



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE OPTİMUM
EĞİM VE YÖNLENDİRME AÇILARININ
BELİRLENMESİ

Mustafa ARSLAN

DOKTORA TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mustafa ARSLAN tarafından hazırlanan “Fotovoltaik Sistemlerde Optimum Eğim ve Yönlendirme Açılarının Belirlenmesi” adlı tez çalışması 11/09/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof.Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ

.....

Danışman

Prof.Dr. Mehmet ÇUNKAŞ

.....

Üye

Doç.Dr. Mümtaz MUTLUER

.....

Üye

Dr.Öğr. Üyesi Hüseyin DOĞAN

.....

Üye

Dr.Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin ÇEVİK

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof.Dr. Ömer Faruk YÜKSEL
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Selçuk üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 20211002 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Mustafa ARSLAN

Tarih:

ÖZET

DOKTORA TEZİ

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE OPTİMUM EĞİM VE YÖNLENDİRME AÇILARININ BELİRLENMESİ

Mustafa ARSLAN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Mehmet ÇUNKAŞ

2023, 147 Sayfa

Jüri

Prof.Dr. Mehmet ÇUNKAŞ

Prof.Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ

Doç.Dr. Mümtaz MUTLUER

Dr.Öğr.Üyesi Hüseyin DOĞAN

Dr.Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin ÇEVİK

Bu tez çalışmasında, güneş enerjisinden elektrik elde etmek için fotovoltaik (PV) panellerin en uygun azimut ve eğim açılarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Literatürdeki çalışmalar genellikle sabit bir panel üzerine gelen ışınımı maksimize etmeye odaklanmıştır. Ancak bu çalışmada, farklı azimut ve eğim açılarına sahip PV paneller üzerine düşen toplam ışınım değeri üzerinden bir toplam ışınım modeli geliştirilmiştir. Çalışmada, Konya ili için optimum eğim ve azimut açısı hesaplanarak PV panellerden en yüksek düzeyde elektrik enerjisi elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, Matlab ortamında optimum eğim ve yönlendirme açıları hesaplanmıştır. Işınım, güç ve sıcaklık verilerini ölçmek için bir deney düzeneği kurulmuştur. Deney düzeneğindeki PV panellerin ürettiği elektrik enerjisi anlık olarak hesaplanmış ve pıranometre ile küresel ışınım değeri ölçümleri yapılmıştır. Panel çıkış gücü üzerindeki etkileri incelemek için PV panellerin karakteristik değerleri olan açık devre gerilimi Voc ve kısa devre akımı Isc ölçülmüş ve eş zamanlı olarak kaydedilmiştir. Aynı zamanda atmosferik koşulların farklı yönde ve eğimdeki PV panellerin güç çıktısı üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Elde edilen teorik ve deneysel sonuçlara göre Konya ili için yatay düzlemde en uygun eğim açısı 32,08° ve en uygun azimut açısı 0° olarak önerilmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılan meteorolojik veriler ve deney düzeneğinden ölçülen değerler Konya Selçuk Üniversitesi Kampüs alanı ve çevresine aittir.

Ayrıca, Konya için dağınık ışınım verilerini tahmin etmek için dağınık fraksiyon ve açıklık indeksi arasındaki ilişkiyi temel alan dağınık ışınım modelleri geliştirilmiştir. İki farklı yaklaşım kullanılarak dağınık ışınımın tahmini yapılmıştır. İlk yaklaşımda, NASA-SSE verileri ile dağınık ışınım tahmini için ampirik korelasyonlar önerilmiştir. İkinci yaklaşımda ise literatürdeki 12 ampirik model kullanılarak yeni dağınık ışınım modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerin geçerliliği sekiz istatistiksel yöntemle test edilmiş ve en uygun üç model seçilerek kullanımı önerilmiştir.

Bir diğer çalışma olarak farklı eğimlere sahip fotovoltaik panellerin yıl boyunca değişen azimut açıları dikkate alınarak ürettiği elektrik enerjisi tahmin edilmiştir. Kurulan bu sistemde, sonbahar ve kış aylarında yaklaşık ortalama 9 saat, ilkbahar ve yaz aylarında ise ortalama 13 saat üretim yapıldığı tespit edilmiştir. 8.760 saatlık bir yıla ait verilerde sadece 4.475 saatlık üretim verisi, elektrik enerjisi üretimi tahminlerinde kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar farklı eğim ve azimut açısına sahip fotovoltaik güneş santrallerinin enerji üretiminin başarılı bir şekilde tahmin edilebildiğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlara göre yapılan tahmin metodu elektrik üreticileri, dağıtım şirketleri ve şebeke yöneticisi için önerilebilir.

Anahtar Kelimeler: Azimut Açısı, Eğim Açısı, PV Panel, Dağınık Işınım, Güneş Gücü Tahmini

ABSTRACT

Ph.D THESIS

DETERMINATION OF OPTIMUM TILT AND ORIENTATION ANGLES IN PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

Mustafa ARSLAN

**Selcuk University Institute of Graduate Studies
Department of Electrical and Electronics Engineering**

Advisor: Prof.Dr. Mehmet ÇUNKAŞ

2023, 147 Pages

Jury

**Prof.Dr. Mehmet ÇUNKAŞ
Prof.Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ
Assoc. Prof.Dr. Mümtaz MUTLUER
Assist.Prof.Dr. Hüseyin DOĞAN
Assist.Prof.Dr. Hasan Hüseyin ÇEVİK**

In this thesis study, the aim is to determine the optimal azimuth and tilt angles of photovoltaic (PV) panels to obtain electricity from solar energy. Previous studies in the literature have generally focused on maximizing the incoming radiation on a fixed panel. However, in this study, a total radiation model has been developed based on the incident radiation on PV panels with different azimuth and tilt angles. The goal of the study is to calculate the optimum tilt and azimuth angles for the Konya province to maximize the electricity generation from PV panels. For this purpose, optimum tilt and orientation angles were calculated using Matlab. An experimental setup was established to measure radiation, power, and temperature data. The electricity generated by the PV panels in the experimental setup was calculated in real-time, and global radiation values were measured with a pyranometer. The characteristic values of PV panels, open-circuit voltage V_{oc} , and short-circuit current I_{sc} were measured and recorded simultaneously to examine their effects on panel output power. Furthermore, the impact of atmospheric conditions on the power output of PV panels at different orientations and tilts was also investigated. According to the theoretical and experimental results obtained, the optimum tilt angle for horizontal surfaces in Konya province is recommended to be $32,08^\circ$, and the optimum azimuth angle is 0° . The meteorological data used in this thesis study and the measured values from the experimental setup are specific to the Konya Selçuk University Campus area and its surroundings.

Additionally, diffuse radiation models were developed based on the relationship between diffuse fraction and clearness index to estimate diffuse radiation data for Konya. Two different approaches were used to predict diffuse radiation. In the first approach, empirical correlations were proposed for diffuse radiation estimation using NASA-SSE data. In the second approach, new diffuse radiation models were developed using 12 empirical models from the literature. The validity of these models was tested using eight statistical methods, and the three most suitable models were recommended for use.

Another study involved predicting the electricity generation from photovoltaic panels with varying tilt angles throughout the year, considering changing azimuth angles. In this system, it was determined that an average of approximately 9 hours of production occurred during the autumn and winter months, while an average of 13 hours of production occurred during the spring and summer months. Only 4.475 hours of production data from a total of 8.760 hours of annual data were used in the electricity production predictions. The results showed that the prediction method successfully estimated the energy production of photovoltaic solar power plants with different tilt and azimuth angles. Based on the results obtained, the prediction method can be recommended for electricity producers, distribution companies, and grid operators.

Keywords: Azimuth Angle , PV Panel, Tilt Angle, Diffuse Radiation, Solar Power Forecasting

ÖNSÖZ

İnsanlığın en önemli ihtiyaçlarının başında enerjiye olan ihtiyacı gelmektedir. Günümüz dünyasında bu gereksinim teknolojinin hızla gelişmesine bağlı olarak daha fazla önem kazanmıştır. Fosil bazlı yakıt rezervlerinin giderek azalmaya başladığı bir gerçektir. Bu sebeple artan enerji talebini karşılayabilmek amacı ile yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmıştır. Ülkemiz coğrafi konumu sebebi ile yüksek oranda güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Ülkenin mevcut enerji ihtiyacının bir kısmını fotovoltaik (PV) teknolojisi ile güneş enerjisinden elde etmek mümkündür. Bu maksat ile birçok bölgede güneş enerjisi santralleri kurulmaktadır.

Bu çalışmasıyla, Konya için PV Panellerin optimum eğim ve yönlendirme (Azimut) açıları belirlenerek, kurulacak güneş santrallerinden maksimum gücün elde edilebilmesi için bir model geliştirilmiştir.

Bu çalışmanın yürütülmesi sırasında değerli yardımlarını ve desteğini esirgemeyen kıymetli hocam ve danışmanım Prof.Dr. Mehmet ÇUNKAŞ'a, tez izleme komitesinde yer alan ve tavsiyeleriyle bana yardımcı olan hocalarım Prof.Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ ve Dr.Öğr. Üyesi Hüseyin DOĞAN'a, Doktora çalışmam süresince yardımlarını esirgemeyen Dr.Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin ÇEVİK ve Öğr.Gör.Dr. Nevzat ÖRNEK'e ve Öğr.Gör. Gökhan YALÇIN'a, ve Öğr.Gör. Muhammed Hüseyin GÜZEL'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca doktora aşamasında 1002 hızlı destek programı kapsamında 122E197 numarayla kabul gören projem için TÜBİTAK kurumuna teşekkürü bir borç bilirim.

Yoğun çalışmalarım esnasında her türlü desteğini esirgemeyen sevgili eşim Cemile ARSLAN'a ve bu süreçte hep yanımda olan çocuklarım Ahmet Çağrı ARSLAN ve Asude Gül ARSLAN'a sonsuz teşekkür ederim

Mustafa ARSLAN
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amaç ve Önemi	3
1.2. Tezin Organizasyonu	6
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	24
3.1. Güneş Enerjisi.....	24
3.1.1. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli.....	25
3.1.2. Konya ilinin güneş enerjisi potansiyeli.....	26
3.2. Güneş Açıları	27
3.2.1. Güneşin konumu	28
3.2.2. Enlem açısı (φ).....	28
3.2.3. Deklinasyon açısı (δ)	29
3.2.4. Saat açısı (ω).....	30
3.2.5. Zenit açısı (θ_z, ψ)	30
3.2.6. Güneş yükseklik açısı (α).....	31
3.2.7. Güneş azimut açısı (γ_s)	31
3.2.8. Yüzey azimut açısı (γ)	32
3.2.9. Geliş açısı (θ)	33
3.2.10. Eğim açısı (β)	33
3.3. Güneş Işınım Bilgileri.....	33
3.3.1. Güneş sabiti.....	33
3.3.2. Işınım Güç Yoğunluğu ve Toplam Işınım	34
3.3.3. Atmosfer dışı ışıınım.....	34
3.3.4. Işınım spektrumu	34
3.3.5. Atmosferik etkiler	35
3.3.6. Direkt ışıınım	36
3.3.7. Dağınık ışıınım.....	36
3.3.8. Hava kütle oranı (air-mass ratio)	37
3.3.9. Güneş ışıınım ölçümü	37
3.4. Fotovoltaik Hücre	38
3.4.1. Fotovoltaik pillerin yapısı.....	39
3.4.2. Fotovoltaik panel	40
3.5. Matematiksel Modeller	41

3.6.	Veri Toplama	44
3.6.1.	Işınım verilerinin toplanması	44
3.6.2.	Meteoroloji genel müdürlüğü (MGM) verileri	44
3.6.3.	NASA SSE.....	45
3.6.4.	Doğrudan ölçüm	45
3.7.	Kullanılan ekipmanlar.....	45
3.7.1.	Fotovoltaik paneller	45
3.7.2.	Mikroinverterler.....	46
3.7.3.	Ortam sıcaklık sensörü.....	48
3.7.4.	Modül sıcaklık sensörü	48
3.7.5.	Işınım piranometresi	49
3.7.6.	Analog sinyal dönüştürücü	50
3.7.7.	Veri toplama kartı (data logger).....	51
3.8.	Deney düzeneğinin tasarımı ve gerçekleştirilmesi	52
3.9.	Deney düzeneğinden veri toplama.....	55
4.	FOTOVOLTAİK PANEL OPTİMUM EĞİM AÇISININ BELİRLENMESİ	59
4.1.	Konya için PV panel optimum eğim açısının belirlenmesi	61
5.	DAĞINIK IŞINIM İÇİN YENİ MODELLER GELİŞTİRİLMESİ	65
5.1.	Araç ve Yöntemler.....	68
5.2.	Dağınık Güneş Işınımın Tahmini	70
5.2.1.	Veri toplama ve iklim özellikleri	71
5.2.2.	NASA uydu verilerini kullanarak dağınık ışınım tahmini.....	71
5.2.3.	Mevcut modellerden dağınık ışınım tahmini	76
5.3.	Bulgular ve Tartışmalar	82
6.	YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ İLE GÜÇ TAHMİNİ	84
7.	FOTOVOLTAİK PANELLERİN OPTİMUM EĞİM AÇISININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ	92
7.1.	Azimut 0° için PV Panellerin Işınım Verilerinin Karşılaştırılması	92
7.2.	Diğer Azimut Açılarında Yapılan Ölçümlerin Karşılaştırılması	100
7.2.1.	Azimut D10°	100
7.2.2.	Azimut D20°	101
7.2.3.	Azimut D30°	102
7.2.4.	Azimut D40°	103
7.2.5.	Azimut D50°	104
7.2.6.	Azimut D60°	105
7.3.	Dolgu Faktörü	109
7.3.1.	DF Ocak 2021	110
7.3.2.	DF Nisan 2021	112
7.3.3.	DF Temmuz 2021	116
7.3.4.	DF Eylül 2021	119
8.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	123
8.1.	Sonuçlar	123

8.2. Öneriler	124
KAYNAKLAR	125
ÖZGEÇMİŞ	132



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

D	:	Yılın. Gün Sayısı
f	:	Düzeltilme Faktörü
G_{SC}	:	Güneş Sabiti
H	:	Aylık Ortalama Günlük Küresel Işınım
H_0	:	Aylık Ortalama Günlük Atmosfer Dışına Gelen Işınım
H_b	:	Aylık Ortalama Günlük Yatay Yüzeye Gelen Direkt Işınım
H_d	:	Aylık Ortalama Günlük Yatay Yüzeye Gelen Dağınık Işınım
H_r	:	Aylık Ortalama Günlük Yatay Yüzeye Gelen Yansıyan Işınım
H_t	:	Aylık Ortalama Günlük Yatay Yüzeye Gelen Toplam Işınım
H_B	:	Eğik Yüzeye Gelen Direkt Işınım
H_D	:	Eğik Yüzeye Gelen Dağınık Işınım
H_R	:	Eğik Yüzeye Gelen Küresel Işınım
H_T	:	Eğik Yüzeye Gelen Toplam Işınım
I_{SC}	:	Kısadevre Akımı
K_D	:	Aylık Ortalama Günlük Yaygın Fraksiyon İndeksi
K_T	:	Aylık Ortalama Günlük Açıklık İndeksi
r	:	Korelasyon Katsayısı
R^2	:	Belirleme Katsayısı
R_b	:	Bulutluluk İndeksi
S_r	:	Ölçülen Değerden Hesaplanan Değerin Sapması
S_t	:	Standart Sapma
t	:	Güneşlenme Süresi
t_g	:	Gün Uzunluğu
V_{OC}	:	Açık Devre Gerilimi
X_a	:	Ölçülen Değerlerin Ortalaması
Z	:	Deniz Seviyesinden Yükseklik
φ	:	Enlem açısı
δ	:	Deklinasyon Açısı,
θ	:	Güneş geliş Açısı
θ_Z	:	Zenit Açısı
ω	:	Saat Açısı
ω_s	:	Gündoğumu Saat Açısı
$\omega's$	:	Sapma Açısı
ϕ	:	Enlem Açısı
γ	:	Yüzey Azimut Açısı

Kısaltmalar

DTU	:	Veri İletim Birimi (Data Transfer Unit)
MABE	:	Ortalama Mutlak Sapma Hatası
MBE	:	Ortalama Sapma Hatası
MGM	:	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MSE	:	Ortalama Karesel Hata
NASA	:	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
PV	:	Fotovoltaik (Photovoltaic)

RMSE : Karekök Ortalama Hata
RSE : Göreceli Standart Hata
SSE : Yüzey Meteorolojisi ve Güneş Enerjisi
SSRE : Karekök Ortalama Hata



1. GİRİŞ

Dünyanın güneşten bir yıl içerisinde aldığı enerjinin toplam miktarı 1,5 katrilyon MWh olarak bilinmektedir. İnsanoğlu dünya üzerine gelen güneş enerjisinin %0,1'ini, %10 oranında elektrik enerjisine dönüştürebilse tüm dünyadaki 3.000 GW'lık elektrik enerjisinin neredeyse dört katı kadar bir güç elde edilebilir (Arslan ve ark., 2019). Türkiye, konumu itibarıyla güneş enerjisi potansiyeli bakımından en zengin ülkelerden biridir. Ülkemizin 380 milyar KWh enerji potansiyeline sahip olduğu ileri sürülmektedir. Ülkemiz ortalama 1.527 KWh/ m² yıl güneş ışıınımı miktarına, yıllık ortalama 2.741 saat güneşlenme süresi ne sahiptir. Bu da günlük ortalama 4,18 KWh/ m²'lik küresel ışıınım değerine ve günlük ortalama 7,5 saat güneşlenme süresine sahip olduğumuz anlamına gelmektedir. Türkiye'nin güneş enerjisinde 78 şehre yayılan santrallerle kapasitesi Mart 2023 sonu itibarıyla 10 bin MW'a yaklaşmıştır. 1.722,2 MW'la güneş enerjisinde en yüksek kurulu güce sahip şehir Konya olarak görünmektedir. 2018 yılından bu yana ise Türkiye'de gündem yerli enerji üretim imkanları üzerinde odaklanmaktadır. (Anonim, 2022).

Dünyadaki teknolojik gelişmelere bağlı olarak enerji tüketimi sürekli olarak artış göstermektedir. Enerji talebini karşılamak için güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep her geçen gün artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları çevre kirliliğini azaltabilir ve sürdürülebilir enerji sağlayabilir. Fosil kökenli kaynakların hızla tükenmesi ile birlikte temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları, sürdürülebilir enerjinin temelini oluşturmakta ve geniş uygulama alanları bulmaktadır (Bakirci, 2021). Yenilenebilir enerji, güneş ışığı, rüzgar, su, biyokütle ve jeotermal kaynaklardan elde edilen enerjilerdir. Bu kaynakların çevre üzerinde zararlı etkilerinin çok az olması enerji üretimi alanında bu enerji kaynaklarını avantajlı bir duruma getirmektedir.

Güneş enerjisi, çevresel etkileri minimal olan bir enerji kaynağı olarak öne çıkar ve birçok avantajı beraberinde getirir. Öncelikle, temiz bir enerji kaynağı olması nedeniyle üretim sırasında herhangi bir yan ürün veya zararlı gaz salınımına yol açmaz. Bu durum, fosil yakıtlara dayalı enerji üretiminin aksine hava kirliliğini ve sera gazı emisyonlarını azaltarak iklim değişikliği ile mücadelede etkili bir rol oynar. Güneş enerjisi ayrıca yenilenebilir ve sınırsız bir kaynağa sahiptir. Her gün dünyaya ulaşan güneş enerjisi miktarı, dünya enerji ihtiyacını karşılamak için yeterlidir ve bu kaynak tükenme riski taşımadan enerji güvenliği sağlar. Ekonomik açıdan da avantajlı olan güneş enerjisi, güneşin ücretsiz bir enerji kaynağı olması nedeniyle uzun vadede maliyet etkin

bir seçenektir. Sistemler kurulduktan sonra, güneşten gelen enerjiyi kullanmak için herhangi bir yakıt maliyeti söz konusu değildir ve elektrik üretimi, önemli ölçüde elektrik faturalarında tasarruf sağlayabilir. Güneş enerjisi aynı zamanda uzak veya ulaşımı zor bölgelerde enerji sağlama potansiyeline sahiptir, bu da özellikle kırsal alanlarda elektrik ihtiyacını karşılayarak topluluklara ekonomik ve sosyal faydalar sunabilir. Son olarak, güneş panelleri genellikle düşük bakım gerektirir ve temizlik haricinde sorunsuz bir şekilde çalışabilirler. Bu nedenle, güneş enerjisi gelecekte enerji üretiminin sürdürülebilir ve çevre dostu bir parçası olarak önemli bir rol oynayabilir.

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde fotovoltaiik (PV) yöntem ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme uygulamaları son yıllarda geniş ölçüde uygulanmaya başlamıştır. Ülkemizde bu alanda yasal düzenlemeler yapılarak GES (güneş enerjisi santrali) kurulumu teşvik edilmektedir. Fotovoltaiik sistemlerde yüksek miktarda elektrik enerjisi elde edebilmek için panellerin yüksek oranda güneş ışınımına maruz kalmaları gerekmektedir. Bir PV panelin güneş ışınımından en üst seviyede faydalanabilmesi için o panelin bulunduğu yerin eğim ve yönlendirme (azimut) açılarının iyi tespit edilmesi gerekir. Bir PV panelin performansı onun yüzeyle yaptığı eğim açısı ve yönlendirme (Azimut) açısından etkilenir. Çünkü bu parametrelerin her ikisi de PV panellerin yüzeyi tarafından alınan solar enerjinin miktarını belirler.

Dünya'ya gelen güneş ışınımının %29'u bulutlar, parlak yüzeyler ve atmosfer tarafından uzayda geri döndürülür, %23'ü atmosferdeki gazlar, toz ve diğer parçacıklar tarafından emilir ve geri kalan %48'i ise Dünya'da emilir. Bu, gelen güneş enerjisinin %71'inin atmosfer ve dünya tarafından emildiğini göstermektedir. Güneş ışınımından yansıma nedeniyle saçılarak yeryüzüne ulaşan ışınım dağınık ışınım denir. Dağınık ışınım, güneş enerjisi sistemleri, iklim modellemesi ve tarımsal üretkenlik dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarda kullanılır. Dağınık ışınımı tahmin etmenin birkaç yöntemi vardır: Bunlar ampirik modeller, fiziksel modeller ve istatistiksel modeller. Ampirik modeller, yayılan ışınım miktarını tahmin etmek için güneş ışınımı ve atmosferik koşullar hakkındaki geçmiş veriler kullanılarak oluşturulur. Bazı istatistiksel modeller, geçmiş verilerdeki kalıpları tanımlayarak dağınık ışınımı tahmin etmek için yapay zeka tekniklerini kullanır. Bu modellerin doğruluğunu artırmak için büyük veri kümeleri üzerinde eğitilmesi gerekir (Bayrakçı ve ark., 2018).

Fotovoltaiik projelerde, güneş enerjisi için günlük direkt ışınım ve dağınık ışınım gibi ışınım bileşenlerinin bilinmesi gerekmektedir. Türkiye ve dünyadaki birçok yer için toplam ışınım değerleri kolaylıkla elde edilebilirken, dağınık ışınım değerlerine ulaşmak

oldukça zordur. Dağınık ışınım cihazlarının belirli periyotlarda bakımı ve kalibrasyonu nedeniyle ortaya çıkan maliyet birçok yerde ölçüm verilerinin elde edilmesine imkan vermemektedir. Özellikle dağınık ışınım değeri ölçülemediğinden bu verileri elde etmek için ampirik modeller kullanılmıştır. Genel ışınım ölçümleri, meteorolojik veriler ve uydu verileri kullanılarak dağınık ışınım için bazı modeller önerilmiştir (Fan ve ark., 2019).

Türkiye son dönemde elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payını önemli ölçüde artırdı ve artırmaya da devam ediyor. Ayrıca güneş enerjisi yatırımları, diğer kaynaklara göre önemli bir yer tutmaktadır. Dağınık ışınım, güneş enerjisi sistemlerinin kurulumunda ve ekonomik olarak işletilmesinde önemli bir parametre olarak kabul edilir. Türkiye'de dağınık güneş ışınımı tahmini ve modellemesi üzerine bazı araştırmalar bulunmaktadır. Ancak yine de Türkiye'nin farklı bölgeleri için doğru ve güvenilir yeni tahmin modellerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bir diğer husus çatılara monte edilen küçük ölçekli PV sistemlerin sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Çatı PV sisteminden elde edilecek enerjinin miktarının tahmin edilerek önceden bilinmesi bina sahibi, dağıtım şirketi ve şebeke yöneticisi için çeşitli faydalar sağlamaktadır. Bina sahibi üreteceği elektrik enerji miktarını doğru bir şekilde tahmin ederse tüketimini bu tahmine göre şekillendirebilir. Bunun sonucunda kendi ürettiği elektriği kullanma oranı artar. Böylece şebekeden elektrik aldığı anda ödeyeceği dağıtım, iletim, vergi vb. ek enerji maliyetlerini azaltmış olur. Dolayısıyla PV sistemlerin yaygınlaşması ile farklı eğim ve azimut açısına sahip panellerin enerji üretimi tahmini önemli hale gelmiştir.

1.1. Tezin Amaç ve Önemi

Fosil bazlı ya da yenilenebilir enerji kaynaklarının temelini tükenmez bir enerji kaynağı olan Güneş enerjisi oluşturmaktadır. Yakın gelecekte de diğer enerji türlerine alternatif olacaktır. Güneş enerjisinden çok farklı yöntemlerle yararlanmak mümkündür. Yöntemlerden biri de güneş panelleri kullanarak PV panel üzerine düşen güneş ışınımı sayesinde elektrik enerjisi üretmektir. Güneş ışığından elektrik elde etmek için kullanılan sistemler sabit eğim açılı sistemler ya da güneş takipli sistemleridir. Sabit sistemler, yüzeye göre uygun bir eğim açısında yerleştirilir. Tesis edilecek fotovoltaik güneş santralinden maksimum enerji elde etmek için PV panellerin yerleştirileceği eğim ve azimut açıları tespit edilmelidir. Literatürde yer alan optimum eğim açısı çalışmaları genelde sabit bir panel üzerine gelen ışınımın maksimize edilmesi üzerinedir ve bu

amaçla yatay düzleme gelen küresel ışıının değerine yoğunlaşmıştır. Ancak maksimum enerji çıktısı için farklı azimut ve eğim açılarına sahip PV paneller üzerine düşen toplam ışıının değeri üzerinden bir toplam ışıının modeli geliştirilmesi önemlidir.

Bu tez çalışmasında Konya ili için PV panellerden mümkün olan en üst seviyede elektrik enerjisi elde edebilmek amacı ile, PV panellerin en uygun Azimut ve Eğim açılarının belirlenmesi için bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Kurulan deney düzeneğinden, panellerin ürettiği elektrik enerjisini anlık olarak hesaplayabilmek amacı ile akım, gerilim bilgileri alınmıştır. Bununla birlikte düzeneğe yerleştirilen piranometre ile küresel ışıının değeri ölçümü yapılmıştır. Ayrıca panel ve ortam sıcaklık değerleri anlık olarak kaydedilmiştir. Yapılan ölçümler bir Data Logger cihazı yardımı ile kayıt altına alınmıştır. Ayrıca Devlet Meteoroloji Enstitüsünden alınan verilerden de faydalanarak Matlab ortamında geliştirilen matematiksel model ile Konya ili için en uygun eğim açısı belirlenmiştir.

Panel çıkış gücünün ölçümü, PV Panele ait karakteristik değerler olan açık devre gerilimi (V_{oc}), ve kısa devre akımı (I_{sc}) nın ölçülmesine dayanmaktadır. Bu iki karakteristik değerin çarpımı ile PV panelin çıkış gücü üzerindeki etkisi yüzde (%) olarak ya da per unit olarak hesaplanabilmektedir. Bu işlem, panel kısa devre akımı I_{sc} ve açık devre gerilimi V_{oc} değerlerini verilen her bir açı değişimi için yapılır. Ölçülecek olan PV panel gücü de eş zamanlı olarak bir veri kaydedicisine aktarılır. Ölçümlerin yapıldığı zaman dilimlerinde, aynı zamanda sıcaklık ve ışıının büyüklükleri de ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Böylece atmosferik koşulların farklı yön ve eğimdeki PV panellerin güç çıktısı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Ayrıca, Konya için dağınık ışıının verilerini tahmin etmek amacıyla dağınık fraksiyon ve açıklık indeksi arasındaki ilişkiyi temel alan dağınık ışıının modelleri geliştirilmiştir. İki farklı yaklaşım kullanılarak dağınık ışıının tahmini yapılmıştır. İlk yaklaşımda, NASA-SSE verileri ile dağınık ışıının tahmini için ampirik korelasyonlar önerilmiştir. İkinci yaklaşımda ise literatürdeki 12 ampirik model kullanılarak yeni dağınık ışıının modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerin geçerliliği sekiz istatistiksel yöntemle test edilmiş ve en uygun üç model seçilerek kullanımı önerilmiştir.

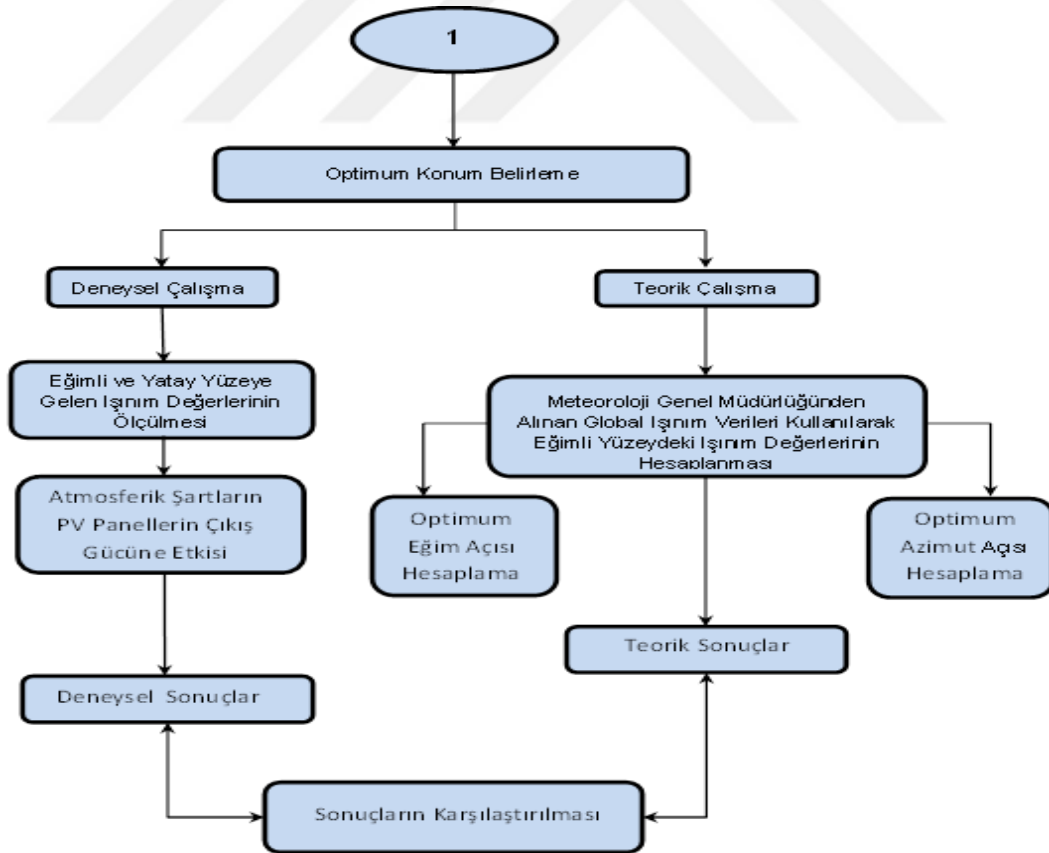
Diğer bir çalışma olarak farklı eğim ve azimut açısına sahip panellerden elde edilen veriler kullanılarak PV sistemleri için saatlik enerji tahmini yapılmıştır. Farklı eğim ve azimut açısına sahip paneller için yapılan bu çalışma günümüzde çatılarda kullanılan PV paneller için bir temel teşkil edecektir. Araziye montajı yapılan fotovoltaik sistemlerin kurulumunda kurulacak yerin konumu da göz önünde bulundurularak azimut

açısı ve eğim açısı en optimum olacak şekilde belirlenir ve kurulum buna göre yapılır. Bina çatılarında ise bu durum söz konusu değildir. Binanın yönüne ve çatının eğimine göre PV sisteminin kurulumu yapılmaktadır. Bu yüzden çatıya kurulu PV sistemin üretimi tahmini, araziye kurulu PV sisteme göre daha zordur. Yapılan tahminde hava tipi, sıcaklık, çiy noktası ve nem gibi meteorolojik değişkenler giriş olarak değerlendirilmiştir. Kaydedilen üretim verileri ise çıkış olarak kullanılmıştır. Tahmin yöntemi olarak İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları kullanılarak saatlik enerji tahmini yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar farklı eğim ve azimut açısına sahip PV santrallerinin enerji üretiminin başarılı bir şekilde tahmin edilebileceğini göstermiştir.



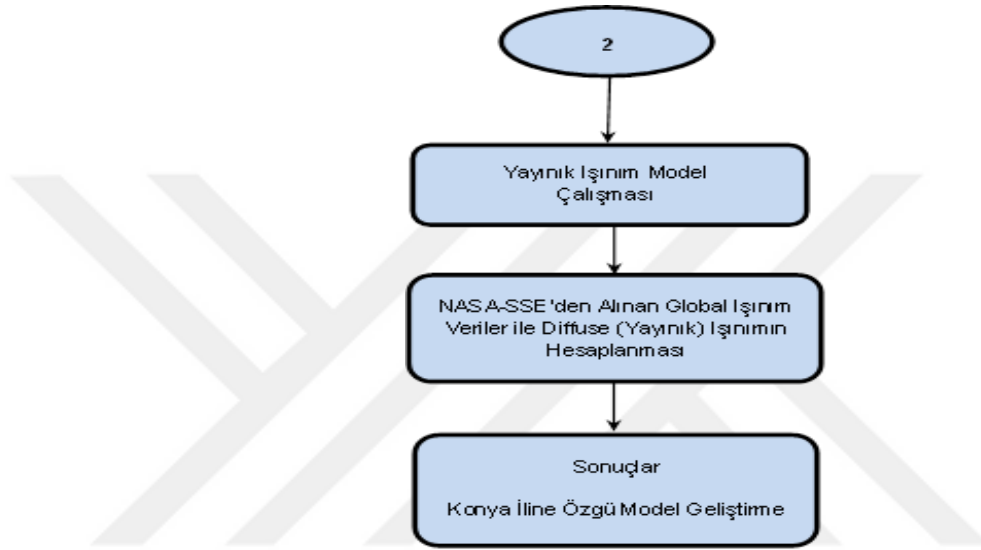
1.2. Tezin Organizasyonu

Güneş enerji santrallerinin kurulum aşamasında kullanılan PV panellerin eğim ve yönlendirme açıları önemlidir. Zira paneller uygun açılarda ve yönde konumlandırılmaz ise yeterli oranda güneş ışınlamına maruz kalamayacakları için panelin enerji üretim verimliliği düşük olacaktır. Dolayısıyla tüm santralden elde edilen elektrik enerjisinin değeri de düşük olacaktır. Bu sebeple PV panellerden en üst seviyede verim elde edebilmek için, onların daha yüksek oranda ışınlam alabilecekleri eğim ve azimut açılarında yerleştirilmeleri büyük önem taşımaktadır. PV panellerin kurulacağı bölge ile ilgili küresel ışınlam değerlerini Meteoroloji Müdürlüklerinden elde etmek mümkündür. Fakat bu veriler yatay düzleme gelen ışınlam verileri olup panellerin yerleştirilecekleri eğimde küresel ışınlam değerleri mevcut değildir. Güneş Enerjisi santrallerinin saha uygulamalarında genellikle PV paneller bulunan lokasyonun eğimi referans alınarak yerleştirilmektedir. Optimum eğim açısının belirlenmesi amacı ile yapılan çoğu ışınlam modellerinde kullanılan veriler yatay düzleme gelen ışınlam verileridir.



Şekil 1.1 PV Panel Optimum Konum Belirleme

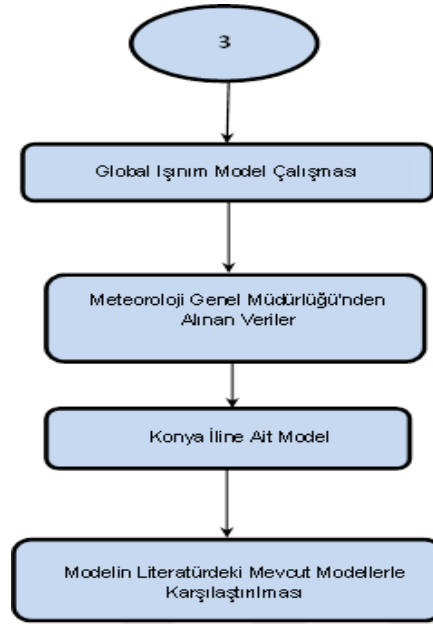
Bu çalışma hem deneysel olarak hem de matematiksel olarak gerçekleştirilmiş olup, Konya bölgesi için PV panellerin optimum eğim ve azimut açılarının belirlenmesini amaçlamıştır. Ayrıca Konya'ya özgü dağınık ışınım modelleri geliştirilmiştir. Bir diğer çalışma olarak da farklı eğimlere sahip fotovoltaik panellerin yıl boyunca değişen azimut açıları dikkate alınarak ürettiği elektrik enerjisi tahmin edilmiştir. Tez optimum konum belirleme, dağınık ışınım modeli geliştirme ve fotovoltaik panel güç tahmini olmak üzere üç kısımdan meydana gelmektedir. Bunlara ait blok diyagramları aşağıdaki Şekil 1.1, 1.2 ve 1.3'te verilmiştir.



Şekil 1.2 Dağınık Işınım Hesaplaması

Bu çalışmanın yürütülebilmesi için yöntem olarak üç aşama belirlenmiştir. Bunlar; verilerin toplanması, deneysel düzenek oluşturulması ve matematiksel modelin geliştirilmesidir.

Tezin ikinci bölümünde yaptığımız çalışmada konu olan PV panellerin optimum eğim açılarının belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalar ile ilgili literatür taraması yapılmıştır. Literatür çalışması, PV panellerin optimum eğim ve yönlendirilmeleri, küresel ve dağınık ışınım modellerinin optimum eğim açısını belirlemedeki fonksiyonları, küresel ışınım modelleri, dağınık ışınım modelleri, Işınım modelleri için YSA uygulamaları ve panellerin verimliliği konularını içerecek şekilde yapılmıştır.



Şekil 1.3 Küresel Işınım Hesaplama

Çalışmanın üçüncü bölümünde PV panelin optimum eğim açısını deneysel olarak belirleyebilmek için kurulan deney düzeneği hakkında bilgi vermiştir. Düzenekte kullanılan malzemeler, cihazlar, veri toplama araçları, veri toplama yöntemleri ve veri depolama konuları detaylı aktarılmıştır. Dördüncü bölümde Konya ilinde kurulacak PV panellerin optimum eğim açısı için Meteoroloji verilerine göre bir model geliştirme çalışması yapılmıştır. Beşinci bölümde meteoroloji verileri ile NASA'nın uydu verilerinden ve literatürde yer alan en yaygın ışıınım modellerinden de faydalanarak dağınık ışıınım modeli çalışması yapılmıştır. Bu çalışmanın altıncı bölümünde farklı azimut açılarında deney düzeneğinden alınan güç verilerden faydalanarak YSA yöntemiyle güç tahmini çalışması yapılmıştır.

Tezin yedinci bölümünde deney düzeneğinden toplanan ışıınım ve güç verilerinden yararlanarak, geliştirilen ışıınım modelinin deneysel olarak karşılaştırması yapılmıştır. Son bölümde Konya'da yerleştirilecek PV panellerin eğim açısı ile ilgili deneysel ve matematiksel olarak yapılan çalışmaların neticesi verilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Dünyadaki hayatın kaynağı olan Güneş yeryüzünden yaklaşık 150 milyon km uzaklıkta olmasına rağmen insanoğlunun hayatını devam ettirebilmesi için ihtiyacı olan tek enerji kaynağıdır. Nükleer yakıtlar dışında, dünyada kullanılan tüm yakıtların temel kaynağı güneştir. Bünyesinde daima Hidrojenin helyuma dönüştüğü füzyon reaksiyonları olmaktadır. Reaksiyon sonucu oluşan kütle farkı, ısı enerjisine dönüşerek uzaya yayılmaktadır. Güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ısıyı enerjiye güneş enerjisi denir (Öztürk, 2008).

Güneş enerjisi çevreci olması, bakım gerektirmemesi gibi üstünlükleri sebebi ile tercih edilen bir enerji çeşididir. Ayrıca güneş ışınlarının yeryüzüne ulaşan kısmının küresel ölçekte elektrik enerjisi potansiyeli yeryüzünde şimdiye kadar belirlenmiş fosil yakıt rezervlerinin 160 katı kadardır (Arslan ve ark., 2019). Bir başka deyişle yeryüzünde fosil, nükleer ve hidroelektrik tesislerinin bir yılda üreteceğinden 15.000 kat daha fazladır (Varınca ve Varank, 2005). Dünya üzerinde yatay düzleme gelen yıllık ortalama güneş ışıma değeri 170W/m^2 seviyesindedir (Clarke ve Trinnaman, 2004). Yeryüzüne 90 dakika süreyle ulaşan güneş ışığı tüm dünyanın neredeyse bir yıllık enerji ihtiyacını karşılamaya yetecek miktardadır (Kılıç, 2015).

Bugün tükenmeye yüz tutan fosil yakıt bazlı enerji kaynaklarının alternatifi olarak yenilenebilir enerji kaynakları önem kazanmıştır. Fosil yakıtlar olarak bilinen petrol, kömür ve doğalgazın oluşum süreci de güneş sayesinde gerçekleşmektedir. Dolaylı olarak güneşe bağlı hidroelektrik, rüzgâr, biokütle gibi enerji kaynaklarının yanı sıra doğrudan güneş ışınlarından elektrik enerjisi üreten PV (Fotovoltaik) enerji santralleri başvurulan yenilenebilir enerji kaynaklarıdır (Arslan ve ark., 2019).

PV sistemler güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme uygulamalarında önemli bir yere sahiptir. Bunun nedeni çevreye olumsuz etkilerinin fazla olmaması gibi özelliklerinin yanı sıra, uzun ömürlü olmaları, kurulumlarının kolay olması, maliyetlerinin düşük olması, bakım gerektirmemeleri gibi avantajlarından dolayı tercih edilen enerji sistemleridir. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmek için doğrudan (fotovoltaik) ve dolaylı (güneş enerjisi yoğunlaştırıcı sistemler) olmak üzere temelde iki yöntem vardır. Dolaylı yöntemde yoğunlaştırıcı sistemler kullanılarak güneş enerjisinin odaklanması sonucu elde edilen su buharından enerji dönüşümü yoluyla hareket enerjisi manyetik yöntemle elektrik enerjisine dönüşür. Fotovoltaik yöntem ile doğrudan güneş enerjisi kimyasal yolla elektrik enerjisine dönüşür. Fotovoltaik hücreler, üzerine düşen güneş

ışınımını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür. Yapılan yeni çalışmaların neticesinde güneş enerjisi fotovoltaik hücrenin yapısına bağlı olarak %25-43 civarında bir verimlilikle elektrik enerjisine dönüşmektedir (Hoke ve ark., 2018).

Güneşin elektromanyetik dalga olarak adlandırılan foton enerjisi güneş ışınları ile taşınır ve PV hücre üzerine gelen güneş ışını kimyasal yolla elektrik enerjisine dönüşür (Masters, 2013). Yarı iletken madde yapısında olan PV hücreler, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürürler. PV hücre yarı iletken bir diyot gibi çalışarak, güneş ışığının foton enerjisini fotoelektrik reaksiyon sonucu doğrudan elektrik akımına dönüştürür (Mertens, 2018).

Hesap makineleri, trafik sinyalizasyon uygulamaları, şebekeden uzak yerleşim yerlerindeki haberleşme tesisleri gibi yerlerde elektrik enerjisi ihtiyacı PV hücrelerin ürettikleri elektrik enerjisi tarafından karşılanmaktadır (Çolak ve ark., 2008). Günümüzde PV panellerden üretilen elektrik enerjisinin verimini etkileyen, bulutluluk, kirlilik, yüksek sıcaklık, uygun olmayan yönlendirme ve eğim açısı gibi olumsuz faktörlerin etkisini azaltacak yönde etkili yöntemler araştırılmaktadır. PV panelleri doğru eğim ve yönlendirme açılarında yerleştirilerek PV santralden yıllık maksimum enerji elde etmek mümkündür. Aynı şekilde güneş enerjisi sistemlerinin tasarım ve kurulumunda santralin kurulacağı konuma ait güneş ışıınım verilerinin bilinmesi önemlidir (Bakırcı, 2009). Bir güneş enerji sisteminin en önemli parametrelerinden biri, paneller üzerine düşen maksimum solar ışıınımı yakalamak için panelin eğim açısıdır (Yadav ve Chandel, 2013).

Güneş panelinin eğim açısı, güneşin günlük, aylık ve yıllık olarak yer değiştirmesine bağlı olduğu için bulunulan yere özgüdür (Bakırcı, 2012a). PV panellerin eğim ve yönlendirme açılarının hesaplanmasında çoğunlukla yatay düzlem üzerine gelen günlük güneş ışıınımının aylık ortalama değerleri kullanılır. Dünya üzerinde birçok yer için bu veriler mevcuttur (Sabbagh ve ark., 1977; Ulgen, 2006). Fakat genellikle eğimli yüzeyler üzerine gelen ışıınım verileri mevcut değildir (Tiris ve ark., 1996). Bu yüzden eğimli yüzeylere gelen ışıınım verilerinin tahmini için matematiksel modeller geliştirilmiştir (Chandel ve ark., 2005).

Literatürde en çok rastlanan modeller, izotropik modellerdir. Bu, yaklaşık bir model olup bulutlu bir gökyüzü ve dağınık güneş ışıınım yoğunluğu olan gökyüzü için geçerlidir (Liu ve Jordan, 1963). Anizotropik modeller ise eğimli yüzeydeki aylık ortalama günlük dağınık ışıınımı hesaplamak için kullanılır (Klucher, 1979). PV sistemler, güneş kollektörler, güneş pişiriciler gibi güneş enerji sistemlerinin dünya genelindeki uygulamalarda eğim ve yönlendirme açılarını bulmak için birçok uygulama yapılmıştır.

PV sistemler kurulurken kuzey yarım kürede paneller güneye ve ekvatora bakacak şekilde konumlandırılır, güney yarımkürede ise kuzeye bakacak şekilde konumlandırılır (El-Kassaby, 1988). Çünkü amaç, paneller üzerine maksimum seviyede güneş ışıının düşmesini sağlamaktır. PV sistemler ve diğer güneş uygulamaları için yapılan optimum eğim açısı uygulamaları ve matematiksel modellerde bulunan yerin enlem açısına göre optimum eğim açısı hesaplamaları yapılmıştır (Zhao ve ark., 2010).

PV modüller için optimum eğim açısının belirlenmesine yönelik deneysel çalışmaların neredeyse tamamında paneller kuzey yarım küre için güney yönlü olarak konumlandırılır (Rowlands ve ark., 2011). Farklı eğimlerde paneller yerleştirilerek panellerin maksimum güneş ışıınımına maruz kalması sağlanmış ve elde edilen veriler karşılaştırma yapılarak PV paneller için en uygun eğim açısı belirlenmiştir. Yapılan deneysel uygulamalarda elde edilen veriler ışığında hesaplanan açı değerleri aylık ve mevsimsel olarak değişiklik göstermiştir.

Literatürde farklı coğrafya ve konumlar için optimum eğim açısının belirlenmesi, dağınık ışıınım tahmini, farklı PV teknolojilerinin incelenmesi, yapay zeka yöntemleriyle güneş ışıınım tahmini, şebekeye bağlı PV sistemlerin verim analizi ve izlenmesi gibi çeşitli çalışmalar yer almaktadır.

Ainah ve Afa (2013) yaptıkları çalışmada Duffie ve Beckhman ışıınım yöntemini kullanarak güneş ışıınları için mümkün olan en iyi eğim açısını tahmin etmeye çalışmışlardır. Çalışmada sapma, enlem ve açıklık indeksi gibi bazı iklim verilerinden faydalanmışlardır. Nijerya'nın Yenagoa şehrinde 15° ile 65° arasında değişen farklı eğim açılarında yapılan araştırma neticesinde en uygun eğim açısının 15° ile 45° arasında olduğunu belirtmişlerdir.

Lubitz (2011) Amerika Birleşik Devletleri'nde farklı coğrafi konumlarda yer alan beş şehirde PV panellerin yüzeylerine gelen güneş ışıınımını sabit, azimut izlemeli ve iki eksenli izleme yaparak Perez ışıınım modeli ile simüle etmiştir. Simülasyona göre tek eksen azimut izleme yapılan çalışmada güneye bakan optimum eğim açısında yapılan çalışmaya göre daha yüksek ışıınım değerleri elde edildiği gözlemlenmiştir. Azimut eksenine ilave olarak eğim izleme amacıyla ikinci bir izleme eksenini eklemek, ışıınlamada azimut izlemeye göre %5 daha artışa neden olduğu tespit edilmiştir. Tüm yıl boyunca aylık eğim değiştirilerek gerçekleştirilen sistemde ise sabit optimum eğim açısında yerleştirilen sisteme göre %5'lik bir ışıınım artışı görülmüştür. Böylece ışıınım değerleri üzerinde azimut açısının önemi görülmüştür. Yapılan çalışma deneysel olmayıp simülasyon olarak gerçekleştirilmiştir.

Jamil ve Akhtar (2017) yaptıkları çalışmada, Hindistan'ın nemli tropikal iklim bölgesinde dağınık güneş ışınlamı tahminine yönelik modeller, uzun vadeli ölçülen güneş ışınlamı verileri kullanılarak geliştirilmiştir. Altı adet modelin geliştirilmesi, dağınık fraksiyon K_D nin gökyüzü açıklık indeksi K_T ile korelasyonu ile yapılmıştır. Geliştirilen modellerin performansını değerlendirmek için istatistiksel analiz kullanılmıştır. Bu çalışma özellikle belirlenen konuma yönelik dağınık ışınlam hesabı için model geliştirmeden ibarettir.

Dağınık ışınlam verileri genellikle ölçülmediği için bu verilere ulaşmak zordur. Yao ve ark. (2014) yaptığı çalışmada küresel ışınlamı tahmin etmek için güneşlenme süreleri gibi bazı parametrelere bağlı küresel ışınlam tahmin modeli geliştirmişlerdir. Daha sonra küresel ışınlamı direk ışınlam ve dağınık ışınlam bileşenlerine ayırarak dağınık ışınlam elde etmişlerdir.

Kaldellis ve ark. (2012), Atina bölgesinde PV panelleri için özellikle yaz dönemi optimum açısını belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla, incelenen konunun deneysel araştırması tüm yaz dönemi için yapılmaktadır. Bu bağlamda, panel eğim açısının beklenen optimum değerden farklı olması halinde etkisinin incelenmesi üzerinde durulmakta, buna paralel olarak, kuramsal doğrulama yoluyla elde edilen sonuçların belirlenen güneş geometrisi eşitlikleri temelinde yorumlanması yapılmıştır. Bu çalışmada PV panellerin optimum eğimi üzerine yoğunlaşmış olup azimut açısını güneye 0° alarak çalışma yürütülmüştür.

Benghanem (2011) yaptığı çalışmada Suudi Arabistan'ın Medine şehri için PV panellerin optimum eğim açısını belirlemek için küresel ışınlam ve dağınık ışınlam değerlerini ölçerek matematiksel model aracılığıyla eğimli yüzeye gelen ışınlam değerlerini hesaplamıştır. Aylık, mevsimsel ve yıllık optimum panel eğim açısı için önerilerde bulunmuştur. Bu çalışmada azimut açısı ile herhangi bir çalışma yapılmamış olup ekvatora 0° sabit ayarlanmıştır.

Rouholamini ve ark. (2013) eğimli bir yüzey üzerindeki küresel güneş ışınlamı tahmin etmek ve PV panellerinin çıkış enerjisini hesaplamak için bir matematiksel model kullanmışlardır. Deneysel düzenek aracılığıyla PV paneller 0° , 10° , 20° , 30° , 40° ve 50° eğim açılara ve 0° 'lik bir azimut açısına yönelime ayarlanmıştır. Daha sonra, matematiksel modelin ve kaydedilen verilerin karşılaştırılması yapılmış ve 10° 'den daha büyük eğim açıları için matematiksel model ve kaydedilen veriler arasında uyum olduğu ve ancak 10° 'den daha küçük açılar için biraz farklı sonuçlar ortaya çıktığı gözlemlenmiştir.

Enerji miktarını maksimuma çıkarmak için sabit yerleştirilen PV panellerin optimal eğim açısının tahmini, yatay yüzeydeki aylık küresel ve dağınık ışınlama dayanarak yapılmalıdır. Bununla birlikte, aylık dağınık ışınlam birçok yerde her zaman mevcut değildir. Tang ve Wu (2004) yataya gelen küresel ışınlamı kullanarak kollektörün optimal eğim açısının tahmini için basit bir matematiksel prosedür sunmuşlardır. Tahmin edilen aylık dağınık ışınlamdan elde edilen sonuç ile gerçek aylık dağınık ışınlamdan elde edilen sonuç kullanılarak toplayıcıların optimal eğim açılarının karşılaştırılması yapıldığında, bu yöntemin, oldukça düşük bir açıklık endeksine sahip yerler haricinde, optimal eğim açısının iyi bir tahminini verdiğini göstermiştir.

Yukarıda ele alınan çalışmaların büyük bir kısmı yurtdışında yapılan çalışmalardır. Ülkemizde de bu konuda birçok çalışma ele alınmıştır. Aşağıda genel anlamda Türkiye’de yürütülen çalışmalarla ilgili bir değerlendirme verilmiştir.

Tiris ve Tiris (1997) 40° enleme sahip Gebze’de Marmara Araştırma Merkezi Güneş Enerji Laboratuvarı Meteoroloji istasyonunda ölçülen Ocak 1984’ten 1992’ye kadar olan döneme tekabül eden deneysel verileri kullanarak, saatlik ve aylık dağınık ışınlamaların hesaplanması için korelasyon modelleri türetmişlerdir.

Tiris ve Tiris (1998) çalışmasında, optimum kolektör eğimini belirlemek için, maksimum güneş enerjisi mevcudiyetine dayanan ve toplam güneş enerjisinin en doğru tahminini sağlayan bir izotropik model kullanılmış eğimli bir yüzey üzerinde ışınlamın tahmin edilmesi için çeşitli modellerle karşılaştırılmıştır. Gebze için bir yıl boyunca eğimli, güneye bakan yüzeylerin optimum eğimlerini tahmin etmek için kullanılabilecek teorik eşitlikler türetilmiştir. Geliştirilen genel korelasyonlar Gebze’de geçerlidir ve pratikte hem doğru hem de kullanışlıdır. Bu korelasyonlar 1988 yılında ölçülen verilere dayanmaktadır. Çalışmada 40° enlemde bulunan Gebze için 1984-1992 yılları arasında ölçülen aylık ortalama günlük küresel ve dağınık ışınlam değerleri kullanılmıştır. Sonuç olarak güneş kollektörler için optimum eğim açısı yaz ayları için 6,3° kış ayları için 58° ve genel yıllık ortalama 33° olarak hesaplanmıştır.

Ulgen ve Hepbasli (2002) çalışmalarında İzmir için yatay bir yüzey üzerine gelen aylık ortalama günlük küresel ışınlamı tahmin etmek için ampirik ilişkiler geliştirmiştir. Deneysel veriler Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Meteoroloji İstasyonunda yapılan ölçümlerden elde edilmiştir. Literatürde yer alan 25 model ile mevcut modeller, yüzde hatası, kök ortalama hatası, ana yanlışlık hatası ve korelasyon koordinatına dayalı olarak yatay yüzey üzerindeki aylık ortalama günlük küresel ışınlamın hesaplanması için

karşılaştırılmıştır. İzmir için geliştirilen modelin literatürde yer alan modellerden daha iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Kacira ve ark. (2004) bir PV panelinin kurulumu için optimum eğim açısını tahmin etmek ve eğimli PV yüzey üzerindeki toplam güneş ışınlamını tahmin etmek için bir matematik model kullanmışlardır. Optimum eğim açıları PV yüzey üzerindeki toplam ışınlam değerleri araştırılarak tahmin edilmiştir. Çalışmada aynı zamanda sabit bir PV sistem ile iki eksenli hareketli bir sistemin enerji kazancı karşılaştırılmıştır. Şanlıurfa için optimum eğim açıları, yazın haziran ayında 13° ve kışın aralık ayında 61° olarak hesaplanmıştır. Azimut açısını belirlemeye dair bir çalışma yapılmamıştır.

Ulgen (2006) İzmir de yer alan güneş kolektörlerinin optimum eğim açısını belirlemek ve eğimli bir yüzey üzerine gelen küresel ışınlamı tahmin etmek için matematiksel bir model kullanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan ışınlam verileri Ege Üniversitesi Güneş Enerji Enstitüsünün meteoroloji istasyonundan almıştır. Güneye bakan bir yüzey üzerinde aylık ortalama günlük toplam ışınlamı hesaplamak için izotropik model geliştirmiştir. Bu çalışmada da güneş kolektörlerinin maksimum ışınlam alabilmesi için optimum eğimin belirlenmesine yöneliktir. PV paneller dikkate alınmamıştır.

Aras ve ark. (2006) yaptıkları çalışma, İç Anadolu bölgesi ve civarındaki 12 ili (Afyon, Ankara, Çankırı, Çorum, Eskişehir, Kayseri, Kırşehir, Konya, Nevşehir, Niğde, Sivas ve Yozgat) kapsayan ve yatay düzlem üzerine gelen aylık ortalama günlük dağınık güneş ışınlamı tahmin etmek için yeni bir hibrit model geliştirme üzerinedir. 1964 yılından beri tüm Türkiye’de meteoroloji istasyonları tarafından küresel ışınlam ve gündeğümü süreleri ölçülmesine rağmen dağınık ışınlam ölçülmemiştir. Bu sebeple orta Anadolu bölgesinde yatay yüzey üzerine gelen dağınık ışınlamın aylık ortalama günlük değerini tahmin etmek için 12 yeni hibrit model çalışması yapmışlardır. Geliştirilen modellerin, çalışılan şehirler ve benzer iklim koşullarına sahip başka yerlerdeki yatay güneş ışınlamı tahmin etmede güneş enerjisinin birçok uygulaması ile ilgilenen mühendisler ve tasarımcılar için yararlı olması beklenmektedir.

Gunerhan ve Hepbasli (2007) çalışması yukarıda zikredilen çalışmaya benzer olarak bina uygulamaları için güneş kolektörlerinin optimum eğim açılarının belirlenmesi ile ilgilidir. Ege Üniversitesi güneş Enerji Enstitüsünün 1994 -1996 yılları arasındaki ölçüm verileri kullanılmıştır. Güneş kolektörlerinin maksimum ışınlam alabilmesi için optimum eğimin belirlenmesine yöneliktir. PV paneller dikkate alınmamıştır.

Bakirci (2008) açık gökyüzü atmosferleri için yatay yüzeyler üzerinde güneş ışınlamının değişimini tahmin etmiş ve Erzurum’da yapılan ölçümlerle karşılaştırmıştır.

Yatay yüzeylerde güneş ışıınımı hesaplamalarında Hottel'in açık gökyüzü modelini, kullanmıştır. Ayrıca, yatay yüzeylerde açık gökyüzü ve küresel güneş ışıınımı aylık ortalamaları veren korelasyon eşitlikleri geliştirmiştir. Korelasyon eşitliklerinin performansını göstermek için göreceli yüzde hatası, korelasyon katsayısı, ortalama yüzde hatası, ortalama önyargı hatası ve kök-ortalama-karesel hata yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada aylık ortalama günlük küresel ışıınım değerinin, aylık ortalama günlük göksel ışıınım değerine oranı ile aylık ortalama günlük güneş doğuş zamanının aylık ortalama gün uzunluğuna oranını içeren iki yeni model geliştirilmiştir. Erzurum için saatlik güneş ışıının Hottel'in modeli kullanılarak çok doğru tahmin edilebileceği gösterilmiştir. Simülasyona dayalı bir çalışma yürütülmüştür.

Bakırcı (2009) sadece göreceli günışığı kullanılarak Türkiye'nin farklı illeri için yatay bir yüzeye gelen aylık ortalama günlük küresel ışıınımı tahmin etmek için yedi farklı deneysel eşitlikler geliştirmiştir. Bu amaçla yerel meteoroloji istasyonlarından günlük güneş ışıınım ve günışığı ölçüm verileri kullanılmıştır. Geliştirilen eşitliklerin performansını belirlemek amacı ile ortalama yanlılık hatasının (MBE) istatistiksel test yöntemleri, ortalama mutlak ön gerilim hatası (MABE), ortalama göreceli hata (MRE), kök ortalama kare hatası (RMSE) metotları kullanılmıştır. Literatürde verilen bazı modellerin regresyon sabitleri ve bu çalışmada geliştirilen yeni modeller, Türkiye illeri için yatay yüzey üzerindeki aylık ortalama günlük güneş ışıınımını tahmin etmek için elde edilmiştir. Sonuç olarak, burada en iyi sonuçları veren modeller, Türkiye'de ve benzer iklim koşullarına sahip başka yerlerde aylık ortalama günlük küresel güneş ışıınımı tahmininde güvenilir bir şekilde kullanılabileceğini ifade etmiştir. Çalışma küresel ışıının tahmini üzerinedir.

Ulgen ve Hepbasli (2009) tarafından yapılan çalışma dağınık güneş ışıınımı tahmin modellerinin performanslarını istatistiksel olarak değerlendirmek için kullanılan istatistiksel test yöntemleriyle ilgilidir. Türkiye'deki nüfusun yoğun olduğu üç büyük şehri için (İstanbul, Ankara ve İzmir) aylık ortalama günlük dağınıklık oranı veya aylık ortalama günlük dağınıklık indeksi (K_D) ile aylık ortalama günlük açıklık indeksi (K_T) ve aylık ortalama günlük güneş kırınımı ($K/gün$) arasında bir ilişki kurmak için ampirik korelasyonlar da geliştirilmiştir. Bu üç büyükşehir için, yatay yüzey üzerine gelen dağınık ışıının aylık ortalama günlük değerini tahmin etmek için yeni 8 adet model önerilmiştir. Bu modeller ayrıca literatürde bulunan 32 modelle karşılaştırılmıştır.

Sonmete ve ark. (2011) literatürde mevcut olan 147 güneş ışıınımı modelini Ankara'da aylık güneş ışıınımı tahminine yönelik olarak incelemiş, aylık hata, ortalama

yüzde hatası, kök ortalama karesi hatası, ortalama yanlılık hatası ve korelasyon katsayısı gibi seçilmiş istatistiksel ölçümlere dayanarak karşılaştırmışlardır. Ankara’da yatay bir yüzey üzerine gelen güneş ışınlamını tahmin etmek için en iyi modellerin Ball ve Chen modeli olduğu görülmüştür.

Koca ve ark. (2011) Türkiye'nin Anadolu'nun Akdeniz bölgesinde yer alan yedi şehri için güneş ışınlamı parametrelerini tahmin etmek amacıyla yapay sinir ağı (YSA) modelini kullanmışlardır. Güneş ışınlamını öngörebilmek için Devlet ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü verileri tercih edilmiştir. 2005, 2007 ve 2008 verileri, test amacıyla 2006 verileri kullanılarak tahmin edilmiştir. Girdi parametrelerinin, güneş ışınlamını çıktı katmanı olan sonuçlar üzerindeki etkileri test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, bu yöntemin yüksek verimli güneş enerjisi cihazlarının tasarımı için araştırmacılar ve bilim insanları tarafından kullanılabilirliğini göstermiştir.

Bakirci (2012a) tarafından Türkiye'nin 8 büyük şehrinde güneş ışınlam ölçüm verileri kullanılarak optimum eğim açısını belirleme çalışması yapılmıştır. Optimum eğim açısı, 0° 'den 90° 'ye 1° 'lik adımlarla eğimli yüzeylerde özel bir dönem için günlük toplam güneş ışınlam verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Türkiye için yıl boyunca optimum panel eğim açısının 0° ile 60° arasında değiştiği bulunmuştur. Çalışmanın yapıldığı şehirler Adana, Ankara, Diyarbakır, Erzurum, İstanbul, İzmir, Samsun, Trabzon'dur. Ortalama optimum eğim açısı yaz ayları için $5,67^\circ$ ve kış ayları için $57,29^\circ$ olarak hesaplanmıştır. Yönlendirme açısının tahmini üzerine bir çalışma yapılmamıştır. Bakirci (2012b) diğer bir çalışmada Erzurum'daki güneş kolektörleri için optimum eğim açıları elde etmiştir. Erzurum için ölçülen küresel ışınlam verileri kullanarak Eğimli yüzeyler için optimum eğim açısını belirlemiştir. Burada zikredilen her iki çalışma da güneş kolektörlerinin optimum eğim açısını belirlemeye yöneliktir.

Kaya (2012) literatürdeki yatay yüzey üzerindeki küresel güneş ışınlamı modellerini araştırmış ve Erzincan için güneş saat verilerini temel alan yeni ampirik modeller geliştirmiştir.

Kaçan ve Ülgen (2012a) tarafından yapılan çalışmada İzmir ilinde yatay yüzey üzerine gelen, günlük toplam ve dağınık güneş ışınlam değerleri ölçülerek, güneş enerjisi toplayıcılarının optimum eğim açısı, zamana bağlı olarak 0° ile 61° arasında hesaplanmıştır. Kış aylarında optimum eğim açısının $55,7^\circ$, ilkbahar ve sonbahar aylarında $18,3^\circ$ - 43° , yaz aylarında ise $4,3^\circ$ olduğu ortaya konmuştur. Bütün yıl boyunca sabit optimum eğim açısı değeri ise $30,3^\circ$ olarak elde edilmiştir. Bütün aylar için, optimum eğim açısına ayarlanmış güneş enerjisi toplayıcılarının optimum yüzey azimut

açısı (γ) değeri 0 bulunmuştur. Güneş enerjisi ile ilgili veriler, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü çatısına yerleştirilen ve Dünya Meteoroloji Örgütünün baz aldığı ISO 9060:1990(E) standardına göre $38^{\circ}28'$ K, $27^{\circ}13'$ D ve 27m yükseklikte kurulan “Meteoroloji İstasyonu” ile ölçülmüştür. Veriler Ekim-1993, Kasım-2011 arasında anlık olarak alınmıştır. İzmir’de güneye yönlendirilmiş düzlemsel toplayıcıların yıllık optimum eğim açısının $30,3^{\circ}$ bu eğimde optimum yüzey azimut açısı değerinin 0° olması gerektiği ifade edilmiştir.

Bakirci (2015) Türkiye'deki tipik şehirler için yatay bir yüzey üzerinde aylık ortalama yayılan güneş ışınlamını tahmin etmek için yeni ampirik modeller kurmuştur. Bu nedenle, literatürdeki çalışmalardan on beş ampirik model kullanılmıştır. Ayrıca, uzun süreli güneşlenme süresi ve küresel güneş ışınlamı verileri kullanılarak on sekiz dağınık güneş ışınlamı modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerin doğruluğu farklı istatistiksel göstergeler açısından değerlendirilmiştir.

Gedik (2016) çalışmasında modül sıcaklığının PV panelin verimine olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. PV yüzey üzerine gelen güneş ışınlamı şiddeti (I), panelin bulunduğu ortam sıcaklığı (T_a), panel arkası sıcaklık (T_p) gerilim ve akım değerleri deney süresince ölçülen ana parametrelerdir. Deneylerde PV modülün bulunduğu ortam 10°C , 20°C , 30°C ve 40°C olmak üzere dört farklı sıcaklık değerine ayarlanmıştır. Deneysel çalışmadan elde edilen veriler kullanılarak PV modülün verimi hesaplanmıştır. PV modül sıcaklığının artışının verimi düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Arslanoglu (2016) önceki çalışmalardan elde edilen dağınık güneş ışınlamı modellerinin uygulanabilirliğini değerlendirmiş ve Bursa için yeni modeller oluşturmıştır. Bu nedenle, literatürdeki önceki çalışmalardan 35 regresyon modeli kullanılmıştır. Ayrıca, 1968-2015 arası uzun vadeli küresel güneş ışınlamı ve güneşlenme süresi verileri kullanılarak yeni dört dağınık güneş ışınlamı modelleri geliştirilmiştir. Yeni modeller daha sonra farklı istatistiksel testler ile mevcut olan 35 ampirik eşitlikle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak Bursa için yatay bir yüzeyde aylık ortalama dağınık güneş ışınlamının tahmini için en doğru ve yüksek performanslı ampirik modeller bulunmuştur.

Ayaz ve ark. (2017) üç farklı PV teknolojisi (monokristal, polikristal ve ince film) dikkate alarak optimum fotovoltaiik (PV) eğim açısını hesaplamak için bir yaklaşım sunmuşlardır. Bu yaklaşım, mevsimsel ve yıllık güneş ışınlamı (Wh/m^2) ve PV'lerin mevsimsel ve yıllık enerji üretimi (Wh) dikkate alınarak optimum eğim açısının belirlenmesine dayanmaktadır. Toplam ışınlam ve toplam enerji çıktısıyla elde edilen

optimum eğim açılarının mevsimsel ve yıllık baz dikkate alındığında birbirinden farklı olduğunu bulmuşlardır.

Beyazit ve ark. (2017) literatürde verilen Dağınık ışıınım modelleri kullanarak Şanlıurfa için yatay düzlem Dağınık ışıınım değerlerini hesaplamış ve modellerden elde edilen sonuçlar ölçüm verileriyle karşılaştırmışlardır. Analizde, Şanlıurfa ili Harran Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünde bulunan güneş takip sistemli güneş ışıınım ölçüm sisteminden elde edilen 7 yıllık ölçüm sonuçlarından elde edilen saatlik yatay toplam ve Dağınık güneş ışıınım verileri kullanılmıştır. Dağınık ışıınım, zamanla değişkenlik göstermekle beraber istatistiksel hatalara göre en iyi modelin Erbas ve arkadaşlarının geliştirdiği model olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında, yaygın olarak kullanılan Liu ve Jordan modelinin ise ölçüm verilerinden büyük sapma gösterdiği tespit edilmiştir.

Sedraoui ve ark. (2017) Suudi Arabistan'ın Cidde kentindeki fotovoltaik modül performansı üzerindeki optimum yönelim ve eğim açısı etkilerini analiz etmişlerdir. PV güç çıkışı belirlemek ve PV sistemi için en iyi yönlendirme açılarını seçmek için azimut ve eğim açıları; aylık, iki ayda bir, üç aylık, altı aylık ve yıllık dönemler için analiz edilmiştir. Sonuçlar, PV'nin aylık en yüksek ortalama çıkış gücünün, elektrik panelinin 0° eğim yüzeyinde haziran ayında elde edildiğini göstermiştir.

Bakirci ve Kirtiloglu (2018) Erzincan için uydu verileri kullanarak yatay bir yüzey üzerine gelen dağınık güneş ışıınımının aylık ortalama günlük değeri için bazı yeni modeller geliştirmişlerdir. Modellerin değerlendirmesini, istatistiksel analiz metotları ile gerçekleştirmişlerdir.

Moltames ve FarajiMohammad (2018) güneş panellerinin optimal aylık, mevsimsel, altı aylık ve yıllık (sabit) eğim açılarını, İran'ın farklı şehirlerinde birim alan başına alınan maksimum güneş enerjisi kullanılarak hesaplamışlardır. Her açı için paneller tarafından alınan enerji farklı zaman aralıklarında değerlendirilmiştir. Sonuçlar, her şehir için en uygun eğim açısının o şehrin enleminden yaklaşık 4 ila 8° daha düşük olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada, İran'da kullanılan güneş panellerinin ve kolektörlerin optimum eğim açısını belirlemek için maksimum enerjiye dayalı bir model kullanılmıştır.

Lakshmi ve ark. (2018) dağınık ışıınım ve farklı eğim açılarında küresel ışıınımın aylık ortalama değerlerini kullanmışlardır. Bileşenlerin her birinin genel durum için ve optimum açılarında etkileri ve katkıları vurgulanmıştır. Çalışmanın sonucu, her ay için optimum ışıınım sağlayan eğim açısının kullanılmasının PV enerji üretimini önemli

ölçüde artırabileceğini göstermişlerdir. Elde edilen sonuçlar, ilgilenilen herhangi bir bölgede bir PV modülünün KWh üretimini tahmin etmek için kullanılabilir.

Ullah ve ark. (2019) Pakistanın Lahor kentinde, National Renewable Energy Laboratory (NREL) ve Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP) nin güneş ışıını verilerini kullanarak PV panellerin optimum eğim açısının belirlenmesi için çalışma yapmışlardır. Panellerin uygun eğim açılarında 31° yerleştirilmesi sonucu enerji veriminin %6.6 arttığını tespit etmişlerdir.

Kumaş ve ark. (2019) Türkiye'nin Batı Akdeniz Bölgesi'ndeki karbon ayak izini azaltmak amacıyla, maksimum ışıını toplamak için güneş panelleri için eğim açısının en uygun seçimini incelemişlerdir. Bu çalışmada optimum eğim açısı batı Akdeniz bölgesinde üç il için hesaplanmıştır. Üretilebilecek maksimum enerji miktarı, eğim açılarının varyasyonuna bağlıdır. Her üç ildeki ortalama eğim açısı 33° ila 34° arasında değişmektedir.

Muslim (2019) PV enerji üretimini en üst düzeye çıkarmak için MATLAB yazılımına (m-file) dayalı güneş eğim açısını optimize etmek için bir algoritma geliştirmiştir. Necef, California ve New Delhi gibi farklı vaka çalışmaları için aylık ve yıllık optimum eğim açıları önerilmektedir. Ayrıca, her ay için güneş ışıını tahmini optimum eğim açılara göre hesaplanmaktadır. Elde edilen sonuçlar, güney yönlü güneş panellerinden yıllık güneş ışıını kazanımının Necef şehri için yaklaşık %18 olduğunu göstermektedir.

Şahin (2019)'in çalışmasının özgünlüğü, matematiksel yöntemler kullanarak optimum eğim açısını tespit etme konusundaki literatürden farklı olarak, yapay sinir ağlarını kullanarak optimum eğim açılarını belirlemesidir. Bu çalışmada, yapay sinir ağı kullanılarak ülke geneli için bir model oluşturulmuştur. Bu model sayesinde, Türkiye sınırları içinde herhangi bir konum için aylık optimum eğim açısı yapay sinir ağı tarafından hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar doğrultusunda güneş panelleri ilgili optimum eğim açısına ayarlanmış ve böylece güneş panellerinden maksimum verim elde edilmiştir. Yapay sinir ağı tarafından önerilen açıya göre sistemdeki güneş panellerinin monte edilmesi, sabit güneş paneli sistemlerine kıyasla enerji üretiminde %34'lük bir artış sağlamıştır.

Jallal ve ark. (2019) Fas'ın Marakeş kentinde farklı eğimli güneş panelleri kullanılarak, güneş ışıınının, küresel, doğrudan ve dağınık ışıını değerlerini tahmin etmek için çok girişli çoklu çıkış (MIMO) geribeslemeli yapay sinir ağlarının özel bir türü olan Elman Yapay Sinir Ağına (EL-YSA) dayalı verimli bir model kullanılmışlardır.

Model, bazı zaman değişkenleri de dahil olmak üzere farklı meteorolojik parametrelere dayanmaktadır. Bu tür bir tahmin metodu ile kullanıcıların, istenen eğim açısını tanımlayarak güneş ışıınımı hakkında kesin bilgilere sahip olmalarının sağlanacağı ifade edilmektedir.

Arslan ve Terzioğlu (2020) güneş ışıınım değeri, Konya ili Selçuklu Bölgesi'nde kurulu 10 KW'lık küçük ölçekli güneş enerjisi santralinden elde edilen veriler kullanılarak modellenmiştir. Bu model gerçekleştirilirken güneş santralinden bir yıl boyunca kaydedilen veriler ve meteoroloji genel müdürlüğünden alınan veriler kullanılmıştır. Bu modelde güneş ışıınım değeri, küçük ölçekli bir güneş enerjisi santralindeki sıcaklık değeri, PV panelden elde edilen gerilim ve güç değerleri kullanılarak tahmin edilmektedir. Modelleme sonucunda modellemenin %86 doğrulukla yapıldığı görülmüştür.

Kim ve ark. (2020) makine öğrenmesi algoritmalarını kullanarak bir güneş paneli eğim açısı optimizasyon modeli önermişlerdir. Amaç, alınan ışıınımı maksimize etmeye çalışmak yerine, fotovoltaik (PV) sistemlerin dönüştürülmüş enerjisini maksimize eden eğim açısını bulmaktır. Hava durumu, toz seviyesi ve aerosol seviyesi gibi çeşitli faktörler göz önünde bulundurularak, doğrusal regresyon (LR), en düşük mutlak küçülme ve seçim operatörü (LASSO), rastgele orman (RF), destek vektör makinesi (SVM) kullanılarak beş tahmin modeli oluşturulmuştur. En iyi tahmin modelini kullanarak yaptıkları çalışma ile, optimal açılı modellerine kıyasla PV çıktısında artış gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Erduman (2020) çatı uygulamasını gerçekleştirecek kullanıcılar için daha ucuz ve daha az bilgi gerektiren yapay sinir ağı tabanlı bir model geliştirmiştir. Sıcaklık, rüzgar hızı, basınç ve nem bilgilerinin verildiği bir alanda geliştirilen sinir ağı öğrenme modeli kullanılarak en yaygın olarak kullanılan monokristal, polikristal ve ince film güneş panellerinin çıkış gücü hesaplanmıştır. Çalışmanın modellemesinde kullanılmak üzere üç farklı panelin üretim değerleri ile panellerin kurulduğu bölgenin rüzgar, sıcaklık ve nem ölçümleri 1 dakikalık periyotlarla kaydedilmiştir. Bu veriler arasındaki ilişki yapay sinir ağları ile modellenmiştir. Verilerin güvenilirliğini artırmak için on kat çapraz doğrulama yöntemi sonucunda elde edilen eğitim ve test verileri kullanılmıştır. Geliştirilen model kullanılarak üretim değerlerinin %97 doğrulukta olduğu tahmin edilmiştir. Sonuç olarak, ışıınım ve panel bilgisi kullanılmadan, uzun matematiksel işlemler gerektiren PV ve sistem modellemesine ihtiyaç duyulmadan daha basit ve daha güvenilir bir analiz modeli geliştirilmiştir.

Brahma ve Wadhvani (2020) NASA'nın 36 yıllık POWER proje havuzundan elde edilen günlük güneş ışıınımı verilerine dayanarak Hindistan'ın iki bölgesindeki günlük güneş ışıınımını tahmin etmek için derin öğrenme (DL) metodolojilerine ve çok bölgeli verilere dayalı tahmin modelleri geliştirmişlerdir. Sonuçlar, çift yönlü uzun kısa süreli bellek (LSTM) ve dikkat tabanlı LSTM modellerinin günlük güneş ışıınım verilerini tahmin etmek için kullanılabileceğini göstermektedir.

Kallioğlu ve ark. (2020) aylara göre optimum güneş paneli açısı değeri belirlemişlerdir. Önce üç örnek il (Antalya, Kayseri ve Trabzon) ve ardından Kuzey Yarımküre için hesaplar yapılmıştır. Örnek illerin kapasite hesaplaması aylık, mevsimsel ve yıllık açısı değerleri ile yatay duruma göre yapılmıştır. Kuzey Yarımküre için aylık ve yıllık optimum açısı değerleri 1° N ve 65° N enlemleri arasında 1° artar. Yıllık süreçte en yüksek açısı sonbahar ve kış (Kasım-Aralık-Ocak ve Şubat), en düşük açısı ise ilkbahar ve yaz aylarındadır (Mayıs-Haziran-Temmuz-Ağustos).

Poobalan ve ark. (2020) fotovoltaik sistemlerin performansını çeşitli azimut açıları ve güneş paneli eğim pozisyonları ile nasıl etkilendiğine dair analitik bir çalışma sunmuşlardır. Bir güneş panelinin ürettiği güç, panelin eğim açısına, güneş ışıınımına, kullanılan güneş paneli tipine ve panelin teknik özelliklerine bağlıdır. Bu çalışmada kullanılan veriler, iki farklı konumdan elde edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, enerji üretiminin hava koşulları, konum, azimut açıları ve eğim pozisyonlarının büyük ölçüde etkilendiğini göstermektedir. Çalışmada, panel düzlemlerinin ışıınım düzeyi, panel çıkışı gücü, dizi içi güç dağılımı ve performans oranı gibi parametreleri incelenmiştir. Geliştirilen analitik çalışmanın, belirli bir konumdaki güneş panel dizisinin optimal eğim açısına göre enerji üretimi ve yük kullanımı hakkında daha iyi bir anlayış sağlaması beklenmektedir.

López Gómez ve ark. (2020) Yapay Sinir Ağları ve Sayısal Hava Verilerini Kullanan Fotovoltaik Güç Tahmini ile ilgili çalışmada; bir fotovoltaikten güç üretimini doğru bir şekilde tahmin etmek için Sayısal Hava Tahmini modelinden gelen verilerden faydalanılarak, PV panellerden güç çıktılarını tahmin etmek için Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli kullanmışlardır. Çalışma güney İtalya da yapılmıştır. Sonuçta test edilen sayısal hava durumu modelinin, yerinde hava durumu ölçümleri mevcut olmadığında bile %10'dan daha az hata ile PV sistemlerinin çıktılarını modellemekte kullanılabileceğini göstermektedir.

Kaplan ve Kaplan (2020) tarafından hareketli En Küçük Kareler Yaklaşımı (MLSA) ile Angstorm katsayıları belirlenmiştir. Hareketli en küçük kareler yöntemi

kullanılarak üç farklı model elde edilmiştir. Bu çalışmada, Antalya için yatay bir yüzey üzerinde aylık ortalama günlük küresel güneş ışıının belirlenmesi için yeni ampirik modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller, farklı hata analiz yöntemleri kullanılarak literatürdeki modellerle karşılaştırılmıştır. İncelenen modellerin istatistiksel uyumluluğu test edilmiş ve ölçümlere en yakın model belirlenmiştir. Önerilen yöntemlerin seçilen bölge için yatay bir yüzey üzerindeki aylık ortalama günlük dağınık ışıını tahmin etmek için uygulanabilir olduğu sonucuna varmasına rağmen, bu modellerin performansının yıllara ve kullanılan hata analizi testine göre değiştiği gözlemlenmiştir. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, geliştirilen doğrusal model, Antalya için yatay bir yüzeyde küresel güneş ışıını tahmin etmede en iyi performansı göstermiştir.

Garud ve ark. (2021) yapay sinir ağları, bulanık mantık, genetik algoritma ve hibrit modeller kullanarak güneş fotovoltaik sistemlerinin modellenmesi üzerine bir inceleme çalışmasında; 2009 ile 2019 arasındaki son on yılda, yapay sinir ağı (YSA), bulanık mantık (FL), genetik algoritma (GA) ve bunların hibrit modelleri, güneş fotovoltaik sistemlerinin performans tahmini ve modellemesi için potansiyel yapay zeka araçları olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca bu on yıl boyunca YSA, FL, GA ve bunların hibrit modellerinin güneş fotovoltaik sistemlerinin performans tahmini ve modellemesi için uygulanabilirliği hakkında yapılan inceleme neticesinde bu modellerinin güneş ışıını ve güneş fotovoltaik sistemlerinin performans özelliklerinin doğru tahmini ve güvenilir olduğunu göstermektedir. Ek olarak, bu inceleme, güneş fotovoltaik sistemleri alanındaki araştırmacılara ve mühendislere, güneş fotovoltaik sistemlerinin performans özelliklerinin ve mevcut güneş ışıının kullanımının iyileştirilmesi için uygun tahmin aracını seçmeleri için rehberlik etmektedir.

Chinchilla ve ark. (2021) , dünyanın herhangi bir yerinde sabit güneş fotovoltaik dizileri veya güneş kollektörleri için yıllık optimum eğim açısını doğru bir şekilde hesaplamak için birkaç model sunmaktadır. Önerilen modeller, dünya genelinde 2.551 bölgeden toplanan küresel yatay ışıım verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu süreçte, olası herhangi bir eğimli yüzeydeki saatlik ışımayı ve buna karşılık gelen yıllık enerji verimini tahmin etmek için iyi kurulmuş alt modeller seçilmiştir. Her konum için optimum açıyı seçtikten sonra, bir regresyon analizi yoluyla, enlemin bir fonksiyonu olarak yıllık optimum açıları hesaplayan bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Ramaneti ve ark., (2021), güneşin dünyaya göre konumunu sürekli takip ederek ve güneş panelinin eğim açısını derin öğrenme ile buna göre optimize ederek bir çözüm önermektedir. Önerilen yöntem, güneşin eğim ve oryantasyon açısını %97 doğrulukla

tahmin ederek, diğer takipsiz sistemlere kıyasla güneş çıkış gücünün %10,6 oranında artmasına neden olur.

Sandhiya, (2021), makine öğrenmesi algoritmalarına dayalı güneş paneli eğim açısı optimizasyon modeli önermiştir. Doğrusal regresyon (LR), Ensemble kullanılarak beş tahmin modeli geliştirilmiştir. (RF), destek vektör makinesi (SVM) ve Gauss Proses Regresyonu (GPR), tümü hava ve toz seviyesi gibi çeşitli faktörleri hesaba katmıştır. Yazar, geliştirilen modelin kullanılması durumunda ideal nokta modellerine kıyasla PV veriminde bir artış gösterdiğini ortaya koymuştur.

Yukarıdaki araştırma sonuçlarına göre, PV panellerin optimum açısı, esas olarak, kullanılan hesaplama modelleri ve deneyin yapıldığı yerin atmosferik ortamı nedeniyle, değişik çalışmalar arasında önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, Konya bölgesi için farklı eğim açısı tayini, azimut açısındaki değişimin güç çıktısına etkisinin ortaya konulmamış olması nedeniyle bu alanda çalışmaya ihtiyaç olduğu kanaatine varılmıştır. Bu tez çalışması ile hem deneysel verilere hem de matematiksel yöntemlere dayalı olarak eğim açısı ile azimut açısının birlikte optimumun belirlenmesi sağlanacaktır. Bu sayede literatüre katkı sağlanması hedeflenmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Güneş Enerjisi

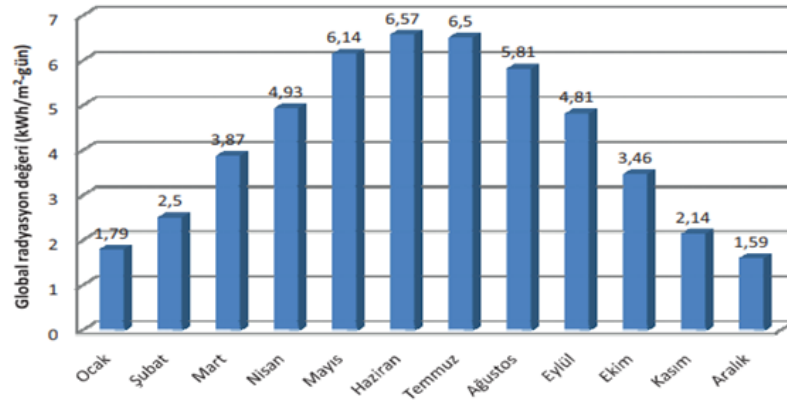
Dünyadan yaklaşık 150 milyon km uzaklıkta bulunan yüksek basınçlı ve yüksek sıcaklıklı bir yıldız olan güneş, nükleer yakıtlar dışında, dünyada bulunan tüm yakıtların kaynağıdır. Güneş Enerjisi; güneşin çekirdeğinde yer alan hidrojenin, helyuma dönüştüğü füzyon reaksiyonları sonucu oluşan ısıtım enerjisidir. Yüzey sıcaklığı yaklaşık 6.000°K dir (Şahan ve ark., 2015). Dünyanın yüzeyinde ve atmosfer sistemindeki fiziksel oluşumları etkileyen temel enerji kaynağı güneşin ısıtım enerjisidir. Biokütle enerjileri, rüzgâr, deniz dalgası, okyanustaki sıcaklık farkı sonucu oluşan enerjilerin tamamı güneş enerjisinin değişim geçirmiş şeklidir. Fosil yakıtlarında güneş enerjisi sonucu birikmiş biyokütle niteliğindeki materyaller olduğu kabul edilmektedir (Varınca ve Gönüllü, 2006). Güneşin dünyaya sağladığı enerji miktarı, uranyum dahil dünyada bulunan tüm fosil kaynaklarının rezervlerinden daha büyüktür.

Güneş bir saniye içerisinde 564 milyon ton hidrojeni, 560 milyon ton helyuma dönüştürerek 4 milyon ton kütle karşılığı yaklaşık $3,8 \times 10^{23}$ KW gücünde bir enerji yaymaktadır. Bu enerjinin sadece $1,8 \times 10^{14}$ KW'lık bir kısmı dünya atmosferine ulaşır. Bu enerjinin de hemen hemen %60'ı ($1,08 \times 10^{14}$ KW) atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Dünyanın güneşten aldığı enerjinin yıllık toplam değeri 1,5 katrilyon ($1,5 \times 10^{15}$) MWh'tir (Damgacı ve ark., 2017).

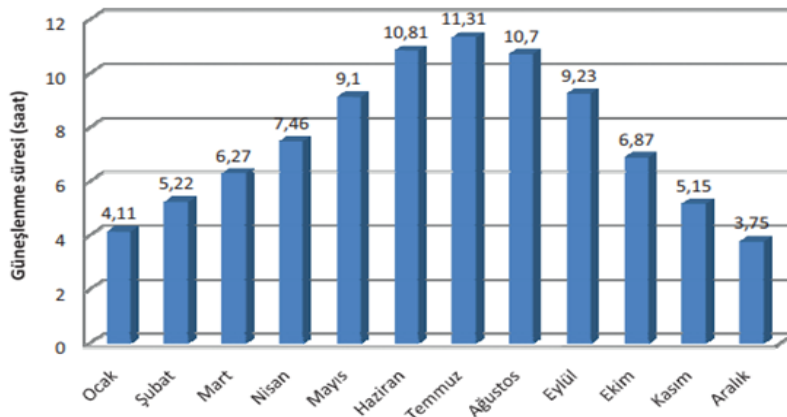
3.1.1. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli

Ülkemizde de yüksek potansiyeli, kullanım kolaylığı, yenilenebilir ve çevre dostu özelliklerinden dolayı güneş enerjisi diğer enerji kaynaklarına göre daha çok rağbet görmektedir. Güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan ülkemizde yıllık 380 milyar KWh'lık enerji olduğu düşünülmektedir. Türkiye yıllık ortalama $1.527 \text{ KWh/m}^2/\text{yıl}$ güneş ışınlamına ve yıllık ortalama 2741 saat güneşlenme süresine sahiptir. Bu değerler günlük ortalama $4,18 \text{ KWh/m}^2$ 'lık küresel ışınlam değerine ve günlük ortalama 7,5 saat güneşlenme süresine denk gelmektedir.

Türkiye'nin ay içerisindeki bir günlük ortalama küresel ışınlam değeri ile güneşlenme süreleri Şekil 3.1 ve 3.2'de verilmiştir. Buna göre Türkiye ortalaması dikkate alındığında $6,57 \text{ KWh/m}^2$ ile en büyük küresel ışınlam değerinin haziran ayı içerisinde, en uzun güneşlenme süresinin ise 11,31 saat ile temmuz ayında gerçekleştiği görülmektedir.



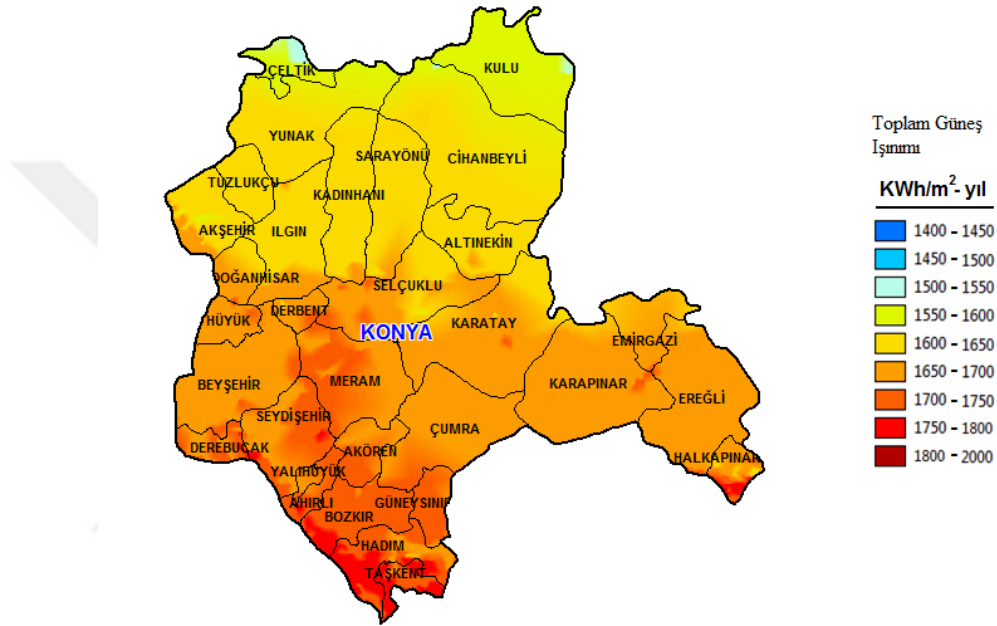
Şekil 3.1. Türkiye'nin ay içerisindeki bir günlük ortalama küresel ışınlam değerleri



Şekil 3.2. Türkiye'nin ay içerisindeki bir günlük ortalama güneşlenme süreleri

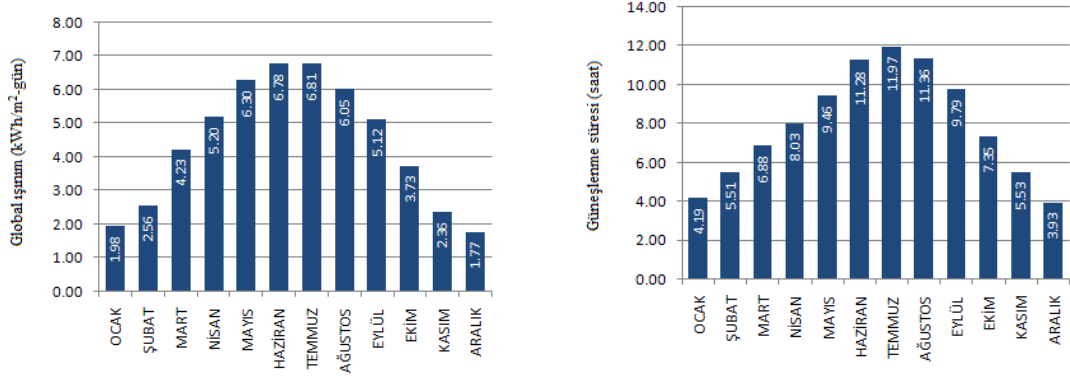
3.1.2. Konya ilinin güneş enerjisi potansiyeli

Yurdumuzun birçok coğrafi bölgesi güneş enerjisi bakımından oldukça zengindir. Coğrafi olarak 36°41' ve 39°16' kuzey enlemleri ile 31°14' ve 34°26' doğu boylamları arasında yer alan Konya, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün internet sitesinde yayınlanan ve Şekil 3.3'te görülen güneş enerjisi potansiyeli atlasına göre en çok güneş ışıyım değerine sahip iller arasındadır.



Şekil 3.3. Konya güneş ışıyımı haritası

Şekil 3.4'te Konya'nın ay içerisindeki bir günlük ortalama küresel ışıyımı ve güneşlenme süresi gösterilmektedir. Güneş ışıyımı değerleri özellikle ilkbahar ve yaz aylarında yıl ortalamalarının üzerinde olduğu görülmektedir. Türkiye'nin güneş enerjisi yatırımları için Konyanın en büyük potansiyele sahip olduğu söylenebilir. Coğrafi özellikleri itibariyle yüksek miktarda düz, engebesiz ve tarıma elverişsiz saha kapasitesi bulunan Konya, güneşten elektrik üretim santrallerinin büyük ölçeklerde kurulabileceği bir konuma sahiptir. Bu özelliği ile güneşten elektrik üretimi için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından lisans verilen en büyük kapasiteli bölge Konyadır.



şekil 3.4. Konya'nın ay içerisindeki bir gⁱnlⁱk ortalama kⁱresel ışınım değeri ve gⁱneřlenme sⁱresi

3.2. Gⁱneř Açıları

Gⁱneřin gⁱkyⁱzⁱndeki konumu, dⁱnya ⁱzerindeki bir noktaya nazaran gⁱn ve yıl boyunca sⁱreklilik arz ederek değişmektedir. Gⁱkteki yıldızların ve gⁱneřin konumunu belirlemek için bⁱyⁱk bir yarıçapa sahip bir kⁱre çizilir ve bu kⁱre ⁱzerinde gⁱneř ve yıldızlar noktalar şeklinde oldukları kabul edilerek yapılan bu gⁱsterim şekline Gⁱkkⁱre denir. Gⁱkkⁱre-ekvator sistemi dⁱnyanın merkez olduğunu kabul ederek gⁱneřin yeryⁱzⁱnde bir noktaya nazaran hareketini takip etmek için kullanılmaktadır. Gⁱneřin yeri ve yeryⁱzⁱndeki noktaya gⁱre hareketi gⁱkkⁱre ⁱzerinde gⁱneř açıları ile tayin edilmektedir.

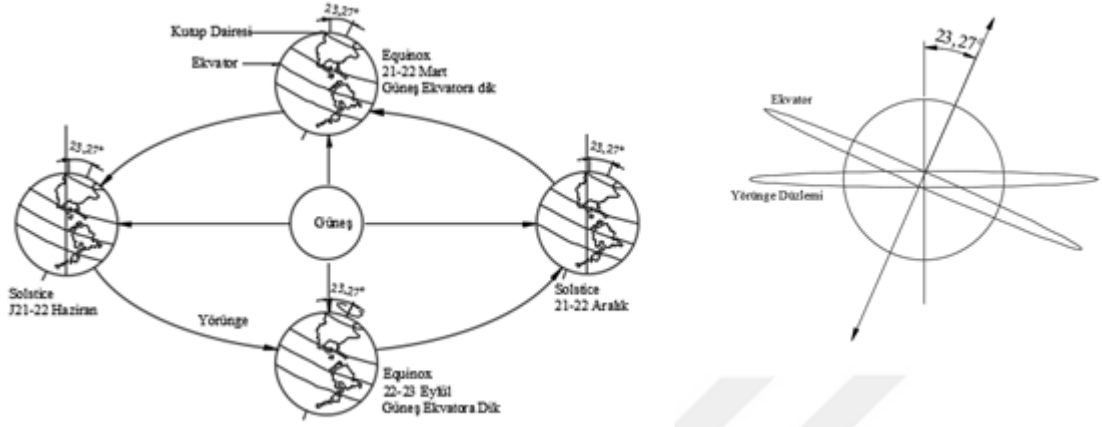
Işınımın değeri dⁱnyanın kendi eksenini etrafında ve gⁱneř çevresinde eliptik yⁱrⁱngesiyle dⁱnmesi sonucu farklı zamanlarda farklı bⁱlgelerde farklılık arzeder (şekil 3.5). Gⁱneřten gelen ışınlar ile dⁱnya ⁱzerindeki yⁱzeyler arasında belirli açılar oluşur. Gⁱneř enerjisinden etkin yararlanabilmek için gⁱneř açılarının bilinmesi gereklidir.

Kepler kanununa gⁱre, dⁱnyamızın yⁱrⁱnge dⁱzleminde dⁱnya-gⁱneř vektⁱrⁱ eşit zamanlarda eşit alanlar taramaktadır. Dⁱnya-gⁱneř mesafesi değiştiğinden dolayı dⁱnyanın yⁱrⁱnge hızı da periyodik olarak değişmektedir. Ayrıca dⁱnyanın ekvator dⁱzleminin normali ile yⁱrⁱnge ekseninin normali arasındaki açı 23,27° derecedir. Bu aynı zamanda ekvator dⁱzlemi ile yⁱrⁱnge dⁱzlemi arasındaki açıdır.

Solistic: Gⁱndⁱnⁱmⁱ 20-21 Haziran (en uzun gⁱn) ve 21-22 Aralık (en uzun gece)

Equinoks: Gece gⁱndⁱz eşitliği 21-22 Mart ve 22-23 Eylⁱl

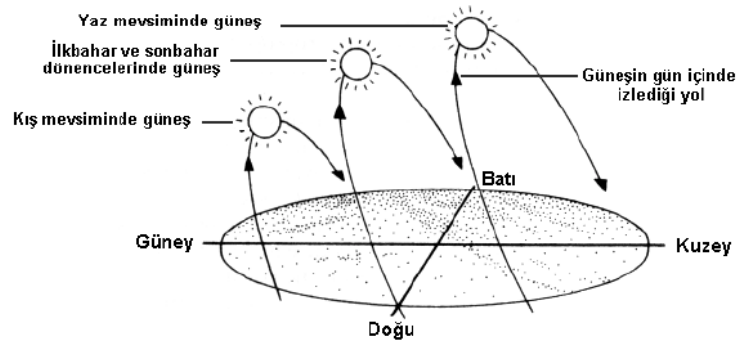
Dünya ekseninin yörünge eksenine göre eğikliği mevsimlerin meydana gelmesine, gece ve gündüz uzunluğunun değişmesine sebep olduğu gibi güneş doğrultusunun günlere göre değişmesine de sebep olmaktadır.



Şekil 3.5. Yörünge eksenini

3.2.1. Güneşin konumu

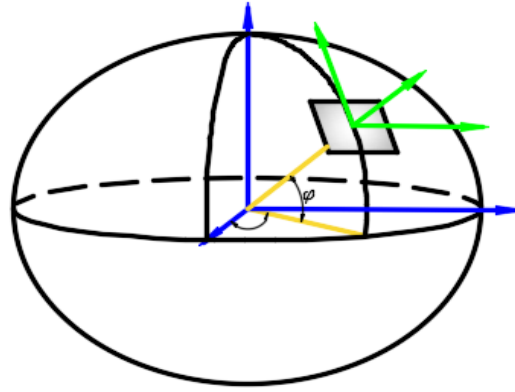
Yeryüzündeki bir gözlemciye göre güneş tüm yıl boyunca iki ekseninde hareket eder. Mevsimsel ve günlük olarak yaptığı hareket Kuzey yarımküre için Şekil 3.6'da verilmiştir (Batman, 2001).



Şekil 3.6. Güneşin mevsimsel ve günlük hareketi

3.2.2. Enlem açısı (φ)

Enlem açısı, yeryüzündeki herhangi bir noktayı dünya merkezine birleştiren doğrunun, dünyanın ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır.

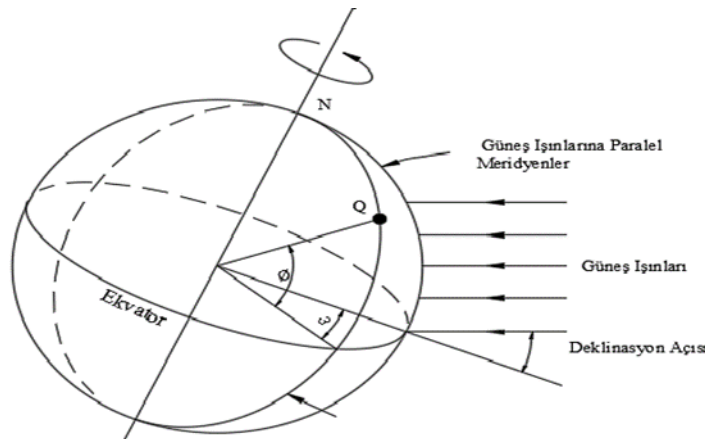


Şekil 3.7. Enlem açısı

Güneş yükseklik açısının hesaplanmasında da kullanılan enlem açısı, kuzey yön pozitif olmak üzere -90° ile 90° arasında değişir ($-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$). Türkiye, 36° - 42° kuzey enlemleri, 26° - 45° doğu boylamları arasında yer alır (Şekil 3.7).

3.2.3. Deklinasyon açısı (δ)

Güneş ışınları ve dünya arasındaki açısal ilişkiler bakımından en önemli açı deklinasyon açısıdır. Güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açı olarak tanımlanan bu açı Şekil 3.8’de görüldüğü gibi güneş ışınlarının aylar ve mevsimlere göre dünyaya geliş açısıdır. Deklinasyon açısının diğer bir adı da sapma açısıdır.



Şekil 3.8. Deklinasyon ve saat açısı

Deklinasyon açısının kaynağı dünyanın kendi eksenini ve yörünge düzlemi ile yaptığı $23,27^\circ$ 'lik açıdır. Eğer dünya dönme ekseninde eğik olmasaydı deklinasyon açısı daima sıfır olurdu.

Deklinasyon açısı; $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$ açıları arasında yer alır. Bunun sebebi ise dünyanın etrafında döndüğü kutupsal eksen, uzayda kendi yörünge düzlemine $66,55^\circ$ 'lik bir açıyla sabitlenmesindendir. Deklinasyon açısı yaz ortasında (21 Haziran) en yüksek ($2,45^\circ$), kış ortasında (21 Aralık) ise en düşük ($-23,45^\circ$) açısal değerdedir. Eşitlik 3.1 deklinasyon açısı hesabı için kullanılır.

$$\delta = 23,45 \cdot \sin[(360/365) \cdot (284+n)] \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte yer alan n , 1 Ocak'tan itibaren gün sayısıdır.

3.2.4. Saat açısı (ω)

Güneş ışınlarının bulunduğu boylam ile göz önüne alınan yerin boylamı arasındaki açıya denir. Bu açı, güneş boylamının göz önüne alınan yerin boylamı ile kesiştiği güneş öğlesi'nden itibaren önce ise (-), sonra ise (+) olarak alınır.

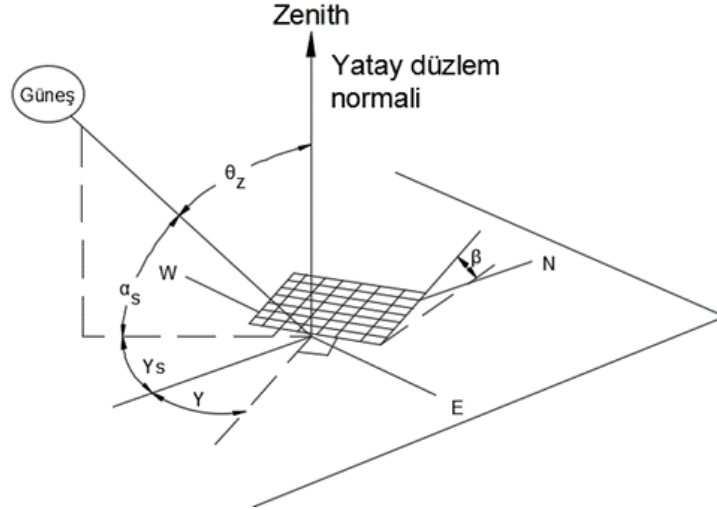
Güneş öğlesinde, güneş saati (GS) 12'dir. Güneş öğle vakti ile ilgili zaman arasındaki saat farkı, 15 sabit sayısı ile çarpılarak güneş saat açısı bulunur. Bu sabit sayı, dünyanın güneş etrafında bir defa dönüşü sırasında kat ettiği 360° 'lik açının 24'e bölünmesi ile elde edilmiştir.

3.2.5. Zenit açısı (θ_z, ψ)

Güneş ışığı ile yüzeyin normali arasındaki açıdır (Şekil 3.9). 0° ile 90° arasında değişir. Gündoğumunda ve günbatımında bu açı 90° iken öğle saatinde bu açı 0° dir. Bu açı diğer açılar yardımı ile hesaplanabilir.

$$\cos(\psi) = \sin(\phi) \sin(\delta) + \cos(\delta) \cos(\omega) \quad (3.2)$$

$$\psi = 90 - \alpha \quad (3.3)$$



Şekil 3.9. Zenit ve yükseklik açısı

3.2.6. Güneş yükseklik açısı (α)

Güneş yükseklik açısı, direkt güneş ışını ile yatay düzlem arasındaki açıdır. Güneş yükseklik açısı, zenit açısını 90° 'ye tamamlar (Eşitlik 3.4). Güneş yükseklik açısı gündoğumu ve günbatımında 0° dir, öğlen 90° dir.

$$\alpha = 90 - \psi \quad (3.4)$$

$$\alpha = \sin^{-1} [\cos(\delta) \cos(\varphi) \cos(\omega) + \sin(\delta) \sin(\varphi)] \quad (3.5)$$

3.2.7. Güneş azimut açısı (γ_s)

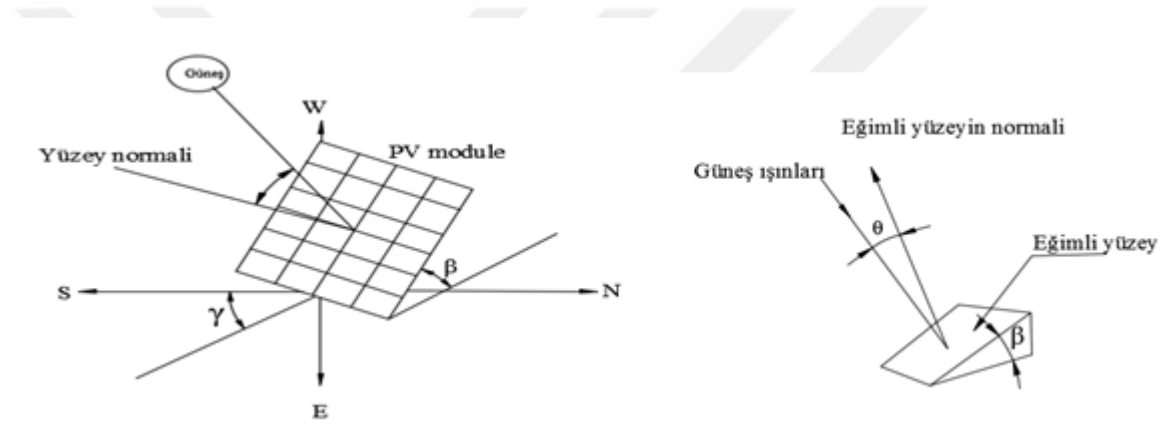
Güneş azimut açısı, Şekil 3.10'daki gibi güneş dünya doğrultusunun yatay düzlemdeki izdüşümünün, kuzey-güney doğrultusu ile yapmış olduğu açı olarak tanımlanır. Güneyden doğuya doğru (-), batıya doğru (+) olarak kabul edilir. Saat 12:00'de bu açının değeri 180° olur.

3.2.9. Geliş açısı (θ)

Geliş açısı, eğik düzlemin normali ile eğik düzleme doğrudan gelen güneş ışınları arasındaki açıdır (Şekil 3.12). Bu açı, yüzey güneş ışınlarına dik ise, geliş açısı 0° , paralel ise 90° 'dir. Geliş açısı, güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında kullanılır.

3.2.10. Eğim açısı (β)

Eğim açısı, PV (photovoltaic) modülün yüzey ile yaptığı açıdır (Şekil 3.12). Bu açı genellikle bulunulan yerin enlem açısına eşit olarak alınır. $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$.



Şekil 3.12. Geliş ve Eğim açısı

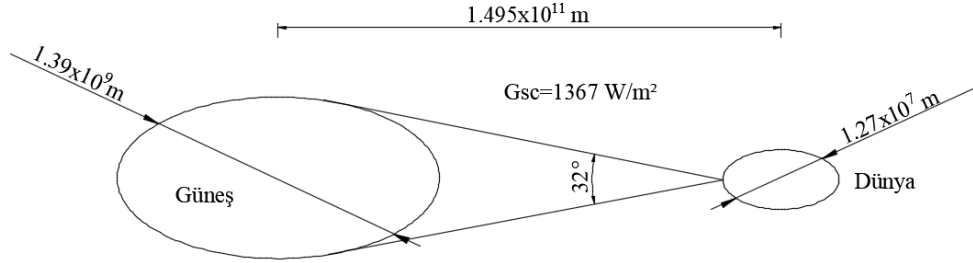
3.3. Güneş Işınım Bilgileri

Güneş'ten gelen toplam elektromanyetik ışıdır. Güneş'in çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkar. Görünür ışık, kızılötesi ve morötesi formlarında bulunur. Güneş'in yüzeyinde güneş ışıının yoğunluğu yaklaşık $6,33 \times 10^7 \text{ W/m}^2$ 'dir ve bu durum güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesinin bir sonucudur.

3.3.1. Güneş sabiti

Dünyanın güneş etrafında çizdiği yörünge elipsittir. Dünya güneş arası mesafe $1,495 \times 10^{11} \text{ m}$ dir. Bu değer %1,7 oranında değişir. Güneşten gelen ışıma güneş sabiti denir ve G_{SC} ile gösterilir. Güneş sabiti, atmosfer öncesinde ışıma doğrultusuna dik birim alana birim zamanda güneşten gelen enerjidir ve ortalama güneş-dünya mesafesi için

değeri Şekil 3.13'te görüldüğü gibi $G_{SC} = 1367 \text{ W/m}^2$ 'dir. Bu değer dünya-güneş mesafesinin değişken olmasından dolayı farklı günlerde $\pm\%3$ değişebilir. Güneş ışınlarına dik 1 m^2 alana saniyede gelen güneş enerjisi 1367 J 'dür.



Şekil 3.13. Güneş sabiti

3.3.2. Işınım Güç Yoğunluğu ve Toplam Işınım

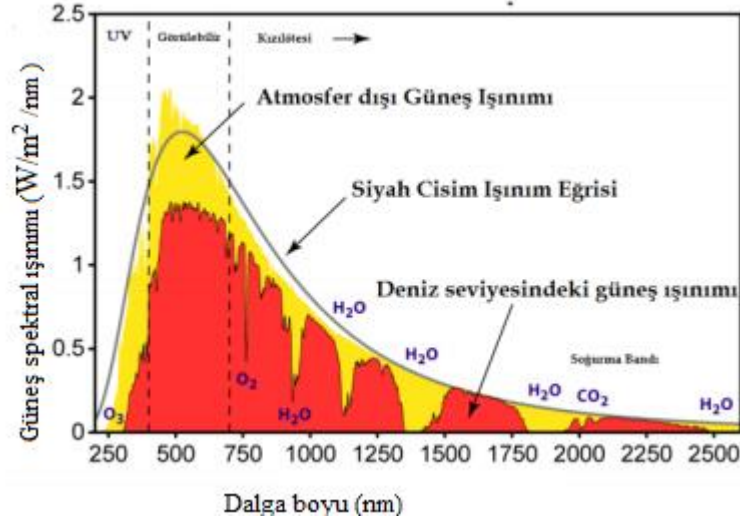
Işınım güç yoğunluğu, gücün anlık bir ölçüsü olup ışıının gücünün birim alandaki değeridir. Güneş ışınlarının yerküreye düşen iz düşüm alanıyla hesaplanır. Birim olarak W/m^2 veya KW/m^2 ya da MJ/m^2 ile ifade edilir. Günlük toplam ışıının belli bir zaman aralığında birim alana düşen toplam enerji miktarıdır.

3.3.3. Atmosfer dışı ışıının

Atmosfer dışı ışıının güneşten gelen ışınların atmosfer dışındaki oluşturduğu yatay düzlemin birim alanına gelen anlık toplam ışıınma denir. Dünya ile güneş arasındaki uzaklığın değişimi atmosfer dışındaki ışıının miktarında $\pm\%3,5$ oranında bir değişim olmasına sebep olur.

3.3.4. Işınım spektrumu

Güneş ışınlarının dalga boyları $0,1\text{-}3 \mu\text{m}$ arasında değişir. Güneşten gelen ışınların dağılımının $\%9$ 'u morötesi (ultraviole) bölgede, $\%45$ 'i görünür ışık (visible) bölgesinde ve geri kalan $\%46$ 'sı kızılötesi (infrared) bölgede yer alır (Şekil 3.14). Işık, insan gözünün duyarlılığına dayanan ve elektromanyetik spektrum içerisinde yaklaşık $380\text{-}720 \text{ nm}$ dalga boyları arasındaki görünür ışıının enerjisidir (Şahan ve ark., 2015).

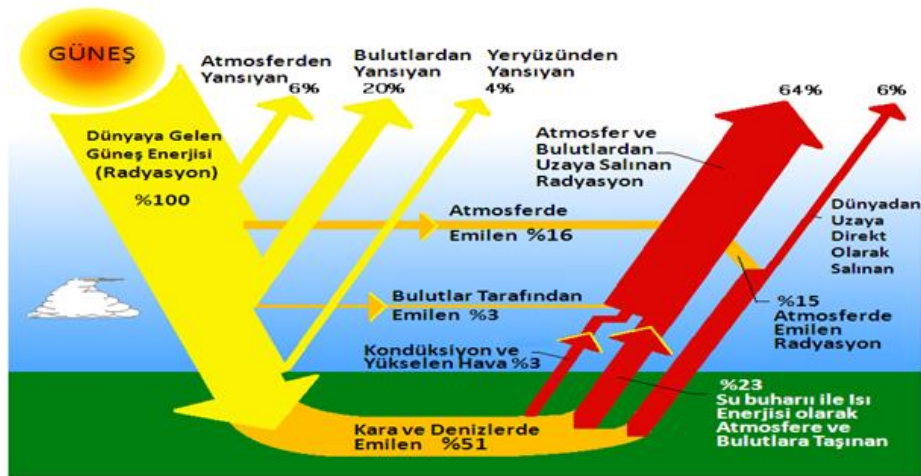


Şekil 3.14. Işınım spektrumu (Şahan ve ark., 2015).

Işınım, belirli sıcaklıktaki bütün cisimlerin yüzeylerinden sürekli olarak enerji yayılmasıdır.

3.3.5. Atmosferik etkiler

Yerçekiminin etkisi ile yeryüzünü çepeçevre saran gaz kütlesi atmosfer olarak tanımlanır. Atmosfer saydam ve renksizdir. Ancak atmosferin içerisinde bulunan su buharı güneşten gelen ışınları bir prizma gibi kırarak beyaz ışınların en küçük dalga boylu ve en çok kırılan mavi renkli ışınlardan dolayı mavi görünmesine sebep olur.

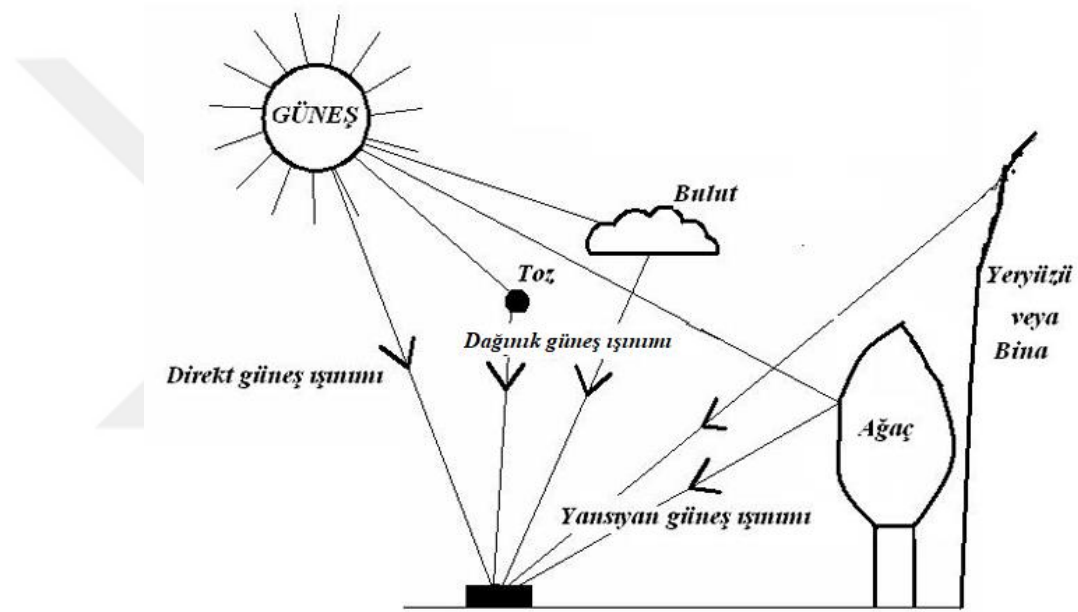


Şekil 3.15. Yeryüzüne ulaşan güneş ışınımı

Atmosferi geçerek dünyaya ulaşan güneş ışınlarının tamamı yüzeye ulaşamaz. Yüzeye doğrudan ulaşan ışık miktarı % 48-51 arasındadır. Geri kalan miktarı hava kütlesi içerisinde dağılmaktadır. Bu dağılım Şekil 3.15'te gösterilmiştir.

3.3.6. Direkt ışıınım

Direkt ışıınım, güneş ışınlarının güneşten çıkıp dünyanın atmosferini geçerek, kırılmadan ve dağılmadan yüzeye dik gelen ışıınımdır (Şekil 3.16), “beam radiation” da denir.



Şekil 3.16. Güneş ışıınının bileşenleri (Bulut, 2009)

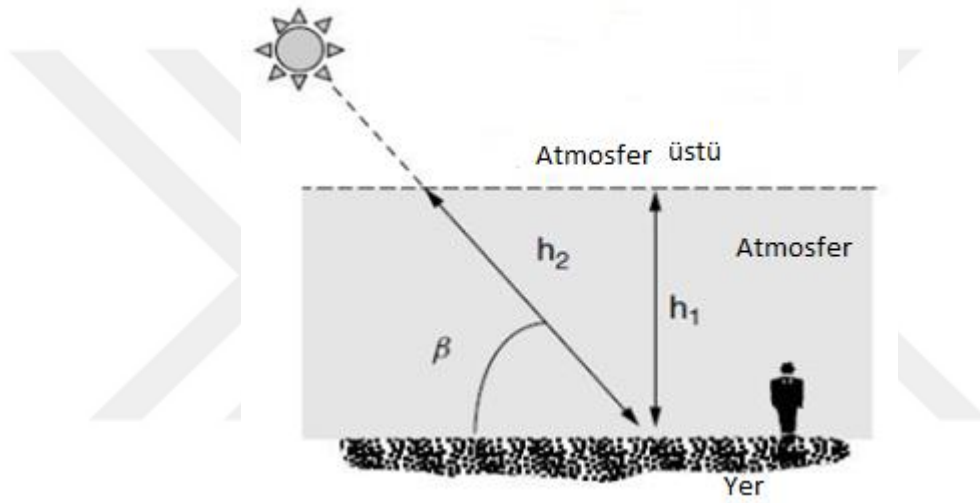
3.3.7. Dağınık ışıınım

Dağınık ışıınım, güneşten gelen atmosferde dağılmaya uğramış ışınların yeryüzüne ulaşan kısmına denir. Dağınık ışıınının temel kaynağı güneşten gelen ve atmosferde kırılmaya uğramış ışınlardır. Dağınık ışıınının diğeri bir kaynağıysa (Albedo Işıını) dünya yüzeyine gelmiş güneş ışınlarının yüzeyden yansımaları sonucu uzaya geri dönme sürecindeyken bazıları bulut veya atmosfer içindeki diğeri katmanlardan geçemeyerek dünya yüzeyine geri dönen dağınık ışıınım kaynağıdır.

3.3.8. Hava kütle oranı (air-mass ratio)

Hava kütle katsayısı, dünya atmosferi boyunca doğrudan optik yol uzunluğunu tanımlar (Şekil 3.17). Dikey olarak yukarı doğru, yani zenitte yol uzunluğuna göre bir oran olarak ifade edilir. Hava ışınlamı atmosferin içinden geçtikten sonra güneş spektrumunu karakterize etmek için hava kütle katsayısı kullanılabilir.

$$Am = \frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{\cos \beta} \quad (3.6)$$

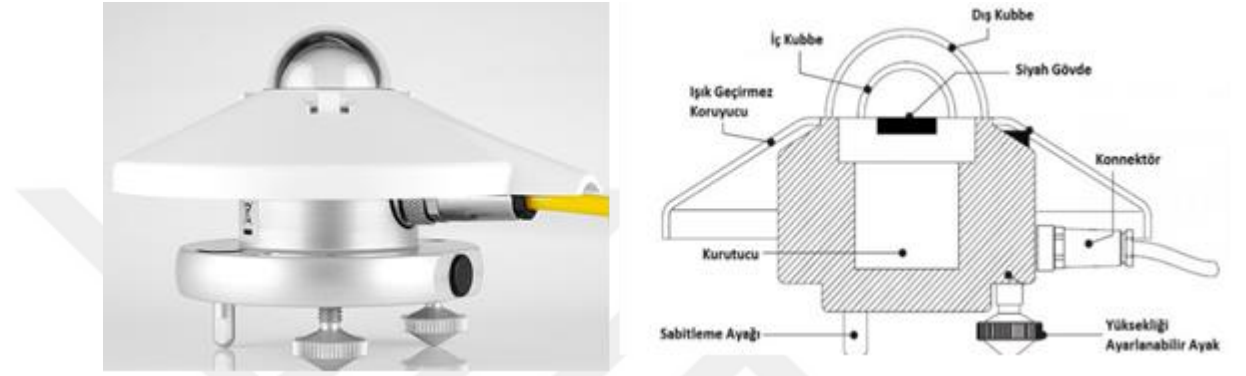


Şekil 3.17. Air-mass (Anonim, 2023b)

3.3.9. Güneş ışınlam ölçümü

Güneşten yeryüzüne gelen toplam enerjinin 1/3'ü atmosfer içinde soğurulur veya dağılır. Bunların dışında bazı güneşten gelen ışınlar yeryüzüne gelmeden uzaya geri yansır. Buna göre ışınlam güç yoğunluğu sabit 1366W/m² olarak kabul edildiğine göre güneşin tam dik olarak geldiği ve maksimum değerine ulaştığı zaman aralığında ışınlam güç yoğunluğunun yaklaşık 2/3'ü dünyaya gelebilmektedir. Bu sebeple ölçüm sistemlerinde güneş sabiti değeri de 1000W/m² olarak alınmaktadır. Küresel ışınlam yeryüzüne düşen direkt güneş ışınlamı ve dağınık güneş ışınlamının toplamından oluşmaktadır. Yatay düzleme gelen güneş ışınlamlarının ölçümünde toplam ışınlam miktarından hesaplamalar yapılırken eğik yüzeylere gelen ölçümlerde direkt ışınlam, dağınık ışınlam ve yansıyan ışınlamın toplamından oluşmaktadır. Ölçüm Piranometre adı verilen cihaz yardımıyla

gerçekleşmektedir. Piranometre bir çeşit sensör olup, küresel ışıınımı yarım küresel alan içinde ölçmeye yarar. Piranometre hem direkt hem de dağınık ışıınımı ölçer. Direkt ve dağınık ışıınım sensörleri bitişik diziler halinde aynı tabanda olacak şekilde yerleştirilmiştir. Sensörler belli aralıklarla veri toplayıp sistem içinde bulunan veri sağlama ekipmanlarına kaydedilir. Bu sayede ölçüm yapılmak istenen yerin toplam ışıınım güç yoğunluğu ölçülür. Piranometreler 0,3 μ m ile 3 μ m arasında değişen dalga boylarının yarı küresel ışıınım akısını ölçmektedir.



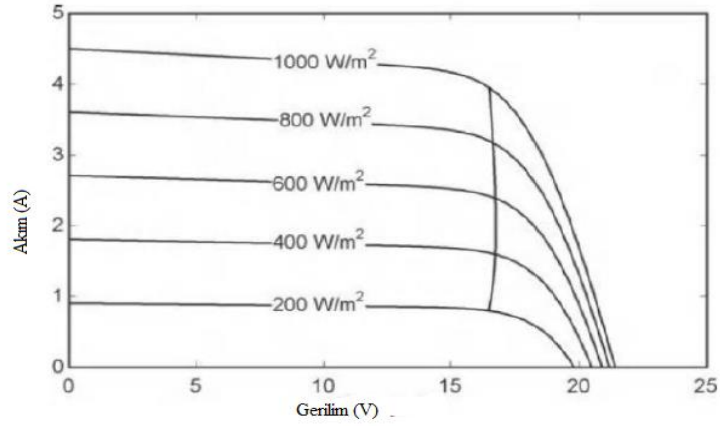
Şekil 3.18. Piranometre

3.4. Fotovoltaik Hücre

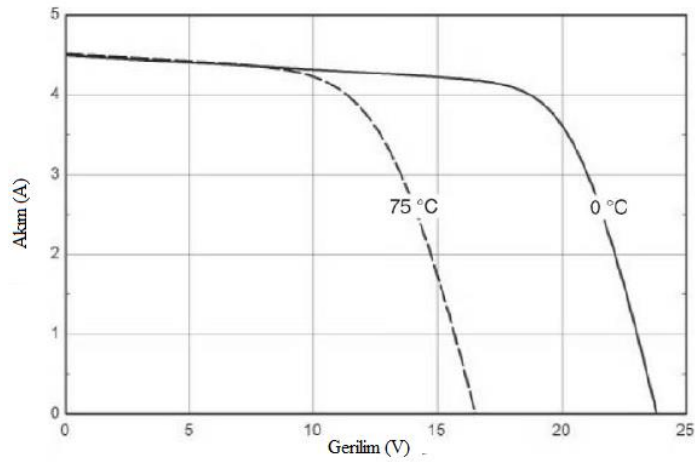
Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen ve kalınlıkları 0,2-0,4 mm arasında olan güneş pilleri yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir. Güneş pilleri, en yaygın olarak silikonun kullanıldığı yarı iletken malzemelerden yapılır. Bir güneş pilinin verimliliği, üretilen elektrik gücünün panel üzerine gelen güneş ışıınımı miktarına bağlı olarak değişir. Bu verimlilik yarı iletken malzemeye ve yapısına bağlıdır. Güneş pilleri kristal silikon, mono-kristal veya polikristalden veya amorf silikon, CdTe (kadmiyum-telluroid) ve CIS/CIGS'den (kadmiyum-indiyum-galyumselenid ve bakır indiyum galyum diselenid) olabilen ince filmlerden yapılabilir (Zagorska ve ark., 2014).

Güneş pili, farklı enerji bandı boşluklarına sahip çeşitli malzemelerden oluşan birçok katmanın üst üste istiflendiği çoklu bağlantıya sahip olabilir. Daha düşük spektrumlu ışıınım enerjisi, daha düşük üretilen gücü sağlar. Ayrıca, hava sıcaklığının artması, bir fotovoltaik panel tarafından üretilen elektrik gücünde düşüşe neden olur. Bir panel üzerine düşen güneş ışıınımının artması, panelin güç çıkışıını artıracak ve verimliliği de biraz artıracaktır. Şekil 3.19, güneş ışıınımının bir güneş panelinin akımı ve voltajı,

dolayısıyla gücü üzerindeki etkisini, Şekil 3.20 ise güneş hücresi sıcaklığının fotovoltaik panelin akımı ve voltajı üzerindeki etkisini göstermektedir (Duffie ve Beckman, 1991).



Şekil 3.19. Güneş ışınımının panel üzerindeki etkisine ait akım-gerilim etkisi (Alhaidari, 2017)



Şekil 3.20. Sıcaklığın panel üzerindeki etkisine ait akım-gerilim etkisi (Alhaidari, 2017)

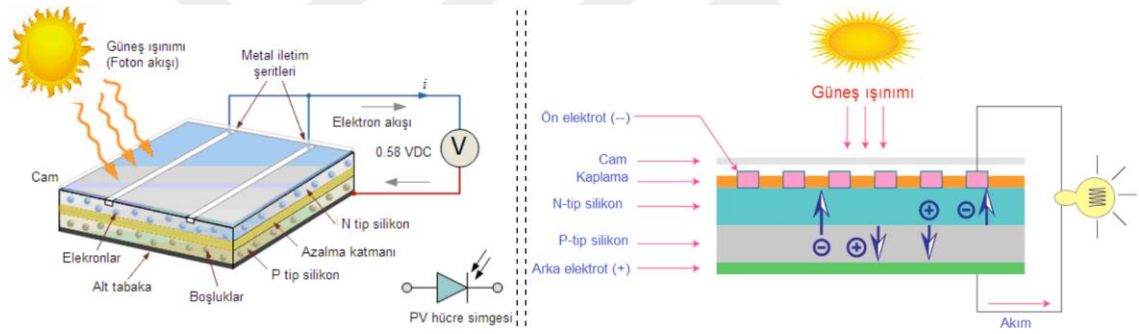
Bu piller seri ve paralel bağlanarak yüksek güce sahip güneş panelleri elde edilmektedir. Fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışan bu pillerin üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Pilin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş ışınım enerjisidir. Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak %28'e kadar verimle elektrik enerjisine çevrilebilir (Anonim, 2023a).

3.4.1. Fotovoltaik pillerin yapısı

Güneş pili, Güneş Hücresi, Güneş Gözesi veya Fotovoltaik hücre olarak adlandırılan yapı çok katmanlıdır. Güneş ışığı, hücrenin en üst katmanındaki yarı iletken

çarptığında elektronlar uyarılır ve alt katmana çekilir. İki katman arasındaki elektron hareketliliği, elektrik akımının oluşmasını sağlar. Yarı iletken malzemelerin güneş pili olarak kullanılabilmesi için n ya da p tipi katkıları gerekir. Fotoelektrik olay prensibine dayanarak pilden fotonlar tarafından kopartılan elektronlar n ya da p ekleme hareketine geçer ve bir elektrik akımı oluşturur. Yarı-iletken özellik gösteren birçok madde arasında silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddeler güneş pili yapmak için en elverişli olanlardır.

Güneş ışınlarından gelen fotonlar yarıiletken eklemler sayesinde n tipinden kopan elektronlar p tipine doğru hareket eder (Şekil 3.21). Yük dengesi oluşuncaya kadar bu olay her iki tarafta devam eder. Yarıiletken tarafından emilen ışık akısının fotonları, yarıiletken parçanın iki tarafında ayrı ayrı toplanan elektron-hol çiftlerini oluşturur. Bunun sonucunda, eklemin aydınlanan yüzüyle ve buraya düşen ışığın yoğunluğuyla orantılı bir elektrik akımı meydana gelir.



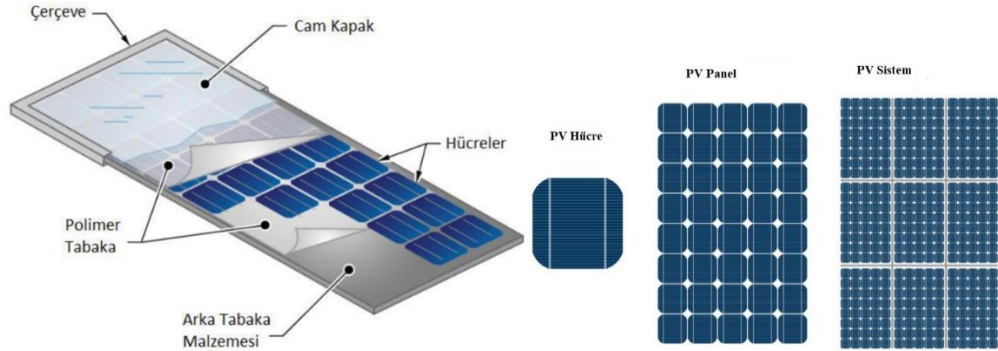
Şekil 3.21. Güneş Pili (Fotovoltaik pil) (Öztürk, 2017)

PV hücre üretiminde neredeyse sadece silisyum yarı iletken malzeme kullanılmaktadır. Bir PV tesisin temel bileşeni PV hücredir. PV Hücre standart koşullarda (25°C sıcaklık, 1000 W/m^2 ışıma gücü) yaklaşık 4-5 Watt güç üretir. Bir PV panelin güç çıkışına pik güç (W_p) denir. Hücrelerin birbirlerine monte edilmesiyle PV modül ve modüllerin seri bağlanması ile de diziler elde edilir.

3.4.2. Fotovoltaik panel

Fotovoltaik panel, hücrelerin (güneş pili) birbirine seri ya da paralel bağlanması ile elde edilen yapılardır. Bir panel beş bölümden meydana gelir. Bunlar alt üst polimer tabakalar, fotovoltaik hücreler, cam kapak, metal dış çerçeve ve parçaların üzerine

yerleştirileceği arka taban plakasıdır. Şekil 3.22 de fotovoltaik panel ve bileşenleri görülmektedir.



Şekil 3.22. Fotovoltaik panel (Biçer, 2014).

3.5. Matematiksel Modeller

Güneş enerji sistemleri tasarlanırken ve geliştirilirken, PV paneller üzerine düşecek olan ışıma değeri bilinmesi gereklidir. Fakat dünyanın birçok bölgesinde bulunan lokasyonlar ile ilgili ışıma verilerini bulmak mümkün olmamaktadır. Bu sebeple yatay düzlem üzerine gelen ışıma verilerinin tahmini için metotlar geliştirilmiştir. Eğik düzleme gelen ışıma deneysel çalışmalar dışında ölçülmemektedir. Onun için eğik düzleme gelen ışıma değeri, yatay düzleme gelen ışıma değerlerinden faydalanarak elde edilen modellerle hesaplanmaktadır.

Güneşlenme süresine bağlı eşitliklerin genel formülü eşitlik (3.7) de verilmiştir. Burada aylık ortalama günlük küresel güneş ışıma H , aylık ortalama atmosfer dışı güneş ışıma H_0 , güneşlenme süresi t ve gün uzunluğu t_g dir.

$$\frac{H}{H_0} = a + b\left(\frac{t}{t_g}\right) \quad (3.7)$$

Bu eşitlikte a ve b ampirik (deneysel) sabitlerdir. Çeşitli bölgeler için ölçülen güneş ışıma değerlerine bağlı olarak hesaplanmıştır.

$$a = 0,10 + 0,000017Z + 0,198 \cos(\varphi - \delta) \quad (3.8)$$

$$b = 0,533 - 0,165 \cos(\varphi - \delta) \quad (3.9)$$

$$t_g = \frac{2}{15} \cos^{-1} [-\tan(\delta) \tan(\varphi)] \quad (3.10)$$

$$H_0 = \frac{24}{\pi} G_{SC} f \left[\cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s) + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin(\varphi) \sin(\delta) \right] \quad (3.11)$$

Burada, G_{SC} güneş sabiti ($G_{SC}=1367 \text{ W/m}^2$), f düzeltme faktörü, δ deklinasyon açısı, φ enlem açısı ve ω_s güneş batış açısı, D yılın 1 Ocak'tan itibaren gün sayısı olarak ifade edilir. Yukarıda geçen f , δ , D ve ω_s değerleri eşitlik 3.12, eşitlik 3.13, eşitlik 3.14'te gösterildiği gibi hesaplanır. Burada, φ enlem açısı, δ deklinasyon açısı, Z deniz seviyesinden yüksekliktir.

$$f = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{360D}{365}\right) \quad (3.12)$$

$$\delta = 23,45 \sin\left[\frac{360(D+284)}{365}\right] \quad (3.13)$$

$$\omega_s = \cos^{-1} [-\tan(\varphi) \tan(\delta)] \quad (3.14)$$

Belirtilen temel eşitlikler literatürde kabul edilen eşitliklerdir. Bu eşitlikler farklı bölgeler için yapılan model geliştirme çalışmalarında araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde bulunan bölge için PV panellere ait optimum eğim açıları belirlenmiştir.

Güneş ışınımının yeryüzündeki büyüklükleri dağınık ve direkt ışınım olmak üzere iki temel kısma ayrılmaktadır ve bu iki değer toplamı küresel güneş ışınımı değerini vermektedir (Eşitlik 3.15).

$$H_t = H_b + H_d \quad (3.15)$$

Dağınık ışınım atmosferdeki havada bulunan partiküller, su buharı ve mikroskobik katı cisimlere çarparak dağınık şekilde yüzeye gelen güneş ışınlarından oluşmaktadır. Direkt ışınım dünya üzerindeki herhangi bir yüzeye dik olarak ve yön değiştirmeden, dolaysız olarak gelen ışınımdır. Açıklık indeksi (K_T) ve dağınık ışınım oranı (K_D) yatay düzleme gelen saatlik dağınık ışınım şiddetinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Açıklık indeksi K_T ; yatay düzleme gelen günlük dünya dışı güneş ışınımı H_0 (W/m^2), yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük toplam güneş ışınım H (W/m^2) dir.

Bu çalışmada, modellerin istatistiksel değerlendirmeleri Ortalama sapma hatası (MBE), Kök ortalama hatası (RMSE) ve Korelasyon katsayısı (r) gibi yöntemlerle test edilecektir. MBE, modellerin uzun vadeli performansı hakkında bilgi verir. Pozitif bir MBE, aşırı bir tahmin gösterir, yani tahmin edilen değerlerin gerçek değerlerin genellikle üstünde olduğu anlaşılmaktadır. Negatif bir MBE düşük tahmin gerektirir, yani tahmin edilen değerlerin gerçek değerlerin genellikle altında olduğu anlaşılmaktadır. RMSE, modellerin kısa vadeli performansı hakkında bilgi verir. RMSE her zaman pozitif değerler verir ve ideal durumda sıfırdır. Dolayısıyla, MBE ve RMSE, modelin tahmin hataları hakkında bilgi sağlar.

Ortalama sapma hatası:

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i) \quad (3.16)$$

Karekök ortalama hatası:

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2 \right]^{1/2} \quad (3.17)$$

Korelasyon katsayısı:

$$r = [(S_t - S_r)/S_t]^{1/2} \quad (3.18)$$

Standart sapma:

$$S_t = \sum_{i=1}^n (x_a - x_i)^2 \quad (3.19)$$

Ölçülen değerden hesaplanan değer sapması:

$$S_r = \sum_{i=1}^n (x_{ai} - y_i)^2 \quad (3.20)$$

Ölçülen değerlerin ortalaması:

$$X_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.21)$$

Geliştirilecek olan yeni model, literatürde mevcut olan ve en sık kullanılan modellerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma işlemi için yine en sık kullanılan, Ortalama sapma hatasının (MBE), ortalama mutlak öngerilim hatası (MABE), ortalama göreceli hata (MRE), kök ortalama kare hatası (RMSE) gibi istatistiksel test yöntemleri kullanıldı.

3.6. Veri Toplama

Güneş enerjisinin tespit edilmesi için, uydudan uzaktan erişim, coğrafi bilgi sistemleri, modelleme, hesaplama ve doğrudan ölçüm yöntemlerinden en az birisinin kullanılmasına gereksinim vardır. Farklı metotlarla geliştirilen tahmin yöntemleri gerçek ölçümlerin yerini tutamayacaktır. Tahmin metotlarının geliştirilmesinin amacı, gözlem ve ölçümün yapılamayacağı durumlardır. İstatistiki hesaplamalar, Angström formülasyonu, uydu verileri, görüntü işleme teknikleri ve coğrafi bilgi sistemleri gibi materyaller ışıınımı tahmin yöntemleri olarak kullanıldığı görülmektedir. Güneş enerjisinden verimli bir şekilde faydalanabilmek için konuma göre doğru ve uygun güneş enerjisi bilgisine ihtiyaç vardır. Geçmiş döneme ait uzun süreli günlük ve hatta saatlik bazdaki güneş ışıınım ölçümlerinden elde edilen veriler PV sistem tasarımında uzun dönem için doğru bir sonuç verir. PV eğim açısı optimizasyonu, küresel ışıınım ve dağınık ışıınının hesaplanması için saatlik veya günlük güneş ışıması ölçümlerine ihtiyaç vardır. Aşağıdaki veri kaynakları bu çalışmanın yürütülmesi için kullanılmıştır.

3.6.1. Işıınım verilerinin toplanması

Bu tez çalışması esnasında güneşin ışıınım değerleri, üç farklı küresel ışıınım değerleri olarak toplanmıştır. Birincisi yatay yüzeye gelen küresel ışıınım saatlik ortalamaları Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınmıştır. İkincisi NASA'nın uydular aracılığıyla topladığı atmosfer dışı küresel (global) ışıınım değerleridir. Üçüncü olarak kurulan deney düzeneği üzerinden alınan eğik yüzeye gelen küresel ışıınım değerleridir.

3.6.2. Meteoroloji genel müdürlüğü (MGM) verileri

Ülkemizde güneşlenme süresi ve güneş ışıması ölçüm ve rasatları 1936 yılında yapılmaya başlanmıştır. Meteoroloji istasyonlarında düzenli olarak güneş ışıını,

güneşlenme süresi ve bulut kapallılığı gözlem ve ölçümleri yapılmaktadır. Bu çalışmada veri desteği Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) sağlanmıştır. Geçmiş yıllara ait süreli günlük ve saatlik bazdaki güneş ışıınım ölçümleri ve güneşlenme süreleri verileri MGM den alınmıştır.

3.6.3. NASA SSE

NASA SSE (Surface meteorology and Solar Energy. V.6.0), 22 yıllık veriyi (1983 – 2005) ve 200'den fazla uydu temelli meteorolojik ve güneş enerjisi parametresini ücretsiz olarak web ortamında sunmaktadır. Konya konumu için Dağınık ışıınım modeli geliştirilmesinde kullanılmıştır. Uydu tabanlı yöntemlerin asıl avantajı, geniş alanlar için tamamen tekdüze bir veri sağlamalarıdır. Bu veriler özellikle Dağınık ışıınım hesaplanmasında kullanılmaktadır.

3.6.4. Doğrudan ölçüm

Çalışma kapsamında Şekil 3.34 deki deney düzeneği oluşturulmuştur. Bu deney düzeneği ile bir yıllık doğrudan ölçümler yapılarak günlük ve saatlik bazdaki ışıınım değerleri kaydedilmiştir. PV panellerin optimum eğim açısının belirlenmesinde ayrıca bu ölçümlerden de faydalanılmıştır. Yapılan saha ölçümlerinde panellerin bulunduğu lokasyona ait eğik düzlem üzerine gelen ışıınım değerleri ölçülmüştür.

3.7. Kullanılan ekipmanlar

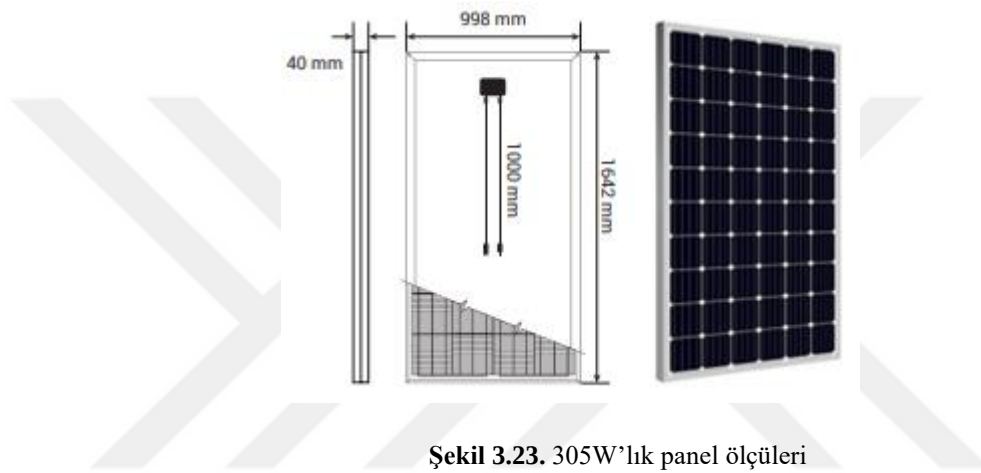
Bu bölümde kullanılan ekipmanlar ve ölçme cihazları ile deney düzeneği ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

3.7.1. Fotovoltaik paneller

Deneysel çalışmada 5 adet monokristal hücre yapısına sahip 305 W'lık paneller kullanılmıştır. Kullanılan panellere ait elektriksel veriler Çizelge 3.1'de, panelin uzunluk ölçülerine ait bilgiler ise Şekil 3.23'te verilmiştir. Panellere ait tüm veriler standart test koşullarında elde edilmiştir ($AM=1,5$ $E=1000W/m^2$, $T=25^{\circ}C$).

Çizelge 3.1. PV panel Elektriksel değerleri

Maksimum Güç	305	W
Maksimum Gerilim	32,24	V
Maksimum Akım	9,46	A
Açıkdevre Gerilimi	39,3	V
Kısadevre Akımı	9,74	A
Çalışma Sıcaklığı	-40~+85	°C
Tolerans	±5	
PV hücre sayısı	60	adet

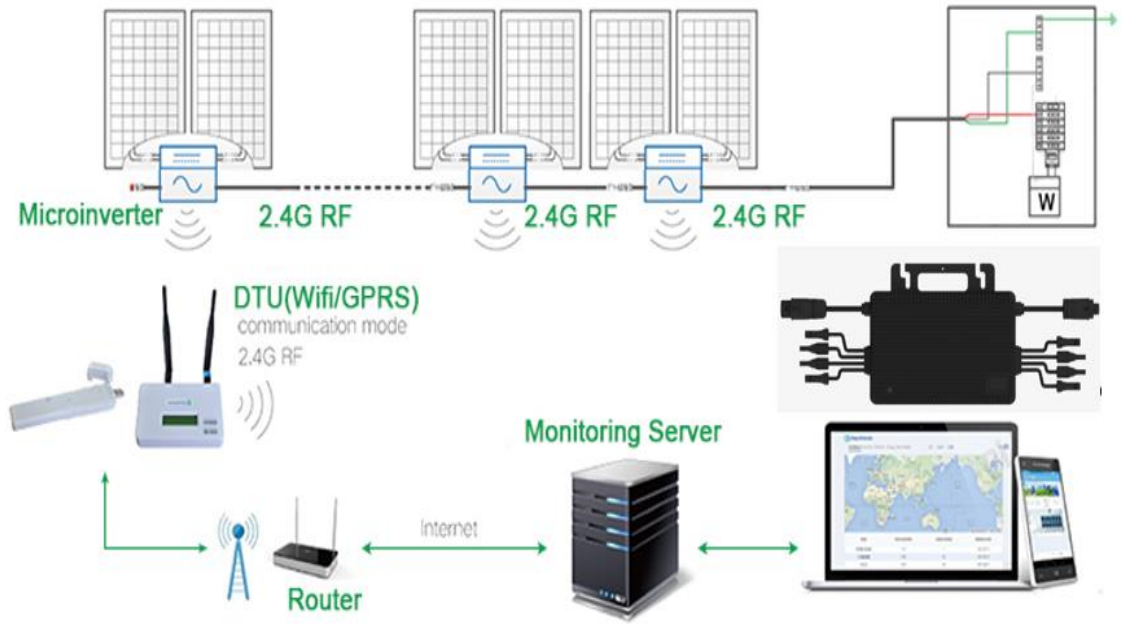


3.7.2. Mikroinverterler

PV paneller tarafından üretilen doğru akım elektrik enerjisini alternatif akıma dönüştürmeye yarayan elektronik cihazlardır. Akıllı sistem yöneticileri olarak bilinen solar invertörler her PV-tesisinin en önemli bileşenini oluşturur. Bu invertörler, sadece PV modüller tarafından üretilen doğru akım elektrik enerjisini alternatif akım elektrik enerjisine dönüştürmekle kalmayıp, aynı zamanda gücü denetlemekte ve yerel elektrik şebekesini kontrol etmektedir. PV paneller tarafından üretilen elektrik enerjisi mikroinverterler aracılığı ile şehir şebekesine bağlanmıştır. Çalışmada kullanılan mikroinvertere ait bilgiler Çizelge 3.2’de verilmiştir. İnverterler aynı zamanda PV panele ait akım, gerilim ve güç bilgilerini bilgisayar ortamına bir bulut hesabına kaydetmektedir.

Çizelge 3.2. İnverter Özellikleri

Maksimum Giriş Gerilimi	60	V (DC)
MPPT Gerilim Aralığı	27~48	V
Giriş Gerilim Aralığı	16~60	V
Başlangıç Gerilimi	22	V
Maksimum Giriş Akımı	10,5	A
Maksimum Kısadevre Akımı	15	A
Maksimum Çıkış Gücü	1000	W
Maksimum Çıkış Akımı	5	A (AC)
Nominal Çıkış Gerilimi	220~240	V (AC)
Nominal Çıkış Frekansı	50	Hz
Verim	%96,5	
Çalışma Sıcaklığı	-40~+65	°C



Şekil 3.24. Mikroinverter ve bağlantısı

Herbir panele ayrı ayrı bağlanan mikroinverterler maksimum güç noktası izleme (MPPT) özelliğine sahip oldukları için panelden elde edilen elektrik gücünü maksimum seviyede şebekeye aktarmaktadır. DTU (Data Transfer Unit), kablosuz olarak her bir mikro invertörden performans verilerini toplar ve verileri internet üzerinden hoymiles izleme sunucusuna gönderir. Şekil 3.24 mikroinverter ve bağlantı yapısı görülmektedir.

3.7.3. Ortam sıcaklık sensörü

Ortam sıcaklık sensörleri sabit bir alüminyum gövde ve sağlam hava koşuluna dayanıklı kablo ile donatılmıştır. Çizelge 3.3'te bilgileri ve Şekil 3.25'te resmi verilen sensörler çok yüksek doğruluk elde eder ve saha (PV modülü sıcaklığı) ortamlarında kullanım için idealdir.

Çizelge 3.3. Sıcaklık sensör özellikleri

Sensör	PT100	
Ölçüm Aralığı	-40~+180	°C
Hassasiyet	-+0,3	°C
Analog Çıkış	0-10~4-20	V/mA
Besleme	24	V (DC)



Şekil 3.25. Ortam sıcaklık sensörü

3.7.4. Modül sıcaklık sensörü

PV Modülü sıcaklık sensörleri bir yapışkan muhafaza ve sağlam hava koşuluna dayanıklı bir kablo ile donatılmıştır. Çizelge 3.4'te belirtilen özelliklere sahip olan sensör PV modülün arkasına yerleştirilerek modül yüzey sıcaklığı ölçülür. Şekil 3.26 modül sıcaklık sensörünü göstermektedir.

Çizelge 3.4. Panel sıcaklık sensörü özellikleri

Sensör	PT100	
Ölçüm Aralığı	-50~+100	°C
Hassasiyet	-+0,5	°C
Analog Çıkış	0-5~4-20	V/mA
Besleme	24	V (DC)



Şekil 3.26. Modül sıcaklık sensörü

3.7.5. Işınım piranometresi

Işınım, elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar biçimindeki enerji yayımı ya da aktarımıdır. Kararsız haldeki atomların enerji yayarak kararlı hale gelmesine ışınım denir. Piranometre düzlemsel bir yüzey üzerinde küresel veya dağılma ışınımını ölçmek için kullanılan alettir. Piranometre, 2 katlı camdan oluşan yarım kürenin altına yerleştirilmiş ve bakır-konstantan ısıl çiftler içeren siyah metalden oluşur. Isıl çiftlerin sıcak eklemleri siyah metal yüzeyin alt tarafına yerleştirilmiştir. Soğuk eklemler ise ışınım almayacak biçimde yerleştirilmiştir. Piranometrenin esas prensibi şu şekildedir: Siyah yüzey, aldığı ışığı emerek oluşan elektriksel enerji sayesinde soğuk bir çevreden daha yüksek bir sıcaklığa erişir. 10 mV ila 20 mV arasında oluşan bu elektrik hareket gücünün belli bir zaman aralığında integrali alınır. Elde edilen sonuç küresel ışınımın ölçüm değeridir. Şekil 3.27 de görülen ve Çizelge 3.5'te özellikleri verilen piranometre 0,3µm - 3µm spektral aralıkta ölçüm yapmaktadır.

Çizelge 3.5. Işınım sensörü özellikleri

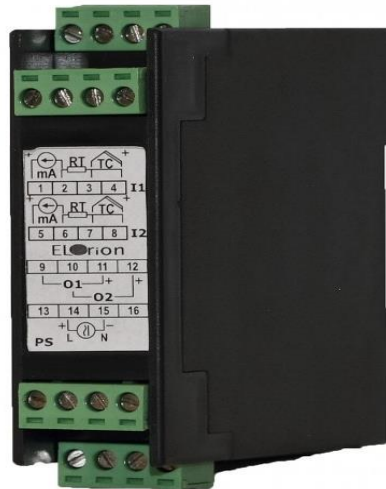
Hassasiyet	10	µV (W/m ²)
Ölçüm Aralığı	0~2000	W/m ²
Spektral Alan	305nm~2800nm	W/m ²
Çalışma Sıcaklığı	-40~+80	°C
Tepki Süresi	<30	s
Termal radyasyona tepki (200W/m ²)	25	W/m ²



Şekil 3.27. Piranometre

3.7.6. Analog sinyal dönüştürücü

Mikrodenetleyici tabanlı yapıya sahip olan bu cihazlar farklı analog sinyalleri standart analog sinyallere dönüştüren cihazlardır (Şekil 3.28). İki universal analog giriş ve iki analog çıkışa sahiptirler. Bu dönüştürücüler ile sensörlerden alınan verilerin değer kaybına uğramadan bilgisayar ortamına aktarılabilmesi sağlanmıştır Şekil 3.28 de Analog sinyal dönüştürücünün genel bir görünümü verilmiştir. Çizelge 3.6’da kullanılan sinyal dönüştürücünün özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.28. Analog Sinyal Dönüştürücü

Çizelge 3.6. Sinyal dönüştürücü özellikleri

Besleme Gerilimi	24	V (DC)
Analog Giriş Gerilim	0~50	mV
Analog Giriş Akım	4~20	mA
Analog Çıkış Gerilim	2~10	V
Analog Çıkış Akım	4~20	mA
Doğruluk	+/-%0,2	
Örnekleme Zamanı	400	ms
Çalışma Sıcaklığı	-10~+55	°C

3.7.7. Veri toplama kartı (data logger)

Işınım ve sıcaklık sensörlerinden elde edilen analog sinyallerin bilgisayar ortamında kayıt altına alınabilmesi için National Instruments firmasına ait NI6221 serisi veri toplama kartı kullanılmıştır. Şekil 3.29 da gösterilen 16 adet analog girişe sahip olan bu kartın analog girişlerine beş adet ışınlm sensörü, beş adet panel sıcaklık sensörü ve bir adet ortam sıcaklık sensörü bağlanmıştır. Çizelge 3.7’de kullanılan veri kartının özellikleri tanıtılmıştır.

Çizelge 3.7. Data logger özellikleri

Kanal Sayısı	8 differential ya da 16 single ended
Çözünürlük	16 bits
Örnekleme oranı	250kS/s
Zamanlama Doğruluğu	50 ppm örnekleme zamanı
Zamanlama Çözünürlüğü	50ns
Giriş aralığı	-/+0,2V, -/+1V, -/+5V, -/+10V
Maksimum analog giriş çalışma voltajı	-/+11V



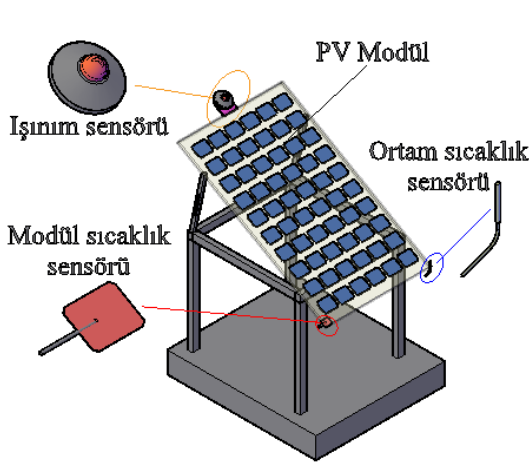
Şekil 3.29. Veri toplama kartı

3.8. Deney düzeneğinin tasarımı ve gerçekleştirilmesi

Deney düzeneğinin kurulum aşamasında kullanılan PV panellerin eğim ve yönlendirme açıları önemlidir. Zira paneller uygun açılarda ve yönde konumlandırılmaz ise yeterli oranda güneş ışınlamına maruz kalamayacakları için panelin enerji üretim verimliliği düşük olacaktır. Dolayısıyla tüm santralden elde edilen elektrik enerjisinin değeri de düşük olacaktır. Bu sebeple PV panellerden en üst seviyede verim elde edebilmek için, onların daha yüksek oranda ışınlam alabilecekleri eğim ve azimut açılarında yerleştirilmeleri büyük önem taşımaktadır. PV panellerin kurulacağı bölge ile ilgili küresel ışınlam değerlerini Meteoroloji Müdürlüklerinden elde etmek mümkündür. Fakat bu veriler yatay düzleme gelen ışınlam verileri olup panellerin yerleştirilecekleri eğimde küresel ışınlam değerleri mevcut değildir. Güneş Enerjisi santrallerinin saha uygulamalarında genellikle PV paneller bulunan lokasyonun eğimi referans alınarak yerleştirilmektedir. Optimum (en uygun) eğim açısının belirlenmesi amacı ile yapılan çoğu ışınlam modellerinde kullanılan veriler yatay düzleme gelen ışınlam verileridir.

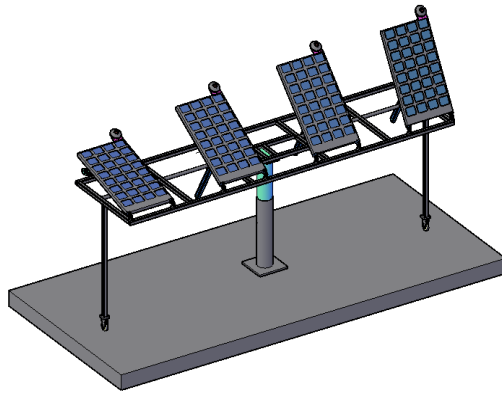
Sistem kurulumu için, öncelikle PV panellerin montaj yapısı yanı sıra inverter ve sensör seçiminde, PV panelin teknik ve elektriksel özellikleri titizlikle göz önünde bulundurulmuştur.

Bu çalışma hem deneysel olarak hem de matematiksel olarak gerçekleştirilmiş olup, Konya ili için PV panellerin en uygun eğim ve azimut açılarının tespitine odaklanmıştır. Biri sabit diğeri hareketli olmak üzere iki adet deney düzeneği kurulmuştur. Sabit olan panel güney doğrultusunda 0° azimut açısında ve 30° eğim açısında Şekil 3.30'da görüldüğü gibi konumlandırılmıştır.



Şekil 3.30. Sabit montaj

Şekil 3.31'de görüldüğü gibi, diğer deney düzeneği ise bulutluluğu engellemek amacıyla panel arasındaki zorunlu mesafeleri ve mekanik kısıtlamaları göz önünde bulundurarak tasarlanmıştır. Bu tasarım, ölçümlerin hızlı ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamak için platformda dört adet panelin yerleştirilmesine olanak tanımaktadır.



Şekil 3.31. Azimut açısı ayarlanabilen PV panel sistemi

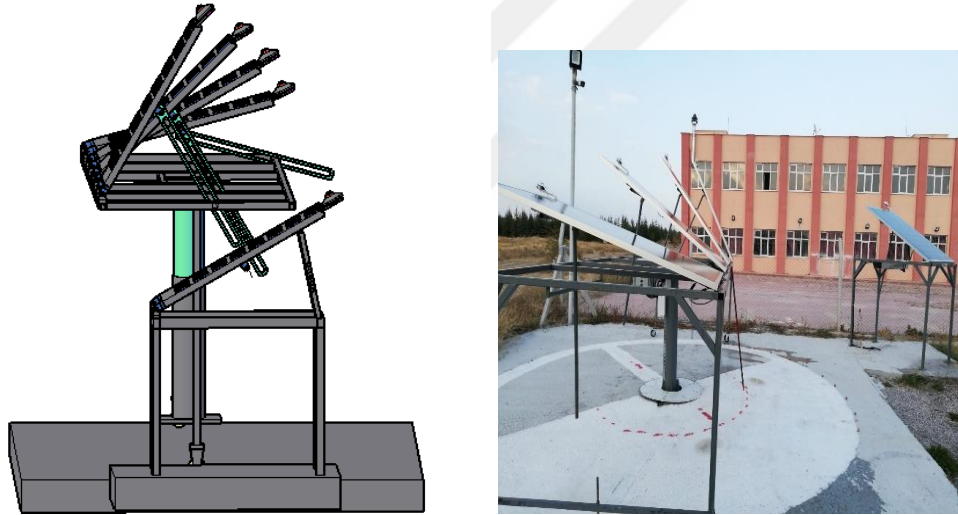
Tasarım azimut açısının güney-doğu ve güney-batı yönlerinde ayarlanabildiği bir yapı üzerinde farklı eğim açılarında yerleştirilmiş dört adet panelden oluşmaktadır. Bu yapı sayesinde aynı azimut açısı için 4 farklı eğimde ışıınım değeri elde etmek mümkün olmuştur.

Verilen hareketli sistemde PV panellerin eğim açıları 15° ile 60° arasında 15° 'lik fark ile yerleştirilmiştir. Azimut açıları da güney 0° ile doğuya doğru 60° ve batıya doğru 60° olacak şekilde ayarlanabilmektedir. Azimut açısı artış oranı 10° 'lik açı değişimleri ile olmaktadır. Şekil 3.32 ve Şekil 3.33'te görüldüğü gibi deneysel test düzeneğinde

ışınım piranometresi ile sıcaklık değerlerini ölçmek için modül sıcaklık sensörü ve ortam sıcaklık sensörü montajı yapılmıştır.



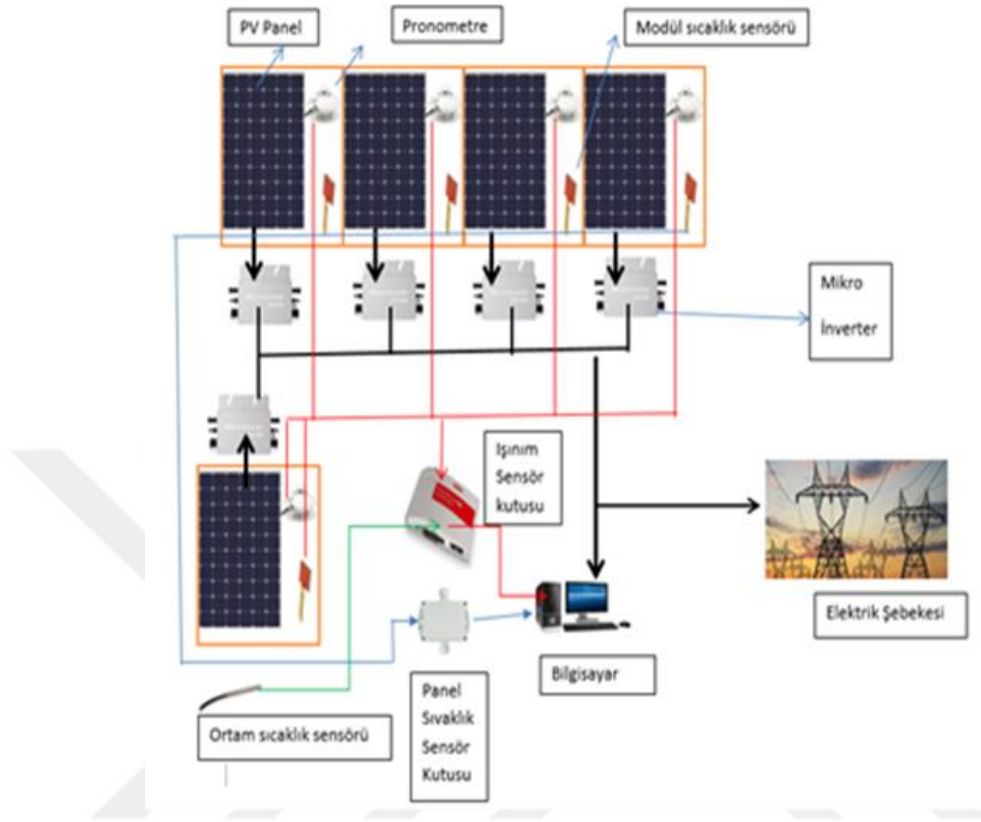
Şekil 3.32. Modül üzerindeki ışınım piranometrelerinin yerleşimi



Şekil 3.33. Modül üzerindeki ışınım piranometrelerinin yerleşimi

Her bir panelin ürettiği akım, gerilim ve güç değerleri mikro invertörler vasıtası ile toplanarak bilgisayara aktarılmıştır. Ayrıca her bir eğimli yüzeyde bir tane olmak üzere toplam beş adet ışınım piranometresi kullanılmıştır. Sabit montaj üzerine yerleştirilen ışınım piranometresi sabit eğimde ve 0° azimutta ışınım değerlerini kaydetmiştir. Yatay düzleme yerleştirilen ortam sıcaklık sensörü ile ortamın sıcaklığı ölçülmüştür. Diğer dört panel üzerine de ışınım piranometresi ve modül sıcaklık sensörü yerleştirilerek farklı azimut açısına sahip farklı eğimlerde değer elde etmek mümkün olmuştur. Bu sisteme ait blok şema Şekil 3.34'te verilmiştir. Mikroinvertörler topladıkları verileri bilgisayarlara

aktarıırken aynı zamanda PV panellerin ürettikleri elektrik enerjisini şebekeye vermektedir. Sistem on-grid olarak çalışmaktadır.



Şekil 3.34. Kurulan sisteme ait blok şema

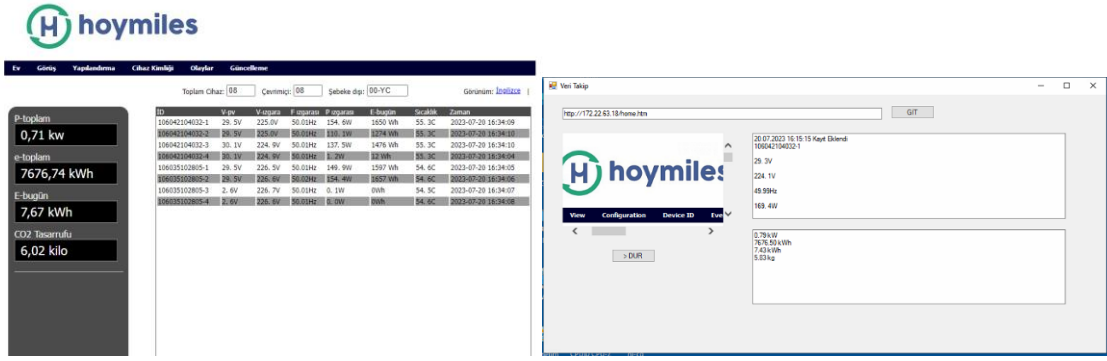
3.9. Deney düzeneğinden veri toplama

Her bir panelin ürettiği akım, gerilim ve güç değerleri mikro invertörler vasıtası ile invertör firmasının sağladığı portal üzerinden kaydedilmektedir. Ayrıca her bir eğimli yüzeyde bir tane ve yatay yüzeyde bir tane olmak üzere toplam beş adet ışıyım piranometresi kullanılmıştır. Sabit montaj üzerine yerleştirilen ışıyım piranometresi sabit eğimde ve 0° azimutta ışıyım ve sıcaklık değerleri ve bu ışıyım altında güç değerleri ölçülmektedir. Yatay düzleme yerleştirilen ortam sıcaklık sensörü ortamın sıcaklık değerlerini ölçmektedir. Diğer dört panelin tamamı üzerine de ışıyım piranometresi ve modül sıcaklık sensörü yerleştirilerek farklı azimut açısına sahip farklı eğimlerde değer elde etmek mümkün olmaktadır.

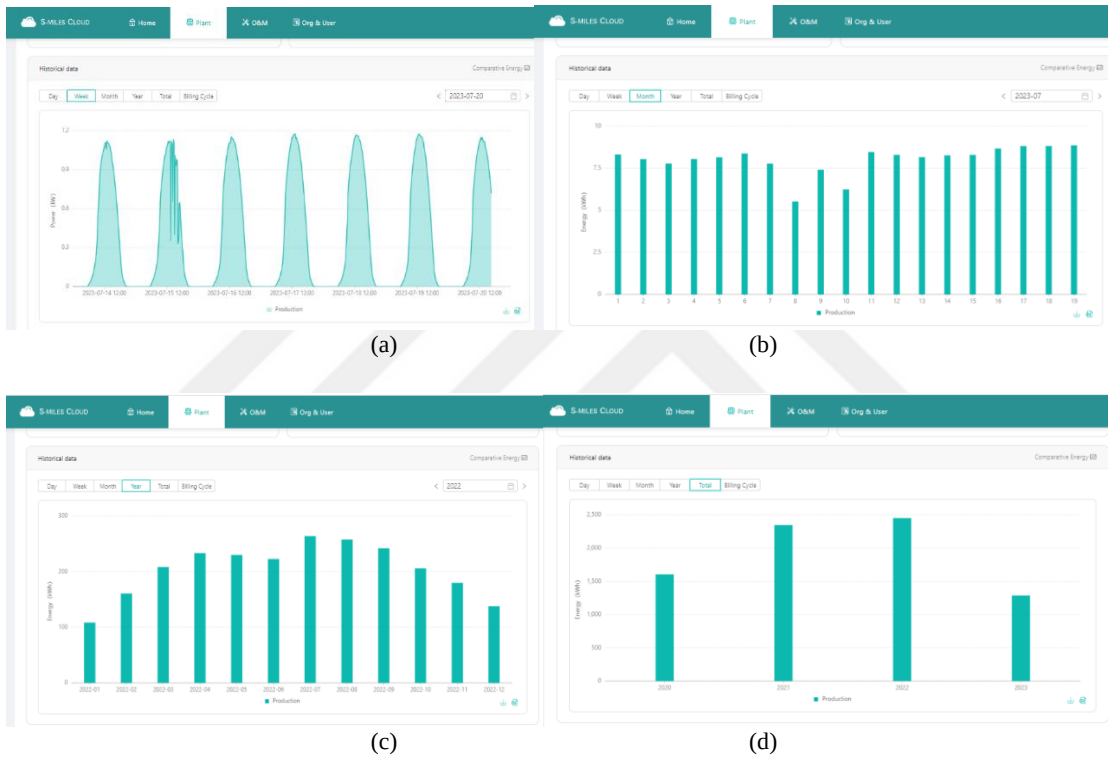


Şekil 3.35. Veri kayıt sistemi

Bu verilerin bilgisayara aktarılma işlemi mikroiverter'in sahip olduğu haberleşme özelliği ile gerçekleştirilir. Çift MPPT (maksimum güç noktası izleme) izlemeli, düşük voltaj başlamalı ve 16-60 volt çalışma aralığına sahip Hoymiles MI-1200 tip inverterler kullanılmıştır. Şekil 3.35'te görüldüğü üzere deney bağlantısı için dört giriş bir çıkış özelliğine sahip iki inverter kullanılmıştır. Üç panel bir invertere, diğer iki panel diğer invertere bağlı çalışmaktadır. Mikroiverterler maksimum güç noktası izleme (MPPT) özelliğine sahip oldukları için panelden elde edilen elektrik gücünü maksimum seviyede şebekeye aktarmaktadır. Kullanılan inverterlere bağlanan her paneli ayrı ayrı izlemek ve veri kaydetmek mümkündür Mikroiverterler sayesinde panellerden elde edilen akım, gerilim ve güç verileri, Şekil 3.36'da gösterilen özel yazılım kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bu sistem sayesinde veriler, Internet üzerinden 7/24 anlık olarak takip edilebilir ve aynı zamanda SCADA ve veri toplama modülü aracılığıyla dışarıya veri iletimi sağlayacak şekilde entegre edilmiştir. Verilerin panel bazlı olarak anlık alınabildiği ve tarihsel bazda görüntülenmesinin ve geçmişe yönelik raporların çekilmesinin sağlandığı bir portal hesabı bulunmaktadır (Şekil 3.37). Veri Transfer Birimi (DTU) kablosuz olarak 2,4G RF üzerinden haberleşerek sistemin verilerini toplamaktadır. Mikroiinvertörlerin çalışma verilerinin DTU üzerinden Merkezi Bilgisayar sistemine aktarımı gerçekleşmektedir.

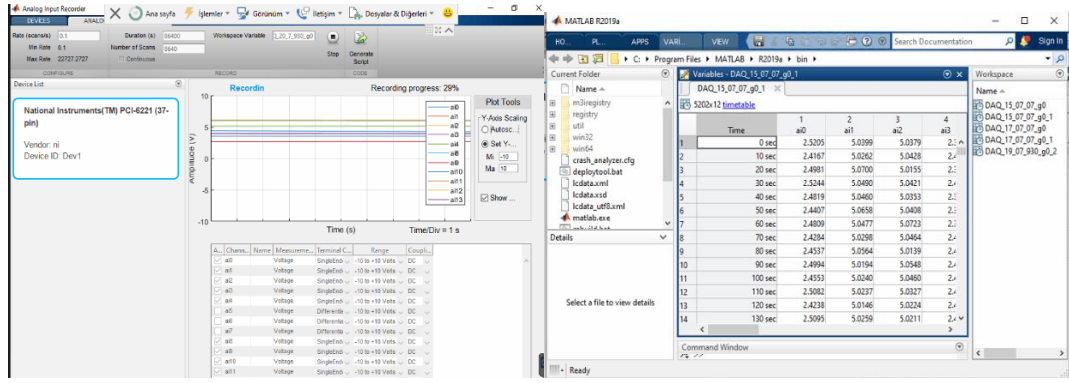


Şekil 3.36. DTU birimi veri kayıt arayüzü



Şekil 3.37. DTU birimi veri kayıt arayüzü a) haftalık b) aylık c) yıllık d) toplam

DTU ile uzaktan çalıştırma ve bakım yapmak mümkün olmaktadır. PV Modülü sıcaklık sensörleri PV modülün arkasına yerleştirilerek modül yüzey sıcaklığı ölçülmektedir. Şekil 3.38’de görüldüğü gibi inverterden PV panele ait akım, gerilim ve güç bilgileri, ortam sıcaklık sensöründen ve modül yüzey sıcaklık sensöründen sıcaklık bilgileri, ışıyım piranometresinden eğimli yüzeye ve yatay yüzeye gelen ışıyım bilgileri bir data logger üzerinden bilgisayara kaydedilmektedir.



Şekil 3.38. NI 6221 veri kartı matlab kayıt ekranı

Panel çıkış gücünün ölçümü, PV Panele ait karakteristik değerler olan açık devre gerilimi (V_{oc}), ve kısa devre akımı (I_{sc}) nın ölçülmesine dayanmaktadır. Bu iki karakteristik değerın çarpımı ile PV panelin çıkış gücü üzerindeki etkisi yüzde (%) olarak ya da per unit olarak hesaplanabilmektedir. Bu işlem bir elektronik devre üzerinden yapılmakta olup, bu elektronik devre belirlenen ölçüm aralığı içinde panel çıkışını kumanda ederek kısa devre akımı I_{sc} ve açık devre gerilimi V_{oc} değerlerini verilen her bir açı değişimi için ölçecektir. Ölçülecek olan PV Panel gücü de eş zamanlı olarak bir veri kaydedicisine aktarılmaktadır.

Gelen verilerin görüntülenmesini sağlayan bir ara yüz yazılımı ile verilerin takibi yapılabilmektedir. Anlık olarak sistemdeki PV panellerin yüzey sıcaklığı, dış hava sıcaklığı, ısıtım güç yoğunluğu değerleri çizelgelerle gösterilebilir. Sistemin anlık, günlük ve kurulduğu zamandan bakılan en son zamana kadar geçen sürede yapılan toplam enerji üretimi, farklı çizelgelerle izlenebilir. Ayrıca çubuk diyagramla çizelgelerle yıllık, aylık, günlük ve saatlik enerji üretimi takip edilebilmektedir. Bununla birlikte anlık görüntü olarak bakılan andaki DC ve AC akım, gerilim ve güç değerleri ile şebeke frekans değerleri izlenmektedir.

4. FOTOVOLTAİK PANEL OPTİMUM EĞİM AÇISININ BELİRLENMESİ

Güneş panelinin eğim açısı, güneşin günlük, aylık ve yıllık yer değiştirmesine bağlı olduğu için konuma özeldir (Bakirci, 2021). Eğimli bir yüzeyde yayılan radyasyonu yatay bir yüzeyde ölçülenle ilişkilendirmeye çalışan birçok model vardır. Bazı araştırmacılar, PV sistemleri ve diğer güneş enerjisi uygulamaları için konumun enlem açısına göre optimum eğim açısını belirlemişlerdir. Kuzey yarımküredeki deneysel çalışmalarda, paneller PV modüllerinin optimum eğim açısını belirlemek için genellikle güney yönünde yerleştirilir (Arslanoglu, 2016). Hottel & Woertz tarafından önerilen en bilinen ve en kolay yöntem olarak, optimum eğim açısı, bulutsuz hava koşulları ve diğer çevresel engellerin yokluğu ideal koşullar olarak göz önünde bulundurularak $\beta = \varphi - \delta$ eşitliği kullanılarak hesaplanır. Bununla birlikte, birçok araştırmacı Heywood (1971) tarafından kuzey yarımküre için $\beta = \varphi \pm 15^\circ$ olarak tanımlanan optimum eğim açısını kullanmıştır. Duffie ve Beckman (1991) göre bu değer $\beta = (\varphi + 15^\circ) \pm 15^\circ$ olarak belirlenmiştir.

Türkiye'nin farklı illerini kapsayan optimum eğim açısının belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Kaçan ve Ülgen (2012b) güneş kolektörlerinin eğim açılarını İzmir ili için yaz aylarında $\varphi - 34^\circ$, kış aylarında ise $\varphi + 19^\circ$ olarak hesaplamışlardır. Aydın (2020), Kayseri ili için optimum eğim açısını 32° olarak bulmuştur. Koçer ve ark. (2016) güneş kolektörlerinin yıllık optimum eğim açısını Ankara ili ve ilçeleri için $34^\circ \pm 10^\circ$ olarak belirlemiştir. Kallioğlu ve ark. (2020) Türkiye'de üç ilde (Antalya, Kayseri ve Trabzon) aylara göre optimum güneş paneli açı değerini belirlemişlerdir.

Bu bölümde Konya ili için PV panellerin optimum eğim açısı aylık, mevsimsel ve yıllık olarak belirlenmiştir. Aylık optimum açı değerleri göz önünde bulundurularak, sapma açısına dayalı bir model geliştirilmiştir. Elde edilen optimum eğim açıları güneş enerjisi santrali kurulumunda kullanılabilir.

Güneş ışıınımı verileri çoğunlukla yatay düzleme düşen ışıınım olarak kaydedilir. Eğimli yüzeye düşen ışıınım miktarını hesaplayarak bulmak mümkündür. Eğik yüzeydeki toplam ışıınım miktarı (H_T), eğik yüzeydeki doğrudan ışıınım (H_B), eğik yüzeydeki dağınık ışıınım (H_D) ve eğik yüzeydeki yansıyan ışıınım (H_R) değerlerinin toplamıdır ve eşitlik (4.1) deki gibi verilir (Kaçan ve Ülgen, 2012b):

$$H_T = H_B + H_D + H_R \quad (4.1)$$

H_B , yatay yüzeydeki aylık ortalama günlük ışıdır ve genellikle aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$H_B = (H - H_D)R_b \quad (4.2)$$

Burada (R_b) bulutluluk indeksinin, su buharının ve atmosferik geçirgenliğin bir fonksiyonudur.

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos(\delta) \sin(\omega'_s) + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega'_s \sin(\varphi - \beta) \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s) + \left(\frac{\pi}{180}\right) \omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta)} \quad (4.3)$$

Burada (φ) enlem, (δ) sapma açısı, (ω_s) gündeğümü açısı ve (ω'_s) eğimli yüzeydeki gün batımı açısıdır. δ Sapma açısı eşitlik (3.13)'den hesaplanır:

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan(\delta) \tan(\varphi)) \quad (4.4)$$

$$\omega'_s = \min[\omega_s = \cos^{-1}(-\tan(\varphi) \tan(\delta)) \quad \cos^{-1}(-\tan(\varphi - \beta) \tan(\delta))] \quad (4.5)$$

Eğimli yüzeyden yansıyan ışı miktarı şu şekilde verilir:

$$H_R = H\rho(1 - \cos\beta)/2 \quad (4.6)$$

Burada (β) panellerin eğim açısıdır. (ρ) zeminin yansımasıdır ve genellikle 0.2 olarak alınır. Yatay düzlemdeki dağınık ışı miktarı aşağıdaki gibidir:

$$H_D = H\left(1 - \frac{1,13H}{H_0}\right) \quad (4.7)$$

Aylık ortalama günlük dünya dışı ışı eşitlik (3.11) ve (4.8) de verilen Eşitlikler ile hesaplanır :

$$H_0 = \frac{24}{\pi} G_{SC} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360D}{365}\right) \left(\frac{\pi}{180} (\omega_s) \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)\right) \quad (4.8)$$

Burada G_{SC} , güneş sabiti, 1367 W / m²'dir. Eğimli yüzeydeki dağınık ışı miktarı şu şekilde tanımlanır:

$$H_{TD} = H_D R_d \quad (4.9)$$

R_d , eğimli ve yatay yüzey arasındaki kalibrasyon katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$R_d = (1 + \cos\beta)/2 \quad (4.10)$$

Aylık ortalama açıklık indeksi, K_T ve bulutluluk indeksi K_D , şu şekilde hesaplanır:

$$K_T = \frac{H}{H_0} \text{ ve } K_D = \frac{H_D}{H} \quad (4.11)$$

4.1. Konya için PV panel optimum eğim açısının belirlenmesi

Bu çalışmada Konya ili için PV panellerin optimum eğim açısı aylık, mevsimsel ve yıllık olarak belirlenmiştir. Aylık optimum açı değerleri göz önünde bulundurularak, sapma açısına dayalı bir model geliştirilmiştir. Elde edilen optimum eğim açıları güneş enerjisi santrali kurulumunda kullanılabilir.

Çalışma için kullanılan veriler, küresel ışıınım değerleri olup 2010 ila 2020 yılları arasında Konya iline ait Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınmıştır. Konya coğrafi olarak 36°41' ve 39°16' kuzey enlemleri ile 31°14' ve 34°26' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Çalışma için eğim açısı 37,2° olarak alınmıştır. Konya'nın güneş enerjisi potansiyeli, özellikle ilkbahar ve yaz aylarında yıllık ortalamaların üzerinde değerlere ulaşmaktadır. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü verilerine göre yıllık güneş ışığı süresine göre günlük ortalama 7,94 saat, günlük ortalama yıllık küresel ışıınım değeri ise 4,407KWh/m²'dir. Aylık ortalama günlük ışıınım (H) ve dünya dışı ışıınım (H_0) ve dağınık ışıınım (H_D) değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir

Güney yönünde azimut açısı 0° iken, panel eğimi 1° artırılarak 0° ile 80° arasındaki günlük ortalama ışıma değerleri hesaplanmıştır. Böylece aylık, mevsimsel ve yıllık optimum eğim açıları elde edilmiştir. 0° azimut açısında optimum eğim açıları Çizelge 4.2'de gösterilmiştir. Bu hesaplamaların sonucunda PV paneller için yıllık optimum eğim açısı 32,08° olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4-1. H, H_0 ve H_D , Değerleri [$\text{MJ}/\text{m}^2\text{-gün}$ cinsinden]

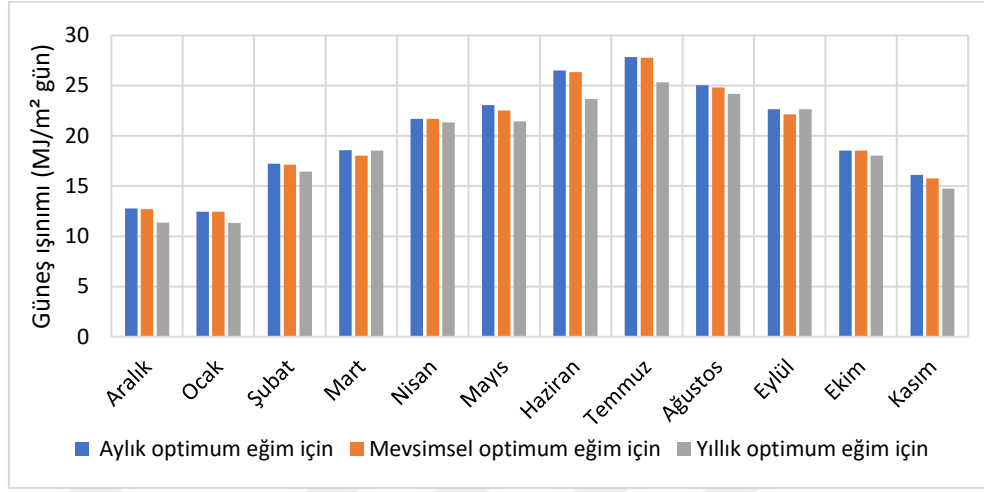
Ay	H_0	H	H_D
Ocak	16,97	7,59	3,45
Şubat	21,87	12,09	4,89
Mart	28,67	15,85	6,41
Nisan	35,34	20,86	8,15
Mayıs	39,86	23,01	9,09
Haziran	41,64	26,50	9,99
Temmuz	40,66	27,85	10,17
Ağustos	36,92	24,55	9,07
Eylül	30,88	20,25	7,53
Ekim	23,83	13,88	5,46
Kasım	18,03	9,87	4,01
Aralık	15,46	7,23	3,21

Çizelge 4-2 Aylık, mevsimsel ve yıllık optimum pv panel optimum eğim açıları

Aylar	β_{OPT} ($^{\circ}$)	H_{opt} $\text{MJ}/\text{m}^2\text{gün}$)		β_{OPT} ($^{\circ}$)	H_{opt} ($\text{MJ}/\text{m}^2\text{gün}$)		β_{OPT} ($^{\circ}$)	H_{opt} $\text{J}/\text{m}^2\text{gün}$)
Aralık	62	12,76			12,72			11,37
Ocak	59	12,44	Kış	57,3	12,44			11,35
Şubat	51	17,22			17,15			16,44
Mart	37	18,58			18,02			18,54
Nisan	20	21,71	İlkbahar	20,3	21,71			21,34
Mayıs	5	23,05			22,52			21,43
Haziran	0	26,50			26,36			23,66
Temmuz	1	27,85	Yaz	5	27,79		32,08	25,33
Ağustos	14	25,04			24,83			24,18
Eylül	31	22,65			22,13			22,65
Ekim	47	18,54	Sonbahar	45,3	18,53			18,02
Kasım	58	16,11			15,77			14,75

PV panellerden maksimum verim elde etmek için diğer belirleyici parametre azimut açısıdır. Kuzey yarımküredeki PV sistem uygulamalarında, paneller genellikle güney yönünde sıfır azimut açısında konumlandırılır. Ayrıca panellerin optimum eğim açısı güneş ışınlarının yeryüzüne insidans açısına göre değişmektedir. Şekil 4.1 optimum eğim açılarına dayalı olarak küresel ışıınım değerlerinin karşılaştırmasını göstermektedir.

Panel eğim açılarının mevsimsel olarak belirlenmesi ile elde edilen ışınlım değerleri açısından aylık olarak belirlenmesi arasında çok fazla fark olmadığı söylenebilir.

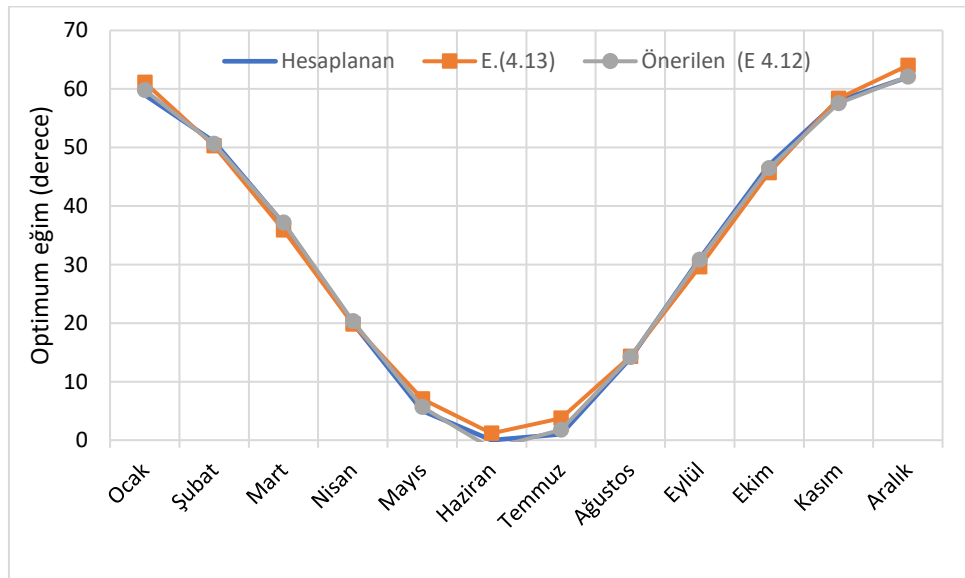


Şekil 4.1 Optimum eğim açlarına bağlı olarak küresel ışınlım değerleri

Bu çalışmada, sapma açısına bağlı olarak optimum panel eğim açısını belirlemek için Eşitlik (4.12) modeli önerilmiştir. Tiris ve Tiris (1998) tarafından Türkiye için önerilen Eşitlik (4.13) ve geliştirilen model Şekil 4.2 verilmiştir. Hesaplanan değer ile geliştirilen model sonuçlarının birbiriyle uyumlu olduğu görülmektedir.

$$\beta_{OPT} = 33,882 - 1,3771(\delta) - 0,0066(\delta)^2 \quad (4.12)$$

$$\beta_{OPT} = 32,619 - 1,3629(\delta) \quad (4.13)$$



Şekil 4.2 Hesaplanan ve modellenen optimum eğim açısı değerleri

Bu bölümde PV panellerin Konya ili için optimum eğim açısı hesaplanmış ve sapma açısına bağlı olarak bir model önerilmiştir. Yıl boyunca aylık 0° ile 62° arasında değişen eğim açıları elde edilmiştir. Sonuçlara göre optimum eğim açısı ilkbaharda $20,3^{\circ}$, optimum eğim açısı yaz aylarında 5° , sonbaharda $45,30^{\circ}$ ve kış aylarında $57,30^{\circ}$ olarak hesaplanmıştır. Tüm yıl boyunca güney yönlü paneller için optimum eğim açısı 0° azimut açısında eğim açısı $32,08^{\circ}$ olarak bulunmuştur. Güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan Konya'da kurulacak güneş enerjisi santrallerinde bu çalışmada belirlenen panellerin optimum eğim açılarının dikkate alınacağı ümit edilmektedir.



5. DAĞINIK IŞINIM İÇİN YENİ MODELLER GELİŞTİRİLMESİ

Dünyadaki teknolojik gelişmelere bağlı olarak enerji tüketimi her geçen gün artmaktadır. Enerji talebini karşılamak için güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi giderek artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları çevre kirliliğini azaltabilir ve sürdürülebilir enerji sağlayabilir. Fosil kökenli kaynakların hızla tükenmesi ile birlikte temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları, sürdürülebilir enerjinin temelini oluşturmakta ve geniş uygulama alanları bulmaktadır (Bakirci, 2021).

Dünya'ya gelen güneş ışınımının %29'u bulutlar, parlak yüzeyler ve atmosfer tarafından uzayda geri döndürülür, %23'ü atmosferdeki gazlar, toz ve diğer parçacıklar tarafından emilir ve geri kalan %48'i ise dünya'da emilir. Bu, gelen güneş enerjisinin %71'inin atmosfer ve dünya tarafından emildiğini göstermektedir. Güneş ışınımından yansıma nedeniyle saçılarak yeryüzüne ulaşan ışınım dağınık ışınım denir (NASA, 2021).

Dağınık Işınım, güneş enerjisi sistemleri, iklim modellemesi ve tarımsal üretkenlik dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarda kullanılır. Dağınık ışınımı tahmin etmenin birkaç yöntemi vardır: Ampirik modeller, fiziksel modeller ve istatistiksel modeller. Ampirik modeller, yayılan ışınım miktarını tahmin etmek için güneş ışınımı ve atmosferik koşullar hakkındaki geçmiş veriler kullanılarak oluşturulur. Bazı istatistiksel modeller, geçmiş verilerdeki kalıpları tanımlayarak dağınık ışınımı tahmin etmek için yapay zeka tekniklerini kullanır. Bu modellerin doğruluğunu artırmak için büyük veri kümeleri üzerinde eğitilmesi gerekir (Bayrakçı ve ark., 2018).

Güneş enerjisi sistemlerinin ortak özelliği, güneş ışınlarından maksimum seviyede faydalanmaktır. Tüm dünyadaki fotovoltaik uygulamalarda, yatay yüzeydeki toplam ışınım değerleri dikkate alınır. Yatay yüzeydeki toplam ışınımın dağınık ve direkt ışınım bileşenleri belirlendikten sonra, eğimli yüzeyler için hesaplamalar yapılır ve daha sonra hesaplanan değerler kullanılarak eğimli güneş PV panellerinin performansı değerlendirilebilir (Khahro ve ark., 2015). Fotovoltaik projelerde, güneş enerjisi için günlük direkt ışınım ve dağınık ışınım gibi ışınım bileşenlerinin bilinmesi gerekmektedir. Türkiye ve dünyadaki birçok yer için toplam ışınım değerleri kolaylıkla elde edilebilirken, dağınık ışınım değerlerine ulaşmak oldukça zordur. Dağınık ışınım cihazlarının belirli periyotlarda bakımı ve kalibrasyonu nedeniyle ortaya çıkan maliyet birçok yerde ölçüm verilerinin elde edilmesine imkan vermemektedir (Fan ve ark., 2019). Özellikle dağınık ışınım değeri ölçülemediğinden bu verileri elde etmek için ampirik

modeller kullanılmaktadır. Genel ışıınım ölçümleri, meteorolojik veriler veya uydu verileri kullanılarak dağınık ışıınım için bazı modeller önerilmiştir (Boland ve ark., 2008). Bu çalışmalarda dünya dışı ışıınım, güneşlenme saatleri, ortalama sıcaklık vb. gibi temel parametreler kullanılmıştır (Tang ve Wu, 2004). En çok kullanılan parametreler, açıklık indeksi ve bağıl güneşlenme süresidir. Dağınık ışıınım, açık hava koşullarından teorik olarak hesaplanabilir. Daha fazla parametrenin dikkate alınması daha tatmin edici sonuçlar verecektir, ancak bu, ışıınım modelinin karmaşıklığını artıracaktır (Cao ve ark., 2017). Farklı parametreleri kullanarak güneş ışıınımını tahmin etmek için birçok model türetilmiştir (Wang ve ark., 2019). Anlık dağınık ve ışıın ışıınımı gibi parametreler kullanılmıştır. (Yousuf ve ark., 2020; Nwokolo ve ark., 2022). Açıklık indeksi ve yaygın fraksiyon arasındaki özellikler yıllık, aylık, günlük ve saatlik olarak incelenmiştir (Berrizbeitia ve ark., 2020). Bazı meteorolojik veriler yerine toplam bulut örtüsünü hesaba katan başka bir dağınık ışıınım modeli önerilmiştir (Zhu ve ark., 2021). Ayrıca, saatlik dağınık ışıınım tahmini yapılmıştır (Al - Ghussain ve ark., 2021). Saatlik dağınık ışıınım modeli oluşturulurken, yatay görünürlük, bağıl nem, hava sıcaklığı ve diğer meteorolojik veya çevresel değişkenlerin Dağınık ışıınım fraksiyonu üzerindeki etkileri dikkate alınmıştır (Li ve ark., 2020). Yapay zeka tekniklerinin dağınık ışıınım kestiriminde kullanılması, regresyon yöntemlerine bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Küresel güneş ışıınımı biliniyorsa, yaygın güneş ışıınımını tahmin etmek için makine öğrenme yöntemleri kullanılabilir. Makine öğrenimini kullanan tahmin yöntemlerinin, diğer geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında performans açısından rekabetçi olduğu bildirilmiştir (Chawphongphang ve ark., 2022; Pavlinić ve Tolić, 2022). Radyatif transfer modeli ve makine öğrenimi teknikleri kullanılarak hibrit modeller geliştirilmiştir (Lu ve ark., 2023). Bununla birlikte, ampirik modeller, hazır girdileri, kullanılan nispeten basit fonksiyon biçimleri ve kolay kullanımları nedeniyle çok yaygındır (Yang ve ark., 2020).

Türkiye son dönemde elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payını önemli ölçüde artırdı ve artırmaya da devam ediyor. Ayrıca güneş enerjisi yatırımları, yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yer tutmaktadır. Dağınık ışıınım, güneş enerjisi sistemlerinin kurulumunda ve ekonomik olarak işletilmesinde önemli bir parametre olarak kabul edilir. Türkiye'de dağınık ışıınımın tahmini ve modellemesi konusunda araştırma bulunmaktadır. Tiris ve ark. (1996) Türkiye'nin Gebze konumu için güneşlik ve bulutluluk indeksi kullanarak dağınık ışıınımı tahmin ettiler. Aras ve ark. (2006) Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi için güneş ışıınımını tahmin etmek için yeni hibrit modeller önerdiler. Ulgen ve Hepbasli (2003) Türkiye'de İzmir ili için dağınık fraksiyonu

ve açıklık indeksini kullanarak ampirik korelasyonlar elde ettiler. Ayrıca en büyük üç şehir için dağınık fraksiyonu tahmin etmek için bazı ampirik ilişkiler geliştirdiler (Ulgen ve Hepbasli, 2009). Tarhan ve Sarı (2005) Orta Karadeniz Bölgesi için küresel ve dağınık ışıınımları tahmin etmek için iki ayrı matematiksel model belirlemişlerdir. Arslanoglu (2016) Bursa için dağınık güneş ışıınımları modellerinin uygulanabilirliğini değerlendirdi. Tırmıkçı ve Yavuz (2018) Antalya şehri için dağınık güneş ışıınımları hesabını incelediler. Açıklık indeksini ve güneş ışığı fraksiyonunu kullandılar. Bakirci ve Kirtiloglu (2018) uydu verilerini kullanarak Erzincanda dağınık ışıınımları tahmin etmek için ampirik modeller türetmişlerdir. Dağınık fraksiyonu açıklık indeksinin bir fonksiyonu olarak tanımladılar. (Rusen ve Konuralp, 2020) uydu tabanlı tahmin yöntemleri (HELIOSAT, Meteonorm ve PVGIS) kullanarak Türkiye'deki dokuz lokasyon için küresel ve dağınık ışıınımları tahmin etmiş ve bu yöntemlerin performanslarını karşılaştırmıştır. Bakirci (2021), Türkiye'nin bazı bölgelerinde dağınık güneş ışıınımları tahmin etmek için modeller incelemiş ve Erzurum ve Gebze için en uygun üç modeli belirlemiştir. Ayrıca Bakirci (Bakirci, 2022) Doğu Anadolu Bölgesi'nde 13 lokasyonda dağınık ışıınım tahmini için yeni korelasyon modelleri elde etmiştir.

Yukarıda bahsedildiği gibi, Türkiye'de birkaç lokasyon için dağınık ışıınımları tahmin etmek için bazı çalışmalar yapılmıştır. Ancak yine de Türkiye'nin farklı bölgeleri için doğru ve güvenilir yeni tahmin modellerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bölümde, Dağınık ışıınımları tahmin etmek için dağınık fraksiyon ve açıklık indeksini arasında korelasyonlar bulunması amaçlanmaktadır. Dağınık ışıınım verileri, ölçüm zorlukları nedeniyle Türkiye'nin hiçbir bölgesinde ölçülememektedir. Bu nedenle Konya için dağınık ışıınım modelleri oluşturulmuştur. Dağınık ışıınımları tahmini için iki yaklaşım izlenmiştir. İlk olarak Dağınık fraksiyon ve açıklık indeksi arasındaki yeni korelasyonlar, NASA-SSE verileri kullanılarak önerilmiştir. Bu, NASA-SSE verilerinin Dağınık ışıınım tahmininde ampirik yaklaşımlarla kullanılmasının önemini vurgulamaktadır. İkinci olarak literatürde bulunan 12 ampirik model kullanılarak yeni dağınık ışıınım modelleri geliştirilmiştir. Bu yaklaşımın, dağınık ışıınımları doğru ve güvenilir tahmini için yeni modellerin geliştirilmesine önemli bir katkısı olmuştur. 14 adet dağınık ışıınım modeli geliştirilmiş ve bu modellerin geçerliliği sekiz istatistiksel yöntemle test edilmiştir. Geliştirilen modeller arasından en uygun üç dağınık ışıınım modeli seçilmiş ve bu modellerin kullanılması önerilmiştir. Bu çalışmanın ana katkıları aşağıdaki gibidir:

- Önceki çalışmalar, genel radyasyon, güneşlenme süresi ve hesaplanmış uzaydışı güneş radyasyonu gibi parametrelere dayalı olarak dağınık radyasyonun tahmin

edilmesi konusuna değinmiştir. Çok az sayıda çalışmada, dağınık radyasyon modeli NASA-SSE verileri kullanılarak oluşturulmuştur. Bu çalışmada hem mevcut modeller hem de NASA-SSE verileri kullanılarak yeni modeller önerildi ve bu modeller birbirleriyle karşılaştırıldı.

- Dağınık radyasyon, Türkiye'nin bazı bölgeleri için incelenmiş olsa da, ne yazık ki hem ampirik modeller hem de NASA-SSE verileri kullanılarak Konya için herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu nedenle, farklı ampirik modellerin kapsamlı bir şekilde değerlendirilip karşılaştırıldığı bir çalışma bulunmamaktadır.
- Dağınık fraksiyon ve açıklık indeksine dayalı olarak toplam 14 yeni model geliştirilmiştir. Modellerin performanslarını değerlendirmek için sekiz istatistiksel yöntem kullanılmıştır. Bu istatistiksel test sonuçlarına göre, en iyi üç model Konya için önerilmiştir. Önerilen modeller aynı zamanda Türkiye'nin Orta Anadolu Bölgesi'ndeki herhangi bir lokasyon için de dağınık radyasyonu tahmin etmek için kullanılabilir.
- Bu çalışmadaki model geliştirme yaklaşımı, fotovoltaik sistemler üzerinde çalışan araştırmacılara ve bilim insanlarına katkı sağlayabilir. Yeni modeller ve yaklaşımlar, dağınık radyasyonu tahmin etmek için kullanılabilir.

5.1. Araç ve Yöntemler

Güneş ışıınımı ölçülemediğinde, güneş verileri ampirik modeller geliştirilerek tahmin edilmektedir. Literatürde güneş ışıınımı miktarını belirlemek için birçok model önerilmiştir. Bu modeller, ortam sıcaklığı, güneşlenme süresi ve bulutluluk gibi çeşitli parametrelere dayanmaktadır (Bakirci ve Kirtiloglu, 2018). En önemli parametre aylık ortalama günlük güneş ışıınım değerleridir. Güneş uygulamalarında kullanılacak küresel ışıınımın aylık ortalama günlük değerinin (H) bilinmesi gerekmektedir. Bu değer, dünyanın birçok yerinde kullanılabilir. Bir diğer önemli parametre aylık ortalama günlük Dağınık Işıınımdır (H_D). Ancak bu değer ölçülemediğinden bazı matematiksel modeller geliştirilerek tahmin edilmektedir. Bu nedenle, Eşitlik (4.12)'de verilen açıklık indeksinin (K_T) bir fonksiyonu olan Eşitlik (5.2)'deki dağınık fraksiyonu (K_D), dağınık ışıınımın tahmini için kullanılır. Aylık ortalama günlük dünya dışı ışıınım (H_0) Eşitlik (5.3) ile hesaplanır (Duffie ve Beckman, 1991).

$$K_T = \frac{H}{H_0} \quad (5.1)$$

$$K_D = \frac{H_D}{H} \quad (5.2)$$

$$H_0 = \frac{24}{\pi} G_{SC} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360D}{365} \right) \left(\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi \omega_s}{360} \sin \varphi \sin \delta \right) \quad (5.3)$$

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360D+284}{365} \right] \quad (5.4)$$

$$\omega_s = \cos^{-1}[-\tan(\delta) \tan(\varphi)] \quad (5.5)$$

Burada G_{SC} güneş sabitidir ve değeri 1367 W/m^2 'dir. D , ocak ayından bu yana yılın gün sayısıdır, φ enlem açısıdır, δ güneş sapma açısıdır, ω_s gün batımı saat açısıdır. Güneş sapma açısı ve gün batımı saat açısı sırasıyla Eşitlik (5.4) ve Eşitlik (5.5) kullanılarak hesaplanabilir. Güneşin ışıınım değerleri, aylık ortalama günlük değerleri temsil etmektedir (Ulgen ve Hepbasli, 2009).

Güneş ışıınımı tahmin modellerini karşılaştırmak için birçok istatistiksel yöntem kullanılmaktadır. Bu çalışmada, geliştirilen dağınık ışıınım modellerinin performansını test etmek için literatürde yaygın olarak kullanılan sekiz farklı istatistiksel yöntem uygulanmıştır. Bunlar Ortalama Sapma Hatası (MBE), Ortalama Mutlak Hata (MAE), Ortalama Karesel Hata (MSE), Ortalama Karesel Hata Kökü (RMSE), Toplam Karesel Bağlı Hata (SSRE), Göreceli Standart Hata (RSE), Belirleme Katsayısı (R^2) ve Korelasyon Katsayısı (r).

MBE, geliştirilen modellerin uzun vadeli performansı hakkında bilgi sağlar. Negatif bir MBE, bir düşük tahmini gösterirken, pozitif bir MBE, bir fazla tahmini gösterir. RMSE kısa vadeli performans hakkında bilgi verir ve ideal değeri sıfırdır (Bulut ve Büyükalaca, 2007).

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i) \quad (5.6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2} \quad (5.7)$$

Burada n toplam gözlem sayısıdır, x_i ölçülen veridir ve y_i hesaplanan veridir. r , ölçülen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişkiyi belirlemek için tercih edilir (Bakirci ve Kirtiloglu, 2018).

$$r = \sqrt{(S_t - S_r)/S_t} \quad (5.8)$$

$$S_t = \sum_{i=1}^n (x_a - x_i)^2 \quad (5.9)$$

$$S_r = \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2 \quad (5.10)$$

$$x_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5.11)$$

Burada S_t standart sapmadır ve x_a ölçülen değerlerin ortalamasıdır.

MAE, modelleri elde etmek için kullanılan uyumun bir göstergesidir ve ideal değeri sıfırdır. MSE, tahmin edilen değerler ile gerçek değer arasındaki ortalama kare farkını ölçer. MSE bir risk fonksiyonudur ve her zaman pozitiftir. MSE değerleri sıfıra yakın tahmin edicilerin daha iyi performans gösterdiği söylenebilir (Lu ve ark., 2023).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - x_i| \quad (5.12)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2 \quad (5.13)$$

SSRE sıfırdır ve bağıl sapmanın karelerinin toplamının pozitif değerini verir. RSE, tahminin doğruluk derecesini gösterir ve alternatif bir uyum ölçüsüdür ve her zaman bir oranı temsil eder. Hesaplanan ve ölçülen değerler arasındaki doğrusal ilişkiyi belirlemek için R^2 uygulanır ve 1'e yakın olması istenir (Kaplan ve Kaplan, 2020).

$$SSRE = \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - x_i}{x_i} \right)^2 \quad (5.14)$$

$$RSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - x_i}{x_i} \right)^2}{n}} \quad (5.15)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_a) \cdot (x_i - x_a)}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (y_i - y_a)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - x_a)^2]}} \quad (5.16)$$

5.2. Dağınık Güneş Işınımın Tahmini

Dağınık ışınlım modeli tahmini yapabilmek için NASA ve MGM'den Konya için ışınlım değerlerine ait meteorolojik veriler alınmıştır. Yaygın olarak kullanılan ışınlım modellerinden faydalanılarak yeni model türetme çalışması yapılmıştır.

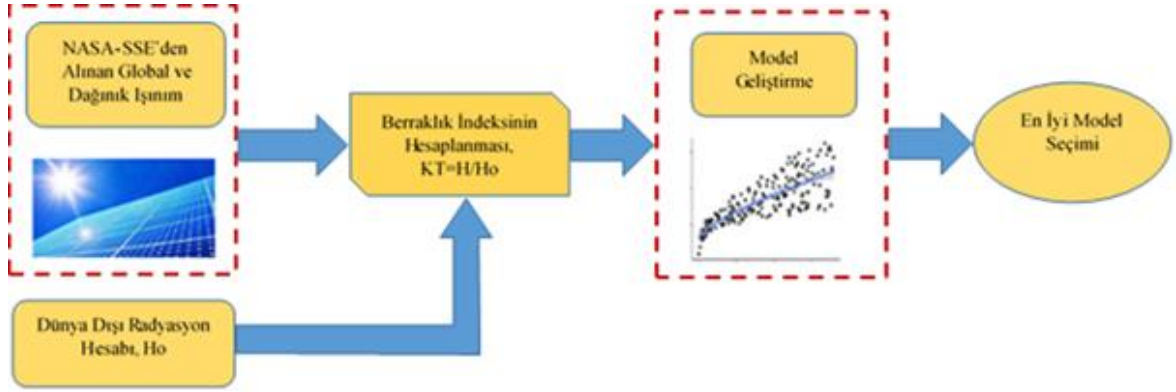
5.2.1. Veri toplama ve iklim özellikleri

Türkiye'nin yıllık güneş enerjisi potansiyelinin yaklaşık 380 GWh olduğu tahmin edilmektedir (Anonim, 2022). Konya coğrafi olarak $36^{\circ}41'$ ve $39^{\circ}16'$ kuzey enlemleri ile $31^{\circ}14'$ ve $34^{\circ}26'$ doğu boylamları arasında yer almaktadır. Konya güneş ışıyım değeri en yüksek olan yerlerden biridir. Konya'nın güneş ışıyım değeri yıllık ortalamaların üzerinde olup en yüksek değere ulaşmaktadır.

İlk olarak, dağınık ve küresel güneş ışıyım değeri Nasa-SSE web portalından elde edildi (NASA-SSE, 2021). Bu veriler, güneş enerjisi projelerinin hızlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlar. NASA -SSE veri seti, 22 yıllık (1983–2005) NASA uydularından alınan verileri içerir. İkincisi, 2010-2020 yılları arasındaki veriler Türkiye Devlet Meteoroloji İşleri'nden alınmıştır. Dünya dışı güneş ışıyım, H_0 her gün için hesaplanmış ve daha sonra bu değerler kullanılarak aylık ortalamalar elde edilmiştir.

5.2.2. NASA uydu verilerini kullanarak dağınık ışıyım tahmini

Genel olarak en yaygın yöntem, açıklık indeksi K_T 'yi kullanarak dağınık fraksiyonu (bulanıklık indeksi), K_D 'yi elde etmektir. Daha sonra dağınık ışıyım değeri, H_D dağınık fraksiyon değeri kullanılarak üretilir. Şekil 5.1, NASA-SSE kullanılarak dağınık ışıyım için model geliştirme akış şemasını göstermektedir. Aylık ortalama küresel, H ve dağınık, H_D ışıyımları NASA-SSE veri setinden elde edilir. Dünya dışı güneş ışıyım H_0 hesaplanmıştır ve Çizelge 5.1'de verilmiştir. Açıklık indeksi, K_T , küresel ve dağınık ışıyım verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Burada, MATLAB'da bir eğri uydurma aracı kullanılarak dağınık kesirler için eşitlikler geliştirilmiştir. Dağınık ışıyım bu eşitliklerden elde edilmiştir ve NASA-SSE verileriyle karşılaştırılmıştır. Daha sonra referans dağınık ışıyım değerlerini en iyi temsil eden model seçilmiştir.



Şekil 5.1. NASA-SSE kullanılarak dağılık ışıınım için model geliştirme akış şeması.

Çizelge 5.1 Güneş ışıınımları ve açıklık indeksi

Aylar	HD (SSE) [MJ/m ² gün]	H (SSE) [MJ/m ² gün]	H ₀ [MJ/m ² gün]	KT = H/H ₀
1	3,132	8,208	16,0612836	0,5110426
2	4,14	11,124	21,0140476	0,5293602
3	5,508	15,336	28,1370411	0,5450467
4	7,092	18,576	35,4719675	0,5236811
5	7,992	22,032	40,7576153	0,5405616
6	7,668	25,668	43,0257691	0,5965727
7	6,768	26,604	41,9896443	0,6335848
8	6,12	23,724	37,6852992	0,6295293
9	4,932	19,836	30,907469	0,6417866
10	4,284	13,572	23,2994694	0,5825025
11	3,384	9,072	17,2405714	0,5262007
12	2,88	6,84	14,5945841	0,468667

SSE: NASA'nın Yüzey Meteorolojisi ve Güneş Enerjisi

Literatürdeki çoğu modeller, dağılık fraksiyon ve açıklık indeksine bağlı olarak geliştirilmiştir. Açıklık indeksi, bağıl güneşlenme süresi ile karşılaştırıldığında dağılık ışıınım üzerinde daha fazla öneme sahiptir (Arslanoglu, 2016). Böylece, açıklık indeksi ile dağılık fraksiyonu arasındaki korelasyon dikkate alınarak yedi ampirik model oluşturulmuştur. Bunlar doğrusal, ikinci dereceden, üçüncü ve dördüncü dereceden polinom, logaritmik ve üstel modellerdir. Model geliştirme, MATLAB eğri uydurma araç kutusu kullanılarak gerçekleştirilir. Modeller aşağıdaki gibidir.

$$K_D = 0,9258 - 1,0526K_T \quad R^2 = 0,9988 \quad (5.17)$$

$$K_D = 0,3529 + 0,9944K_T - 1,8164K_T^2 \quad R^2 = 0,9995 \quad (5.18)$$

$$K_D = -07995 + 7,33064K_T - 13,54K_T^2 + 6,964K_T^3 \quad R^2 = 0,9997 \quad (5.19)$$

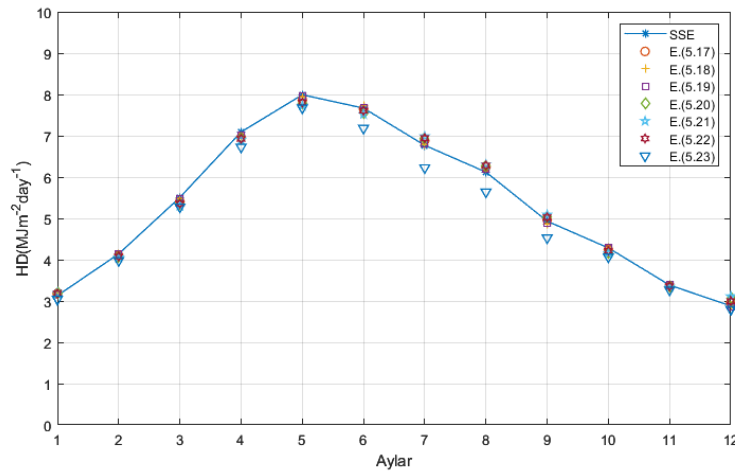
$$K_D = 2,0709e^{-3,272K_T} \quad R^2 = 0,9973 \quad (5.20)$$

$$K_D = 0,1144K_T^{-1,821} \quad R^2 = 0,954 \quad (5.21)$$

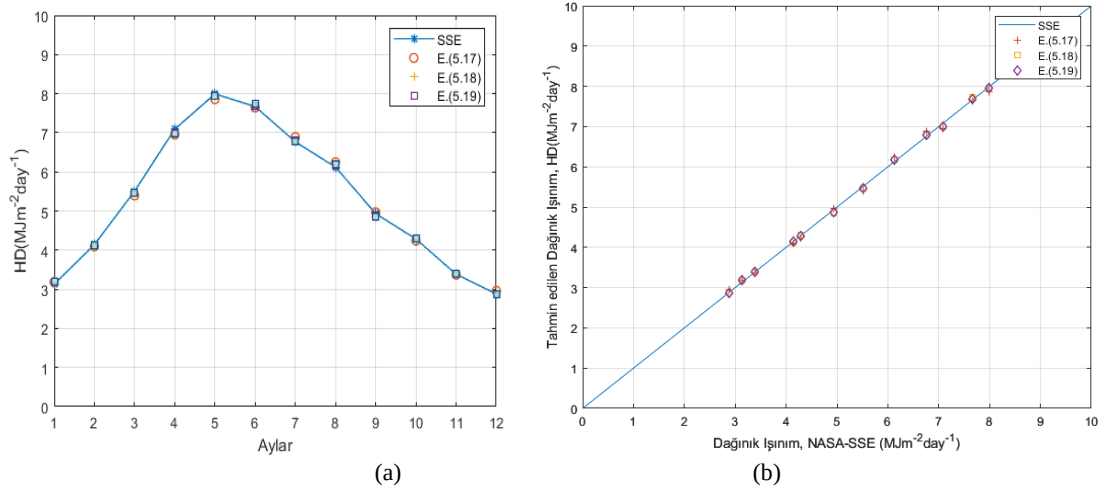
$$K_D = -0,069 - 0,587\ln K_T \quad R^2 = 0,9976 \quad (5.22)$$

$$K_D = 55,33 - 394,67K_T + 1081K_T^2 - 1311,5K_T^3 + 593,14K_T^4 \quad R^2 = 0,9983 \quad (5.23)$$

Çizelge 5.2, yedi eşitlik ve NASA-SSE için aylık ortalama dağınık ışıınım değerlerini göstermektedir. Çizelge 5.2'de Eşitlik (5.19)'dan üretilen dağınık ışıınım $3,189872 \text{ MJ/m}^2$ gün ile $2,871569 \text{ MJ/m}^2$ gün arasında değişmektedir. Dağınık ışıınım değerleri için istatistiksel test sonuçları Çizelge 5.3'te verilmiştir. Üçüncü dereceden polinom modeli Eşitlik (5.19), $\text{MBE} = -0,00285085 \text{ MJ/m}^2$, $\text{MAE} = 0,035414734 \text{ MJ/m}^2$, $\text{MSE} = 0,001854687 \text{ MJ/m}^2$, $\text{RMSE} = 0,043066072 \text{ MJ/m}^2$, $\text{SSRE} = 0,000857583$, $\text{RSE} = 0,00845371$, $R^2 = 0,999705413$ ve $r = 0,999687975$ ile en yüksek tahmin doğruluğu göstermiştir. Bunu Eşitlikler (18) ve (17); $\text{MBE} = -0,00410764$ ve $-0,006818814 \text{ MJ/m}^2$, $\text{MAE} = 0,041738416$ ve $0,074243664 \text{ MJ/m}^2$, $\text{MSE} = 0,00256197$ ve $0,007493633 \text{ MJ/m}^2$, $\text{RMSE} = 0,50615905$ ve $0,086565772$, $\text{SSRE} = 0,001018766$ ve $0,002979797$, $\text{RSE} = 0,009213965$ ve $0,01575806$, $R^2 = 0,999580532$ ve $0,99885125$ ve $r = 0,999568961$ ve $0,99873872$ ile takip eder.



Şekil 5.2. NASA-SSE verileri kullanılarak elde edilen dağınık ışıınımlar.



Şekil 5.3. Eşitlikler (5.17), (5.18) ve (5.19) için dağılık ışıının karşılaştırılması.

Çizelge 5.2. Yedi eşitlikten hesaplanan dağılık ışıınmlar

Aylar	HD (SSE)	E . (5.17)	E . (5.18)	E . (5.19)	E . (5.20)	E . (5.21)	E . (5.22)	E . (5.23)
1	3,132	3,1836	3,1821	3,1898	3,1930	3,1883	3,1777	3,0452
2	4,14	4,1002	4,1310	4,1379	4,0756	4,0526	4,0767	3,9792
3	5,508	5,3995	5,4659	5,4672	5,3376	5,2977	5,3574	5,2772
4	7,092	6,9580	6,9949	7,0091	6,9335	6,9017	6,9253	6,7253
5	7,992	7,8611	7,9487	7,9542	7,7815	7,7262	7,8035	7,6734
6	7,668	7,6451	7,7268	7,6920	7,5476	7,5220	7,6058	7,1822
7	6,768	6,8874	6,7921	6,8003	6,9306	6,9869	6,9432	6,2259
8	6,12	6,2431	6,1814	6,1799	6,2629	6,3038	6,2810	5,6398
9	4,932	4,9640	4,8499	4,8742	5,0306	5,0888	5,0271	4,5286
10	4,284	4,2433	4,3037	4,2874	4,1788	4,1539	4,2117	4,0668
11	3,384	3,3740	3,3953	3,4017	3,3583	3,3412	3,3566	3,2673
12	2,88	2,9581	2,8783	2,8715	3,0565	3,1105	2,9956	2,7995

Çizelge 5.3'teki kalın değerler, istatistiksel göstergelere göre belirlenen en uygun modelleri temsil etmektedir. Çizelge 5.3'te görüldüğü gibi, NASA-SSE verileri ile en uygun eşitlikler, regresyon sabitleri, R^2 sonuçları ve r korelasyon katsayısı dikkate alındığında (5.17), (5.18) ve (5.19) eşitlikleridir. Şekil 5.2, NASA-SSE verilerinden ve geliştirilen modellerden elde edilen dağılık ışıını göstermektedir.

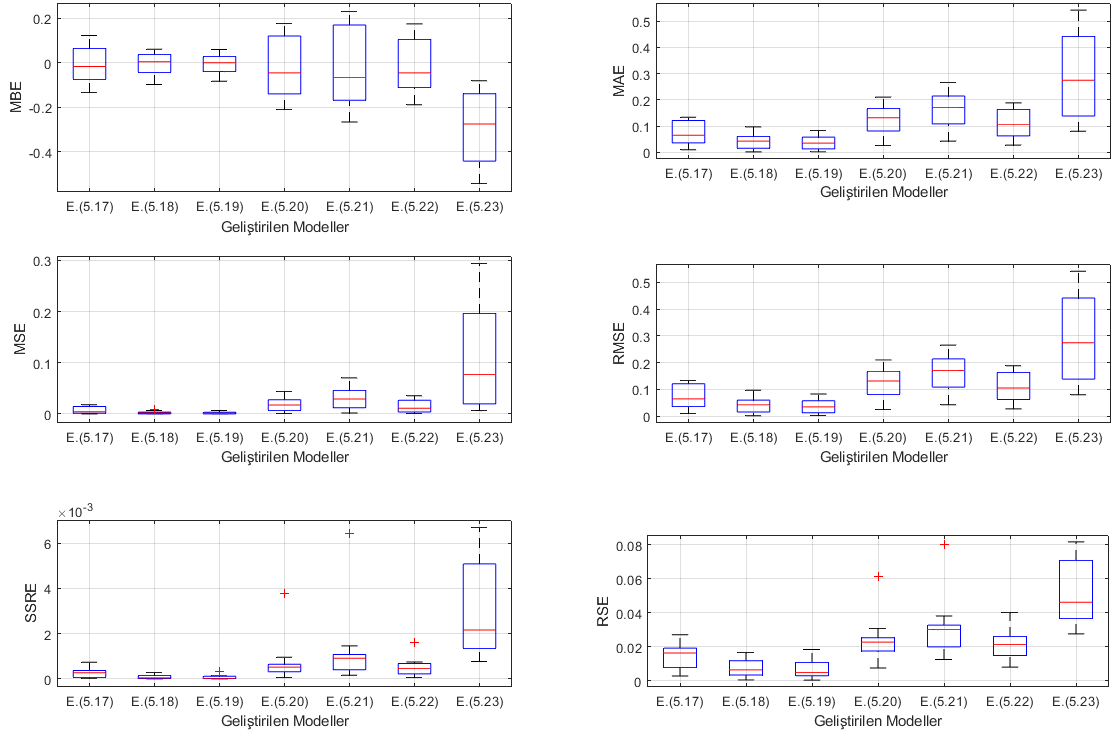
Dağılık ışıının en iyi modelleri olan (5.17), (5.18) ve (5.19) eşitliklerinin karşılaştırması Şekil 5.3'te gösterilmiştir. NASA-SSE verileri ile en yüksek uyumu sağlayan bir model tanımlamak gerekirse, Eşitlik (5.19) bu modeller arasından seçilebilir.

Bundan sonra sırasıyla Eşitlik (5.18) ve Eşitlik (5.17) hata oranı düşük olanlardır. Şekil 5.3'te gösterildiği gibi, tahminler ve NASA-SSE verileri arasında iyi bir uyum vardır.

Çizelge 5.3. Aylık ortalama günlük dağınık ışıının değerleri için istatistiksel test sonuçları

	Eş . (5.17)	Eş . (5.18)	Eş . (5.19)	Eş . (5.20)	Eş . (5.21)	Eş . (5.22)	Eş . (5.23)
MBE	-0,006818814	-0,00410764	-0,00285085	-0,01773166	-0,01881961	-0,01148105	-0,29076208
MAE	0,074243664	0,041738416	0,035414734	0,124708475	0,159909865	0,110281619	0,290762082
MSE	0,007493633	0,00256197	0,001854687	0,01835336	0,030114738	0,015075771	0,109400763
RMSE	0,086565772	0,050615905	0,043066072	0,135474573	0,173535984	0,122783433	0,330757862
SSRE	0,002979797	0,001018766	0,000857583	0,008957568	0,014863803	0,006064889	0,036103266
RSE	0,01575806	0,009213965	0,00845371	0,027321494	0,035194464	0,022481268	0,054850757
R²	0,99885125	0,999580532	0,999705413	0,997345827	0,995433726	0,997644582	0,998352372
R	0,99873872	0,999568961	0,999687975	0,996908329	0,994922111	0,997460994	0,981943602

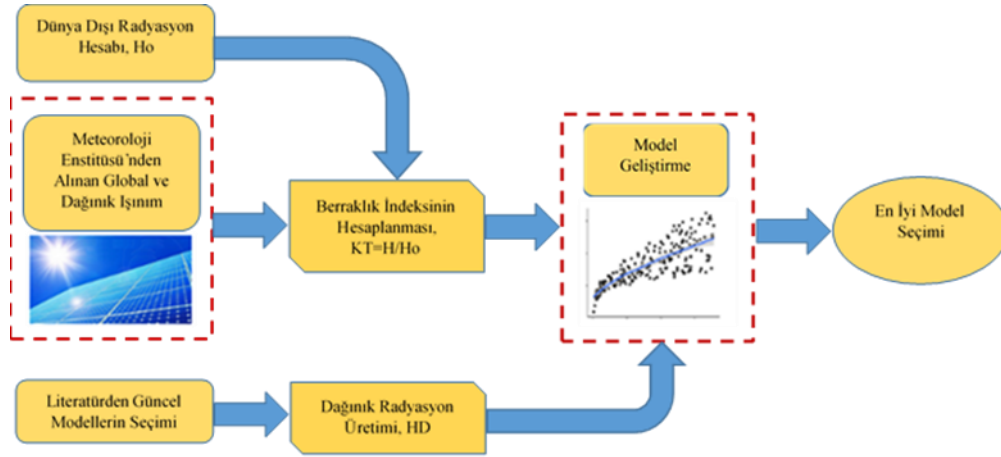
Şekil 5.4, istatistiksel ölçümlerin kutu çizimlerini göstermektedir. Kutu grafiği tipik olarak çeyrekleri (veya yüzdeleri) ve ortalamaları görüntüler. Bu, sayısal verilerin ve değişkenliğin görsel bir dağılımını sunar. Kutu grafikler , daha az yer kaplama avantajıyla, çoklu grupların veya veri setlerinin dağılımlarını gösterir (Çetintürk ve ark., 2023). Şekil 5.4'teki kutu çizimleri, Eşitlik (5.19)'un tahmin hatasının çok düşük olduğunu ve en iyi dağınık ışıının modeli olduğunu açıkça göstermektedir. Eşitlik (5.23), geliştirilen modeller arasında en yüksek hata oranına sahiptir.



Şekil 5.4. (5.17)-(5.23) arası eşitlikleri için kutu çizimleri

5.2.3. Mevcut modellerden dağınık ışıınım tahmini

Türkiye ve dünyadaki diğer lokasyonlar için mevcut ampirik modeller kullanılarak yeni dağınık ışıınım modelleri geliştirilmiştir. Şekil 5.5, dağınık ışıınımın tahmini için akış şemasını göstermektedir. Eşitlikler (5.24) ila (5.35), literatürden elde edilen ampirik modellerdir. Mevcut ampirik modeller Türkiye'nin ve dünyanın farklı bölgelerinden seçilirken, referans verilerle uyumlu olacak şekilde benzer iklim koşullarına sahip olmasına dikkat edilmiştir. Dağınık ışıınım değerleri, H_D literatürden mevcut on iki ampirik model kullanılarak üretildi. Üretilen değerlerin ortalaması alınarak referans dağınık güneş ışıınımı verileri oluşturulmuştur. Küresel güneş ışıınımı H , Türkiye Devlet Meteorolojisinden temin edilmiştir. Dünya dışı güneş ışıınımı H_0 hesaplanmıştır. Dağınık fraksiyonu K_D , açıklık indeksi K_T kullanılarak eğri uydurma yöntemleriyle elde edilmiştir. Güneş ışıınımları, dağılma fraksiyonu ve açıklık indeksi Çizelge 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.5. Yayılan ışınım için model geliştirme akış şeması

Çizelge 5.4 Güneş ışınımları ve açıklık indeksi

Aylar	12 eşitlik ortalaması (H_D)	Ölçülen H	H_0	$K_T = H/H_0$	$KD = H_D/H$
1	3,473722	7,5927618	16,0612836	0,472736924	0,457504
2	4,335037	12,09514185	21,01404757	0,575574116	0,358411
3	5,864856	15,8501781	28,13704113	0,563320714	0,370018
4	7,229537	20,8638711	35,47196753	0,588179133	0,34651
5	8,48711	23,01012945	40,75761532	0,564560249	0,368842
6	8,489352	26,5097709	43,02576907	0,616137061	0,320235
7	7,694236	27,85216365	41,98964435	0,663310301	0,276253
8	7,05005	24,5576754	37,68529918	0,651651332	0,287081
9	5,744565	20,25730845	30,907469	0,655417901	0,28358
10	4,709259	13,8876156	23,2994694	0,596048578	0,339098
11	3,565807	9,87299775	17,24057141	0,572660703	0,361168
12	3,146526	7,23950055	14,59458408	0,49604021	0,434633

Konya ve İç Anadolu bölgesini en iyi şekilde temsil ettiği düşünülen literatürden alınan ampirik modeller aşağıda verilmiştir.

Model 1 (Iqbal, 1979):

$$K_D = 0,91 - 0,847K_T \quad (5.24)$$

Model 2 (Aras ve ark., 2006)

$$K_D = 1,1244 - 1,5582K_T + 0,3635K_T^2 \quad (5.25)$$

Model 3 (Tarhan ve Sarı, 2005)

$$K_D = 0,9885 - 1,4276K_T + 0,5679K_T^2 \quad (5.26)$$

Model 4 (Ulgen ve Hepbasli, 2003)

$$K_D = 1,7821 - 6,648K_T + 11,17K_T^2 - 6,5641K_T^3 \quad (5.27)$$

Model 5 (Page, 1961)

$$K_D = 1,0 - 1,13K_T \quad (5.28)$$

Model 6 (Jacovides ve ark., 1996)

$$K_D = 1,03 - 1,17K_T \quad (5.29)$$

Model 7 (Erbs ve ark., 1982)

$$K_D = 1,317 - 3,023K_T + 3,372K_T^2 - 1,769K_T^3 \quad (5.30)$$

Model 8 (Taşdemiroğlu ve Sever, 1991)

$$K_D = 1,6912 - 8,2262K_T + 25,5532K_T^2 - 37,8070K_T^3 + 19,8178K_T^4 \quad (5.31)$$

Model 9 (Gopinathan ve Soler, 1995)

$$K_D = 0,9138 - 0,96225K_T \quad (5.32)$$

Model 10 (Tarhan ve Sarı, 2005)

$$K_D = 1,027 - 1,6582K_T + 1,1018K_T^2 - 0,4019K_T^3 \quad (5.33)$$

Model 11 (Barbaro ve ark., 1981)

$$K_D = 1,0896 - 1,4797K_T + 0,1471K_T^2 \quad (5.34)$$

Model 12 (Liu ve Jordan, 1960)

$$K_D = 1,390 - 4,027K_T + 5,531K_T^2 - 3,108K_T^3 \quad (5.35)$$

Model geliştirme, MATLAB eğri uydurma araç kutusu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dağılık güneş ışınlamının tahmini için yedi yeni model önerilmiştir. Bunlar doğrusal, ikinci dereceden, üçüncü ve dördüncü dereceden polinom, logaritmik ve üstel modellerdir. Geliştirilen modeller, açıklık indeksinin bir fonksiyonu olan dağılık fraksiyonuna dayanmaktadır. Modeller aşağıdaki gibidir:

$$K_D = 0,9052 - 0,9493K_T \quad R^2 = 0,9999 \quad (5.36)$$

$$K_D = 0,9509 - 1,1105K_T + 0,1409K_T^2 \quad R^2 = 1 \quad (5.37)$$

$$K_D = 1,0198 - 1,4782K_T + 0,7895K_T^2 - 0,3785K_T^3 \quad R^2 = 1 \quad (5.38)$$

$$K_D = 1,6437e^{-2,664K_T} \quad R^2 = 0,9993 \quad (5.39)$$

$$K_D = 0,1535K_T^{-1,502} \quad R^2 = 0,9980 \quad (5.40)$$

$$K_D = 0,0591 - 0,538\ln K_T \quad R^2 = 0,9996 \quad (5.41)$$

$$K_D = 1,1884 - 2,6792K_T + 3,9838K_T^2 - 4,1375K_T^3 + 1,6515K_T^4 \quad R^2 = 1 \quad (5.42)$$

Çizelge 5.5, yedi eşitlik için dağılık ışınlam değerlerini göstermektedir. Çizelge 5.5'te, Eşitlik (5.42)'den üretilen dağılık ışınlam değerleri 3,473759 MJ/m² gün ile 3,146557 MJ/m² gün arasında değişmektedir. Çizelge 5.6, aylık ortalama günlük dağılık ışınlam için istatistiksel test sonuçlarını göstermektedir. 4. dereceden polinom modeli Eşitlik (5.42), MBE = 2,59E-05 MJ/m², MAE=2,60E-05 MJ/m², MSE=9,25E-10 MJ/m², RMSE = 3,04E-05 MJ/m², SSRE = 4,39E-10, RSE = 6,05E-06, R² = 1 ve r=1 ile en yüksek tahmin doğruluğunu göstermiştir. Bunu Eşitlikler (5.37) ve (5.38); MBE= - 0,00013 ve -0,00072 MJ/ m², MAE= 0,000568 ve 0,00072 MJ / m², MSE= 5,36E-07 ve 6,40E-07 MJ/ m², RMSE= 0,000732 ve 0,0008002, SSRE= 1,79E-07 ve 1,89E-07, RSE= 0,000122 ve 0,0001255, R²= 1 ve 1 ve r=1 ve 0,9999999 ile takip eder.

Çizelge 5.6'daki kalın değerler istatistiksel göstergelere göre belirlenen en uygun modelleri temsil etmektedir. Çizelge 5.6'da görüldüğü gibi literatür modelleriyle en uyumlu eşitlikler istatistiksel test sonuçları dikkate alındığında Eşitlikler (5.37), (5.38) ve (5.42)'dir. Literatür modelleri ile en yüksek uyumu sağlayan bir model belirlemek gerekirse bu modeller arasından Eşitlik (5.42) seçilebilir. Bundan sonra sırasıyla (5.37) eşitliği ve (5.38) eşitliği hata oranı düşük olanlardır.

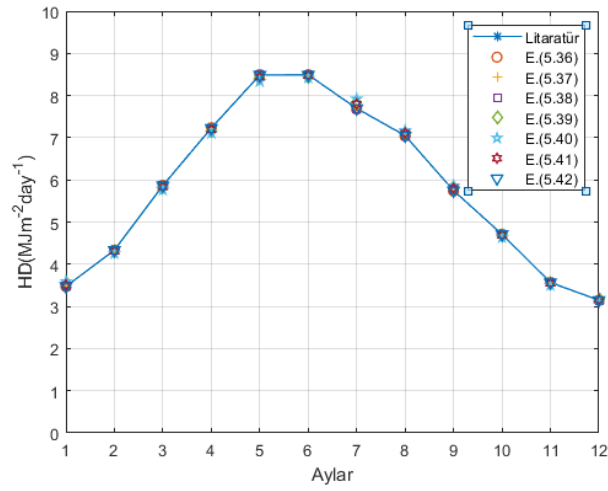
Çizelge 5.5 . Eşitliklerden Hesaplanan Dağınık Işınım Değerleri (5.36)-(5.42)

Ay lar	12 eşitlik in ortalaması (H_D))	Eşitlik _ (5.36)	Eşitlik _ (5.37)	Eşitlik _ (5.38)	Eşitlik _ (5.39)	Eşitlik _ (5.40)	Eşitlik _ (5.41)	Eşitlik _ (5.42)
1	3,4737218	3,465571	3,473036	3,473312	3,509779	3,563846	3,591118	3,473759
2	4,3350371	4,339828	4,334936	4,334465	4,309978	4,316698	4,256447	4,335063
3	5,8648555	5,871534	5,865266	5,864112	5,83158	5,844556	5,761127	5,864895
4	7,2295370	7,236457	7,228749	7,22863	7,19141	7,200324	7,107221	7,229575
5	8,4871104	8,496788	8,487624	8,486026	8,438647	8,456727	8,336017	8,487167
6	8,4893524	8,491108	8,487605	8,488655	8,47502	8,492136	8,422073	8,489382
7	7,6942355	7,673815	7,695195	7,692671	7,798514	7,868507	7,92043	7,694235
8	7,0500497	7,03792	7,049878	7,049279	7,110404	7,156648	7,172073	7,050056
9	5,7445646	5,733057	5,744673	5,743804	5,802457	5,844486	5,865157	5,744568
10	4,7092585	4,713055	4,708543	4,708713	4,687497	4,693321	4,637277	4,709281
11	3,5658073	3,569811	3,565802	3,565338	3,5451	3,55108	3,501028	3,565829
12	3,1465259	3,14418	3,147131	3,146411	3,159036	3,193499	3,185302	3,146557

Çizelge 5.6. Eşitlikler İçin İstatistiksel Test Değerleri (5.36)-(5.42)

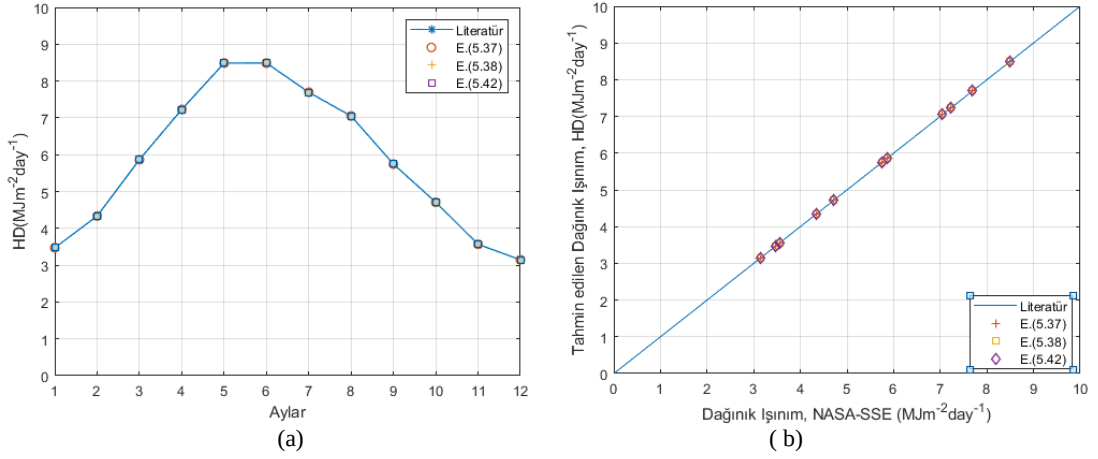
	Eşitlik _ (5.36)	Eşitlik _ (5.37)	Eşitlik _ (5.38)	Eşitlik _ (5.39)	Eşitlik _ (5.40)	Eşitlik _ (5.41)	Eşitlik _ (5.42)
MBE	-0,00141	-0,00013	-0,00072	-0,00272	-0,0029	0,00489	2,59E-05
MAE	0,007682	0,000568	0,00072	0,061191	0,107063	0,039604	2,60E-05
MSE	8,43E-05	5,36E-07	6,40E-07	0,004362	0,013709	0,002155	9,25E-10
RMSE	0,009179	0,000732	0,0008002	0,066044	0,117087	0,046421	3,04E-05
SSRE	2,68E-05	1,79E-07	1,89E-07	0,001558	0,00477	0,000663	4,39E-10
RSE	0,001494	0,000122	0,0001255	0,011395	0,019937	0,007431	6,05E-06
R ²	0,999988	1	1	0,999389	0,998062	0,999699	1
R	0,999988	1	0,9999999	0,999383	0,99806	0,999695	1

Şekil 5.6, geliştirilen modellerden elde edilen dağınık ışınımı göstermektedir. Şekil 5.7a, dağınık ışınımın en iyi modelleri olan eşitliklerin (5.37), (5.38) ve (5.42) karşılaştırmasını göstermektedir. Şekil 5.7b'de modellerden elde edilen değerler ile literatür verileri birbiriyle örtüşmektedir. Literatürde bulunan ampirik modeller kullanılarak ortalama dağınık ışınım değeri üretilmiş ve bu değer literatür olarak adlandırılmıştır. Geliştirilen modeller bu referans dağınık ışınım değeri ile karşılaştırılarak performansları değerlendirilmiştir.

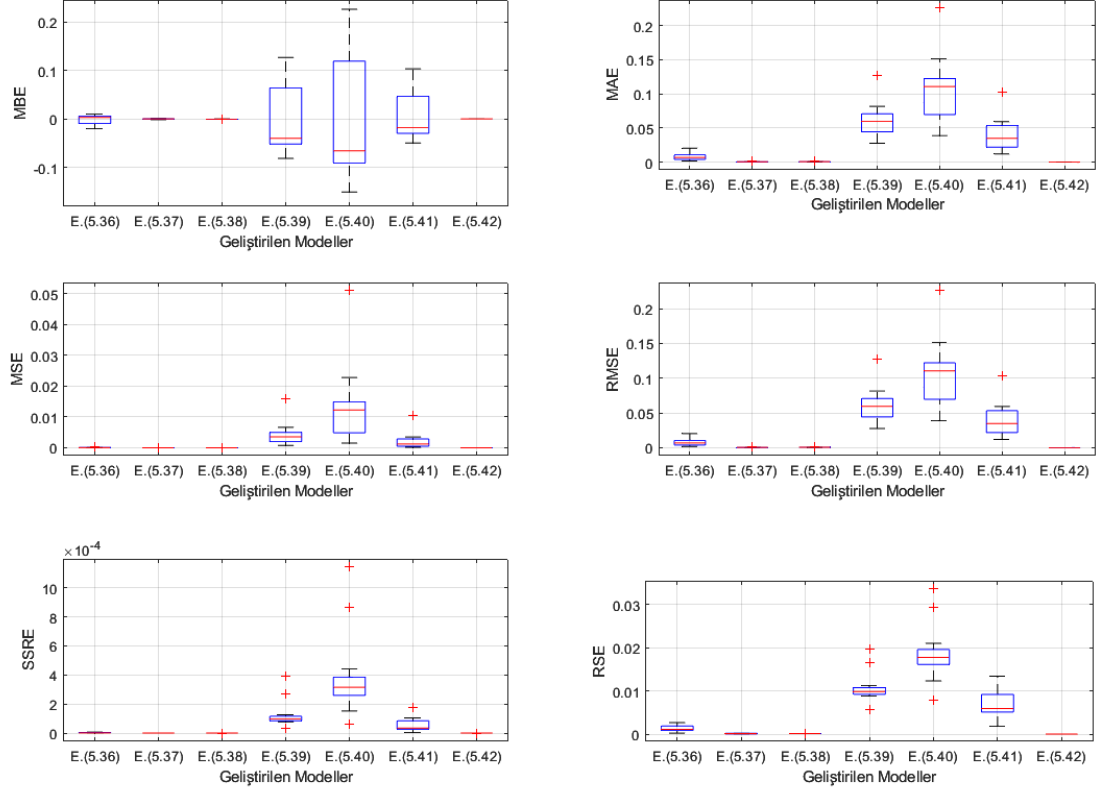


Şekil 5.6. Modeller için dağınık ışınım değerleri

Şekil 5.8, istatistiksel ölçümlerin kutu çizimlerini göstermektedir. Şekil 5.8'de görüldüğü gibi geliştirilen en iyi model Eşitlik (5.42)'dir. Bunu ikinci en iyi model olan Eşitlik (5.37) ve üçüncü en iyi model olan Eşitlik (5.38) takip eder. Ayrıca Eşitlik (5.40), geliştirilen modeller arasında en yüksek hata oranına sahiptir.



Şekil 5.7. Eşitlikler için dağınık ışınım değerlerinin karşılaştırılması (5.37,5.38,5.42)



Şekil 5.8. Eşitlikler (5.36)-(5.42) için kutu çizimleri

5.3. Bulgular ve Tartışmalar

Güneş enerjisi araştırmalarında, dağınık ışıyım bileşenini küresel ışıyımdan ayırıştırabilmek önemlidir. Bu nedenle, dağınık ışıyımda doğru ve etkili bir model oluşturmak değerlidir. Bu bölümde, dağınık güneş ışıyımı için dağınık fraksiyon ve açıklık indeksine dayalı doğrusal ve doğrusal olmayan korelasyonlar geliştirilmiştir. Bu kapsamda mevcut modeller ve NASA-SSE verileri kullanılarak dağınık ışıyımı tahmin etmek için 14 model oluşturulmuştur. Geliştirilen modellerin performansları değerlendirilmiş ve sekiz istatistiksel metrik ile karşılaştırılmıştır. Geliştirilen modellerin daha doğru bir model olup olmadığına karar vermek için hataların düşük değerlere sahip olup olmadığına, belirleme katsayısına ve korelasyon katsayısının 1'e yakın olup olmadığına bakılır. Eşitlik (5.19) NASA-SSE kullanılarak elde edilen en doğru modeldir. Eşitlikler (5.37) ve (5.42), literatürdeki mevcut modeller kullanılarak önerilen en iyi dağınık ışıyım modelleridir. Önerilen modeller aşağıda verilmiştir.

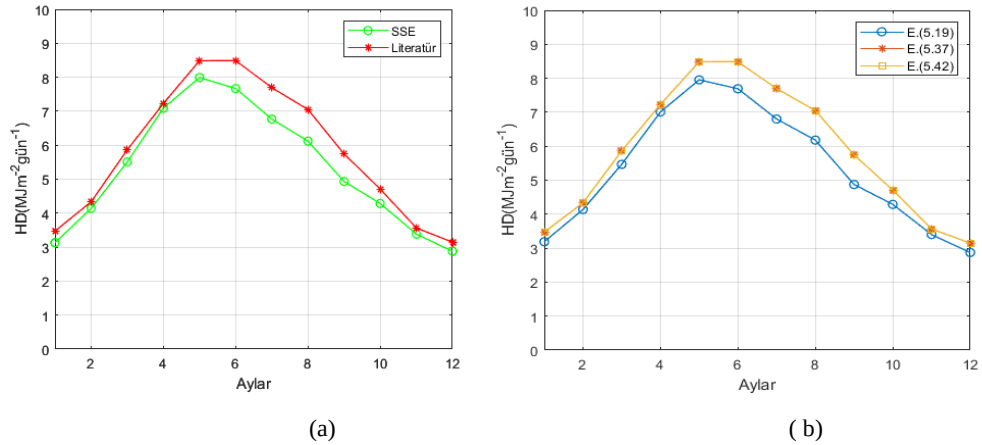
$$K_D = -0,7995 + 7,33064K_T - 13,54K_T^2 + 6,964K_T^3$$

$$K_D = 0,9509 - 1,1105K_T + 0,1409K_T^2$$

$$K_D = 1,1884 - 2,6792K_T + 3,9838K_T^2 - 4,1375K_T^3 + 1,6515K_T^4$$

Şekil 5.9a, NASA-SSE ve literatür için dağınık güneş ışıınım verilerini göstermektedir. Literatürde bulunan ampirik modeller kullanılarak ortalama dağınık ışıınım değeri hesaplanmış ve bu değere literatür adı verilmiştir. Daha sonra yeni geliştirilen modeller bu referans dağınık ışıınım değeri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 5.9b, geliştirilen modellerin genel karşılaştırmasını göstermektedir. Şekil 5.9b'de geliştirilen modeller, Şekil 5.9a'daki referans dağınık ışıınım değerlerine en yakın sonuçları üreterek en iyi uyumu temsil eder.

İkinci, üçüncü ve dördüncü dereceden polinom eşitlikleri daha iyi sonuçlar verirken, logaritmik ve üstel eşitlikler dağınık ışıınımı tahmin etmede nispeten başarısızdır. Dağınık güneş ışıınımlarını tahmin etmek için bulunan modeller optimal çözümlerdir. Hem literatürdeki modelleri hem de NASA-SSE verilerini kullanarak dağınık güneş ışıınımını tahmin etmeye yönelik yeni bir yaklaşım sunulmaktadır. Geliştirilen modellerin araştırmacılara ve yatırımcılara yardımcı olacağı ve bu alanda önemli bilgiler sağlayacağı umulmaktadır.



Şekil 5. 9. (a) NASA-SSE ve literatür için dağınık ışıınımlar b) En iyi modellerin karşılaştırılması

6. YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ İLE GÜÇ TAHMİNİ

Çatılara monte edilen küçük ölçekli PV sistemlerin sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Çatı PV sisteminden elde edilecek enerjinin miktarının tahmin edilerek önceden bilinmesi bina sahibi, dağıtım şirketi ve şebeke yöneticisi için çeşitli faydalar sağlamaktadır. Bina sahibi üreteceği elektrik enerji miktarını doğru bir şekilde tahmin ederse tüketimini bu tahmine göre şekillendirebilir. Bunun sonucunda kendi ürettiği elektriği kullanma oranı artar. Böylece şebekeden elektrik aldığı anda ödeyeceği dağıtım, iletim, vergi vb. ek enerji maliyetlerini azaltmış olur.

Dağıtım şirketleri, bünyesinde bulunan hatlardan çekilecek enerji miktarını tahmin etmekle yükümlüdür. Türkiye’de EPIAŞ tarafından yürütülen Gün Öncesi Piyasası ile bu işlemler yürütülmektedir. Dağıtım şirketleri kendilerine bağlı müşterilerin toplam tüketecekleri elektrik enerjisini tahmin ederken, müşterilerinde bulunan çatı fotovoltaik sistemlerini de göz önünde bulundurmak zorundadır. Örneğin çatısında 150KW lık bir PV sistem kurulu bir fabrikayı düşünelim. Bu fabrikanın herhangi bir saatlik diliminde tüketeceği elektrik enerjisinin 450KWh olduğunu varsayalım. Havanın açık ve güneşli olduğu bir zamanda dağıtım şebekesinden çekeceği enerji 450KWh-150KWh=300KWh olmaktadır. Havanın kapalı olduğu bir zamanda ise PV sistemin 50KWh’lik elektrik enerjisi üreteceğini varsayalım. Bu durumda dağıtım şebekesinden çekeceği enerji miktarı 450KWh-50KWh=400KWh olacaktır. Fabrikanın tüketeceği enerji değişmezken, hava durumuna bağlı olarak fabrikanın dağıtım şebekesinden çekeceği elektrik enerji miktarı değişmektedir. Bu yüzden dağıtım şirketleri tüketim tahminlerini yaparken PV sistemlerin üreteceği enerji miktarını da göz önünde bulundurmaktadırlar. Aksi durumda dağıtım şirketinin tüketim tahminlerindeki hatalar artar ve bu hatalar oranında cezalarla karşılaşılır.

Elektrik şebeke yönetici açısından dağıtım şirketlerinin tahminlerinin doğruluğunun yüksek olması, şebeke işletilirken sağlanması gereken elektrik üretim-tüketim dengesini sağlamayı kolaylaştırır. Şu anda Türkiye’de 1MW üstü fotovoltaik santrallerin üretimi tahmini yapılması zorunluysa, çatı sistemlerinin kurulu güçleri genelde 1MW altında olduğu için çatı tipi fotovoltaik sistemlerde üretimin bina sahibi tarafından tahmin edilmesi zorunlu değildir.

Binaların çatıları, eğim durumlarına bağlı olarak üç ana gruba ayrılabilir. Bu gruplar, düz çatılar (sıfır eğime sahip olanlar), bir eğimli yüzeye sahip çatılar ve birden fazla eğimli yüzeye sahip çatılar şeklinde sınıflandırılabilir. Evler, ticari işletmeler ve

küçük-orta ölçekli sanayi işletmelerinin çatıları genellikle açılı çatılar kategorisine girmektedir. Diğer yandan büyük sanayi binalarının çatıları genellikle eğimsiz düz çatılara sahip olmaktadır.

Araziye montajı yapılan fotovoltaik sistemlerin kurulumunda kurulacak yerin konumu da göz önünde bulundurularak azimut açısı ve eğim açısı en optimum olacak şekilde belirlenir ve kurulum buna göre yapılır. Bina çatılarında ise bu durum söz konusu değildir. Çatının tipine göre parametreler değişiklik gösterir. Şekil 6.1’de her üç çatı tipine sahip binalardaki fotovoltaik sistem örnekleri gösterilmiştir. Düz çatılarda azimut açısı ve eğim istenildiği gibi ayarlanabilmektedir. Eğime sahip çatılarda ise bu durum geçerli değildir. Binanın yönüne ve çatının bir veya birden fazla eğimden oluşması durumuna göre azimut ve eğim açılarında kısıt söz konusudur. Eğimli çatılarda azimut ve eğim açısında bina referans alınarak binaya uyulması mekanik açılarından bir zorunluluktur. Örneğin eğimli bir çatıya sahip bir binanın yönü güney doğu yönündeyse, çatıya kurulacak fotovoltaik sistemin azimut açısı da güney doğuya bakacaktır.



Şekil 6.1. (a) Düz çatıya kurulmuş sistem (b) Bir eğimli çatıya kurulmuş sistem (c) Birden fazla eğime sahip çatıya kurulmuş sistem

Çatıya kurulu fotovoltaik sistemler üzerine yapılan çalışmalar sınırlıdır. Jasinski ve ark. (2023) çalışmasında çatıya monte edilmiş fotovoltaik bir sistemin üreteceği elektrik enerjisi tahmin edilmiştir. Yöntem olarak benzer gün yaklaşımı ve ileri beslemeli yapay sinir ağları kullanılmıştır. Benzer gün yaklaşımı için Öklid mesafesi kullanılırken, yapay sinir ağlarının eğitiminde 3 farklı eğitim algoritması kullanılmıştır. Giriş olarak hava koşulları ve geçmiş elektriksel üretim verileri kullanılmıştır. 10 aylık bir periyotta 10’ar dakikalık elektrik üretim verileri kaydedilmiştir. Hava tipi, sıcaklık, çiy noktası ve nem ise hava parametreleri olarak seçilmiştir. Verilerin %80 i eğitim, %10 u doğrulama ve kalan %10 u ise test için rastgele belirlenmiştir. Toplamda 53 giriş kullanılırken çıkış sayısı ise 25’tir. İnce film panel, Monokristal ve Polikristal olmak üzere üç farklı tipte

panel kullanılmıştır. İnce film panel ve Monokristal paneller aynı azimut açısında yerleştirilirken, Polikristal paneller ise azimut açısı daha fazla olan çatının üstüne monte edilmiştir. Aynı azimuta bakan panellerde üretimde benzerlikler görülmesine rağmen farklı azimut açısına bakan panelin üretimi diğerlerine benzememektedir. Bunda çatının yapısından dolayı azimut açısı farkının 90 derece olması en büyük etkidir. Ortalama yüzde tahmin hatası %9 olarak tespit edilmiştir.

Zhi ve ark. (2023) çalışmasında hiyerarşik kümeleme yöntemi kullanılarak saatlik güneş radyasyon ve enerji tahmini yapılmıştır. Çin’de bulunan Ruicheng şehrine ait saatlik geçmiş güneş radyasyon değerleri, direkt radyasyon, toplam radyasyon ve yansıyan radyasyon gibi değerler PVSYST ve DEST programlarından elde edilmiştir. Bu radyasyon değerleri her bir mevsim için 4 kısma ayrılmıştır. Ayrıca hava durumu ise güneşli, yağmurlu, bulutlu, güneşliden bulutluya, bulutludan güneşliye olmak üzere beş kategoriye ayrılmıştır. Dört aylık bir elektrik üretimi de kaydedilmiştir. Yapılan tahmin sonucunda üretilen enerji %18.9 hata ile tahmin edilmiştir.

Rajput ve Dheer (2023) çalışmasında güç faktörü ile güneş yoğunluğu arasında bir matematiksel model geliştirilmiştir. Endüstrideki çatıya kurulan fotovoltaik sistemlerde kötü voltaj kalitesi, akım harmonikleri ve güç faktörünün azalması olumsuz etkiler söz konusu olmaktadır. Çatıya kurulu fotovoltaik sistem aktif güç üretip fabrikaya verir. Fabrikanın şebekeden çektiği aktif güç azaldığı için güç faktörünün azalmasına ve bunun sonucunda reaktif cezaya girip faturasının artmasına neden olabilir. Bunun önüne geçebilmek için endüstride ve literatürde birçok yaklaşım bulunmaktadır. Bu çalışmada güneş yoğunluğu gibi bir çevresel parametrenin güç faktörüne nasıl etki ettiği incelenmiştir. Güneş yoğunluğunun 20 W/m^2 den 857 W/m^2 ye çıkması sonucunda güç faktörünün 0,92 den 0,63 e düştüğü görülmüştür.

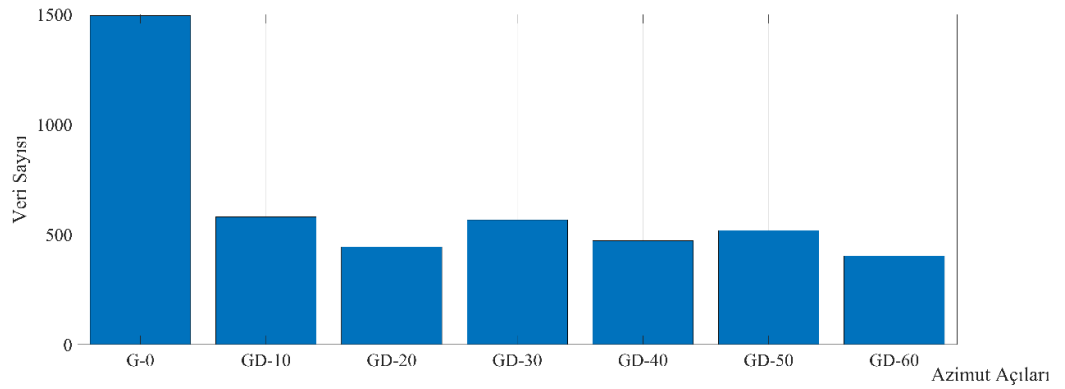
Araziye kurulu fotovoltaik sistemlerin üreteceği elektrik enerjisi miktarının tahmini daha kolaydır. Çatıya kurulu sistemlerde azimut ve eğim açısı çok farklılık gösterdiği için daha zordur. Bu çalışmada farklı eğimlere sahip paneller kullanılmıştır. Bu panellerin yıl boyunca periyotlarda azimut açıları değiştirilerek üretim değerleri bir yıl boyunca saatlik bazda ölçülmüştür. Konya’da kurulan bu sistemin üretim değerleri incelendiğinde kış aylarında genellikle 08-17 saatleri arasında, yaz aylarında ise genellikle 06-19 saatleri arasında üretimin olduğu görülmektedir. Bir yıla ait 8.760 saatlik veride sadece üretimin olduğu 4.475 saatlik veri üretim tahmini için kullanılmıştır.

Azimut açılarının değişimleri Güney-0 derece(G0), Güney-Doğu-10 derece(GD10), Güney-Doğu-20 derece(GD20), Güney-Doğu-30 derece(GD30), Güney-

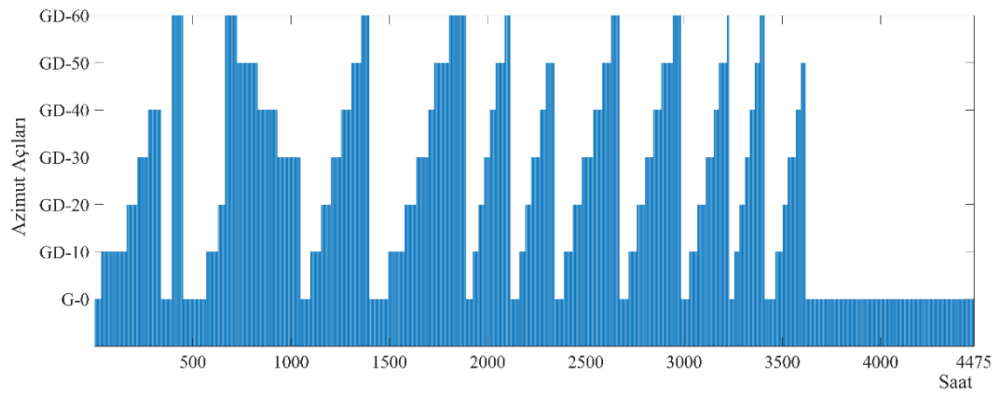
Doğu-40 derece(GD40), Güney-Doğu-50 derece(GD50), Güney-Doğu-60 derece(GD60) şeklinde olmak üzere toplamda 7 tanedir. Azimut açılarının dağılımı Çizelge 6.1 de ve Şekil 6.2 de verilirken, bir yıl boyunca hangi aralıkla değiştirildiği ise Şekil 6.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.1.- Azimut açılarının sayı dağılımı

Azimut Açısı	Veri Sayısı
Güney 0	1494
Güney-Doğu 10	580
Güney-Doğu 20	444
Güney-Doğu 30	566
Güney-Doğu 40	471
Güney-Doğu 50	518
Güney-Doğu 60	402



Şekil 6.2. Azimut açılarının dağılımı

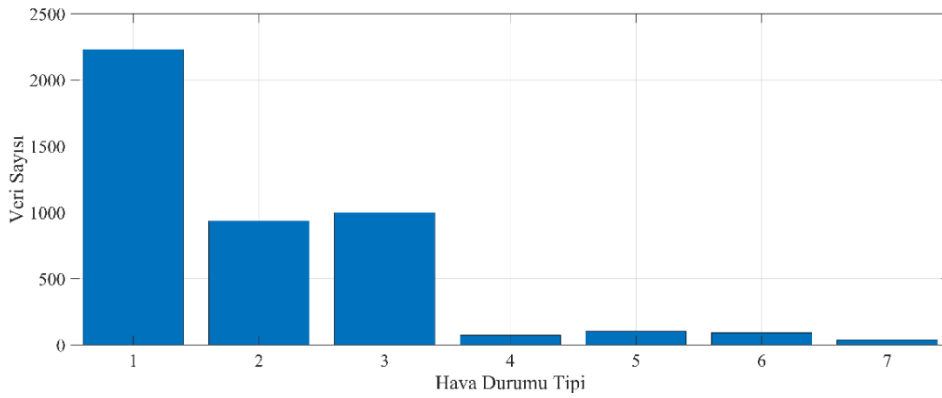


Şekil 6.3: Azimut açılarının yıl içinde değişimi

Üretimin ölçüldüğü yıl olan 2021 yılına ait saatlik meteorolojik veriler tahminde kullanılmıştır. Yapılan tahminde giriş verisi olarak saat, sıcaklık, çığ noktası, rüzgar hızı, basınç, hava durumu ve azimut açısı meteorolojik değişkenler olarak kullanılmıştır. Açık hava, bulutlu hava, yağışlı hava gibi ifadelerle sahip hava durumu bilgisi Çizelge 6.2. 'de verildiği şekilde gruplanarak sayısal veriye dönüştürülmüştür. 2021 yılına ait hava durumunun dağılımı ise Şekil 6.4'te verilmiştir. Görüldüğü gibi en çok 1 ile ifade edilen Açık, Açık/Rüzgarlı hava durumu görülmüştür.

Çizelge 6.2.- Hava Durumu İfadelerinin gruplanması

Hava Durumu	Sayısal İfade
Açık, Açık/Rüzgarlı	1
Parçalı Bulutlu, Parçalı Bulutlu/Rüzgarlı	2
Bulutlu, Bulutlu/Rüzgarlı	3
Hafif Kar, Kar, Hafif Kar/Rüzgarlı	4
Hafif Yağmurlu, Hafif Yağmurlu/Rüzgarlı	5
Sis	6
Yağmurlu, Sağanak Yağışlı	7



Şekil 6.4: Hava durumu dağılımı

Çizelge 6.3'te görüldüğü gibi farklı parametrelere sahip toplamda 5 solar panel kullanılmıştır. Panel-1'in azimut derecesi sabit, eğim derecesi 30 olarak seçilmiştir. Diğer

panellerde ise azimut açısı yıl boyunca değiştirilmiştir. Panel-2, Panel-3, Panel-4 ve Panel-5 in eğim açıları ise sırasıyla 60, 45, 30 ve 15 derece olarak belirlenmiştir.

Çizelge 6.3- Kurulan panellerin parametreleri

	Azimut Açısı	Eğim Açısı
Panel-1	Sabit	30
Panel-2	Değişken	60
Panel-3	Değişken	45
Panel-4	Değişken	30
Panel-5	Değişken	15

Tahmin yöntemi olarak İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları kullanılmıştır. Ağ eğitim fonksiyonu olarak Levenberg-Marquardt algoritması seçilmiştir. Öncelikle veriler 0.1-0.9 aralığında normalizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Veriler eğitim ve test verileri olarak 9:1 oranında rastgele gruplanmıştır. Farklı gizli nöron sayılarıyla tahmin programı 10'ar kez çalıştırılmıştır. Tahmin modeli olarak iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. Birincisinde her bir azimut açısındaki veriler bağımsız düşünülerek 7 farklı azimut açısı için 7 farklı yapay sinir ağı eğitilmiştir. Birinci yaklaşım Çoklu Model olarak isimlendirilmiştir. Çizelge 6.4 de Çoklu Model'e ait tahmin hata sonuçları verilmiştir. İkinci yaklaşımda ise azimut açıları da bir giriş olarak düşünülüp tek bir yapay sinir ağı yapısı eğitilmiştir. İkinci yaklaşım ise Tek Model olarak isimlendirilmiştir. Çizelge 6.5 te yapılan tahmine yönelik elde edilen her bir denemede elde edilen hatalar verilmiştir. Tahmin sonuçlarına bakıldığında aşağıdaki çıkarımlar yapılabilir.

- ✓ Tek Model'de elde edilen hatalar ile Çoklu modelde elde edilen en iyi sonuçların ortalama hatası değerleri karşılaştırıldığında Tek Model sonuçlarının az da olsa daha iyi olduğu görülmektedir. Çoklu Model'de Panel-2'den Panel-5'e kadar olan en iyi sonuçların ortalaması sırasıyla 0,192, 0,187, 0,182 ve 0,185 olarak bulunmuştur. Tek Model de ise Panel-2'den Panel-5'e kadar olan en iyi sonuçlar sırasıyla 0,191, 0,175, 0,175 ve 0,180 olarak bulunmuştur.
- ✓ Çoklu Model'e ait sonuçlarda en iyi sonuç veren Nöron sayısına bakıldığında bu değerlerin sabit bir değer olmadığı ve her bir azimut verisine göre farklılaştığı görülmektedir. Tek Model'de en iyi sonuçların alındığı Nöron Sayılarının ise 20, 25 ve 30 olduğu görülmektedir.

- ✓ Panel-1 sabit azimuta sahip olduğu için azimuta göre ayrı modellerin kullanıldığı Çoklu Model yaklaşımında Panel-1 kullanılamamıştır.
- ✓ Azimutun değiştirilmesinin tahmin hatasını nasıl etkilediğini görmek için sabit azimuta sahip Panel-1 ile azimutu değişen diğer panellerin sonuçları karşılaştırılabilir. Tek Model’de elde edilen sonuçlara göre Panel-1’in üreteceği saatlik enerjinin tahmini diğer panellere göre daha kolaydır. Bu yüzden Panel-1’e ait hata 0,167 bulunurken diğer panellere ait hatalar 0,175-0,191 aralığında çıkmaktadır.

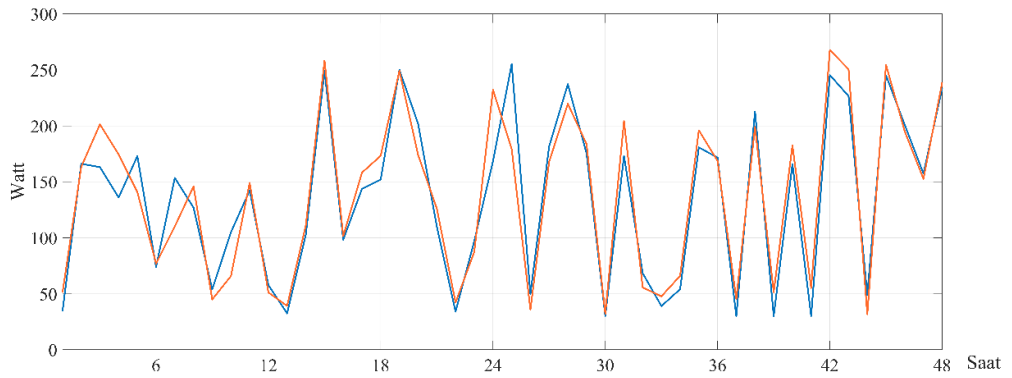
Çizelge 6.4- Çoklu Model’e ait tahmin hataları

Azimut	Nöron Sayısı	Panel-5	Panel-4	Panel-3	Panel-2
Güney-0	5	0,235	0,221	0,230	0,237
	10	0,217	0,201	0,208	0,205
	15	0,205	0,199	0,195	0,205
	20	0,202	0,217	0,220	0,213
	25	0,208	0,204	0,234	0,235
	30	0,203	0,208	0,244	0,232
Güney-Doğu 10	5	0,214	0,215	0,215	0,225
	10	0,196	0,203	0,193	0,203
	15	0,187	0,216	0,197	0,211
	20	0,206	0,218	0,200	0,190
	25	0,216	0,189	0,199	0,205
	30	0,222	0,195	0,205	0,197
Güney-Doğu 20	5	0,182	0,187	0,203	0,174
	10	0,183	0,185	0,173	0,161
	15	0,182	0,152	0,184	0,167
	20	0,192	0,186	0,204	0,195
	25	0,180	0,174	0,185	0,174
	30	0,184	0,197	0,199	0,186
Güney-Doğu 30	5	0,194	0,198	0,195	0,185
	10	0,196	0,189	0,174	0,201
	15	0,173	0,175	0,176	0,188
	20	0,183	0,188	0,191	0,189
	25	0,191	0,182	0,207	0,197
	30	0,186	0,203	0,187	0,186
Güney-Doğu 40	5	0,207	0,212	0,208	0,197
	10	0,203	0,238	0,201	0,207
	15	0,200	0,212	0,205	0,218
	20	0,227	0,228	0,213	0,211

	25	0,196	0,234	0,233	0,199
	30	0,243	0,203	0,197	0,215
	5	0,166	0,164	0,190	0,200
Güney-Doğu 50	10	0,175	0,158	0,199	0,211
	15	0,168	0,183	0,196	0,207
	20	0,180	0,188	0,211	0,214
	25	0,177	0,173	0,199	0,215
	30	0,208	0,201	0,202	0,221
	5	0,213	0,224	0,213	0,236
Güney-Doğu 60	10	0,196	0,199	0,215	0,207
	15	0,200	0,204	0,207	0,208
	20	0,213	0,221	0,201	0,225
	25	0,199	0,206	0,190	0,210
	30	0,238	0,208	0,219	0,217
En İyi		0,185	0,182	0,187	0,192
Sonuçların Ortalaması					

Çizelge 6.5 Tek Model'e ait tahmin hataları

	Nöron Sayısı	Panel-1	Panel-5	Panel-4	Panel-3	Panel-2
	5	0,186	0,206	0,193	0,198	0,207
	10	0,176	0,187	0,184	0,184	0,193
Tek Model	15	0,173	0,183	0,178	0,182	0,195
	20	0,167	0,180	0,175	0,182	0,193
	25	0,170	0,182	0,177	0,180	0,191
	30	0,173	0,184	0,176	0,175	0,193



Şekil 6.5 Tek Model yaklaşımında elde edilen tahmini güç değerleri ve ölçülen gerçek güç değerleri

7. FOTOVOLTAİK PANELLERİN OPTİMUM EĞİM AÇISININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Kurulumu gerçekleştirilen deney düzeneğinden elde edilen veriler uzun süreli olarak kaydedilmiştir. 1 Ocak 2021 tarihinden başlayarak 31 Aralık 2022 tarihine kadar veri toplama işlemi devam etmiştir. Deney düzeneği biri güney yönünde 0° azimutta ve 30° eğim açısında yerleştirilen sabit düzeneğe, diğeri 0° ile 60° doğu batı yönünde hareket edebilen ve üzerinde 15° , 30° , 45° ve 60° eğimlerde yerleştirilmiş dört adet panel bulunan hareketli düzeneğe.

7.1. Azimut 0° için PV Panellerin Işınım Verilerinin Karşılaştırılması

Sabit ve hareketli düzeneğe bulunan panellerden elde edilen elektrik enerjisi mikroinverterler aracılığıyla şebekeye bağlanmış ve veriler bir bulut hesabında kaydedilmiştir. İnverter kayıtları her gün, her saat on beşer dakikalık sürelerde kaydedilmiştir. Panellerin üzerinde bulunan ışınlam ve panel sıcaklık sensörlerinden elde edilen veriler NI6221 veri kartı yardımı ile 10 saniyelik sürelerde sürekli olarak kaydedilmiştir.

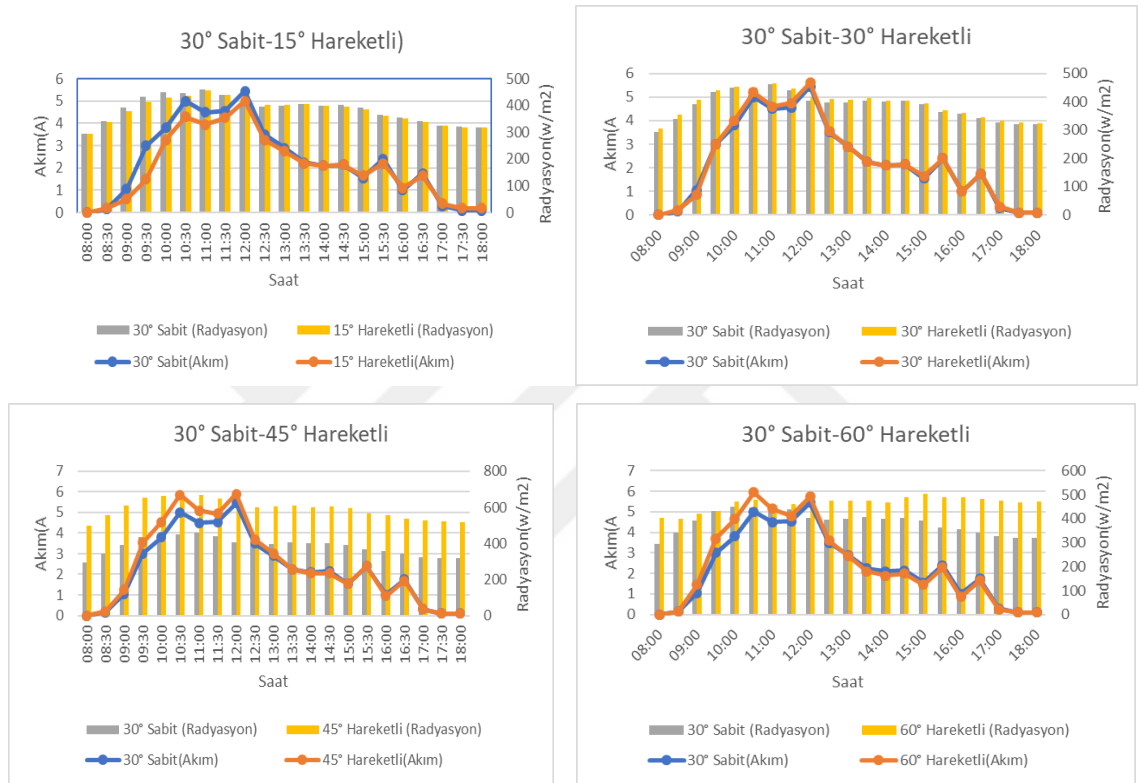
Çizelge 7.1. Ölçüm tarihleri

Aylar	Azimut	Tarih	Saat
Ocak	Güney 0°	03-01-2021	08:00-18:00
Şubat	Güney 0°	03-02-2021	08:00-18:00
Mart	Güney 0°	12-03-2021	08:00-18:00
Nisan	Güney 0°	03-04-2021	08:00-18:00
Mayıs	Güney 0°	01-05-2021	08:00-18:00
Haziran	Güney 0°	17-06-2021	08:00-18:00
Temmuz	Güney 0°	23-07-2021	08:00-18:00
Ağustos	Güney 0°	14-08-2021	08:00-18:00
Eylül	Güney 0°	15-09-2021	08:00-18:00
Ekim	Güney 0°	04-10-2021	08:00-18:00
Kasım	Güney 0°	04-11-2021	08:00-18:00
Aralık	Güney 0°	04-12-2021	08:00-18:00

Hareketli düzeneğe yılın her ayı içerisinde doğu yönünde 0° ile 60° azimut açıları arasında 10° lık farklarla değişiklik yapılarak değerler kaydedilmiştir. Sabit açılı panel üzerindeki

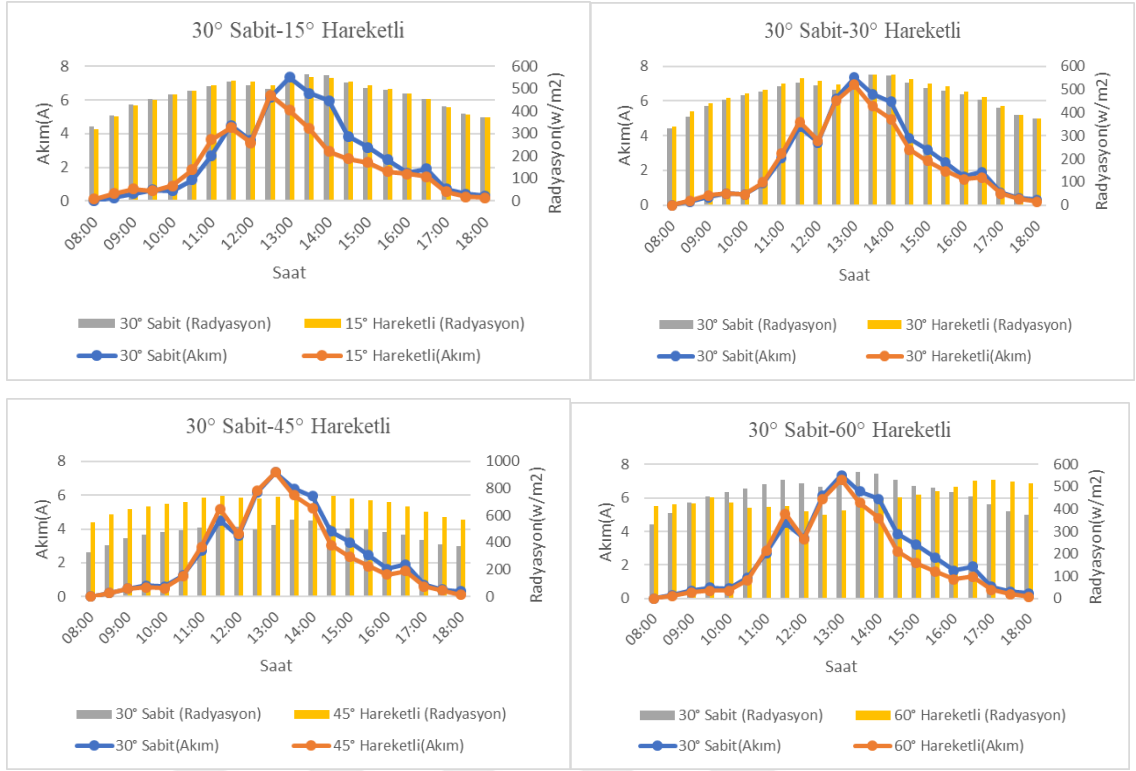
panelde toplanan ışı nım değ eri ve panelin ürett iğ i akım değ eri hareketli dü zenekte yer alan farklı eğ imlerde bulunan panellerde toplanan ışı nım değ erleri ve ürett ikleri akımlar ile karşı laşı tırılmış tır. Yapılan karşı laşı tırma için Ç izelge 7.1’de hangi aylarda hangi azimut değ erinde veriler alındı ğ ı verilmiş tir.

Yılın her ayı için sabit açılı panel değ erleri ile hareketli dü zenekteki değ erlerin karşı laşı tırılmaları grafik olarak verilmiş tir. Grafikte ışı nım değ eri birim olarak W/m^2 olarak verilmiş tir.

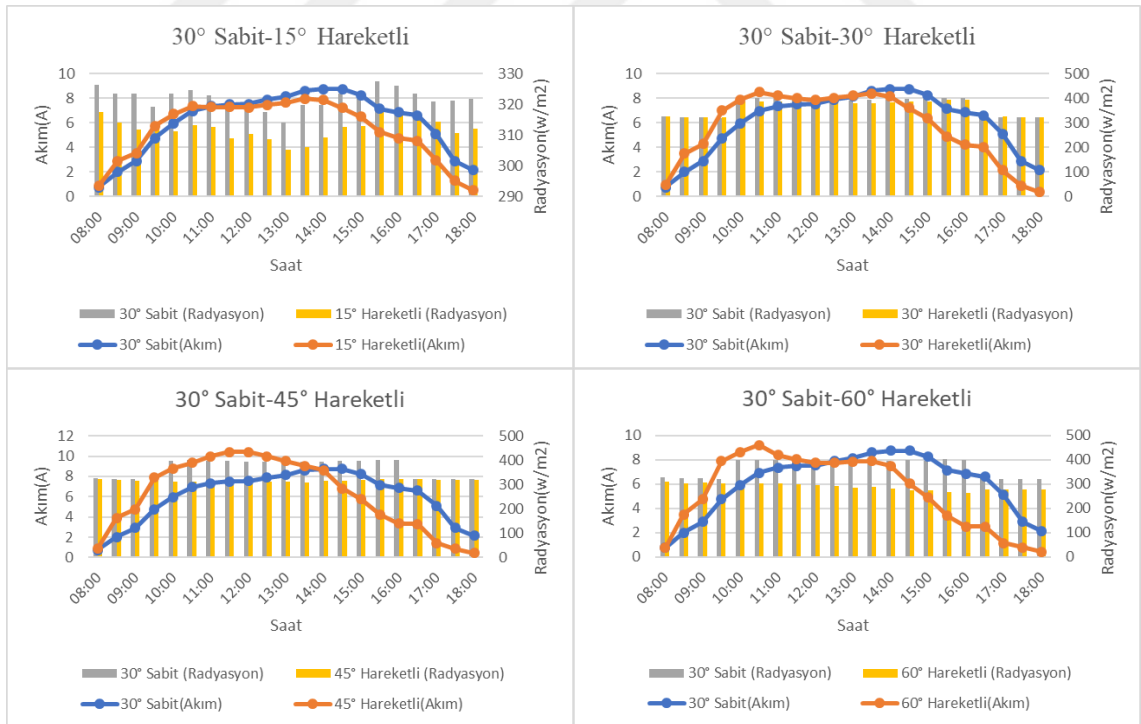


Ş ekil 7.1. 3 Ocak 2021 PV paneller arası karşı laşı tırma

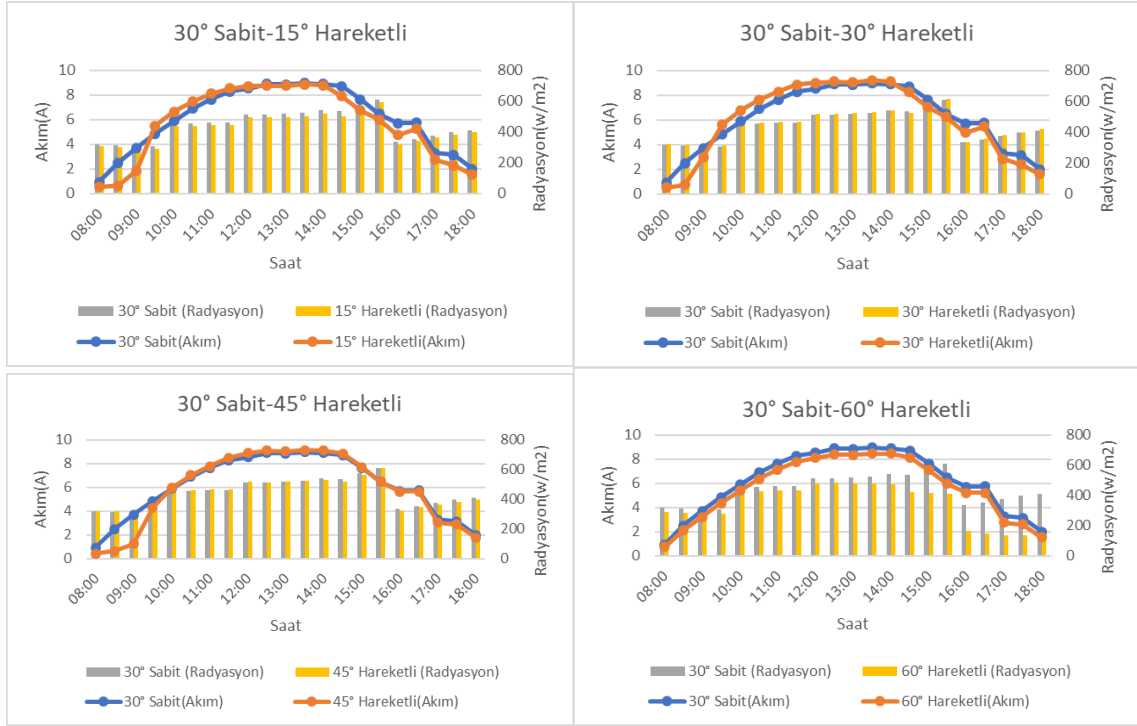
Ş ekil 7.1- Ş ekil 7.3’ten Ocak, Ş ubat ve Mart aylarına ait grafikler incelendiğ inde, Ocak ve Ş ubat aylarında 45°’lik ve 60°’lik panellerin daha yüksek güneş ışı nımına maruz kaldı ğ ı buna mukabil 30°’lik ve 15°’lik panellerde daha az ışı nım toplandı ğ ı gözlemlenmiş tir. Mart ayında ise en yüksek ışı nım değ erlerinin 30°’lik panellerde toplandı ğ ı ve sırayla 45°’lik, 15°’lik ve 60°’lik panellerde daha düşük ışı nım değ eri gözlemlenmiş tir.



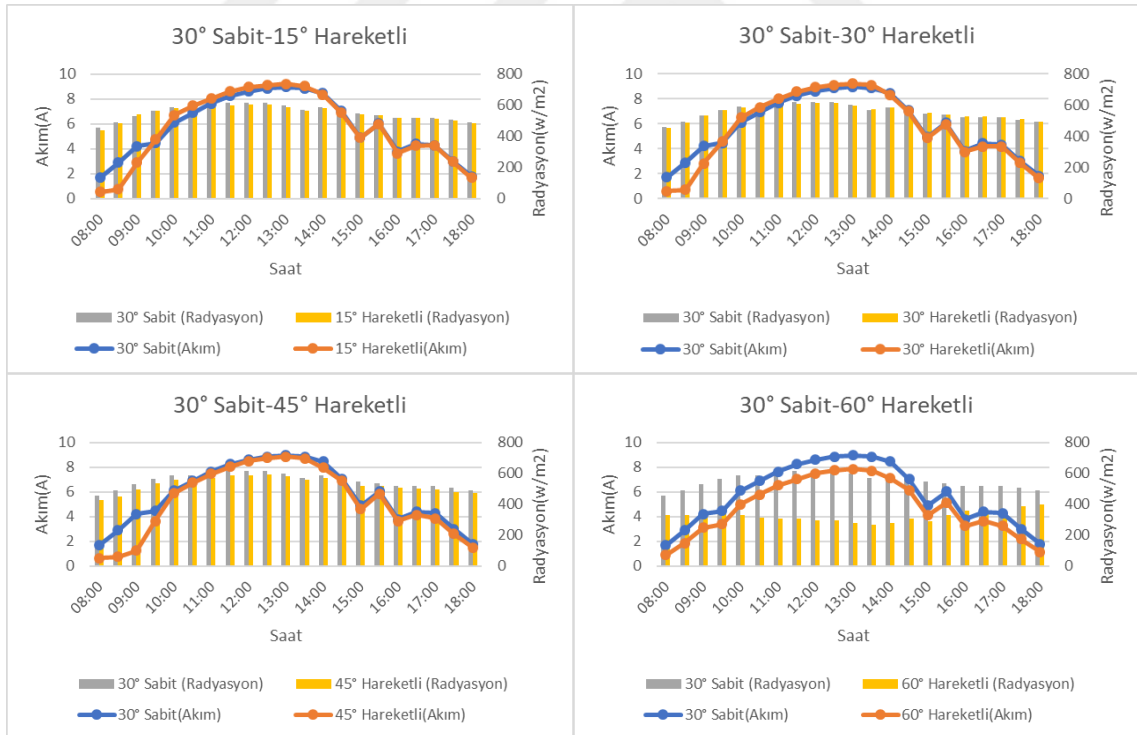
Şekil 7.2. 3 Şubat 2021 PV paneller arası karşılaştırma



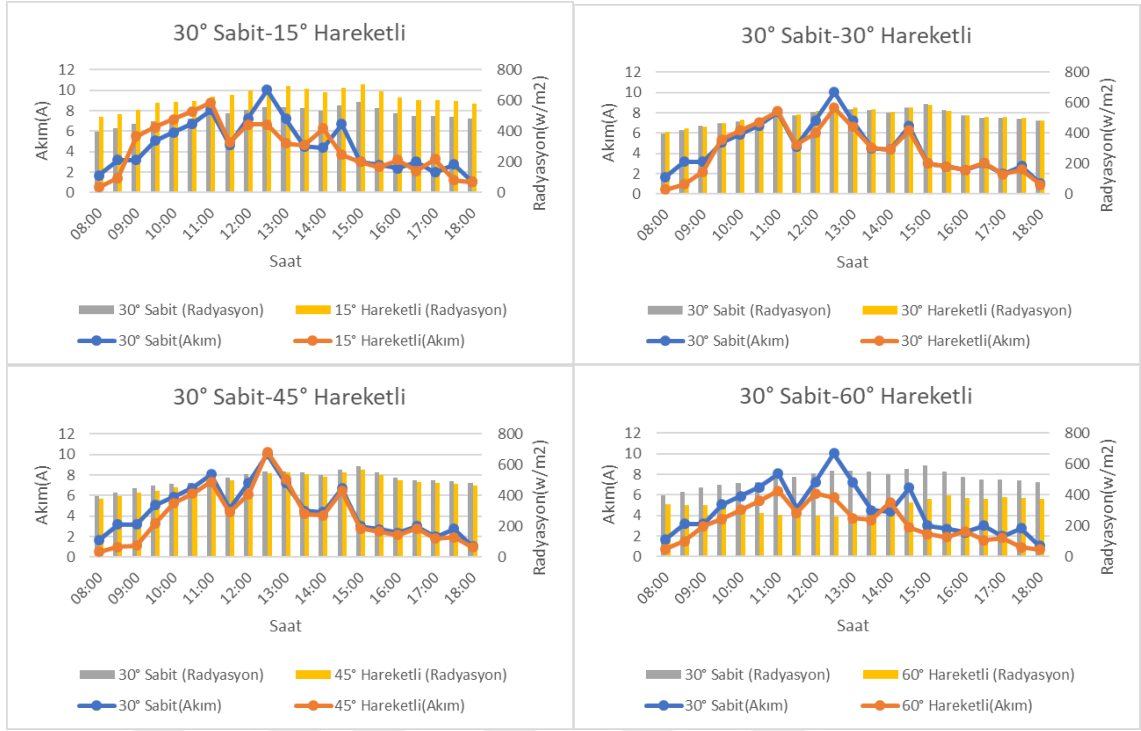
Şekil 7.3. 12 Mart 2021 PV paneller arası karşılaştırma



Şekil 7.4. 3 Nisan 2021 PV paneller arası karşılaştırma



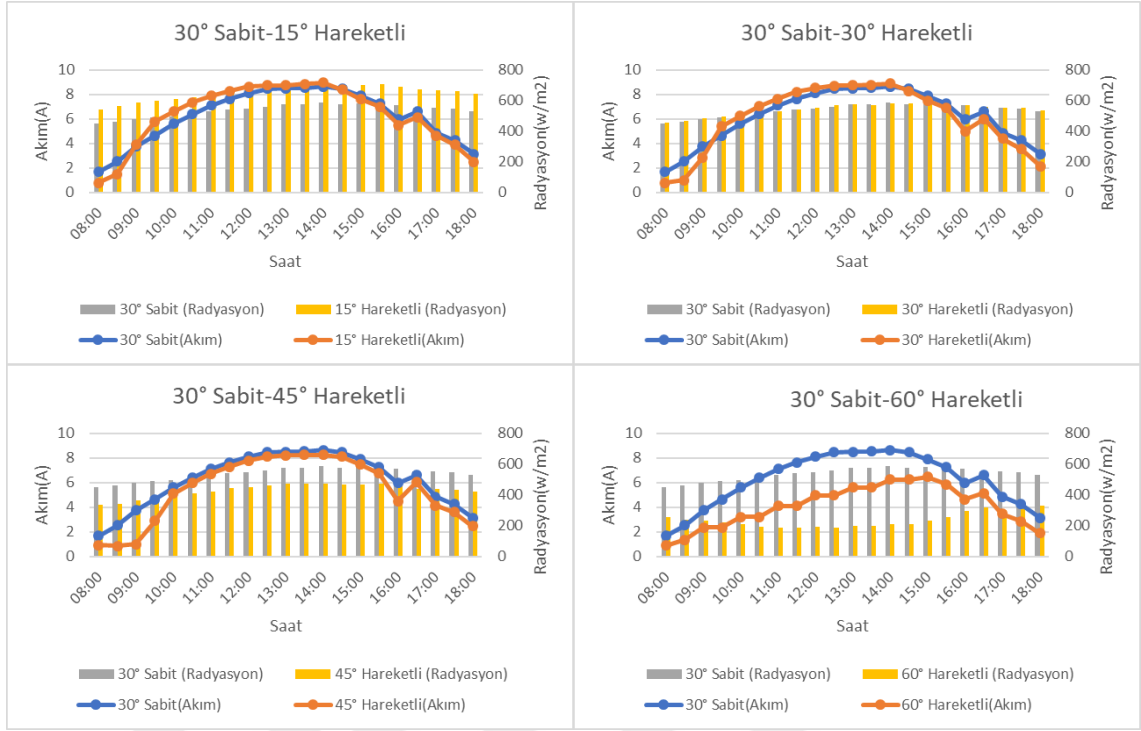
Şekil 7.5. 1 Mayıs 2021 PV paneller arası karşılaştırma



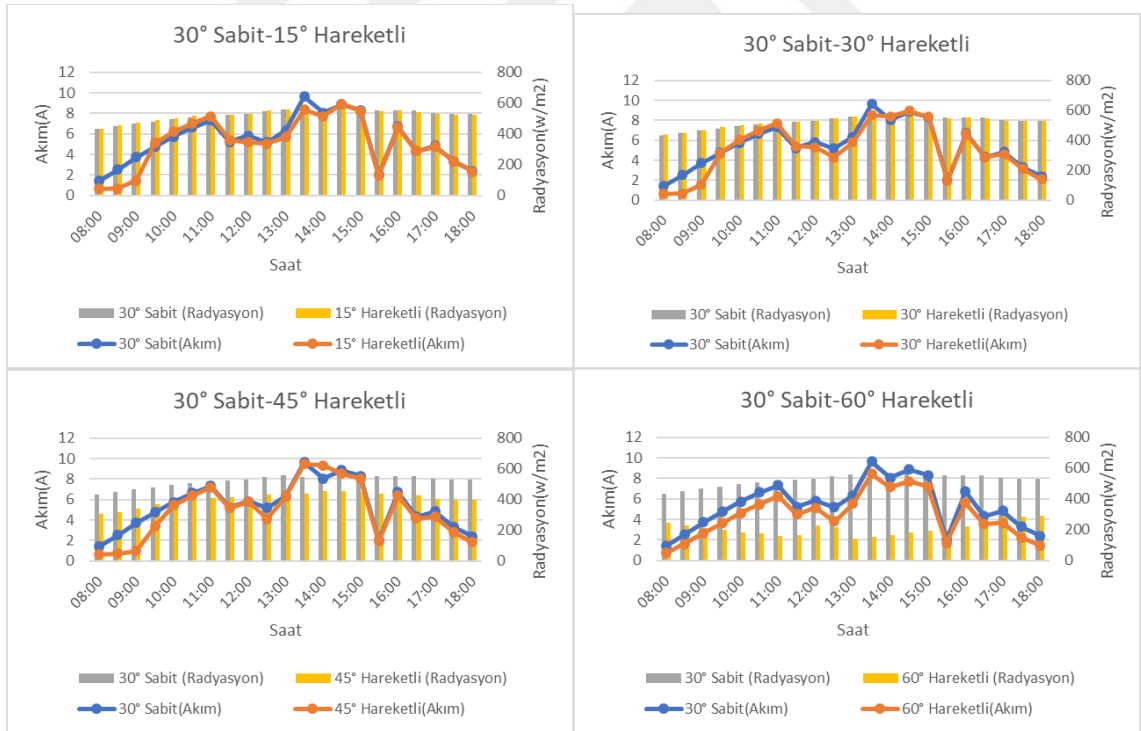
Şekil 7.6. 17 haziran 2021 PV paneller arası karşılaştırma

Şekil 7.4 -7.6'dan Nisan, Mayıs ve Haziran aylarına ait grafikler incelendiğinde, Nisan ve Mayıs aylarında 30°'lik panellerin daha yüksek güneş ışınlamına maruz kaldığı buna mukabil 45°'lik, 15°'lik ve 60°'lik panellerde daha az ışınlam toplandığı gözlemlenmiştir. Haziran ayında ise en yüksek ışınlam değerlerinin 15°'lik panelde toplandığı ve sırayla 30°'lik ve 60°'lik panellerde daha düşük ışınlam değeri gözlemlenmiştir. Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında en düşük ışınlam değerine sahip panel 60°'lik panel olmuştur.

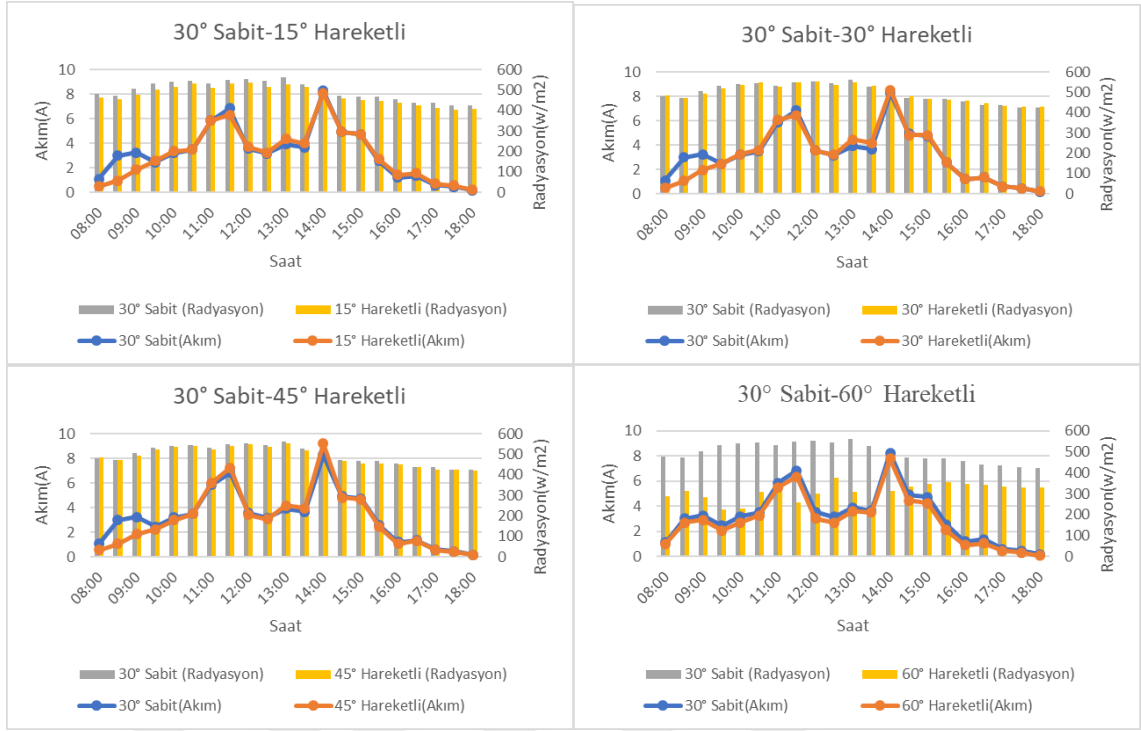
Şekil 7.7 - Şekil 7.9'dan Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarına ait grafikler incelendiğinde, Temmuz ayında en yüksek ışınlamaya sahip panelin 15°'lik panel olduğu görülür. Ağustos ve Eylül aylarında 30°'lik panellerin 15°'lik panele nazaran daha düşük güneş ışınlamına maruz kaldığı bununla beraber 45°'lik ve 60°'lik panellerde daha az ışınlam toplandığı gözlemlenmiştir. Geçen bu üç ayda da en düşük ışınlam değerine sahip panel 60°'lik panel olmuştur.



Şekil 7.7. 23 Temmuz 2021 PV paneller arası karşılaştırma

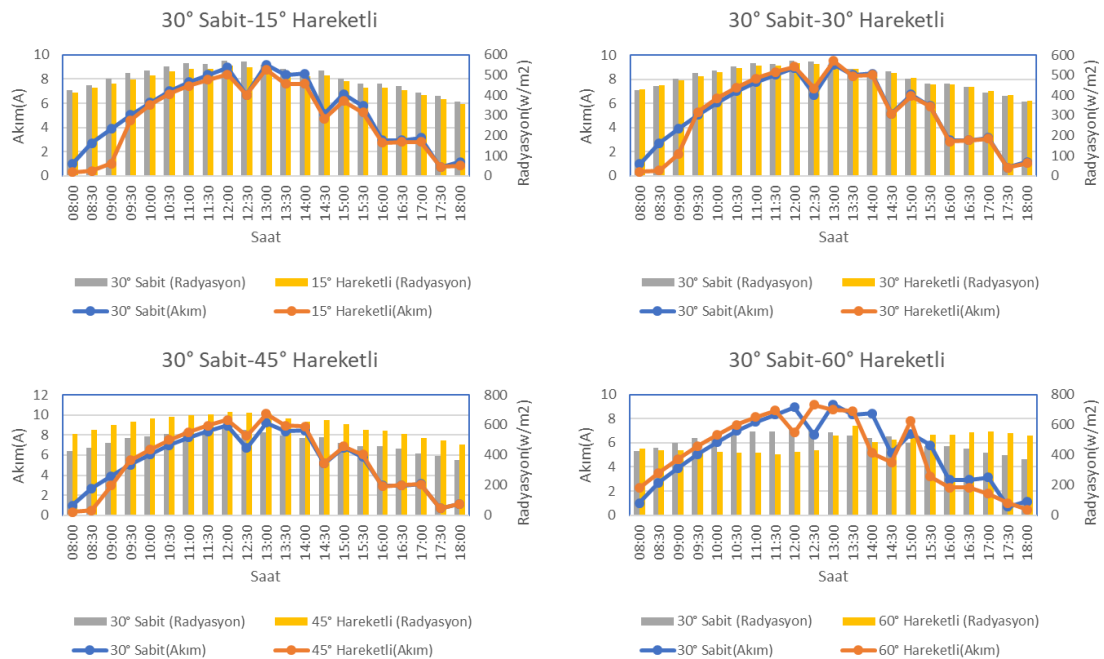


Şekil 7.8. 14 Ağustos 2021 PV paneller arası karşılaştırma

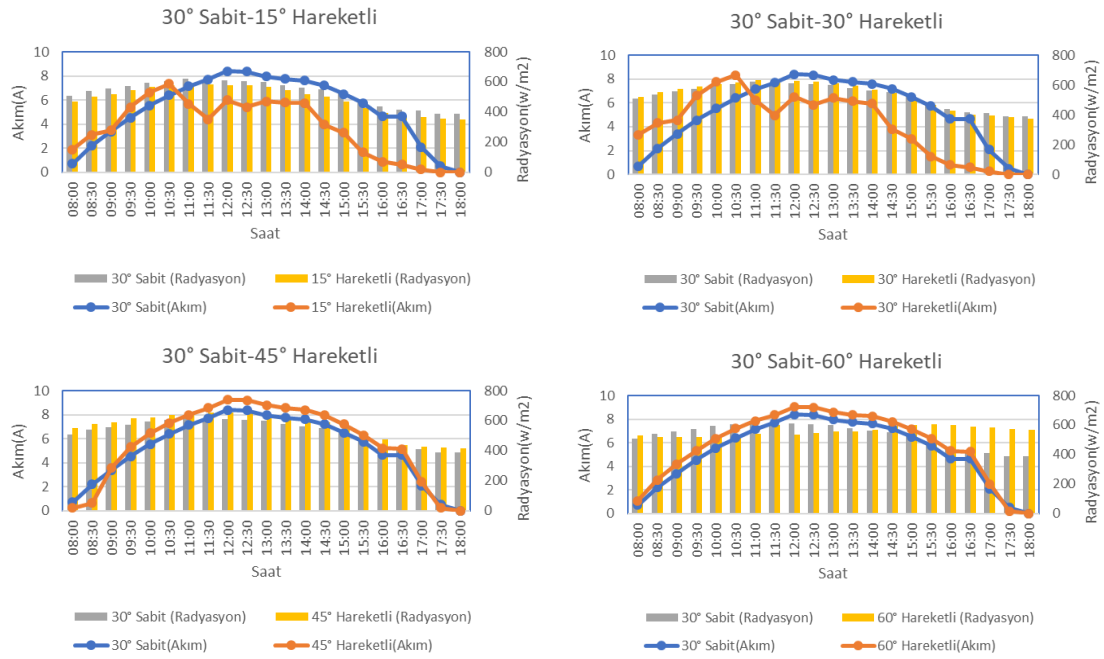


Şekil 7.9. 15 Eylül 2021 PV paneller arası karşılaştırma

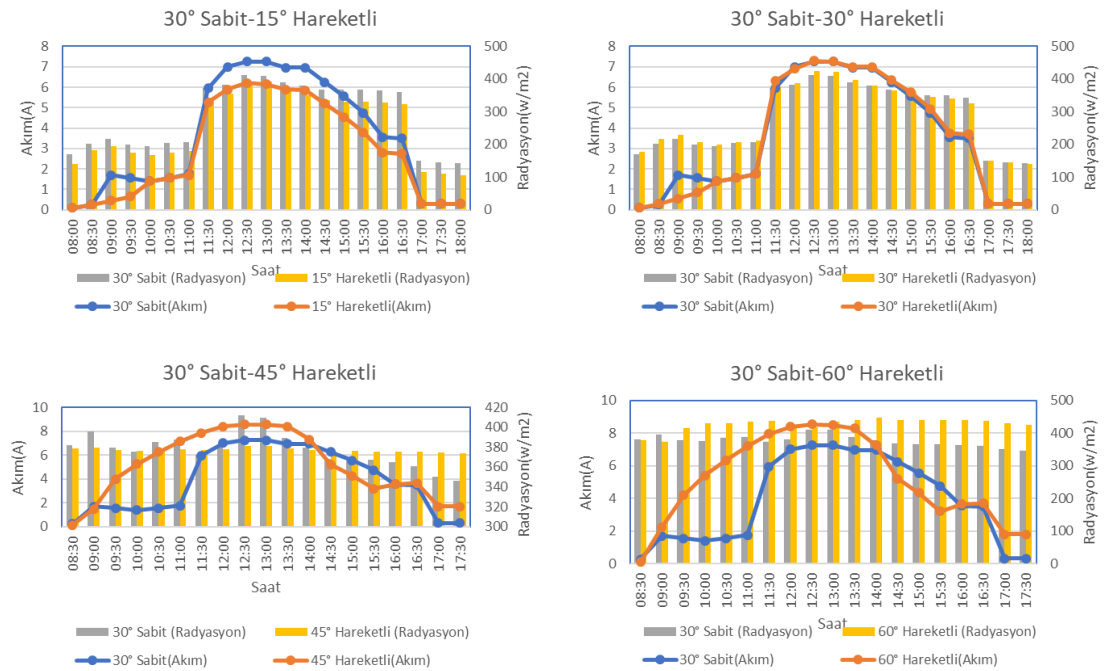
Şekil 7.10-Şekil 7.12 den Ekim, Kasım ve Aralık aylarına ait grafikler incelendiğinde, Ekim ayında 45°'lik panelin daha yüksek güneş ışınlımına maruz kaldığı buna nazaran Kasım ve Aralık aylarında ise en yüksek ışınlım değerine sahip panel 60°'lik panel olmuştur.



Şekil 7.10. 4 Ekim 2021 PV paneller arası karşılaştırma



Şekil 7.11. 4 Kasım 2021 PV paneller arası karşılaştırma



Şekil 7.12. 4 Aralık 2021 PV paneller arası karşılaştırma

7.2. Diğer Azimut Açılarında Yapılan Ölçümlerin Karşılaştırılması

Bu bölümde PV panel, matematiksel olarak geliştirdiğimiz eşitlik (4.13)'teki açı değeri, Konya için önerdiğimiz 32° 'de konumlandırılmıştır. Hareketli sistem doğu yönünde azimut açısı 10° 'lik değişikliklerle hareket ettirilerek elde edilen PV panel güç verileri incelenmiştir. Çalışmanın bu bölümünde mevsimsel olarak belli aylardaki günlerde ölçülen güç değerleri karşılaştırılmıştır. Kış mevsimi için Ocak, ilkbahar mevsimi için Nisan, yaz mevsimi için Temmuz ve sonbahar mevsimi için Eylül aylarındaki ölçüm sonuçları incelenerek karşılaştırma yapılmıştır. Çizelge 7.2'de karşılaştırmaya konu olan aylar ve günler verilmiştir.

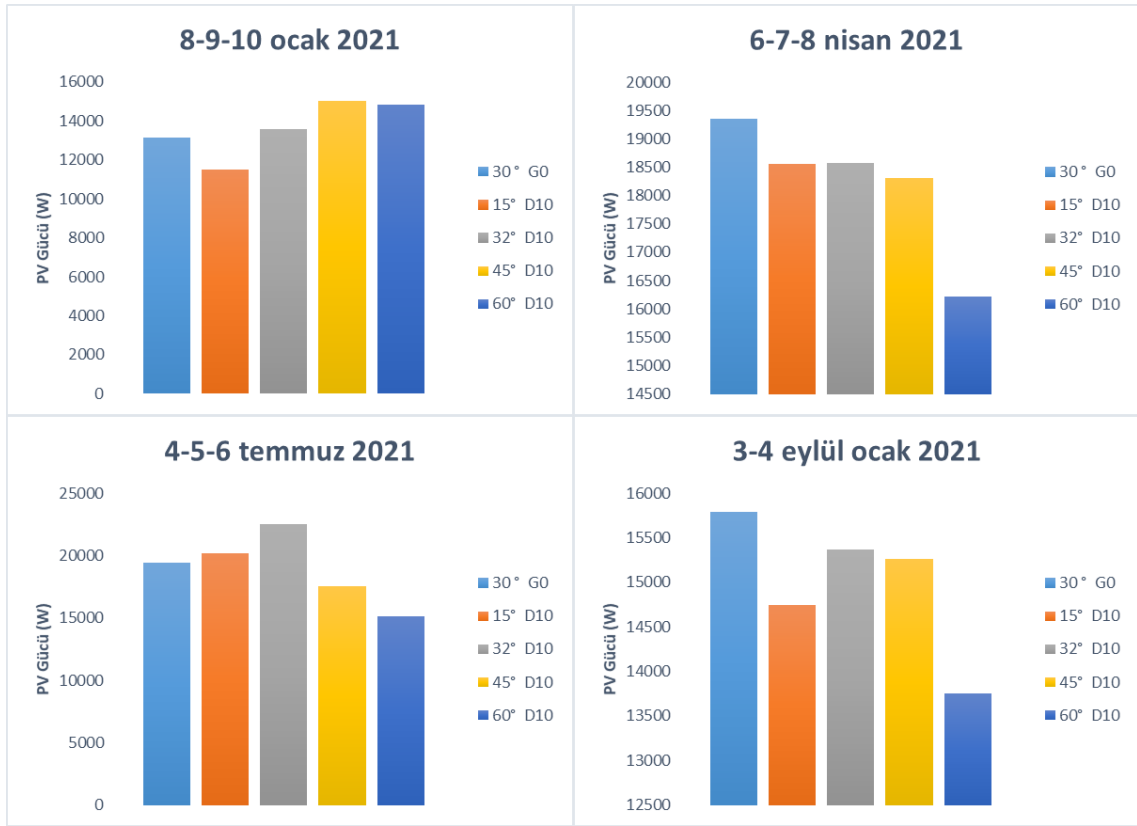
Çizelge 7.2. Azimut açıları ve günler

Azimut	Ocak	Nisan	Temmuz	Eylül
D10	8, 9, 10	6, 7, 8	4, 5, 6	3, 4
D20	17, 18, 19	10, 11, 12	7, 8, 9	5, 6
D30	22, 23, 24	14, 15, 16	10, 11, 12	7, 8
D40	27, 28, 29	18, 19, 20	14, 15, 16	9, 10
D50	30, 31	22, 23, 24	17, 18, 19	11, 12
D60	1, 2	25, 26, 27	20, 21, 22	13, 14

7.2.1. Azimut D10°

Doğu yönünde 10° 'lik azimut açısında yapılan ölçümlerde 15° , 32° , 45° ve 60° 'lik eğimlere sahip PV panel güçleri, azimut 0° 'de sabit olan ve 30° 'lik eğimdeki PV panel gücü ile kıyaslanmıştır.

Ocak ayında en iyi sonuçlar 45° ve 60° 'lik eğimlere sahip PV panellerden elde edilmiştir. Nisan ayında ölçülen sonuçlara göre azimut 0° 'de sabit olan ve 30° 'lik eğimdeki PV panelin gücü daha yüksek olmuştur. Benzer şekilde Eylül ayında da en yüksek değer sabit yönde konumlandırılan PV panelde ölçülmüştür. Temmuz ayına bakıldığında 32° 'lik eğime sahip panelin gücü belirgin olarak daha fazla olduğu Şekil 7.13'te görülmektedir. Şekil 7.13 incelendiğinde 32° eğime sahip panel ile 30° eğime sahip panel yaklaşık aynı seviyede güç üretmiştir. Bu dört ayın tamamında 32° 'lik eğimde yerleştirilen panel verileri daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 7.13. Azimut D10° yönünde PV panel güçleri

Çizelge 7.3. D10° yönünde PV Panellerin güçleri ve toplam güç

	8-9-10 Ocak	6-7-8 Nisan	4-5-6 Temmuz	3-4 Eylül	Toplam
30° G0	13.124,21	30° G0 19.347,79	30° G0 19.421,27	30° G0 15.287,62	67.180,89
15° D10	11.481,71	15° D10 18.550,66	15° D10 20.202,16	15° D10 14.746,59	64.981,12
32° D10	13.571,64	32° D10 18.578,21	32° D10 22.509,80	32° D10 15.371,70	70.031,35
45° D10	15.012,69	45° D10 18.304,42	45° D10 17.563,47	45° D10 15.266,06	66.146,64
60° D10	14.834,81	60° D10 16.223,68	60° D10 15.112,77	60° D10 13.747,17	59.918,43

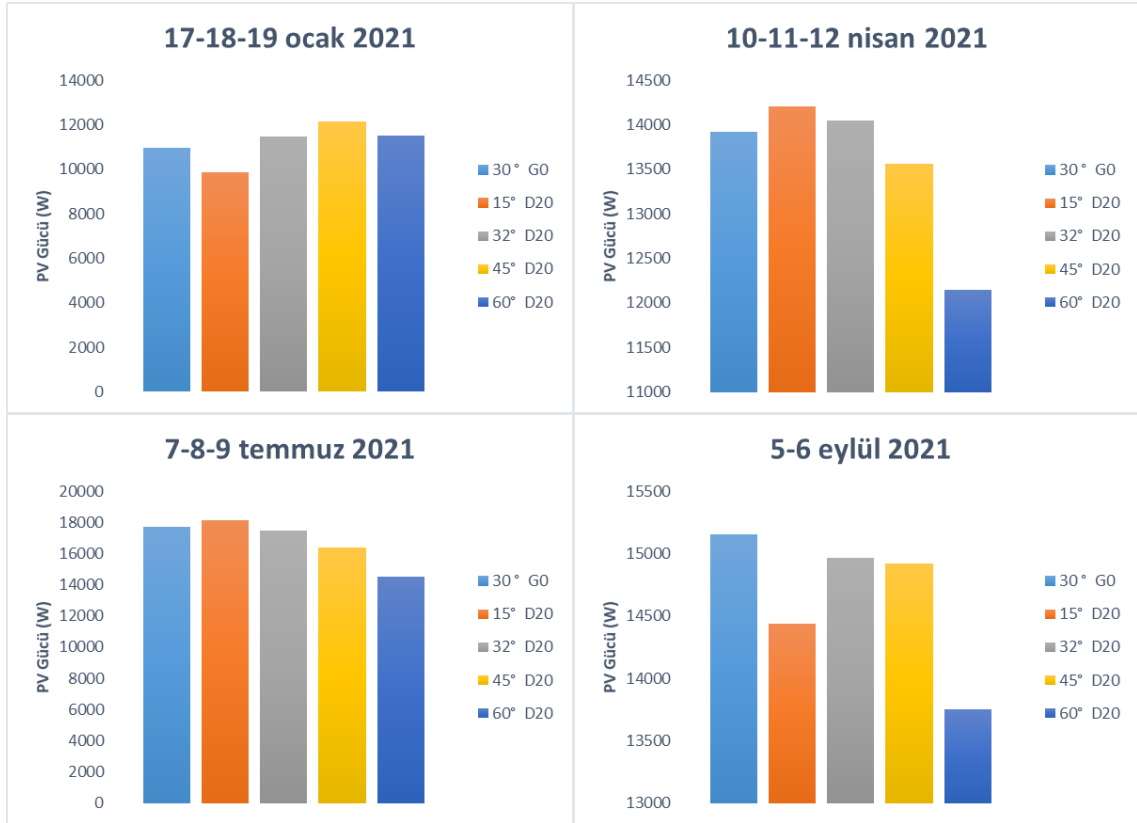
7.2.2. Azimut D20°

Panel azimut açısı 20°'ye ayarlanmış ve güç değerleri Şekil 7.14'te verilmiştir. Ocak ayında en iyi sonuçlar 45°'lik eğime sahip PV panellerden elde edilmiştir. 60°, 32° ve 30°'lik eğimdeki PV panellerde yaklaşık aynı değerlerde güç üretmişlerdir. Nisan ayında ölçülen sonuçlara 15° ve 32°'lik eğimdeki PV panelin gücü daha yüksek olmuştur. Temmuz ayına bakıldığında 30°, 15° ve 32°'lik eğime sahip panellerin güçlerinin daha fazla olduğu Şekil 7.14'te görülmektedir. Eylül ayı güç değerlerine göre en iyi sonuçlar

30°, 32° ve 45°'lik panellerden alınmıştır. Dört ayın genelinde azimut D20° yönünde yerleştirilen panellerde en iyi değerler 32° ve 30°'lik eğimdeki PV panellerde ölçülmüştür.

Çizelge 7.4. D20° yönünde PV Panellerin güçleri ve toplam güç

	1-18-19 Ocak	10-11-12 Nisan	7-8-9 Temmuz	5-6 Eylül	Toplam
30° G0	10.958,62	30° G0 13.915,13	30° G0 17.729,47	30° G0 15.000,57	57.603,79
15° D20	9.839,77	15° D20 14.204,98	15° D20 18.154,60	15° D20 14.439,73	56.639,08
32° D20	11.451,71	32° D20 14.046,70	32° D20 17.442,61	32° D20 14.962,14	57.903,16
45° D20	12.138,45	45° D20 13.559,70	45° D20 16.369,90	45° D20 14.918,84	56.986,89
60° D20	11.515,53	60° D20 12.151,37	60° D20 14.539,75	60° D20 13.747,17	51.953,82



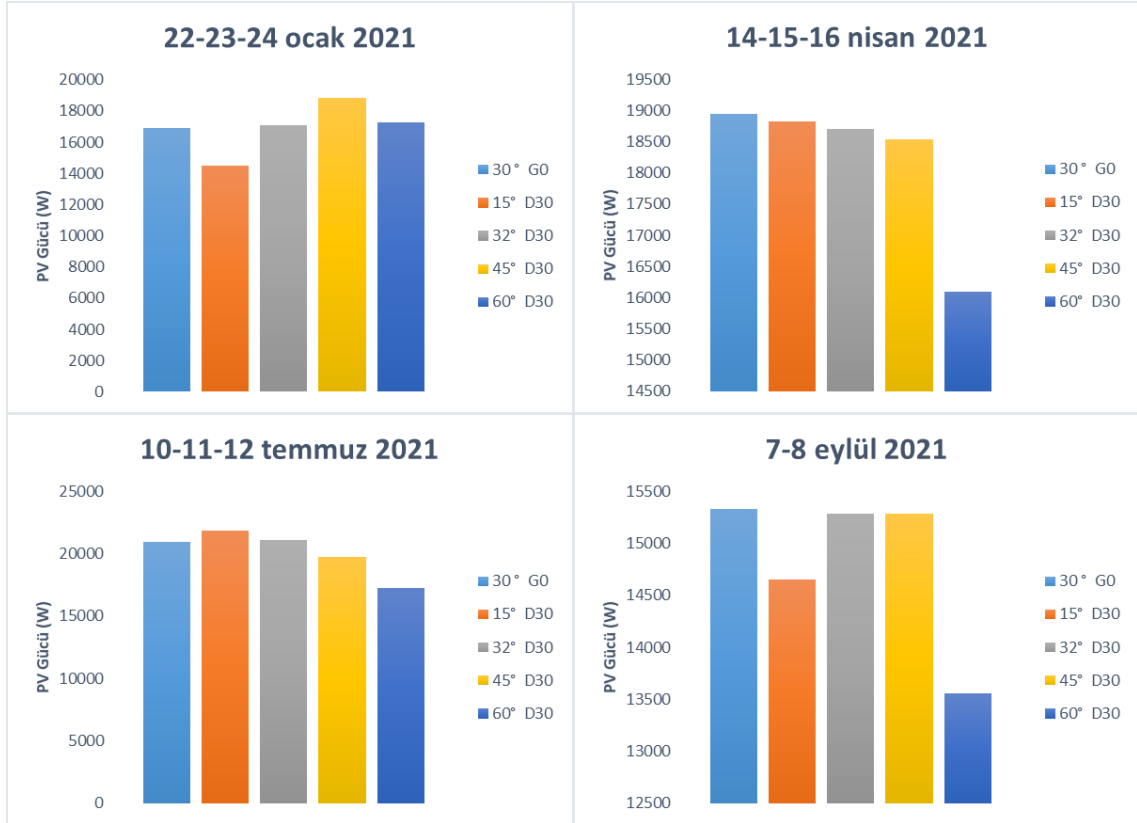
Şekil 7.14. Azimut D20° yönünde PV panel güçleri

7.2.3. Azimut D30°

Şekil 7.15 incelendiğinde azimut D30° yönünde elde edilen sonuçlara göre 32° ve 45°'lik eğime sahip panellerin güçleri daha yüksektir. Çizelge 7.5'te görüleceği üzere 30°'lik PV panelde bu iki panelden daha az güç üretmiştir.

Çizelge 7.5. D30° yönünde PV Panellerin güçleri ve toplam güç

22-23-24 Ocak		14-15-16 Nisan		10-11-12 Temmuz		7-8 Eylül		Toplam
30 ° G0	16.890,41	30 ° G0	18.941,03	30 ° G0	20.948,53	30 ° G0	15.330,22	72.110,19
15° D30	14.493,45	15° D30	18.831,21	15° D30	21.837,69	15° D30	14.655,56	69.817,91
32° D30	17.082,09	32° D30	19.702,89	32° D30	21.101,74	32° D30	15.288,14	73.174,86
45° D30	18.849,42	45° D30	18.537,59	45° D30	19.716,14	45° D30	15.288,58	72.391,73
60° D30	17.298,92	60° D30	16.094,70	60° D30	17.272,80	60° D30	13.553,80	64.220,22

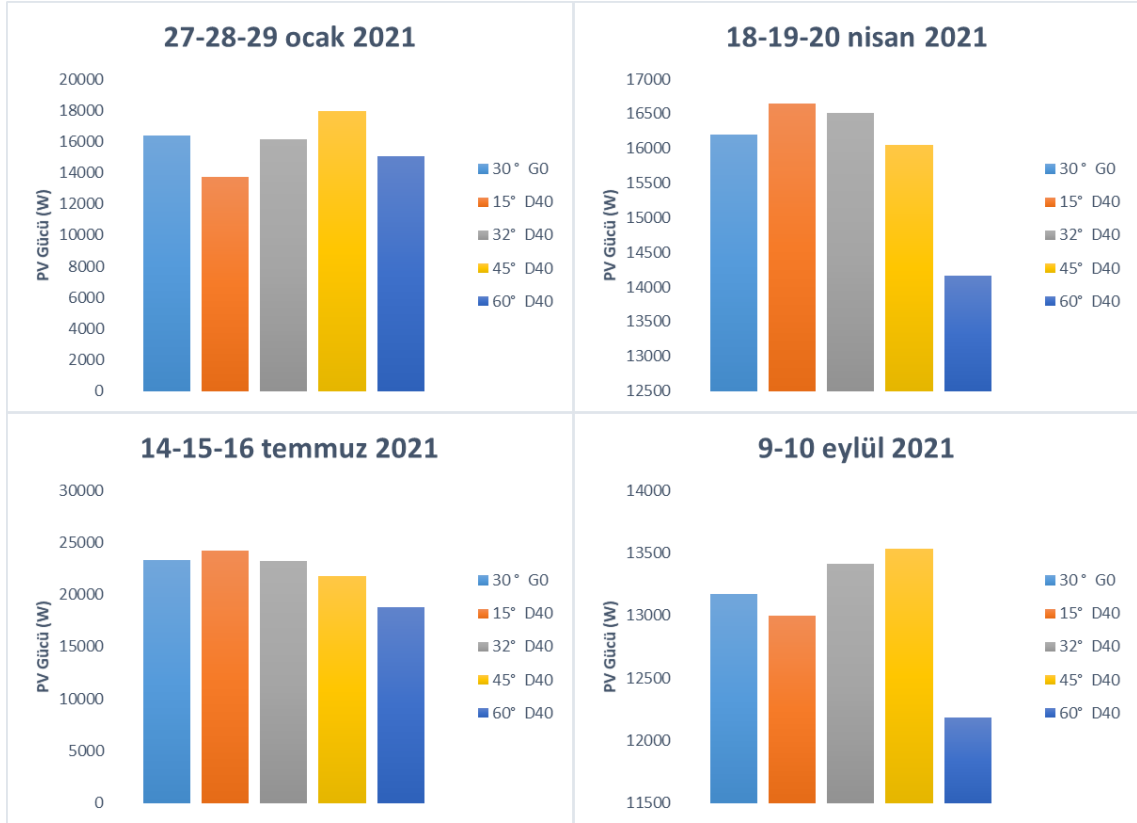
**Şekil 7.15.** Azimut D30° yönünde PV panel güçleri

7.2.4. Azimut D40°

Paneller azimut D40° yönünde ayarlanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 7.16 ve Çizelge 7.6'da verilmiştir. Bu sonuçlara göre 45° ve 32°'lik eğime sahip panellerin güçleri daha yüksektir. 30°'lik PV panelde bu iki panel göre daha düşük değerlerde güç üretmiştir. En düşük güç üretimi 60°'lik PV panelde gerçekleşmiştir.

Çizelge 7.6. D40° yönünde PV Panellerin güçleri ve toplam güç

27-28-29 Ocak		18-19-20 Nisan		14-15-16 Temmuz		9-10 Eylül		Toplam
30 ° G0	16.391,18	30 ° G0	16.206,48	30 ° G0	23.282,53	30 ° G0	13.168,69	69.048,88
15° D40	13.739,55	15° D40	16.644,16	15° D40	24.225,63	15° D40	12.995,72	67.605,06
32° D40	16.133,50	32° D40	16.511,31	32° D40	23.245,03	32° D40	13.411,56	69.301,40
45° D40	17.937,46	45° D40	16.055,42	45° D40	21.814,46	45° D40	13.532,33	69.339,67
60° D40	15.087,61	60° D40	14.162,45	60° D40	18.814,30	60° D40	12.180,67	60.245,03

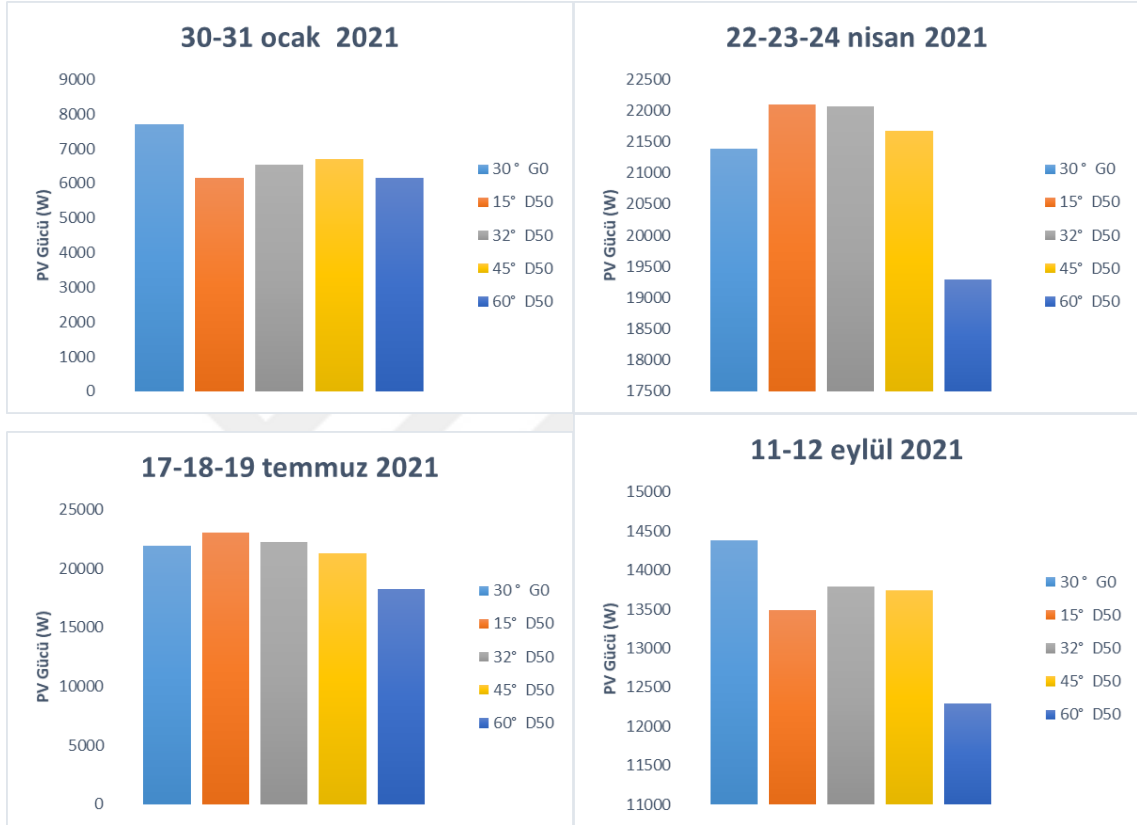
**Şekil 7.16.** Azimut D40° yönünde PV panel güçleri

7.2.5. Azimut D50°

Azimut D50° yönünde döndürülen panel güçleri Şekil 7.17 ve Çizelge 7.7’de verilmiştir. Buna göre 30° ve 32°’lik eğime sahip panellerin güçleri daha yüksektir. 15°’lik PV panelde bu iki panelin güç seviyesine yaklaşmıştır. En düşük güç üretimi 60°’lik PV panelde gerçekleşmiştir.

Çizelge 7.7. D50° yönünde PV Panellerin güçleri ve toplam güç

30-31 Ocak		22-23-24 Nisan		17-18-19 Temmuz		11-12 Eylül		Toplam
30 ° G0	7.710,40	30 ° G0	21.395,97	30 ° G0	21.929,68	30 ° G0	14.378,36	65.414,41
15° D50	6.163,11	15° D50	22.102,40	15° D50	23.052,24	15° D50	13.486,67	64.804,42
32° D50	6.543,83	32° D50	22.070,27	32° D50	22.198,36	32° D50	13.790,51	64.602,97
45° D50	6.698,29	45° D50	21.670,22	45° D50	21.244,81	45° D50	13.742,07	63.355,39
60° D50	6.161,54	60° D50	19.287,28	60° D50	18.263,85	60° D50	12.297,44	56.010,11

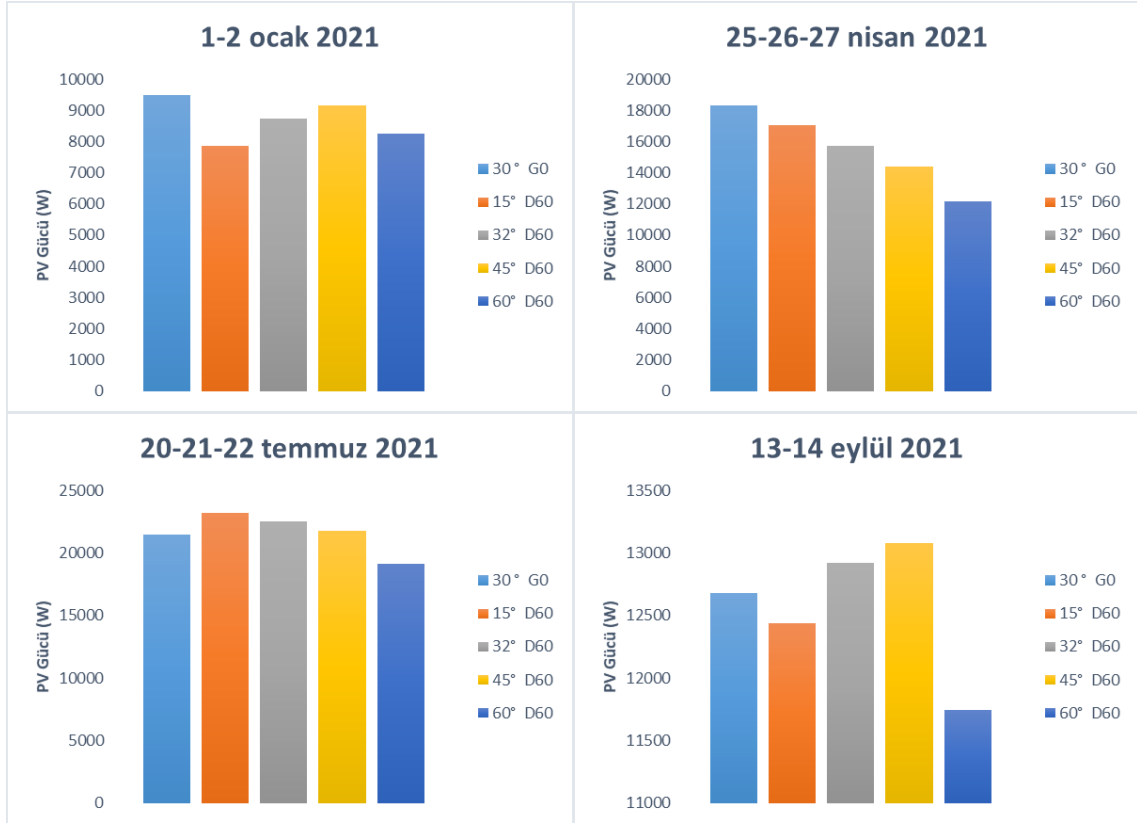
**Şekil 7.17.** Azimut D50° yönünde PV panel güçleri

7.2.6. Azimut D60°

Şekil 7.18 ve Çizelge 7.8 azimut D60° yönünde döndürülen panellerden elde edilen sonuçları göstermektedir. Buna göre 30° ve 15°'lik eğime sahip panellerin güçleri daha yüksektir. 32° lik PV panelde bu iki panel göre daha düşük değerde güç üretmiştir. En düşük güç üretimi 60°'lik PV panelde gerçekleşmiştir.

Çizelge 7.8. D60° yönünde PV Panellerin güçleri ve toplam güç

1-2 Ocak		25-26-27 Nisan		20-21-22 Temmuz		13-14 Eylül		Toplam
30 ° G0	9.481,46	30 ° G0	18.306,14	30 ° G0	21.447,42	30 ° G0	12.678,82	61.913,84
15° D60	7.871,09	15° D60	17.075,16	15° D60	23.169,16	15° D60	12.436,77	60.552,18
32° D60	8.735,09	32° D60	15.723,18	32° D60	22.509,80	32° D60	12.921,38	59.889,45
45° D60	9.164,77	45° D60	14.402,42	45° D60	21.759,46	45° D60	13.076,53	58.403,18
60° D60	8.249,65	60° D60	12.144,48	60° D60	19.091,06	60° D60	11.745,56	51.230,75

**Şekil 7.18.** Azimut D60° yönünde PV panel güçler

Çizelge 7.9 Ocak, Nisan, Temmuz ve Eylül aylarında yapılan ölçümlerin toplam sonuçları göstermektedir. Azimut açısı doğu yönünde değiştirilerek elde edilen sonuçlara göre 32°'lik eğimlerde yerleştirilen PV panelin gücü daha yüksek olmuştur.

Çizelge 7.9. Doğu yönünde döndürülen PV Panellerin toplam güçleri

	D10	D20	D30	D40	D50	D60	Toplam
30 ° G0	67.180,89	57.603,79	72.110,19	69.048,88	65.414,41	61.913,84	393.272,00
15° D	64.981,12	56.639,08	69.817,91	67.605,06	64.804,42	60.552,18	384.399,77
32° D	70.031,35	57.903,16	73.174,86	69.301,40	64.602,97	59.889,45	394.903,19
45° D	66.146,64	56.986,89	72.391,73	69.339,67	63.355,39	58.403,18	386.623,50
60° D	59.918,43	51.953,82	64.220,22	60.245,03	56.010,11	51.230,75	343.578,36

Elde edilen sonuçlar şunu göstermektedir ki doğu yönünde farklı azimut açıları için tüm yıl boyunca PV paneller 32° veya 30° 'lik eğimlerde yerleştirilebilirler. Panellerin ürettikleri güç değerleri uzun vadede yaklaşık aynı olacaktır.

Deney düzeneği 2022 yılında tüm aylarda ilk dört gün azimut 0° ye yönlendirilmiştir. 30° ve 32° 'lik PV panellerden alınan veriler Çizelge 7.10'da verilmiştir. Bu değerlere göre 32° 'lik eğimde bulunan panelden elde edilen güç 30° 'lik panelden elde edilen güce göre kısmi olarak daha düşüktür.

Çizelge 7.10. 2022 yılı tüm aylarda (ilk dört gün) azimut 0° için 32° ve 30° 'lik Panel verileri

	30° Sabit	32° Eğimli
Aylar	PV Güç	PV Güç
Ocak	59.230,76	61.451,55
Şubat	50.580,89	51.626,36
Mart	40.855,33	38.855,82
Nisan	84.491,53	84.360,60
Mayıs	46.381,42	46.263,91
Haziran	82.413,31	81.217,51
Temmuz	91.912,85	90.474,92
Ağustos	85.367,90	84.729,19
Eylül	86.811,88	88.129,48
Ekim	73.849,01	74.053,45
Kasım	77.218,27	75.970,91
Aralık	47.220,61	46.963,80
Toplam	826.333,76	824.097,50

Çizelge 7.11'de 2022 yılında farklı azimut yönlendirilmelerinde deney düzeneğinden elde edilen PV güçlerinin aylara göre dağılımı verilmiştir. Toplam güç üzerinden bir değerlendirme yapıldığı zaman 32° 'lik eğimde bulunan panelden elde edilen yıllık toplam güç 30° 'lik panel verilerine göre yüksek çıkmıştır. Buna göre dördüncü bölümde matematiksel modelle bulunan 32° 'lik optimum eğim açısı doğrulanmıştır.

Deneyisel çalışmanın neticesinde yapılacak olan genel bir değerlendirmeye göre PV paneller yılın her ayı için farklı açılarda konumlandırılabilir. Çizelge 7.12, deneysel veriler sonucunda elde edilen en uygun açı değerlerini göstermektedir. Bu durum yine

matematiksel modelle elde etmiş olduğumuz ve Çizelge 4.2’de verilen açı değerleri ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.11. 2022 yılı tüm aylarda ve tüm azimut değerleri° için 32° ve 30°’lik Panel verileri

	30° Sabit	32° Eğimli
Aylar	PV Güç(W)	PV Güç(W)
Ocak	359.377,30	371.258,40
Şubat	383.760,20	385.052,60
Mart	525.455,30	530.031,10
Nisan	570.144,40	570.567,30
Mayıs	520.848,10	535.981,60
Haziran	560.474,20	560.567,20
Temmuz	664.692,40	654.269,60
Ağustos	630.966,30	631.909,90
Eylül	575.653,40	581.839,40
Ekim	491.796,30	496.471,80
Kasım	422.929,50	426.113,70
Aralık	318.011,70	320.889,60
Toplam	6.024.109,10	6.064.952,20

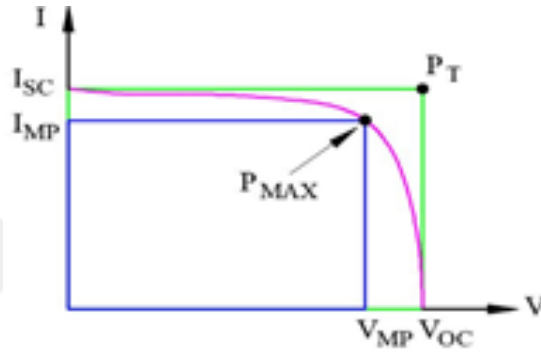
Çizelge 7.12. Azimut 0° için 12 ay için PV güçlerinin en yüksek olduğu açılar

Aylar	Açılar				
Ocak	45°	60°	32°	30°S	15°
Şubat	45°	60°	32°	30°S	15°
Mart	32°	30°S	45°	15°	60°
Nisan	32°	30°S	45°	15°	60°
Mayıs	32°	30°S	15°	45°	60°
Haziran	15°	32°	30°S	45°	60°
Temmuz	15°	32°	30°S	45°	60°
Ağustos	30°S	32°	15°	45°	60°
Eylül	30°S	32°	45°	15°	60°
Ekim	45°	60°	32°	30°S	15°
Kasım	60°	45°	32°	30°S	15°
Aralık	60°	45°	32°	30°S	15°

7.3. Dolgu Faktörü

PV panellerde bir başka önemli gösterge Dolgu Faktörü (DF) dır. Bu parametre esasen güneş sisteminin kalitesinin bir ölçüsüdür. Maksimum gücün (P_{MAX}) hem açık devre voltajında hem de kısa devre akımında çıkacak olan teorik güce (P_T) oranı olarak hesaplanır. DF ayrıca, Şekil 7.19'de gösterilen dikdörtgen alanların oranı olarak grafiksel olarak da yorumlanabilir.

$$DF = \frac{P_{MAX}}{P_T} = \frac{I_{MP}V_{Mp}}{I_{SC}V_{OC}} \quad (7.1)$$



Şekil 7.19. Doldurma Faktörü ve I-V ilişkisi

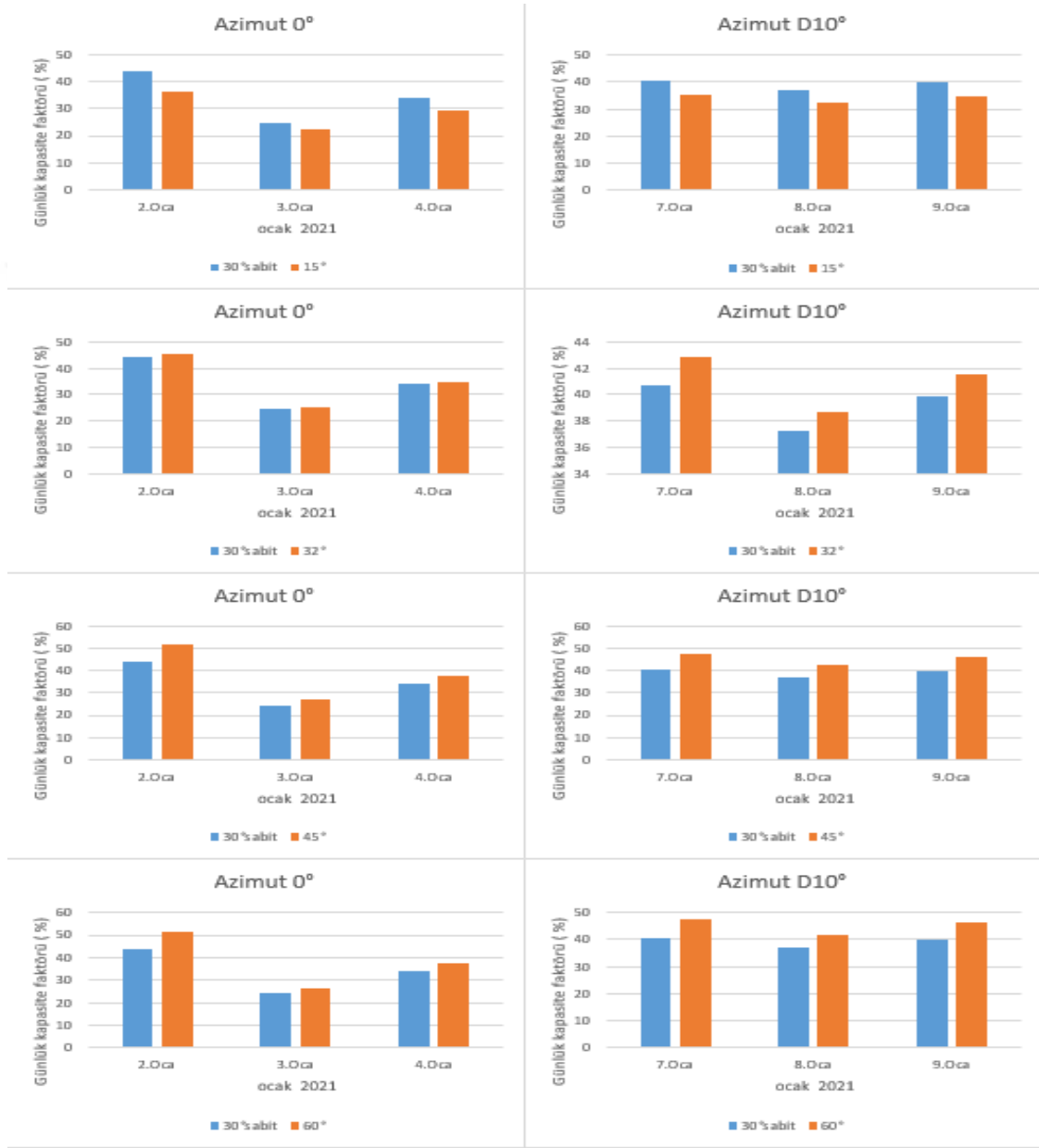
Daha büyük bir dolgu faktörü arzu edilir ve daha kare benzeri olan bir I-V taramasına karşılık gelir. Tipik dolgu faktörleri 0,5 ila 0,82 arasındadır. Dolgu faktörü de genellikle yüzde olarak ifade edilir. Kurulan sistemin performansı hakkında bir fikir sahibi olmak amacıyla dolgu faktörü hesaplamaları da yapılmıştır.

Dolgu faktörü hesaplamaları için paneller güney azimut 0° , doğu azimut 10° , doğu azimut 20° , doğu azimut 30° , doğu azimut 40° , doğu azimut 50° ve doğu azimut 60° açılarına ayarlanmıştır. Bu konumlardan alınan akım ve gerilim değerlerinden faydalanılmıştır. Ayrıca teorik güç için panelin üretim değerleri $I_{MAX}=9,46$ A, $V_{MAX}=32.24$ V, $P_{MAX}=304,99$ W olarak dikkate alınmıştır.

Farklı azimut değerlerinde ve farklı eğimlerde yerleştirilen PV panellerden ölçülen güç değerlerine dayalı olarak yapılan dolgu faktörü hesaplamalarına ait çizelgeler aşağıda verilmiştir. Grafikler çizilirken 30° eğimde ve azimut 0° 'de yerleştirilen panel ile diğer eğimlerde yerleştirilen PV paneller farklı azimut açıları için karşılaştırılmıştır. Dolgu faktörü hesaplamaları için 2021 yılına ait Ocak, Nisan, Temmuz ve Eylül ayları örnek çalışma olarak seçilmiştir.

7.3.1. DF Ocak 2021

Çizelge 7.13 ve 7.14, Şekil 7.20 ve 7.21 farklı azimut ve eğimlerdeki dolgu faktörü değerlerini göstermektedir. Buna göre azimut 0° , $D10^\circ$, $D20^\circ$, $D30^\circ$ ve $D40^\circ$ yönlendirmelerinde en yüksek DF'ye sahip paneller sırayla 45° , 60° , 32° , 30° ve 15° derece eğim açısına ayarlanan paneller olmuştur.



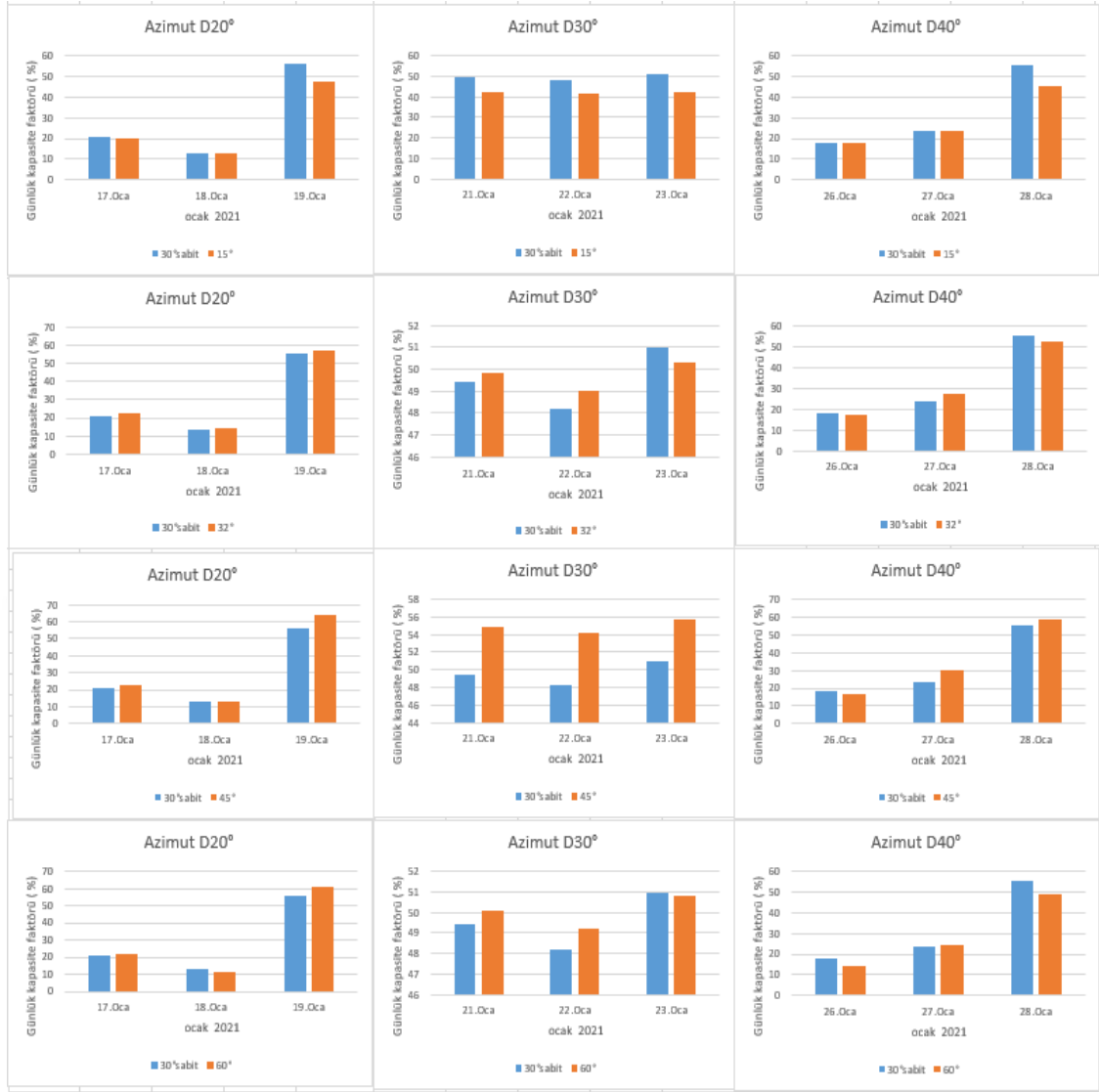
Şekil 7.20. PV panellerin Günlük dolgu faktörü azimut 0° ve $D10^\circ$

Çizelge 7.13. Azimut 0° ve D10° için DF (yüzde olarak)

	G0				D10		
	2.Oca	3.Oca	4.Oca		7.Oca	8.Oca	9.Oca
30°sabit	44,072611	24,5862295	33,865623	30°sabit	40,7567213	37,2678689	39,9111475
15°	36,0856457	22,340082	29,1304918	15°	35,2482787	32,4690984	34,9040164
32°	45,2622151	25,3543443	34,6090164	32°	42,8504098	38,7069672	41,5303279
45°	51,7456218	26,8969672	38,0821311	45°	47,7218852	42,6030328	46,4156557
60°	51,6812475	26,1819672	37,7718033	60°	47,5507377	41,8894262	46,1318033

Çizelge 7.14. Azimut D20°, 30° ve 40° için DF (yüzde olarak)

	D20°				D30°				D40°		
	17.Oca	18.Oca	19.Oca		21.Oca	22.Oca	23.Oca		26.Oca	27.Oca	28.Oca
30°sabit	20,8314754	13,1552459	55,9572951	30°sabit	49,4286885	48,1808197	50,9895902	30°sabit	18,0833607	23,6945902	55,4184426
15°	20,3933607	13,160082	47,1770492	15°	42,2177869	41,3665574	42,3570492	15°	17,8320492	23,6210656	45,4842623
32°	22,4384426	14,3542623	57,172541	32°	49,8022131	49,0390984	50,3280328	32°	17,4720492	27,2417213	52,822623
45°	22,5790984	12,9948361	64,0409016	45°	54,8759016	54,2845902	55,7960656	45°	16,3281148	30,4090164	58,3420492
60°	21,4595082	11,7456557	61,3316393	60°	50,0922131	49,2284426	50,7731967	60°	14,5215574	24,7258197	49,1391803



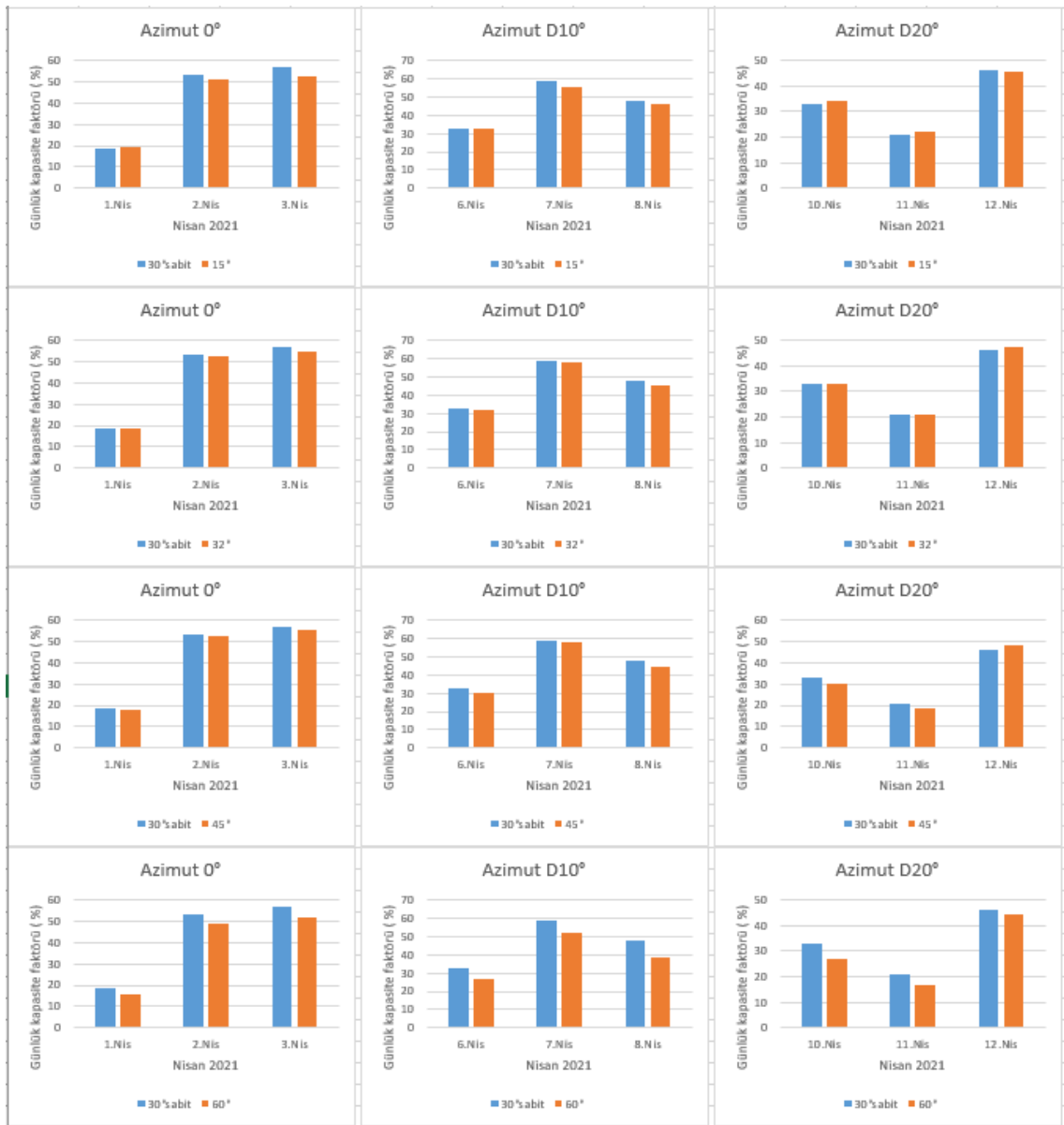
Şekil 7.21. PV panellerin Günlük dolgu faktörü azimut doğu 20°, 30° ve 40°

7.3.2. DF Nisan 2021

Çizelge 7.15, 71.6 ve 7.17 ile Şekil 7.22, 7.23 ve 7.24 Nisan ayı için hesaplanan dolgu faktörlerini göstermektedir. Tüm azimut yönlendirmelerinde genel olarak yüksek DF'ye sahip panel 32° ve 15°'de yerleştirilen paneller olmuştur.

Çizelge 7.15. Azimut 0°, D10° ve D20° için DF (yüzde olarak)

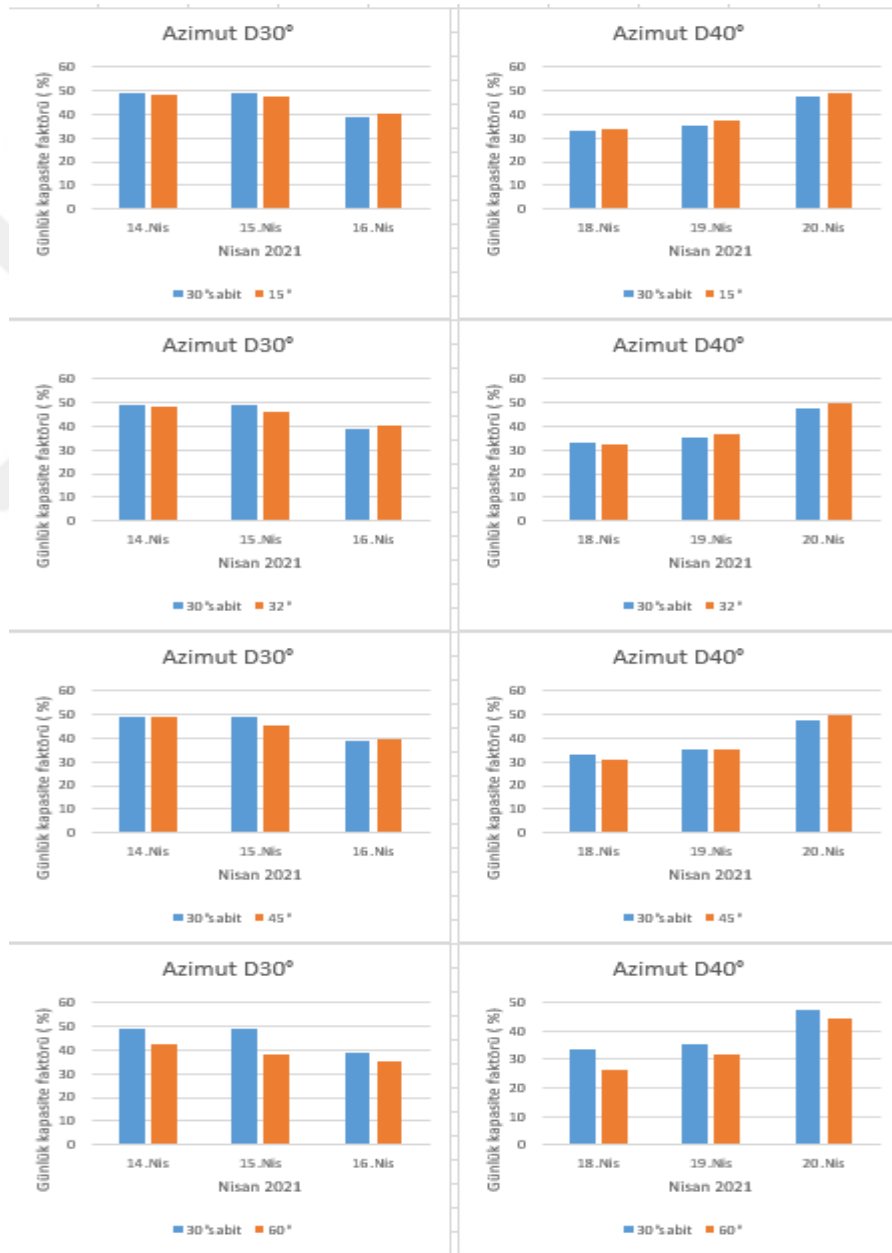
	G0				D10				D20		
	1.Nis	2.Nis	3.Nis		6.Nis	7.Nis	8.Nis		10.Nis	11.Nis	12.Nis
30°sabit	18,60896	53,09978	56,48852	30°sabit	32,99359	58,68168	47,86958	30°sabit	33,03789	20,99548	46,10783
15°	19,11315	51,0769	52,48794	15°	32,66616	55,63774	45,83811	15°	34,27883	21,92838	45,82667
32°	18,85727	52,51349	54,88896	32°	31,91599	57,49763	45,02608	32°	33,02237	20,82754	47,3267
45°	17,82885	52,72325	55,2408	45°	30,49421	57,90696	44,06069	45°	30,4545	18,90536	48,45843
60°	15,65603	48,64635	51,78171	60°	26,68539	52,23395	38,58106	60°	26,81027	16,58426	44,35956



Şekil 7.22. PV panellerin Günlük dolgu faktörü Azimut 0°, D10° ve D20°

Çizelge 7.16. Azimut D30° ve D40° için DF (yüzde olarak)

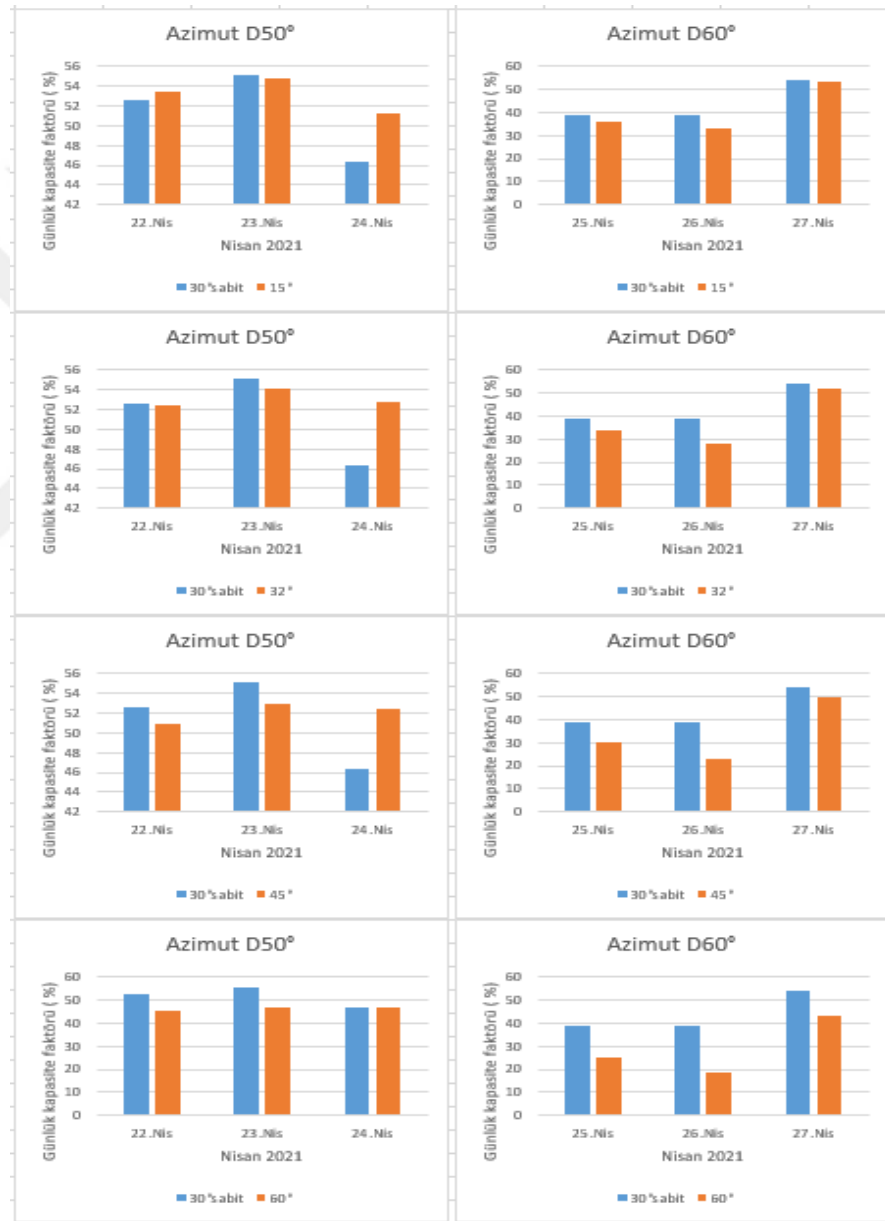
	D30°				D40°		
	14.Nis	15.Nis	16.Nis		18.Nis	19.Nis	20.Nis
30°sabit	48,57239	48,90004	39,04087	30°sabit	33,32335	35,55104	47,55468
15°	48,11199	47,20335	40,48568	15°	33,74696	37,27723	48,64641
32°	48,26383	46,3525	40,4671	32°	32,41617	36,70623	49,82171
45°	48,64765	45,43206	39,85603	45°	30,63271	35,5659	49,61851
60°	42,45588	38,32175	35,55636	60°	26,37319	31,69945	44,15082



Şekil 7.23. PV panellerin Günlük dolgu faktörü Azimut D30° ve D40°

Çizelge 7.17. Azimut D50° ve D60° için DF (yüzde olarak)

	D50°				D60°		
	22.Nis	23.Nis	24.Nis		25.Nis	26.Nis	27.Nis
30°sabit	52,56124	55,06732	46,41144	30°sabit	38,4859	38,85647	54,13246
15°	53,35446	54,72678	51,24947	15°	36,25661	33,01107	53,291
32°	52,4306	54,01326	52,79111	32°	33,49851	27,8537	51,50266
45°	50,96656	52,91665	52,40692	45°	30,25355	23,17974	49,93144
60°	45,15344	46,9922	47,02164	60°	25,2153	18,76539	43,07599



Şekil 7.24. PV panellerin Günlük dolgu faktörü Azimut D50° ve D60°

7.3.3. DF Temmuz 2021

Çizelge 7.18, 7.19 ve 7.20 ile Şekil 7.25, 7.26 ve 7.27’de Temmuz ayı için dolgu faktörü hesaplamaları verilmiştir. Tüm azimut yönlendirmelerinde genel olarak yüksek DF’ye sahip panel 15°’de yerleştirilen panel olmuştur.

Çizelge 7.18. Azimut 0°, D10° ve D20° için DF (yüzde olarak)

	G0°				D10°				D20°		
	23.Tem	24.Tem	25.Tem		4.Tem	5.Tem	6.Tem		29.Tem	30.Tem	31.Tem
30°sabit	56,88889	54,01545	52,93494	30°sabit	54,72925	42,0231	40,24342	30°sabit	57,2475	56,95577	55,77035
15°	57,61727	53,31942	53,09188	15°	56,51789	44,72765	41,01792	15°	57,45945	57,08481	55,93443
32°	55,18696	51,35468	51,12291	32°	53,61362	42,88029	39,81508	32°	56,03862	55,64124	54,65923
45°	50,66448	47,70062	47,76328	45°	48,08423	39,43417	37,31556	45°	51,94317	51,78157	51,0392
60°	43,97865	41,69406	41,28831	60°	41,05515	33,87541	32,46397	60°	45,91366	45,56816	44,95563



Şekil 7.25. PV panellerin Günlük dolgu faktörü Azimut 0°, D10° ve D20°

Çizelge 7.19. Azimut D30° ve D40° için DF (yüzde olarak)

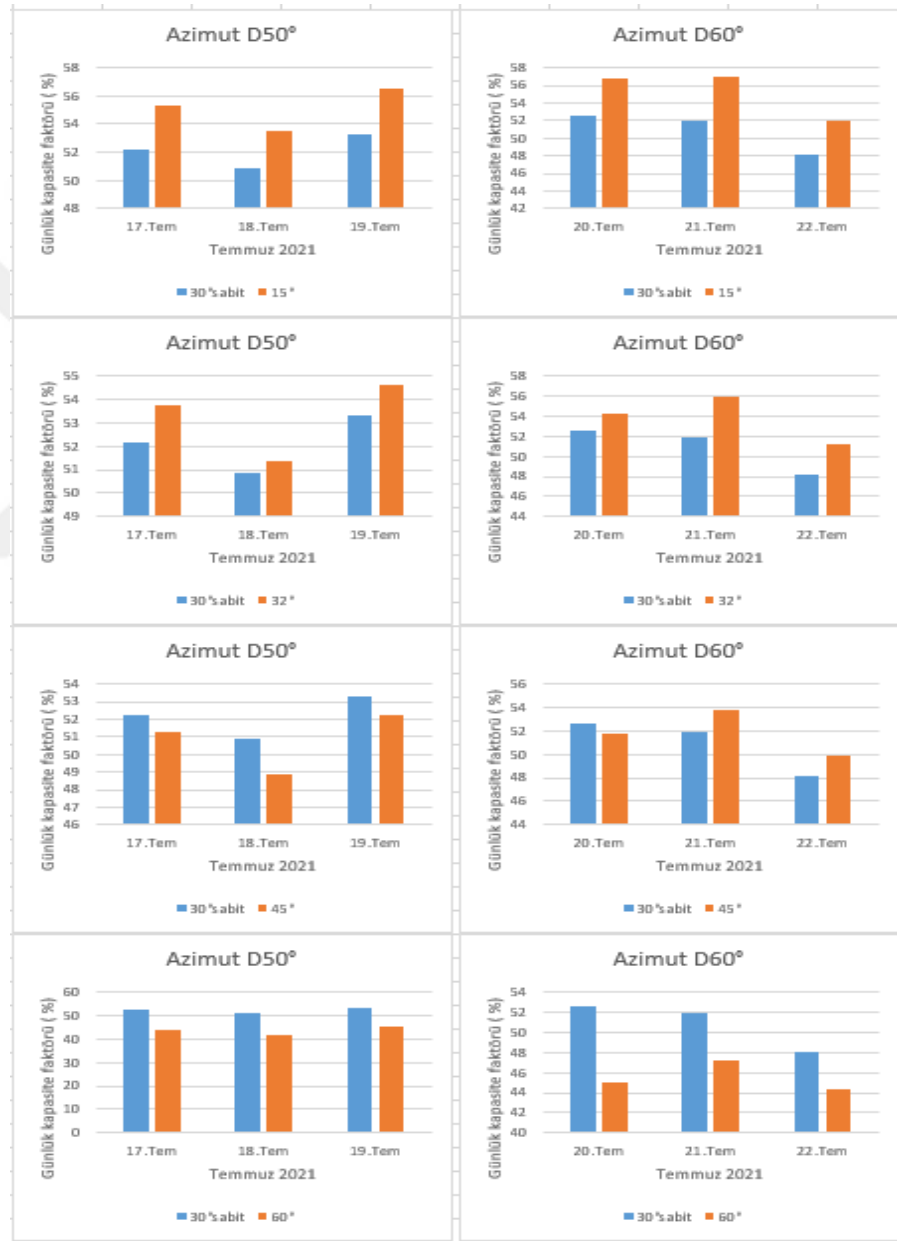
	D30°				D40°		
	11.Tem	12.Tem	13.Tem		14.Tem	15.Tem	16.Tem
30°sabit	52,36255	47,05064	51,7702	30°sabit	55,81887	55,22973	54,84474
15°	54,49566	49,74638	53,22171	15°	58,23519	57,97829	57,71905
32°	52,86769	49,24962	50,93967	32°	55,86936	55,75454	55,55016
45°	48,99505	47,14878	48,35344	45°	52,06769	52,21858	52,08182
60°	43,25494	41,63738	42,19658	60°	44,60306	45,1055	45,07352



Şekil 7.26. PV panellerin Günlük dolgu faktörü Azimut D30° ve D40°

Çizelge 7.20. Azimut D50° ve D60° için DF (yüzde olarak)

	D50°				D60°		
	17.Tem	18.Tem	19.Tem		20.Tem	21.Tem	22.Tem
30°sabit	52,19388	50,89311	53,31075	30°sabit	52,60444	51,87148	48,10929
15°	55,36204	53,54077	56,5388	15°	56,71752	56,8733	51,95585
32°	53,73974	51,35352	54,59883	32°	54,15534	55,84568	51,15694
45°	51,23024	48,87111	52,26725	45°	51,80095	53,80182	49,94135
60°	44,02332	41,97027	44,94616	60°	44,98652	47,13596	44,39046



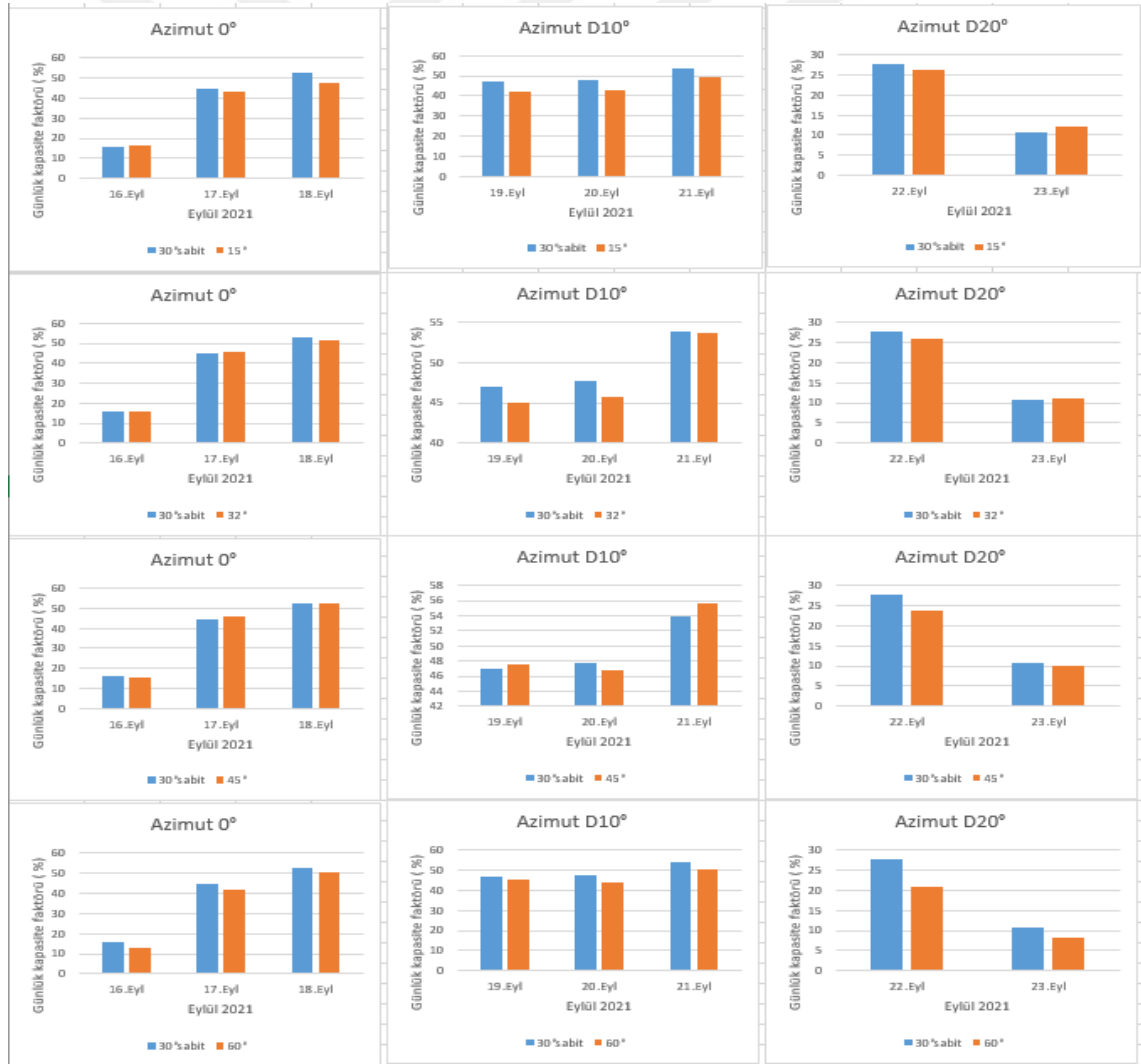
Şekil 7.27. PV panellerin Günlük dolgu faktörü Azimut D50° ve D60°

7.3.4. DF Eylül 2021

Çizelge 7.21, 7.22 ve 7.23 ile Şekil 7.28, 7.29 ve 7.30 Eylül ayı için hesaplanan dolgu faktörlerini göstermektedir. Tüm azimut yönlendirmelerinde genel olarak yüksek DF'ye sahip paneller 45° ve 32°'de yerleştirilen paneller olmuştur.

Çizelge 7.21. Azimut 0°, D10° ve D20° için DF (yüzde olarak)

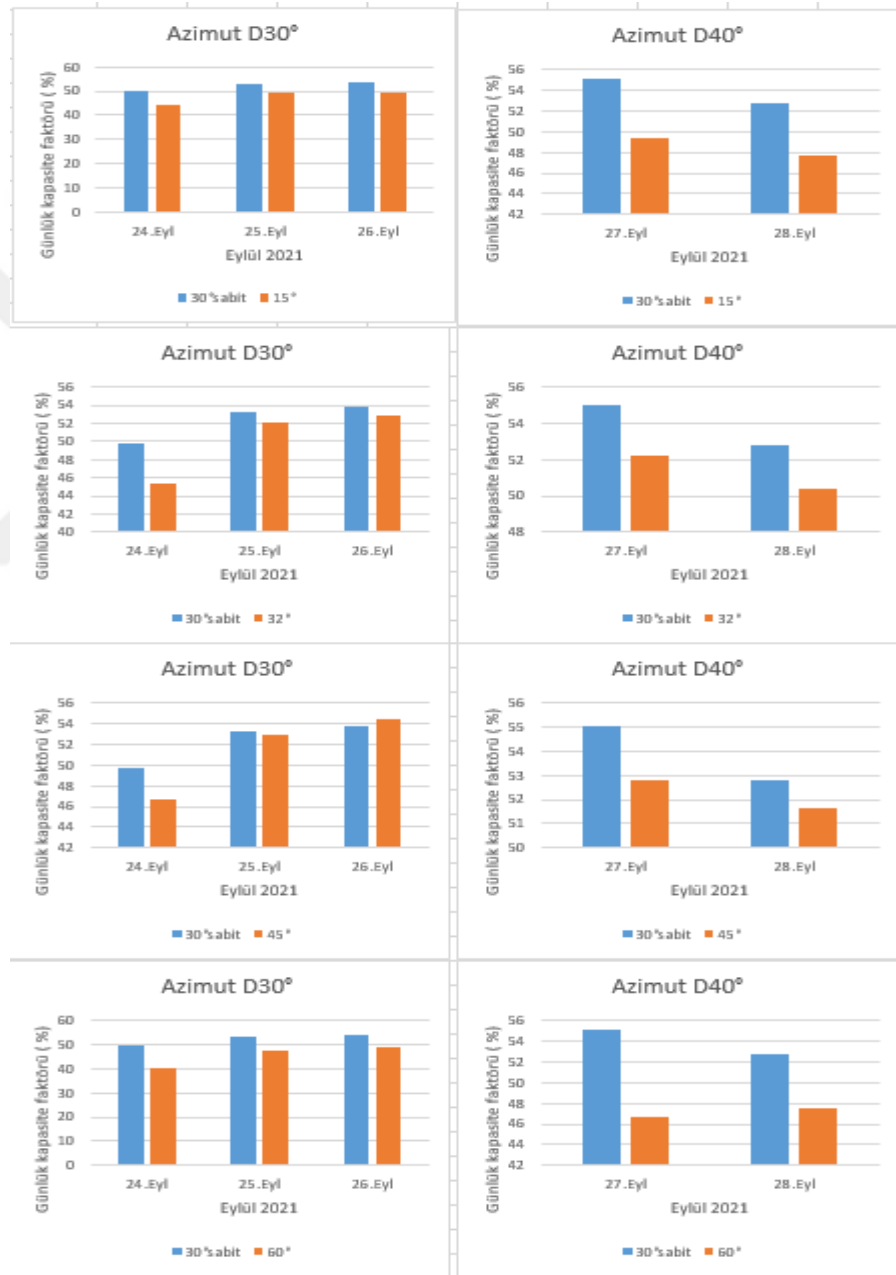
	G0°				D10°				D20°	
	16.Eyl	17.Eyl	18.Eyl		19.Eyl	20.Eyl	21.Eyl		22.Eyl	23.Eyl
30°sabit	15,88583	44,65086	52,76867	30°sabit	47,02266	47,67468	53,93494	30°sabit	27,5871	10,68758
15°	16,57807	43,22958	47,59046	15°	42,1949	43,14113	49,51585	15°	26,30514	12,06805
32°	16,07585	45,95869	51,21282	32°	45,00452	45,69545	53,74026	32°	25,73268	11,20801
45°	15,08925	45,94951	52,56408	45°	47,59752	46,84772	55,53945	45°	23,83876	10,04138
60°	13,17829	41,74521	50,11009	60°	45,22179	44,17297	50,57348	60°	20,69858	8,301566



Şekil 7.28. PV panellerin Günlük dolgu faktörü Azimut 0°, D10° ve D20°

Çizelge 7.22. Azimut D30° ve D40° için DF (yüzde olarak)

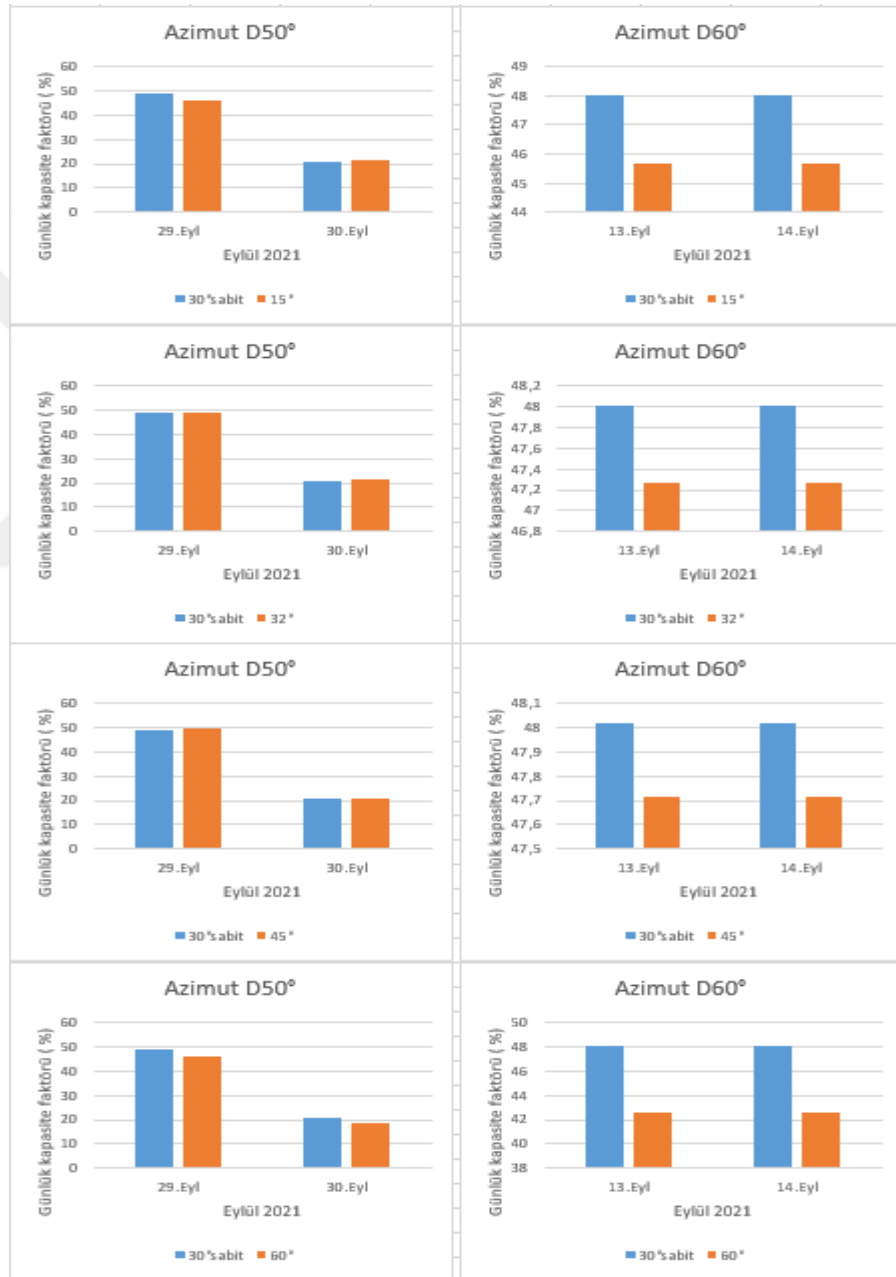
	D30°			D40°		
	24.Eyl	25.Eyl	26.Eyl	27.Eyl	28.Eyl	
30°sabit	49,76015	53,18506	53,71774	30°sabit	55,01151	52,79927
15°	44,24444	49,00364	49,32852	15°	49,38171	47,63432
32°	45,34448	52,03723	52,79424	32°	52,17246	50,42798
45°	46,65311	52,95322	54,41129	45°	52,80087	51,67301
60°	40,1957	47,44277	48,72634	60°	46,69909	47,56372



Şekil 7.29. PV panellerin Günlük dolgu faktörü Azimut D30° ve D40°

Çizelge 7.23. Azimut D50° ve D60° için DF (yüzde olarak)

	D50°		D60°	
	29.Eyl	30.Eyl	13.Eyl	14.Eyl
30°sabit	49,01574	20,73151	30°sabit	48,01508
15°	45,6757	21,78149	15°	45,66958
32°	48,5933	21,53115	32°	47,27614
45°	49,62288	20,58951	45°	47,71155
60°	45,90863	18,51964	60°	42,60809



Şekil 7.30. PV panellerin Günlük dolgu faktörü Azimut D50° ve D60°

2021 yılı için Ocak, Nisan, Temmuz ve Eylül aylarını kapsayan çalışmada DF'den alınan sonuçlara göre farklı azimut açlarına sahip yüzeylerde en uygun eğim açıları Çizelge 7.24'te verilmiştir. Bu eğim açıları özellikle çatı uygulamalarında farklı azimut değerlerine sahip yüzeyler için önerilebilir.

Çizelge 7.24 Farklı azimut açıları için eğim açıları

	D10	D20	D30	D40	D50	D60
Ocak	45°	45°	45°	45°		
Nisan	32°	32°	15°	15°	15°	15°
Temmuz	15°	15°	15°	15°	15°	15°
Eylül	45°	45°	45°	45°	45°	45°

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında Konya ili için PV panellerden mümkün olan en yüksek elektrik enerjisi elde edebilmek amacı ile, PV panellerin en uygun Azimut ve Eğim açılarının belirlenmesi için bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Kurulan deney düzeneğinden, panellerin ürettiği elektrik enerjisini anlık olarak hesaplayabilmek amacı ile akım, gerilim bilgileri alınmıştır. Bununla birlikte düzeneğe yerleştirilen piranometre ile küresel ışıınım değeri ölçümü yapılmıştır. Ayrıca panel ve ortam sıcaklıkları anlık olarak kaydedilmiştir. Yapılan ölçümler bir Data Logger cihazı yardımı ile kayıt altına alınmıştır. Ölçülen ve Devlet Meteoroloji Enstitüsünden alınan veriler geliştirilen matematiksel modelde ve Konya ili için en uygun eğim açısı belirlemede kullanılmıştır.

PV panellerin Konya ili için optimum eğim açısı hesaplanmış ve sapma açısına bağlı olarak bir model önerilmiştir. Yıl boyunca aylık 0° ile 62° arasında değişen eğim açıları elde edilmiştir. Sonuçlara göre optimum eğim açısı ilkbaharda $20,3^{\circ}$, yaz aylarında 5° , sonbaharda $45,30^{\circ}$ ve kış aylarında $57,30^{\circ}$ olarak hesaplanmıştır. Tüm yıl boyunca güney yönlü paneller için optimum eğim açısı 0° azimut açısında $32,08^{\circ}$ olarak hesaplanmıştır.

Deneyisel çalışmada 0° azimutta farklı eğim açlarına yerleştirilen panellerden elde edilen ışıınım ve akım değerleri karşılaştırılmıştır. Daha sonra farklı azimut açılarında ve eğimlerde konumlandırılan panellerin ışıınım ve akım değerleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca Ocak, Nisan, Temmuz ve Eylül aylarına ait verilerden dolgu faktörleri hesaplanarak bir değerlendirme yapılmıştır. Buna göre farklı azimut açısına sahip yüzeylerde PV paneller için belli eğim açıları önerilmiştir. Deneyisel veriler sonucunda elde edilen optimum eğim değerleri ile matematiksel modelle elde edilen optimum eğim değerlerinin birbiriyle örtüştüğü görülmüştür.

Ayrıca dağınık güneş ışıınımı için dağınık kesir ve açıklık indeksine dayalı doğrusal ve doğrusal olmayan korelasyonlar geliştirilmiştir. Bu kapsamda mevcut modeller ve NASA-SSE verileri kullanılarak dağınık ışıınımı tahmin etmek için 14 model oluşturulmuştur. Geliştirilen modellerin performansları değerlendirilmiş ve sekiz istatistiksel metrik ile karşılaştırılmıştır. En düşük istatistiksel hataya sahip bu üç model, diğer modellere göre doğru sonuçlar vermiştir. Hem kutu grafiği analizi hem de istatistiksel test yöntemlerinin sonuçlarına göre, önerilen modellerin referans dağınık ışıınım verileriyle oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.

Diğer bir çalışma olarak farklı eğim ve azimut açısına sahip panellerden elde edilen veriler kullanılarak PV sistemleri için saatlik enerji tahmini yapılmıştır. Farklı eğim ve azimut açısına sahip paneller için yapılan bu çalışma günümüzde çatılarda kullanılan PV paneller için bir temel teşkil edecektir. Araziye montajı yapılan fotovoltaik sistemlerin kurulumunda kurulacak yerin konumu da göz önünde bulundurularak azimut açısı ve eğim açısı en optimum olacak şekilde belirlenir ve kurulum buna göre yapılır. Bina çatılarında ise bu durum söz konusu değildir. Binanın yönüne ve çatının eğimine göre PV sisteminin kurulumu yapılmaktadır. Bu yüzden çatıya kurulu PV sistemin üretimi tahmini, araziye kurulu PV sisteme göre daha zordur. Yapılan tahminde hava tipi, sıcaklık, çiy noktası ve nem gibi meteorolojik değişkenler giriş olarak değerlendirilmiştir. Kaydedilen üretim verileri ise çıkış olarak kullanılmıştır. Tahmin yöntemi olarak İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları kullanılarak saatlik enerji tahmini yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar farklı eğim ve azimut açısına sahip PV santrallerinin enerji üretiminin başarılı bir şekilde tahmin edilebileceğini göstermiştir.

8.2. Öneriler

Güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan Konya'da kurulacak güneş enerjisi santrallerinde bu çalışmada belirlenen panellerin optimum eğim açılarının dikkate alınacağı bir gerçektir.

Geliştirilen bu modellerin araştırmacılara ve yatırımcılara yardımcı olacağı ve bu alanda önemli bilgiler sağlayacağı umulmaktadır. Benzer koşullarda başka bir yerde yaygın güneş ışıınımı tahmin etmek için bu yeni modeller kullanılabilir.

Gelecekte araştırmalar, dağınık ışıınım tahminlerinin doğruluğunu artırmak için uydu verilerini yer tabanlı gözlemlerle birleştirmeye odaklanabilir. Yerel atmosferik verilerin mevcudiyetine bağlı olarak, ampirik ve ışıınım transfer modellerini entegre eden tahmin yöntemleri geliştirilebilir.

PV panel gücü tahmini ve dağınık ışıınım tahmini için birden fazla yöntem hibritleştirilebilir, derin öğrenme ve destek vektör makineleri gibi popüler makine öğrenme algoritmaları kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Ainah, K. P. ve Afa, J. T., 2013, Best possible tilt angle for optimal solar radiation on an inclined surface for photovoltaic and solar thermal application in Yenagoa, Nigeria, *Turkish Journal of Physics*, 37 (2), 242-249.
- Al-Ghussain, L., Al-Oran, O. ve Lezsovits, F., 2021, Statistical estimation of hourly diffuse radiation intensity of Budapest City, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 40 (1), e13464.
- Alhaidari, S., 2017, A look at the optimum slope of a fixed solar panel for maximum energy collection for a one year time frame.
- Anonim, 2022, Güneş, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>: [Ziyaret Tarihi: 18 Temmuz 2023].
- Anonim, 2023a, Best Research-Cell Efficiency Chart, <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>: [Ziyaret Tarihi: 18 Temmuz 2023].
- Anonim, 2023b, Solar Angles, <http://danielrsoto.com/em-notes/solar-energy.html>: [Ziyaret Tarihi: 18 Temmuz 2023].
- Aras, H., Balli, O. ve Hepbasli, A., 2006, Estimating the horizontal diffuse solar radiation over the Central Anatolia Region of Turkey, *Energy Conversion and Management*, 47 (15-16), 2240-2249.
- Arslan, M., Arslan, C. ve Ağaçayak, A. C., 2019, Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri İçin Optimum Eğim Açısı Üzerine Yapılan Çalışmalar, In: Mühendislik Alanında Araştırma Makaleleri, Eds, p. 10-28.
- Arslan, M. ve Terzioğlu, H., 2020, Estimation of Solar Radiation Value using Artificial Intelligence Networks, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 488-497.
- Arslanoglu, N., 2016, Evaluation and establishment of diffuse solar radiation models for Bursa, Turkey, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38 (18), 2788-2797.
- Ayaz, R., Durusu, A. ve Akca, H., 2017, Determination of optimum tilt angle for different photovoltaic technologies considering ambient conditions: A case study for Burdur, Turkey, *Journal of Solar Energy Engineering*, 139 (4), 041001.
- Aydın, M., 2020, Türkiye koşullarında güneş panelleri için optimum sabit ve ayarlanabilir eğim açılarının belirlenmesi üzerine bir araştırma, *Bursa Uludağ University (Turkey)*.
- Bakirci, K., 2008, Correlations for estimation of solar radiation on horizontal surfaces, *Journal of Energy Engineering*, 134 (4), 130-134.
- Bakirci, K., 2012a, General models for optimum tilt angles of solar panels: Turkey case study, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (8), 6149-6159.
- Bakirci, K., 2012b, Correlations for optimum tilt angles of solar collectors: a case study in Erzurum, Turkey, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 34 (11), 983-993.
- Bakirci, K., 2015, Models for the estimation of diffuse solar radiation for typical cities in Turkey, *Energy*, 82, 827-838.
- Bakirci, K. ve Kirtiloglu, Y., 2018, Prediction of diffuse solar radiation using satellite data, *International Journal of Green Energy*, 15 (2), 76-79.
- Bakirci, K., 2021, Prediction of diffuse radiation in solar energy applications: Turkey case study and compare with satellite data, *Energy*, 237, 121527.
- Bakirci, K., 2022, Evaluation of models for prediction of diffuse solar radiation and comparison with satellite values, *Journal of Cleaner Production*, 374, 133892.

- Bakırcı, K., 2009, Yatay Yüzeye Gelen Anlık Global Güneş Işınımının Tahmini İçin Basit Bir Hesaplama Metodu, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 29 (2), 53-58.
- Barbaro, S., Cannata, G., Coppolino, S., Leone, C. ve Sinagra, E., 1981, Diffuse solar radiation statistics for Italy, *Solar energy*, 26 (5), 429-435.
- Batman, M. A., 2001, Elektrik üretimi için güneş pillerinin kullanımında verimi arttırıcı yeni bir yöntem, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Bayrakçı, H. C., Demircan, C. ve Keçebaş, A., 2018, The development of empirical models for estimating global solar radiation on horizontal surface: A case study, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2771-2782.
- Benghanem, M., 2011, Optimization of tilt angle for solar panel: Case study for Madinah, Saudi Arabia, *Applied energy*, 88 (4), 1427-1433.
- Berrizbeitia, S. E., Jadraque Gago, E. ve Muneer, T., 2020, Empirical models for the estimation of solar sky-diffuse radiation. A review and experimental analysis, *Energies*, 13 (3), 701.
- Beyazıt, N. İ., BULUT, H. ve DEMİRTAŞ, Y., 2017, Yatay Düzleme Gelen Difüz Işınım Modellerinin Ölçüm Sonuçlarına Göre Analizi, *Politeknik dergisi*, 20 (3), 557-563.
- Biçer, Y., 2014, Fotovoltaik modüllerin TS EN 45011 ve TS EN ISO/IEC 17065 ürün belgelendirme sistemi kapsamında sertifikalandırılmasının araştırılması ve uygulanması, *Enerji Enstitüsü*.
- Boland, J., Ridley, B. ve Brown, B., 2008, Models of diffuse solar radiation, *Renewable Energy*, 33 (4), 575-584.
- Brahma, B. ve Wadhvani, R., 2020, Solar irradiance forecasting based on deep learning methodologies and multi-site data, *Symmetry*, 12 (11), 1830.
- Bulut, H. ve Büyükalaca, O., 2007, Simple model for the generation of daily global solar-radiation data in Turkey, *Applied energy*, 84 (5), 477-491.
- Bulut, H., 2009, Bina enerji analizi ve güneş enerji sistemleri için eğimli yüzeylere gelen toplam güneş ışınım şiddeti değerlerinin hesaplanması.
- Cao, F., Li, H., Yang, T., Li, Y., Zhu, T. ve Zhao, L., 2017, Evaluation of diffuse solar radiation models in Northern China: New model establishment and radiation sources comparison, *Renewable Energy*, 103, 708-720.
- Chandel, S., Aggarwal, R. ve Pandey, A., 2005, New correlation to estimate global solar radiation on horizontal surfaces using sunshine hour and temperature data for Indian sites, *Journal of Solar Energy Engineering*, 127 (3), 417-420.
- Chawphonphang, N., Chaiwattworakul, P. ve Chirattananon, S., 2022, Global and Diffuse Solar Radiation Characteristics of Bangkok and its Forecast Using Artificial Neural Network, *International Energy Journal*, 22 (4).
- Chinchilla, M., Santos-Martín, D., Carpintero-Rentería, M. ve Lemon, S., 2021, Worldwide annual optimum tilt angle model for solar collectors and photovoltaic systems in the absence of site meteorological data, *Applied energy*, 281, 116056.
- Clarke, A. ve Trinnaman, J., 2004, Survey of Energy Resources, World Energy Council, London, UK, Elsevier international, accessed, 11 (4), 2008.
- ÇETİNTÜRK, S., TARAKÇIOĞLU, N., ACARER, M., Çunkaş, M. ve SALUR, E., 2023, Using Quadratic Multiple Linear Regression Models to Investigate the Effect of Inoculant Type and T6 Heat Treatment on Microstructural, Mechanical and Corrosion Properties of Al-Cu Alloy Produced by Casting, *Materials Today Communications*, 105549.
- Çolak, İ., BAYINDIR, R. ve Demirtaş, M., 2008, Türkiye'nin enerji geleceği, *Tübbas Bilim Dergisi*, 1 (2), 36-44.

- Damgacı, E., Boran, K. ve Boran, F. E., 2017, Sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi kullanarak Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi, *Politeknik dergisi*, 20 (3), 629-637.
- Duffie, J. A. ve Beckman, W. A., 1991, *Solar Engineering of Thermal Processes* John Wiley & Sons, Inc. New York.
- El-Kassaby, M., 1988, Monthly and daily optimum tilt angle for south facing solar collectors; theoretical model, experimental and empirical correlations, *Solar & wind technology*, 5 (6), 589-596.
- Erbs, D., Klein, S. ve Duffie, J., 1982, Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation, *Solar energy*, 28 (4), 293-302.
- Erduman, A., 2020, A smart short-term solar power output prediction by artificial neural network, *Electrical Engineering*, 102 (3), 1441-1449.
- Fan, J., Wu, L., Zhang, F., Cai, H., Ma, X. ve Bai, H., 2019, Evaluation and development of empirical models for estimating daily and monthly mean daily diffuse horizontal solar radiation for different climatic regions of China, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 105, 168-186.
- Garud, K. S., Jayaraj, S. ve Lee, M. Y., 2021, A review on modeling of solar photovoltaic systems using artificial neural networks, fuzzy logic, genetic algorithm and hybrid models, *International Journal of Energy Research*, 45 (1), 6-35.
- Gedik, E., 2016, Experimental investigation of module temperature effect on photovoltaic panels efficiency, *Journal of Polytechnic*, 19 (4), 569-576.
- Gopinathan, K. ve Soler, A., 1995, Diffuse radiation models and monthly-average, daily, diffuse data for a wide latitude range, *Energy*, 20 (7), 657-667.
- Gunerhan, H. ve Hepbasli, A., 2007, Determination of the optimum tilt angle of solar collectors for building applications, *Building and Environment*, 42 (2), 779-783.
- Heywood, H., 1971, Operating experiences with solar water heating, *IHVE J.*, 39.
- Hoke, A., Giraldez, J., Palmintier, B., Ifuku, E., Asano, M., Ueda, R. ve Symko-Davies, M., 2018, Setting the smart solar standard: Collaborations between hawaiian electric and the national renewable energy laboratory, *IEEE Power and Energy Magazine*, 16 (6), 18-29.
- Iqbal, M., 1979, Study of canadian diffuse and total solar radiation data. i. monthly average daily horizontal radiation, *Sol. Energy;(United States)*, 22 (1).
- Jacovides, C., Hadjioannou, L., Pashiardis, S. ve Stefanou, L., 1996, On the diffuse fraction of daily and monthly global radiation for the island of Cyprus, *Solar energy*, 56 (6), 565-572.
- Jallal, M. A., Chabaa, S., El Yassini, A., Zeroual, A., Ibnyaich, S. ve Raoufi, M., 2019, Elman Neural Network for Solar Radiation Components Forecasting based on the desired tilt angle, *2019 7th International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, 1-5.
- Jamil, B. ve Akhtar, N., 2017, Comparison of empirical models to estimate monthly mean diffuse solar radiation from measured data: Case study for humid-subtropical climatic region of India, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 1326-1342.
- Jasinski, M., Homae, O., Opałkowski, D., Najafi, A. ve Leonowicz, Z., 2023, On the Forecastability of Solar Energy Generation by Rooftop Panels Pointed in Different Directions, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*.

- Kacira, M., Simsek, M., Babur, Y. ve Demirkol, S., 2004, Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey, *Renewable Energy*, 29 (8), 1265-1275.
- Kaçan, E. ve Ülgen, K., 2012a, GÜNEŞ ENERJİSİ TOPLAYICILARINDA EĞİM VE YÖNLENDİRMENİN YARARLANABİLİRLİĞE ETKİSİ, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27 (4).
- Kaçan, E. ve Ülgen, K., 2012b, Effect of collector slope and orientation on solar energy utilization, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*.
- Kaldellis, J., Kavadias, K. ve Zafirakis, D., 2012, Experimental validation of the optimum photovoltaic panels' tilt angle for remote consumers, *Renewable Energy*, 46, 179-191.
- Kallioğlu, M. A., Durmuş, A., Karakaya, H. ve Yılmaz, A., 2020, Empirical calculation of the optimal tilt angle for solar collectors in northern hemisphere, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 42 (11), 1335-1358.
- Kaplan, A. G. ve Kaplan, Y. A., 2020, Developing of the new models in solar radiation estimation with curve fitting based on moving least-squares approximation, *Renewable Energy*, 146, 2462-2471.
- Kaya, M., 2012, Estimation of global solar radiation on horizontal surface in Erzincan, Turkey, *International Journal of Physical Sciences*, vol7, 5273-5280.
- Khahro, S. F., Tabbassum, K., Talpur, S., Alvi, M. B., Liao, X. ve Dong, L., 2015, Evaluation of solar energy resources by establishing empirical models for diffuse solar radiation on tilted surface and analysis for optimum tilt angle for a prospective location in southern region of Sindh, Pakistan, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 64, 1073-1080.
- Kılıç, F. Ç., 2015, Güneş enerjisi, Türkiye'deki son durumu ve üretim teknolojileri, *Mühendis ve Makina*, 56 (671), 28-40.
- Kim, G. Y., Han, D. S. ve Lee, Z., 2020, Solar panel tilt angle optimization using machine learning model: a case study of Daegu City, South Korea, *Energies*, 13 (3), 529.
- Klucher, T. M., 1979, Evaluation of models to predict insolation on tilted surfaces, *Solar energy*, 23 (2), 111-114.
- Koca, A., Oztop, H. F., Varol, Y. ve Koca, G. O., 2011, Estimation of solar radiation using artificial neural networks with different input parameters for Mediterranean region of Anatolia in Turkey, *Expert Systems with Applications*, 38 (7), 8756-8762.
- Koçer, A., Şevik, S. ve Güngör, A., 2016, Ankara ve İlçeleri için Güneş Kolektörü Optimum Eğim Açısının Belirlenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 21 (1), 63-78.
- Kumaş, K., Akyüz, A. ve Güngör, A., 2019, BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ BUCAK YERLEŞKESİ YÜKSEKÖĞRETİM BİRİMLERİNİN KARBON AYAK İZİ TESPİTİ, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (2), 1277-1291.
- Lakshmi, P. D. V., Kumar, M. M. M., Maharshi, D. ve Prasad, S. D., 2018, Solar power output with optimum tilt angle using Matlab, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5 (04), 1131-1139.
- Li, F., Lin, Y., Guo, J., Wang, Y., Mao, L., Cui, Y. ve Bai, Y., 2020, Novel models to estimate hourly diffuse radiation fraction for global radiation based on weather type classification, *Renewable Energy*, 157, 1222-1232.

- Liu, B. Y. ve Jordan, R. C., 1960, The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation, *Solar energy*, 4 (3), 1-19.
- Liu, B. Y. ve Jordan, R. C., 1963, The long-term average performance of flat-plate solar-energy collectors: with design data for the US, its outlying possessions and Canada, *Solar energy*, 7 (2), 53-74.
- López Gómez, J., Ogando Martínez, A., Troncoso Pastoriza, F., Febrero Garrido, L., Granada Álvarez, E. ve Orosa García, J. A., 2020, Photovoltaic power prediction using artificial neural networks and numerical weather data, *Sustainability*, 12 (24), 10295.
- Lu, Y., Zhang, R., Wang, L., Su, X., Zhang, M., Li, H., Li, S. ve Zhou, J., 2023, Prediction of diffuse solar radiation by integrating radiative transfer model and machine-learning techniques, *Science of The Total Environment*, 859, 160269.
- Lubitz, W. D., 2011, Effect of manual tilt adjustments on incident irradiance on fixed and tracking solar panels, *Applied energy*, 88 (5), 1710-1719.
- Masters, G. M., 2013, Renewable and efficient electric power systems, John Wiley & Sons, p.
- Mertens, K., 2018, Photovoltaics: fundamentals, technology, and practice, John Wiley & Sons, p.
- Moltames, R. ve Faraji Mohammad, A., 2018, Optimum tilt angle of solar PV arrays and Collectors for different time periods used in Iran, *2nd International Congress on Science and Engineering*, 1-11.
- Muslim, H. N., 2019, Solar tilt angle optimization of PV systems for different case studies, *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*, 6 (23), e7-e7.
- NASA-SSE, 2021, Surface meteorology and Solar Energy, <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>: [June 20].
- NASA, 2021, Earth's Energy Budget <https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance/page4.php>: [June 20].
- Nwokolo, S. C., Obiwulu, A. U., Ogbulezie, J. C. ve Amadi, S. O., 2022, Hybridization of statistical machine learning and numerical models for improving beam, diffuse and global solar radiation prediction, *Cleaner Engineering and Technology*, 9, 100529.
- Öztürk, H. H., 2008, Güneş enerjisi ve uygulamaları, Birsen Yayınevi, p.
- Öztürk, H. H., 2017, Güneş enerjisinden fotovoltaiik yöntemle elektrik üretiminde güç dönüşüm verimi ve etkili etmenler, *Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri*, 1, 1-14.
- Page, J. K., 1961, The estimation of monthly mean values of daily total short wave radiation on vertical and inclined surfaces from sunshine records for latitudes 40°N–40°S, *Proc. UN Conf. New Sources Energy*, 378–390.
- Pavlinić, B. ve Tolić, D., 2022, Predicting Diffuse Horizontal Radiation with Neural Networks, *2022 International Conference on Smart Systems and Technologies (SST)*, 127-132.
- Poobalan, B., Hamid, H. A., Hanafi, N. H. ve Leong, W. C., 2020, The study of photovoltaic systems performance using various azimuth angles and solar array tilt positions, *Journal of Physics: Conference Series*, 012050.
- Rajput, S. K. ve Dheer, D. K., 2023, Forecasting power-factor reductions in rooftop PV-integrated industrial power systems: Mathematical modelling and experimental validation, *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 33, 100974.
- Ramaneti, K., Kakani, P. ve Prakash, S., 2021, Improving Solar Panel Efficiency by Solar Tracking and Tilt Angle Optimization with Deep Learning, *2021 5th International Conference on Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC)*, 102-106.

- Rouholamini, A., Pourgharibshahi, H., Fadaeinedjad, R. ve Moschopoulos, G., 2013, Optimal tilt angle determination of photovoltaic panels and comparing of their mathematical model predictions to experimental data in Kerman, *2013 26th IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, 1-4.
- Rowlands, I. H., Kemery, B. P. ve Beausoleil-Morrison, I., 2011, Optimal solar-PV tilt angle and azimuth: An Ontario (Canada) case-study, *Energy Policy*, 39 (3), 1397-1409.
- Rusen, S. E. ve Konuralp, A., 2020, Quality control of diffuse solar radiation component with satellite-based estimation methods, *Renewable Energy*, 145, 1772-1779.
- Sabbagh, J. A., Sayigh, A. A. ve El-Salam, E., 1977, Estimation of the total solar radiation from meteorological data, *Sol. Energy;(United States)*, 19 (3).
- Sandhiya, S., 2021, Experimental analysis on different effects of PV module with respect to panel angle using machine learning algorithms, *information technology in industry*, 9 (3), 367-374.
- Sedraoui, K., Ramli, M. A., Mehedi, I. M., Hasbi, M. ve Hiendro, A., 2017, Optimum orientation and tilt angle for estimating performance of photovoltaic modules in western region of Saudi Arabia, *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 9 (2), 023702.
- Sonmete, M. H., Ertekin, C., Menges, H. O., Haciseferoğullari, H. ve Evrendilek, F., 2011, Assessing monthly average solar radiation models: a comparative case study in Turkey, *Environmental monitoring and assessment*, 175, 251-277.
- Şahan, M., Tokat, Ö. ve Yüksel, O., 2015, Osmaniye’de Günlük Toplam Güneş Işınım Ölçümleri, *Süleyman Demirel University Faculty of Arts and Science Journal of Science*, 10 (2), 97-105.
- Şahin, M., 2019, Determining optimum tilt angles of photovoltaic panels by using artificial neural networks in turkey, *Tehnički vjesnik*, 26 (3), 596-602.
- Tang, R. ve Wu, T., 2004, Optimal tilt-angles for solar collectors used in China, *Applied energy*, 79 (3), 239-248.
- Tarhan, S. ve Sarı, A., 2005, Model selection for global and diffuse radiation over the Central Black Sea (CBS) region of Turkey, *Energy conversion and management*, 46 (4), 605-613.
- Taşdemiroğlu, E. ve Sever, R., 1991, Estimation of monthly average, daily, horizontal diffuse radiation in Turkey, *Energy*, 16 (4), 787-790.
- Tiris, M., Tiris, C. ve Türe, I., 1996, Correlations of monthly-average daily global, diffuse and beam radiations with hours of bright sunshine in Gebze, Turkey, *Energy Conversion and Management*, 37 (9), 1417-1421.
- Tiris, M. ve Tiris, C., 1997, Analysis of solar radiation data for Gebze, Turkey, *Energy Conversion and Management*, 38 (2), 179-186.
- Tiris, M. ve Tiris, C., 1998, Optimum collector slope and model evaluation: case study for Gebze, Turkey, *Energy Conversion and Management*, 39 (3-4), 167-172.
- Tirmikçi, C. A. ve Yavuz, C., 2018, Establishing New Diffuse Solar Radiation Equations for Antalya, Turkey, *Academic Perspective Procedia*, 1 (1), 514-520.
- Ulgen, K. ve Hepbasli, A., 2002, Comparison of solar radiation correlations for Izmir, Turkey, *International Journal of Energy Research*, 26 (5), 413-430.
- Ulgen, K. ve Hepbasli, A., 2003, Comparison of the diffuse fraction of daily and monthly global radiation for Izmir, Turkey, *Energy Sources*, 25 (7), 637-649.
- Ulgen, K., 2006, Optimum tilt angle for solar collectors, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 28 (13), 1171-1180.

- Ulgen, K. ve Hepbasli, A., 2009, Diffuse solar radiation estimation models for Turkey's big cities, *Energy Conversion and Management*, 50 (1), 149-156.
- Ullah, A., Imran, H., Maqsood, Z. ve Butt, N. Z., 2019, Investigation of optimal tilt angles and effects of soiling on PV energy production in Pakistan, *Renewable Energy*, 139, 830-843.
- Varınca, K. B. ve Varank, G., 2005, Güneş kaynaklı farklı enerji üretim sistemlerinde çevresel etkilerin kıyaslanması ve çözüm önerileri, *Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, İçel*, 24, 25.
- Varınca, K. B. ve Gönüllü, M. T., 2006, Türkiye'de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma, *Ulusal güneş ve hidrojen enerjisi kongresi*, 21, 23.
- Wang, L., Lu, Y., Zou, L., Feng, L., Wei, J., Qin, W. ve Niu, Z., 2019, Prediction of diffuse solar radiation based on multiple variables in China, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 103, 151-216.
- Yadav, A. K. ve Chandel, S., 2013, Tilt angle optimization to maximize incident solar radiation: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 503-513.
- Yang, L., Cao, Q., Yu, Y. ve Liu, Y., 2020, Comparison of daily diffuse radiation models in regions of China without solar radiation measurement, *Energy*, 191, 116571.
- Yao, W., Li, Z., Lu, Y., Jiang, F. ve Li, C., 2014, New models for separating hourly diffuse and direct components of global solar radiation, *Proceedings of the 8th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning: Volume 1: Indoor and Outdoor Environment*, 653-663.
- Yousuf, M. U., Umair, M. ve Uzair, M., 2020, Estimating the average diffuse solar radiation based on multiple parameters: a case study of arid climate zone of Pakistan, *International Journal of Ambient Energy*, 1-11.
- Zagorska, V., Kancevica, L., Putans, H. ve Ziemelis, I., 2014, Efficiency of fixed and tracking photovoltaic panel, *Proceedings of International conference "Engineering for Rural Development"*, 301-305.
- Zhao, Q., Wang, P. ve Goel, L., 2010, Optimal PV panel tilt angle based on solar radiation prediction, *2010 IEEE 11th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems*, 425-430.
- Zhi, Y., Sun, T. ve Yang, X., 2023, A physical model with meteorological forecasting for hourly rooftop photovoltaic power prediction, *Journal of Building Engineering*, 106997.
- Zhu, T., Li, J., He, L., Wu, D., Tong, X., Mu, Q. ve Yu, Q., 2021, The improvement and comparison of diffuse radiation models in different climatic zones of China, *Atmospheric Research*, 254, 105505.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mustafa ARSLAN
Uyruğu : TC

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Konya Meram Teknik Lise, Meram, Konya	1991
Üniversite	: Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Yenimahalle, Ankara	1998
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	2010
Doktora	: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
1997-1999	Termikel Madeni Eşya Sanayi	Kalite Kontrol Müdürü
1999-2006	Milli Eğitim Bakanlığı	Öğretmen
2006-2018	Selçuk Üniversitesi TBMYO	Öğretim Görevlisi
2018-2023	Konya Teknik Üniversitesi TBMYO	Öğretim Görevlisi

UZMANLIK ALANI

PV Sistemler

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler:

1. Arslan, M., & Cunkas, M. (2024). New Empirical Models for Estimation of Diffuse Radiation using Satellite Data. Renewable Energy Research and Applications, 5(1), 21-33.
2. Arslan Cemile, Arslan Mustafa, Yalçın Gökhan, Kaplan Turgut, Kahramanlı Humar(2021). Ball Throwing Machine Design To Develop Footballers' Technical Attributes. European Mechanical Science, 5(1), 39-43. (Yayın No: 6992845)

3. Arslan Mustafa, Terzioğlu Hakan (2020). Estimation of Solar Radiation Value using Artificial Intelligence Networks. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 488-497. (Yayın No: 6794305)
4. Arslan Mustafa, Çunkaş Mehmet, Sağ Tahir (2012). Determination of induction motor parameters with differential evolution algorithm. Neural Computing and Applications, 21(8), 1995-2004., Doi: 10.1007/s00521-011-0612-8 (Yayın No: 1290411)

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında(proceedings) basılan bildiriler:

1. Arslan Mustafa, Çunkaş Mehmet (2020). An Experimental Setup for Determining Optimum Tilt and Orientation in Photovoltaic Panels. International Conference on Engineering Technologies (ICENTE'20), 147-150. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:6919576)
2. Arslan Mustafa, Çunkaş Mehmet (2022). A Study on Optimum Tilt Angle of PV Panels for Konya, Turkey. 2022 57th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST), 1-4. Doi: 10.1109/ICEST55168.2022.9828630 (Tam Metin Bildiri/Davetli Konuşmacı)(Yayın No:7757970)
3. Arslan Mustafa, Çunkaş Mehmet (2020). Experiment Setup for Determining Optimum Tilt and Orientation Angles of Photovoltaic Panels. International Conference on Engineering Technologies (ICENTE'20), 2020, 147-150. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:6977026)
4. Arslan Cemile, Kahramanlı Humar, Yalçın Gökhan, Arslan Mustafa (2019). Futbolcuların Bireysel Becerilerini ve Performanslarını Geliştirebilmeleri için Bir Top İdman Makinesi Tasarımı. V Science Technology and Innovation Congress, 429-435. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:5601152)
5. Arslan Mustafa, Arslan Cemile, Terzioğlu Hakan, Yalçın Gökhan (2018). Güneş Panellerini Temizlemek İçin Güneş Enerjisi ile Çalışan Sistem Tasarımı. IVSS 2018 Uluslararası Mesleki Bilimler Sempozyumu, 333-333. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4527846)
6. Arslan Cemile, Arslan Mustafa, Arslan Atilla, Gökgündüz Hacı Bekir (2018). Kör Fareleri Canlı Yakalamak Amacı İle Geliştirilen Kapan İçin Gsm/Gpsr Modüllü Erken Uyarı Sistemi Tasarımı. Ivss 2018 International Vocational Science Symposium, 333-333. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4834930)

7. Arslan Mustafa, Çunkaş Mehmet (2018). Güneş Panellerının Enerji Verimliliğinin Sürekliliği İçin Fotovoltaik Panellerın Eğim Açılarının Önemi. IVSS 2018 International Vocational Science Symposium, 332-332. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:4834842)
8. Arslan Cemile, Kahramanlı Humar, Arslan Mustafa, Yalçın Gökhan, Kaplan Turgut (2018). Futbol Oyuncularını Çalıştırmak ve Motivasyonlarını Artırmak İçin Top Fırlatma Makinesi Tasarımı. I. International Congress Of Physical Education, Sport, Recreation And Dance (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4261140)
9. Arslan Cemile, Kahramanlı Humar, Arslan Mustafa, Örnek Mustafa Nevzat (2018). Futbolda Bireysel Antrenman ve Teknik Değerlendirme İçin Elektronik Kale Tasarımı. I. International Congress Of Physical Education, Sport, Recreation And Dance (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:4261139)
10. Sungur Cemil, Arslan Mustafa, Günseven Cumaali, Arslan Cemile (2017). Plc Ve Scada Dersleri İçin Eğitim Seti Tasarımı. V1. International Vocational Schools Symposium, 2, 441-446. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3581405)
11. Arslan Mustafa, Günseven Cumaali, Sungur Cemil, Anadol Mehmet Ali (2017). Güneş Enerjisi Santralleri İçin Modüler Eğitim Sistemi. VI. International Vocational Schools Symposium, 2, 479-488. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3581386)
12. Terzioğlu Hakan, Arslan Mustafa, Sungur Cemil, Günseven Cumaali (2017). Meslek Yüksekokulları Elektrik Programında Acil Aydınlatma Ve Yedekleme Ünitelerinin Uygulamalı Anlatılması. VI. International Vocational Schools Symposium, 2, 489-494. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3581420)
13. Arslan Cemile, Arslan Mustafa, Yalçın Gökhan, Kahramanlı Humar, Örnek Mustafa Nevzat, Kaplan Turgut (2016). Design Of Equipment For Individual Training Of The Forward Football Players. 2nd International Conference On Science, Ecology Andtechnology-2016 (ICONSETE'2016), 5-5. (Özet Bildiri/)(Yayın No:2951230)
14. Arslan Mustafa, Arslan Cemile, Yalçın Gökhan, Kahramanlı Humar, Örnek Mustafa Nevzat, Kaplan Turgut (2016). Design Of A Soccer Ball Throwing Machine. 2nd International Conference On Science, Ecology And Technology-2016 (ICONSETE'2016)(6), 6-6. (Özet Bildiri/)(Yayın No:2951224)
15. Terzioğlu Hakan, Kazan Fatih Alpaslan, Arslan Mustafa (2015). A New Approach to the Installation of Solar Panels. 2015 2nd International Conference on Information Science and Control Engineering, 573-577. Doi: 10.1109/ICISCE.2015.133 (Tam Metin Bildiri/)(Yayın No:1732395)

16. Terzioğlu Hakan, Taşdemir Şakir, Sungur Cemil, Arslan Mustafa, Anadol Mehmet Ali, Günseven Cumali (2014). The Experiment Set Applications of PLCHMIBased SCADA Systems. International Conference and Exhibition on Electronic, Computer and Automation Technologies (ICEECAT'14), 77-79. (Tam Metin Bildiri/)(Yayın No:1290405)

17. Çunkaş Mehmet, Sağ Tahir, Arslan Mustafa (2009). Determination of Induction Motor Parameters by Differential Evolution Algorithm and Genetic Algorithms. International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE 2009) (Tam Metin Bildiri/)(Yayın No:1290414)

Yazılan ulusal/uluslararası kitaplar veya kitaplardaki bölümler:

1. Doğru Akım Devreleri (2015)., Terzioğlu Hakan, Arslan Mustafa, Gökğündüz Hacı Bekir, Anadol Mehmet Ali, Mesleki Akademi, Editör: Yrd.Doç.Dr. Murat SELEK, Basım sayısı:1, Sayfa Sayısı 279, ISBN:978-605-84867-5-1, Türkçe(Ders Kitabı), (Yayın No: 1731056)

2. Asenkron ve Senkron Makineler (2014)., Terzioğlu Hakan, Kazan Fatih Alpaslan, Arslan Mustafa, Mesleki Akademi, Editör: Doç.Dr. Cemil SUNGUR, Öğr.Gör. Cumaali GÜNSEVEN, Basım sayısı:1, Sayfa Sayısı 236, ISBN:978-605-84867-0-6, Türkçe(Ders Kitabı), (Yayın No: 1731322)

3. Elektrik Elektronik Ölçme Tekniği ve Uygulamaları (2014)., Terzioğlu Hakan, Ağaçayak Abdullah Cem, Arslan Mustafa, Kazan Fatih Alpaslan, Mesleki Akademi, Editör: Yrd.Doç.Dr. Mehmet Ali ANADOL, Yrd.Doç.Dr. Murat SELEK, Basım sayısı:1, Sayfa Sayısı 169, ISBN:978-605- 84867-1-3, Türkçe(Ders Kitabı), (Yayın No: 1731536)

Yazılan ulusal/uluslararası kitaplar veya kitaplardaki bölümler:

1. Mühendislik Alanında Araştırma Makaleleri (Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri İçin Optimum Eğim Açısı Üzerine Yapılan Çalışmalar), Bölüm Adı:(Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri İçin Optimum Eğim Açısı Üzerine Yapılan Çalışmalar) (2019)., Arslan Mustafa, Arslan Cemile, Ağaçayak Abdullah Cem, Gece Akademi, Editör: Dr. Öğretim Üyesi Abdurrahman GÜNDAY Dr. Öğretim Üyesi Mehmet Recep Minaz, Basım sayısı:1, Sayfa Sayısı 414, ISBN:978-625-7958-40-0, Türkçe(Bilimsel Kitap), (Yayın No: 5736661)

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler:

1. Terzioğlu Hakan, Taşdemir Şakir, Sungur Cemil, Arslan Mustafa, Anadol Mehmet Ali, Günseven Cumali (2014). SCADA Eğitimi İçin Deney Seti Tasarımı. Proje tabanlı Mekatronik Eğitim Çalıştayı (Tam Metin Bildiri/)(Yayın No:1290398)

