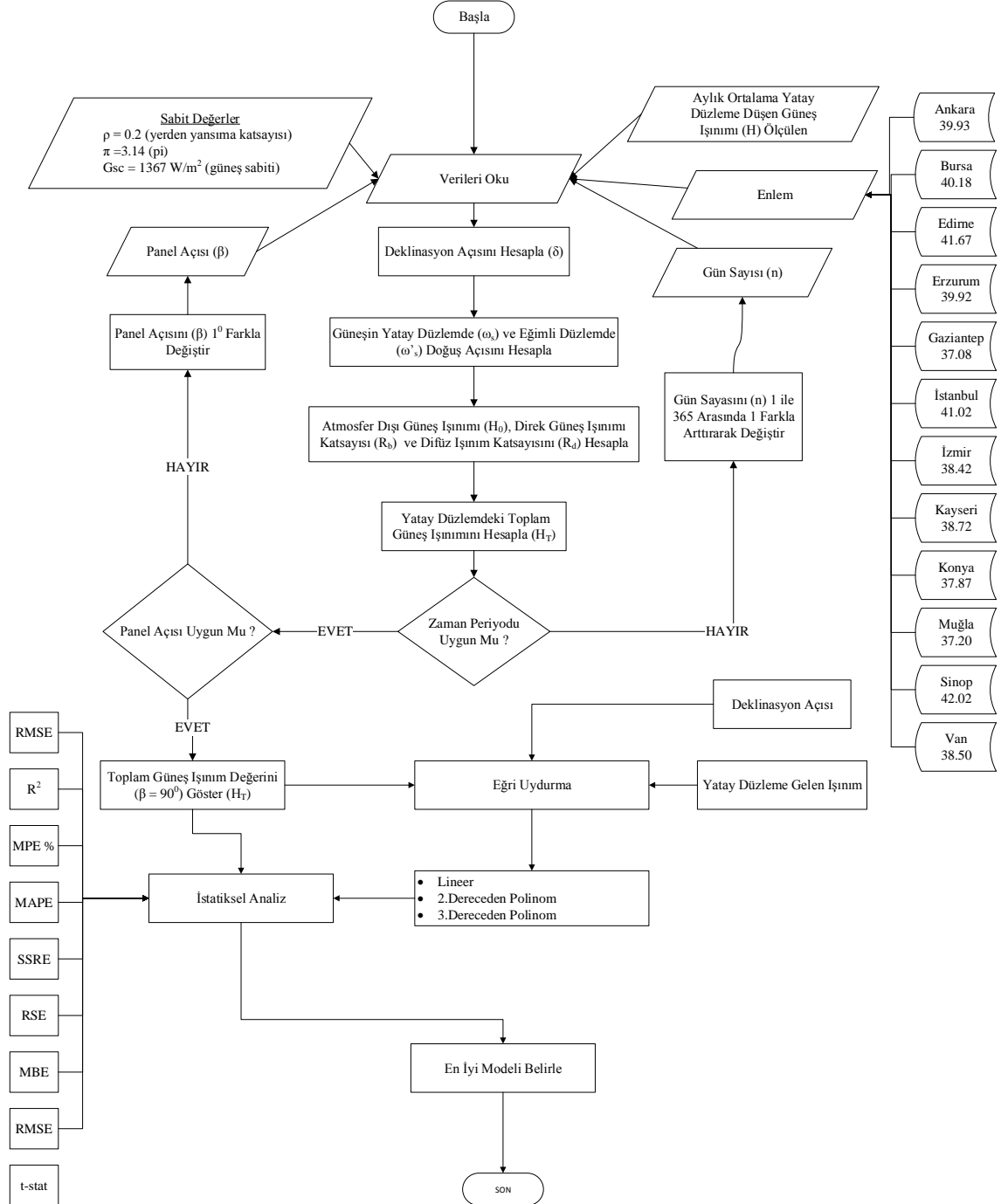
Hipotez testlerinde en kapsamlı olarak kullanılan yöntemlerden biri de t-testidir. Bu test ile iki grubun ortalamaları karşılaştırılarak, aradaki farkın istatistiksel olarak rastlantı olup olmadığına karar verilir. Ölçülen güneş ışınım değerleri ile tahmin edilen güneş ışınım değerleri arasındaki istatistiksel anlamlılığın belirlenmesinde önemli faktördür.

$$t - stat = \sqrt{\frac{(n-1) MBE^2}{RMSE^2 - MBE^2}} \quad (3.21)$$

Güneş ışınımı verilerinin uygunluğunun istatistiği yukarıdaki bağıntı sayesinde hesaplanmaktadır.

3.3. Algoritma

Çalışma kapsamında yapılan işlemlerin algoritması Şekil 3.27’de verilmiştir.



Şekil 3.27. Yapılan işlemlerin algoritmik akış şeması

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında; Güneş Enerjisi Potansiyel Atlasından (GEPA) alınan 36° - 42° kuzey enlemleri arasında yer alan toplamda 13 ilin (Ankara, Bursa, Edirne, Erzurum, Gaziantep, Hatay, İstanbul, İzmir, Kayseri, Konya, Muğla, Sinop, Van) meteorolojik verileri kullanılmıştır. İllere özgü verilerden hesaplanarak bulunan aylık, mevsimsel ve yıllık dağılımlar şekil ve çizelgeler halinde sunulmuştur. Hesaplamalar güneş panellerinin farklı açılardaki (0 - 90°) toplam güneş ışınım değerlerine göre yapılmıştır. Hesaplamalarla elde edilen veriler Çizelge 4.1 - 26 ve Şekil 4.1 - 39'da verilmiştir.

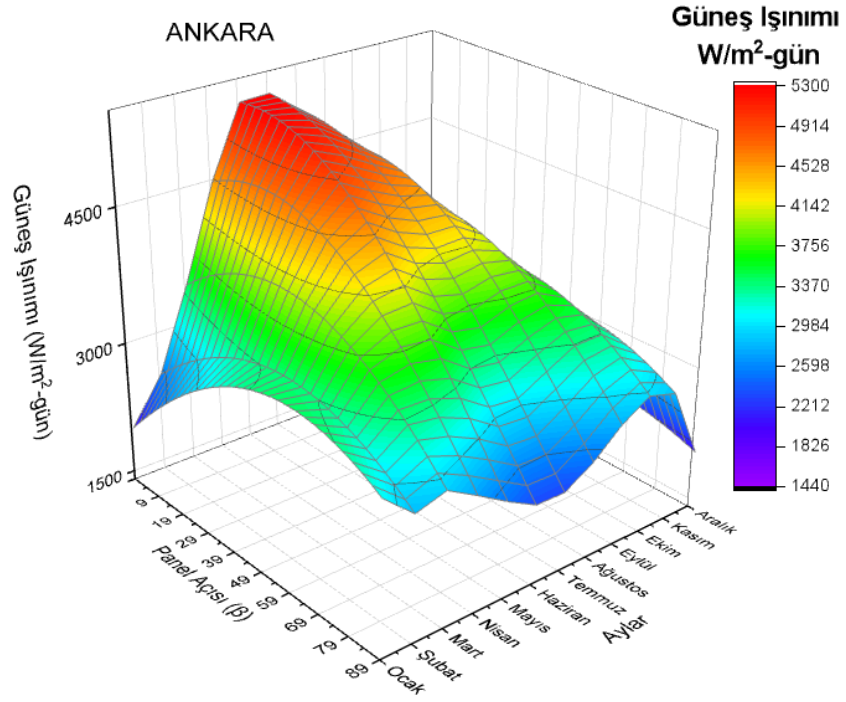
4.1. Ankara

Ankara için hesaplamalar sonucu elde edilen optimum açı değerlerinin güneş panelleri üzerinde oluşturabileceği ışınım şiddeti değerleri Çizelge 4.1'de görülmektedir.

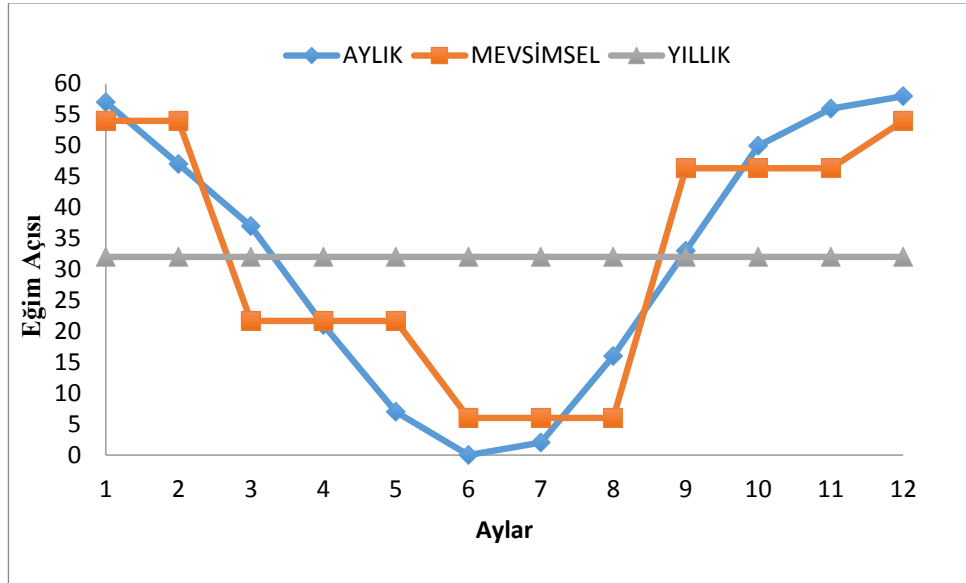
Çizelge 4.1. Ankara için optimum eğim açısı ve ışınım değerleri

Aylar	H (W/m ² -gün)	H _T (W/m ² -gün)	H _T (W/m ² -gün)	H _T (W/m ² -gün)
	β_0	β_{OPT}	β_{30}	β_{40}
Ocak	1690	2510	2344	2434
Şubat	2470	3185	3104	3166
Mart	3750	4386	4373	4382
Nisan	4740	4948	4882	4758
Mayıs	6010	6035	5679	5420
Haziran	6350	6350	5754	5438
Temmuz	6320	6322	5831	5533
Ağustos	5710	5860	5704	5512
Eylül	4700	5323	5323	5291
Ekim	3260	4520	4351	4469
Kasım	1970	2902	2723	2823
Aralık	1470	2244	2075	2162

Çizelge 4.1'de dört farklı durum (eğim açısı 0°, optimum, 30° ve 40°) yer almaktadır. Bunlara göre Ankara ili için ortalama azami ışınım miktarı aylık belirlenen optimum açıyla (β_{OPT}) sağlanmaktadır. Enlem derecesine göre ayarlanan (β_{40}) yıllık sabit açıdaki panellerde kış aylarında yatay düzleme (β_0) göre ışınım şiddeti artarken yaz aylarında ise bu değer azalmaktadır.



Şekil 4.1. Ankara için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü



Şekil 4.2. Ankara için eğim açısının aylara göre değişimi

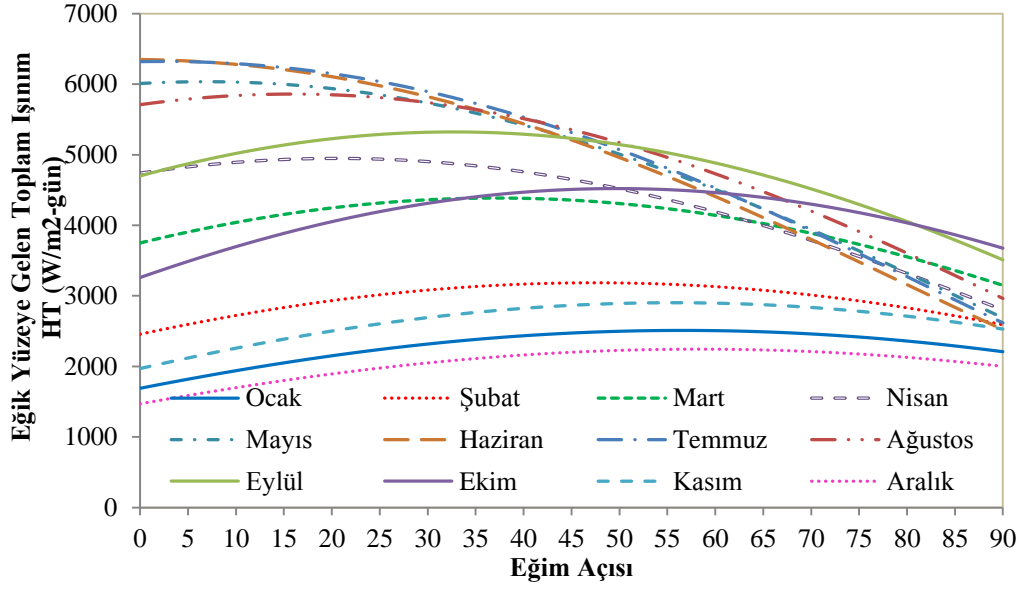
Şekil 4.1 ve 4.2’de görüldüğü üzere panellerde yatayla yapılan açının kış aylarından yazı doğru gidildikçe azaldığı görülmektedir. Bu durumun sebebini ise 21 Haziran’da güneş ışınlarının Kuzey yarımkürede olan yengeç dönencesine dik gelmesinden dolayı yatay düzlemde azami verimin sağlanabilecek olunmasıyla açıklanabilir. Bu duruma

karşın; 21 Aralık'taki Güneş ışınlarının Güney Yarımküre'ye gelebileceği en dik, Kuzey Yarımküre'ye gelebileceği en eğik açılardan dolayı panel açı değerleri de oldukça yüksektir.

Çizelge 4.2. Ankara için eğim açısı verim ilişkisi

Aylar	β_{OPT} Aylık	Verim % Aylık	β_{OPT} Mevsim	Verim % Mevsim	β_{OPT} Yıllık	Verim % Yıllık	β_{OPT} Enlem	Verim % Enlem
Aralık	58°	52,65		52,38		41,16		47,07
Ocak	57°	48,52	54°	48,40	32°	38,70	40°	44,02
Şubat	47°	28,95		28,34		25,67		28,18
Mart	37°	16,96		14,03		16,61		16,85
Nisan	21°	4,39	22°	4,37	32°	3,00	40°	0,38
Mayıs	7°	0,42		-1,73		-5,51		-9,82
Haziran	0°	0,00		-0,46		-9,39		-14,36
Temmuz	2°	0,03	6°	-0,08	32°	-7,74	40°	-12,45
Ağustos	16°	2,63		1,59		-0,11		-3,47
Eylül	33°	13,26		11,00		13,26		12,57
Ekim	50°	38,65	46°	38,44	32°	33,47	40°	37,09
Kasım	56°	47,31		45,79		38,22		43,30

Panellerde oluşan ışınım miktarlarının eğim açısına göre analizi yapıldığı takdirde aylık verim artışı en çok kış aylarında görülürken yaz aylarındaki değişim ise görülmeyecek derecede azdır. Panel açısı yıllık olarak sabitlendiğinde kış aylarında yine verim artışı gözlenirken yaz aylarında ise ilk duruma nazaran yine bir verim düşüşü görülmektedir. Panel üzerine düşen ortalama toplam ışınımın miktarları bakımından aylık, mevsimsel ve yıllık değerlerin kıyaslaması yapıldığı takdirde Çizelge 4.2'de görülen ilk duruma göre sırasıyla %13, %12 ve %8 civarında verim artışı tespit edilmiştir. Panel açısı Ankara ilinin enlem açısına (40°) göre bütün yıla sabit olarak ayarlandığı takdirde ilk yatay durumda kış aylarında verim artışı görülürken yaz aylarında da verim düşüşü görülmektedir.



Şekil 4.3. Ankara için yıllık optimum açıya göre güneş ışınım değerleri

Yıllık optimum eğim açlarına göre güneş ışınım değerleri bazında incelendiğinde, Temmuz ayı (6 322 W/m²-gün) ışınım değerini alarak eğik yüzeye gelen toplam ışınımın en fazla olduğu ay olarak saptanmıştır. Bu ayı sırasıyla Haziran (6 350 W/m²-gün), Mayıs (6 035 W/m²-gün), Ağustos (5 860 W/m²-gün), Eylül (5 323 W/m²-gün), Nisan (4 948 W/m²-gün), Ekim (4 520 W/m²-gün), Mart (4 386 W/m²-gün), Şubat (3 185 W/m²-gün), Kasım (2 902 W/m²-gün), Ocak (2 510 W/m²-gün) izlemektedir. Eğik yüzeye gelen toplam ışınımın en az olduğu ay ise Aralık (2 244 W/m²-gün) olarak saptanmıştır.

Çağlar (2018) tarafından yapılan çalışmada da optimum açı değerleri yıl boyunca 15° ve 53° olarak hesaplanmıştır. Koçer ve ark. (2016) tarafından yapılan Ankara merkez ve ilçeleri bazlı olan çalışmada da mevsimsel (kış, ilkbahar, yaz, sonbahar) olarak optimum açı değerleri sırasıyla 62°, 23°, 6° ve 49° şeklinde hesaplanmıştır. Sabit güneş panelleri için genel olarak yaklaşık 40° eğim açısı saptanmıştır. Ankara il ve ilçeleri için yıllık optimum eğim açısı 34° ± 1 olarak tespit edilmiştir. Optimum eğim açılarının da en düşük 1° ile en yüksek 67° arasında değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Şenpınar (2006) tarafından yapılan çalışmada farklı bölgedeki illere göre optimum eğim açıları Matlab simülasyon programı ile hesaplanmıştır. Hesaplamalara göre optimum eğim açılarının 16° - 63° arasında değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Çalışmada yıllık sabit optimum

panel açısı için 36°, mevsimsel (kış, ilkbahar, yaz, sonbahar) olarak da sırasıyla 59°, 3°, 20° ve 49° olarak hesaplanmıştır.

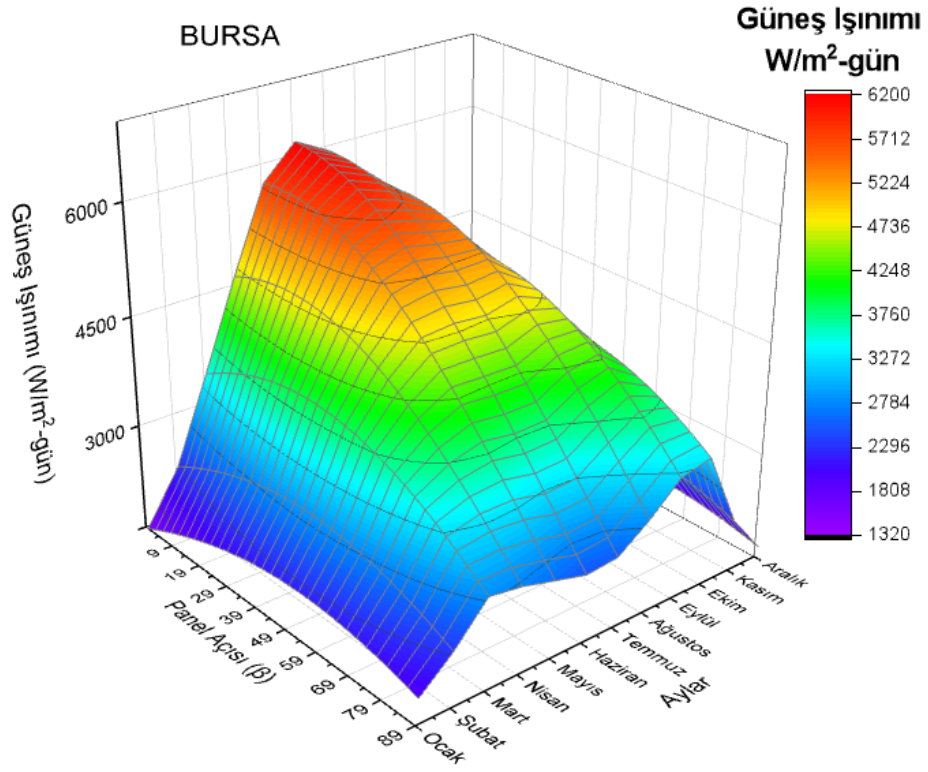
4.2. Bursa

Bursa için hesaplamalar sonucu elde edilen optimum açı değerlerinin güneş panelleri üzerinde oluşturabileceği ışınım şiddeti değerleri Çizelge 4.3’de görülmektedir.

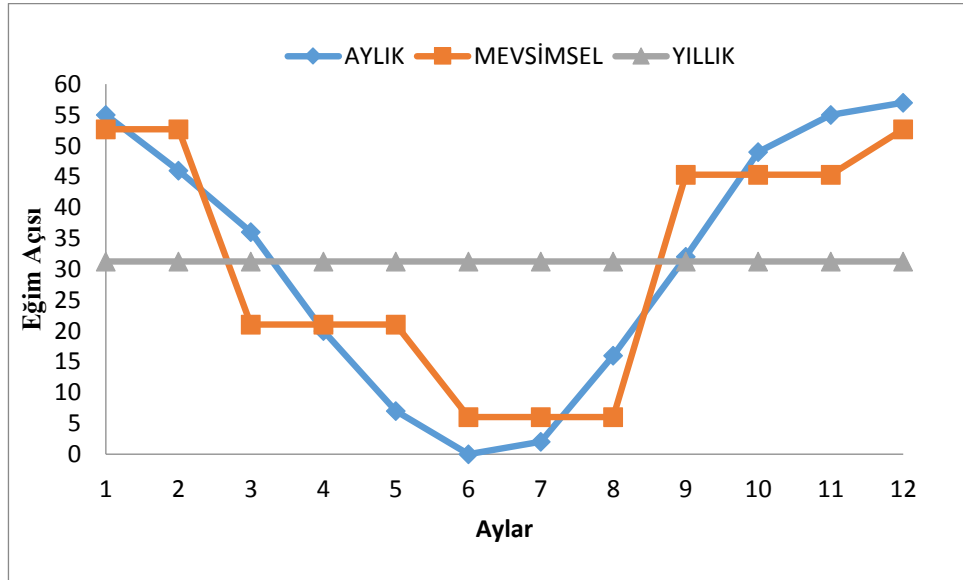
Çizelge 4.3. Bursa için optimum eğim açısı ve ışınım değerleri

Aylar	H (W/m ² -gün) β_0	H _T (W/m ² -gün) β_{OPT}	H _T (W/m ² -gün) β_{31}	H _T (W/m ² -gün) β_{41}
Ocak	1540	2210	2073	2162
Şubat	2280	2876	2808	2868
Mart	3430	3947	3937	3936
Nisan	4640	4840	4786	4635
Mayıs	5770	5793	5482	5176
Haziran	6200	6200	5661	5280
Temmuz	5970	5972	5549	5204
Ağustos	5430	5563	5429	5203
Eylül	4370	4897	4897	4852
Ekim	3030	4104	3953	4075
Kasım	1830	2627	2468	2574
Aralık	1320	1932	1798	1882

Çizelge 4.3’de yer almakta olan dört farklı durum (eğim açısı 0°, optimum, 31° ve 41°) değerlendirilmesi yapıldığı takdirde Bursa ili için ortalama azami ışınım miktarı aylık belirlenen optimum açıyla (β_{OPT}) sağlanmaktadır. Enlem derecesine göre ayarlanan (β_{41}) yıllık sabit açıdaki panellerde yaz aylarında yatay düzlem (β_0) göre ışınım şiddeti azalırken kış aylarında ise bu değer artmaktadır.



Şekil 4.4. Bursa için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü



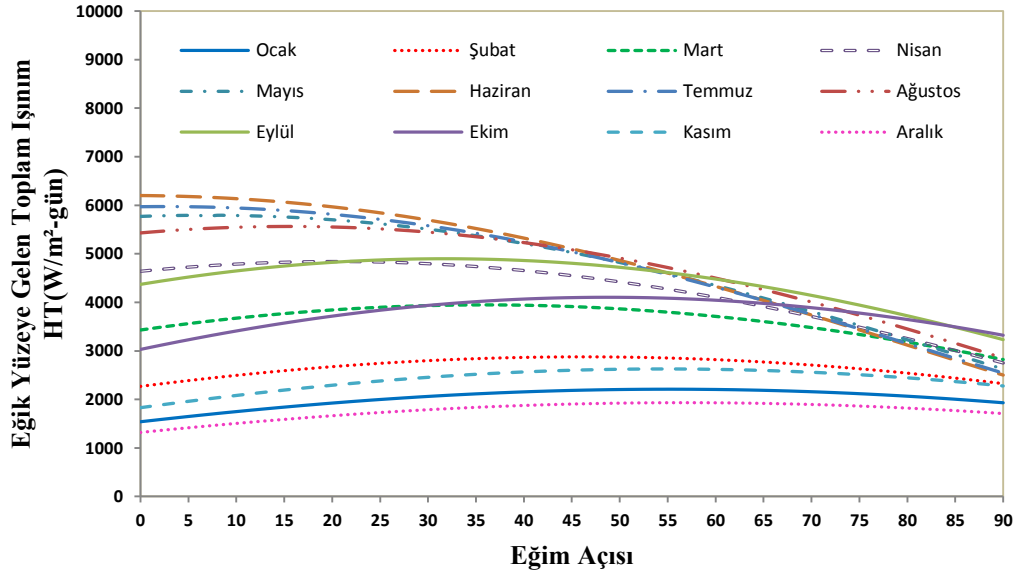
Şekil 4.5. Bursa için eğim açısının aylara göre değişimi

Şekil 4.4 ve 4.5’de görüldüğü üzere panellerde yatayla yapılan açının kış aylarından yaza doğru gidildikçe azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.4. Bursa için eğim açısı verim ilişkisi

Aylar	β_{opt} Aylık	Verim % Aylık	β_{opt} Mevsim	Verim % Mevsim	β_{opt} Yıllık	Verim % Yıllık	β_{opt} Enlem	Verim % Enlem
Aralık	57°	46,36		46,14		36,21		42,58
Ocak	55°	43,51	53°	25,97	31°	34,61	41°	40,39
Şubat	46°	26,14		17,94		23,16		25,79
Mart	36°	15,07		12,39		14,78		14,75
Nisan	20°	4,31	21°	4,31	31°	3,15	41°	-0,11
Mayıs	7°	0,40		-1,46		-4,99		-10,29
Haziran	0°	0,00		-0,44		-8,69		-14,84
Temmuz	2°	0,03	6°	-0,13	31°	-7,05	41°	-12,83
Ağustos	16°	2,45		1,51		-0,02		-4,18
Eylül	32°	12,06		9,93		12,06		11,03
Ekim	49°	35,45	45°	35,21	31°	30,46	41°	34,49
Kasım	55°	43,55		42,08		34,86		40,66

Panellerde oluşan ışınım miktarlarının eğim açısına göre analizi yapıldığı takdirde aylık verim artışı en çok kış aylarında görülürken yaz aylarındaki değişim ise görülmeyecek derecede azdır. Panel açısı yıllık olarak sabitlendiğinde kış aylarında yine verim artışı gözlenirken yaz aylarında ise ilk duruma nazaran yine bir verim düşüşü görülmektedir. Panel üzerine düşen ortalama toplam ışınım miktarları bakımından aylık, mevsimsel ve yıllık değerlerin kıyaslaması yapıldığı takdirde Çizelge 4.4’de görülen ilk duruma göre sırasıyla %11, %9 ve %7 civarında verim artışı tespit edilmiştir. Panel açısı Bursa ilinin enlem açısına (41°) göre bütün yıla sabit olarak ayarlandığı takdirde ilk yatay durumda kış aylarında verim artışı görülürken yaz aylarında da verim düşüşü görülmektedir.



Şekil 4.6. Bursa için yıllık optimum açığa göre güneş ışınım değerleri

Yıllık optimum eğim açılına göre güneş ışınım değerleri bazında incelendiğinde, Haziran ayı (6 200 W/m²-gün) ışınım değerini alarak eğik yüzeye gelen toplam ışınımın en fazla olduğu ay olarak saptanmıştır. Bu ayı sırasıyla Temmuz (5 972 W/m²-gün), Mayıs (5 793 W/m²-gün), Ağustos (5 563 W/m²-gün), Eylül (4 897 W/m²-gün), Nisan (4 840 W/m²-gün), Ekim (4 104 W/m²-gün), Mart (3 947 W/m²-gün), Şubat (2 876 W/m²-gün), Kasım (2 627 W/m²-gün), Ocak (2 210 W/m²-gün) ve eğik yüzeye gelen toplam ışınımın en az olduğu ay ise Aralık (1 932 W/m²-gün) olarak saptanmıştır.

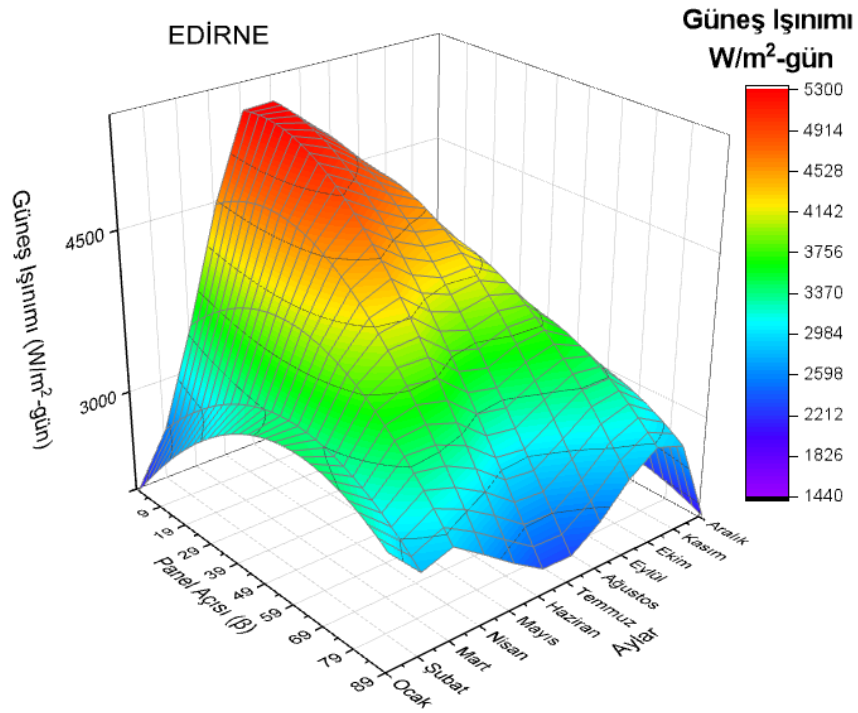
4.3. Edirne

Edirne için hesaplamalar sonucu elde edilen optimum açı değerlerinin güneş panelleri üzerinde oluşturabileceği ışınım şiddeti değerleri Çizelge 4.5’de görülmektedir.

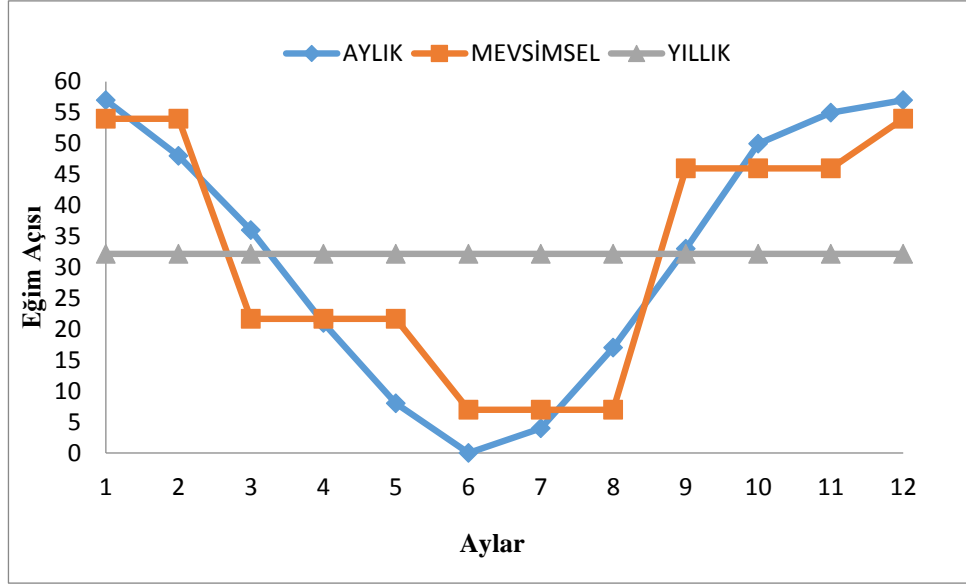
Çizelge 4.5. Edirne için optimum eğim açısı ve ışınım değerleri

Aylar	H (W/m ² -gün)	H _T (W/m ² -gün)	H _T (W/m ² -gün)	H _T (W/m ² -gün)
	β_0	β_{OPT}	β_{32}	β_{42}
Ocak	1440	2120	1982	2070
Şubat	2230	2880	2803	2869
Mart	3180	3666	3659	3655
Nisan	4260	4446	4392	4252
Mayıs	5610	5640	5344	5050
Haziran	5900	5900	5403	5049
Temmuz	5770	5775	5376	5048
Ağustos	5360	5507	5377	5156
Eylül	4130	4651	4561	4607
Ekim	2730	3732	3727	3707
Kasım	1600	2282	2263	2242
Aralık	1180	1745	1626	1700

Çizelge 4.5’de yer almakta olan dört farklı durum (eğim açısı 0°, optimum, 32° ve 42°) değerlendirilmesi yapıldığı takdirde Edirne ili için ortalama azami ışınım miktarı aylık belirlenen optimum açıyla (β_{OPT}) sağlanmaktadır. Enlem derecesine göre ayarlanan (β_{42}) yıllık sabit açıdaki panellerde yaz aylarında yatay düzlem (β_0) göre ışınım şiddeti azalırken kış aylarında ise bu değer artmaktadır.



Şekil 4.7. Edirne için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü



Şekil 4.8. Edirne için eğim açısının aylara göre değişimi

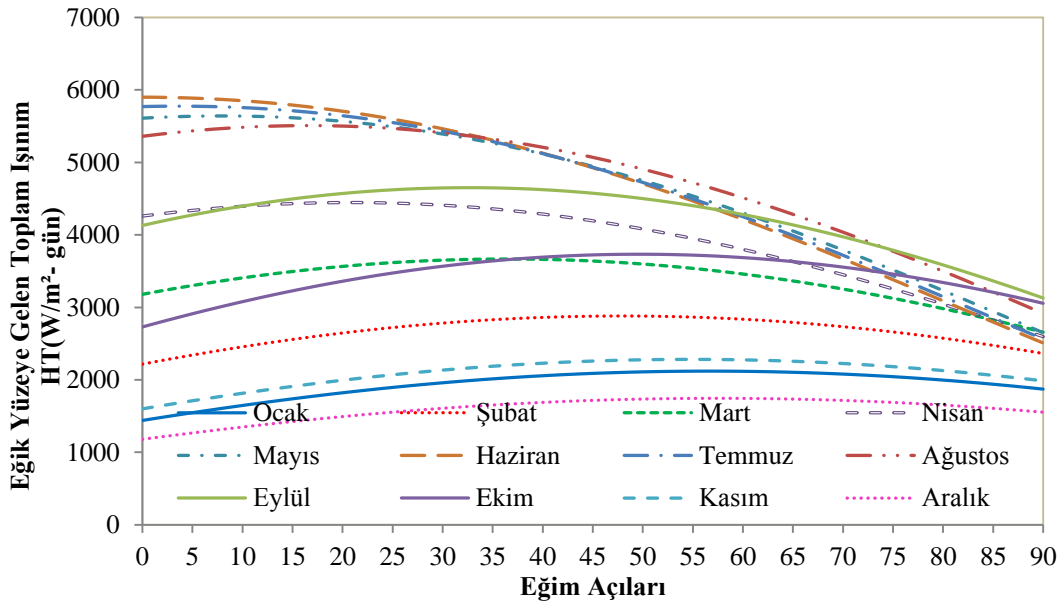
Şekil 4.7 ve 4.8’de görüldüğü üzere panellerde yatayla yapılan açının kış aylarından yazı doğru gidildikçe azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.6. Edirne için eğim açısı verim ilişkisi

Aylar	β_{OPT}	Verim %	β_{OPT}	Verim %	β_{OPT}	Verim %	β_{OPT}	Verim %
	Aylık	Aylık	Mevsim	Mevsim	Yıllık	Yıllık	Enlem	Enlem
Aralık	57°	47,22		47,08		37,64		43,75
Ocak	57°	29,15	54°	28,65	32°	25,70	42°	28,65
Şubat	48°	15,28		12,83		15,06		14,94
Mart	36°	4,37		4,34		3,10		-0,19
Nisan	21°	0,53	22°	-1,27	32°	-4,74	42°	-9,98
Mayıs	8°	0,00		-0,42		-8,42		-14,42
Haziran	0°	0,09		0,00		-6,83		-12,51
Temmuz	4°	2,74	7°	1,81	32°	0,32	42°	-3,81
Ağustos	17°	12,62		4,12		10,44		11,55
Eylül	33°	36,70		7,91		36,52		35,79
Ekim	50°	42,63	46°	8,25	32°	41,44	42°	40,13
Kasım	55°	47,88		47,71		37,80		44,07

Panellerde oluşan ışınlam miktarlarının eğim açısına göre analizi yapıldığı takdirde aylık verim artışı en çok kış aylarında görülürken yaz aylarındaki değişim ise görülmeyecek derecede azdır. Panel açısı yıllık olarak sabitlendiğinde kış aylarında yine verim artışı

gözlenirken yaz aylarında ise ilk duruma nazaran yine bir verim düşüşü görülmektedir. Panel üzerine düşen ortalama toplam ışınım miktarları bakımından aylık, mevsimsel ve yıllık değerlerin kıyaslaması yapıldığı takdirde Çizelge 4.6'da görülen ilk duruma göre sırasıyla %11, %7 ve %7 civarında verim artışı tespit edilmiştir. Panel açısı Edirne ilinin enlem açısına (42°) göre bütün yıla sabit olarak ayarlandığı takdirde ilk yatay durumda kış aylarında verim artışı görülürken yaz aylarında da verim düşüşü görülmektedir.



Şekil 4.9. Edirne için yıllık optimum açığa göre güneş ışınım değerleri

Yıllık optimum eğim açılına göre güneş ışınım değerleri bazında incelendiğinde, Haziran ayı ($5900 \text{ W/m}^2\text{-gün}$) ışınım değerini alarak eğik yüzeye gelen toplam ışınımın en fazla olduğu ay olarak saptanmıştır. Bu ayı sırasıyla Temmuz ($5775 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Mayıs ($5640 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Ağustos ($5507 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Eylül ($4651 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Nisan ($4446 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Ekim ($3732 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Mart ($3666 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Şubat ($2880 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Kasım ($2282 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Ocak ($2120 \text{ W/m}^2\text{-gün}$) ve eğik yüzeye gelen toplam ışınımın en az olduğu ay ise Aralık ($1745 \text{ W/m}^2\text{-gün}$) olarak saptanmıştır.

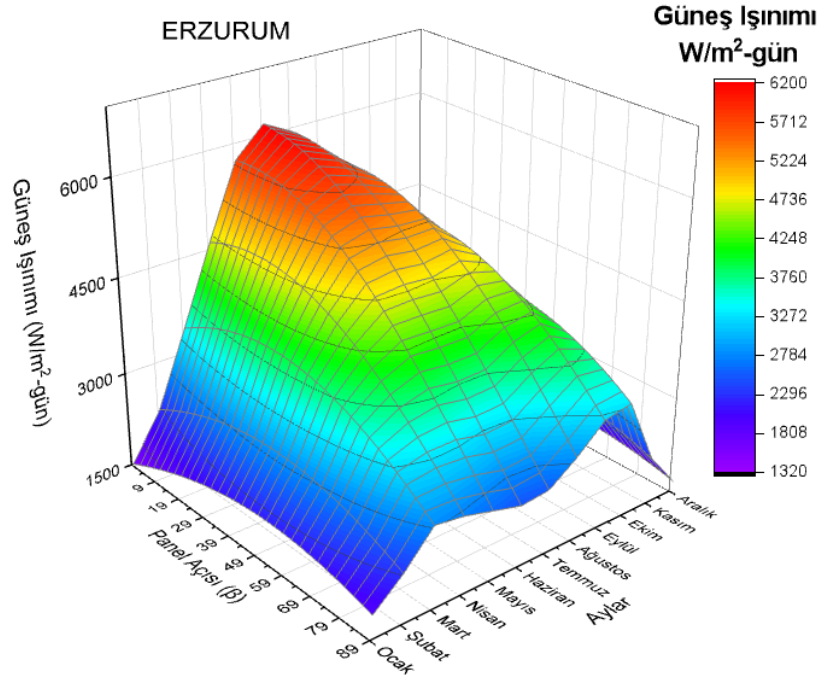
4.4. Erzurum

Erzurum için hesaplamalar sonucu elde edilen optimum açı değerlerinin güneş panelleri üzerinde oluşturabileceği ışınım şiddeti değerleri Çizelge 4.7’de görülmektedir.

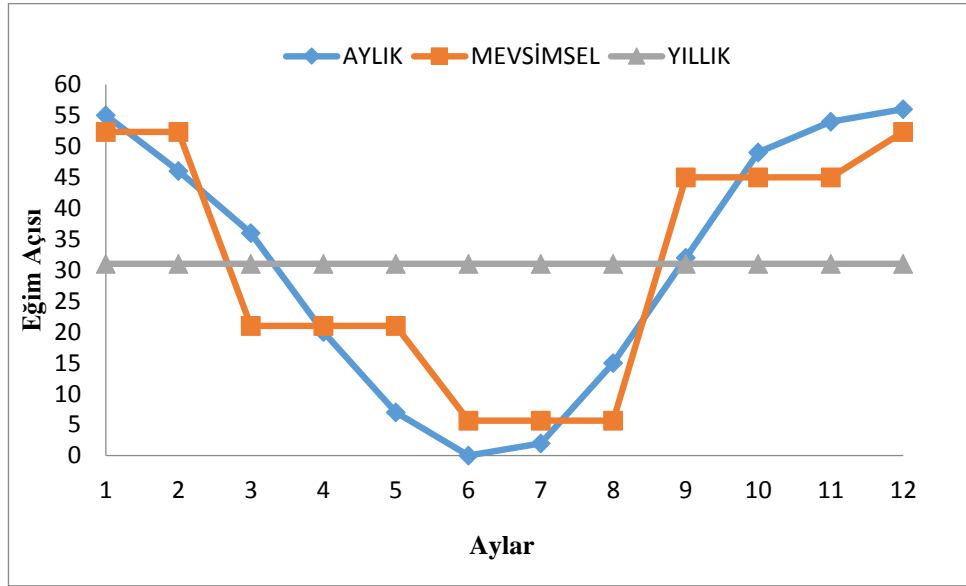
Çizelge 4.7. Erzurum için optimum eğim açısı ve ışınım değerleri

Aylar	H (W/m ² -gün) β_0	H _T (W/m ² -gün) β_{OPT}	H _T (W/m ² -gün) β_{31}	H _T (W/m ² -gün) β_{40}
Ocak	1540	2196	2064	2144
Şubat	2280	2866	2800	2856
Mart	3430	3939	3929	3931
Nisan	4640	4837	4780	4648
Mayıs	5770	5792	5477	5204
Haziran	6200	6200	5656	5316
Temmuz	5970	5972	5544	5236
Ağustos	5430	5560	5423	5440
Eylül	4370	4889	4889	4851
Ekim	3030	4089	3943	4054
Kasım	1830	2612	2458	2553
Aralık	1320	1919	1789	1864

Çizelge 4.7’de yer almakta olan dört farklı durum değerlendirilmesi yapıldığı takdirde Erzurum ili için ortalama azami ışınım miktarı aylık belirlenen optimum açıyla (β_{OPT}) sağlanmaktadır. Enlem derecesine göre ayarlanan (β_{40}) yıllık sabit açıdaki panellerde yaz aylarında yatay düzlem (β_0) göre ışınım şiddeti azalırken kış aylarında ise bu değer artmaktadır.



Şekil 4.10. Erzurum için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü



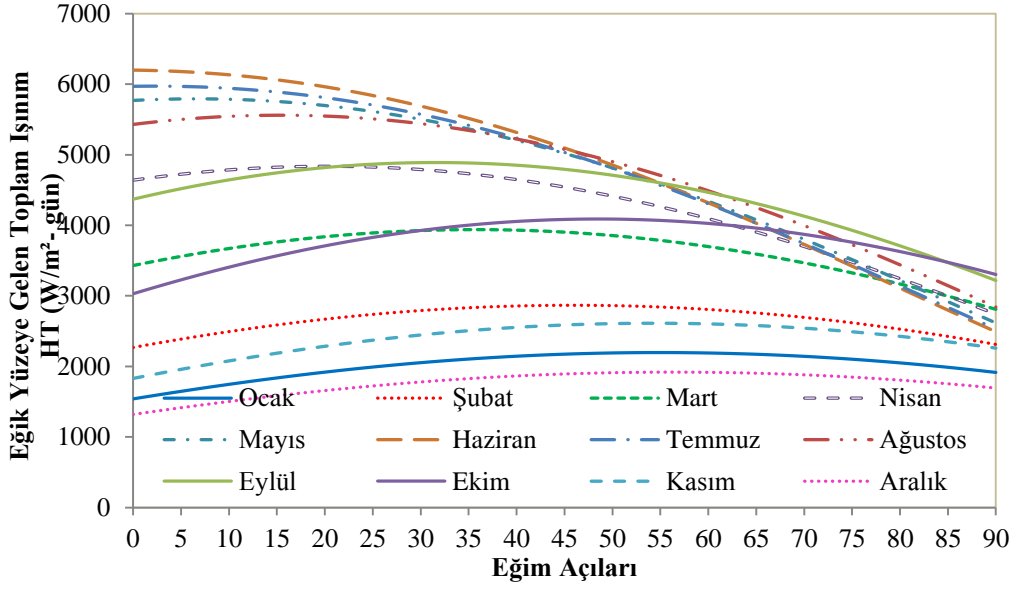
Şekil 4.11. Erzurum için eğim açısının aylara göre değişimi

Şekil 4.10 ve 4.11’de görüldüğü üzere panellerde yatayla yapılan açının kış aylarından yazı doğru gidildikçe azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.8. Erzurum için eğim açısı verim ilişkisi

Aylar	β_{OPT} Aylık	Verim % Aylık	β_{OPT} Mevsim	Verim % Mevsim	β_{OPT} Yıllık	Verim % Yıllık	β_{OPT} Enlem	Verim % Enlem
Aralık	56°	45,38		45,08		35,53		41,21
Ocak	55°	42,60	52°	42,47	31°	34,03	40°	39,22
Şubat	46°	25,70		25,22		22,81		25,26
Mart	36°	14,84		12,24		14,55		14,61
Nisan	20°	4,25	21°	4,22	31°	3,02	40°	0,17
Mayıs	7°	0,38		-1,51		-5,08		-9,81
Haziran	0°	0,00		-0,45		-8,77		-14,26
Temmuz	2°	0,03	6°	-0,08	31°	-7,14	40°	-12,29
Ağustos	15°	2,39		1,49		-0,13		0,18
Eylül	32°	11,88		9,68		11,88		11,01
Ekim	49°	34,95	45°	34,75	31°	30,13	40°	33,80
Kasım	54°	42,73		41,37		34,32		39,51

Panellerde oluşan ışınım miktarlarının eğim açısına göre analizi yapıldığı takdirde aylık verim artışı en çok kış aylarında görülürken yaz aylarındaki değişim ise görülmeyecek derecede azdır. Panel açısı yıllık olarak sabitlendiğinde kış aylarında yine verim artışı gözlenirken yaz aylarında ise ilk duruma nazaran yine bir verim düşüşü görülmektedir. Panel üzerine düşen ortalama toplam ışınım miktarları bakımından aylık, mevsimsel ve yıllık değerlerin kıyaslaması yapıldığı takdirde Çizelge 4.8’de görülen ilk duruma göre sırasıyla %11, %10 ve %6 civarında verim artışı tespit edilmiştir. Panel açısı Erzurum ilinin enlem açısına (40°) göre bütün yıla sabit olarak ayarlandığı takdirde ilk yatay durumda kış aylarında verim artışı görülürken yaz aylarında da verim düşüşü görülmektedir.



Şekil 4.12. Erzurum için yıllık optimum açığa göre güneş ışınlam değerleri

Yıllık optimum eğim açılılarına göre güneş ışınlam değerleri bazında incelendiğinde, Haziran ayı (6 200 W/m²-gün) ışınlam değerini alarak eğim yüzeye gelen toplam ışınlamın en fazla olduğu ay olarak saptanmıştır. Bu ayı sırasıyla Temmuz (5 972 W/m²-gün), Mayıs (5 792 W/m²-gün), Ağustos (5 560 W/m²-gün), Eylül (4 889 W/m²-gün), Nisan (4 837 W/m²-gün), Ekim (4 089 W/m²-gün), Mart (3 939 W/m²-gün), Şubat (2 866 W/m²-gün), Kasım (2 612 W/m²-gün), Ocak (2 196 W/m²-gün) ve eğim yüzeye gelen toplam ışınlamın en az olduğu ay ise Aralık (1 919 W/m²-gün) olarak saptanmıştır.

Çağlar (2018) tarafından yapılan çalışmada da optimum açı değerlerinin yıl boyunca 15° - 56° arasında hesaplanmıştır.

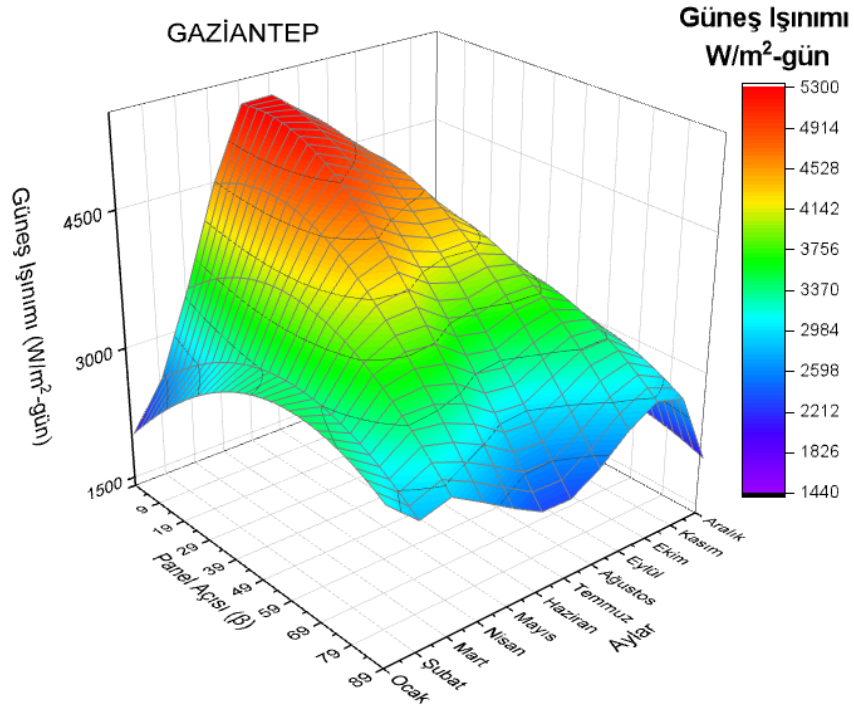
4.5. Gaziantep

Gaziantep için hesaplamalar sonucu elde edilen optimum açı değerlerinin güneş panelleri üzerinde oluşturabileceği ışınlam şiddeti değerleri Çizelge 4.9'da görülmektedir.

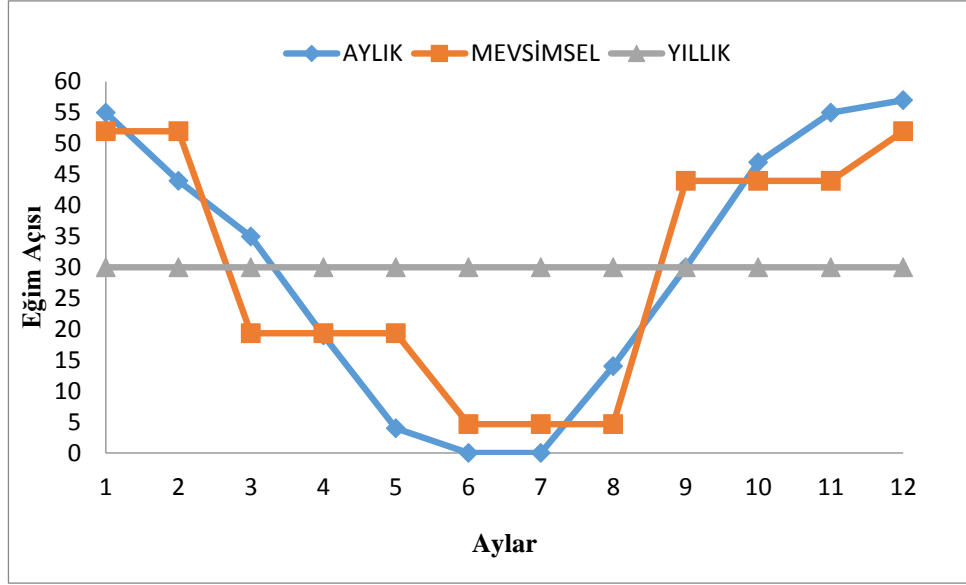
Çizelge 4.9. Gaziantep için optimum eğim açısı ve ışınım değerleri

Aylar	H (W/m ² -gün)	H _T (W/m ² -gün)	H _T (W/m ² -gün)	H _T (W/m ² -gün)
	β_0	β_{OPT}	β_{30}	β_{37}
Ocak	2020	2950	2744	2842
Şubat	2490	3059	2999	3044
Mart	4130	4770	4754	4769
Nisan	5040	5223	5152	5041
Mayıs	6140	6151	5775	5543
Haziran	6780	6780	6114	5811
Temmuz	6560	6560	6027	5753
Ağustos	5920	6036	5868	5695
Eylül	4980	5548	5548	5521
Ekim	3770	5060	4877	4994
Kasım	2400	3524	3280	3398
Aralık	1800	2713	2494	2592

Çizelge 4.9’da yer almakta olan dört farklı (eğim açısı 0°, optimum, 30° ve 37°) durum değerlendirilmesi yapıldığı takdirde Gaziantep ili için ortalama azami ışınım miktarı aylık belirlenen optimum açıyla (β_{OPT}) sağlanmaktadır. Enlem derecesine göre ayarlanan (β_{37}) yıllık sabit açıdaki panellerde yaz aylarında yatay düzlem (β_0) göre ışınım şiddeti azalırken kış aylarında ise bu değer artmaktadır.



Şekil 4.13. Gaziantep için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü



Şekil 4.14. Gaziantep için eğim açısının aylara göre değişimi

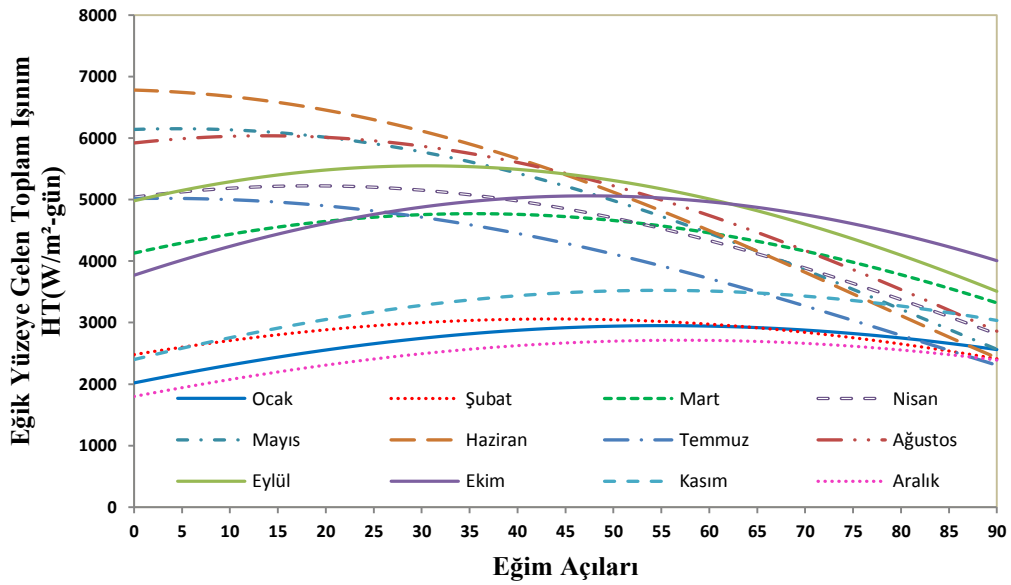
Şekil 4.13 ve 4.14’de görüldüğü üzere panellerde yatayla yapılan açının kış aylarından yazı doğru gidildikçe azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.10. Gaziantep için eğim açısı verim ilişkisi

Aylar	β_{OPT}	Verim %	β_{OPT}	Verim %	β_{OPT}	Verim %	β_{OPT}	Verim %
	Aylık	Aylık	Mevsim	Mevsim	Yıllık	Yıllık	Enlem	Enlem
Aralık	57°	50,72		50,28		38,56		44,00
Ocak	55°	46,04	52°	45,89	30°	35,84	37°	40,69
Şubat	44°	22,85		21,97		20,44		22,25
Mart	35°	15,50		12,08		15,11		15,47
Nisan	19°	3,63	19°	3,63	30°	2,22	37°	0,02
Mayıs	4°	0,18		-1,81		-5,94		-9,72
Haziran	0°	0,00		-0,56		-9,82		-14,29
Temmuz	0°	0,00	5°	-0,23	30°	-8,13	37°	-12,30
Ağustos	14°	1,96		1,17		-0,88		-3,80
Eylül	30°	11,41		9,08		11,41		10,86
Ekim	47°	34,22	44°	34,03	30°	29,36	37°	32,47
Kasım	55°	46,83		44,92		36,67		41,58

Panellerde oluşan ışınım miktarlarının eğim açısına göre analizi yapıldığı takdirde aylık verim artışı en çok kış aylarında görülürken yaz aylarındaki değişim ise görülmeyecek derecede azdır. Panel açısı yıllık olarak sabitlendiğinde kış aylarında yine verim artışı

gözlenirken yaz aylarında ise ilk duruma nazaran yine bir verim düşüşü görülmektedir. Panel üzerine düşen ortalama toplam ışınım miktarları bakımından aylık, mevsimsel ve yıllık değerlerin kıyaslaması yapıldığı takdirde Çizelge 4.10'da görülen ilk duruma göre sırasıyla %14, %12 ve %8 civarında verim artışı tespit edilmiştir. Panel açısı Gaziantep ilinin enlem açısına (37°) göre bütün yıla sabit olarak ayarlandığı takdirde ilk yatay durumda kış aylarında verim artışı görülürken yaz aylarında da verim düşüşü görülmektedir.



Şekil 4.15. Gaziantep için yıllık optimum açığa göre güneş ışınım değerleri

Yıllık optimum eğim açılına göre güneş ışınım değerleri bazında incelendiğinde, Haziran ayı ($6780 \text{ W/m}^2\text{-gün}$) ışınım değerini alarak eğik yüzeye gelen toplam ışınımın en fazla olduğu ay olarak saptanmıştır. Bu ayı sırasıyla Temmuz ($6560 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Mayıs ($6151 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Ağustos ($6036 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Eylül ($4889 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Nisan ($4837 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Ekim ($4089 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Mart ($3939 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Şubat ($2866 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Kasım ($2612 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Ocak ($2196 \text{ W/m}^2\text{-gün}$) ve eğik yüzeye gelen toplam ışınımın en az olduğu ay ise Aralık ($2713 \text{ W/m}^2\text{-gün}$) olarak saptanmıştır.

Kallioğlu (2017) tarafından yapılan çalışmada da oldukça benzer sonuçlar elde edilmiştir. Eğim açıları en düşük 0° (Haziran) ve en yüksek 57° (Aralık), yıllık

optimum sabit panel açısı 30° ve mevsimsel olarak uygun açı değerleri de $5^\circ - 52^\circ$ arasında hesaplanmıştır.

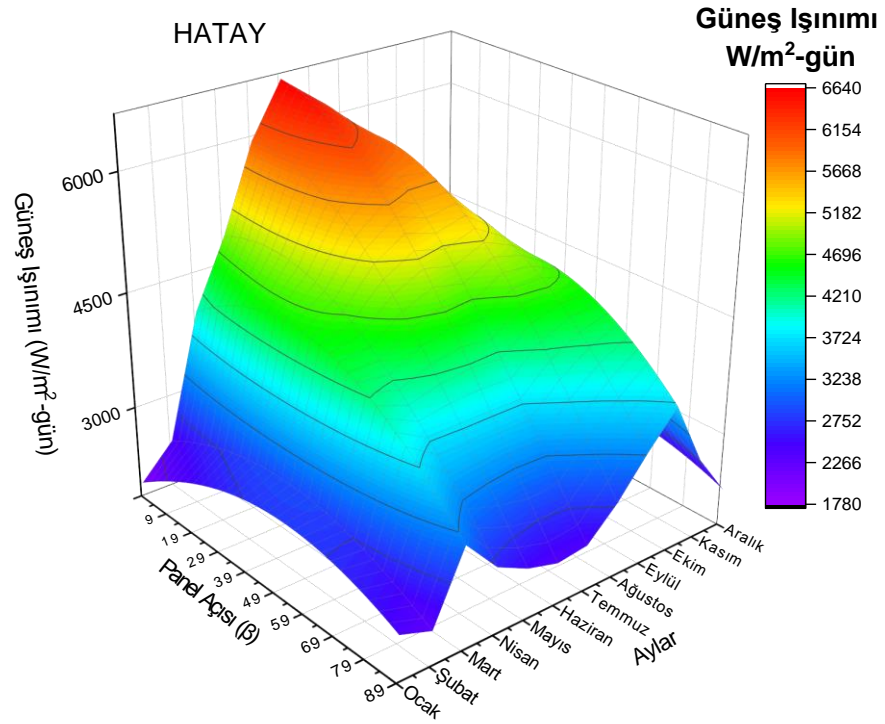
4.6. Hatay

Hatay için hesaplamalar sonucu elde edilen optimum açı değerlerinin güneş panelleri üzerinde oluşturabileceği ışınım şiddeti değerleri Çizelge 4.11’de görülmektedir.

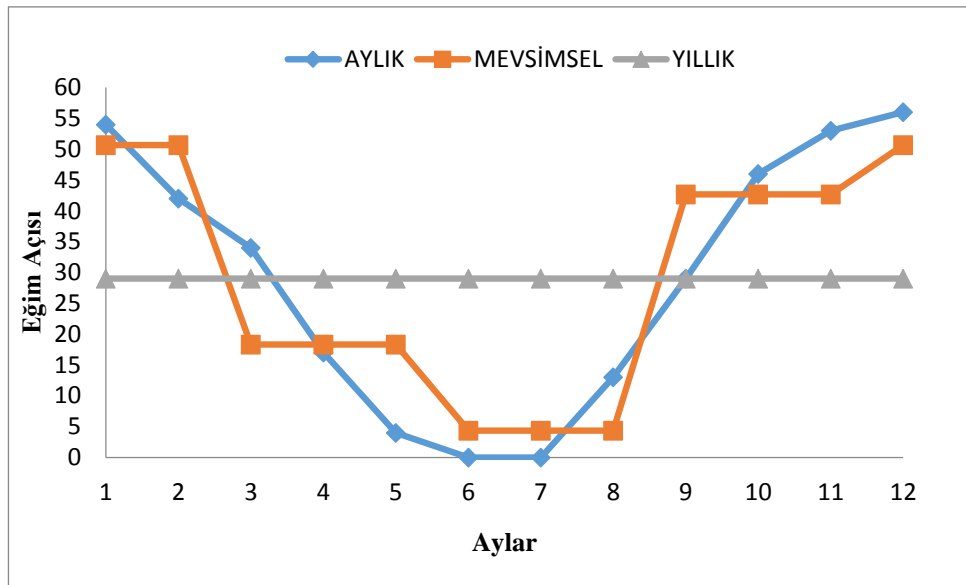
Çizelge 4.11. Hatay için optimum eğim açısı ve ışınım değerleri

Aylar	H (W/m ² -gün)	H _T (W/m ² -gün)	H _T (W/m ² -gün)	H _T (W/m ² -gün)
	β_0	β_{OPT}	β_{29}	β_{36}
Ocak	1990	2812	2629	2718
Şubat	2420	2911	2861	2900
Mart	4010	4563	4551	4562
Nisan	4870	5022	4954	4847
Mayıs	5960	5967	5611	5390
Haziran	6630	6630	5997	5704
Temmuz	6310	6310	5813	5554
Ağustos	5820	5915	5752	5584
Eylül	4750	5219	5219	5189
Ekim	3630	4723	4571	4672
Kasım	2350	3334	3119	3225
Aralık	1790	2611	2412	2503

Çizelge 4.11’de yer almakta olan dört farklı durum (eğim açısı 0° , optimum, 29° ve 36°) değerlendirilmesi yapıldığı takdirde Hatay ili için ortalama azami ışınım miktarı aylık belirlenen optimum açıyla (β_{OPT}) sağlanmaktadır. Enlem derecesine göre ayarlanan (β_{36}) yıllık sabit açıdaki panellerde yaz aylarında yatay düzlem (β_0) göre ışınım şiddeti azalırken kış aylarında ise bu değer artmaktadır.



Şekil 4.16. Hatay için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü



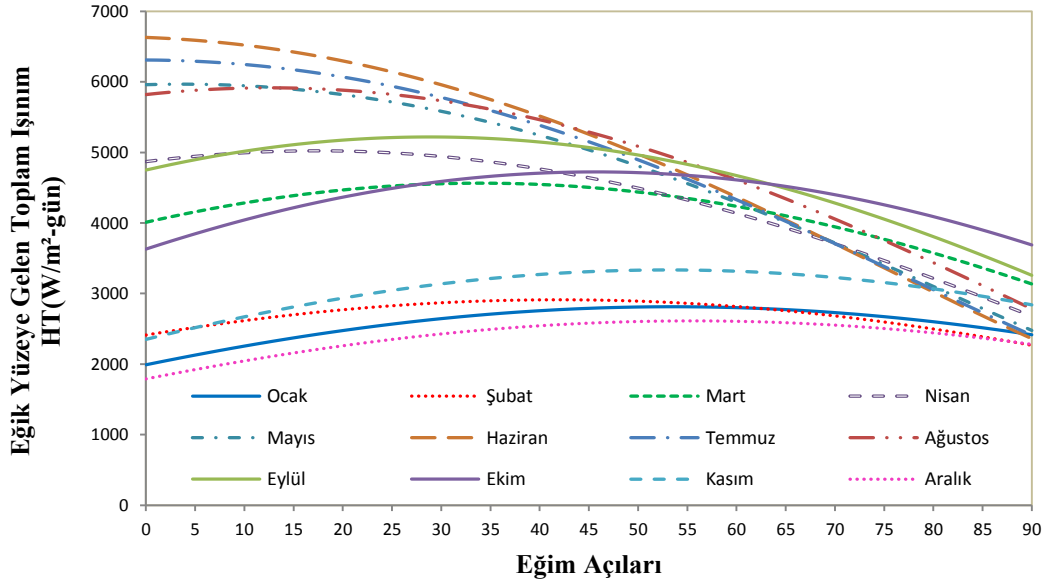
Şekil 4.17. Hatay için eğim açısının aylara göre değişimi

Şekil 4.16 ve 4.17’de görüldüğü üzere panellerde yatayla yapılan açının kış aylarından yaza doğru gidildikçe azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.12. Hatay için eğim açısı verim ilişkisi

Aylar	β_{opt} Aylık	Verim % Aylık	β_{opt} Mevsim	Verim % Mevsim	β_{opt} Yıllık	Verim % Yıllık	β_{opt} Enlem	Verim % Enlem
Aralık	56°	45,87		45,59		34,75		39,83
Ocak	54°	41,31	51°	41,21	29°	32,11	36°	36,58
Şubat	42°	20,29		19,30		18,22		19,83
Mart	34°	13,79		10,67		13,49		13,77
Nisan	17°	3,12	18°	3,12	29°	1,72	36°	-0,47
Mayıs	4°	0,12		-1,80		-5,86		-9,56
Haziran	0°	0,00		-0,47		-9,55		-13,97
Temmuz	0°	0,00	4°	-0,21	29°	-7,88	36°	-11,98
Ağustos	13°	1,63		0,86		-1,17		-4,05
Eylül	29°	9,87		7,43		9,87		9,24
Ekim	46°	30,11	43°	30,00	29°	25,92	36°	28,71
Kasım	53°	41,87		40,26		32,72		37,23

Panellerde oluşan ışınım miktarlarının eğim açısına göre analizi yapıldığı takdirde aylık verim artışı en çok kış aylarında görülürken yaz aylarındaki değişim ise görülmeyecek derecede azdır. Panel açısı yıllık olarak sabitlendiğinde kış aylarında yine verim artışı gözlenirken yaz aylarında ise ilk duruma nazaran yine bir verim düşüşü görülmektedir. Panel üzerine düşen ortalama toplam ışınım miktarları bakımından aylık, mevsimsel ve yıllık değerlerin kıyaslaması yapıldığı takdirde Çizelge 4.12’de görülen ilk duruma göre sırasıyla %11, %10 ve %6 civarında verim artışı tespit edilmiştir. Panel açısı Hatay ilinin enlem açısına (36°) göre bütün yıla sabit olarak ayarlandığı takdirde ilk yatay durumda kış aylarında verim artışı görülürken yaz aylarında da verim düşüşü görülmektedir.



Şekil 4.18. Hatay için yıllık optimum açığa göre güneş ışınım değerleri

Yıllık optimum eğim açlarına göre güneş ışınım değerleri bazında incelendiğinde, Haziran ayı (6 300 W/m²-gün) ışınım değerini alarak eğik yüzeye gelen toplam ışınımın en fazla olduğu ay olarak saptanmıştır. Bu ayı sırasıyla Temmuz (6 310 W/m²-gün), Mayıs (5 967 W/m²-gün), Ağustos (5 915 W/m²-gün), Eylül (5 219 W/m²-gün), Nisan (5 022 W/m²-gün), Ekim (4 723 W/m²-gün), Mart (4 563 W/m²-gün), Kasım (3 334 W/m²-gün), Şubat (2 911 W/m²-gün), Ocak (2 812 W/m²-gün) ve eğik yüzeye gelen toplam ışınımın en az olduğu ay ise Aralık (2 611 W/m²-gün) olarak saptanmıştır.

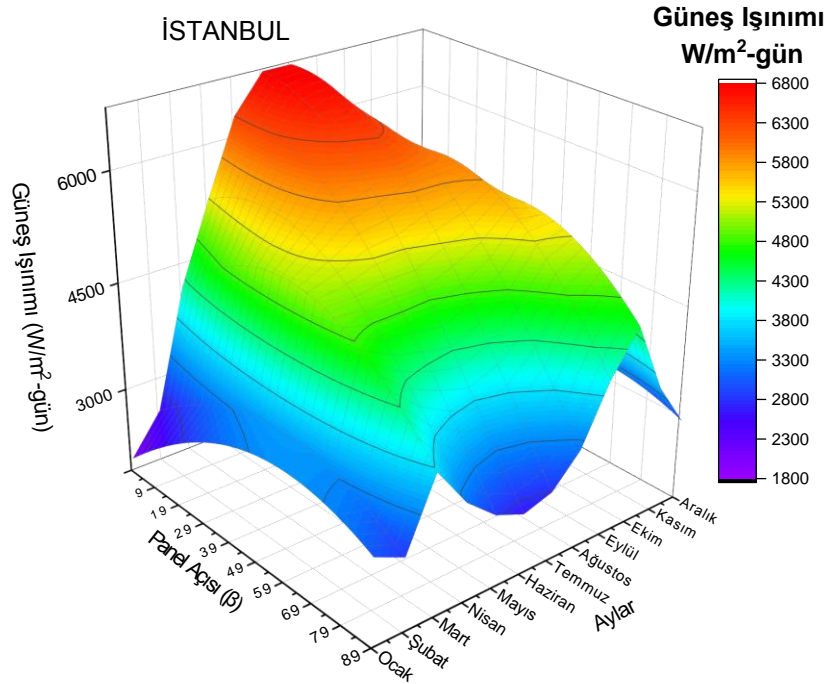
4.7. İstanbul

İstanbul için hesaplamalar sonucu elde edilen optimum açı değerlerinin güneş panelleri üzerinde oluşturabileceği ışınım şiddeti değerleri Çizelge 4.13’de görülmektedir.

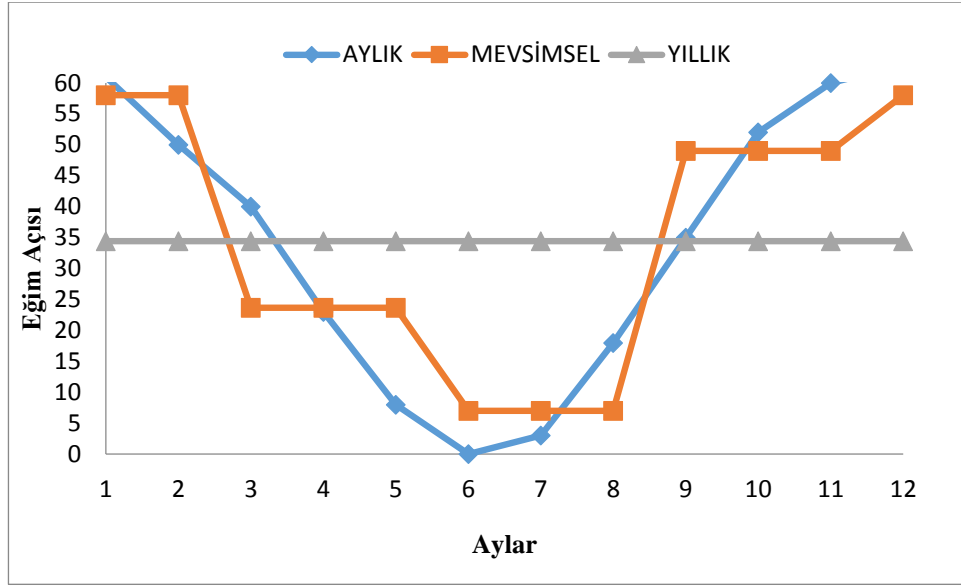
Çizelge 4.13. İstanbul için optimum eğim açısı ve ışınım değerleri

Aylar	H (W/m ² -gün)	H _T (W/m ² -gün)	H _T (W/m ² -gün)	H _T (W/m ² -gün)
	β_0	β_{OPT}	β_{34}	β_{41}
Ocak	2000	3366	3076	3205
Şubat	2570	3437	3344	3408
Mart	4200	5118	5094	5118
Nisan	5280	5584	5510	5388
Mayıs	6300	6336	5931	5686
Haziran	6790	6790	6095	5788
Temmuz	6790	6796	6222	5931
Ağustos	6070	6271	6091	5907
Eylül	5090	5918	5918	5894
Ekim	3740	5480	5255	5395
Kasım	2370	3972	3644	3794
Aralık	1800	3202	2876	3011

Çizelge 4.13’de yer almakta olan dört farklı durum (eğim açısı 0°, optimum, 34° ve 41°) değerlendirilmesi yapıldığı takdirde İstanbul ili için ortalama azami ışınım miktarı aylık belirlenen optimum açıyla (β_{OPT}) sağlanmaktadır. Enlem derecesine göre ayarlanan (β_{41}) yıllık sabit açıdaki panellerde yaz aylarında yatay düzlem (β_0) göre ışınım şiddeti azalırken kış aylarında ise bu değer artmaktadır.



Şekil 4.19. İstanbul için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü



Şekil 4.20. İstanbul için eğim açısının aylara göre değişimi

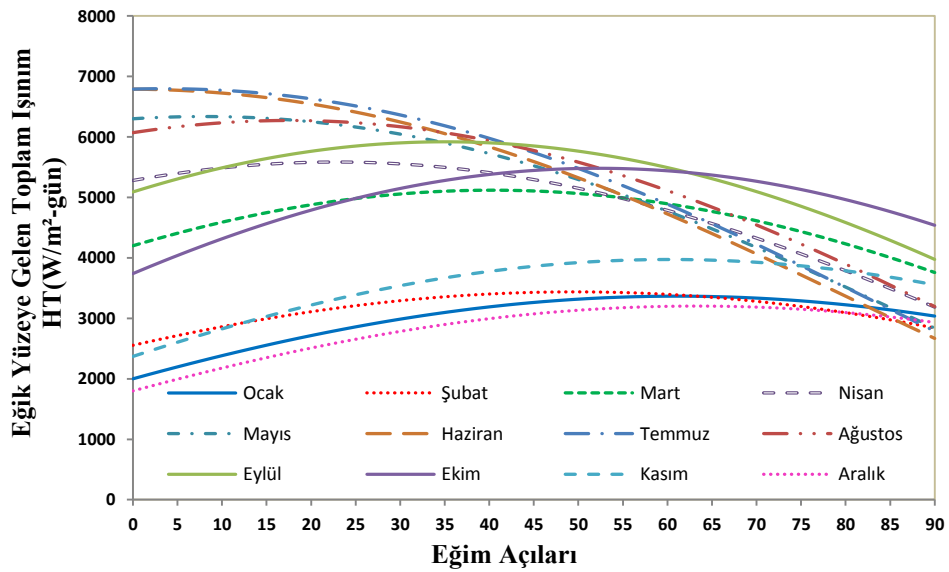
Şekil 4.19 ve 4.20’de görüldüğü üzere panellerde yatayla yapılan açının kış aylarından yazı doğru gidildikçe azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.14. İstanbul için eğim açısı verim ilişkisi

Aylar	β_{OPT}	Verim %	β_{OPT}	Verim %	β_{OPT}	Verim %	β_{OPT}	Verim %
	Aylık	Aylık	Mevsim	Mevsim	Yıllık	Yıllık	Enlem	Enlem
Aralık	63°	77,89		77,28		59,78		67,28
Ocak	61°	68,30	57°	68,10	33°	53,80	41°	60,25
Şubat	50°	33,74		32,68		30,12		32,61
Mart	40°	21,86		18,14		21,29		21,86
Nisan	23°	5,76	23°	5,74	33°	4,36	41°	2,05
Mayıs	8°	0,57		-1,86		-5,86		-9,75
Haziran	0°	0,00		-0,50		-10,24		-14,76
Temmuz	3°	0,09	6°	-0,01	33°	-8,37	41°	-12,65
Ağustos	18°	3,31		2,09		0,35		-2,69
Eylül	35°	16,27		13,63		16,27		15,80
Ekim	52°	46,52	45°	46,34	33°	40,51	41°	44,25
Kasım	60°	67,59		65,02		53,76		60,08

Panellerde oluşan ışınım miktarlarının eğim açısına göre analizi yapıldığı takdirde aylık verim artışı en çok kış aylarında görülürken yaz aylarındaki değişim ise görülmeyecek

derecede azdır. Panel açısı yıllık olarak sabitlendiğinde kış aylarında yine verim artışı gözlenirken yaz aylarında ise ilk duruma nazaran yine bir verim düşüşü görülmektedir. Panel üzerine düşen ortalama toplam ışınım miktarları bakımından aylık, mevsimsel ve yıllık değerlerin kıyaslaması yapıldığı takdirde Çizelge 4.14’de görülen ilk duruma göre sırasıyla %17, %16 ve %11 civarında verim artışı tespit edilmiştir. Panel açısı İstanbul ilinin enlem açısına (41°) göre bütün yıla sabit olarak ayarlandığı takdirde ilk yatay durumda kış aylarında verim artışı görülürken yaz aylarında da verim düşüşü görülmektedir.



Şekil 4.21. İstanbul için yıllık optimum açıya göre güneş ışınım değerleri

Yıllık optimum eğim açılarına göre güneş ışınım değerleri bazında incelendiğinde, Temmuz ayı ($6\ 796\ \text{W/m}^2\text{-gün}$) ışınım değerini alarak eğik yüzeye gelen toplam ışınımın en fazla olduğu ay olarak saptanmıştır. Bu ayı sırasıyla Haziran ($6\ 790\ \text{W/m}^2\text{-gün}$), Mayıs ($6\ 336\ \text{W/m}^2\text{-gün}$), Ağustos ($6\ 271\ \text{W/m}^2\text{-gün}$), Eylül ($5\ 918\ \text{W/m}^2\text{-gün}$), Nisan ($5\ 584\ \text{W/m}^2\text{-gün}$), Ekim ($5\ 480\ \text{W/m}^2\text{-gün}$), Mart ($5\ 118\ \text{W/m}^2\text{-gün}$), Kasım ($3\ 972\ \text{W/m}^2\text{-gün}$), Şubat ($3\ 437\ \text{W/m}^2\text{-gün}$), Ocak ($3\ 366\ \text{W/m}^2\text{-gün}$) ve eğik yüzeye gelen toplam ışınımın en az olduğu ay ise Aralık ($3\ 202\ \text{W/m}^2\text{-gün}$) olarak saptanmıştır.

Çağlar (2018) tarafından yapılan çalışmada da optimum açı değerlerinin yıl boyunca 16° - 55° arasında hesaplanmıştır. Şenpınar (2006) tarafından yapılan çalışmada farklı bölgedeki illere göre optimum eğim açıları Matlab simülasyon programı ile

hesaplanmıştır. Hesaplamalara göre en düşük 18° ile en yüksek 64° arasında değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Yıllık sabit optimum panel açısı için 37°, mevsimsel (kış, ilkbahar, yaz, sonbahar) olarak da sırasıyla 60°, 32°, 22° ve 50° olarak hesaplanmıştır.

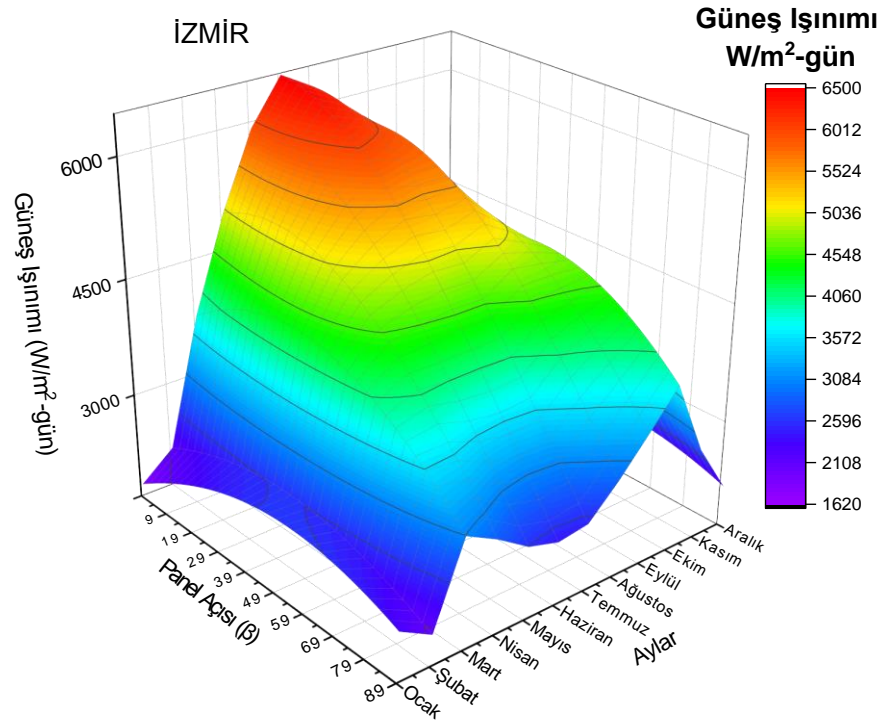
4.8. İzmir

İzmir için hesaplamalar sonucu elde edilen optimum açı değerlerinin güneş panelleri üzerinde oluşturabileceği ışınım şiddeti değerleri Çizelge 4.15’de görülmektedir.

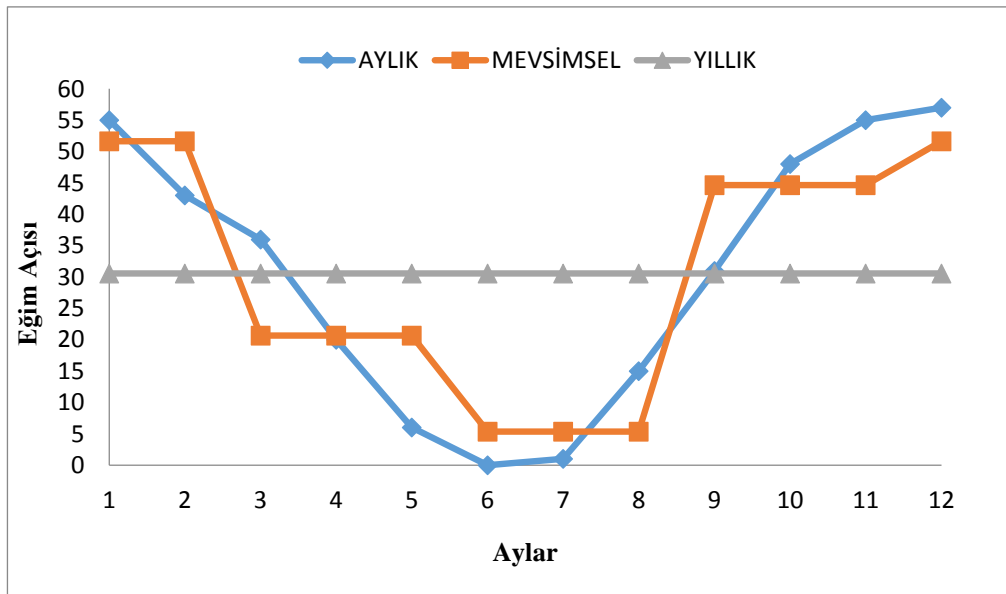
Çizelge 4.15. İzmir için optimum eğim açısı ve ışınım değerleri

Aylar	H (W/m ² -gün) β_0	H _T (W/m ² -gün) β_{OPT}	H _T (W/m ² -gün) β_{31}	H _T (W/m ² -gün) β_{38}
Ocak	1810	2632	2463	2546
Şubat	2160	2608	2572	2602
Mart	3790	4367	4357	4364
Nisan	4990	5195	5126	5016
Mayıs	5940	5956	5597	5376
Haziran	6500	6500	5876	5591
Temmuz	6270	6270	5774	5517
Ağustos	5760	5885	5721	5553
Eylül	4630	5160	5160	5130
Ekim	3540	4744	4588	4691
Kasım	2200	3241	3028	3133
Aralık	1620	2442	2256	2341

Çizelge 4.15’de yer almakta olan dört farklı durum değerlendirilmesi yapıldığı takdirde İzmir ili için ortalama azami ışınım miktarı aylık belirlenen optimum açıyla (β_{OPT}) sağlanmaktadır. Enlem derecesine göre ayarlanan (β_{38}) yıllık sabit açıdaki panellerde yaz aylarında yatay düzlem (β_0) göre ışınım şiddeti azalırken kış aylarında ise bu değer artmaktadır.



Şekil 4.22. İzmir için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü



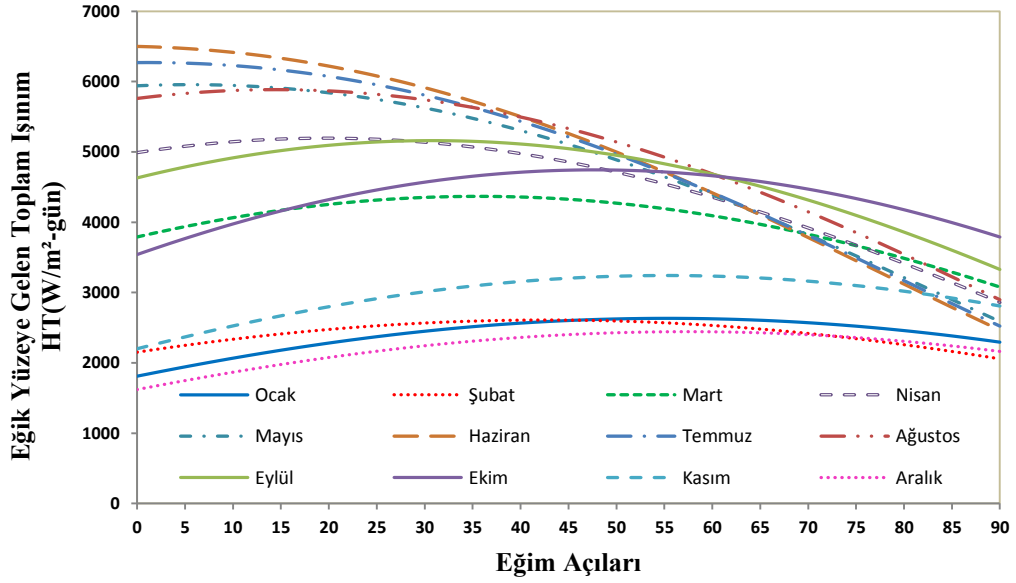
Şekil 4.23. İzmir için eğim açısının aylara göre değişimi

Şekil 4.22 ve 4.23’de görüldüğü üzere panellerde yatayla yapılan açının kış aylarından yazı doğru gidildikçe azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.16. İzmir için eğim açısı verim ilişkisi

Aylar	β_{OPT} Aylık	Verim % Aylık	β_{OPT} Mevsim	Verim % Mevsim	β_{OPT} Yıllık	Verim % Yıllık	β_{OPT} Enlem	Verim % Enlem
Aralık	57°	50,74		50,25		39,26		44,51
Ocak	55°	45,41	52°	45,25	31°	36,08	38°	40,66
Şubat	43°	20,74		19,72		19,07		20,46
Mart	36°	15,22		12,59		14,96		15,15
Nisan	20°	4,11	21°	4,09	31°	2,73	38°	0,52
Mayıs	6°	0,27		-1,97		-5,77		-9,49
Haziran	0°	0,00		-0,45		-9,60		-13,98
Temmuz	1°	0,00	5°	-0,13	31°	-7,91	38°	-12,01
Ağustos	15°	2,17		1,23		-0,68		-3,59
Eylül	31°	11,45		8,96		11,45		10,80
Ekim	48°	34,01	45°	33,90	31°	29,60	38°	32,51
Kasım	55°	47,32		45,59		37,64		42,41

Panellerde oluşan ışınım miktarlarının eğim açısına göre analizi yapıldığı takdirde aylık verim artışı en çok kış aylarında görülürken yaz aylarındaki değişim ise görülmeyecek derecede azdır. Panel açısı yıllık olarak sabitlendiğinde kış aylarında yine verim artışı gözlenirken yaz aylarında ise ilk duruma nazaran yine bir verim düşüşü görülmektedir. Panel üzerine düşen ortalama toplam ışınım miktarları bakımından aylık, mevsimsel ve yıllık değerlerin kıyaslaması yapıldığı takdirde Çizelge 4.16'da görülen ilk duruma göre sırasıyla %12, %11 ve %7 civarında verim artışı tespit edilmiştir. Panel açısı İzmir ilinin enlem açısına (38°) göre bütün yıla sabit olarak ayarlandığı takdirde ilk yatay durumda kış aylarında verim artışı görülürken yaz aylarında da verim düşüşü görülmektedir.



Şekil 4.24. İzmir için yıllık optimum açığa göre güneş ışınım değerleri

Yıllık optimum eğim açlarına göre güneş ışınım değerleri bazında incelendiğinde, Haziran ayı (6 500 W/m²-gün) ışınım değerini alarak eğik yüzeye gelen toplam ışınımın en fazla olduğu ay olarak saptanmıştır. Bu ayı sırasıyla Temmuz (6 270 W/m²-gün), Mayıs (5 956 W/m²-gün), Ağustos (5 885 W/m²-gün), Nisan (5 195 W/m²-gün), Eylül (5 160 W/m²-gün), Ekim (4 744 W/m²-gün), Mart (4 367 W/m²-gün), Kasım (3 241 W/m²-gün), Ocak (2 632 W/m²-gün), Şubat (2 608 W/m²-gün) ve eğik yüzeye gelen toplam ışınımın en az olduğu ay ise Aralık (2 442 W/m²-gün) olarak saptanmıştır.

Şenpınar (2006) tarafından yapılan çalışmada farklı bölgedeki illere göre optimum eğim açıları Matlab simülasyon programı ile hesaplanmıştır. Hesaplamalara göre en düşük 15° ile en yüksek 61° arasında değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Yıllık sabit optimum panel açısı için 34°, mevsimsel (kış, ilkbahar, yaz, sonbahar) olarak da sırasıyla 57°, 30°, 19° ve 47° olarak hesaplanmıştır.

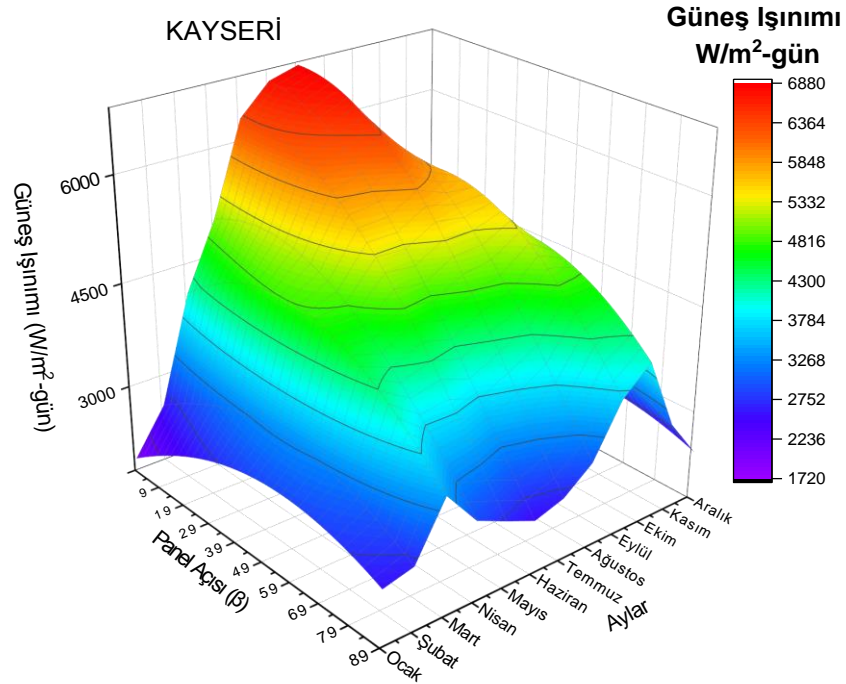
4.9. Kayseri

Kayseri için hesaplamalar sonucu elde edilen optimum açı değerlerinin güneş panelleri üzerinde oluşturabileceği ışınım şiddeti değerleri Çizelge 4.17’de görülmektedir.

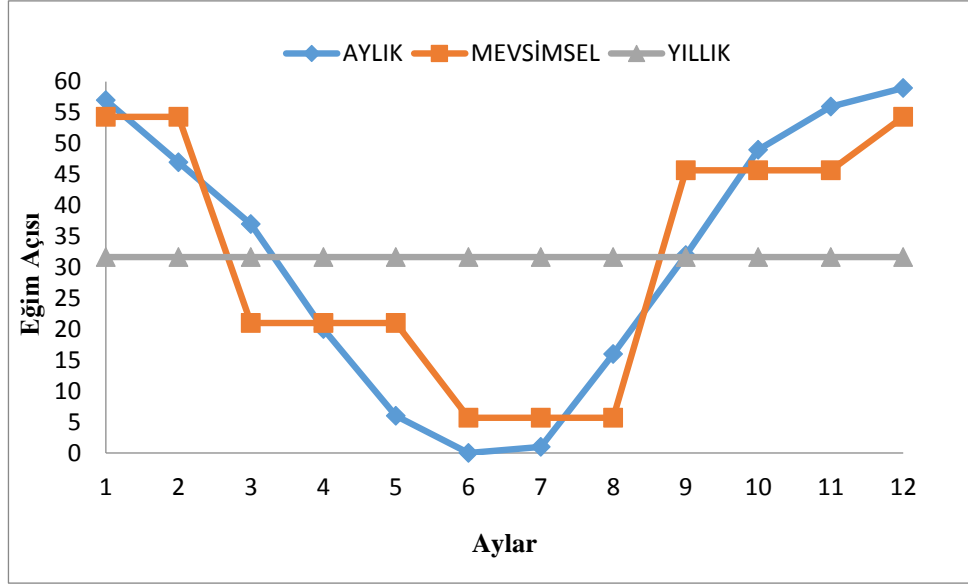
Çizelge 4.17. Kayseri için optimum eğim açısı ve ışınım değerleri

Aylar	H (W/m ² -gün)	H _T (W/m ² -gün)	H _T (W/m ² -gün)	H _T (W/m ² -gün)
	β_0	β_{OPT}	β_{32}	β_{39}
Ocak	1930	2917	2715	2812
Şubat	2590	3312	3236	3292
Mart	4100	4818	4804	4817
Nisan	5040	5256	5179	5062
Mayıs	6330	6350	5943	5698
Haziran	6740	6740	6054	5749
Temmuz	6860	6861	6276	5981
Ağustos	5980	6135	5958	5777
Eylül	5030	5697	5697	5668
Ekim	3620	5029	4844	4962
Kasım	2280	3446	3215	3328
Aralık	1730	2722	2498	2598

Çizelge 4.17’de yer almakta olan dört farklı durum (eğim açısı 0°, optimum, 32° ve 39°) değerlendirilmesi yapıldığı takdirde Kayseri ili için ortalama azami ışınım miktarı aylık belirlenen optimum açıyla (β_{OPT}) sağlanmaktadır. Enlem derecesine göre ayarlanan (β_{39}) yıllık sabit açıdaki panellerde yaz aylarında yatay düzlem (β_0) göre ışınım şiddeti azalırken kış aylarında ise bu değer artmaktadır.



Şekil 4.25. Kayseri için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü



Şekil 4.26. Kayseri için eğim açısının aylara göre değişimi

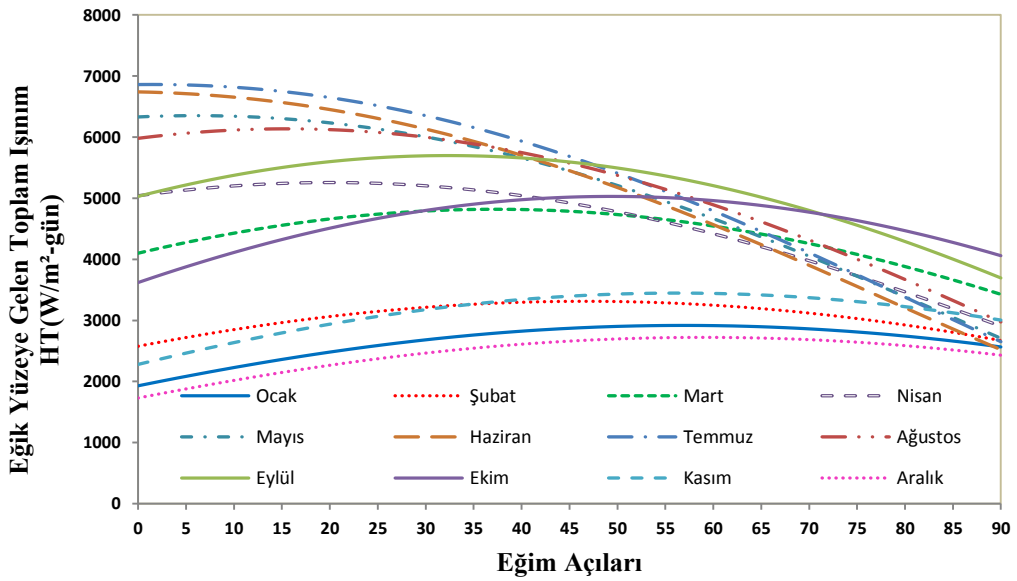
Şekil 4.25 ve 4.26’da görüldüğü üzere panellerde yatayla yapılan açının kış aylarından yazı doğru gidildikçe azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.18. Kayseri için eğim açısı verim ilişkisi

Aylar	β_{OPT} Aylık	Verim % Aylık	β_{OPT} Mevsim	Verim % Mevsim	β_{OPT} Yıllık	Verim % Yıllık	β_{OPT} Enlem	Verim % Enlem
Aralık	59°	57,34		56,88		44,39		50,17
Ocak	57°	51,14	54°	51,04	32°	40,67	39°	45,70
Şubat	47°	27,88		27,14		24,94		27,10
Mart	37°	17,51		14,10		17,17		17,49
Nisan	20°	4,29	21°	4,29	32°	2,76	39°	0,44
Mayıs	6°	0,32		-1,82		-6,11		-9,98
Haziran	0°	0,00		-0,58		-10,18		-14,70
Temmuz	1°	0,01	6°	-0,17	32°	-8,51	39°	-12,81
Ağustos	16°	2,59		1,61		-0,37		-3,39
Eylül	32°	13,26		10,83		13,26		12,68
Ekim	49°	38,92	46°	38,73	32°	33,81	39°	37,07
Kasım	56°	51,14		49,30		41,01		45,96

Panellerde oluşan ışınım miktarlarının eğim açısına göre analizi yapıldığı takdirde aylık verim artışı en çok kış aylarında görülürken yaz aylarındaki değişim ise görülmeyecek derecede azdır. Panel açısı yıllık olarak sabitlendiğinde kış aylarında yine verim artışı

gözlenirken yaz aylarında ise ilk duruma nazaran yine bir verim düşüşü görülmektedir. Panel üzerine düşen ortalama toplam ışınım miktarları bakımından aylık, mevsimsel ve yıllık değerlerin kıyaslaması yapıldığı takdirde Çizelge 4.18’de görülen ilk duruma göre sırasıyla %14, %12 ve %8 civarında verim artışı tespit edilmiştir. Panel açısı Kayseri ilinin enlem açısına (39°) göre bütün yıla sabit olarak ayarlandığı takdirde ilk yatay durumda kış aylarında verim artışı görülürken yaz aylarında da verim düşüşü görülmektedir.



Şekil 4.27. Kayseri için yıllık optimum açıya göre güneş ışınım değerleri

Yıllık optimum eğim açlarına göre güneş ışınım değerleri bazında incelendiğinde, Temmuz ayı (6 861 W/m²-gün) ışınım değerini alarak eğik yüzeye gelen toplam ışınımın en fazla olduğu ay olarak saptanmıştır. Bu ayı sırasıyla Haziran (6 740 W/m²-gün), Mayıs (6 350 W/m²-gün), Ağustos (6 135 W/m²-gün), Eylül (5 697 W/m²-gün), Nisan (5 256 W/m²-gün), Ekim (5 029 W/m²-gün), Mart (4 818 W/m²-gün), Kasım (3 446 W/m²-gün), Şubat (3 312 W/m²-gün), Ocak (2 917 W/m²-gün) ve eğik yüzeye gelen toplam ışınımın en az olduğu ay ise Aralık (2 722 W/m²-gün) olarak saptanmıştır.

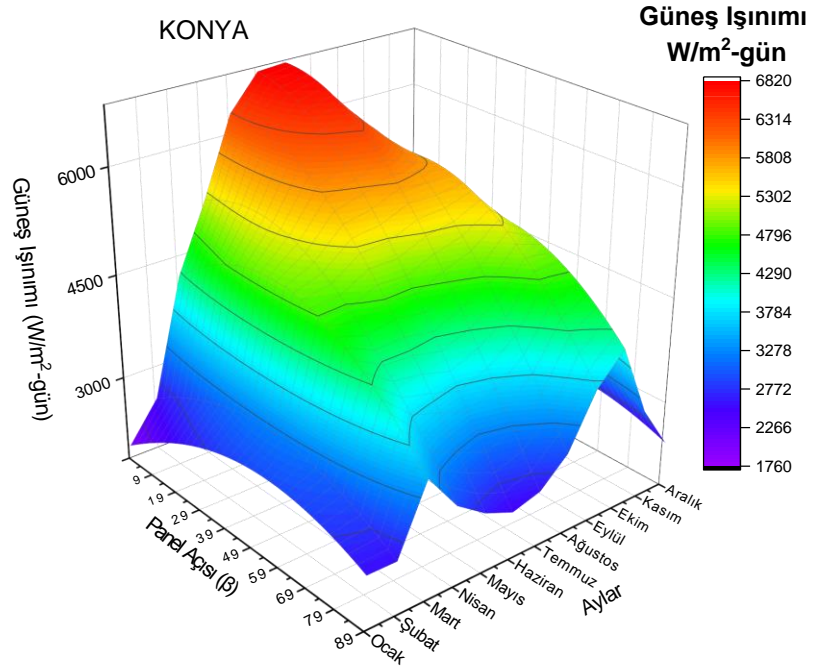
4.10. Konya

Konya için hesaplamalar sonucu elde edilen optimum açı değerlerinin güneş panelleri üzerinde oluşturabileceği ışıyım şiddeti değerleri Çizelge 4.19’da görölmektedir.

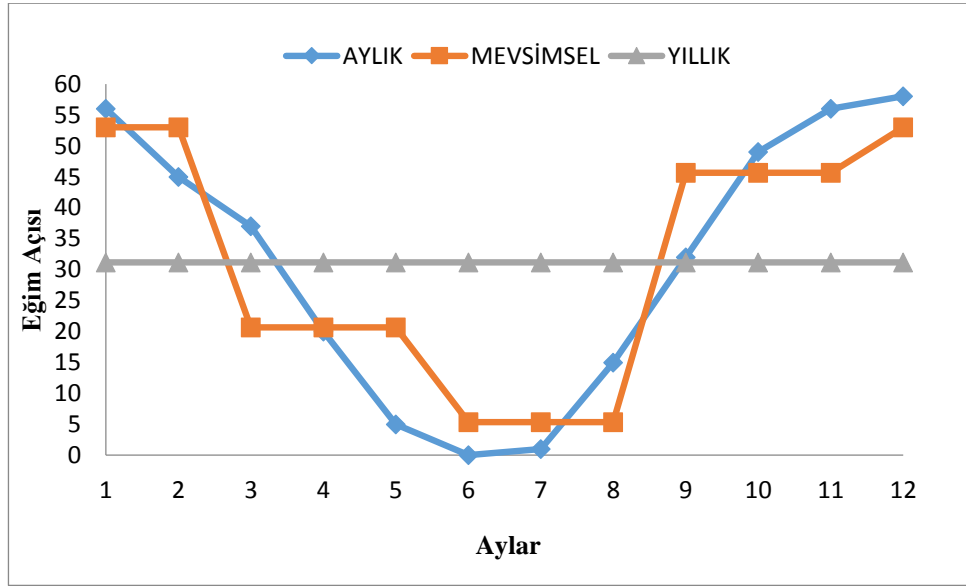
Çizelge 4.19. Konya için optimum eğim açısı ve ışıyım değerleri

Aylar	H (W/m ² -gün) β_0	H _T (W/m ² -gün) β_{OPT}	H _T (W/m ² -gün) β_{31}	H _T (W/m ² -gün) β_{38}
Ocak	1980	2941	2736	2834
Şubat	2560	3212	3143	3194
Mart	4230	4954	4936	4953
Nisan	5200	5415	5342	5225
Mayıs	6300	6315	5919	5677
Haziran	6780	6780	6100	5795
Temmuz	6810	6810	6240	5949
Ağustos	6050	6189	6015	5834
Eylül	5120	5770	5770	5743
Ekim	3730	5131	4935	5059
Kasım	2360	3525	3282	3400
Aralık	1770	2725	2503	2602

Çizelge 4.19’da yer almakta olan dört farklı durum (eğim açısı 0°, optimum, 31° ve 38°) değerlendirilmesi yapıldığı taktirde Konya ili için ortalama azami ışıyım miktarı aylık belirlenen optimum açıyla (β_{OPT}) sağlanmaktadır. Enlem derecesine göre ayarlanan (β_{38}) yıllık sabit açıdaki panellerde yaz aylarında yatay düzlem (β_0) göre ışıyım şiddeti azalırken kış aylarında ise bu değer artmaktadır.



Şekil 4.28. Konya için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü



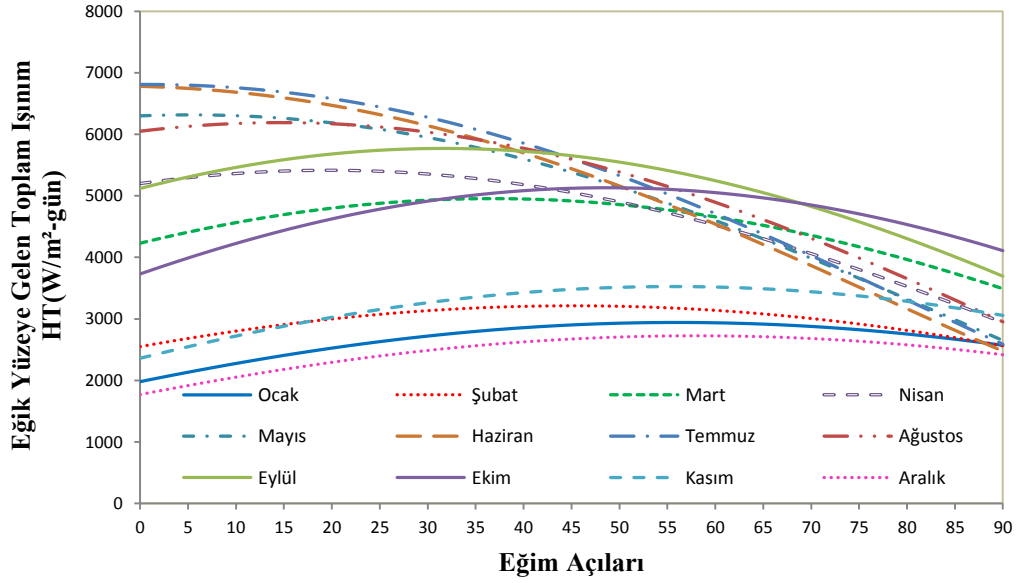
Şekil 4.29. Konya için eğim açısının aylara göre değişimi

Şekil 4.28 ve 4.29’da görüldüğü üzere panellerde yatayla yapılan açının kış aylarından yazı doğru gidildikçe azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.20. Konya için eğim açısı verim ilişkisi

Aylar	β_{opt} Aylık	Verim % Aylık	β_{opt} Mevsim	Verim % Mevsim	β_{opt} Yıllık	Verim % Yıllık	β_{opt} Enlem	Verim % Enlem
Aralık	58°	53,95		53,50		41,41		47,01
Ocak	56°	48,54	53°	48,38	31°	38,18	38°	43,13
Şubat	45°	25,47		24,69		22,77		24,77
Mart	37°	17,12		13,88		16,69		17,09
Nisan	20°	4,13	21°	4,12	31°	2,73	38°	0,48
Mayıs	5°	0,24		-2,11		-6,05		-9,89
Haziran	0°	0,00		-0,50		-10,03		-14,53
Temmuz	1°	0,00	5°	-0,18	31°	-8,37	38°	-12,64
Ağustos	15°	2,30		1,29		-0,58		-3,57
Eylül	32°	12,70		10,04		12,70		12,17
Ekim	49°	37,56	46°	37,43	31°	32,31	38°	35,63
Kasım	56°	49,36		47,80		39,07		44,07

Panellerde oluşan ışınım miktarlarının eğim açısına göre analizi yapıldığı takdirde aylık verim artışı en çok kış aylarında görülürken yaz aylarındaki değişim ise görülmeyecek derecede azdır. Panel açısı yıllık olarak sabitlendiğinde kış aylarında yine verim artışı gözlenirken yaz aylarında ise ilk duruma nazaran yine bir verim düşüşü görülmektedir. Panel üzerine düşen ortalama toplam ışınım miktarları bakımından aylık, mevsimsel ve yıllık değerlerin kıyaslaması yapıldığı takdirde Çizelge 4.20’de görülen ilk duruma göre sırasıyla %13, %12 ve %8 civarında verim artışı tespit edilmiştir. Panel açısı Konya ilinin enlem açısına (38°) göre bütün yıla sabit olarak ayarlandığı takdirde ilk yatay durumda kış aylarında verim artışı görülürken yaz aylarında da verim düşüşü görülmektedir.



Şekil 4.30. Konya için yıllık optimum açıya göre güneş ışınım değerleri

Yıllık optimum eğim açlarına göre güneş ışınım değerleri bazında incelendiğinde, Temmuz ayı (6 810 W/m²-gün) ışınım değerini alarak eğik yüzeye gelen toplam ışınımın en fazla olduğu ay olarak saptanmıştır. Bu ayı sırasıyla Haziran (6 780 W/m²-gün), Mayıs (6 315 W/m²-gün), Ağustos (6 189 W/m²-gün), Eylül (5 770 W/m²-gün), Nisan (5 415 W/m²-gün), Ekim (5 131 W/m²-gün), Mart (4 954 W/m²-gün), Kasım (3 525 W/m²-gün), Şubat (3 212 W/m²-gün), Ocak (2 941 W/m²-gün) ve eğik yüzeye gelen toplam ışınımın en az olduğu ay ise Aralık (2 725 W/m²-gün) olarak saptanmıştır.

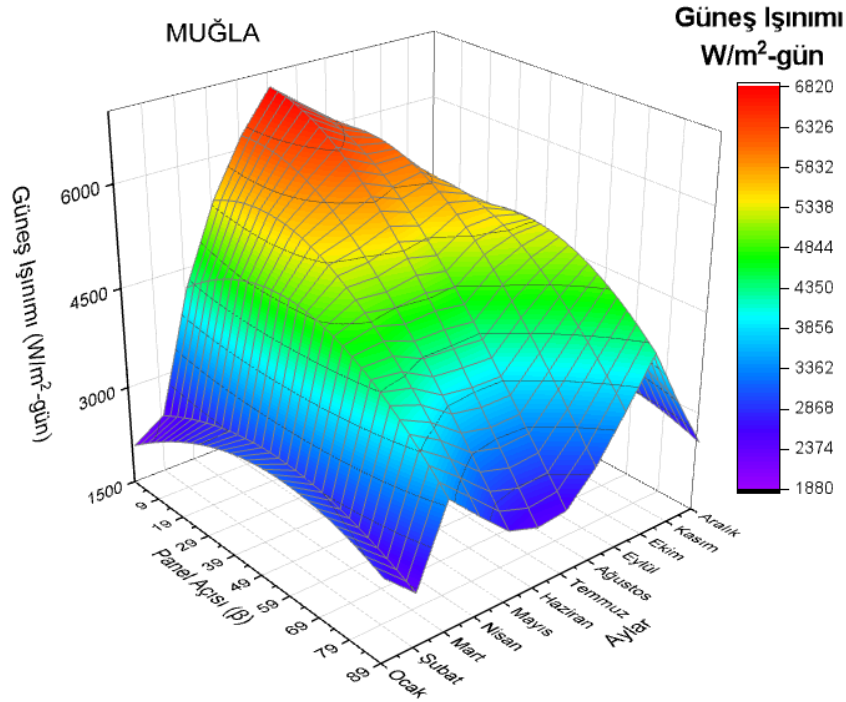
4.11. Muğla

Muğla için hesaplamalar sonucu elde edilen optimum açı değerlerinin güneş panelleri üzerinde oluşturabileceği ışınım şiddeti değerleri Çizelge 4.21’de görülmektedir.

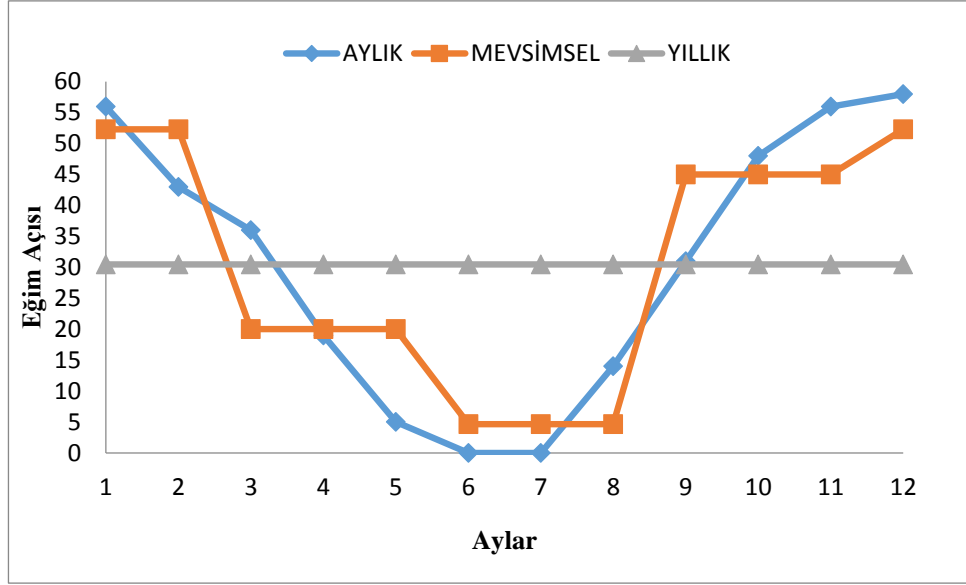
Çizelge 4.21. Muğla için optimum eğim açısı ve ışınım değerleri

Aylar	H (W/m ² -gün)	H _T (W/m ² -gün)	H _T (W/m ² -gün)	H _T (W/m ² -gün)
	β_0	β_{OPT}	β_{31}	β_{37}
Ocak	2110	3154	2931	3024
Şubat	2420	2955	2909	2943
Mart	4240	4930	4916	4929
Nisan	5400	5621	5541	5437
Mayıs	6220	6232	5823	5619
Haziran	6810	6810	6103	5839
Temmuz	6470	6470	5916	5682
Ağustos	6050	6168	5976	5821
Eylül	5050	5644	5644	5619
Ekim	3960	5353	5172	5278
Kasım	2560	3883	3602	3720
Aralık	1880	2904	2667	2760

Çizelge 4.21’de yer almakta olan dört farklı durum (eğim açısı 0°, optimum, 31° ve 37°) değerlendirilmesi yapıldığı takdirde Hatay ili için ortalama azami ışınım miktarı aylık belirlenen optimum açıyla (β_{OPT}) sağlanmaktadır. Enlem derecesine göre ayarlanan (β_{37}) yıllık sabit açıdaki panellerde yaz aylarında yatay düzlem (β_0) göre ışınım şiddeti azalırken kış aylarında ise bu değer artmaktadır.



Şekil 4.31. Muğla için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü



Şekil 4.32. Muğla için eğim açısının aylara göre değişimi

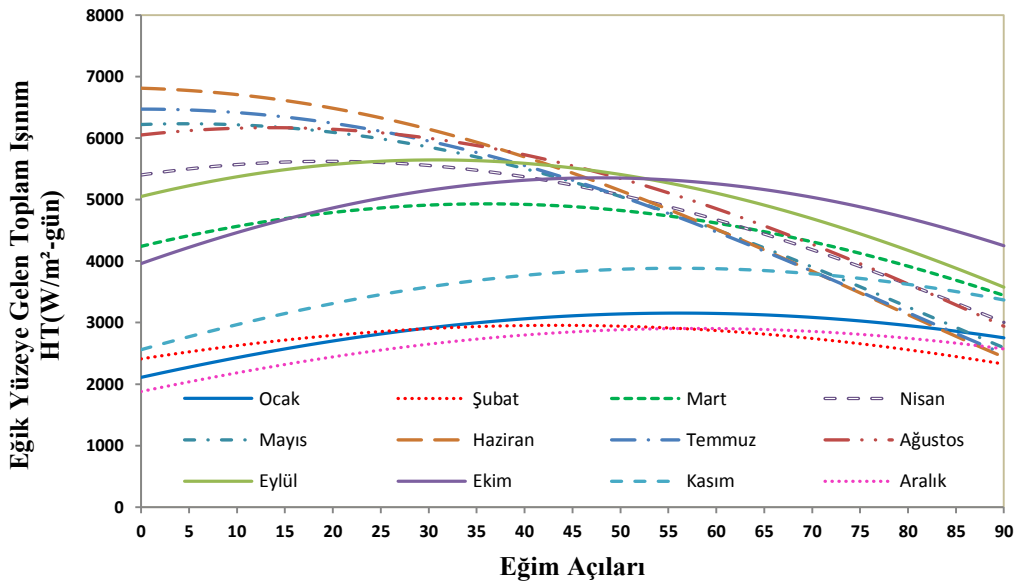
Şekil 4.31 ve 4.32’de görüldüğü üzere panellerde yatayla yapılan açının kış aylarından yazı doğru gidildikçe azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.22. Muğla için eğim açısı verim ilişkisi

Aylar	β_{OPT} Aylık	Verim % Aylık	β_{OPT} Mevsim	Verim % Mevsim	β_{OPT} Yıllık	Verim % Yıllık	β_{OPT} Enlem	Verim % Enlem
Aralık	58°	54,47		53,83		41,86		46,81
Ocak	56°	49,48	52°	49,19	31°	38,91	37°	43,32
Şubat	43°	22,11		21,16		20,21		21,61
Mart	36°	16,27		12,97		15,94		16,25
Nisan	19°	4,09	20°	4,09	31°	2,61	37°	0,69
Mayıs	5°	0,19		-2,04		-6,38		-9,66
Haziran	0°	0,00		-0,56		-10,38		-14,26
Temmuz	0°	0,00	5°	-0,22	31°	-8,56	37°	-12,18
Ağustos	14°	1,95		1,16		-1,22		-3,79
Eylül	31°	11,76		9,19		11,76		11,27
Ekim	48°	35,18	45°	35,05	31°	30,61	37°	33,28
Kasım	56°	51,68		49,53		40,70		45,31

Panellerde oluşan ışınım miktarlarının eğim açısına göre analizi yapıldığı takdirde aylık verim artışı en çok kış aylarında görülürken yaz aylarındaki değişim ise görülmeyecek derecede azdır. Panel açısı yıllık olarak sabitlendiğinde kış aylarında yine verim artışı

gözlenirken yaz aylarında ise ilk duruma nazaran yine bir verim düşüşü görülmektedir. Panel üzerine düşen ortalama toplam ışınım miktarları bakımından aylık, mevsimsel ve yıllık değerlerin kıyaslaması yapıldığı takdirde Çizelge 4.22’de görülen ilk duruma göre sırasıyla %13, %12 ve %8 civarında verim artışı tespit edilmiştir. Panel açısı Muğla ilinin enlem açısına (37°) göre bütün yıla sabit olarak ayarlandığı takdirde ilk yatay durumda kış aylarında verim artışı görülürken yaz aylarında da verim düşüşü görülmektedir.



Şekil 4.33. Muğla için yıllık optimum açıya göre güneş ışınım değerleri

Yıllık optimum eğim açlarına göre güneş ışınım değerleri bazında incelendiğinde, Haziran ayı (6 810 W/m²-gün) ışınım değerini alarak eğim yüzeye gelen toplam ışınımın en fazla olduğu ay olarak saptanmıştır. Bu ayı sırasıyla Temmuz (6 470 W/m²-gün), Mayıs (6 232 W/m²-gün), Ağustos (6 168 W/m²-gün), Eylül (5 644 W/m²-gün), Nisan (5 621 W/m²-gün), Ekim (5 353 W/m²-gün), Mart (4 930 W/m²-gün), Kasım (3 883 W/m²-gün), Ocak (3 154 W/m²-gün), Şubat (2 955 W/m²-gün) ve eğim yüzeye gelen toplam ışınımın en az olduğu ay ise Aralık (2 904 W/m²-gün) olarak saptanmıştır.

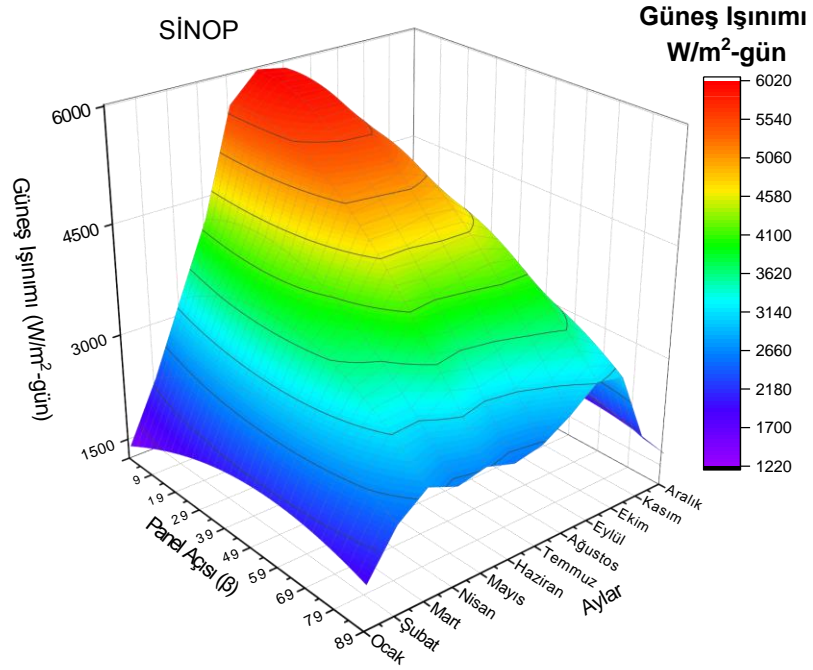
4.12. Sinop

Sinop için hesaplamalar sonucu elde edilen optimum açı değerlerinin güneş panelleri üzerinde oluşturabileceği ışınım şiddeti değerleri Çizelge 4.23’de görülmektedir.

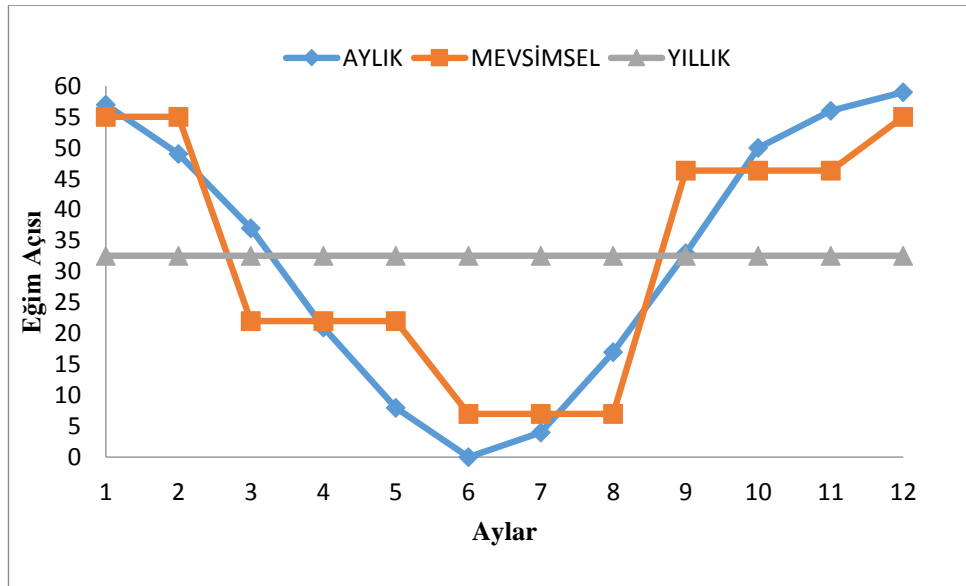
Çizelge 4.23. Sinop için optimum eğim açısı ve ışınım değerleri

Aylar	H (W/m ² -gün) β_0	H _T (W/m ² -gün) β_{OPT}	H _T (W/m ² -gün) β_{33}	H _T (W/m ² -gün) β_{42}
Ocak	1420	2104	1974	2053
Şubat	2270	2971	2892	2956
Mart	3250	3779	3768	3770
Nisan	4230	4419	4357	4230
Mayıs	5640	5673	5357	5089
Haziran	6010	6010	5478	5150
Temmuz	5940	5947	5513	5205
Ağustos	5230	5386	5250	5054
Eylül	4130	4666	4666	4625
Ekim	2710	3731	3605	3703
Kasım	1630	2370	2239	2322
Aralık	1230	1881	1745	1823

Çizelge 4.23’de yer almakta olan dört farklı durum (eğim açısı 0°, optimum, 33° ve 42°) değerlendirilmesi yapıldığı takdirde Sinop ili için ortalama azami ışınım miktarı aylık belirlenen optimum açıyla (β_{OPT}) sağlanmaktadır. Enlem derecesine göre ayarlanan (β_{42}) yıllık sabit açıdaki panellerde yaz aylarında yatay düzlem (β_0) göre ışınım şiddeti azalırken kış aylarında ise bu değer artmaktadır.



Şekil 4.34. Sinop için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü



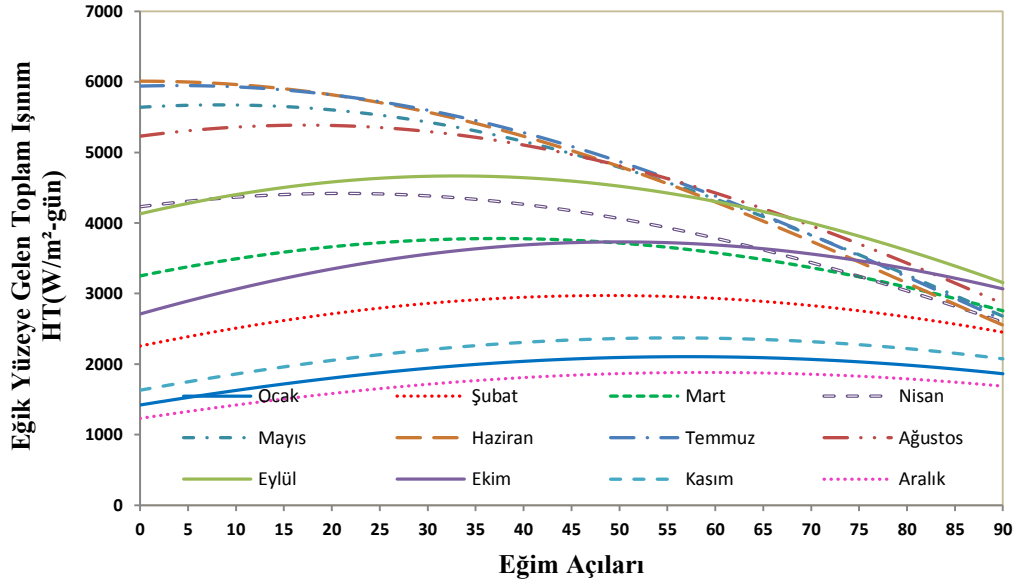
Şekil 4.35. Sinop için eğim açısının aylara göre değişimi

Şekil 4.34 ve 4.35’de görüldüğü üzere panellerde yatayla yapılan açının kış aylarından yaza doğru gidildikçe azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.24. Sinop için eğim açısı verim ilişkisi

Aylar	β_{opt} Aylık	Verim % Aylık	β_{opt} Mevsim	Verim % Mevsim	β_{opt} Yıllık	Verim % Yıllık	β_{opt} Enlem	Verim % Enlem
Aralık	59°	52,93		52,68		41,87		48,21
Ocak	57°	48,17	55°	48,10	33°	39,01	42°	44,58
Şubat	49°	30,88		30,35		27,40		30,22
Mart	37°	16,28		13,48		15,94		16,00
Nisan	21°	4,47	22°	-7,04	33°	3,00	42°	0,00
Mayıs	8°	0,59		-1,13		-5,02		-9,77
Haziran	0°	0,00		-0,40		-8,85		-14,31
Temmuz	4°	0,12	7°	0,03	33°	-7,19	42°	-12,37
Ağustos	17°	2,98		1,91		0,38		-3,37
Eylül	33°	12,98		10,92		12,98		11,99
Ekim	50°	37,68	46°	37,42	33°	33,03	42°	36,64
Kasım	56°	45,40		43,93		37,36		42,45

Panellerde oluşan ışınım miktarlarının eğim açısına göre analizi yapıldığı takdirde aylık verim artışı en çok kış aylarında görülürken yaz aylarındaki değişim ise görülmeyecek derecede azdır. Panel açısı yıllık olarak sabitlendiğinde kış aylarında yine verim artışı gözlenirken yaz aylarında ise ilk duruma nazaran yine bir verim düşüşü görülmektedir. Panel üzerine düşen ortalama toplam ışınım miktarları bakımından aylık, mevsimsel ve yıllık değerlerin kıyaslaması yapıldığı takdirde Çizelge 4.24.'de görülen ilk duruma göre sırasıyla %12, %10 ve %7 civarında verim artışı tespit edilmiştir. Panel açısı Sinop ilinin enlem açısına (42°) göre bütün yıla sabit olarak ayarlandığı takdirde ilk yatay durumda kış aylarında verim artışı görülürken yaz aylarında da verim düşüşü görülmektedir.



Şekil 4.36. Sinop için yıllık optimum açığa göre güneş ışınım değerleri

Yıllık optimum eğim açlarına göre güneş ışınım değerleri bazında incelendiğinde, Haziran ayı (6 010 W/m²-gün) ışınım değerini alarak eğik yüzeye gelen toplam ışınımın en fazla olduğu ay olarak saptanmıştır. Bu ayı sırasıyla Temmuz (5 947 W/m²-gün), Mayıs (5 673 W/m²-gün), Ağustos (5 386 W/m²-gün), Eylül (4 666 W/m²-gün), Nisan (4 419 W/m²-gün), Mart (3 779 W/m²-gün), Ekim (3 731 W/m²-gün), Şubat (2 971 W/m²-gün), Kasım (2 370 W/m²-gün), Ocak (2 104 W/m²-gün), ve eğik yüzeye gelen toplam ışınımın en az olduğu ay ise Aralık (2 904 W/m²-gün) olarak saptanmıştır.

Şenpınar (2006) tarafından yapılan çalışmada farklı bölgedeki illere göre optimum eğim açıları Matlab simülasyon programı ile hesaplanmıştır. Hesaplamalara göre en düşük 19° ile en yüksek 65° arasında değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Yıllık sabit optimum panel açısı için 38°, mevsimsel (kış, ilkbahar, yaz, sonbahar) olarak da sırasıyla 61°, 33°, 23° ve 46° olarak hesaplanmıştır.

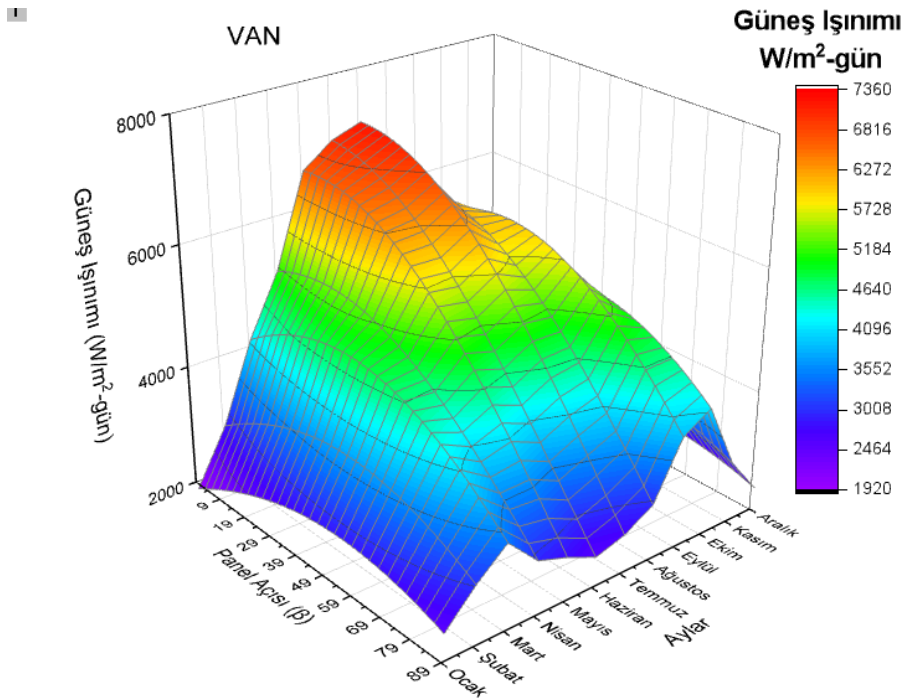
4.13. Van

Van için hesaplamalar sonucu elde edilen optimum açı değerlerinin güneş panelleri üzerinde oluşturabileceği ışınım şiddeti değerleri Çizelge 4.25’de görülmektedir.

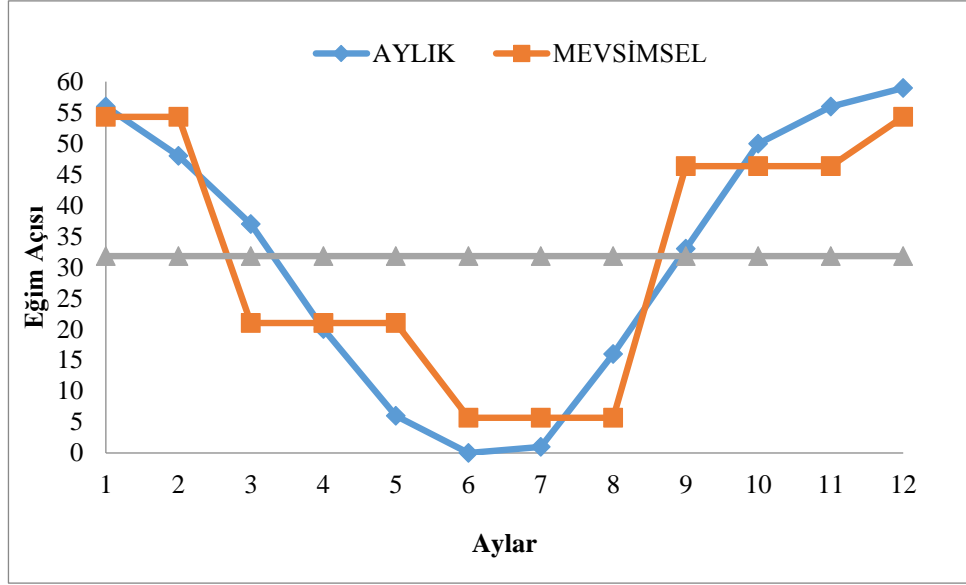
Çizelge 4.25. Van için optimum eğim açısı ve ışıınım değerleri

Aylar	H (W/m ² -gün)	H _T (W/m ² -gün)	H _T (W/m ² -gün)	H _T (W/m ² -gün)
	β_0	β_{OPT}	β_{32}	β_{39}
Ocak	1910	2852	2663	2755
Şubat	2840	3727	3622	3694
Mart	4140	4863	4848	4861
Nisan	5130	5351	5272	5152
Mayıs	6630	6652	6217	5955
Haziran	6990	6990	6260	5938
Temmuz	7160	7160	6535	6220
Ağustos	6050	6213	6034	5848
Eylül	5250	5978	5978	5950
Ekim	3640	5118	4918	5044
Kasım	2310	3487	3255	3369
Aralık	1730	2698	2484	2581

Çizelge 4.25’de yer almakta olan dört farklı durum (eğim açısı 0°, optimum, 32° ve 39°) değerlendirilmesi yapıldığı taktirde Van ili için ortalama azami ışıınım miktarı aylık belirlenen optimum açıyla (β_{OPT}) sağlanmaktadır. Enlem derecesine göre ayarlanan (β_{39}) yıllık sabit açıdaki panellerde yaz aylarında yatay düzlem (β_0) göre ışıınım şiddeti azalırken kış aylarında ise bu değer artmaktadır.



Şekil 4.37. Van için aylara göre optimum eğim açılarının 3D görünümü



Şekil 4.38. Van için eğim açısının aylara göre değişimi

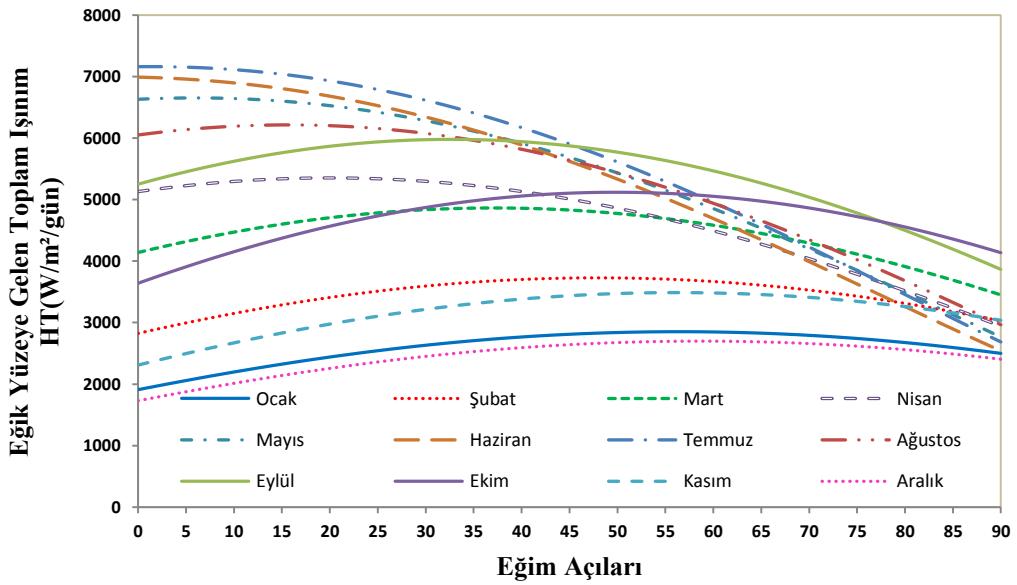
Şekil 4.37 ve 4.38’de görüldüğü üzere panellerde yatayla yapılan açının kış aylarından yazı doğru gidildikçe azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.26. Van için eğim açısı verim ilişkisi

Aylar	β_{OPT} Aylık	Verim % Aylık	β_{OPT} Mevsim	Verim % Mevsim	β_{OPT} Yıllık	Verim % Yıllık	β_{OPT} Enlem	Verim % Enlem
Aralık	59°	55,95		55,61		43,58		49,19
Ocak	56°	49,32	54°	49,21	32°	39,42	39°	44,24
Şubat	48°	31,23		30,70		27,54		30,07
Mart	37°	17,46		14,06		17,10		17,42
Nisan	20°	4,31	21°	4,31	32°	2,77	39°	0,43
Mayıs	6°	0,33		-1,86		-6,23		-10,18
Haziran	0°	0,00		-0,62		-10,44		-15,05
Temmuz	1°	0,00	6°	-0,20	32°	-8,73	39°	-13,13
Ağustos	16°	2,69		1,65		-0,26		-3,34
Eylül	33°	13,87		11,52		13,87		13,33
Ekim	50°	40,60	46°	40,36	32°	35,11	39°	38,57
Kasım	56°	50,95		49,18		40,91		45,84

Panellerde oluşan ışınım miktarlarının eğim açısına göre analizi yapıldığı takdirde aylık verim artışı en çok kış aylarında görülürken yaz aylarındaki değişim ise görülmeyecek derecede azdır. Panel açısı yıllık olarak sabitlendiğinde kış aylarında yine verim artışı

gözlenirken yaz aylarında ise ilk duruma nazaran yine bir verim düşüşü görülmektedir. Panel üzerine düşen ortalama toplam ışınım miktarları bakımından aylık, mevsimsel ve yıllık değerlerin kıyaslaması yapıldığı takdirde Çizelge 4.26'da görülen ilk duruma göre sırasıyla %14, %12 ve %8 civarında verim artışı tespit edilmiştir. Panel açısı Van ilinin enlem açısına (39°) göre bütün yıla sabit olarak ayarlandığı takdirde ilk yatay durumda kış aylarında verim artışı görülürken yaz aylarında da verim düşüşü görülmektedir.



Şekil 4.39. Van için yıllık optimum açıya göre güneş ışınım değerleri

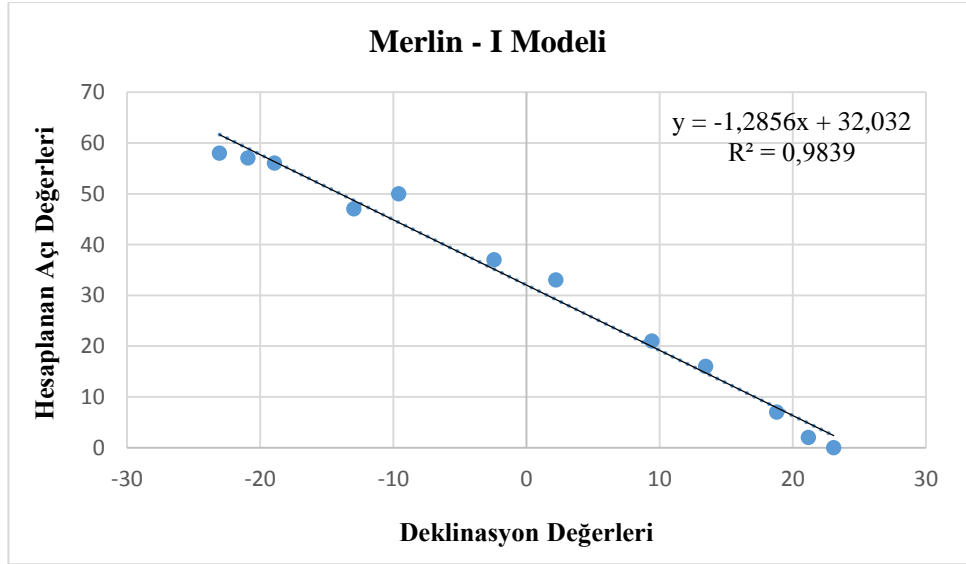
Yıllık optimum eğim açlarına göre güneş ışınım değerleri bazında incelendiğinde, Temmuz ayı ($7160 \text{ W/m}^2\text{-gün}$) ışınım değerini alarak eğik yüzeye gelen toplam ışınımın en fazla olduğu ay olarak saptanmıştır. Bu ayı sırasıyla Haziran ($6990 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Mayıs ($6652 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Ağustos ($6213 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Eylül ($5978 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Nisan ($5351 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Ekim ($5118 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Mart ($4863 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Şubat ($3727 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Kasım ($3487 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), Ocak ($2852 \text{ W/m}^2\text{-gün}$), ve eğik yüzeye gelen toplam ışınımın en az olduğu ay ise Aralık ($2698 \text{ W/m}^2\text{-gün}$) olarak saptanmıştır.

4.14. Geliştirilen Modeller ve İstatiksel Analiz Sonuçları

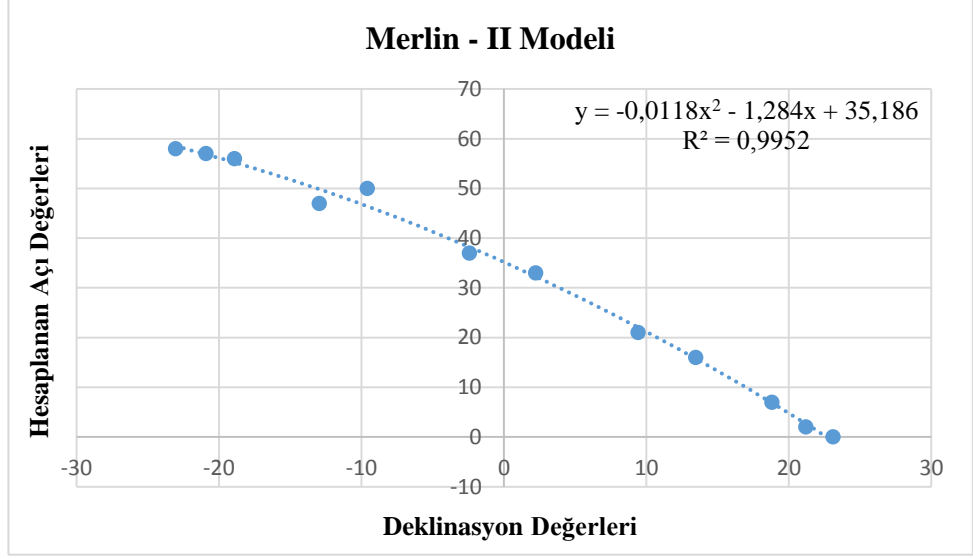
4.14.1. Deklinasyon

Ankara

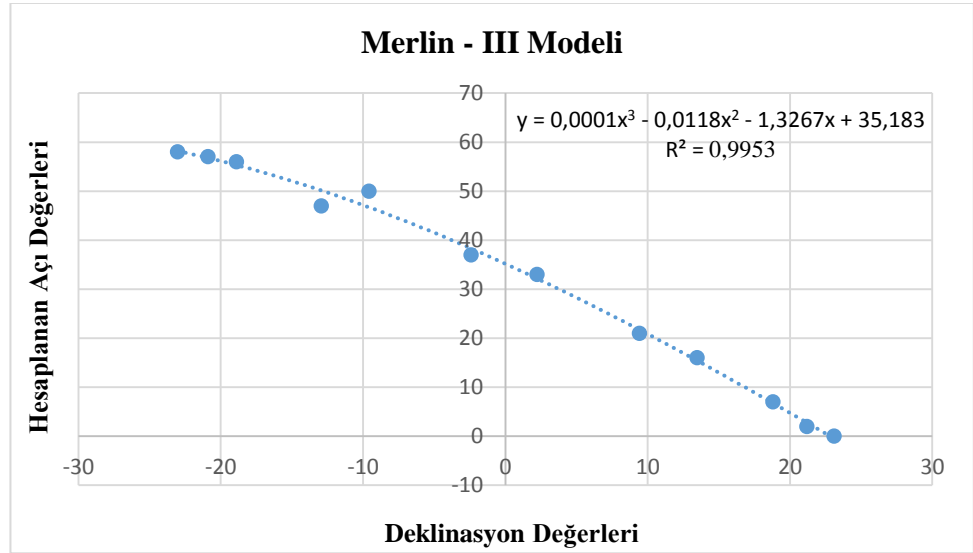
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.40 - 42'de ve Ankara için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.27'de verilmiştir.



Şekil 4.40. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – Ankara



Şekil 4.41. Polimetrik Merlin - II modelin deklinasyon eğrisi – Ankara



Şekil 4.42. Polimetrik Merlin - III modelin deklinasyon eğrisi – Ankara

Çizelge 4.27. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Ankara

	Merlin - I	Merlin - II	Merlin - III
	%e	%e	%e
Ocak	-3,37341594	0,209382579	0,253247893
Şubat	-3,588179075	-6,041316418	-6,749306011
Mart	5,026378742	-3,301068322	-3,568160223
Nisan	5,10374708	-5,006297072	-3,475048847
Mayıs	-12,47301199	1,568983255	3,594759132
Haziran	-	-	-
Temmuz	-139,9121777	-34,54503807	-36,69864538
Ağustos	7,910601048	1,41495203	3,502099849
Eylül	11,56978681	2,177196231	2,469837314
Ekim	11,25402983	7,151450786	6,514576134
Kasım	-0,61644467	1,341896592	1,113090072
Aralık	-6,318278102	-0,883715427	-0,464105404
R	0,99190964	0,997589259	0,997650103
R ²	0,983884733	0,995184331	0,995305728
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	-7,67517E-05	-0,005760943	-0,005809127
RMSE	2,687438543	1,469100636	1,45097427
t-stat	9,47208E-05	0,013005939	0,013278561

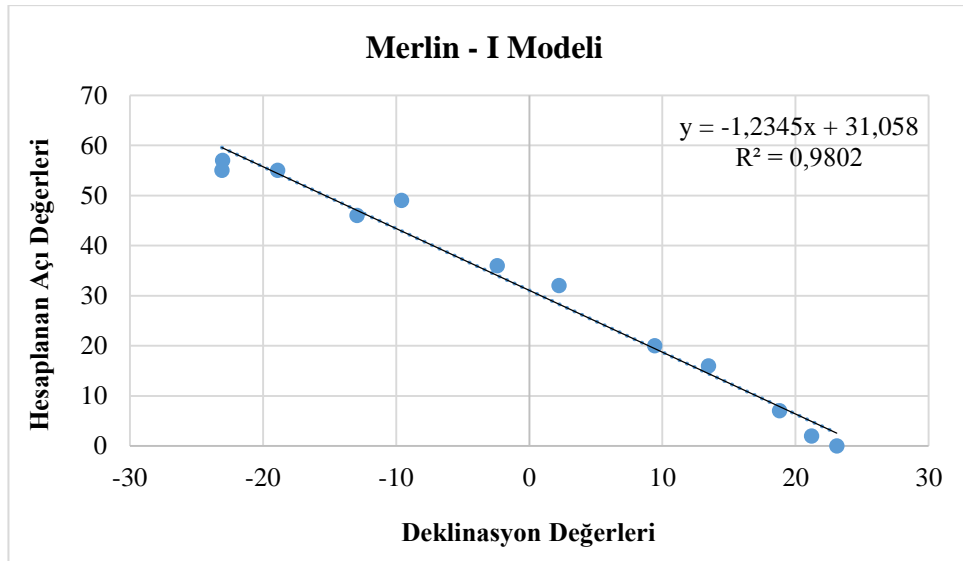
Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde Ankara ili için en yakın sonuçları veren model 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - III modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II ve akabinde de lineer olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığında zaman R² değeri 0,995305728 ve R değeri 0,997650103'dür. Bu oranların 1 değerine yakınlığı literatürde genel olarak kabul görmektedir. Ayrıca uygun olarak kabul edilen model sonuçlarının diğer istatistiksel veriler arasında yer alan bağıl hata yüzdesi (e%), MBE, RMSE ve t-stat değerleri de oldukça kabul edilebilir değerleri göstermektedir. Geliştirilen 3. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Ocak ayı sağlarken en düşük uyumu da Temmuz ayı sağlamaktadır.

Yapılan çalışma ile Ankara iklim coğrafyasında güneş ışınımı tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 3. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

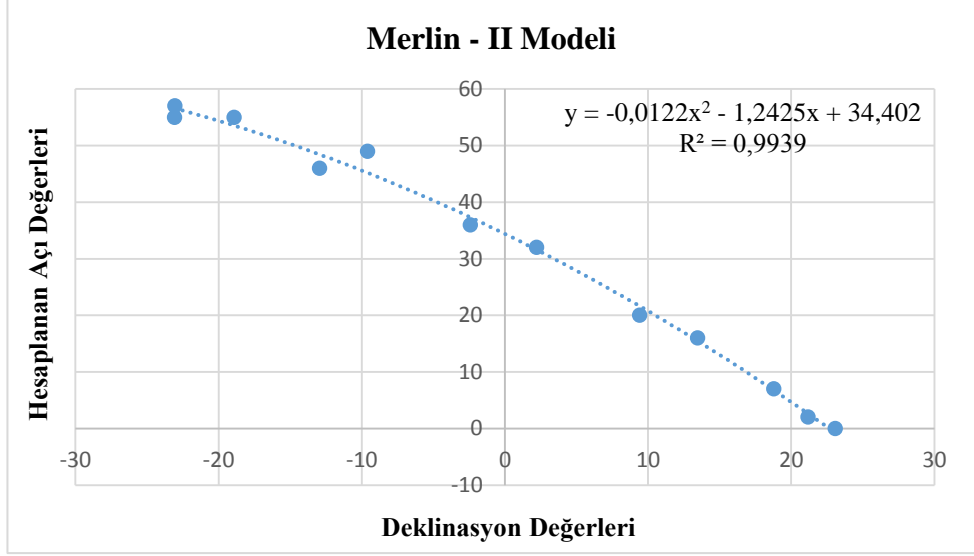
Çizelge 4.27’de – (eksi) ile gösterilen yerlerde, ölçülen ve hesaplanan değer sonuçları 0 (sıfır) olduğu için hesaplamalarda belirsizlik durumu ortaya çıkmıştır. Belirli olmadığı için – (eksi) ile gösterilmesi uygun görülmüştür.

Bursa

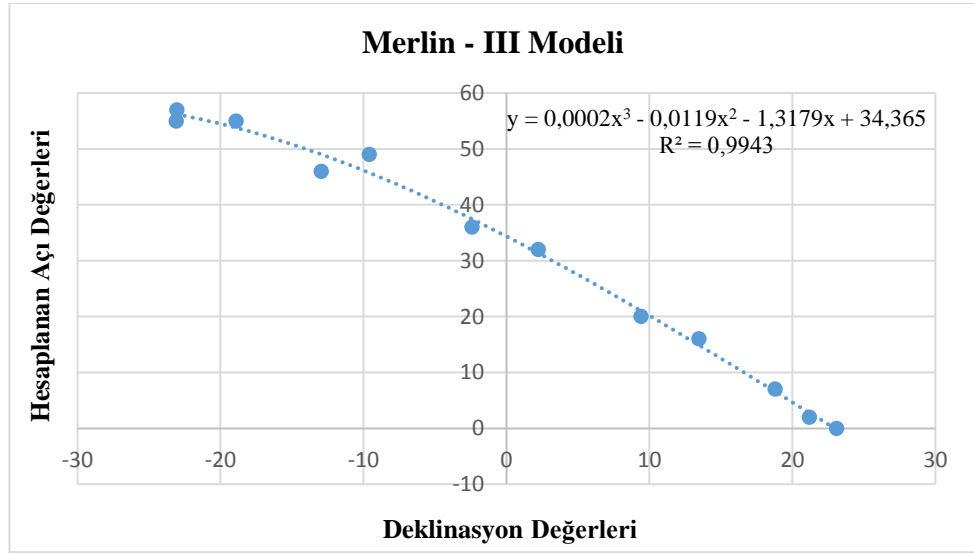
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.43 - 45’de ve Bursa için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.28’de verilmiştir.



Şekil 4.43. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – Bursa



Şekil 4.44. Polimetrik Merlin - II modelin deklinasyon eğrisi – Bursa



Şekil 4.45. Polimetrik Merlin - III modelin deklinasyon eğrisi – Bursa

Çizelge 4.28. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Bursa

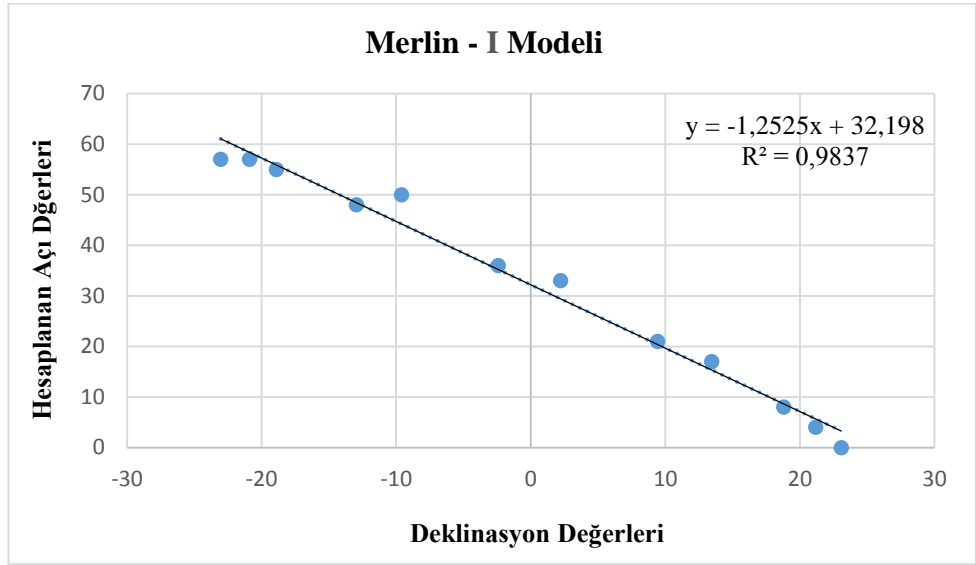
	Merlin - I	Merlin - II	Merlin - III
	%e	%e	%e
Ocak	-8,286467515	-2,880256585	-1,794429936
Şubat	-2,283616721	-5,327551591	-6,534748761
Mart	5,436962175	-3,707558633	-4,108181665
Nisan	2,823429184	-8,112921862	-5,346005582
Mayıs	-12,27682606	3,645981663	3,942390212
Haziran	-	-	-
Temmuz	-145,3365147	-30,32622475	-50,40651925
Ağustos	9,700923299	3,277661712	6,465329982
Eylül	11,49608354	1,288874343	1,915436439
Ekim	12,43172268	7,744815814	6,647825594
Kasım	1,08216704	2,660678229	2,399873931
Aralık	-4,408360222	0,772839884	1,805924624
R	0,990052898	0,996956144	0,997159682
R²	0,980204742	0,993921552	0,994327432
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	-0,000476206	0,006386565	-0,006477358
RMSE	2,907969699	1,611421245	1,562446814
t-stat	0,000543127	0,013144922	0,013749684

Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde Bursa ili için en yakın sonuçları veren model 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - III modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II ve akabiyetinde de lineerik olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığı zaman R² değeri 0,994327432 ve R değeri 0,997159682'dir. Geliştirilen 3. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Aralık ayı sağlarken en düşük uyumu da Temmuz ayı sağlamaktadır.

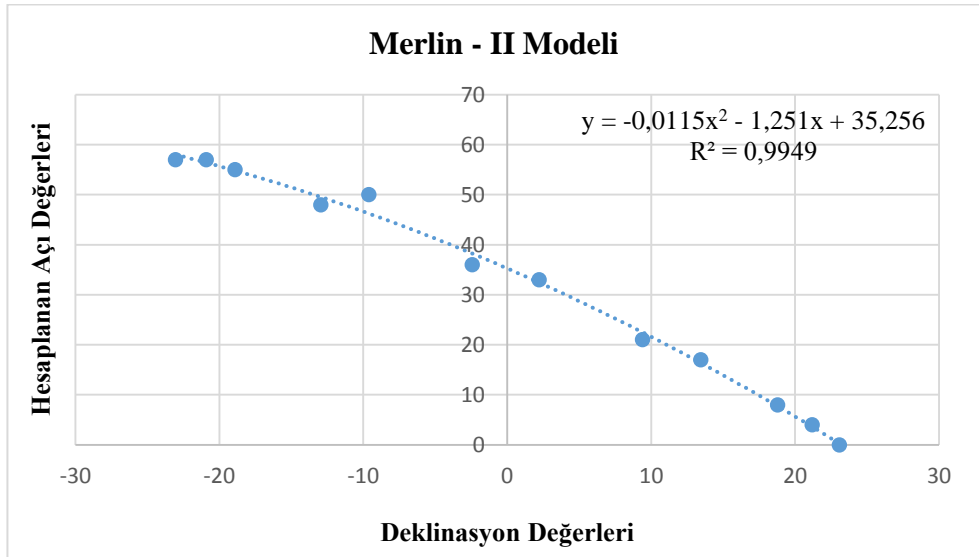
Yapılan çalışma ile Bursa iklim coğrafyasında güneş ışınımı tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 3. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

Edirne

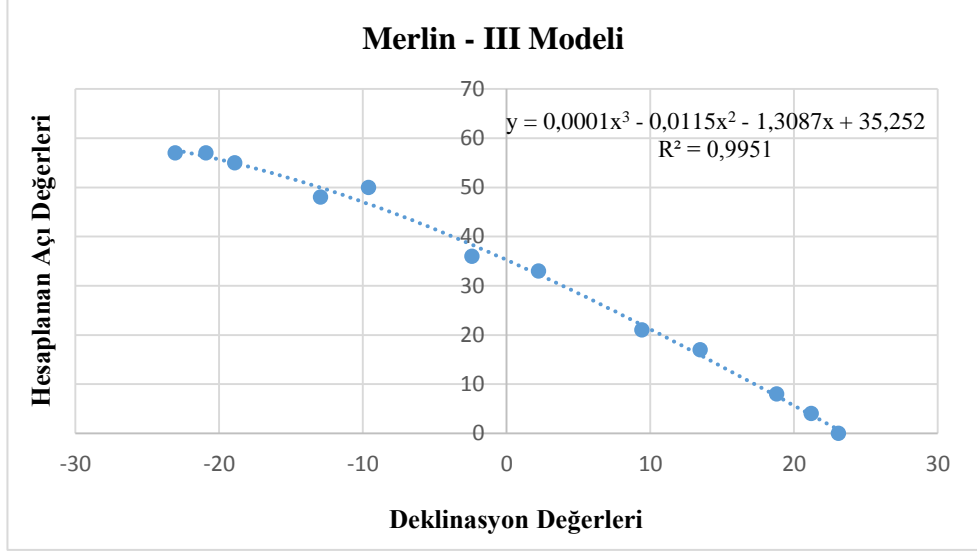
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.46 - 48'de ve Edirne için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.29'da verilmiştir.



Şekil 4.46. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – Edirne



Şekil 4.47. Polimetrik Merlin - II modelin deklinasyon eğrisi – Edirne



Şekil 4.48. Polimetrik Merlin - III modelin deklinasyon eğrisi – Edirne

Çizelge 4.29. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Edirne

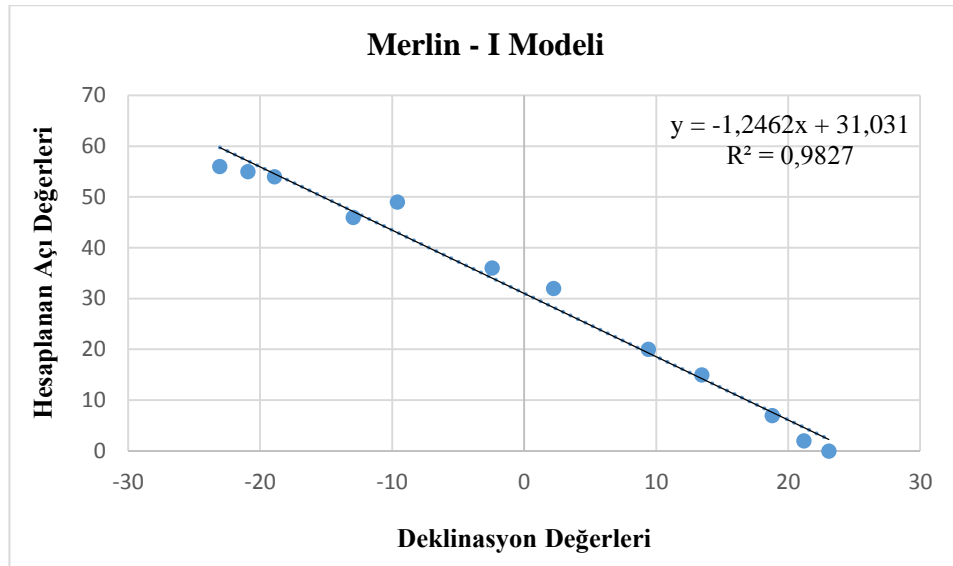
	Merlin - I	Merlin - II	Merlin - III
	%e	%e	%e
Ocak	-2,449992324	1,067284277	0,562457594
Şubat	-0,882597161	-3,192215022	-4,288203002
Mart	2,149408768	-6,148232397	-6,52070469
Nisan	2,829304367	-6,945742527	-4,737240015
Mayıs	-8,264041364	3,921933757	9,230472184
Haziran	-	-	-
Temmuz	-41,63559526	10,13531723	17,02739866
Ağustos	9,73139413	3,87098749	7,028446585
Eylül	10,84439605	1,738918535	2,135357502
Ekim	11,55750993	7,589721947	6,666865378
Kasım	-1,609496933	0,36046907	-0,386459971
Aralık	-7,1362432	-1,721583922	-1,899427083
R	0,991805235	0,997427748	0,997533421
R2	0,983677624	0,994862112	0,995072927
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	-0,000232004	0,01004335	0,011367637
RMSE	2,635283339	1,4786	1,475411834
t-stat	0,000291988	0,022529257	0,025554428

Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde Edirne ili için en yakın sonuçları veren model 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin – III modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II ve akabinde de lineer olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığı zaman R^2 değeri 0,995072927 ve R değeri 0,997533421'dir. Geliştirilen 3. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Ocak ayı sağlarken en düşük uyumu da Temmuz ayı sağlamaktadır.

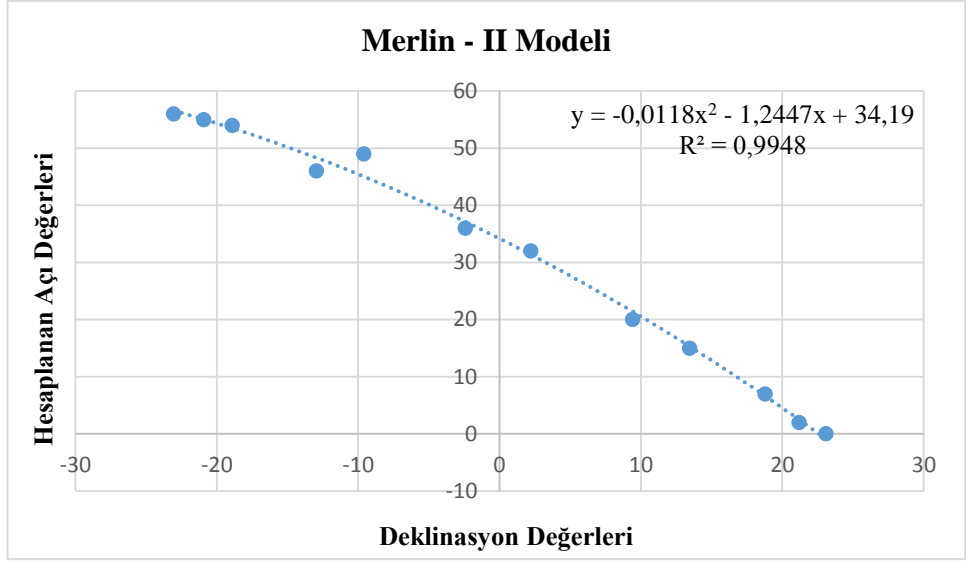
Yapılan çalışma ile Edirne iklim coğrafyasında güneş ışınımı tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 3. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

Erzurum

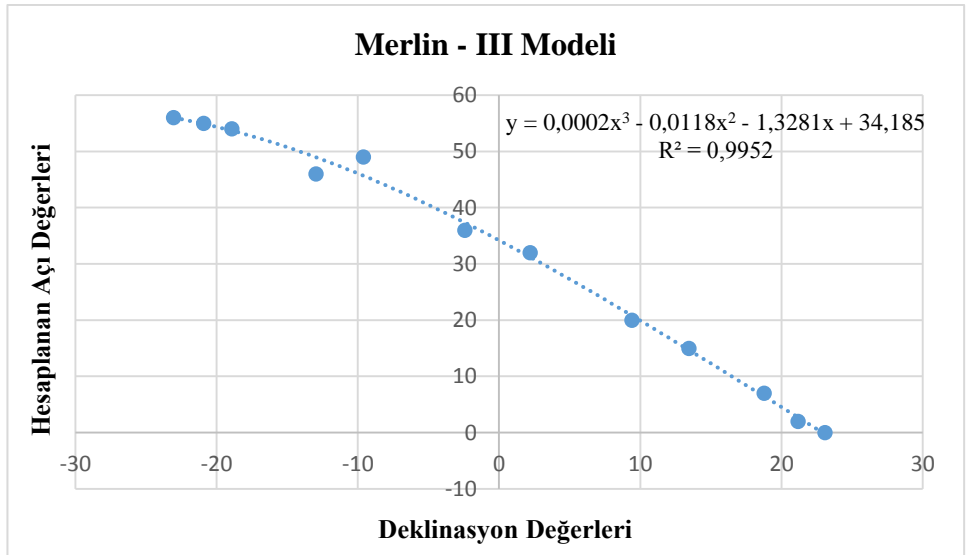
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.49 - 51'de ve Erzurum için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.30'da verilmiştir.



Şekil 4.49. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – Erzurum



Şekil 4.50. Polimetrik Merlin - II modelin deklinasyon eğrisi – Erzurum



Şekil 4.51. Polimetrik Merlin - III modelin deklinasyon eğrisi – Erzurum

Çizelge 4.30. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Erzurum

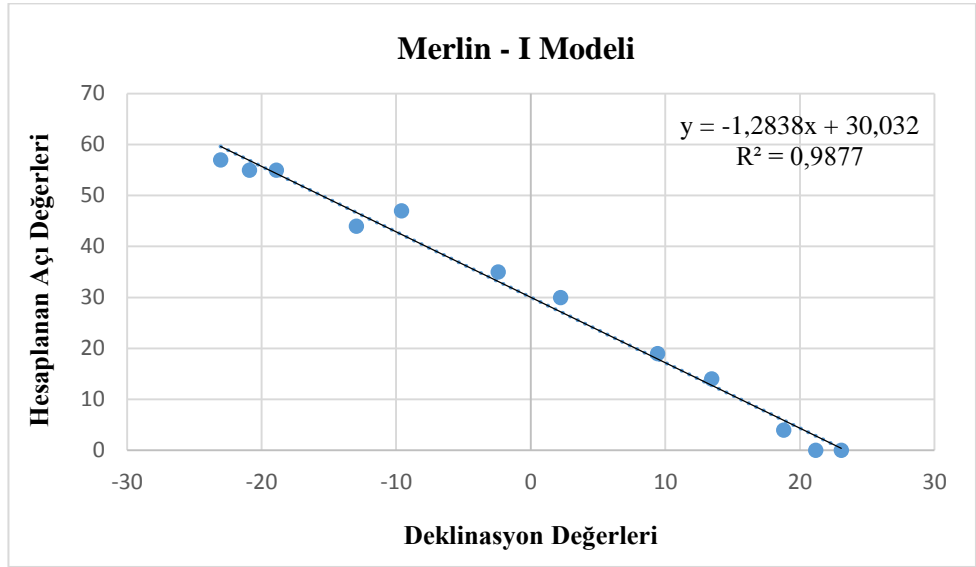
	Merlin - I	Merlin - II	Merlin – III
	%e	%e	%e
Ocak	-3,81403411	-0,113846002	0,051318332
Şubat	-2,55441871	-5,074570909	-6,467181782
Mart	5,433385794	-3,139939726	-3,678307885
Nisan	3,509200444	-7,126638468	-4,01016613
Mayıs	-8,750176992	5,247235277	8,747589387
Haziran	-	-	-
Temmuz	-131,594054	-26,37099592	-32,8465799
Ağustos	4,910471708	-2,042583938	2,223931946
Eylül	11,66151347	1,960472206	2,547063897
Ekim	12,25761463	8,059146335	6,796542544
Kasım	-1,109403701	0,908707246	0,502338
Aralık	-6,706153518	-1,090543895	-0,140817321
R	0,991314014	0,997371543	0,997619094
R2	0,982703475	0,994749995	0,995243856
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	-5,51088E-05	-0,010736817	-0,011882849
RMSE	2,700623673	1,487907218	1,416938645
t-stat	6,76789E-05	0,023933562	0,027815132

Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde Erzurum ili için en yakın sonuçları veren model 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin – III modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II ve akabinde de lineer olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığı zaman R^2 değeri 0,995243856 ve R değeri 0,997619094'dür. Geliştirilen 3. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Kasım ayı sağlarken en düşük uyumu da Temmuz ayı sağlamaktadır.

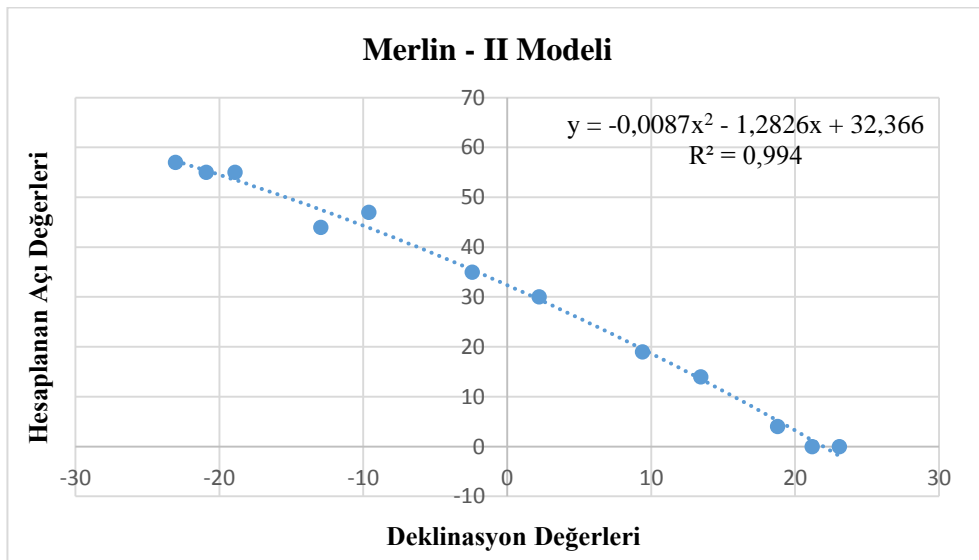
Yapılan çalışma ile Erzurum iklim coğrafyasında güneş ışınımı tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 3. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

Gaziantep

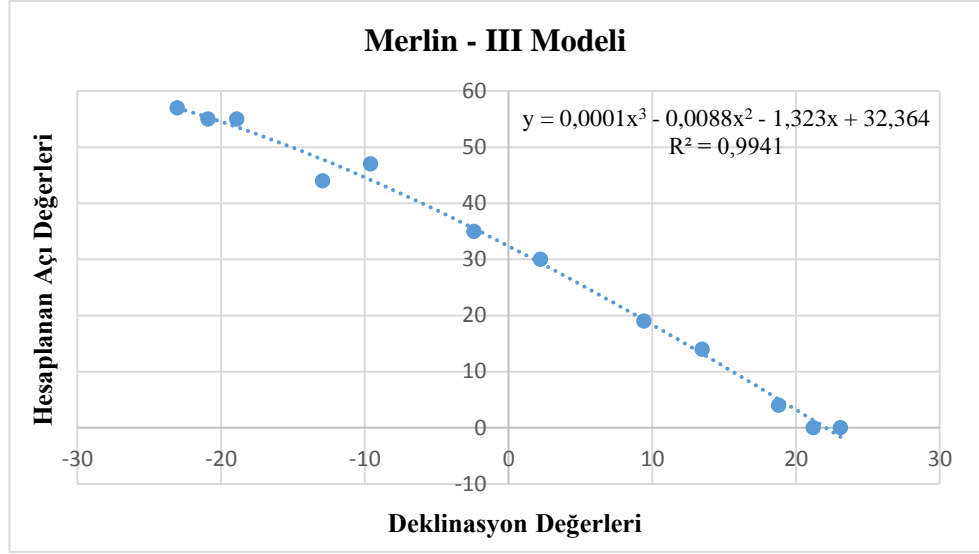
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.52 - 54'de ve Gaziantep için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.31'de verilmiştir.



Şekil 4.52. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – Gaziantep



Şekil 4.53. Polimetrik Merlin - II modelin deklinasyon eğrisi – Gaziantep



Şekil 4.54. Polimetrik Merlin - III modelin deklinasyon eğrisi – Gaziantep

Çizelge 4.31. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları - Gaziantep

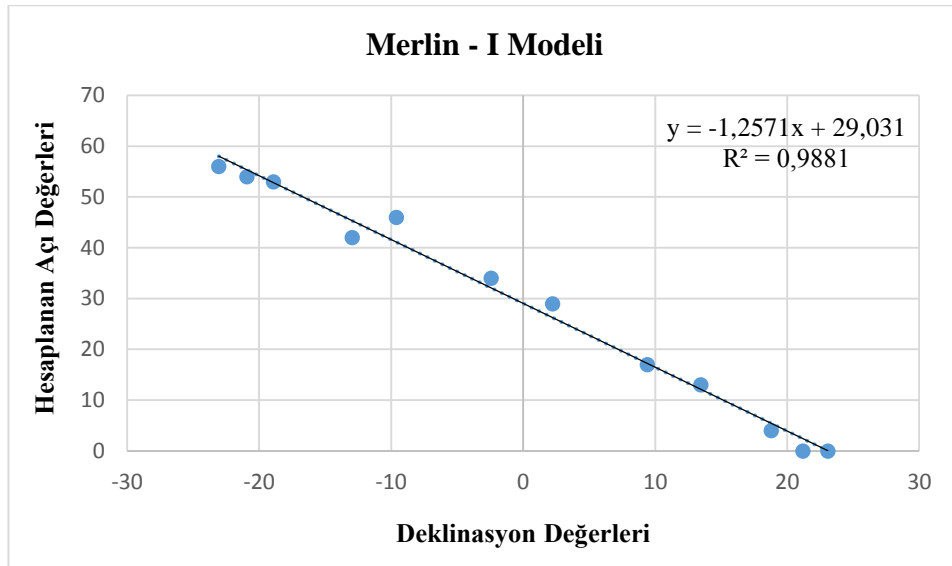
	Merlin - I	Merlin - II	Merlin - III
	%e	%e	%e
Ocak	-3,427630097	-0,704869245	-0,494207108
Şubat	-6,052558797	-8,003477419	-8,656153154
Mart	5,326034449	-1,188946626	-1,456599967
Nisan	5,551789888	-2,733094251	-1,113242176
Mayıs	-47,67340727	-29,78004913	-26,45763619
Haziran	-	-	-
Temmuz	-	-	-
Ağustos	8,867694573	3,331028336	5,617462891
Eylül	9,380130841	1,733786317	2,037000239
Ekim	9,881476236	6,645754095	6,032682031
Kasım	1,252422733	2,70761187	2,616942867
Aralık	-4,601950823	-0,539070186	0,072362253
R	0,993854623	0,996984106	0,997039239
R2	0,987747013	0,993977307	0,994087245
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	-0,000121448	-0,01290606	0,012669622
RMSE	2,335513224	1,637458543	1,62244533
t-stat	0,000172467	0,026141663	0,025900204

Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde Gaziantep ili için en yakın sonuçları veren model 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - III olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II ve akabinde de lineer olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığı zaman R^2 değeri 0,994087245 ve R değeri 0,997039239'dur. Geliştirilen 3. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Aralık ayı sağlarken en düşük uyumu da Mayıs ayı sağlamaktadır.

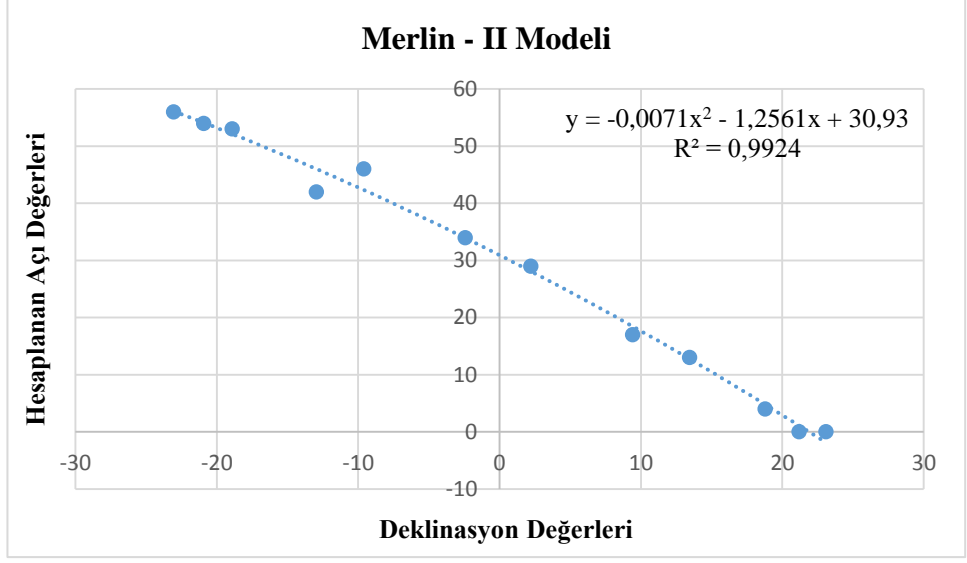
Yapılan çalışma ile Gaziantep iklim coğrafyasında güneş ışınımı tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 3. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

Hatay

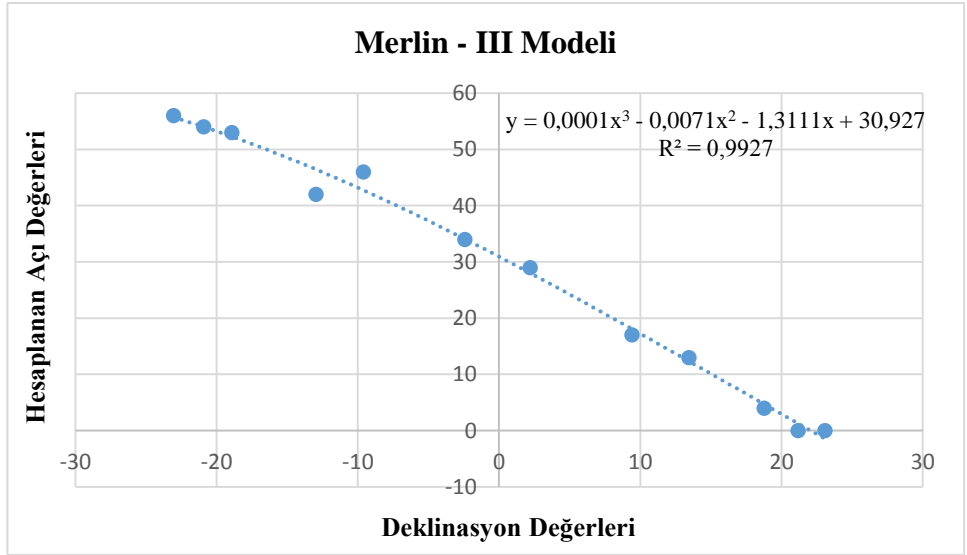
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.55 - 57'de ve Hatay için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.32'de verilmiştir.



Şekil 4.55. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – Hatay



Şekil 4.56. Polimetrik Merlin - II modelin deklinaşyon eğrisi – Hatay



Şekil 4.57. Polimetrik Merlin - III modelin korelasyon eğrisi – Hatay

Çizelge 4.32. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Hatay

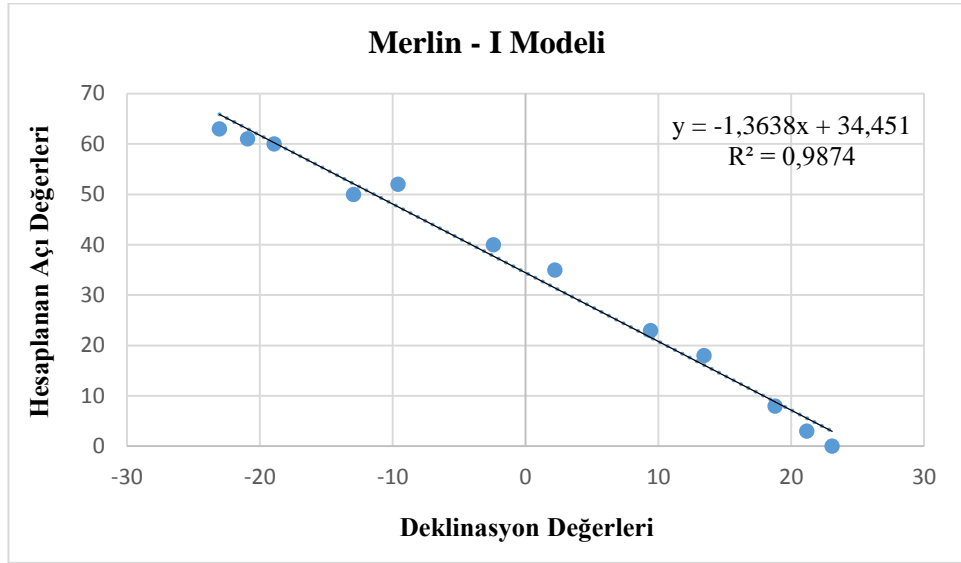
	Merlin - I	Merlin - II	Merlin - III
	%e	%e	%e
Ocak	-2,455025282	-0,180387952	-0,610527601
Şubat	-7,895804368	-9,549399865	-10,72105889
Mart	5,67548699	0,219370431	-0,158753515
Nisan	-1,150221021	-8,674158401	-6,101421252
Mayıs	-35,19201221	-20,45514104	-11,13151862
Haziran	-	-	-
Temmuz	-	-	-
Ağustos	6,794075513	1,970231011	5,812074511
Eylül	9,502925432	3,06732778	3,494359727
Ekim	10,65564725	7,970545582	7,02161099
Kasım	0,367512632	1,61149826	0,930840346
Aralık	-3,583369484	-0,197341801	-0,269014313
R	0,994051808	0,996213015	0,996310987
R2	0,988138998	0,992440371	0,992635583
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	0,000215553	-0,265333333	-0,004202517
RMSE	2,24959885	5,030764442	1,788598732
t-stat	0,000317794	0,17516973	0,00779281

Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde Hatay ili için en yakın sonuçları veren model 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin – III modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II ve akabinde de lineer olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığı zaman R² değeri 0,992635583 ve R-değeri 0,996310987’dir. Geliştirilen 3. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Kasım ayı sağlarken en düşük uyumu da Mayıs ayı sağlamaktadır.

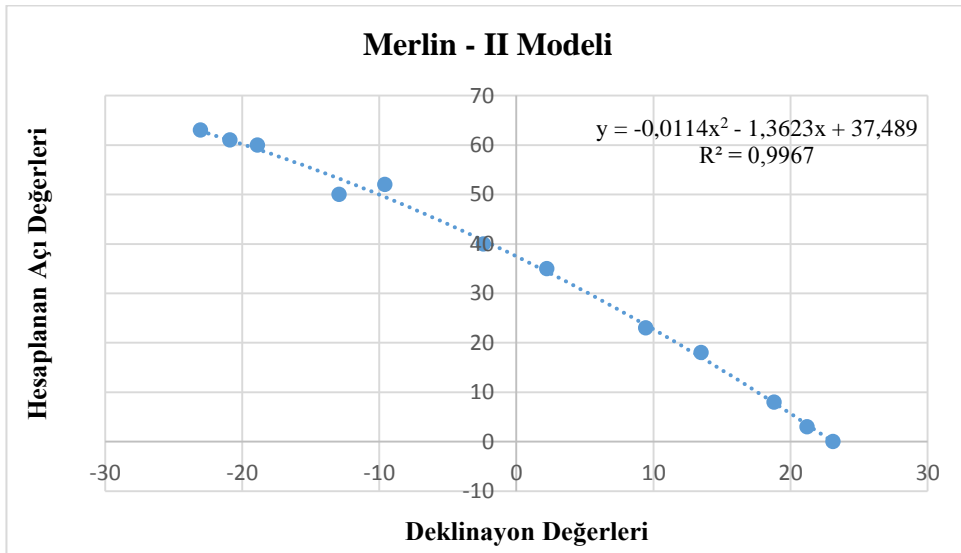
Yapılan çalışma ile Hatay iklim coğrafyasında güneş ışınımı tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 3. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

İstanbul

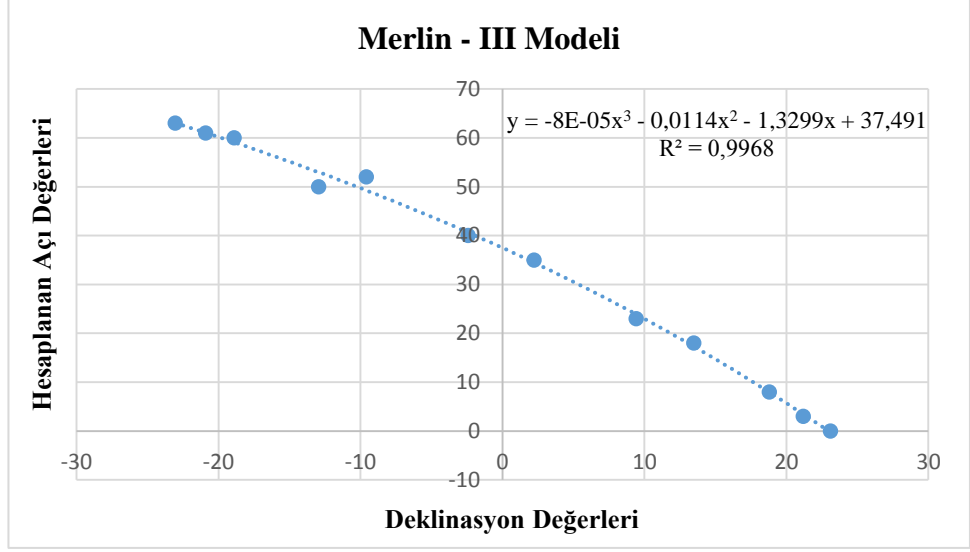
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.58 - 60'da ve İstanbul için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.33'de verilmiştir.



Şekil 4.58. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – İstanbul



Şekil 4.59. Polimetrik Merlin - II modelin deklinasyon eğrisi – İstanbul



Şekil 4.60. Polimetrik Merlin - III modelin deklinasyon eğrisi – İstanbul

Çizelge 4.33. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – İstanbul

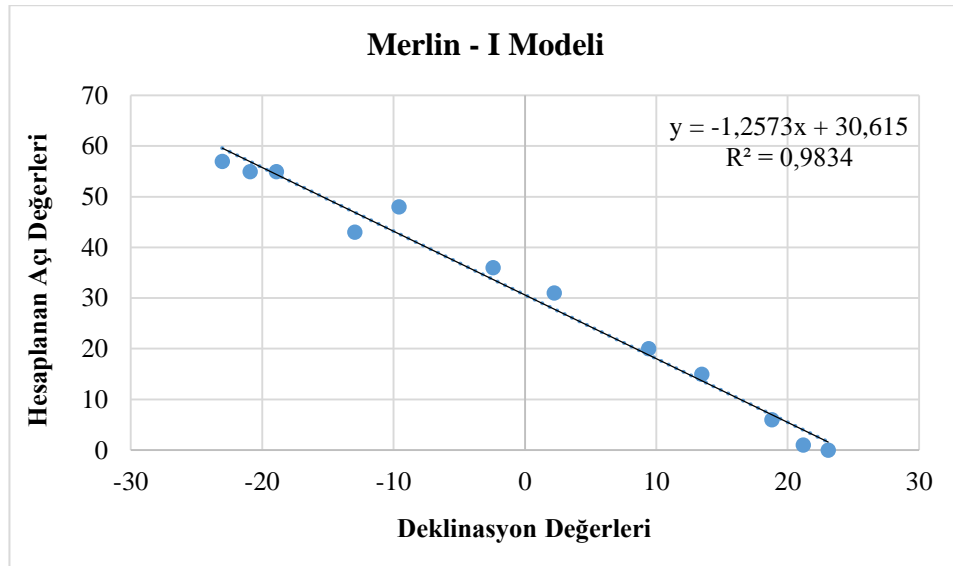
	Merlin - I	Merlin - II	Merlin - III
	%e	%e	%e
Ocak	-3,24189108	0,005806838	-0,086679126
Şubat	-4,236989037	-6,447786557	-5,960178603
Mart	5,629233182	-1,790105227	-1,602095254
Nisan	6,039267593	-2,837357925	-3,882051358
Mayıs	-10,28228612	1,712268798	0,71264787
Haziran	-	-	-
Temmuz	-85,35595722	-17,15723682	-14,75253623
Ağustos	10,54930008	5,025007177	3,674595001
Eylül	10,20682913	1,677403305	1,468958947
Ekim	8,571811638	4,777371574	5,235554116
Kasım	-0,40520646	1,374318704	1,490352505
Aralık	-4,581082827	0,265309642	-0,10749416
R	0,993674494	0,998368808	0,998400134
R2	0,987389	0,996740277	0,996802827
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	-0,000468269	0,003126106	0,003608357
RMSE	2,517536701	1,279949133	1,267614166
t-stat	0,000616902	0,00810044	0,009441054

Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde İstanbul ili için en yakın sonuçları veren model 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - III modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II ve akabinde de lineer olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığı zaman R^2 değeri 0,996802867 ve R değeri 0,998400134'dür. Geliştirilen 3. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Mayıs ayı sağlarken en düşük uyumu da Temmuz ayı sağlamaktadır.

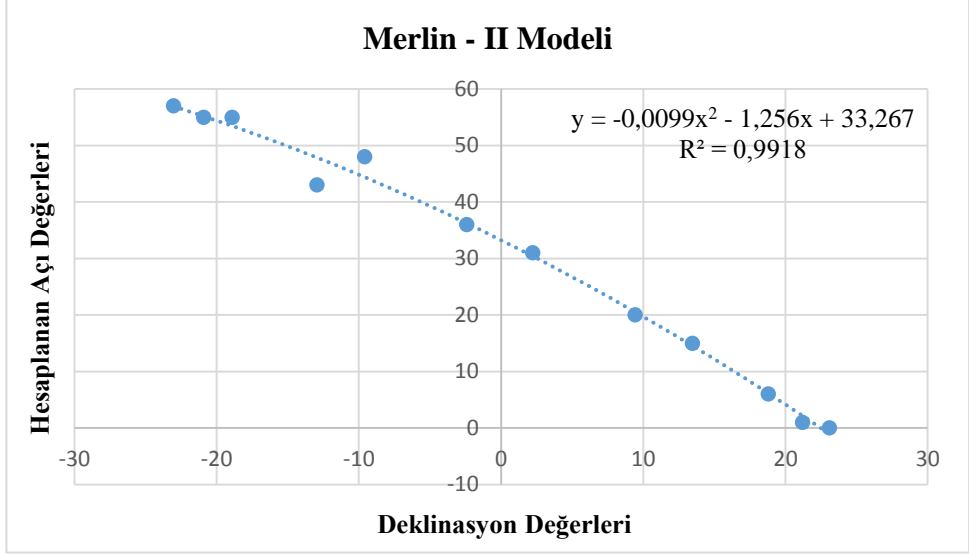
Yapılan çalışma ile İstanbul iklim coğrafyasında güneş ışınımı tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 3. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

İzmir

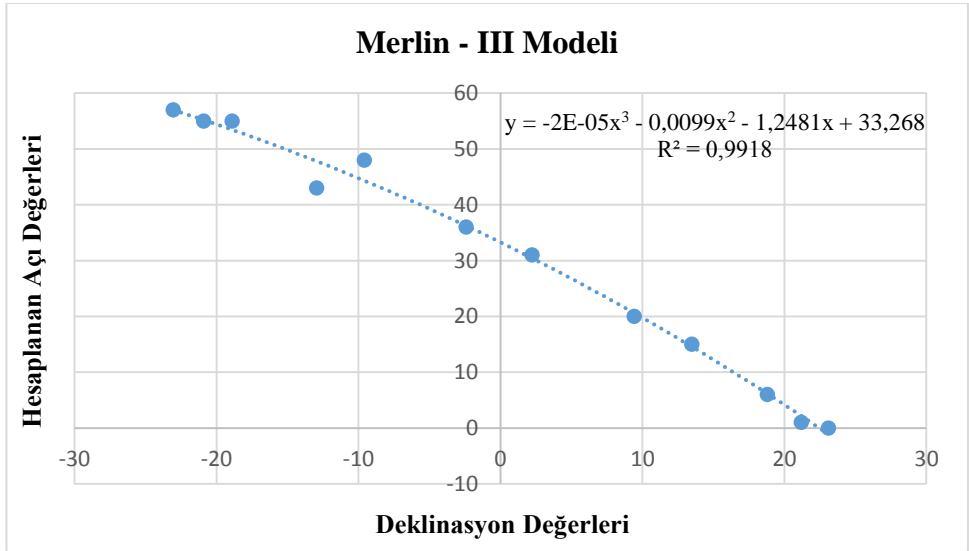
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.61 - 63'de ve İzmir için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.34'de verilmiştir.



Şekil 4.61. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – İzmir



Şekil 4.62. Polimetrik Merlin - II modelin deklinasyon eğrisi – İzmir



Şekil 4.63. Polimetrik Merlin - III modelin deklinasyon eğrisi – İzmir

Çizelge 4.34. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – İzmir

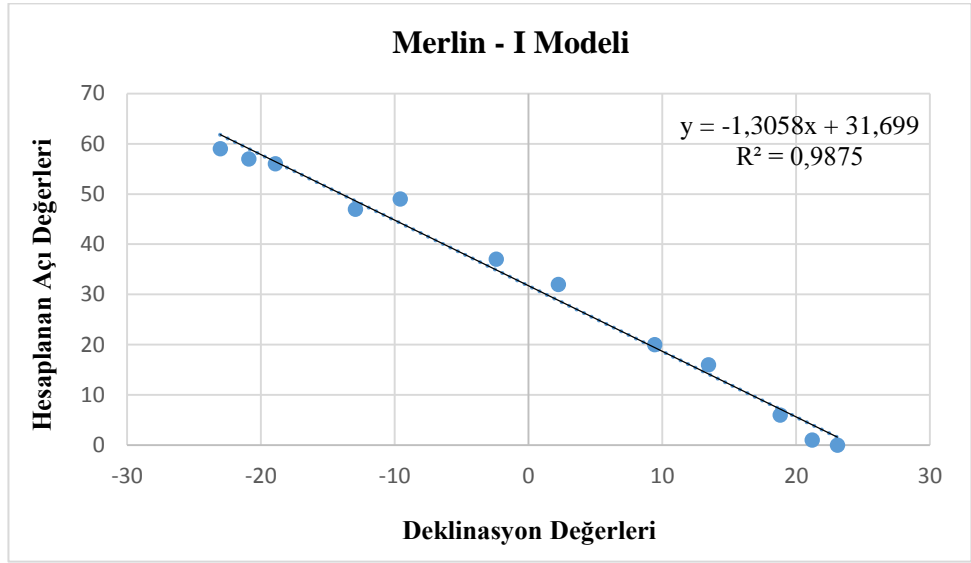
	İzmir - I	İzmir - II	İzmir - III
	%e	%e	%e
Ocak	-3,479812809	-0,376843077	-0,411002172
Şubat	-9,076345945	-11,34081685	-11,20625854
Mart	6,514394526	-0,682791788	-0,63329887
Nisan	6,111727025	-2,821779053	-3,115213522
Mayıs	-16,46536842	-2,805059571	-3,083960155
Haziran	-	-	-
Temmuz	-298,0742081	-121,766704	-119,5895047
Ağustos	8,679472058	2,83123445	2,44071741
Eylül	10,2331992	1,826013584	1,76699583
Ekim	11,07432887	7,475888549	7,594938239
Kasım	1,103635098	2,764434478	2,788293895
Aralık	-4,553152345	0,074372791	-0,037603567
R	0,991669661	0,995871173	0,995873407
R2	0,983408716	0,991759392	0,991763842
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	-0,000446147	-0,011061492	-0,011435963
RMSE	2,6676138	1,880053614	1,879547746
t-stat	0,000554691	0,019514047	0,020180122

Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde İzmir ili için en yakın sonuçları veren model 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin – III modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II ve akabinde de lineer olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığı zaman R^2 değeri 0,991763842 ve R değeri 0,995873407'dir. Geliştirilen 3. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Eylül ayı sağlarken en düşük uyumu da Temmuz ayı sağlamaktadır.

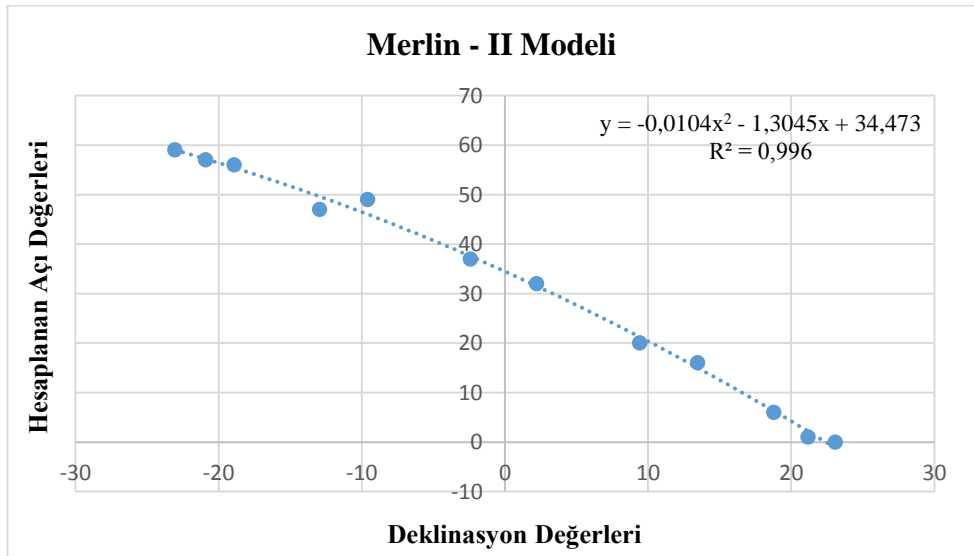
Yapılan çalışma ile İzmir iklim coğrafyasında güneş ışınımı tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 3. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

Kayseri

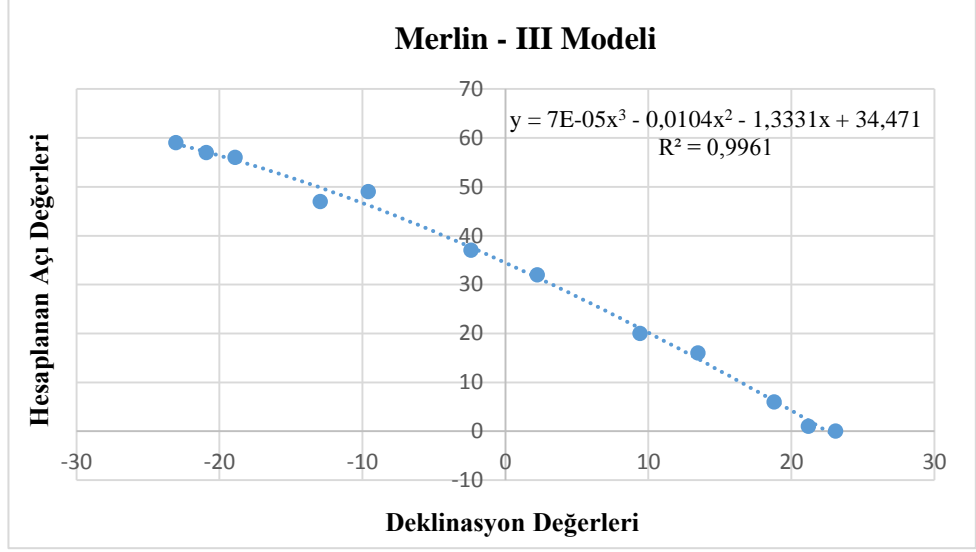
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.64 - 66'da ve Kayseri için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.35'de verilmiştir.



Şekil 4.64. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – Kayseri



Şekil 4.65. Polimetrik Merlin - II modelin deklinasyon eğrisi – Kayseri



Şekil 4.66. Polimetrik Merlin - III modelin deklinasyon eğrisi – Kayseri

Çizelge 4.35. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Kayseri

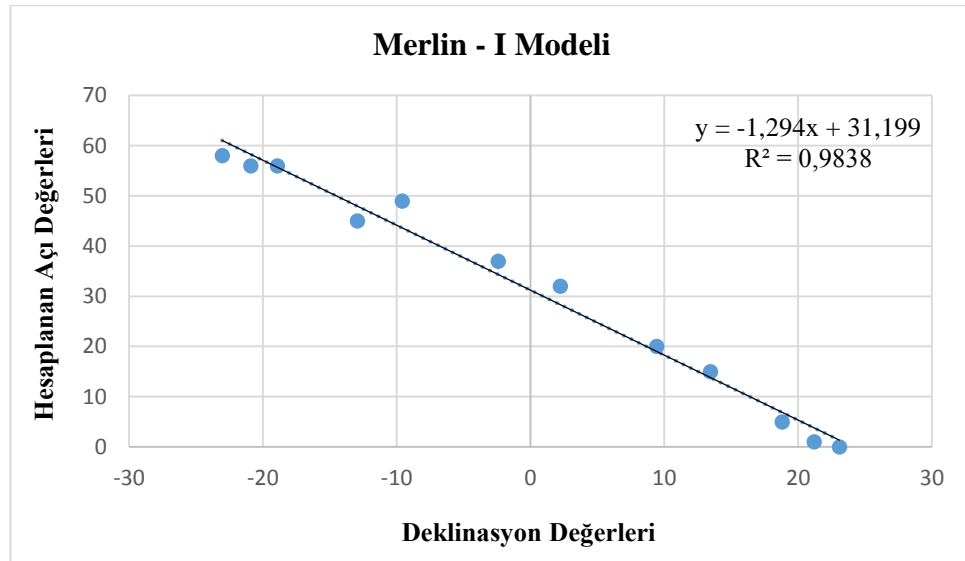
	Merlin - I	Merlin - II	Merlin - III
	%e	%e	%e
Ocak	-3,53047321	-0,366625817	-1,420662514
Şubat	-3,436440955	-5,589231492	-6,375590694
Mart	5,79438349	-1,530114759	-1,711612818
Nisan	2,974838662	-6,347066875	-4,988650781
Mayıs	-19,34190176	-4,772124877	4,27399002
Haziran	-	-	-
Temmuz	-303,7332943	-117,1883466	-55,92767503
Ağustos	11,69053971	6,011054264	8,43624028
Eylül	9,98690863	1,468876605	1,673277885
Ekim	9,726749166	6,046795819	5,489683481
Kasım	-0,703983038	1,028643168	0,060314687
Aralık	-4,741023352	-0,026901326	-1,151210335
R	0,993740077	0,998008957	0,998006655
R2	0,98751934	0,9960	0,996017284
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	9,15093E-05	0,00088106	0,00361178
RMSE	2,397940345	1,353812963	1,433333822
t-stat	0,000126568	0,002158455	0,008357409

Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde Kayseri ili için en yakın sonuçları veren model 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - III modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II ve akabinde de lineer olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığı zaman R^2 değeri 0,996017284 ve R-değeri 0,998006655'dir. Geliştirilen 3. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Kasım ayı sağlarken en düşük uyumu da Temmuz ayı sağlamaktadır.

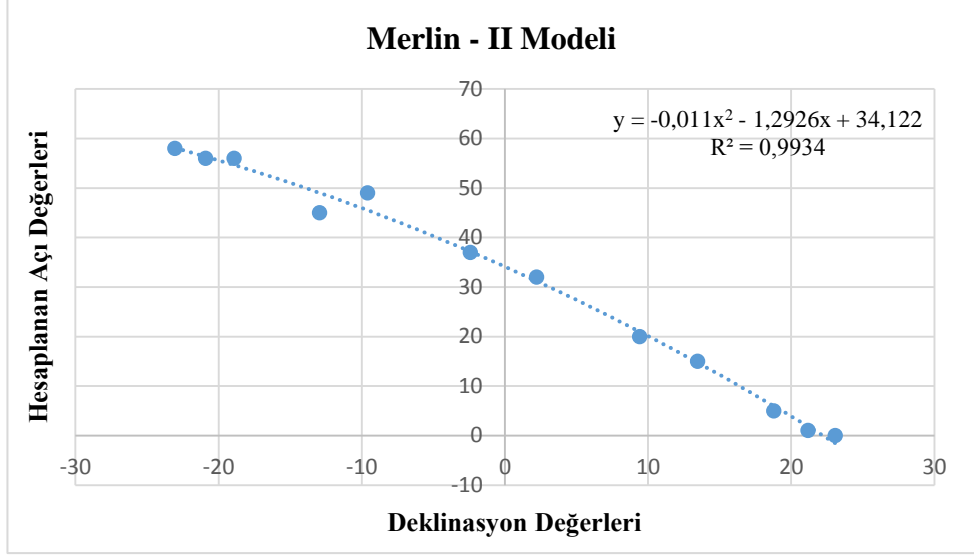
Yapılan çalışma ile Kayseri iklim coğrafyasında güneş ışınımı tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 3. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

Konya

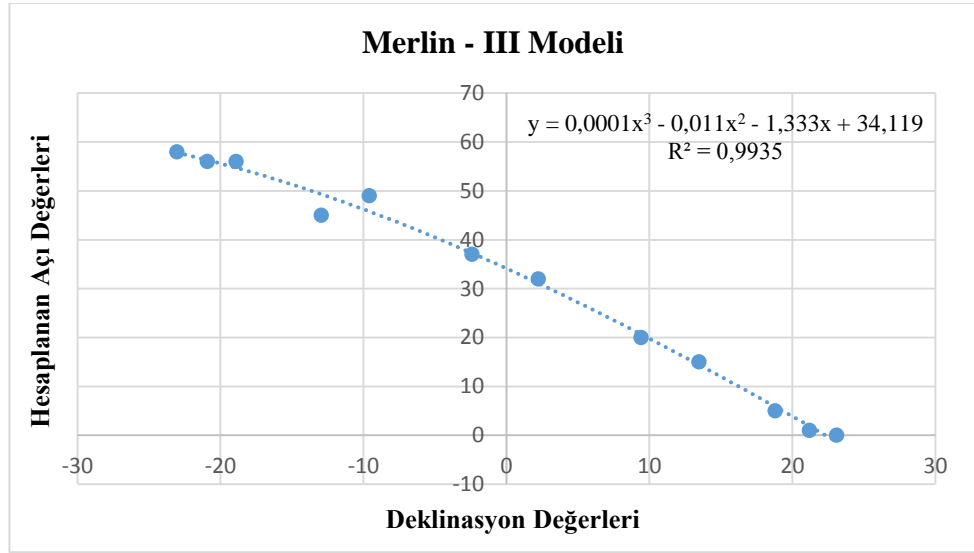
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.67 - 69'da ve Konya için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.36'da verilmiştir



Şekil 4.67. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – Konya



Şekil 4.68. Polimetrik Merlin - II modelin deklinasyon eğrisi – Konya



Şekil 4.69. Polimetrik Merlin - III modelin deklinasyon eğrisi – Konya

Çizelge 4.36. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Konya

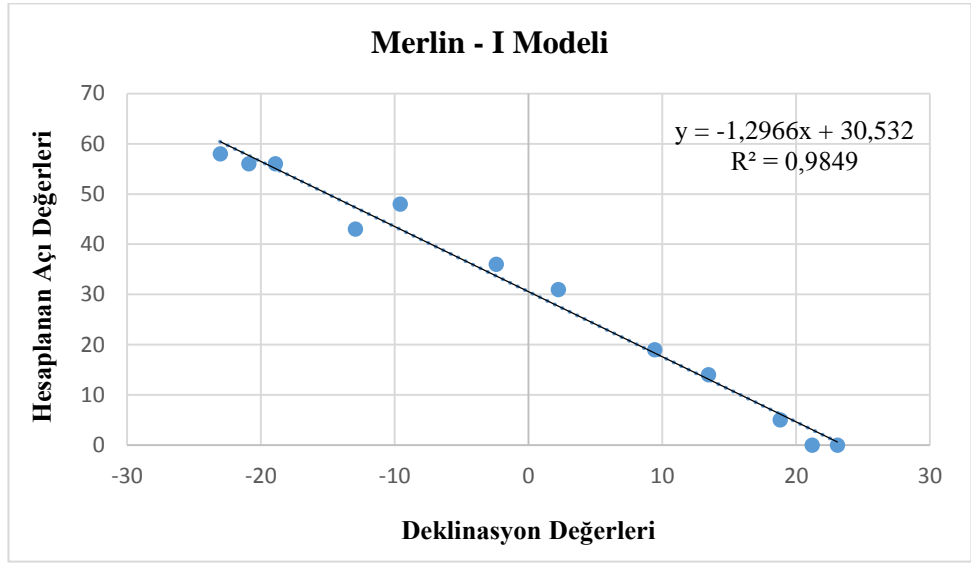
	Merlin - I	Merlin - II	Merlin - III
	%e	%e	%e
Ocak	-4,045624235	-0,61884512	-0,488287543
Şubat	-6,582806385	-8,935746317	-9,608989673
Mart	7,222840979	-0,494227437	-0,746290176
Nisan	4,919359954	-4,886332379	-3,386793016
Mayıs	-37,64517464	-18,94139225	-16,96973423
Haziran	-	-	-
Temmuz	-278,7300528	-80,37200951	-89,55147365
Ağustos	8,07811886	1,741841507	3,761823132
Eylül	11,46766093	2,492525978	2,778378221
Ekim	10,97832649	7,109085377	6,504271678
Kasım	0,587376009	2,440517241	2,289384821
Aralık	-5,215893399	-0,123810367	0,387203351
R	0,991872907	0,996688655	0,996742801
R2	0,983811863	0,993388275	0,99349621
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	-0,000201501	0,011671441	0,011566144
RMSE	2,71139505	1,732852487	1,718651878
t-stat	0,00024648	0,022339275	0,022320651

Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde Konya ili için en yakın sonuçları veren model 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin – III modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II ve akabinde de lineer olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığı zaman R² değeri 0,99349621 ve R değeri 0,996742801'dir. Geliştirilen 3. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Kasım ayı sağlarken en düşük uyumu da Mayıs ayı sağlamaktadır.

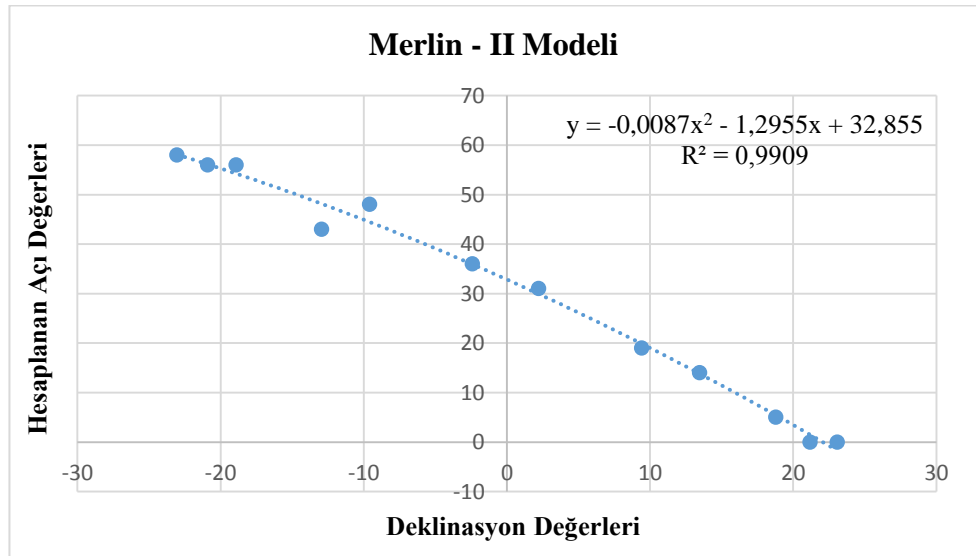
Yapılan çalışma ile Konya iklim coğrafyasında güneş ışınımı tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 3. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

Muğla

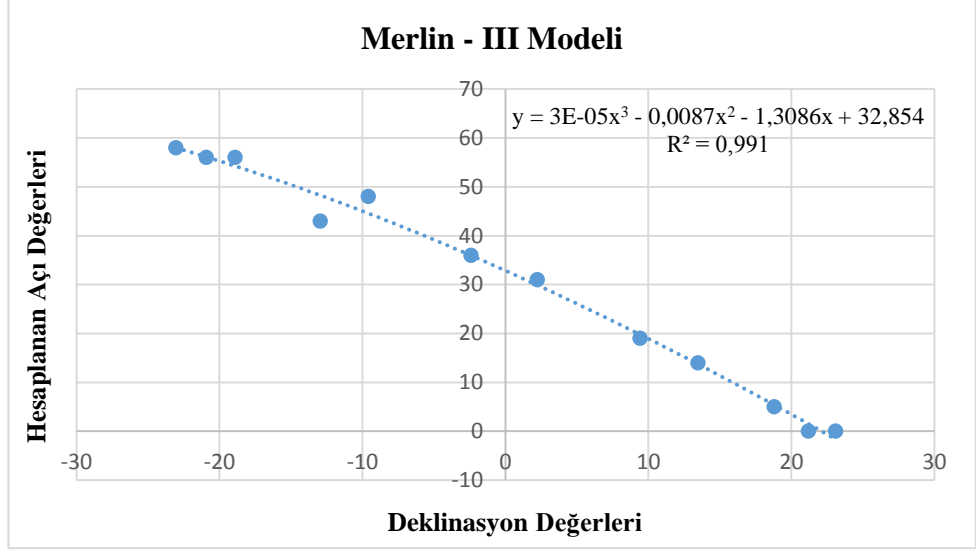
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.70 - 72'de ve Muğla için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.37'de verilmiştir.



Şekil 4.70. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – Muğla



Şekil 4.71. Polimetrik Merlin - II modelin deklinasyon eğrisi – Muğla



Şekil 4.72. Polimetrik Merlin - III modelin deklinasyon eğrisi – Muğla

Çizelge 4.37. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Muğla

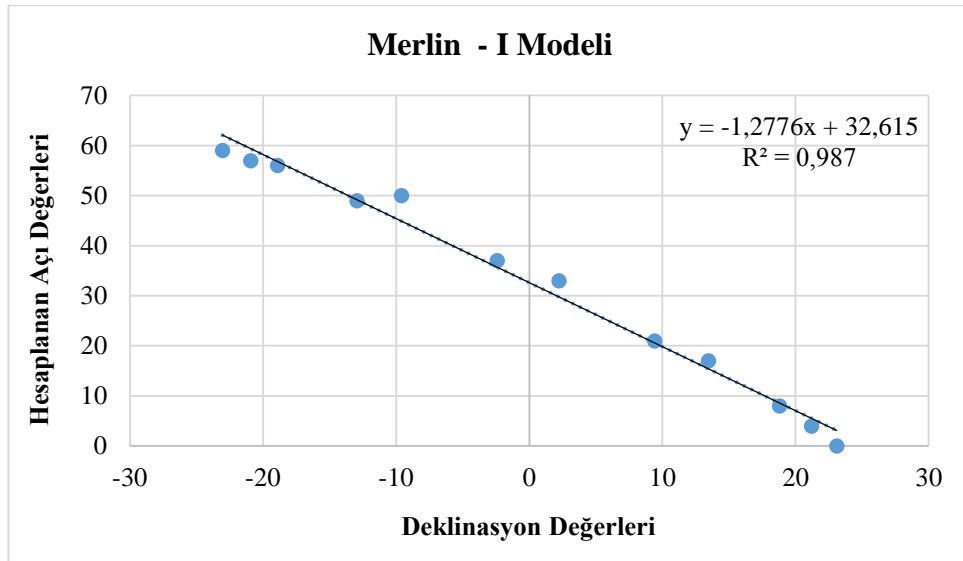
	Muğla Merlin - I	Muğla Merlin - II	Muğla Merlin - III
	%e	%e	%e
Ocak	-2,951667275	-0,261619468	-0,258878308
Şubat	-10,06731361	-12,04103374	-12,28169274
Mart	6,481014032	0,176888616	0,092865438
Nisan	3,55447744	-4,667556755	-4,144930665
Mayıs	-23,32799493	-8,755724582	-7,793905592
Haziran	-	-	-
Temmuz	-	-	-
Ağustos	6,526433744	1,077949621	1,822128433
Eylül	10,78198517	3,418495918	3,514348706
Ekim	10,46129489	7,313900417	7,109285786
Kasım	1,690641933	3,136111272	3,057854197
Aralık	-4,169219316	-0,161396901	-0,046866294
R	0,992427743	0,995460679	0,99546637
R2	0,984912824	0,990941963	0,990953294
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	0,000196394	-0,001585735	-0,001585735
RMSE	2,621249944	2,031054885	2,031054885
t-stat	0,000248494	0,002589438	0,002589438

Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde Muğla ili için en yakın sonuçları veren model 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin – III modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II ve akabinde de lineer olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığı zaman R^2 değeri 0,990953294 ve R değeri 0,99546637'dir. Geliştirilen 3. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Mart ayı sağlarken en düşük uyumu da Mayıs ayı sağlamaktadır.

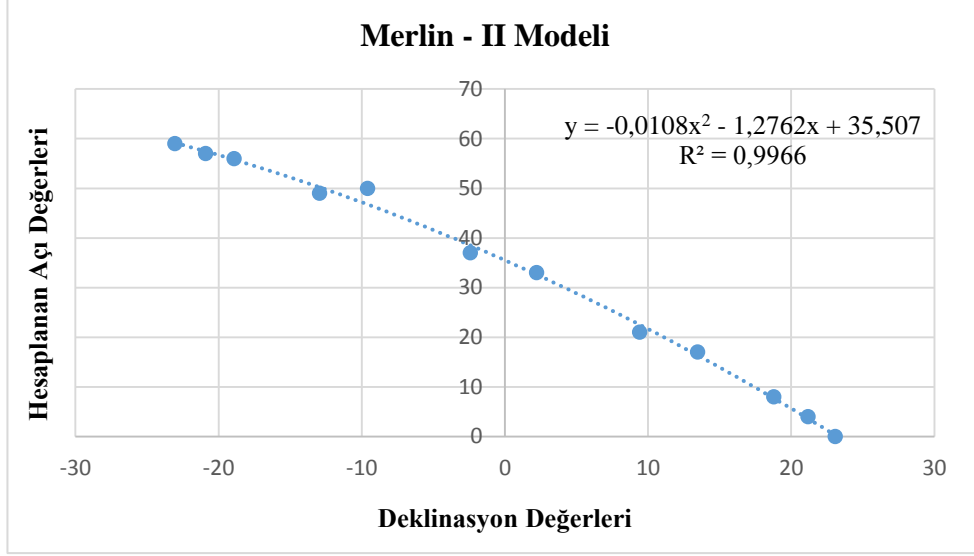
Yapılan çalışma ile Muğla iklim coğrafyasında güneş ışınımı tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 3. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

Sinop

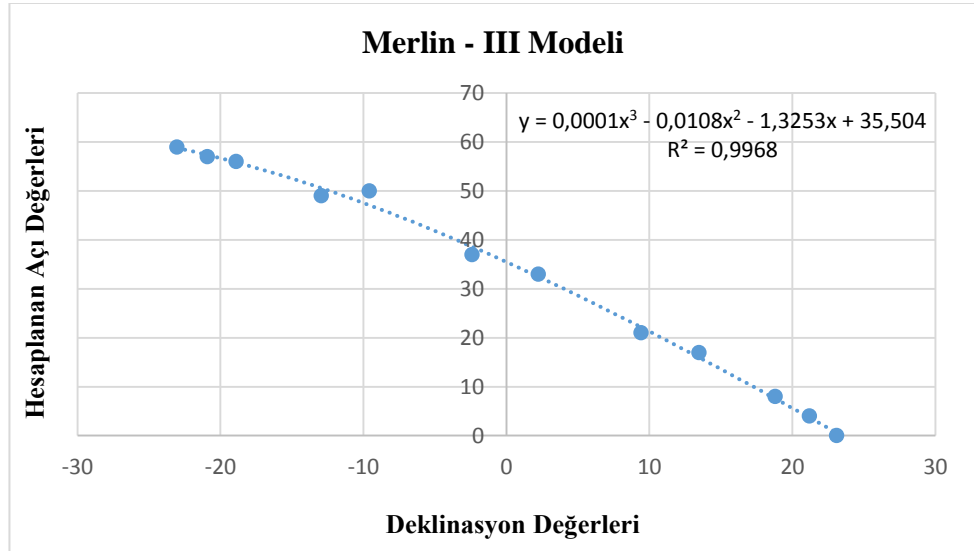
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.73 - 75'de ve Sinop için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.38'de verilmiştir.



Şekil 4.73. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – Sinop



Şekil 4.74. Polimetrik Merlin - II modelin deklinasyon eğrisi – Sinop



Şekil 4.75. Polimetrik Merlin - III modelin deklinasyon eğrisi – Sinop

Çizelge 4.38. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Sinop

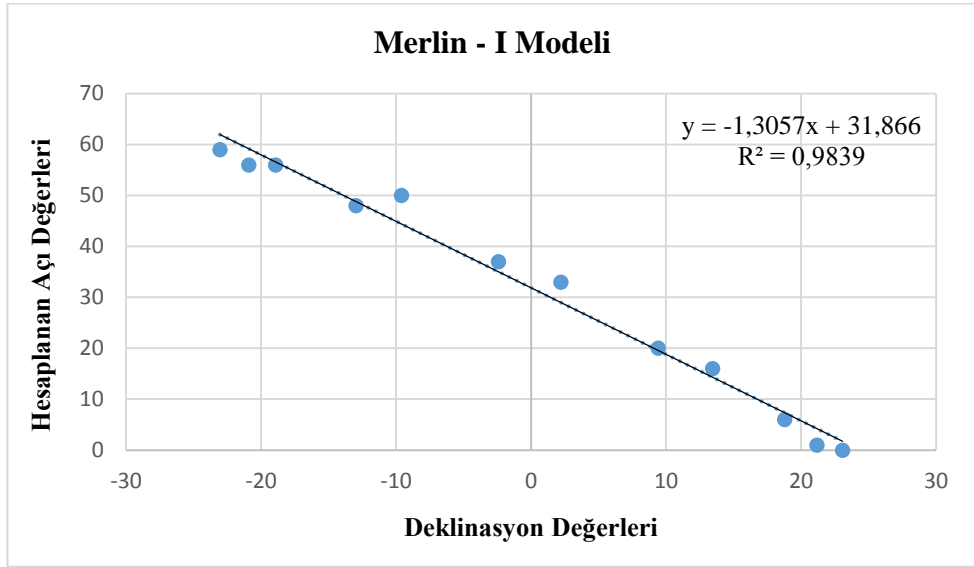
	Sinop Merlin - I	Sinop Merlin - II	Sinop Merlin - III
	%e	%e	%e
Ocak	-4,102651553	-0,835120957	-1,026112766
Şubat	-0,338382246	-2,504478865	-3,352773969
Mart	3,502978413	-4,133465917	-4,442378096
Nisan	1,968894	-7,306660809	-5,488482502
Mayıs	-7,580577242	3,61394634	6,889853634
Haziran	-	-	-
Temmuz	-38,76782755	9,352938895	11,66552621
Ağustos	9,265038178	3,643574701	6,114488777
Eylül	9,749377437	1,137177129	1,472812379
Ekim	10,24162019	6,474904528	5,715157591
Kasım	-1,387345317	0,393416618	-0,051526527
Aralık	-5,191871657	-0,313649468	-0,151181339
R	0,993472655	0,998315835	0,99839472
R2	0,986987917	0,996634507	0,996792016
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	5,79305E-05	-0,010431086	-0,010320349
RMSE	2,396140928	1,218650902	1,198277696
t-stat	8,01846E-05	0,028389808	0,028565996

Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde Sinop ili için olarak en yakın sonuçları veren model 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin – III modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II ve akabinde de lineer olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığı zaman R² değeri 0,996792016 ve R değeri 0,99839472'dir. Geliştirilen 3. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Eylül ayı sağlarken en düşük uyumu da Nisan ayı sağlamaktadır.

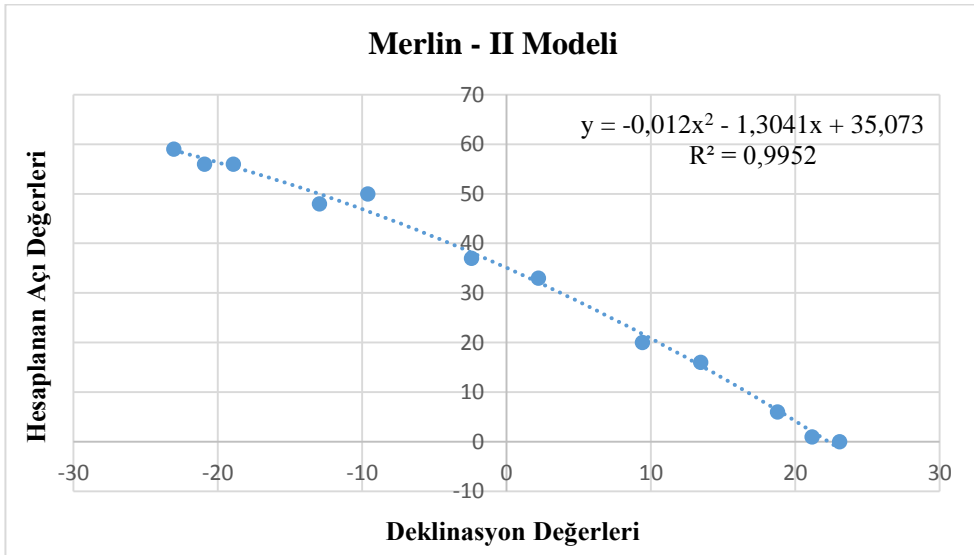
Yapılan çalışma ile Sinop iklim coğrafyasında güneş ışınımı tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 3. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

Van

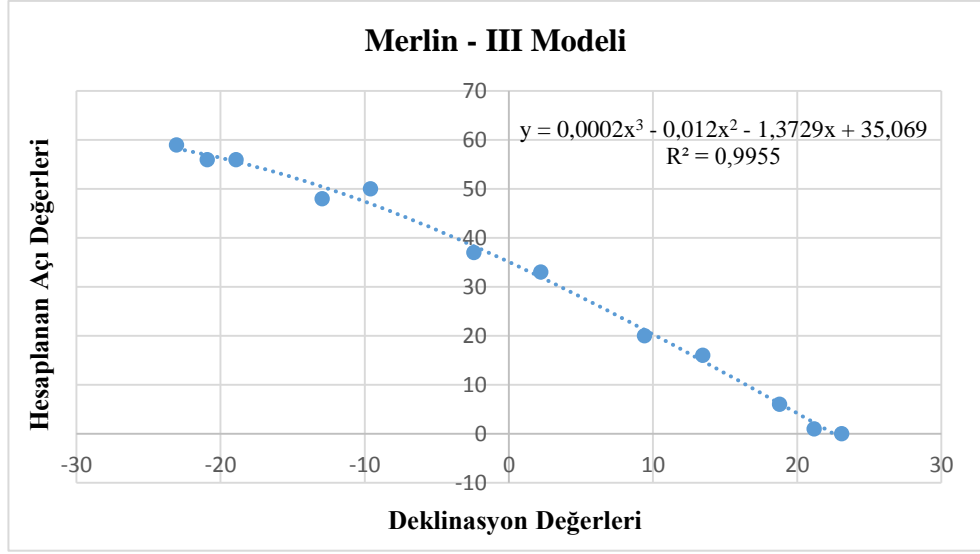
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.76 - 78'de ve Van için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.39'da verilmiştir.



Şekil 4.76. Lineer Merlin - I modelinin deklinasyon eğrisi – Van



Şekil 4.77. Polimetrik Merlin - III modelin deklinasyon eğrisi – Van



Şekil 4.78. Polimetrik Merlin - III modelin deklinasyon eğrisi – Van

Çizelge 4.39. Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Van

	Van Merlin - I	Van Merlin - II	Van Merlin - III
	%e	%e	%e
Ocak	-5,673710774	-1,965319667	-1,259555314
Şubat	-1,626732892	-4,069254093	-5,011886851
Mart	5,343685581	-3,123845028	-3,55496289
Nisan	2,135131215	-8,656774928	-6,232589803
Mayıs	-22,15655495	-5,480439954	-5,986060088
Haziran	-	-	-
Temmuz	-320,6451313	-106,2358746	-150,2152352
Ağustos	10,63838036	4,037776265	6,803619835
Eylül	12,20784568	2,65762757	3,125333007
Ekim	11,20013406	7,028414388	6,069365072
Kasım	-0,998820189	0,992614656	1,092034561
Aralık	-5,020167483	0,412550176	1,882671269
R	0,991911106	0,997604926	0,997753292
R2	0,983887642	0,995215589	0,995511632
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	-0,000244307	-0,00556654	-0,00807511
RMSE	2,729254969	1,487242948	1,452990067
t-stat	0,000296885	0,012413745	0,018432696

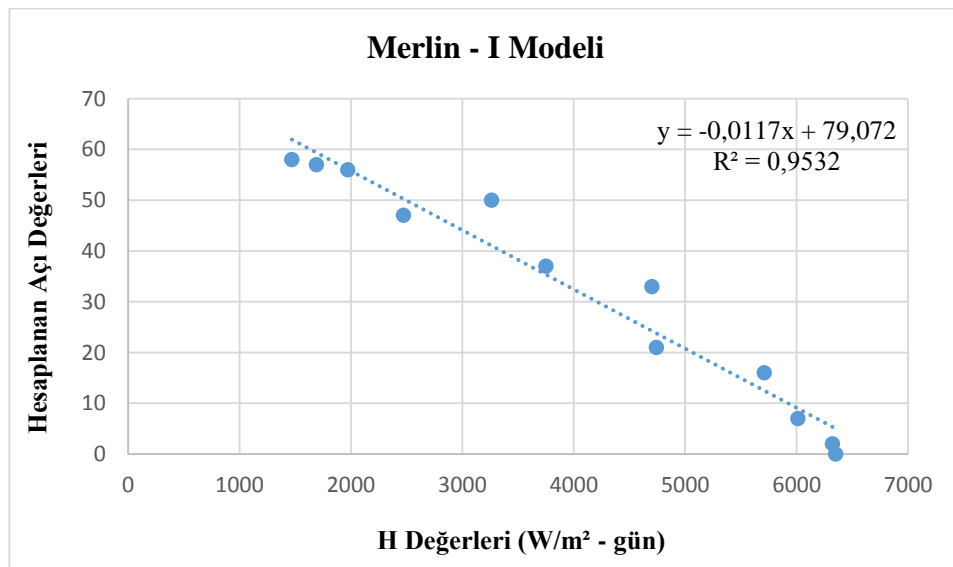
Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde Van ili için en yakın sonuçları veren model 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin – III modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II ve akabinde de lineer olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığı zaman R^2 değeri 0,995511632 ve R değeri 0,997753292'dir. Geliştirilen 3. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Kasım ayı sağlarken en düşük uyumu da Temmuz ayı sağlamaktadır.

Yapılan çalışma ile Van iklim coğrafyasında güneş ışınımı tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 3. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

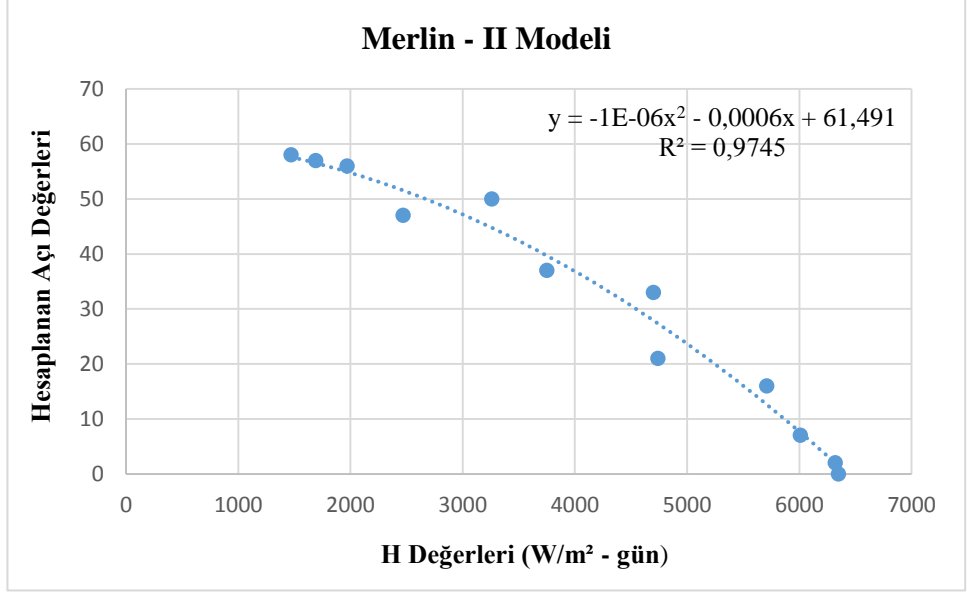
4.14.2. Günlük Toplam Güneş Işınımı (H)

Ankara

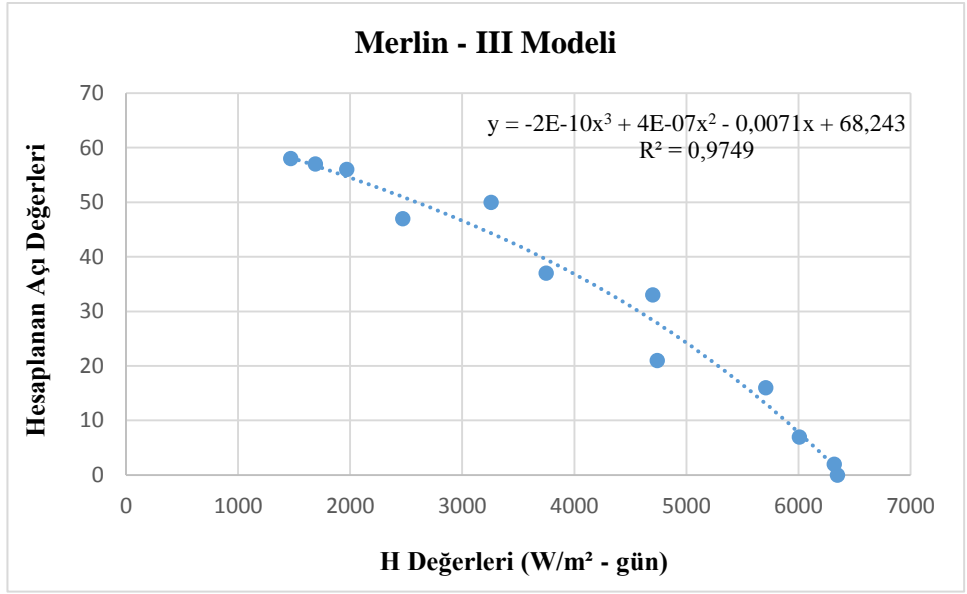
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.79 - 81'de ve Ankara için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.40'da verilmiştir.



Şekil 4.79. Lineer Merlin - I modelinin H eğrisi – Ankara



Şekil 4.80. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – Ankara



Şekil 4.81. Polimetrik Merlin - III modelin H eğrisi – Ankara

Çizelge 4.40 Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Ankara

	Merlin - I	Merlin - II	Merlin - III
	%e	%e	%e
Ocak	-4,033333333	-1,089298246	1,015652281
Şubat	-6,75106383	-14,69808511	-6,664926383
Mart	4,872972973	-22,10405405	0,821283784
Nisan	-12,44761905	-72,28285714	-6,079786667
Mayıs	-25,07142857	-210,9271429	148,51886
Haziran	-	-	-
Temmuz	-156,4	-787,83	656,96168
Ağustos	23,34375	-59,130625	78,06401375
Eylül	27,02424242	-10,85151515	30,47151515
Ekim	18,14	2,1852	15,1623104
Kasım	-0,041071429	-0,764464286	3,072704643
Aralık	-6,677586207	-0,772586207	-0,060440345
R	0,976336307	0,987182987	0,987131914
R2	0,953232585	0,974530249	0,974429416
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	0,157	-7,6327	5,312025967
RMSE	4,581373338	10,0702105	7,91779756
t-stat	0,113724876	3,853709299	3,000622308

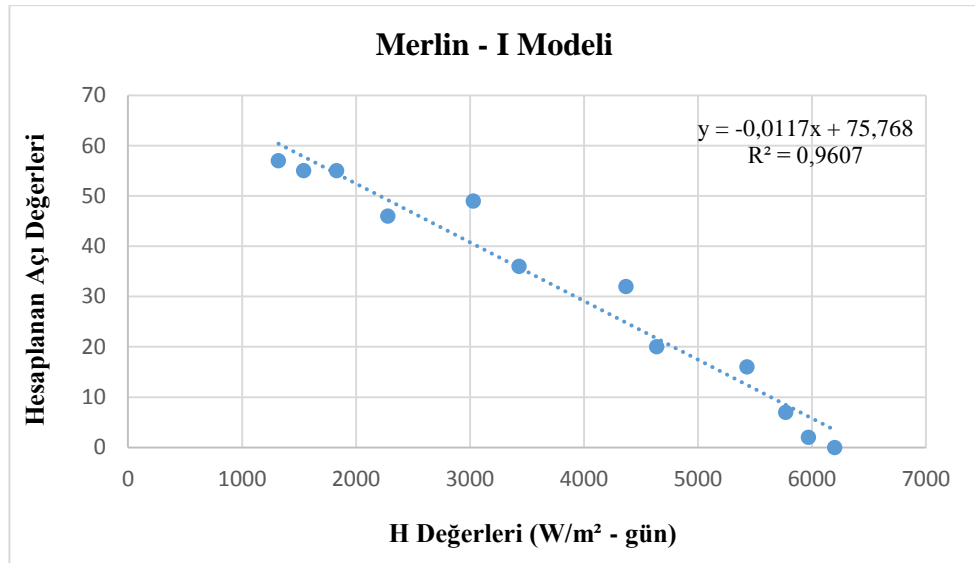
Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde Ankara ili için en yakın sonuçları veren model 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - III ve akabinde de lineer olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığında zaman R² değeri 0,974530249 ve R değeri 0,987182987'dir. Bu oranların 1 değerine yakınlığı literatürde genel olarak kabul görmektedir. Ayrıca uygun olarak kabul edilen model sonuçları ile diğer istatistiksel veriler arasında yer alan bağıl hata yüzdesi (e%), MBE, RMSE ve t-stat değerleri de oldukça kabul edilebilir düzeydedir. Geliştirilen 2. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Ekim ayı sağlarken en düşük uyumu da Temmuz ayı sağlamaktadır.

Yapılan çalışma ile Ankara iklim coğrafyasında güneş ışınımı tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 2. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

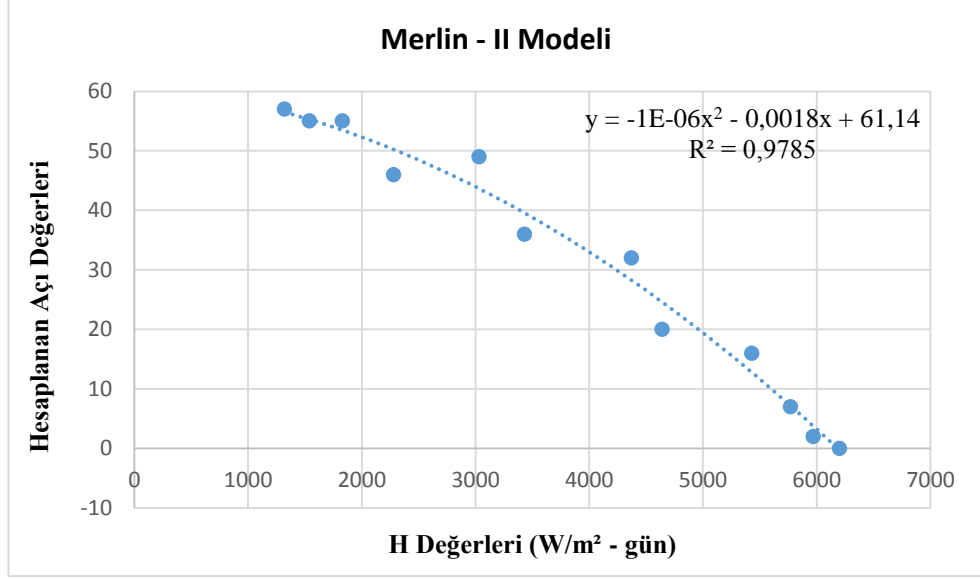
Çizelge 4.40'da – (eksi) ile gösterilen yerlerde, ölçülen ve hesaplanan değer sonuçları 0 (sıfır) olduğu için hesaplamalarda belirsizlik durumu ortaya çıkmıştır. Belirli olmadığı için – (eksi) ile gösterilmesi uygun görülmüştür.

Bursa

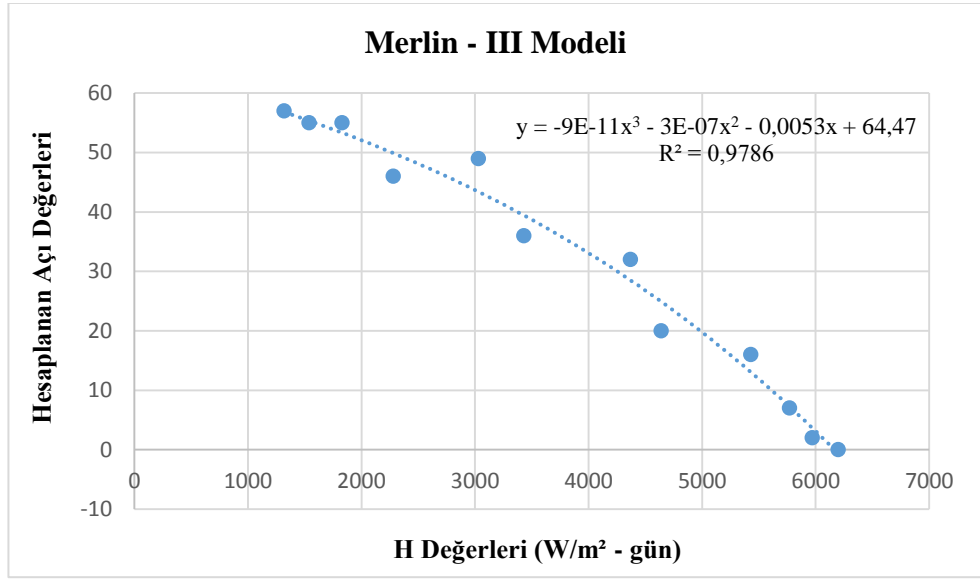
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.82 - 84'de ve Bursa için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.41'de verilmiştir.



Şekil 4.82. Lineer Merlin - I modelinin H eğrisi – Bursa



Şekil 4.83. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – Bursa



Şekil 4.84. Polimetrik Merlin - III modelin H eğrisi – Bursa

Çizelge 4.41 Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Bursa

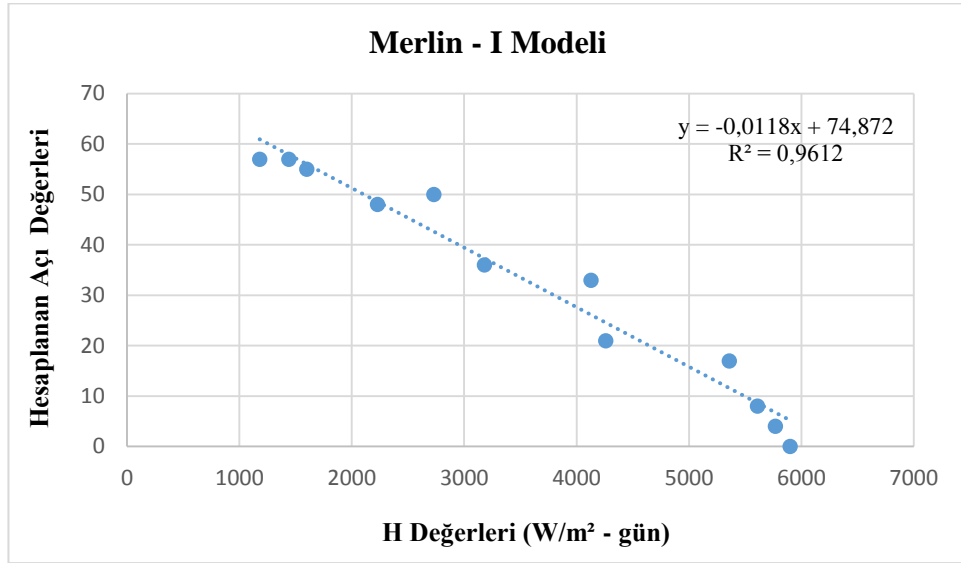
	Merlin - I	Merlin - II	Merlin - III
	%e	%e	%e
Ocak	-5	-1,811636364	-0,486938618
Şubat	-6,72173913	-12,69043478	-8,173409391
Mart	1,008333333	-20,00305556	-8,693626028
Nisan	-7,4	-56,292	-22,1417952
Mayıs	-17,98571429	-149,4442857	5,541042429
Haziran	-	-	-
Temmuz	-195,95	-637,655	-49,3437215
Ağustos	23,51875	-36,756875	22,27337894
Eylül	23,003125	-6,8034375	12,28400241
Ekim	17,72040816	5,091632653	11,9324519
Kasım	1,169090909	0,914363636	3,245879691
Aralık	-5,831578947	-0,037894737	0,448626526
R	0,980129529	0,989152131	0,989234132
R2	0,960653893	0,978421938	0,978584167
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	0,14675	-5,427475	0,380778613
RMSE	4,102947751	7,442728968	3,057902533
t-stat	0,118701562	3,534569837	0,416235098

Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde Bursa ili için en yakın sonuçları veren model 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - III modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II ve akabinde de lineer olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığı zaman R² değeri 0,978584167 ve R değeri 0,989234132'dir. Geliştirilen 3. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Kasım ayı sağlarken en düşük uyumu da Temmuz ayı sağlamaktadır.

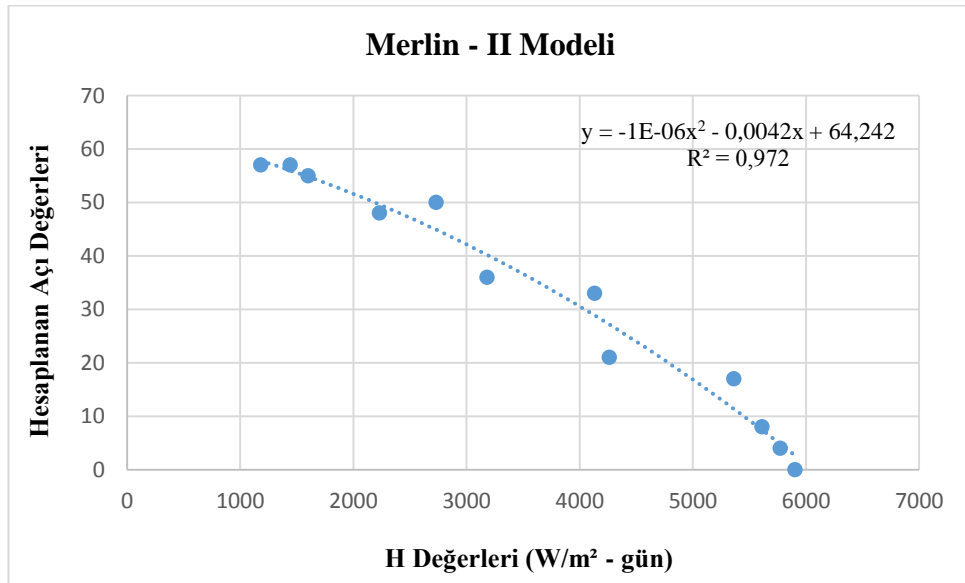
Yapılan çalışma ile Bursa iklim coğrafyasında güneş ışınımı tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 3. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

Edirne

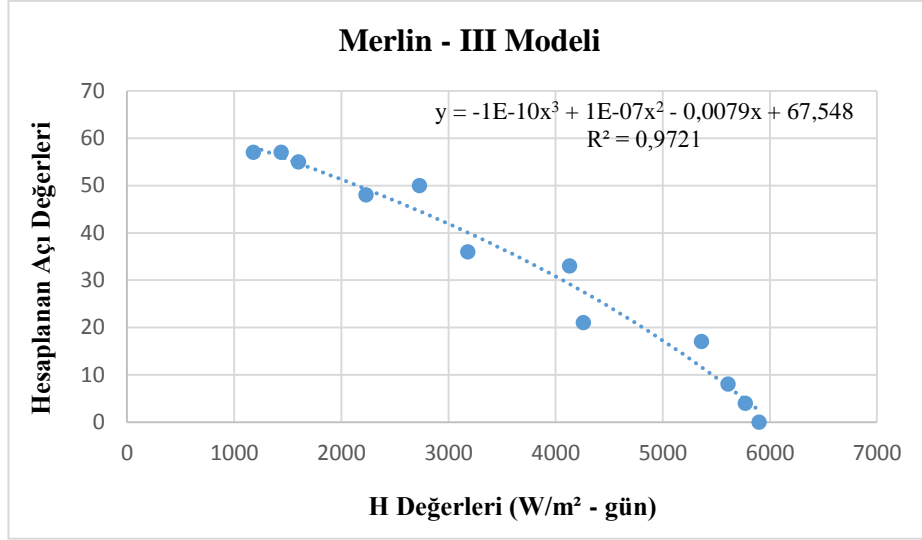
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.85 - 87'de ve Edirne için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.42'de verilmiştir.



Şekil 4.85. Linear Merlin - I modelinin H eğrisi – Edirne



Şekil 4.86. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – Edirne



Şekil 4.87. Polimetrik Merlin - III modelin H eğrisi – Edirne

Çizelge 4.42 Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Edirne

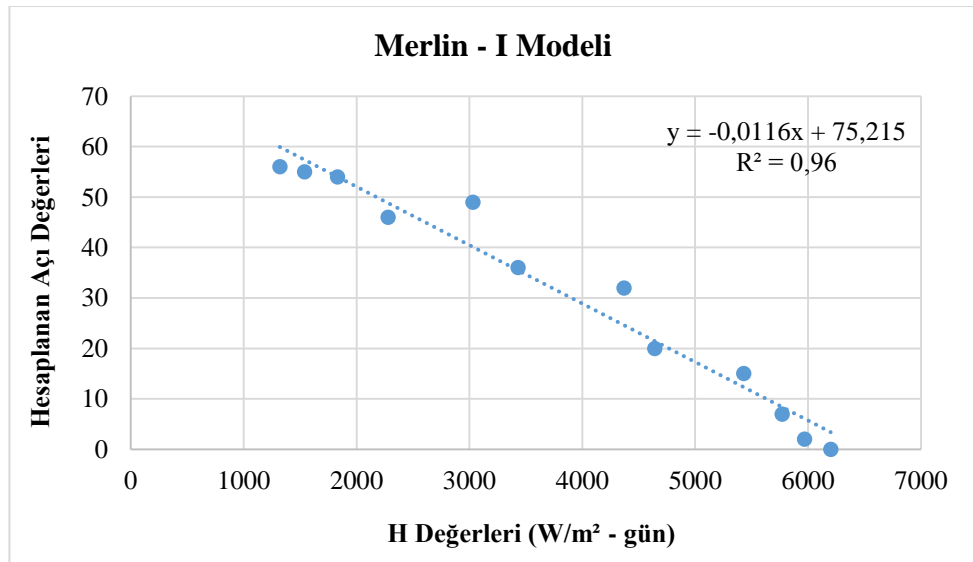
	Merlin - I	Merlin - II	Merlin - III
	%e	%e	%e
Ocak	-1,543859649	1,543157895	1,612698947
Şubat	-1,1625	-3,964791667	-2,748611042
Mart	-3,744444444	-13,26	-11,72638
Nisan	-17,16190476	-34,29714286	-33,22801143
Mayıs	-8,425	-15,09875	-9,00452375
Haziran	-	-	-
Temmuz	-69,65	-67,8775	-52,1071675
Ağustos	31,62352941	23,52705882	25,42415059
Eylül	20,79393939	9,578484848	10,35699909
Ekim	14,684	9,3538	10,6167034
Kasım	-1,803636364	0,069090909	0,446545455
Aralık	-6,926315789	-1,567719298	-2,106906667
R	0,980404697	0,985896172	0,985949029
R2	0,961193369	0,971991261	0,972095488
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	-0,0385	-0,882725	-0,516024375
RMSE	4,063613048	3,630778732	3,524519038
t-stat	0,031424199	0,831289426	0,490876281

Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde Edirne ili için en yakın sonuçları veren model 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - III modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II ve akabinde de lineer olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığı zaman R^2 değeri 0,972095488 ve R değeri 0,985949029'dur. Geliştirilen 3. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Kasım ayı sağlarken en düşük uyumu da Temmuz ayı sağlamaktadır.

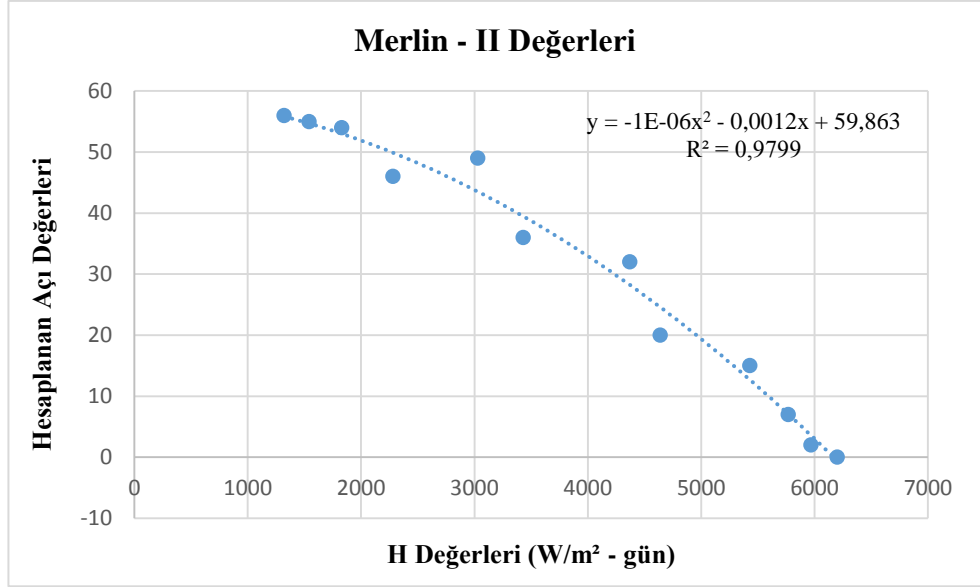
Yapılan çalışma ile Edirne iklim coğrafyasında güneş ışınımı tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 3. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

Erzurum

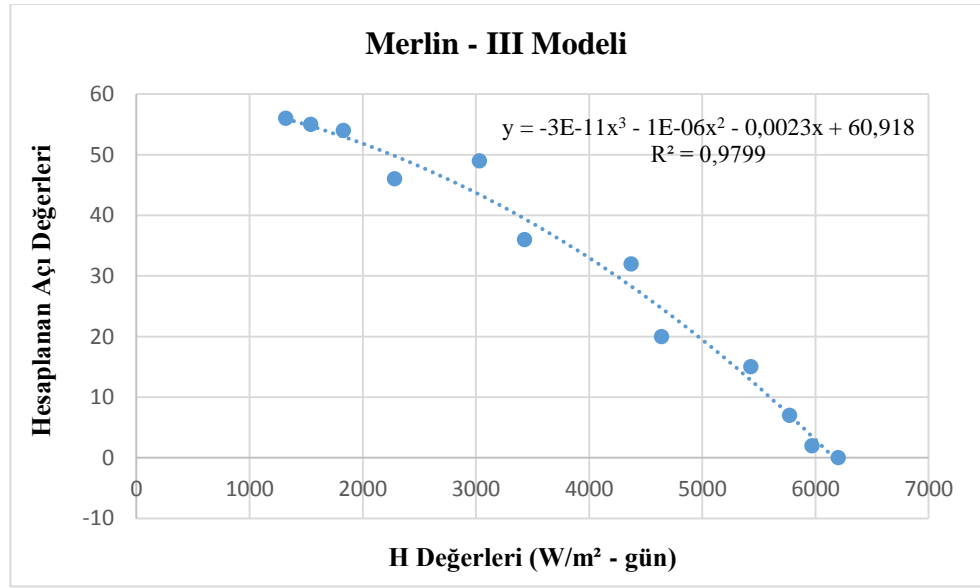
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.88 - 90'da ve Erzurum için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.43'de verilmiştir.



Şekil 4.88. Lineer Merlin - I modelinin H eğrisi – Erzurum



Şekil 4.89. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – Erzurum



Şekil 4.90. Polimetrik Merlin - III modelin H eğrisi – Erzurum

Çizelge 4.43 Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Erzurum

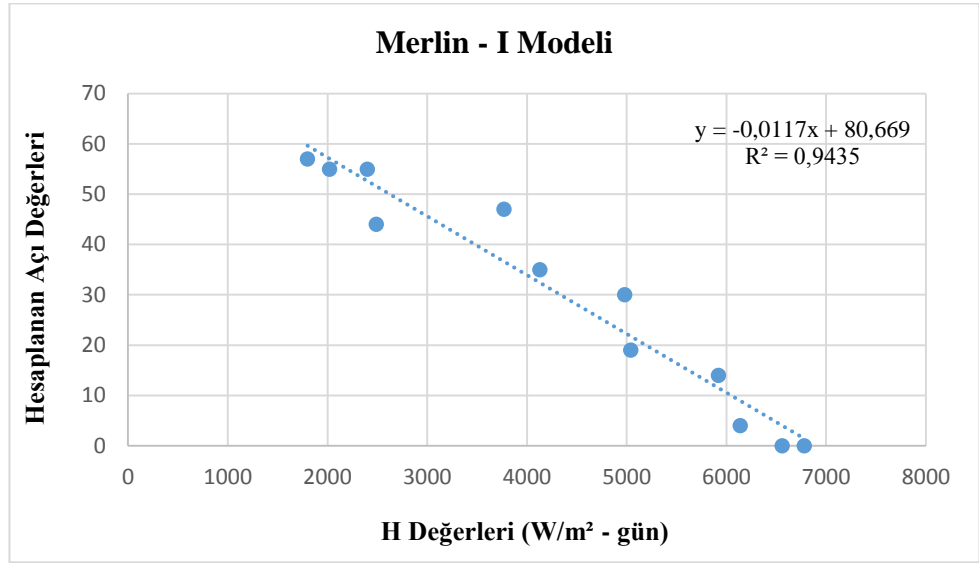
	Merlin - I	Merlin - II	Merlin - III
	%e	%e	%e
Ocak	-4,274545455	-1,169818182	0,1912144
Şubat	-6,015217391	-12,88826087	-8,956585739
Mart	1,591666667	-22,1725	-11,25969942
Nisan	-6,955	-63,827	-28,5973984
Mayıs	-18,32857143	-180,6585714	-22,72998586
Haziran	-	-	-
Temmuz	-198,15	-752,905	-158,1407405
Ağustos	18,48666667	-59,08066667	5,7266014
Eylül	23,365625	-11,0065625	8,542198719
Ekim	18,23061224	3,98755102	10,33968124
Kasım	0,024074074	-0,589074074	1,5254715
Aralık	-6,969642857	-0,958214286	-0,126073143
R	0,979814526	0,989888782	0,989906897
R2	0,960036506	0,979879801	0,979915665
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	0,068	-6,690975	-0,849817963
RMSE	4,105710535	8,848610937	3,087167267
t-stat	0,054938463	3,832453949	0,94967162

Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde Erzurum ili için en yakın sonuçları veren model 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - III modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II ve akabinde de lineer olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığında zaman R² değeri 0,979915665 ve R değeri 0,989906897’dir. Geliştirilen 3. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Ocak ayı sağlarken en düşük uyumu da Temmuz ayı sağlamaktadır.

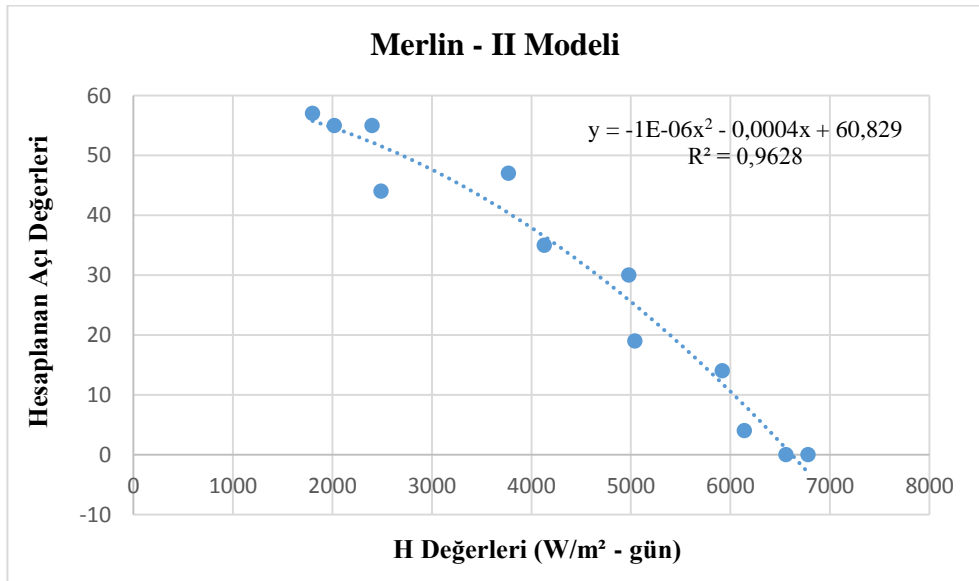
Yapılan çalışma ile Erzurum iklim coğrafyasında güneş ışınımı tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 3. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

Gaziantep

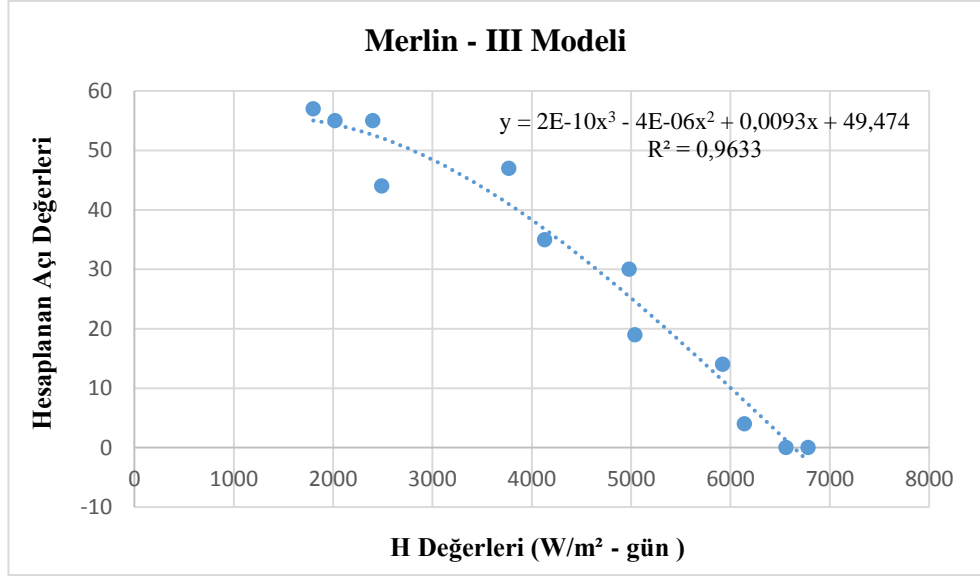
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.91 - 93'de ve Gaziantep için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.44'de verilmiştir.



Şekil 4.91. Lineer Merlin - I modelinin H eğrisi – Gaziantep



Şekil 4.92. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – Gaziantep



Şekil 4.93. Polimetrik Merlin - III modelin H eğrisi – Gaziantep

Çizelge 4.44 Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Gaziantep

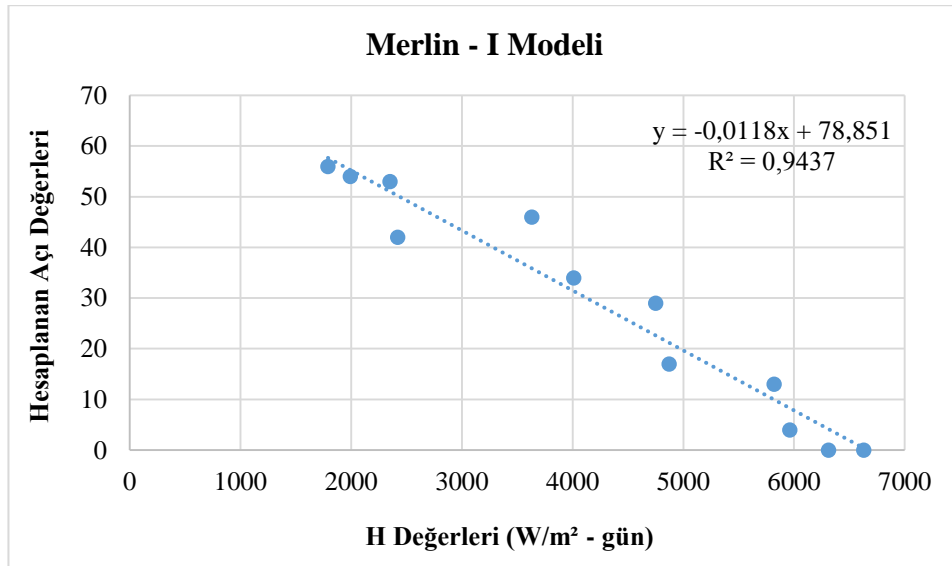
	Merlin - I	Merlin - II	Merlin - III
	%e	%e	%e
Ocak	-3,7	-1,710181818	2,569306182
Şubat	-17,12727273	-21,89295455	-15,723295
Mart	7,577142857	-20,34314286	3,587430286
Nisan	-14,21578947	-75,84947368	-7,075856842
Mayıs	-120,775	-416,835	48,18228
Haziran	-	-	-
Temmuz	-	-	-
Ağustos	18,53571429	-67,24714286	58,29044571
Eylül	25,32333333	-13,45533333	29,04133867
Ekim	22,21276596	4,025319149	18,29802851
Kasım	4,383636364	1,62	6,329454545
Aralık	-4,577192982	0,229824561	4,525614035
R	0,971345609	0,981229504	0,981473718
R2	0,943512292	0,962811339	0,963290659
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	0,06025	-7,219641667	3,506004283
RMSE	5,01504371	9,648588207	5,7762345
t-stat	0,03984832	3,740832407	2,533071606

Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde Gaziantep ili için en yakın sonuçları veren model 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - III modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II ve akabinde de lineer olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığı zaman R^2 değeri 0,963290659 ve R değeri 0,981473718'dir. Geliştirilen 3. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Ocak ayı sağlarken en düşük uyumu da Şubat ayı sağlamaktadır.

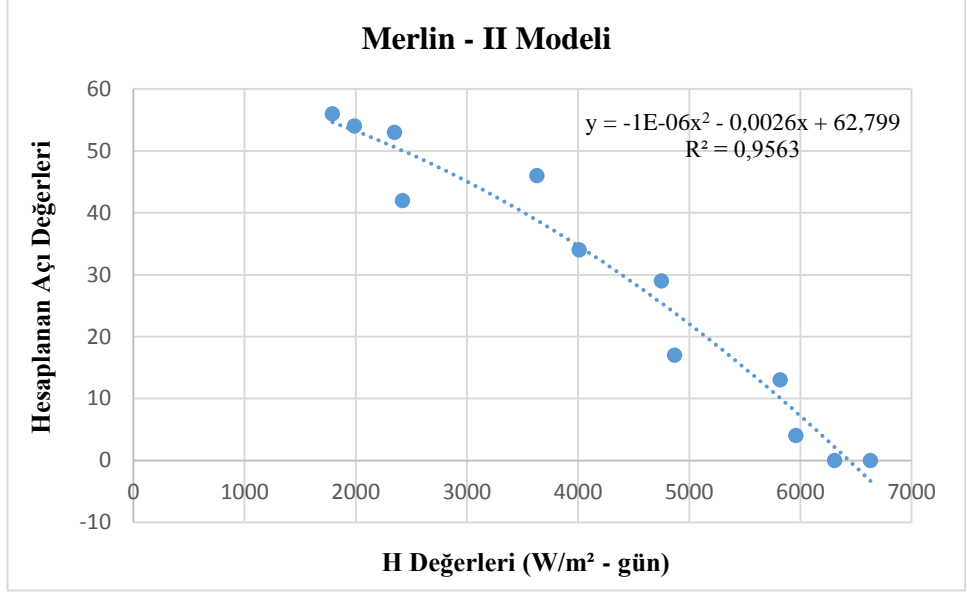
Yapılan çalışma ile Gaziantep iklim coğrafyasında güneş ışınımı tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 3. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

Hatay

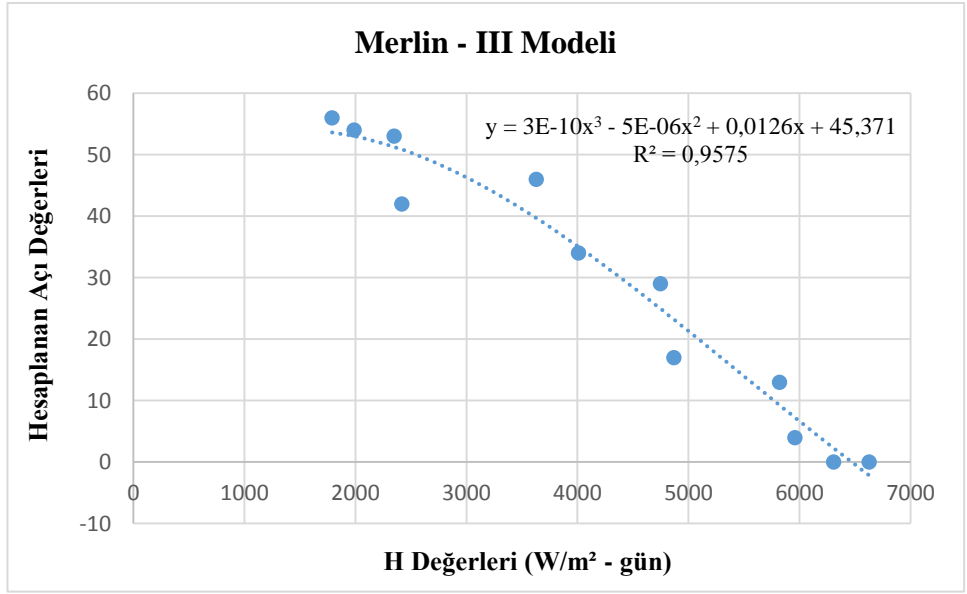
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.94 - 96'da ve Hatay için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.45'de verilmiştir.



Şekil 4.94. Lineer Merlin - I modelinin H eğrisi – Hatay



Şekil 4.95. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – Hatay



Şekil 4.96. Polimetrik Merlin - III modelin H eğrisi – Hatay

Çizelge 4.45 Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Hatay

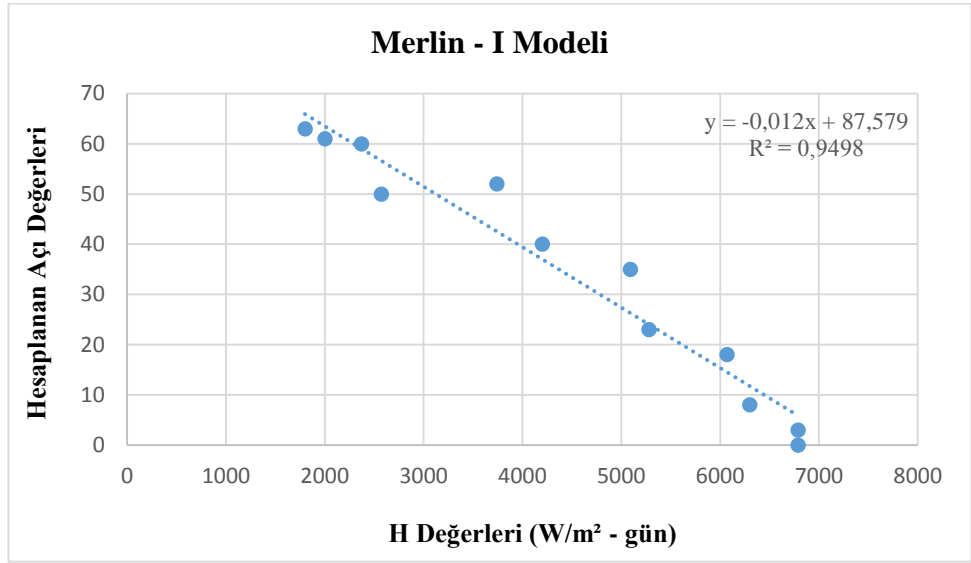
	Merlin - I	Merlin - II	Merlin - III
	%e	%e	%e
Ocak	-2,535185185	0,620555556	1,835778333
Şubat	-19,75	-20,59666667	-21,03034857
Mart	7,255882353	-6,743823529	-2,473118529
Nisan	-25,79411765	-55,41235294	-34,11112294
Mayıs	-113,075	-194,535	-59,29052
Haziran	-	-	-
Temmuz	-	-	-
Ağustos	21,73076923	-6,112307692	34,75222769
Eylül	21,37586207	3,839655172	15,31012931
Ekim	21,70217391	12,64326087	13,96925196
Kasım	3,545283019	3,459433962	3,279504717
Aralık	-3,0875	1,89125	4,240889821
R	0,971432839	0,977888322	0,978485699
R2	0,94368176	0,956265571	0,957434264
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	-0,163166667	-2,246958333	0,410055775
RMSE	4,905105877	5,127533215	4,303776778
t-stat	0,110387478	1,616909586	0,317445946

Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde Hatay ili için en yakın sonuçları veren model 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - III modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II ve akabinde de lineer olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığında zaman R^2 değeri 0,957434264 ve R değeri 0,978485699'dur. Geliştirilen 3. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Ocak ayı sağlarken en düşük uyumu da Mayıs ayı sağlamaktadır.

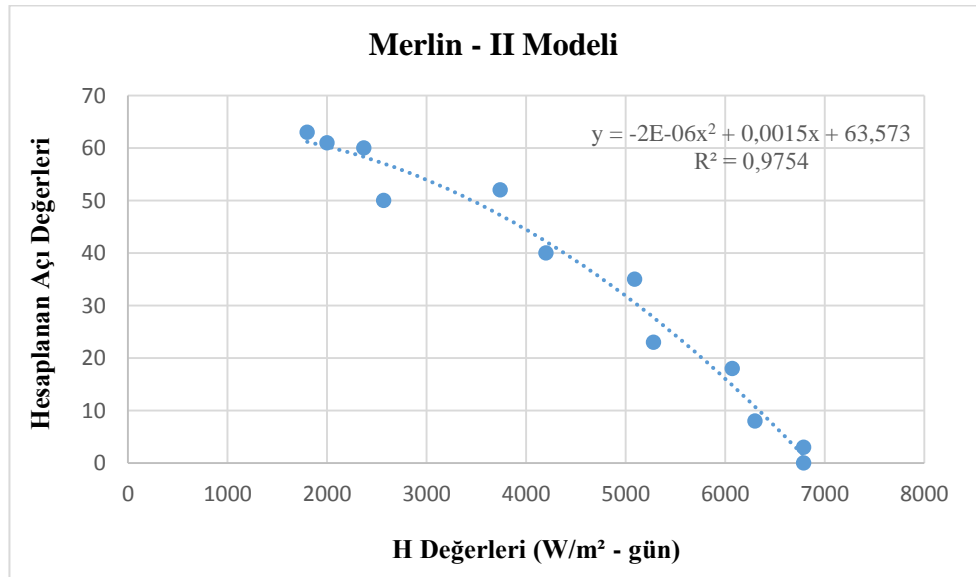
Yapılan çalışma ile Hatay iklim coğrafyasında güneş ışınımı tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 3. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

İstanbul

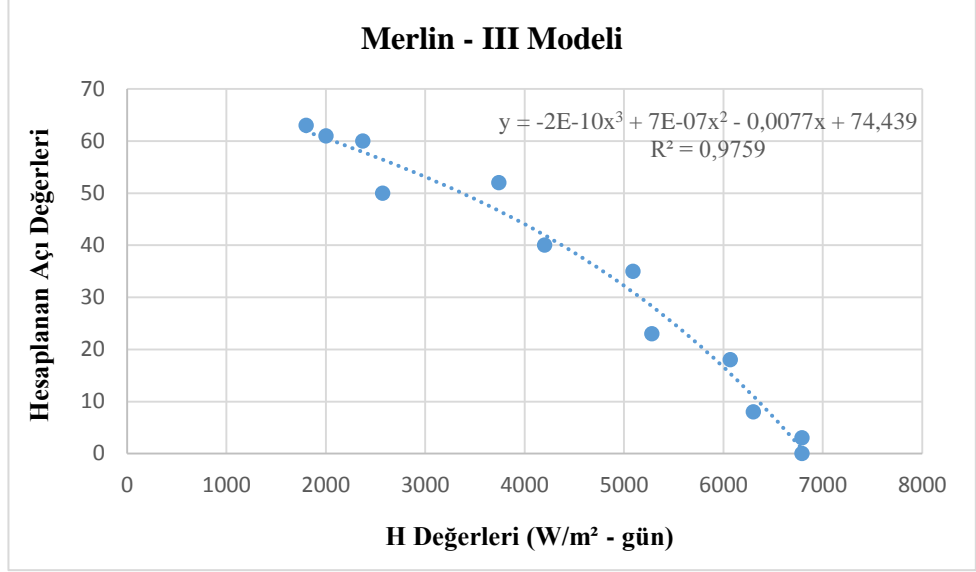
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.97 - 99'da ve İstanbul için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.46'da verilmiştir.



Şekil 4.97. Lineer Merlin - I modelinin H eğrisi – İstanbul



Şekil 4.98. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – İstanbul



Şekil 4.99. Polimetrik Merlin - III modelin H eğrisi – İstanbul

Çizelge 4.46 Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – İstanbul

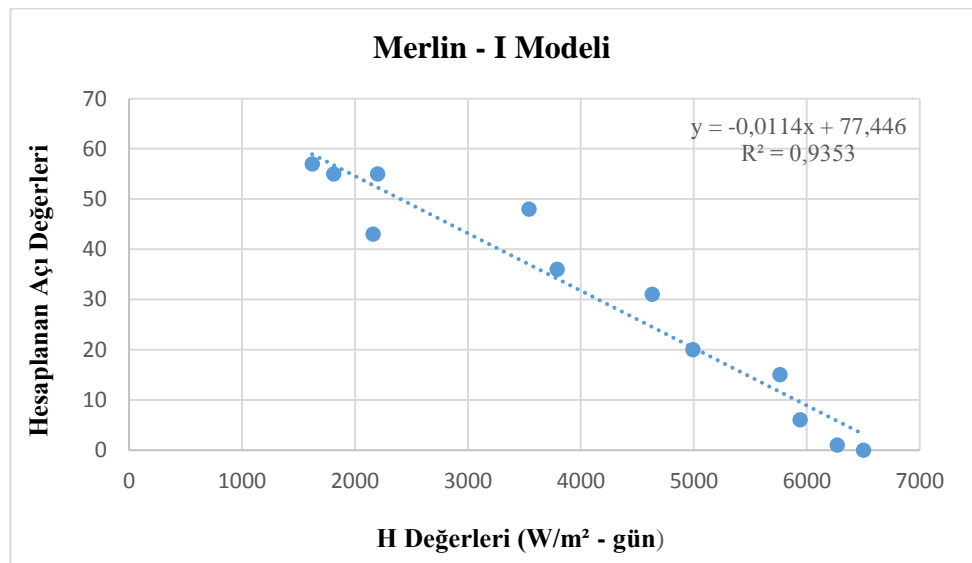
	Merlin - I	Merlin - II	Merlin - III
	%e	%e	%e
Ocak	-4,227868852	3,978688525	1,247540984
Şubat	-13,478	-8,4364	-11,7570228
Mart	7,0525	13,5175	0,9265
Nisan	-5,3	31,58173913	-3,731693913
Mayıs	-49,7375	179,4625	53,7175
Haziran	-	-	-
Temmuz	-103,3	715,0066667	372,68326
Ağustos	18,11666667	105,6211111	51,32377
Eylül	24,28857143	44,59485714	22,83650229
Ekim	17,88653846	20,75423077	13,52000923
Kasım	1,435	6,843	4,234301
Aralık	-4,728571429	5,09047619	2,094285714
R	0,974572826	0,987625973	0,987807475
R2	0,949792194	0,975405063	0,975763609
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	-0,162333333	9,821833333	3,8478862
RMSE	5,026338064	12,45326215	6,145824863
t-stat	0,107171417	4,254840676	2,663090659

Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde İstanbul ili için en yakın sonuçları veren model 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - III modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II ve akabinde de lineer olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığı zaman R^2 değeri 0,975763609 ve R değeri 0,987807475'dir. Geliştirilen 3. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Mart ayı sağlarken en düşük uyumu da Şubat ayı sağlamaktadır.

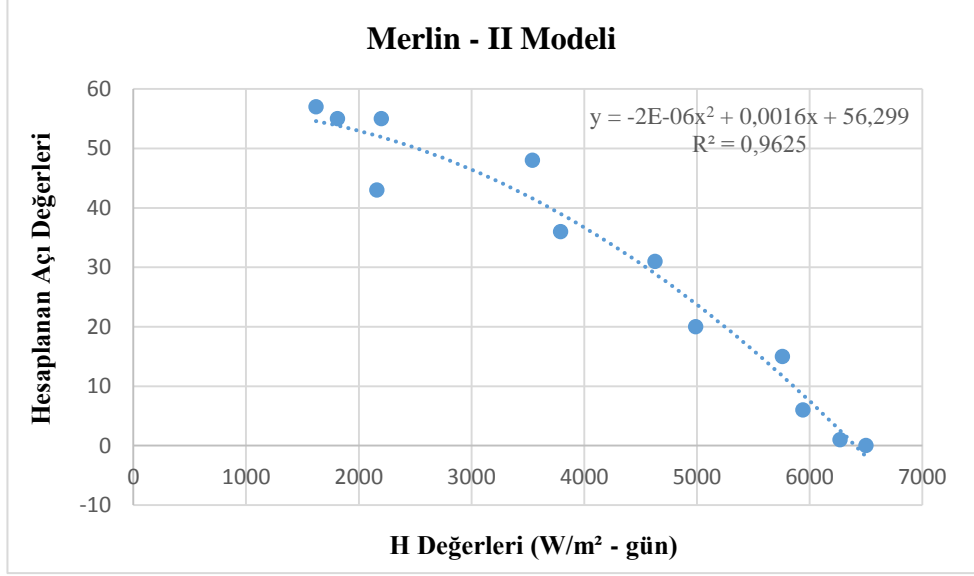
Yapılan çalışma ile İstanbul iklim coğrafyasında güneş ışınımı tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 3. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

İzmir

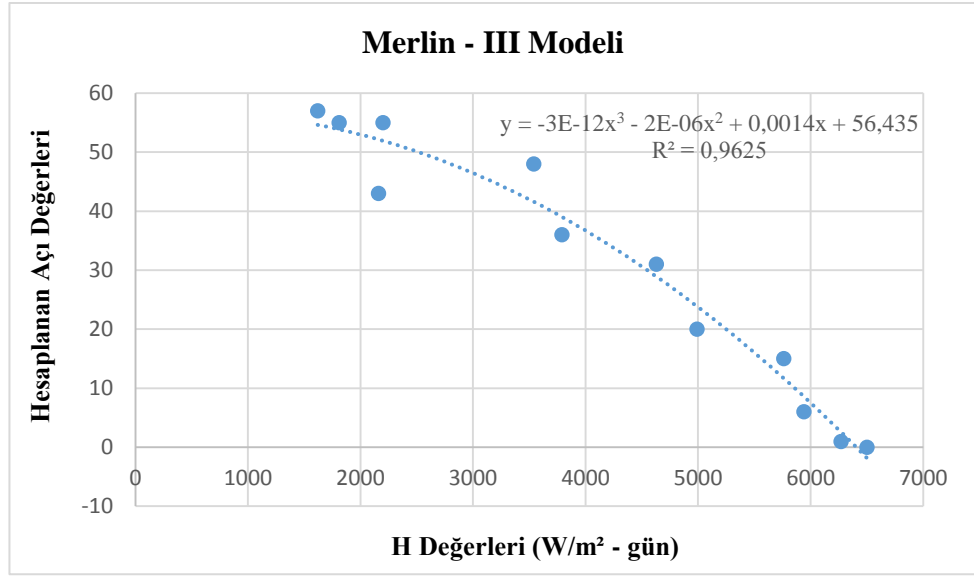
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.100 - 102'de ve İzmir için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.47'de verilmiştir.



Şekil 4.100. Lineer Merlin - I modelinin H eğrisi – İzmir



Şekil 4.101. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – İzmir



Şekil 4.102. Polimetrik Merlin - III modelin H eğrisi – İzmir

Çizelge 4.47 Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – İzmir

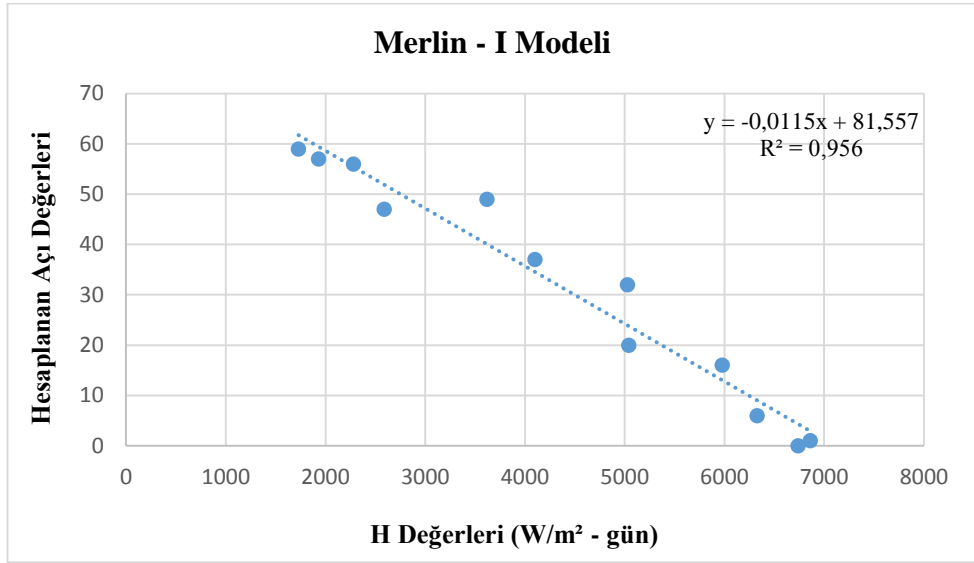
	Merlin - I	Merlin - II	Merlin - III
	%e	%e	%e
Ocak	-3,294545455	4,285818182	4,729071315
Şubat	-22,84186047	-17,26465116	-16,50596956
Mart	4,888888889	6,57	8,751443936
Nisan	-2,8	27,586	33,75977249
Mayıs	-62,16666667	179,4033333	207,4158959
Haziran	-	-	-
Temmuz	-496,8	1329,48	1515,227565
Ağustos	21,45333333	105,6013333	116,1967262
Eylül	20,43870968	32,79612903	36,30502755
Ekim	22,72916667	23,12541667	24,59434498
Kasım	4,789090909	8,838181818	9,448989091
Aralık	-3,470175439	5,890877193	6,243078218
R	0,967094296	0,981058612	0,98105423
R2	0,935271377	0,962476	0,962467402
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	-0,113166667	7,50015	8,503071056
RMSE	5,270474583	10,07717104	11,17367571
t-stat	0,071230383	3,695991525	3,89036816

Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde İzmir ili için en yakın sonuçları veren model 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - III ve akabinde de lineer olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığı zaman R^2 değeri 0,962476 ve R değeri 0,981058612'dir. Geliştirilen 3. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Ocak ayı sağlarken en düşük uyumu da Şubat ayı sağlamaktadır.

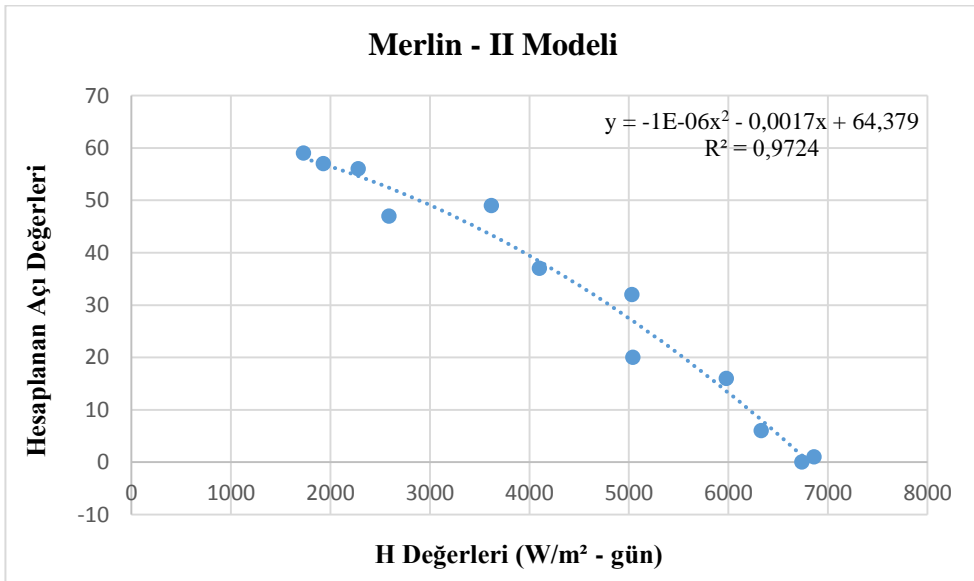
Yapılan çalışma ile İzmir iklim coğrafyasında güneş ışınımı tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 3. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

Kayseri

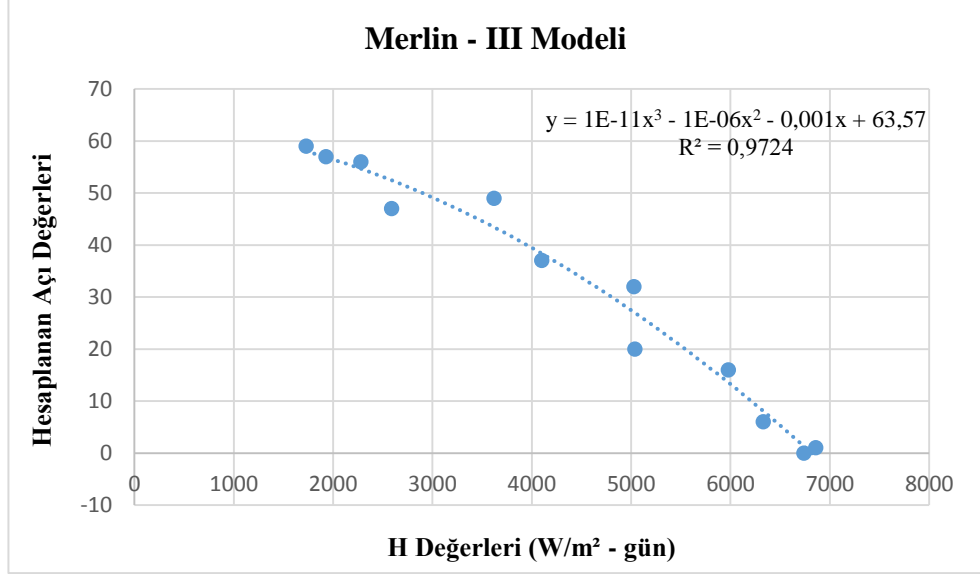
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.103 - 105'de ve Kayseri için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.48'de verilmiştir.



Şekil 4.103. Lineer Merlin - I modelinin H eğrisi – Kayseri



Şekil 4.104. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – Kayseri



Şekil 4.105. Polimetrik Merlin - III modelin H eğrisi – Kayseri

Çizelge 4.48 Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Kayseri

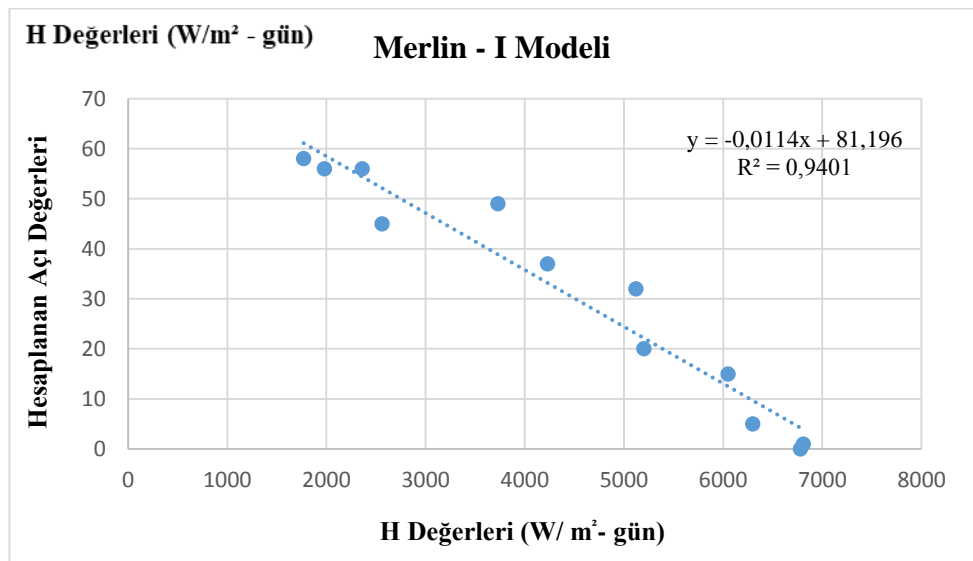
	Merlin - I	Merlin - II	Merlin - III
	%e	%e	%e
Ocak	-4,143859649	-0,654561404	-1,731562404
Şubat	-10,15319149	-13,33595745	-15,84178679
Mart	7,008108108	-9,727027027	-17,16002703
Nisan	-17,985	-52,047	-72,0432032
Mayıs	-46,03333333	-125,8183333	-228,4576895
Haziran	-	-	-
Temmuz	-166,7	-465,74	-1187,868856
Ağustos	20,08125	-15,32875	-49,8004495
Eylül	25,9	4,6028125	-7,849172719
Ekim	18,51632653	7,917142857	3,428613714
Kasım	1,183928571	1,241785714	-0,375220571
Aralık	-4,511864407	0,940508475	0,171394627
R	0,977750666	0,98607458	0,986074728
R2	0,955996365	0,972343077	0,972343369
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	0,163416667	-3,016608333	-6,512469861
RMSE	4,506091091	5,160680133	8,733175887
t-stat	0,120358982	2,389411488	3,712133799

Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde Kayseri ili için en yakın sonuçları veren model 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - III modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II ve akabinde de lineer olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığında zaman R^2 değeri 0,972343369 ve R değeri 0,986074728'dir. Geliştirilen 3. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Aralık ayı sağlarken en düşük uyumu da Mayıs ayı sağlamaktadır.

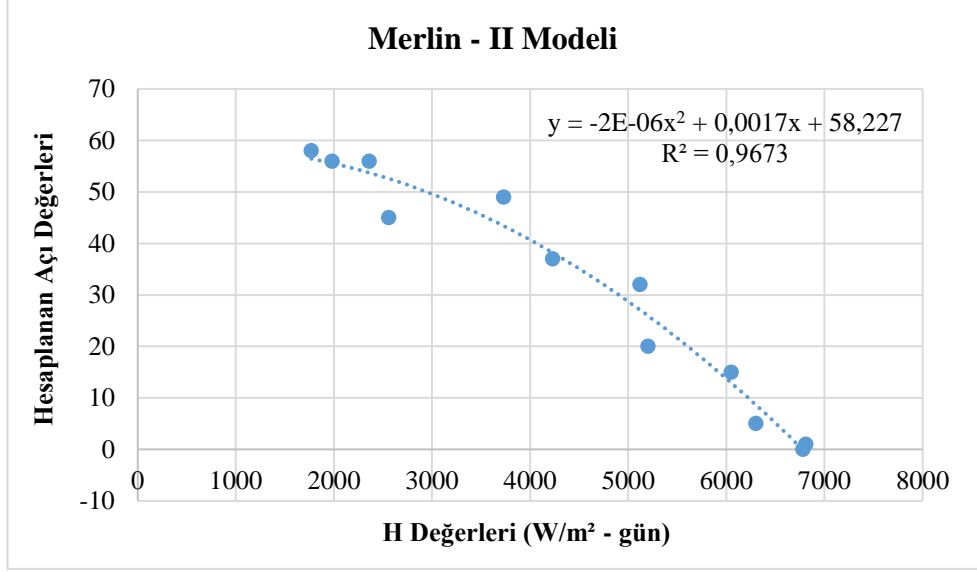
Yapılan çalışma ile Kayseri iklim coğrafyasında güneş ışınımı tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 3. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

Konya

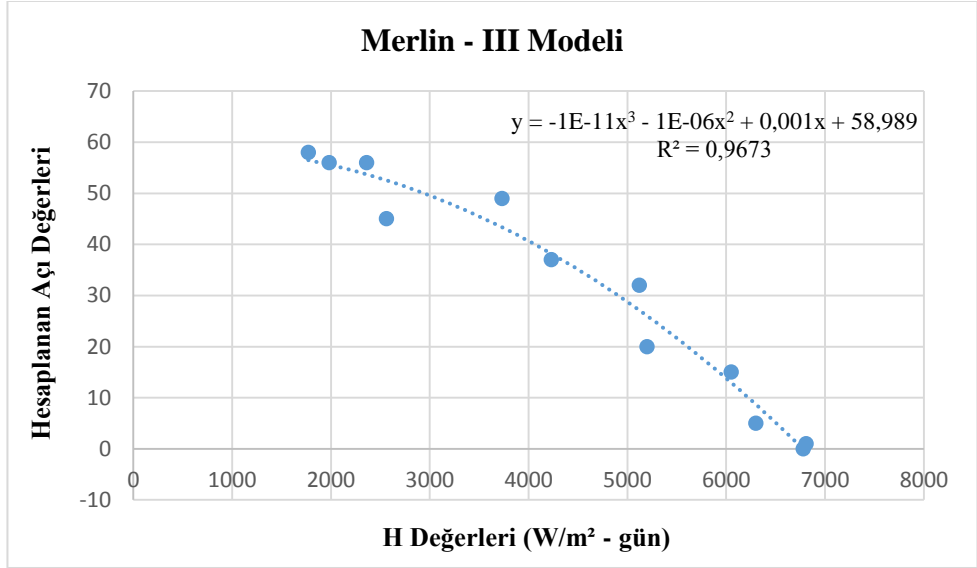
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.106 - 110'da ve Konya için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.49'da verilmiştir.



Şekil 4.106. Lineer Merlin - I modelinin H eğrisi – Konya



Şekil 4.107. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – Konya



Şekil 4.108. Polimetrik Merlin - III modelin H eğrisi – Konya

Çizelge 4.49 Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Konya

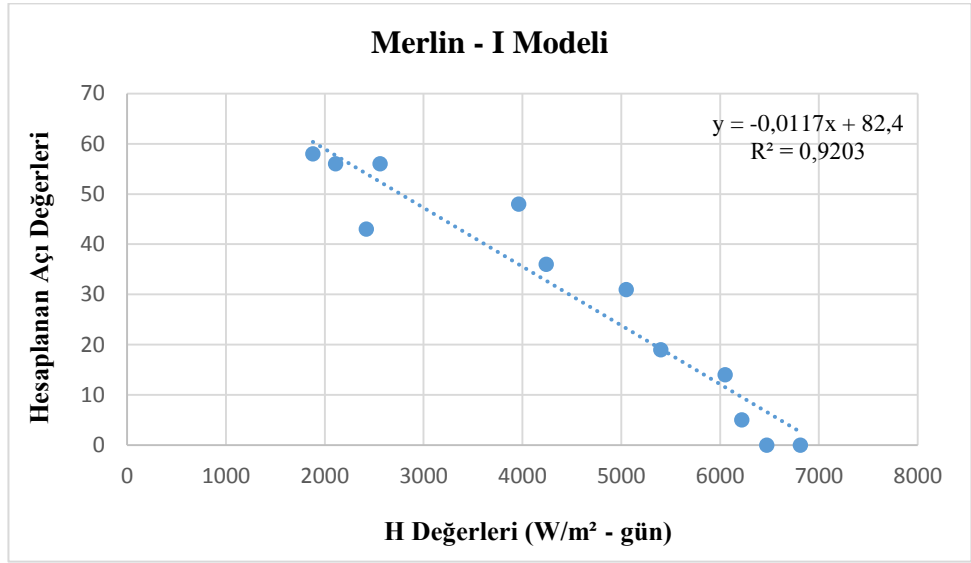
	Merlin - I	Merlin - II	Merlin - III
	%e	%e	%e
Ocak	-4,685714286	4,013928571	-1,733885857
Şubat	-15,58222222	-9,937333333	-21,83917298
Mart	10,88108108	19,91297297	-20,45737927
Nisan	-9,58	35,065	-78,7146
Mayıs	-87,52	308,86	-361,9706
Haziran	-	-	-
Temmuz	-256,2	2394,82	-1526,468759
Ağustos	18,49333333	131,2866667	-74,81365833
Eylül	28,6625	54,680625	-14,226321
Ekim	21,07346939	25,01591837	1,454798306
Kasım	3,05	8,750357143	0,628647429
Aralık	-5,203448276	5,223793103	0,740262638
R	0,969562111	0,983500255	0,9835015
R2	0,940050687	0,967272752	0,9672752
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	0,216166667	10,92586667	-8,203178311
RMSE	5,223027634	13,87465412	10,75892892
t-stat	0,137383639	4,237406257	3,908192605

Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde Konya ili için en yakın sonuçları veren model 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - III modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II ve akabinde de lineer olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığında zaman R^2 değeri 0,9672752 ve R değeri 0,9835015'dir. Geliştirilen 3. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Kasım ayı sağlarken en düşük uyumu da Temmuz ayı sağlamaktadır.

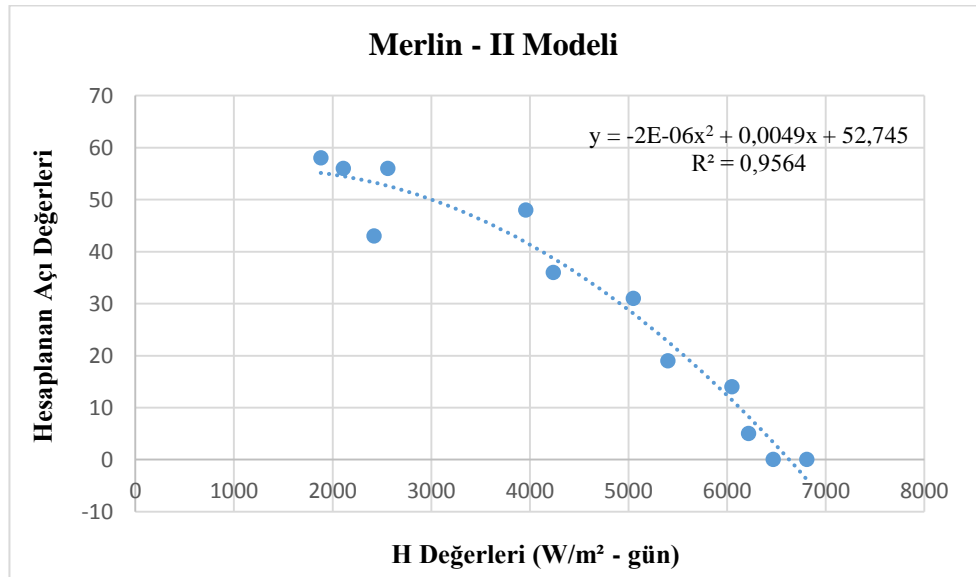
Yapılan çalışma ile Konya iklim coğrafyasında güneş ışınımı tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 3. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

Muğla

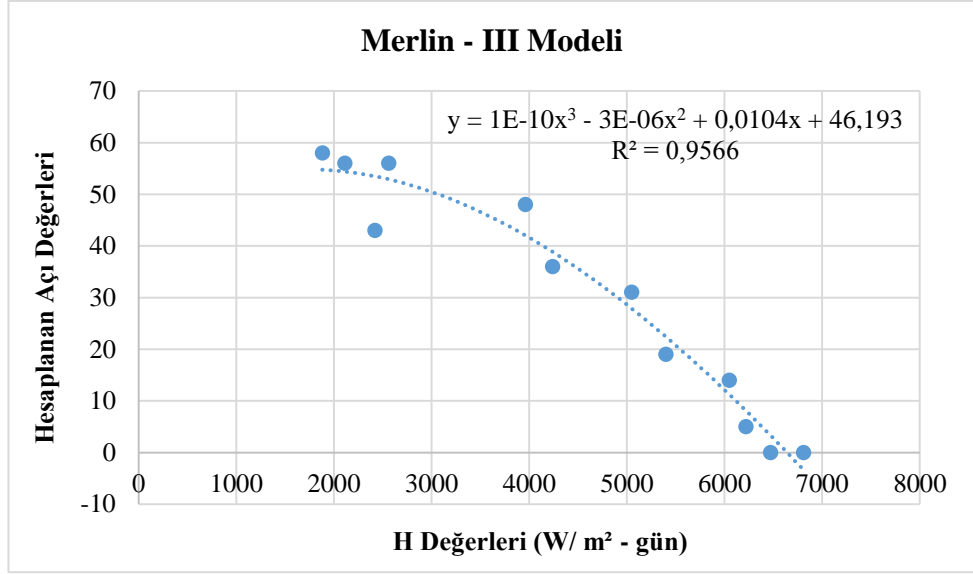
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.109 - 111'de ve Muğla için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.50'de verilmiştir.



Şekil 4.109. Lineer Merlin - I modelinin H eğrisi – Muğla



Şekil 4.110. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – Muğla



Şekil 4.111. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – Muğla

Çizelge 4.50 Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Muğla

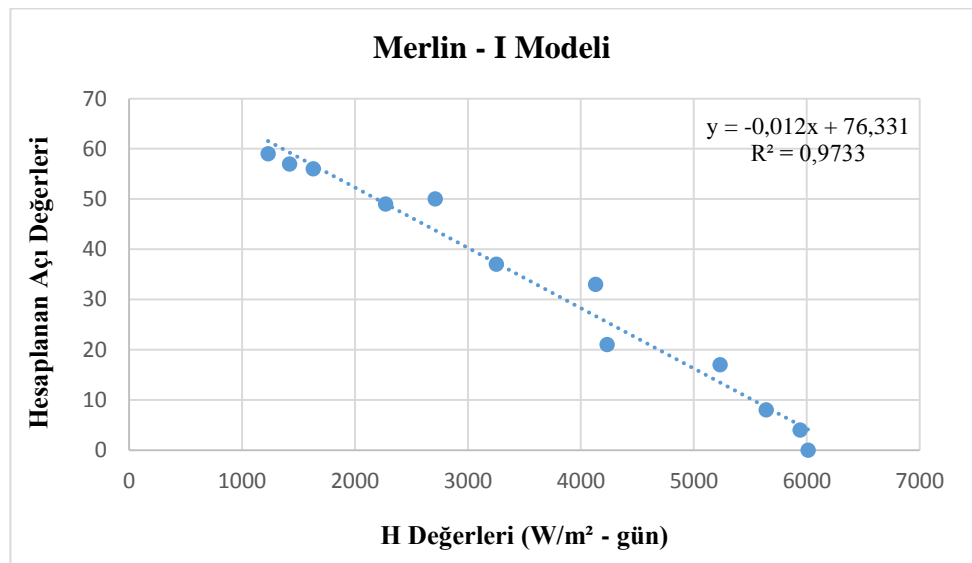
	Merlin - I	Merlin - II	Merlin - III
	%e	%e	%e
Ocak	-3,058928571	3,250357143	0,49983375
Şubat	-25,78139535	-23,00046512	-28,39313674
Mart	8,911111111	-4,349444444	-22,16306222
Nisan	-1,157894737	-9,921052632	-61,15473684
Mayıs	-92,52	-16,924	-277,599696
Haziran	-	-	-
Temmuz	-	-	-
Ağustos	17,03571429	34,39285714	-53,214375
Eylül	24,79032258	14,56451613	-13,17504032
Ekim	24,85833333	15,02958333	3,037263333
Kasım	6,342857143	6,818214286	2,082282857
Aralık	-4,144827586	5,365172414	3,782297931
R	0,959341914	0,97796906	0,977905791
R2	0,920336908	0,956423483	0,956299736
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	-0,05925	1,418266667	-6,381411075
RMSE	6,023616224	4,763746258	8,827564593
t-stat	0,032624842	1,034332311	3,469934101

Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde Muğla ili için en yakın sonuçları veren model 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - III ve akabinde de lineer olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığında zaman R^2 değeri 0,956423483 ve R değeri 0,97796906'dır. Geliştirilen 3. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Ocak ayı sağlarken en düşük uyumu da Şubat ayı sağlamaktadır.

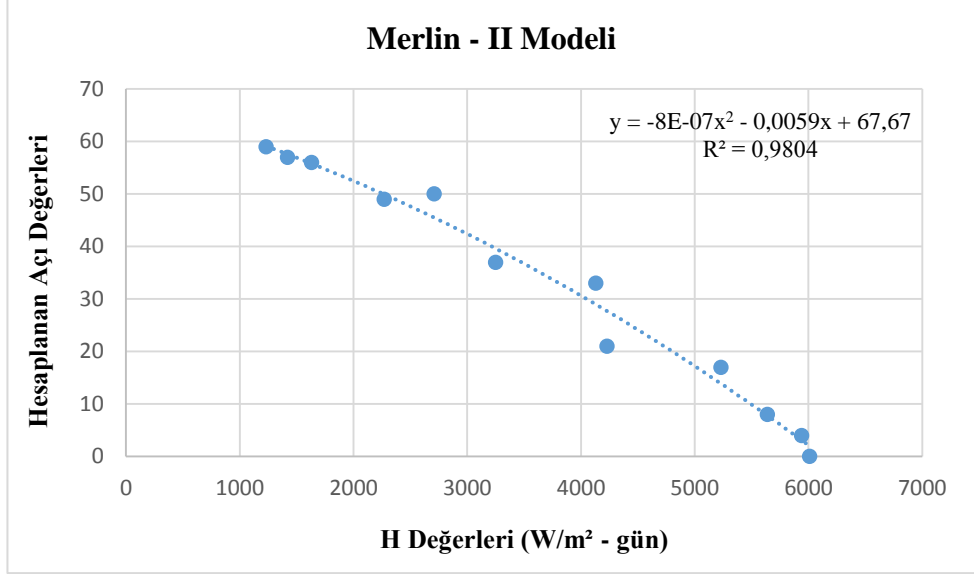
Yapılan çalışma ile Muğla iklim coğrafyasında güneş ışınımı tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 3. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

Sinop

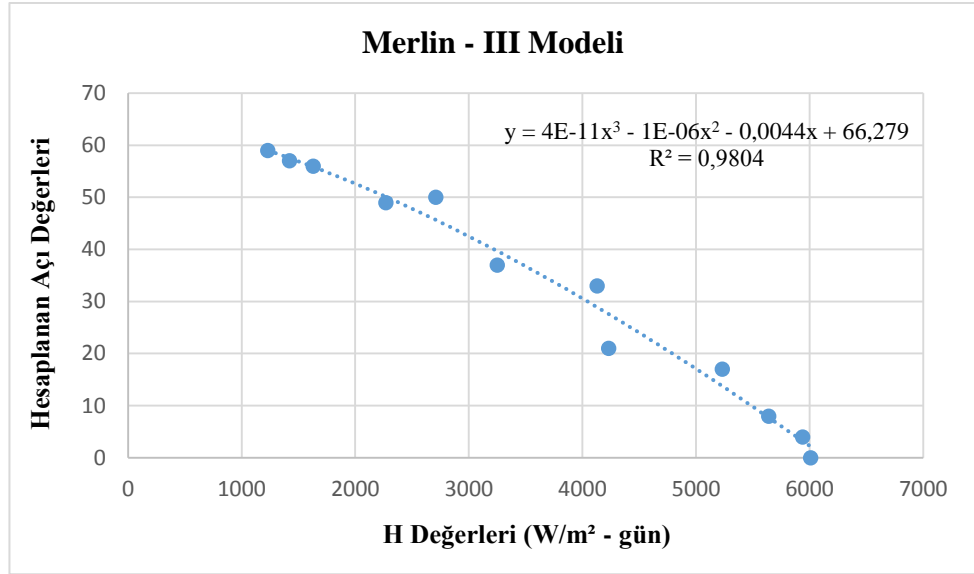
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.112 - 114'de ve Sinop için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.51'de verilmiştir.



Şekil 4.112. Lineer Merlin - I modelinin H eğrisi – Sinop



Şekil 4.113. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – Sinop



Şekil 4.114. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – Sinop

Çizelge 4.51 Geliştirilen modellerin H değerleri analiz sonuçları – Sinop

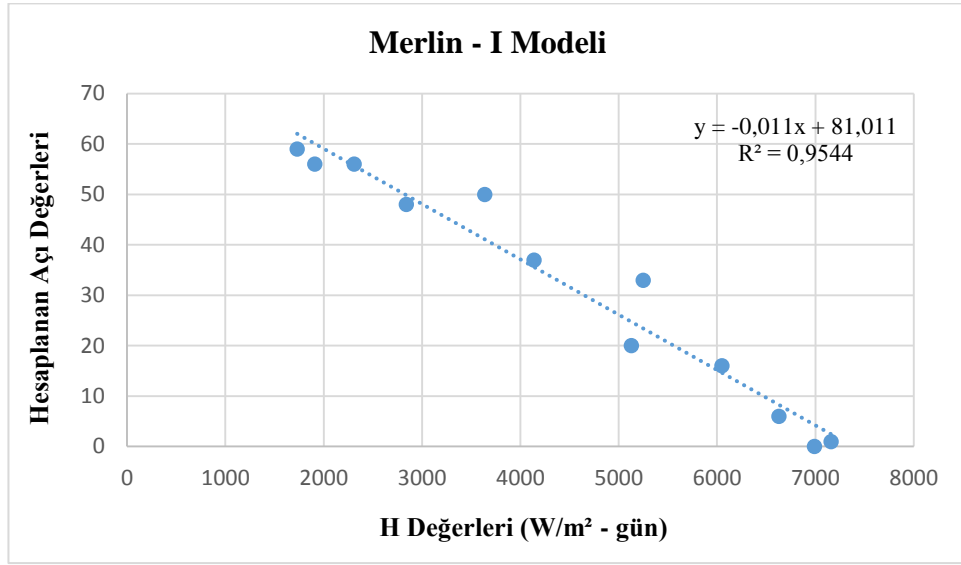
	Merlin - I	Merlin - II	Merlin - III
	%e	%e	%e
Ocak	-4,019298246	-1,191017544	-1,980932491
Şubat	-0,185714286	-2,356489796	-5,318333306
Mart	-0,894594595	-8,22972973	-15,64763514
Nisan	-21,76666667	-35,23180952	-56,19799371
Mayıs	-8,1375	-11,829	-110,370572
Haziran	-	-	-
Temmuz	-26,275	-9,928	-231,069584
Ağustos	20,17058824	12,17247059	-27,27250988
Eylül	18,87575758	10,12884848	-2,629999636
Ekim	12,378	8,38856	4,38599912
Kasım	-1,376785714	0,1295	-1,113089071
Aralık	-4,357627119	-0,343525424	-0,726329966
R	0,98654387	0,990149938	0,990049124
R2	0,973268808	0,9803969	0,980197268
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	-0,057666667	-0,621636667	-4,680000937
RMSE	3,434969335	3,040578665	6,618154746
t-stat	0,055687733	0,692704964	3,316991706

Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde Sinop ili için en yakın sonuçları veren model 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - III ve akabinde de lineer olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığında zaman R^2 değeri 0,9803969 ve R değeri 0,990149938'dir. Geliştirilen 3. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Kasım ayı sağlarken en düşük uyumu da Nisan ayı sağlamaktadır.

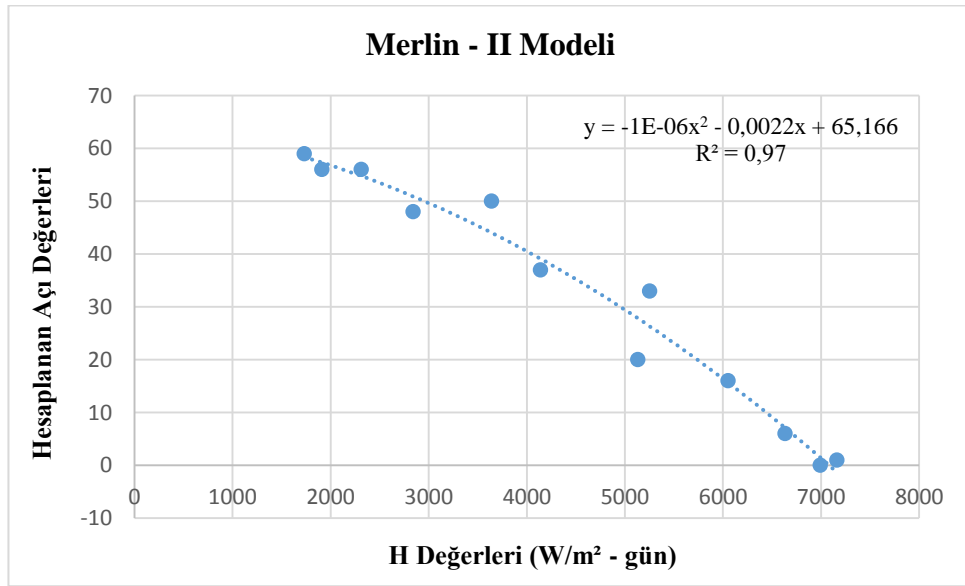
Yapılan çalışma ile Sinop iklim coğrafyasında güneş ışınımı tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 3. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

Van

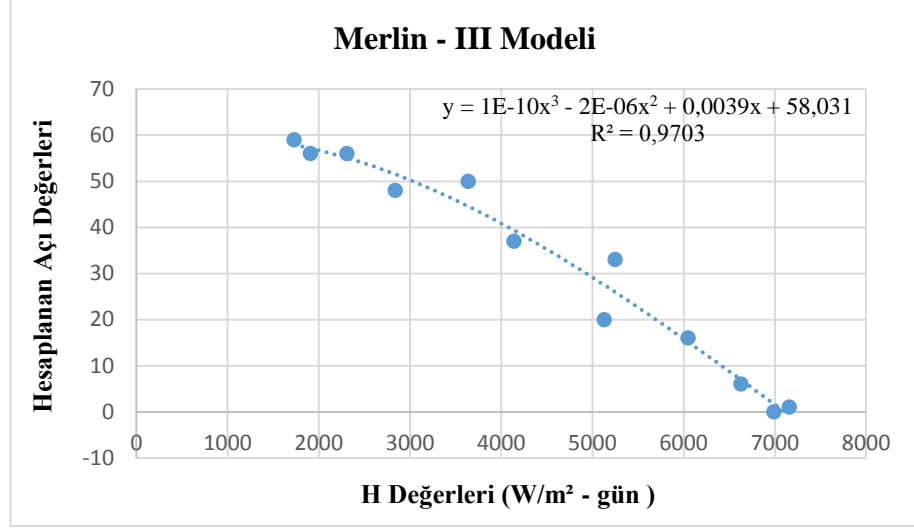
Çalışma kapsamında geliştirilen lineer, 2. dereceden polimetrik ve 3. dereceden polimetrik modellerin korelasyon eğrileri Şekil 4.115 - 117'de ve Van için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları da Çizelge 4.52'de verilmiştir.



Şekil 4.115. Lineer Merlin - I modelinin H eğrisi – Van



Şekil 4.116. Polimetrik Merlin - II modelin H eğrisi – Van



Şekil 4.117. Polimetrik Merlin - III modelin H eğrisi – Van

Çizelge 4.52 Van için geliştirilen modellerin toplam güneş ışınım değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları

	Van Merlin - I	Van Merlin - II	Van Merlin - III
	%e	%e	%e
Ocak	-7,144642857	-2,349821429	-5,143905536
Şubat	-3,689583333	-5,9425	-15,13839667
Mart	4,132432432	-5,184864865	-27,00971459
Nisan	-22,905	-37,8155	-94,5238485
Mayıs	-34,68333333	-10,385	-318,6270783
Haziran	-	-	-
Temmuz	-125,1	285,16	-1912,99696
Ağustos	9,61875	4,665625	-91,03445313
Eylül	29,51212121	21,05	-14,70094697
Ekim	18,058	12,1832	-1,1013088
Kasım	0,7125	2,235892857	-2,857926964
Aralık	-5,052542373	1,072711864	-0,525375763
R	0,976938487	0,984872086	0,9850343
R2	0,954408808	0,969973026	0,970292572
MPE %	-	-	-
MAPE	-	-	-
SSRE	-	-	-
RSE	-	-	-
MBE	0,120666667	0,2767	-10,07465633
RMSE	4,592848535	3,741840291	12,78158343
t-stat	0,087166875	0,24592967	4,248013726

Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde Van ili için en yakın sonuçları veren model 3. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - III modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin ardından sırasıyla 2. dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - II ve akabinde de lineer olarak tanımlanan Merlin - I modeli gelmektedir. Ölçüm sonuçları ile en uygun modelin uyumluluğu açısından bakıldığında zaman R^2 değeri 0,970292572 ve R değeri 0,9850343'dür. Geliştirilen 3. dereceden polimetrik modelin aylık değişim uyumu incelendiğinde en yüksek uyumu Aralık ayı sağlarken en düşük uyumu da Temmuz ayı sağlamaktadır.

Yapılan çalışma ile Van iklim coğrafyasında güneş ışıını tahminini en uygun şekilde karşılayabilecek matematiksel modelin 3. dereceden polimetrik denklem olduğu saptanmıştır.

5. SONUÇ

Güneş kuşağında bulunan ülkemizin farklı coğrafi bölgelerinden enlem derecelerine göre alınan 13 il için ışıınım değerleri kullanılarak güneş panelleri için ayarlanabilir ve sabit optimum açı değerleri tespit edilmiştir.

36° enleminde yer alan Hatay ili için yapılan hesaplamalarda optimum eğim açısı; yıl boyunca sabit konumda kalacak bir panel için 29°, mevsimsel olarak (ilkbahar, yaz, sonbahar, kış) yılda 4 kez açısı ayarlanabilecek bir panel için 18°, 4°, 43°, 51° ve yıl boyunca her ay (12 kez) açısı ayarlanabilecek bir panel için ise 0° - 56° aralığında saptanmıştır. Optimum aylık panel açısında verim değerleri %0 ile %45,9 arasında değişkenlik göstermiştir. Işıınım değerleri en yüksek Haziran ayında 6 630 W/m²-gün iken en düşük de Aralık ayında 2 611 W/m²-gün olarak hesaplanmıştır.

37° enleminde yer alan Gaziantep ve Muğla illeri için yapılan hesaplamalarda optimum eğim açısı sırasıyla; yıl boyunca sabit konumda kalacak bir panel için 30° ve 31° olarak saptanmıştır. Mevsimsel olarak (ilkbahar, yaz, sonbahar, kış) yılda 4 kez açısı ayarlanabilecek bir panel için Gaziantep'te 19°, 5°, 44°, 52° olarak Muğla'da ise 20°, 5°, 45°, 52° ve yıl boyunca her ay (12 kez) açısı ayarlanabilecek bir panel için ise Gaziantep'te 0° - 57° aralığında ve Muğla'da 0° - 58° aralığında bulunmuştur. Optimum aylık panel açısında verim değerleri Gaziantep için %0 ile %50,7 arasında değişkenlik gösterirken, Muğla için de %0 ile %54,5 arasında değişkenlik göstermiştir. Işıınım değerleri Gaziantep için en yüksek değer Haziran ayında (6 780 W/m²-gün), en düşük değer Aralık ayında (2 713 W/m²-gün) iken, Muğla için de en yüksek değer Haziran ayında (6 810 W/m²-gün), en düşük değer de Aralık ayında (2 904 W/m²-gün) olarak hesaplanmıştır.

38° enleminde yer alan İzmir ve Konya illeri için yapılan hesaplamalarda optimum eğim açısı sırasıyla; yıl boyunca sabit konumda kalacak bir panel için 31° ve 31° olarak saptanmıştır. Mevsimsel olarak (ilkbahar, yaz, sonbahar, kış) yılda 4 kez açısı ayarlanabilecek bir panel için İzmir'de 23°, 6°, 45°, 57° olarak Konya'da ise 21°, 5°, 46°, 53° ve yıl boyunca her ay (12 kez) açısı ayarlanabilecek bir panel için ise İzmir'de

0° - 57° aralığında ve Konya'da 0° - 58° aralığında bulunmuştur. Optimum aylık panel açısında verim değerleri İzmir için %0 ile %50,7 arasında değişkenlik gösterirken, Konya için de %0 ile %54,0 arasında değişkenlik göstermiştir. Işınım değerleri ise İzmir için en yüksek değer Haziran ayında (6 500 W/m²-gün), en düşük değer Aralık ayında (2 442 W/ m²-gün) iken, Konya için de en yüksek değer Temmuz ayında (6 810 W/m²-gün), en düşük değer de Aralık ayında (2 725 W/m²-gün) olarak hesaplanmıştır. 39° enleminde yer alan Kayseri ve Van illeri için yapılan hesaplamalarda optimum eğim açısı sırasıyla; yıl boyunca sabit konumda kalacak bir panel için 32° ve 32° olarak saptanmıştır. Mevsimsel olarak (ilkbahar, yaz, sonbahar, kış) yılda 4 kez açısı ayarlanabilecek bir panel için Kayseri'de 21°, 6°, 46°, 53° olarak Van'da ise 21°, 6°, 46°, 54° ve yıl boyunca her ay (12 kez) açısı ayarlanabilecek bir panel için ise Kayseri'de 0° - 59° aralığında ve Van'da 0° - 59° aralığında bulunmuştur. Optimum aylık panel açısında verim değerleri Kayseri için %0 ile %57,3 arasında değişkenlik gösterirken, Van için de % 0 ile %56,0 arasında değişkenlik göstermiştir. Işınım değerleri ise Kayseri için en yüksek değer Temmuz ayında (6 861 W/m²-gün), en düşük değer Aralık ayında (2 722 W/ m²-gün) iken, Van için de en yüksek değer Temmuz ayında (7 160 W/m²-gün), en düşük değer de Aralık ayında (2 698 W/m²-gün) olarak hesaplanmıştır.

40° enleminde yer alan Ankara ve Erzurum illeri için yapılan hesaplamalarda optimum eğim açısı sırasıyla; yıl boyunca sabit konumda kalacak bir panel için 32° ve 31° olarak saptanmıştır. Mevsimsel olarak (ilkbahar, yaz, sonbahar, kış) yılda 4 kez açısı ayarlanabilecek bir panel için Ankara'da 22°, 6°, 46°, 54° olarak Erzurum'da ise 21°, 6°, 45°, 52° ve yıl boyunca her ay (12 kez) açısı ayarlanabilecek bir panel için ise Ankara'da 0° - 58° aralığında ve Erzurum'da 0° - 56° aralığında bulunmuştur. Optimum aylık panel açısında verim değerleri Ankara için %0 ile %52,0 arasında değişkenlik gösterirken, Erzurum için de %0 ile %45,4 arasında değişkenlik göstermiştir. Işınım değerleri ise Ankara için en yüksek değer Temmuz ayında (6 322 W/m²-gün), en düşük değer Aralık ayında (2 244 W/m²-gün iken), Erzurum için de en yüksek değer Haziran ayında (6 200 W/m²-gün), en düşük değer de Aralık ayında (1 919 W/m²-gün) olarak hesaplanmıştır.

41° enleminde yer alan Bursa ve İstanbul illeri için yapılan hesaplamalarda optimum eğim açısı sırasıyla; yıl boyunca sabit konumda kalacak bir panel için 31° ve 33° olarak saptanmıştır. Mevsimsel olarak (ilkbahar, yaz, sonbahar, kış) yılda 4 kez açısı ayarlanabilecek bir panel için Bursa'da 21°, 6°, 45°, 53° olarak İstanbul'da ise 23°, 6°, 45°, 57° ve yıl boyunca her ay (12 kez) açısı ayarlanabilecek bir panel için ise Bursa'da 0° - 57° aralığında ve İstanbul'da 0° - 63° aralığında bulunmuştur. Optimum aylık panel açısında verim değerleri Bursa için %0 ile %46,4 arasında değişkenlik gösterirken, İstanbul için de %0 ile %77,9 arasında değişkenlik göstermiştir. Işınım değerleri ise Bursa için en yüksek değer Haziran ayında (6 200 W/m²-gün), en düşük değer Aralık ayında (1 932 W/m²-gün) iken, İstanbul için de en yüksek değer Temmuz ayında (6 796 W/m²-gün), en düşük değer de Aralık ayında (3 202 W/m²-gün) olarak hesaplanmıştır.

42° enleminde yer alan Edirne ve Sinop illeri için yapılan hesaplamalarda optimum eğim açısı sırasıyla; yıl boyunca sabit konumda kalacak bir panel için 32° ve 33° olarak saptanmıştır. Mevsimsel olarak (ilkbahar, yaz, sonbahar, kış) yılda 4 kez açısı ayarlanabilecek bir panel için Edirne'de 22°, 7°, 46°, 54° olarak Sinop'da ise 23°, 6°, 45°, 57° ve yıl boyunca her ay (12 kez) açısı ayarlanabilecek bir panel için ise Edirne'de 0° - 57° aralığında ve Sinop'da 0° - 59° aralığında bulunmuştur. Optimum aylık panel açısında verim değerleri Edirne için %0 ile %47,9 arasında değişkenlik gösterirken, Sinop için de %0 ile %53 arasında değişkenlik göstermiştir. Işınım değerleri ise Edirne için en yüksek değer Haziran ayında (5 900 W/m²-gün), en düşük değer Aralık ayında (1 745 W/m²-gün) iken, Sinop için de en yüksek değer Haziran ayında (6 010 W/m²-gün), en düşük değer de Aralık ayında (2 904 W/m²-gün) olarak hesaplanmıştır.

Yapılan çalışma kapsamında optimum eğim açı değerlerini tüm şehirlere göre incelediğimizde, eğim açıları Ocak ayından Haziran ayına kadar düşüş gösterirken Haziran ayından Aralık ayına kadar da tekrar artış göstermiştir. Bu durum yıl içerisindeki ışınım değerinin değişimine ters etki eden bir parametredir. Optimum eğim açısında gerçekleşen bu azalma ve artmanın da en büyük etkeni deklinasyon açısının Haziran ayına kadar artış göstermesi ve Haziran ayından sonra da tekrar düşüşe geçmesidir. Sonuçlar incelendiği takdirde deklinasyon açısının kış aylarında düşük olması sebebiyle optimum eğim açısının genel olarak daha büyük değerlere sahip

olduğunu anlamaktayız. Yaz aylarında ise bu durumun tam tersi yani deklinasyon açısının artmasıyla beraber güneş ışınlarının yengeç dönencesine daha dik gelmesinden dolayı düşük değerlere sahip olduğunu görmekteyiz. Şehirler arasında oluşan bu farklılıkların; enlem değerlerine bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini ve optimum eğim açılarında farklılık yaratan en önemli diğer bir etkenin de ele alınan şehir bölgelerinin coğrafi özellikleri olduğunu tespit etmekteyiz.

Elde edilen bu sonuçlar ile ölçülen değerler arasındaki uyumluluğu belirlemek ve en yakın modeli tespit etmek adına istatistiksel çözümlene metotları kullanılmıştır. Meteorolojiden alınan verileri kullanarak illere özgü modellerin oluşturulması amacıyla literatüre üç farklı ampirik model kazandırılmıştır. Geliştirilen modeller deklinasyon ve günlük toplam güneş ışınımları konu başlıkları altında verilmiştir. İstatistiksel sonuçlara göre her bir il için meteorolojiden alınan ilgili verileri kullanılarak ölçülen değerler ile hesaplanan formüller için geliştirilen modeller karşılaştırıldığında farkın % 0,009 ile % 0,04 arasında değişkenlik gösterdiği saptanmıştır. Bu kapsamda 3.Dereceden polimetrik olarak tanımlanan Merlin - III modeli diğer modellere nazaran hesaplanan değerlere daha yakın sonuçlar vermiştir. Diğer modellerle aralarındaki fark asgari seviyelerde olduğu için matematiksel modellerden en basit halinin kullanılması gerektiğinden yola çıkarak lineer olarak tanımlanan Merlin - I modelinin de kullanılması uygundur. Bu çalışma sonucunda güneş radyasyonu tahmininde belirlenen sayısal modellemenin kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar dünya geneli için ülkemiz ile aynı enlemlerde (36 - 42°) yer alan bölgeler için de kullanılabilir. Zira kutuplardan basık küre şeklinde olan gezegenimiz için güneş açıları aynı enlemlerde aynı sonuçları verecektir.

KAYNAKLAR

Abdeen, E., Orabi, M., Hasaneen, E. 2017. Optimum Tilt Angle For Photovoltaic System İn Desert Environment. *Solar Energy*, 155(2017): 267–280

Aksungur, K. M., Kurban, M., Başaran Filik, Ü. 2013. Türkiye'nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi, EVK'2013, Enerji Verimliliği Ve Kalitesi Sempozyumu, Kocaeli.

Altın, V. 2002. Yenilenebilir enerji kaynakları. *Bilim Teknik Dergisi – Yeni Ufuklara Eki. TÜBİTAK*, 410: 2-23.

Anonim, 2013. Açık Bilim.

<http://www.acikbilim.com/wp-content/uploads/2013/11/6.jpg> – (Erişim Tarihi: 07.02.2020)

Anonim, 2016. Global Solar Atlas.

<https://globalsolaratlas.info/?c=32.52532,44.764564,2> – (Erişim Tarihi: 10.02.2020).

Anonim, 2018. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü

http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx - (Erişim Tarihi: 30.10.2019).

Anonim, 2018a. Country Rankings.

<http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=4&subTopic=18> - (Erişim Tarihi: 07.02.2020).

Anonim, 2018b. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü

<https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> - (Erişim Tarihi: 07.11.2019).

Anonim, 2018c. Güneş Enerji Potansiyel Atlası.

<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/> - (Erişim Tarihi: 11.11.2019)

Anonim, 2018d. Güneş Enerji Potansiyel Atlası.

<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/6.aspx> - (Erişim Tarihi: 08.12.2019).

Anonim, 2018e. Güneş Enerji Potansiyel Atlası.

<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/16.aspx> - (Erişim Tarihi: 08.12.2019).

Anonim, 2018f. Güneş Enerji Potansiyel Atlası.

<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/22.aspx> - (Erişim Tarihi: 08.12.2019).

Anonim, 2018g. Güneş Enerji Potansiyel Atlası.

<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/25.aspx> - (Erişim Tarihi: 08.12.2019).

Anonim, 2018h. Güneş Enerji Potansiyel Atlası.

<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/27.aspx> - (Erişim Tarihi: 08.11.2019).

- Anonim, 2018i.** Güneş Enerji Potansiyel Atlası.
<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/31.aspx> - (Erişim Tarihi: 08.12.2019).
- Anonim, 2018i.** Güneş Enerji Potansiyel Atlası.
<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/34.aspx> - (Erişim Tarihi: 08.12.2019).
- Anonim, 2018j.** Güneş Enerji Potansiyel Atlası.
<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/35.aspx> - (Erişim Tarihi: 08.12.2019).
- Anonim, 2018k.** Güneş Enerji Potansiyel Atlası.
<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/38.aspx> - (Erişim Tarihi: 08.12.2019).
- Anonim, 2018l.** Güneş Enerji Potansiyel Atlası.
<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/42.aspx> - (Erişim Tarihi: 08.12.2019).
- Anonim, 2018m.** Güneş Enerji Potansiyel Atlası.
<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/48.aspx> - (Erişim Tarihi: 08.12.2019).
- Anonim, 2018n.** Güneş Enerji Potansiyel Atlası.
<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/57.aspx> - (Erişim Tarihi: 08.12.2019).
- Anonim, 2018o.** Güneş Enerji Potansiyel Atlası.
<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/65.aspx> - (Erişim Tarihi: 08.12.2019).
- Anonim, 2020.** Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
<https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Istatistik-Raporlari> - (Erişim Tarihi: 07.02.2020).
- Babatunde, A.A., Abbasoglu, S., Senol, M. 2018.** Analysis of the impact of dust, tilt angle and orientation on performance of PV Plants. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 90(2018): 1017–1026.
- Bakirci, K. 2012.** General Models For Optimum Tilt Angles Of Solar Panels: Turkey Case Study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8): 6149-6159.
- Benghanem, M. 2011.** Optimization Of Tilt Angle For Solar Panel: Case Study For Madinah, Saudi Arabia. *Applied Energy*, 88(4): 1427-1433.
- Bertrand, C., Housmans, C., Leloux, J., Journee, M. 2018.** Solar Irradiation From The Energy Production Of Residential PV Systems. *Renewable Energy*, 125: 306-318.
- Bulut, H. 2009.** Güneş Enerjisi Isıl Uygulamalar. Temiz Enerjiler Teknolojileri Kursu, 9-13 Şubat 2009, Gaziantep. <http://eng.harran.edu.tr/~hbulut/Gunes1.pdf> -(Erişim Tarihi: 10.11.2018).
- Bulut, H., Büyükalaca, O., Yılmaz, T., 1999.** Bazı İller İçin Güneş Işınım Şiddeti, Güneşlenme Süresi Ve Berraklık İndeksinin Yeni Ölçümler Işığında Analizi. Güneş Günü Sempozyumu Bildiriler Kitabı, (1999): 22–29.

Çağlar, A. 2018. Farklı Derece-Gün Bölgelerindeki Şehirler İçin Optimum Eğim Açısının Belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2): 849-854.

Çapık, M., Yılmaz, A.O., Çavuşoğlu, İ. 2012. Present situation and potential role of renewable energy in Turkey, *Renewable Energy* 46(2012): 1-13.

Duffie, J. A., Beckman, W. A. 1980. Solar engineering of thermal processes. A Wiley Interscience publication, New York, USA

Duffie, J.A., Beckman W.A. 1991. Solar Engineering of Thermal Processes. Second Edition. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc, Canada, 888 pp.

Esin, F. 2012. Yaşamamızın kaynağı bir cüce yıldız güneş. Sarmal yayınevi, İstanbul, 316 s.

Ewing, R. A.. 2003. “Power with Nature Solar and Wind Energy Demystified, 1sted.”, Pixyjack Pres, Masonville, USA, 157.

Foukal, P. V., Lean, J. 1990. An empirical model of total solar irradiance variation between 1874 and 1988. *Science*, 247(4942): 556-558.

Gençoğlu, M.T. 2002. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(2): 57-64. <http://www.solar-academy.com/menuis/Yenilenebilir-Enerji-Kaynaklarinin-Turkiye-Acisindan-Onemi.005039.pdf> - (Erişim tarihi: 30.11.2019).

Gilbert M. M. 2004. Renewable and Efficient Electric Power Systems. John Wiley & Sons Hoboken, USA, 471-486.

Görçelioğlu, E. 1969. Güneş açıları ve bunların peyzaj düzenlemelerindeki önemi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 36(3): 33-52.

Gueymard, C. 2000. Predicting And Performance Assessment Of Mean Hourly Global Radiation. *Solar Energy*, 68(3): 285–303.

Hafez, A.Z., Soliman, A., El-Metwally, K.A., Ismail, I.M. 2017. Tilt And Azimuth Angles İn Solar Energy Applications - A Review. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 77: 147-168.

Hua, Y., Oliphant, M., Hu, E.J. 2016. Development of renewable energy in Australia and China: A comparison of policies and status. *Renewable Energy*, 85: 1044-1051.

Jacobson, M.Z., Jadhav, V. 2018. World estimates of PV optimal tilt angles and ratios of sunlight incident upon tilted and tracked PV panels relative to horizontal panels. *Solar Energy*, 169: 55-66.

Kallioğlu, M. A. 2014. Niğde İli İçin Yatay Düzenleme Gelen Günlük Tüm, Yayılı Ve Direkt Güneş Işınımını Hesaplama Modeli Geliştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Niğde.

Kallioğlu, M. A., Ercan, U., Avcı, A. S., Karakaya H. 2017. Optimization of tilt angle for solar panel. 2 nd International Energy & Engineering Conference, 12-13 October, 2017, Gaziantep.

Kılıç, A. ve Öztürk, A. 1983. Güneş Enerjisi. Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul

Koçer, A., Şevik, S., Güngör, A. 2016. Ankara Ve İlçeleri İçin Güneş Kolektörü Optimum Eğim Açısının Belirlenmesi. *Uludağ University Journal Of The Faculty Of Engineering*, 21(1): 63-78.

Lee, K.Y., Chung, C.Y., Huang, B.J., Kuo, T.J., Yang, H.Wcheng, H.Y., Hsu, P.C., Li, K. 2017. A novel algorithm for single-axis maximum powergeneration sun trackers. *Energy Conversion And Management*, 149: 543-552.

Li, D.H.W., Chin Xia., Lam, J.C. 2000. Evaluation of slope irradiance and illuminance models against measured Hong Kong data. *Building And Environment*, 35(6): 501–509

Liu, B., Jordan, R. 1962. Daily insolation on surfaces tilted towards equator, *Trans ASHRAE* 67.

Messenger, R.A., Abtahi, A. 2010. *Photovoltaic systems engineering*, CRC press.

Nadia, A.L.R., Isa, N.A.M., Desa, M.K.M. 2018. Advances in solar photovoltaic tracking systems: A Review. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 82: 2548-2569.

Notton, G., Cristofari, C., And Poggi, P. 2006. Performance evaluation of various hourly slope irradiation models using mediterranean experimental data of Ajaccio. *Energy Conversion And Management*, 47: 147–173.

Ozbay, H., Karafil, A., Onal, Y., Kesler, M., Parmaksiz, H. 2017. The monitoring of monthly, seasonal and yearly optimum tilt angles by raspberry pi card for Bilecik City, Turkey. *Energy Procedia*, 113: 311-318.

Öztürk, H.H. 2008. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Kullanımı. Teknik Yayınevi, Ankara, 367 s.

Öztürk, H.H., Kaya, D. 2013. Fotovoltaik Teknoloji. Umuttepe Yayınları, Kocaeli, 417 s.

Ramsey W. 2003. Thermal Environmental Engineering, Univeristy of Minnesota, ME 5103: 1-14.

Raptis, P.I., Kazadzis, S., Psiloglou, B., Kouremeti, N., Kosmopoulos P., Kazantzidis A. 2017. Measurements and model simulations of solar radiation at tilted planes, towards the maximization of energy capture. *Energy*, 130; 570-580

Santamouris, M., Mihalakakou, G., Psiloglou, B., Eftaxias, G., Asimakopoulos, D. N. 1999. Modeling the global solar radiation on the Earth's surface using atmospheric deterministic and intelligent data-driven techniques. *Journal Of Climate*, 12(10): 3105-3116.

Sensoy, S., Ulupınar, Y., Demircan, M., Alan, I., Bostan, P. A. 2010. Modeling solar energy potential in Turkey. BALWOIS, 25 - 29 May, 2010, Ohrid, Republic of Macedonia

Şenpınar, A. 2006. Güneş açılarına bağlı olarak optimum sabit güneş paneli açısının hesaplanması. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 4(2): 36-41.

Xu, R., Ni, K., Hu, Y., Si, J., Wen, H., Yu, D. 2017. Analysis of the optimum tilt angle for a soiled PV panel. *Energy Conversion And Management*, 148: 100-109.

Vasel, A., Iakovidis, F. 2017. The effect of wind direction on the performance of solar PV plants. *Energy Conversion And Management*, 153: 455-461.

Yılmaz, M. 2013. Güneş Takip Sistemi İle Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Etme Yöntemleri Ve Optimum Verimin Belirlenmesi. *Doktora Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yılmaz, T., Bulut, H. 1996. Şanlıurfa İli İçin Meteorolojik Değerlerin Günlük, Yıllık Değişiminin Sürekli Fonksiyonlarla İfadesi. 4. *Ulusal Soğutma Ve İklimlendirme Tekniği Kongresi Bildiriler Kitabı*, (1996): 188–198.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Merve AYDİN
Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul, 24.04.1994
Yabancı Dil : İngilizce, İtalyanca

Eğitim Durumu

Lise : Pendik Anadolu Lisesi, 2012

Lisans : Bozok Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 2017

Lisans (Erasmus) : Università degli Studi dell'Aquila, 2014

İletişim (e-posta) : meriiaydin@gmail.com

Yayınları :

Erden, S., Aydın, M., Taşkın, O., Vardar, A., 2019. A Research On the Meet of Energy Needs in Broiler Plant with Solar Panels. *Journal of Biological & Environmental Sciences*, 13(37): 31-37.