



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ÇİFT YÜZLÜ FOTOVOLTAİK PANELLERİN
FARKLI ZEMİN KOŞULLARINDA
İNCELENMESİ

Murat Kubilay ÇALIK

YÜKSEK LİSANS

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

01-07-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Murat Kubilay alık tarafından hazırlanan “ift Yüzlü Fotovoltaik Panellerin Farklı Zemin Koşullarında İncelenmesi” adlı tez çalışması 01/07/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Hüseyin KURT

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Muharrem Hilmi AKSOY

.....

Üye

Prof. Dr. Saim KOÇAK

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

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.

Murat Kubilay ÇALIK

Tarih:01.07.2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

ÇİFT YÜZLÜ FOTOVOLTAİK PANELLERİN FARKLI ZEMİN KOŞULLARINDA İNCELENMESİ

Murat Kubilay ÇALIK

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Muharrem Hilmi Aksoy

2022, 106 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Hüseyin Kurt

Prof. Dr. Saim Koçak

Dr. Öğr. Üyesi Muharrem Hilmi Aksoy

Fotovoltaik sistemlerin teknolojilerin değişmesiyle sağlanan verim artışı yanında, uygulama sahasında yapılacak bazı değişikliklerle toplam enerji üretiminde elde edilebilecek en küçük artış bile oldukça önemlidir. Bu tez çalışmasında Konya, Ankara, Antalya, İzmir ve Sivas bölgelerinde tek yüzlü ve çift yüzlü fotovoltaik sistemler farklı zemin koşullarında modeller oluşturulmuştur. Yapılan analizlerde 54 kWp kurulu güç için çatı uygulamasında yatayla 35° eğim açısı ve 0° azimut açıları alınmıştır. Albedo değerleri beyaz zemin için %80, kum zemin için %30 ve asfalt zemin için %10 olan farklı zemin koşullarında çift yüzlü PV paneller ile tek yüzlü PV panellerin performansları karşılaştırılmıştır. Konya bölgesinde ışınım değerinin en yüksek olduğu temmuz ayında beyaz zemine kurulu çift yüzlü PV panellerinin tek yüzlü PV panele göre performans oranının %14 daha fazla olduğu, yıllık toplam değerde ise %8,8 fazla olduğu gösterilmiştir. Değerlendirilen şehirlerden Konya'da çift yüzlü PV paneller için kayıplar sonrası şebekeye aktarılan yıllık toplam enerji değerleri beyaz zeminde 105,69 MWh, kum zeminde 97,73 MWh, asfalt zeminde 94,40 MWh iken tek yüzlü PV panellerinde ise 91,19 MWh olarak belirlenmiş ve beyaz zemine kurulu fotovoltaik panellerin tek yüzlü PV panele göre %15,9 fazla enerji üretebildiği belirlenmiştir. Bu kazancın Ankara bölgesinde %16,0 Antalya bölgesinde %17,5 İzmir bölgesinde %16,1 ve Sivas bölgesinde %15,1 oranında olduğu belirlenmiştir. Çalışmada aylara göre PV panellerin ön ve arka yüzlerine gelen toplam ışınım değerleri de hesaplanmıştır. Beyaz zeminde çift yüzlü PV panellerin Konya bölgesinde yıllık şebekeye aktarılan enerji değerleri incelendiğinde Ankara bölgesinden %5,4 Antalya bölgesinden %12,2 İzmir bölgesinden %0,5 ve Sivas bölgesinden %1,9 daha yüksek olduğu görülmüştür. Beyaz zeminde çift yüzlü PV panellerin Konya bölgesinde yıllık Performans oranları incelendiğinde Antalya bölgesinden %0,8 İzmir bölgesinden %1,7 daha yüksek olduğu ve Ankara bölgesinden %0,1 Sivas bölgesinden %0,8 daha az olduğu bulunmuştur. Yapılan ekonomik analizde ticari bir tüketim yeri için yapılan değerlendirmede Tek yüzlü PV panelin basit geri ödeme süresi 3,1 yıl iken Çift yüzlü PV panelde basit geri ödeme süresi 2,7 yıl olarak hesaplanmıştır. Net bugünkü değer yöntemine göre çift yüzlü PV uygulamasının proje süresince 239.834 TL daha fazla tasarruf sağladığı görülmüştür. Tek yüzlü PV panel uygulamasının iç karlılık oranı 0,32 iken ve çift yüzlü PV panel uygulamasında bu değer 0,36 olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak panellerin uygulama bölgesine az bir yatırım maliyeti ile değiştirilebilecek zemin koşullarının yanında tercih edilebilecek çift yüzlü PV panel uygulamalarının sistem performansına tek yüzlü PV panellere kıyasla %15 civarında olumlu etkileri olduğu ve ekonomik fizibilitesinin de uygun olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Albedo, Çift Yüzlü Fotovoltaik Paneli, Fotovoltaik Panel, Güneş Işınımı, Performans Oranı, PVsyst

ABSTRACT

MS

INVESTIGATION OF BIFACIAL PHOTOVOLTAIC PANELS UNDER DIFFERENT GROUND CONDITIONS

Murat Kubilay ÇALIK

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering**

Advisor: Assist. Prof. Dr. Muharrem Hilmi Aksoy

2022, 96 Pages

**Jury
Prof. Dr. Saim Koçak
Prof. Dr. Hüseyin Kurt
Assist. Prof. Dr. Muharrem Hilmi Aksoy**

In addition to the increase in efficiency provided by the change of technologies of photovoltaic systems, even the smallest increase that can be achieved in total energy production with some changes to be made in the field of application is very important. In this thesis, models of monofacial and bifacial photovoltaic systems were created under different ground conditions in Konya, Ankara, Antalya, İzmir, and Sivas regions. In the analysis made, 35° inclination angle with horizontal and 0° azimuth angles were taken for 54 kWp installed power for the roof application. The performances of bifacial PV panels and monofacial PV panels were compared in different ground conditions with Albedo values of 80% for white ground, 30% for sand ground, and 10% for asphalt ground conditions. It has been shown that the performance ratio of bifacial PV panels installed on white ground in July, when the radiation value is the highest in the Konya region, is 14% higher than that monofacial PV panels, and the annual total value is 8.8% higher. In Konya, one of the cities evaluated, the annual total energy values transferred to the grid after losses for bifacial PV panels were determined as 105.69 MWh on white ground, and 97.73 MWh on sand ground, 94.40 MWh on asphalt ground, and 91.19 MWh for monofacial PV panels. and it was determined that photovoltaic panels installed on white ground can produce 15.9% more energy than monofacial PV panels. It has been determined that this gain is 16.0% in the Ankara region, 17.5% in the Antalya region, 16.1% in the Izmir region, and 15.1% in the Sivas region. In the study, the total radiation values coming to the front and back sides of the PV panels were also calculated. When the annual energy values of the bifacial PV panels on the white background are analyzed in the Konya region, it is seen that it is 5.4% higher than the Ankara region, 12.2% higher than the Antalya region, 0.5% higher than İzmir region and 1.9% higher than Sivas region. When the annual performance rates of bifacial PV panels on white background are examined in the Konya region, it is found that it is 0.8% higher than the Antalya region, 1.7% higher than the İzmir region, and 0.1% less than the Ankara region and 0.8% less than Sivas region. In the economic analysis, in the evaluation made for an industrial consumption place, the simple payback period of the monofacial PV panel is 3.1 years, while the simple payback period for the bifacial PV panel is calculated as 2.7 years. According to the net present value method, it has been observed that the bifacial PV application provides 239,834 TL more savings during the project period. It was found that the internal profitability ratio of the monofacial PV panel application was 0.32, and this value was 0.36 in the bifacial PV panel application. As a result, it has been seen that besides the ground conditions that can be changed with a low investment cost in the application area of the panels, the bifacial PV panel applications that can be preferred to have a positive effect of about 15% on the system performance compared to the monofacial PV panels and their economic feasibility is also appropriate.

Keywords: Albedo, Bifacial Photovoltaic Panel, Photovoltaic Panel, Solar Radiation, Performance Ratio, PVsyst

ÖNSÖZ

Fotovoltaik enerji sistemleri günümüzde düşen maliyetler ve artan performans oranları ile yaygın olarak kullanılmakta olup gelecekte net sıfır emisyon hedefi ülkeler için kurulu gücünün daha büyük bir paya sahip olması beklenmektedir. Çift yüzlü fotovoltaik panellerle sınırlı çatı/arazi kurulumlarında birim alandan elde edilecek enerji daha fazla olacağı için ilerleyen zamanlarda birçok uygulamada kullanılacaktır.

Bu çalışmada fotovoltaik panellerde; fotovoltaik hücrelerin ve malzemelerinin önemine değinilmiş, güneş geometrisi ve albedo oranının etkilerinden bahsedilmiştir. Çift yüzlü fotovoltaik panellerle ilgili literatürde yer alan bazı çalışmalar hakkında bilgiler verilmiş ve çift yüzlü PV panel uygulamalarının ülkemiz için oldukça değerli olduğu gösterilmektedir. Fotovoltaik panellerde verim değerleri bölgesel etkenler yanında tozluluk, çevre sıcaklığı gibi pek çok farklı değerlere de önemli ölçüde bağlı olduğu gözlenmiştir.

Bu tez çalışmasında çift yüzlü fotovoltaik panelleri ve saha uygulamaları hakkında bilgi verilmiş, PVsyst programıyla Konya, Ankara, Antalya, İzmir ve Sivas bölgelerinde farklı zemin koşullarında analizler yapılmış ve sonuçları sunulmuştur.

Tez çalışmamın her safhasında çeşitli kaynak, bilgi ve önerileriyle benden yardımlarını esirgemeyen kıymetli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Muharrem Hilmi Aksoy'a teşekkürlerimi borç bilirim.

Benden hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olan Anne ve Babama, çalışmalarımda manevi desteğini ve hoşgörüsünü eksik etmeyen kardeşim Fatma Özlem Çalık'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Murat Kubilay ÇALIK

KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	iv
1. GİRİŞ	1
1.1. Güneş Enerjisi	4
1.1.1. Türkiye’de Bölgelerin Güneş Enerjisi Alma Potansiyeli	5
1.2. Fotovoltaik Hücreler	7
1.2.1. Fotovoltaik Hücrelerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler	9
1.2.2. Monokristal Fotovoltaik Paneller	10
1.2.2.1. Monokristal Fotovoltaik Panellerin Avantajları	10
1.2.2.2. Monokristal Fotovoltaik Panellerin Dezavantajları	10
1.2.3. Polikristal Fotovoltaik Paneller	10
1.2.3.1. Polikristal Fotovoltaik Panelin Avantajları.....	10
1.2.3.2. Polikristal Fotovoltaik Panelin Dezavantajları	11
1.2.4. Amorf Silisyum Fotovoltaik Panelleri	11
1.2.5. Fotovoltaik Panellerin Birleştirilmesi	12
1.2.6. Şeffaf Fotovoltaik Paneller	13
1.3. Çift Yüzlü Fotovoltaik Panellerinin Önemi	14
1.4. Çift Yüzlü Fotovoltaik Panellerin Literatürdeki Verim Artış Değerleri.....	15
1.5. Çift Yüzlü (BF PV) Fotovoltaik Panellerde Albedo Oranının Etkisi	15
1.5.1. Tek Yüzlü Panellerde Albedo Etkisi	16
1.5.2. Çift Yüzlü Panellerle Albedo Etkisi	16
1.6. Çift Yüzlü Fotovoltaik Panellerin Kurulumu	17
1.7. Fotovoltaik Enerji Sistemlerinin Hesaplamalarında Kullanılan Bilgisayar Programları	17
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM	31
3.1. Güneş Geometrisi ve Fotovoltaik Panellerde Önemi	31
3.1.1. Deklinasyon Açısı (δ)	31
3.1.2. Saat Açısı (ω).....	32
3.1.3. Zenit Açısı (ψ)	32
3.1.4. Güneş Yükseklik Açısı (α).....	32
3.1.5. Güneş Azimut Açısı (Y_s).....	33
3.1.6. Yüzey Azimut Açısı (Y)	33
3.1.7. Hava Kütlesi (HK)	33
3.1.8. Geliş Açısı (θ)	33
3.2. Albedo Etkisi	34

3.3. Güneş Işınımı Çeşitleri	35
3.3.1. Güneş Işınımı Ölçümleri.....	36
3.3.1.1. Piranometre	36
3.3.1.2. Pirheliometre.....	36
3.3.1.3. Pirradyometre.....	37
3.4. Fotovoltaik Panelin Voltaj ve Akım Ölçümleri.....	37
3.4.1. Açık Devre Voltajı (Voc)	38
3.4.2. Maksimum Güç Voltajı (Vmp)	38
3.4.3. Nominal Voltaj (Vnom).....	38
3.4.4. Kısa Devre Akımı (ISC)	39
3.4.5. Maksimum Güç Akımı (Imp).....	39
3.5. Fotovoltaik Panellerin Kapasite Hesaplamaları.....	39
3.5.1. Şebekeden Ayrık (off-grid) Sistemler İçin Kapasite Hesapları	41
3.5.1.1. GS: Güneşlenme Süresi (<i>h</i>).....	41
3.5.1.2. GPG: PV panellerin Gücü (W/adet)	41
3.5.1.3. Toplam Gerekli Güç (TGG) (Wh)	42
3.5.1.4. Batarya ya da Aküler:	42
3.5.1.5. İnvörtörler (Eviriciler):	43
3.5.2. Şebekeye Paralel (on-grid) Sistemler İçin Kapasite Hesapları	43
3.5.2.1. Fotovoltaik Panellerin Optimum Eğim Açısının Hesaplanması.....	44
3.5.2.2. Optimum Panel Eğim Açısı ve Gölgeleme.....	44
3.6. Power Optimizer (Güç İyileştirici)	46
3.7. Zemin Yansımalarının Hesaplanması.....	47
3.8. PVsyst Programında Modelleme	49
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	55
4.1. PVsyst ile yapılan Performans Analizleri	55
4.1.1. Konya Bölgesinin Performans Analizi	55
4.1.2. Ankara Bölgesinin Performans Analizi	62
4.1.3. Antalya Bölgesinin Performans Analizi	68
4.1.4. İzmir Bölgesinin Performans Analizi	74
4.1.5. Sivas Bölgesinin Performans Analizi	80
4.1.6. Beyaz Zemin Koşulunda Bölgelerin Performans Analizi.....	86
4.1.7. Kum Zemin Koşulunda Bölgelerin Performans Analizi.....	88
4.1.8. Asfalt Zemin Koşulunda Bölgelerin Performans Analizi.....	91
4.1.9. Tek Yüzlü PV Panellerin Performans Analizi	93
4.2. Ekonomik Analiz	96
4.2.1. Basit Geri Ödeme Süresi Yöntemi.....	98
4.2.1.2. Net Bugünkü Değer Yöntemi	98
4.2.1.3. İç Verim Oranı	99
5. SONUÇLAR.....	101
5.1. Sonuçlar	101
5.2. Öneriler	103
KAYNAKLAR	104
ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Δ	: Deklinasyon Açısı ($^{\circ}$)
V_{oc}	: Açık Devre Voltajı (V)
V_{mp}	: Maksimum Güç Voltajı (V)
V_{nom}	: Nominal Voltaj (V)
I_{sc}	: Kısa Devre Akımı (A)
I_{mp}	: Maksimum Güç Akımı (A)
L	: Paneller arası mesafe ya da olabilecek en uzun gölge boyu (m)
a	: Kullanılacak panel boyu (m)
β_{opt}	: Optimum panel eğim açısıdır ($^{\circ}$)
N	: Gün uzunluğu (h)
V_{bat}	: Batarya voltajı (V)
I_{bat}	: Kullanılacak tek bir bataryanın akımı (A)
P_{inv}	: İnvörtör gücü (W)
ρ_g	: Zeminin yansıtıcılığı
A_1	: Zeminin gölgeli alanı (m^2)
A_2	: Zeminin gölgelenmemiş alanı (m^2)
A_n	: Modellenen PV'nin alanı (m^2)
F_1	: Zeminin gölgeli alanından modülün arka yüzey görüş faktörü
F_2	: Zeminin gölgelenmemiş alanından modülün arka yüzey görüş faktörü

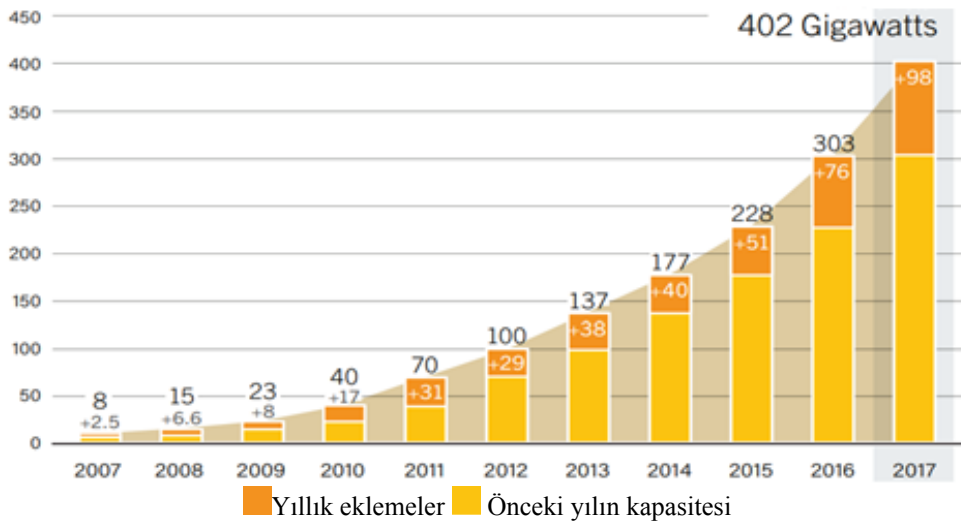
Kısaltmalar

AYEI	: PV modüllerinin arka tarafındaki etkin ışım
BFPV	: Çift yüzlü fotovoltak
CÇS	: Cihazın ya da cihazların gün içerisindeki çalışma süresi (h)
CG	: Cihazın ya da cihazların güçleri (W)
DYI	: Dağılık yatay ışım
EVA	: Etilen vinil asetat
KYI	: Küresel yatay ışım
GPA	: Fotovoltak Panel Adedi
GPG	: Fotovoltak Panelin Gücü (W/adet)
GS	: Güneşlenme Süresi (h)
KG	: Kurulu güç
KKYI	: Kayıplar sonrası kolektöre yansıyan ışınım
KŞAE	: Kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerji
KYI	: Kolektöre yansıyan ışınım
PERC	: Pasif yayıcı ve arka temas
PO	: Performans oranı
PV	: Fotovoltak
ŞAE	: Şebekeye aktarılan enerji
TBA	: Toplam batarya adedi
TBG	: Toplam batarya gücü (Wh/gün)
TGG	: Toplam gerekli güç (Wh)
TM	: Termoplastik malzeme
UV	: Ultraviyole
YGF	: Yapı gölgeleme faktörü

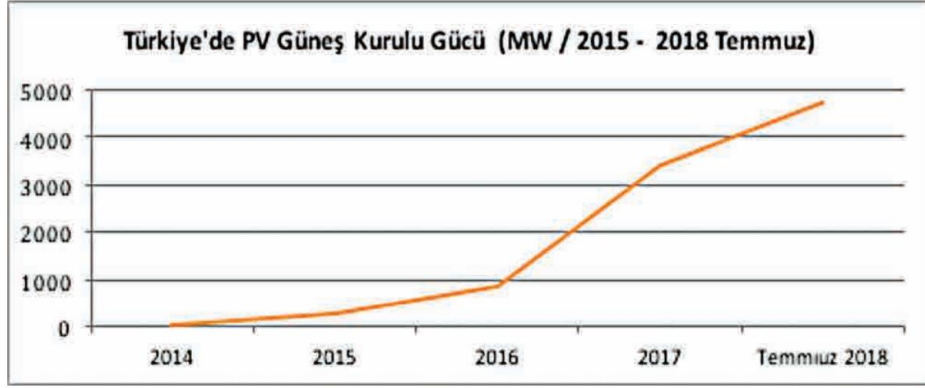
1. GİRİŞ

Dünyada ve Türkiye’de bilim ve teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte enerjiye olan talep her geçen gün artmaktadır. Ülkeler, enerji ihtiyaçlarını karşılamak için alternatifler aramak, teknolojik gelişmeleri yakından takip etmek, enerji sektörünün gelişimini izlemek kaçınılmaz olmuştur. Petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtların çevresel ve ekonomik etkileri sonucunda enerji çeşitliliği ihtiyacı ile araştırmalar yenilenebilir enerji kaynaklarına üzerine yoğunlaşmıştır (Zengin, 2020).

2019 yılı itibariyle ortaya çıkan yeşil mutabakat anlaşması; dünya genelinde yaşanmakta olan iklim krizinin etkilerini en aza indirmeyi ve 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu geçilmesi kararı alınmıştır. Bu nedenle yenilenebilir enerji kullanımı, enerji yönetimi ve enerji sistemlerdeki verim artışları daha da önem kazanmıştır. Dünya sürdürülebilirlik adına yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneldiği günümüzde oldukça yaygın hale gelen güneş enerji sistemleri yenilenebilir enerji içerisinde kullanımı en hızlı artan yenilenebilir kaynak olarak dikkat çekmektedir (Yanıktepe ve ark., 2017; Hoan ve ark. 2019). Türkiye’de özellikle de İç Anadolu bölgesinde güneş enerji sistemlerine ciddi yatırımlar yapılmaktadır. Fotovoltaik hücre üretiminde yurtdışına bağlı olunan bu sektörde sistemlerde verim değerlerindeki artış için yapılan çalışmalar oldukça önemlidir (Güven ve Mete, 2021). Şekil 1.1’de Dünyadaki toplam fotovoltaik güneş enerji kapasitesini gösterirken Şekil 1.2’de Türkiye’de fotovoltaik güneş kurulu gücü göstermektedir.

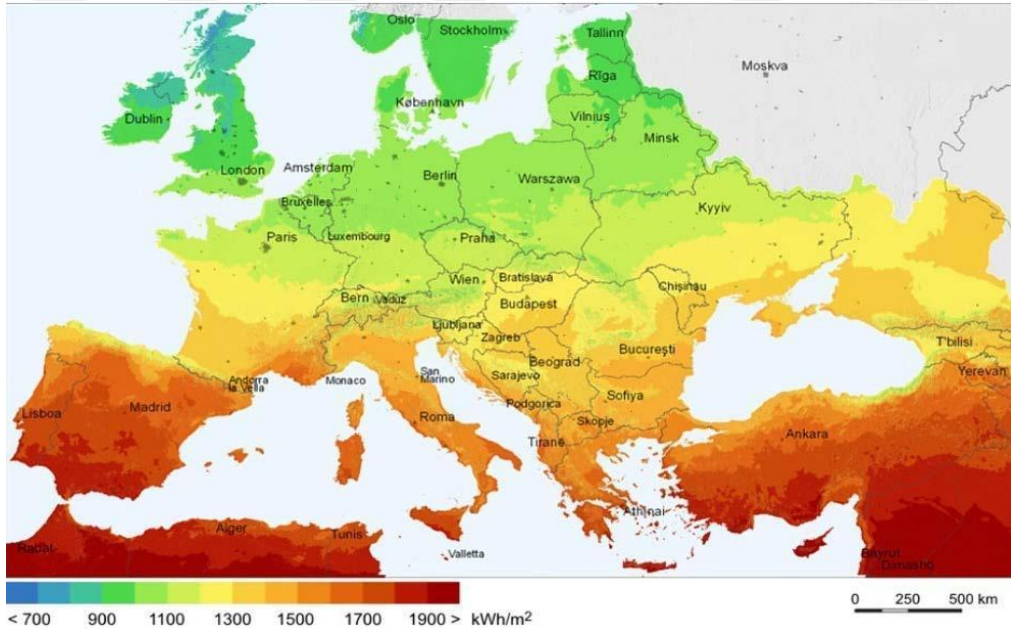


Şekil 1.1. Küresel ölçekte Fotovoltaik Güneş Enerji Kapasitesi ve Yıllık Artışlar (2007-2017)

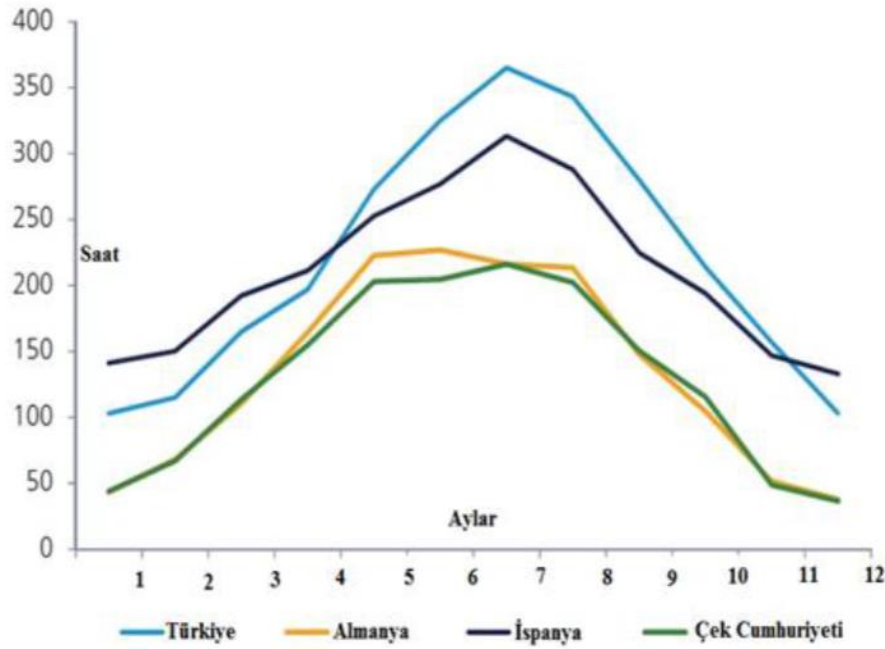


Şekil 1.2. Türkiye'de Fotovoltaik Güneş Kurulu Gücü

Dünya genelindeki güneş enerjisi kullanım durumuna baktığımızda ABD başta olmak üzere Avrupa ülkeleri ve Çin başı çekmektedir. Özellikle son yıllarda ülkemiz güneş enerji sistemleri sektöründe büyük yatırımlar yapmakta ve sektörün iyileştirilmesi adına da birçok çalışmalar yapılmaktadır. Şekil 1.3'de gösterildiği gibi Avrupa ve diğer dünya devletlerine göre Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli ve yıllık güneşlenme süresi oldukça fazladır. Karadeniz Bölgesinin yıllık 1120 kWh/m^2 değeri Almanya'nın 1030 kWh/m^2 ortalama güneş enerjisi değerinin üzerindedir (Şekil 1.4) (Fidan ve Alkan, 2014).



Şekil 1.3. Avrupa'nın yıllık güneş enerji potansiyel haritası

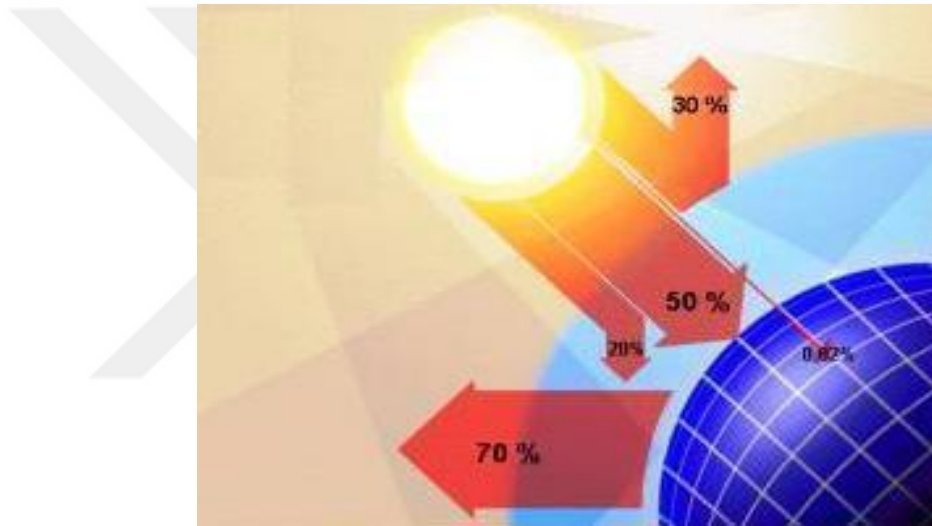


Şekil 1.4. Yıllık güneşlenme süreleri

Bu çalışmada çift yüzü fotovoltaiik panellerin güneş enerjisi alma potansiyelleri, fotovoltaiik hücrelerin çeşitleri ve malzemeleri hakkında bilgi verilirken PVsyst programıyla beş farklı ilde gerçekleştirilen uygulamaların performanslarının analizleri karşılaştırılmıştır. Çift yüzü fotovoltaiik panellerin; önemi, literatürdeki verim artış değerleri, albedo oranının etkisi, kurulumu ve fotovoltaiik enerji sistemlerinin hesaplamalarında kullanılan bilgisayar programlarından bahsedilmiştir. İkinci bölümde literatür taraması yapılmış ve daha önce benzer konularda yazılmış çalışmalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde; güneş geometrisinin önemine ve açılarının hangi formüller ile bulunduğu gösterilmiştir. Albedo etkisi ve güneş ışınımı ölçüm cihazları anlatılmıştır. Fotovoltaiik panellerin voltaj ve akım ölçümlerinin özelliklerine değinilmiştir. Fotovoltaiik panellerin kapasite hesaplamalarının şebekeden ayrı ve şebekeye bağılı olarak formülleri ve özellikleri verilmiştir. Dördüncü bölümde PVsyst programı kullanılarak Konya, Ankara, Antalya, İzmir ve Sivas bölgelerinde Çift yüzü fotovoltaiik panellerin farklı zemin koşullarında albedo (beyaz, kum, asfalt) etkileriyle Tek yüzü PV panellerin performanslarının analizleri karşılaştırılmıştır. Konya bölgesinin beyaz zeminde çift yüzü fotovoltaiik panel ve tek yüzü fotovoltaiik panelin maliyet analizi yapılmıştır. Beşinci bölümde performans analizleri her şehir için ayrı ayrı analiz edilirken çift yüzü fotovoltaiik panellerin beyaz zemin, kum zemin, asfalt zemin ve tek yüzü fotovoltaiik paneller şehirler arasında da analizleri yapılmış ve çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir.

1.1. Güneş Enerjisi

Güneşin merkezindeki füzyon süreci (hidrojen gazının helyuma dönüştürülmesi) tarafından yayılan ışımaya enerjidir. Güneş enerjisinin Dünya atmosferi dışındaki hızı yaklaşık 1370 W/m^2 iken Dünya'ya ulaşan miktar atmosferden dolayı $0-1100 \text{ W/m}^2$ arasında değişmektedir. Dünyaya geçen bu enerjinin küçük bir kısmı bile insanlığın mevcut enerji tüketiminin çok daha fazlasıdır. Güneş enerjisinin kullanımına yönelik araştırmalar özellikle 1970'ten itibaren hız kazanmış ve güneş enerjisi sistemleri teknolojik ilerlemeler ve daha düşük maliyetler göstererek kendilerini çevre dostu bir enerji kaynağı olarak kabul ettirmiştir (Benli, 2018).

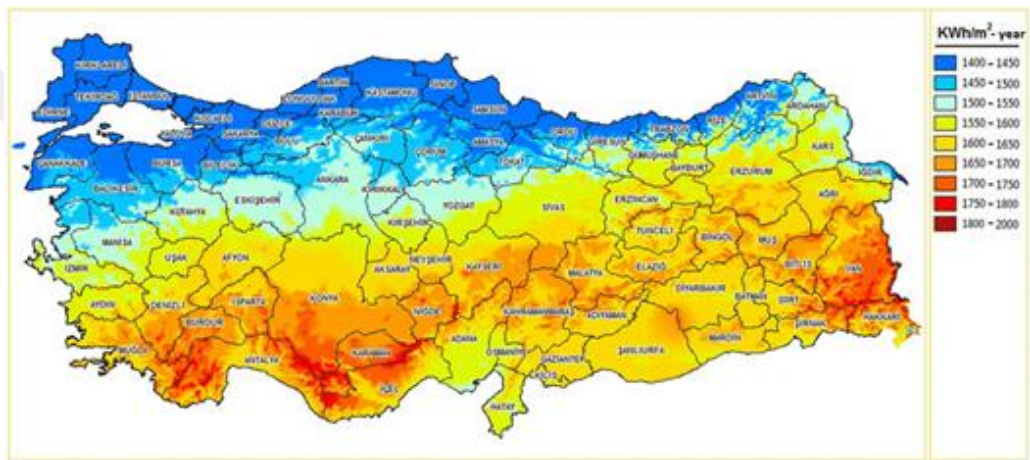


Şekil 1.5. Güneş'ten Dünya'ya gelen ışınım ve atmosferin etkisi

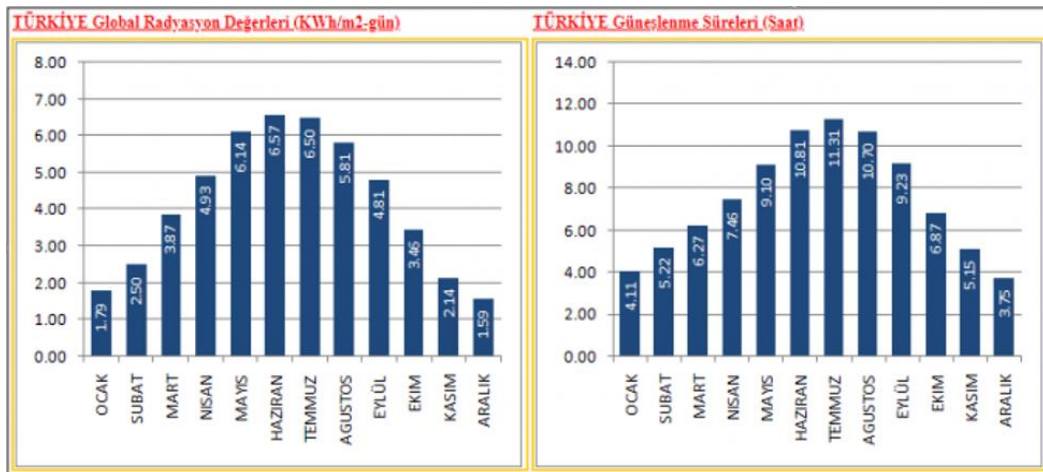
Dünya ile güneş arasındaki mesafe 150 milyon kilometredir. Güneşten dünyaya ulaşan enerji, dünyanın bir yılda tükettiği enerjinin 20.000 katıdır. Güneş ışınımının tamamı yer yüzeyine ulaşamaz Şekil 1.5'te gösterildiği gibi atmosfer nedeniyle %30 kadarı geriye yansıtılır. Toplam Güneş ışınımının ise ancak %50'si atmosferden geçerek dünya yüzeyine ulaşmaktadır. Dünya yüzeyine gelen ışınımı etkin olarak kullanmak fotovoltaik sistemlerden maksimum verim elde etmek için önemlidir. Bu da çift yüzümlü paneller üzerindeki araştırmanın önemini artırmıştır. Orta Avrupa'da yıllık toplam 1100 kWh/m^2 olan değerler ülkemizde 1700 kWh/m^2 değerinin oldukça üzerinde olduğu ve Türkiye'nin pek çok Avrupa ülkesinden avantajlı olduğu gösterilmektedir (Kaya ve ark. 2017; Çetinkaya, 2017).

1.1.1. Türkiye’de Bölgelerin Güneş Enerjisi Alma Potansiyeli

Türkiye coğrafi konum itibari ile güneş enerjisi açısından pek çok ülkeye göre daha avantajlıdır. Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyeli Şekil 1.6’da gösterilmiştir. Türkiye’nin günlük toplam ortalama ışınım değeri $3,6 \text{ kWh/m}^2$ ve güneşlenme süresi 7,2 saattir. Türkiye’de ocak ayında ışınım değeri $1,78 \text{ kWh/m}^2$ iken haziran ayında $6,52 \text{ kWh/m}^2$ değerine ulaşmaktadır. Ocak ayında güneşlenme süresi 4,11 saat iken temmuz ayında 11,31 saat değerlerine çıkmaktadır (Kose ve ark., 2019). Şekil 1.6 ve Şekil 1.7 ‘de Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyeli, ışınım değerleri ve ışınım süresi gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Türkiye’nin yıllık güneş enerji potansiyeli haritası



Şekil 1.7. Türkiye’nin ışınım değerleri ve ışınım süresi

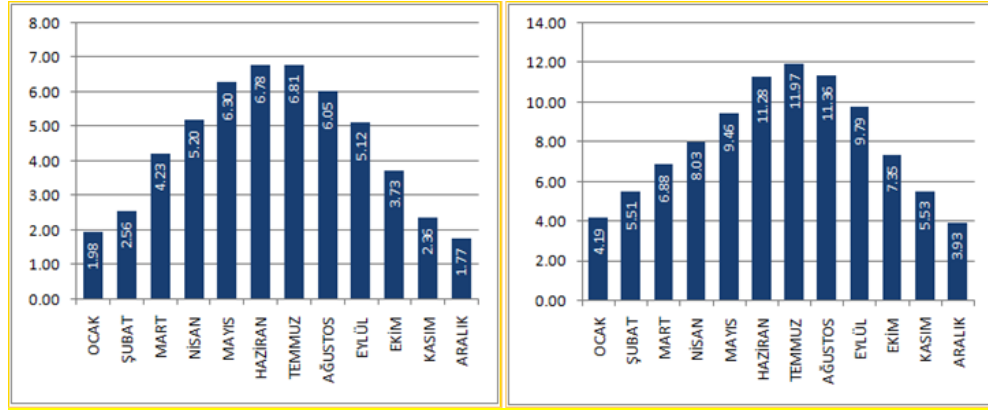
Türkiye’nin diğer bölgelerine nazaran en fazla ve en çok güneş alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi’dir. Ardından Akdeniz Bölgesi en fazla güneş alan bölgedir. Devamını Doğu Anadolu bölgesi, İç Anadolu bölgesi ve Ege bölgesi takip etmektedir.

Marmara Bölgesi bu sayılan bölgelere nazaran daha az güneş alan bölgedir. Türkiye'nin neredeyse güneş enerjisi yok denecek kadar az olan bölgesi ise; Karadeniz bölgesidir. Bölgelerin ışınlam değerleri ve güneşlenme süreleri Çizelge 1.1'de gösterilmiştir (Öztürk, 2020).

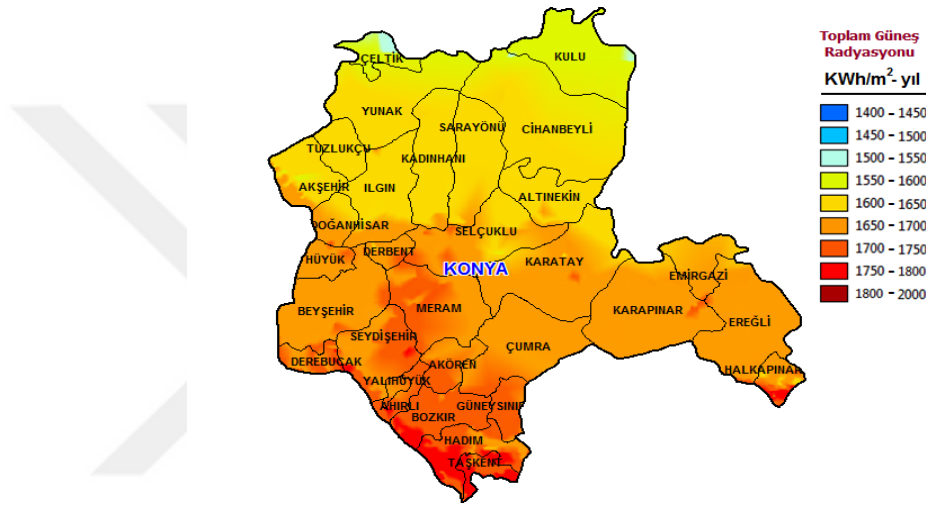
Çizelge 1.1 Bölgelerin ışınlam değerleri ve güneşlenme süreleri

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² .yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/yıl)
G. Doğu Anadolu	1,460	2,993
Akdeniz	1,390	2,956
Doğu Anadolu	1,365	2,664
İç Anadolu	1,314	2,628
Ege	1,304	2,738
Marmara	1,168	2,409
Karadeniz	1,120	1,971

Konya bölgesinin günlük toplam ortalama ışınlam süresi 7,94 saat ve ışınlam değerleri 4,41 kWh/m²'dir. Bu değerler Türkiye'nin günlük ortalama ışınlam süresi olan 7,2 saat ve ışınlam değeri 3,6 kWh/m²'nin oldukça üzerindedir (Solmaz ve ark. 2014). Bu nedenle Konya pek çok çatı ve saha uygulaması için elverişli bir bölge olarak dikkat çekmektedir. Konya bu güneş potansiyeli ile Türkiye'nin en büyük güneş enerji tarlası olan ve 20 milyon m² alan üzerine kurulmakta olan Karapınar YEKA-1 Güneş enerjisi santraline ev sahipliği yapmaktadır. Bu santral, kurulumu tamamlandığında Karapınar bölgesinde toplam 3.300 MW kurulu gücü ile dünyanın en büyük güneş enerji bölgelerinden biri olacaktır. Proje tamamlandığında 50 bin nüfuslu bir yerleşimin 1 haftalık enerji ihtiyacı, sadece 1 saatte üretilecek. Bir başka ifadeyle yaklaşık 2 milyon kişinin yıllık elektrik enerji ihtiyacını tek başına karşılayacaktır. Ayrıca yıllık olarak 1,5 milyon ton da fosil atık ve karbon emisyonunun da önüne geçilecektir. Konya bölgesinin ışınlam değerleri ve ışınlam süresi Şekil 1.8'de gösterilirken Şekil 1.9'da Konya bölgesinin güneş enerji potansiyeli gösterilmiştir.



Şekil 1.8. Konya bölgesinin ışınlam değerleri (sol) ve ışınlam süresi (sağ)



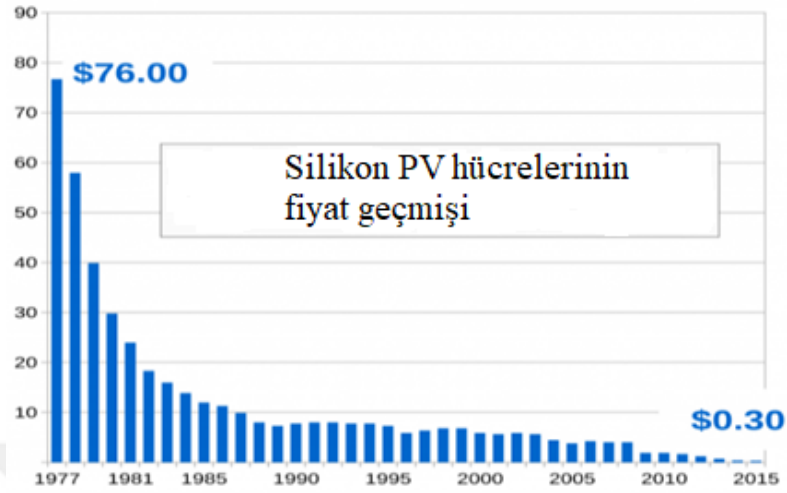
Şekil 1.9. Konya bölgesinin güneş enerji potansiyeli haritası

1.2. Fotovoltaik Hücreler

Güneş hücreleri (fotovoltaik hücreler), yüzeyindeki güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken malzemelerdir. Yüzeyinde kare, dikdörtgen ve daire bulunan güneş hücreleri tipik olarak yaklaşık 100 cm² alana ve 0,1- 0,4 milimetre kalınlığa sahiptir. Güneş hücreleri, fotovoltaik güç ilkesine göre çalışır. Başka bir deyişle, güneş hücreleri ışığa maruz kaldığında uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Bir hücreden yayılan elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, güneş hücrelerinin yapısına bağlı olarak %15 ile %30 arasında bir verimle elektrik enerjisine dönüştürülebilirler (Batur 2018).

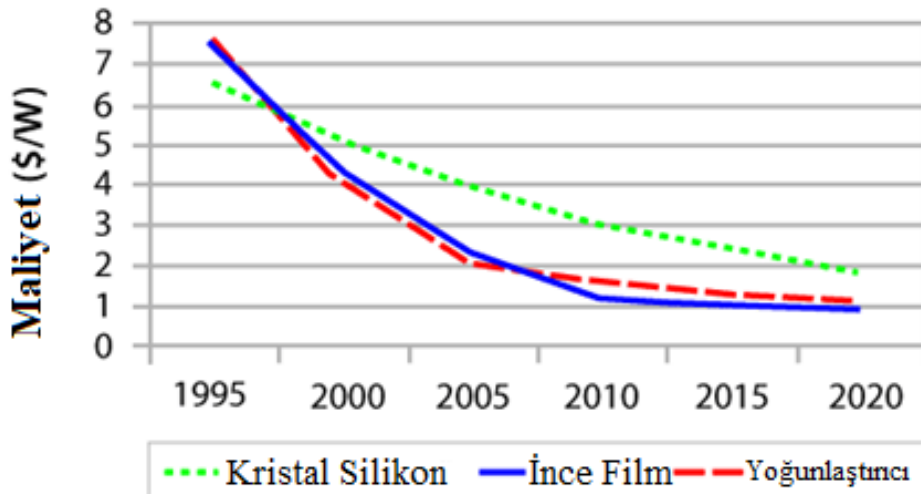
Birçok güneş hücresi, güç çıkışını artırmak için paralel veya seri olarak bağlanır ve yüzeye monte edilir. Bu yapıya güneş hücresi modülü veya fotovoltaik modülü denir. Güç gereksinimlerine bağlı olarak, modüller birkaç watt'tan megawatt'a kadar bir sistem

oluşturmak için seri veya paralel olarak bağlanır. Silikon PV hücrelerinin watt başına dolar cinsinden fiyat geçmişini Şekil 1.10'da göstermektedir.

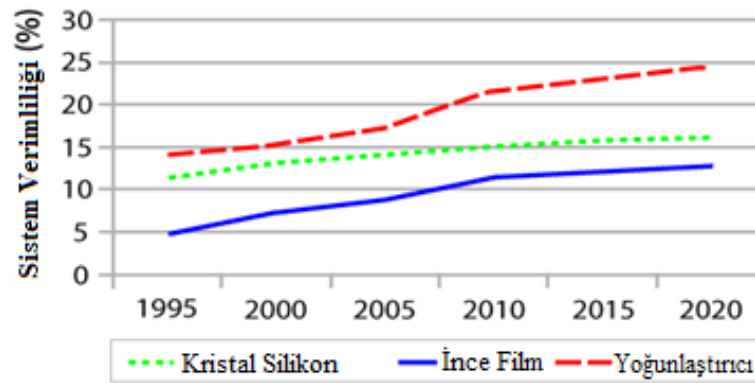


Şekil 1.10. Silikon fotovoltaik hücrelerinin Watt başına fiyat geçmişi

Fotovoltaik sistemin sermaye maliyeti ve Fotovoltaik sistemin verimliliği aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir. 1995 – 2020 yılları arasında Fotovoltaik sistemin sermaye maliyetinin düştüğü gösterilmiştir (Şekil 1.11). 1995 - 2020 yılları arasında Fotovoltaik sistemlerin verimliliğinin arttığı gösterilmiştir (Şekil 1.12).

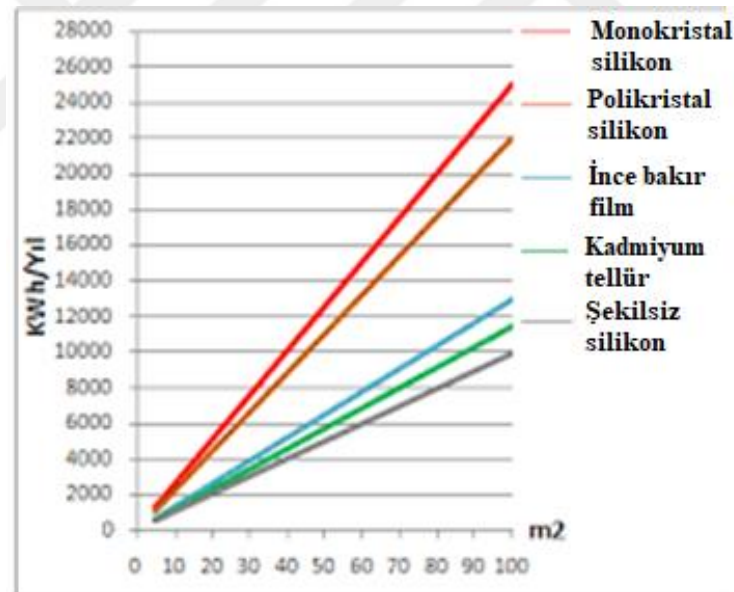


Şekil 1.11. PV sistemin sermaye maliyeti



Şekil 1.12. PV sistemin verimliliği

Aşağıdaki grafikte (Şekil 1.13) fotovoltaik hücre malzemeleri karşılaştırılmıştır. Gösterildiği gibi monokristal panellerin kullanımı toplam alanı efektif kullanım için daha uygun olabilmektedir.



Şekil 1.13. Türkiye PV panel tip-alan (m²) - üretilebilecek yıllık enerji (kWh-Yıl)

1.2.1. Fotovoltaik Hücrelerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler

Fotovoltaik hücrelerin oluşumunda farklı malzemeler kullanılabilir. Kristal Silisyum, Amorf Silisyum, Galyum Arsenit (GaAs), Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe₂), Kadmiyum Tellürid (CdTe) ve Optik Yoğunlaştırıcı Hücresel bunlardan bazılarıdır.

1.2.2. Monokristal Fotovoltaik Paneller

Tek kristal fotovoltaik paneller, yüksek kaliteli silikondan yapıldıkları için oldukça verimlidir. Bu panellerin verimliliği yaklaşık %24 'tür. Şekil 1.14'te Monokristal hücresi gösterilmiştir.

1.2.2.1. Monokristal Fotovoltaik Panellerin Avantajları

Düşük ışık koşullarında, benzer puanlı polikristal fotovoltaik panellerine göre, daha iyi performans gösterirler. Bu nedenle Monokristal fotovoltaik panelleri daha az güneş ışığında polikristal panellere göre daha çok üretim sağlamaktadır.

1.2.2.2. Monokristal Fotovoltaik Panellerin Dezavantajları

Monokristal fotovoltaik panelleri, Polikristal fotovoltaik panellere kıyasla daha pahalıdır. Ayrıca Monokristal fotovoltaik panellerin kısmen gölge veya kar ile kapalı ise, bu olumsuz durum tüm paneli etkileyecektir (Alkiş, 2020).

1.2.3. Polikristal Fotovoltaik Paneller

Polikristal silikondan yapılan fotovoltaik panel hücreleri, aynı zamanda çoklu-kristal silisyum olarak adlandırılan, dikdörtgen hücrelerden oluşan kolayca tanınabilir bir dış bir görünüme sahiptir. Polikristal fotovoltaik panellerin renkleri mavidir. Şekil 1.14'te Polikristal hücresi gösterilmiştir.

Polikristal fotovoltaik paneller, Monokristal fotovoltaik panellerin aksine, hücre üretimi için bazı pahalı işlemleri yapmayı gerektirmez. Bu nedenle Monokristal panellere göre verimliliği daha düşüktür. Polikristal fotovoltaik panellerin verimlilik oranları %18 civarındadır.

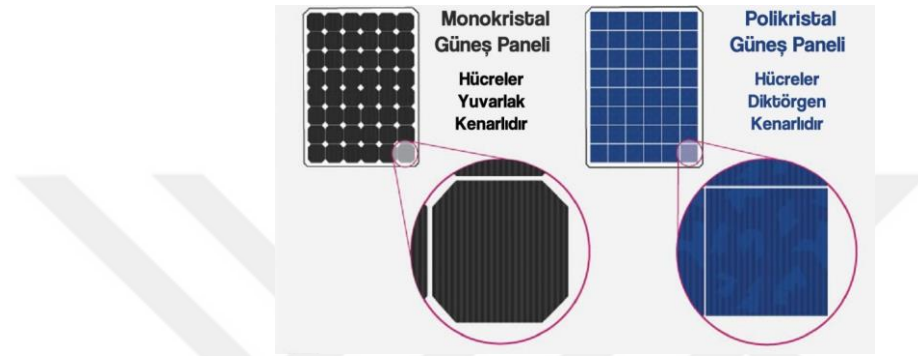
1.2.3.1. Polikristal Fotovoltaik Panelin Avantajları

Polikristal fotovoltaik panel hücresi yapmak için kullanılan yöntem daha basit ve daha az maliyetlidir. Polikristal fotovoltaik paneller; Monokristal fotovoltaik panellere

göre daha düşük ısı toleransı gösterir. Polikristal fotovoltaik panellerin fiyatları Monokristal fotovoltaik panellere göre daha ucuzdur.

1.2.3.2. Polikristal Fotovoltaik Panelin Dezavantajları

Polikristal fotovoltaik paneller; düşük silikon saflığı nedeniyle, Monokristal fotovoltaik panellere kıyasla daha az verimlidirler (Uzun 2019).



Şekil 1.14. Monokristal ve Polikristal fotovoltaik panel hücreleri

1.2.4. Amorf Silisyum Fotovoltaik Panelleri

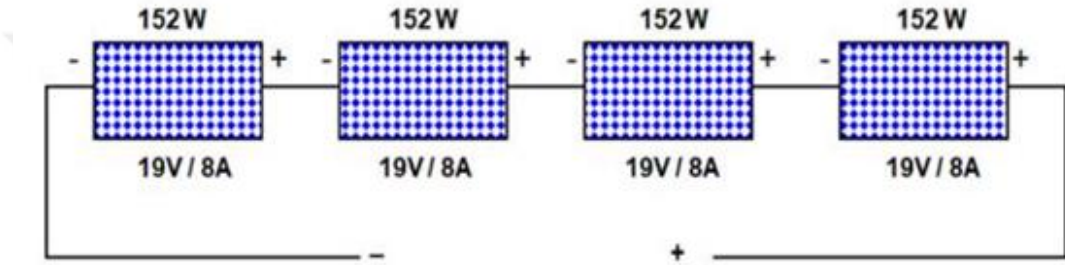
İnce tabakalı fotovoltaik paneller olarak da adlandırılırlar. Verimleri %10 kadardır. Uygulama verimleri %7'ye kadar düşmektedir. Yapı itibari ile amorf silikon fotovoltaik paneller, kristal yapı yerine ince, aynı tür silikon atomlarından oluşur. Amorf silikon, ışığı kristal silikonlardan daha verimli bir şekilde absorbe eder. Esnek yapısı itibari ile halı gibi yuvarlanarak daha küçük hacimlerde daha fazla enerji depolanabilmektedir. Çatı ve bina yüzeylerinde hafif yapısı sayesinde tercih sebebidir. Şekil 1.15'de gösterildiği gibi amorf paneli hafif, esnek, dayanıklı ve sağlam yapısı özel uygulamalar için avantaj teşkil eder. (Ceylan ve Gürel 2017)



Şekil 1.15. Amorf silisyum fotovoltaik panelleri

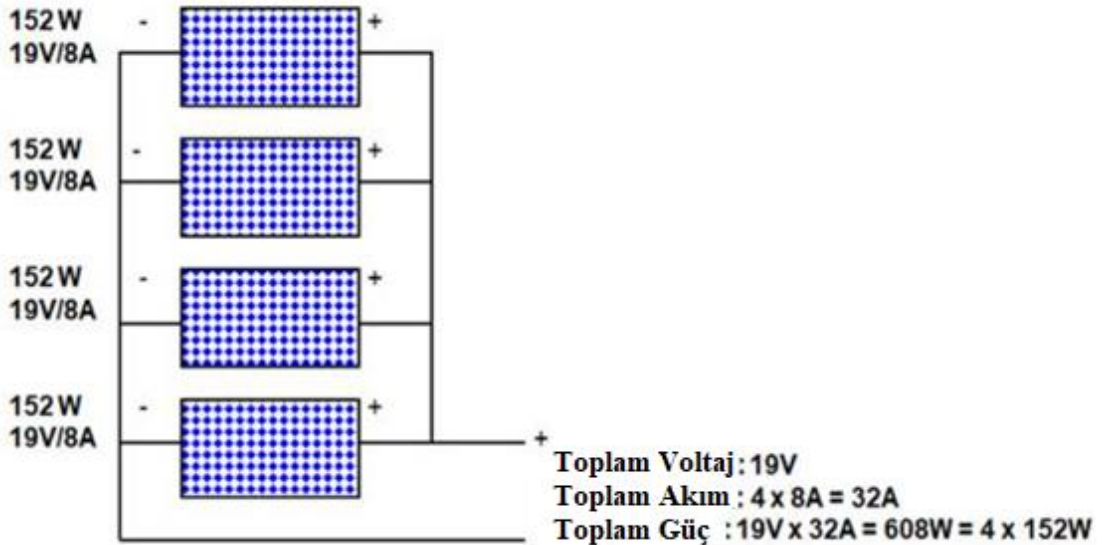
1.2.5. Fotovoltaik Panellerin Birleştirilmesi

Fotovoltaik panelleri birbirine seri veya paralel olacak şekilde bağlanırlar. Daha yüksek voltaj elde etmek istendiğinde fotovoltaik panelleri seri bağlanır. Ancak, daha yüksek akım gerekiyorsa, paneller paralel bağlanır. Şekil 1.16 ve 1.17’de seri ve paralel bağlama örnekleri gösterilmiştir. Hem daha yüksek bir voltaja hem de daha yüksek bir akıma ihtiyaç varsa, her iki bağlantı yöntemini de uygulanması gerekir; bu, fotovoltaik panellerin bir kısmının seri olarak bağlanması, diğerlerinin ise paralel olarak bağlanması gerektiği anlamına gelmektedir.



Toplam Voltaj: $4 \times 19V = 76V$
Toplam Akım: $8A$
Toplam Güç: $76V \times 8A = 608W = 4 \times 152W$

Şekil 1.16. Seri bağlı fotovoltaik panellerin şeması

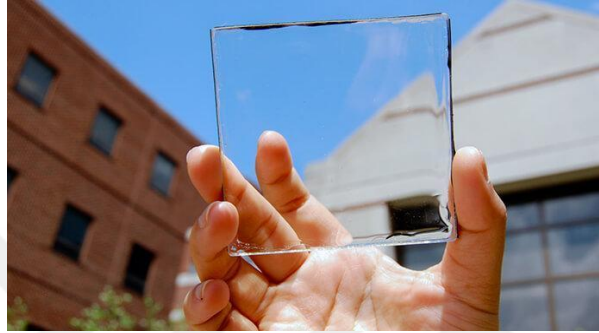


Toplam Voltaj: $19V$
Toplam Akım: $4 \times 8A = 32A$
Toplam Güç: $19V \times 32A = 608W = 4 \times 152W$

Şekil 1.17. Paralel bağlı fotovoltaik panellerin şeması

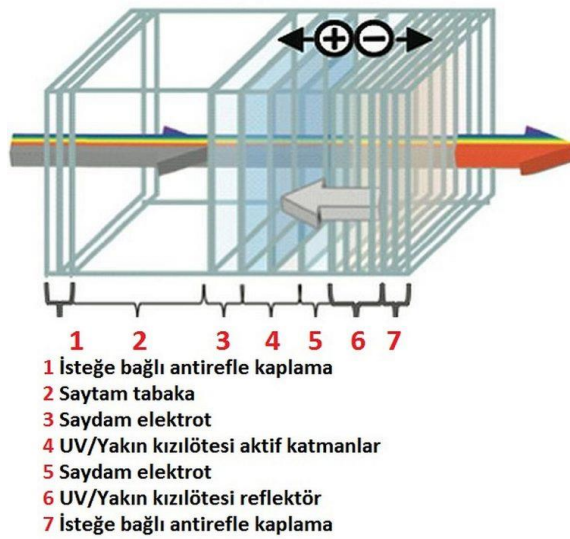
1.2.6. Şeffaf Fotovoltaik Paneller

Fotovoltaik cam, güneş ışığının alanını genişletmede en yeni fotovoltaik panel teknolojisidir. Bunlar; ofislerde, evlerde, arabanın açılır tavanı ve hatta akıllı telefonlarda kelimenin tam anlamıyla pencerelerden elektrik üretebilen şeffaf fotovoltaik panellerdir. Panjurlar, bir binanın penceresinin elektrik üretebilen başka bir parçasıdır. Şeffaf fotovoltaik panel Şekil 1.18’de gösterilmiştir.



Şekil 1.18. Şeffaf fotovoltaik panel

Şeffaf fotovoltaik paneller (Şekil 1.19); görünmez ultraviyole ve yakın kızılötesi dalga boylarını yakalayacak ve daha sonra başka bir görünmez dalga boyu olarak yansıtacaktır. Hapsedilen ışık, panelin dış hatlarına transfer edildikten sonra burada bulunan fotovoltaik güneş hücreleri özelliğiyle elektriğe dönüştürülmektedir (Husain ve ark. 2018).



Şekil 1.19. Şeffaf fotovoltaik panelin katmanları

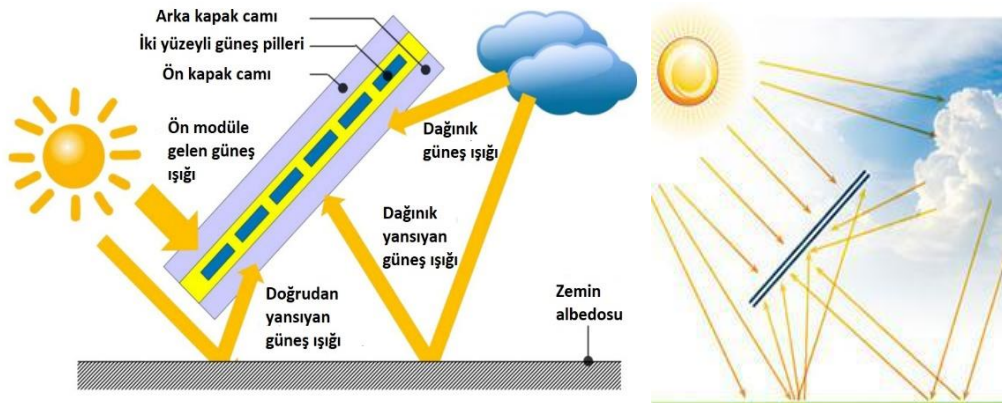
1.3. Çift Yüzlü Fotovoltaik Panellerinin Önemi

Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürürken önemli parametrelerden bir tanesi küçük alanda çok güç üretmektir. Şekil 1.20’de gösterildiği gibi Çift yüzlü hücrelerden oluşan yapı arka taraftan yansıyan güneş ışınlarının tekrar üretime dahil edilebilmesidir. Albedo etkisinden dolayı aynı panel farklı zemin şartlarında farklı üretim değerlerine sahip olabilirler (Kenar ve Ketenoğlu 2009).



Şekil 1.20. Çift yüzlü fotovoltaik panele ve Tek yüzlü fotovoltaik panele gelen ışınlar

Bu tip fotovoltaik paneller özellikle gölgelikler gibi binaya entegre fotovoltaik panel uygulamaları için çok uygundur. Ayrıca dikey olarak da çalışabildikleri için korkuluk, otoyol veya demir yollarında ses bariyeri ve standart fotovoltaik modüllerin uygulamasının kısıtlı olacağı benzer yerlerde de kullanılabilirler.



Şekil 1.21. Çift yüzlü fotovoltaik panellerine yansıyan ışınlar

Türkiye, 36-42 derece Kuzey enlemleri ile, 26-45 derece Doğu boylamları arasında yer almaktadır. Güneş enerjili sistemlerin yıl boyunca verimli çalışabilmesi için fotovoltaik panellerin yönü ve eğim açısının doğru bir şekilde belirlenmesi gereklidir

(Şekil 1.21). Ülkemiz Kuzey yarım kürede yer aldığı için fotovoltaik paneller Güney yönüne doğru yönlendirilir. Fotovoltaik panellerin eğim açısı ise sistemin kurulacağı konuma göre değişiklik gösterir.

1.4. Çift Yüzlü Fotovoltaik Panellerin Literatürdeki Verim Artış Değerleri

Düz çatıda tek yüzlü ve çift yüzlü silikon PV modüllerinin elektriksel performansını deneysel olarak inceleyen Garcia ve ark., (2019) %20'ye kadar üretilen elektrik değerinde artış sağladığını bulmuşlardır. Çek Cumhuriyeti Masaryk Üniversitesi Eğitim Fakültesi çatısında Tek yüzlü ve Çift yüzlü panellerin eğim açısı 25° ve 90° eğim açıları değişikliklerinin fotovoltaik sistemlerin güç dengesi üzerindeki etkisini inceleyen Matúš ve ark., (2020) Çift yüzlü fotovoltaik paneller kullanımında ise %7,6 bir artış tespit edilmiştir. Simülasyon programları ve Sandia laboratuvarında kurulum parametrelerinin ve sistem konfigürasyonunun çift yüzlü PV dizilerinin performansı üzerindeki etkisi inceleyen Asgharzadeh ve ark., (2018) sistemdeki çift yüzlü panellerin tekli verimi, çoklu verime göre %7 daha fazla olduğu bulunmuştur. Tropikal bölgelerdeki kentsel yerleşimlerde çift yüzlü fotovoltaik modülleri inceleyen Pisigan ve ark., (2014) Doğu-Batı yerleşiminde üretilen elektriğinin Kuzey-Güney yerleşiminde elde edilen enerjinin % 105 ~ 170'i arasında olduğu bulunmuştur. Büyük ölçekli bir tesis de farklı yerlerde ve farklı zemin şartlarında Chiodetti ve ark., (2015) spesifik üretimin, tek yüzlü tesislere kıyasla çift yüzlü tesislerde % 7,2 ile % 14,2 arasında artabileceğini göstermektedir. Almanya'da Çift yüzlü modüllerin performansını inceleyen Vogt ve ark., (2016) Yıllık ortalama enerji üretiminde %10-35 arasında bir artış olduğunu belirtmişlerdir. Singapur'un tropikal iklimlerinde çift yüzlü modül performansını deneysel olarak inceleyen Singh ve ark., 2012 yılında Çift yüzlü modüllerin tek yüzlü modüllerle karşılaştırıldığında %10'a yakın bir performans kazancını sağladığı belirtmişlerdir.

1.5. Çift Yüzlü (BF PV) Fotovoltaik Panellerde Albedo Oranının Etkisi

Albedo, bir yüzeyin yansıtıcılığının bir ölçüsüdür. Çift yüzlü fotovoltaik paneller; kuruldukları yüzeyin albedo oranı, çevreleyen yüzeylerden panellere ne kadar ışınım yansıtılacağını belirler. Aşağıdaki örneklerde albedo değerinin etkisine değinilmiştir.

1.5.1. Tek Yüzlü Panellerde Albedo Etkisi

Örnek olarak kurulan Şekil 1.22’de gösterilen 10 kWp’lik tek yüzlü paneller yatayla 30 derece, yerden 0,5 m yüksekte monte edilerek aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur:



Şekil 1.22. Zemine monte edilmiş paneller

Çizelge 1.2’de tek yüzlü PV panellerin çimen, su, beyaz çakıl ve siyah yüzeye göre albedo etkileri verilmiştir.

Çizelge 1.2. Tek yüzlü panellerde albedo etkisi

Malzeme	Albedo	Çıkış (kWh)	Siyah Yüzeye Göre Değer Artışı
Çimen	0,25	10247	+%1
Su	0,1	10160	+%0
Beyaz çakıl taşı	0,55	10420	+%3
Siyah yüzey	0,05	10131	-

1.5.2. Çift Yüzlü Panellerle Albedo Etkisi

Yukarıdaki aynı örnekle yatay olarak güneye bakacak şekilde 30 derece açıyla kurulacağı varsayılan 315W çift yüzlü paneller kullanarak alıştırmayı tekrarlanmıştır ve sonuçlar aşağıdaki gibidir (Russell 2017).

Çizelge 1.3. Çift yüzlü panellerde albedo etkisi

Malzeme	Albedo	Çıkış (kWh)	Çim üzerine kurulu tek yüzlü panellere karşı çıkış artışı
Çimen	0.25	10667	+%4
Su	0.1	10542	+%3
Beyaz çakıl taşı	0.55	11031	+%8
Siyah yüzey	0.05	10488	+%2

Çizelge 1.3'te görüldüğü gibi beyaz çakıl taşlarında, albedo %8 gibi oldukça yüksek bir katkı sağladığını görülmektedir.

1.6. Çift Yüzlü Fotovoltaik Panellerin Kurulumu

Çift yüzlü bir modülün montaj şekli tipine bağlıdır. Geleneksel montaj ve raf sistemleri zaten çerçevesiz modellere uyarlandığı için, çerçevesiz çift yüzlü bir modülün kurulumu çerçevesizden daha kolay olabilir.

Çerçevesiz çift yüzlü modüller için, modül kısıkları genellikle camı korumak için lastik korumalara sahiptir ve civataların aşırı sıkılmasını ve cama zarar vermesini önlemek için özel dikkat gösterilmelidir.

Montaj sistemi, çift yüzlü modüllerin performansını etkileyebilir. Genellikle tek yüzlü modülün arka tabakası ile kaplanan destek raylı raf sistemleri, çift yüzlü hücre sıralarını gölgeleyecektir. Çift yüzlü panellerdeki bağlantı kutuları küçültülmüş veya gölgelenmeyi önlemek için panelin kenarı boyunca konumlandırılan çoklu birimlere ayrılmıştır. Çift yüzlü paneller için özel olarak tasarlanmış montaj ve raf sistemleri, arka gölgeleme sorununu ortadan kaldırır.

1.7. Fotovoltaik Enerji Sistemlerinin Hesaplamalarında Kullanılan Bilgisayar Programları

Solimpeks; Türkiye; Termal Güneş enerjisi kolektörleri, yüksek üretim teknolojisi kullanılarak güneş enerjisinden en yüksek verimi elde etmek için tasarlanmış yazılımdır.

Homer Pro; Homer Energy, USA; daha güçlü modelleme yetenekleri için ek modüllerle desteklenebilir. Temel lisans, solar PV, rüzgar, piller, dizel jeneratörleri ve hatta basit şebeke bağlantılarını kullanarak sonsuz sayıda sistemi tam anlamıyla simüle etmeyi ve optimize etmeyi sağlar.

PV F-Chart; F-Chart software, USA; kapsamlı bir fotovoltaik sistem analizi ve tasarım programıdır. Program, günün her saati için aylık ortalama performans tahminleri sağlar.

PVsyst; Pvsyst SA, İsviçre; güneş enerjisi simülasyon programı ile şebeke bağlantılı güneş enerjisi, şebekeden bağımsız güneş enerjisi ve güneş enerjili sulama sistemleri tasarımı yapılabilir. Pek çok sistemi gerçekçi koşullarda modellemeyi sağlayan ve literatürde en fazla kullanılan programdır.

RETscreen; Natural Resources Canada, Kanada hükümeti tarafından geliştirilmiş bir yazılım programıdır.

System Advisor Model (SAM) - National Renewable Energy Laboratory (NREL), USA; yenilenebilir enerji endüstrisindeki insanlar için karar vermeyi kolaylaştıran bir tekno-ekonomik yazılım modelidir.

Solar Pro; Laplace Systems, Japonya; Kullanıcıların gölgelendirmeyi görselleştirmesine ve modül kapsamını kolayca ve doğru bir şekilde yapılandırmasına olanak tanıyan bir programdır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kenny ve ark. (1999) çift yüzlü fotovoltaik panellerin gerçek dış mekan koşullarında değerlendirmişlerdir. İki farklı tip (Tip 1: cam-cam ve Tip 2: cam-folyo) çift yüzlü modül incelenmiştir. Kurdukları deney düzenekleri yatayla 35 derecelik açıda ve zemin seviyesinden 1,1 m yüksekliğindedir. Bir tarafı doğal zemin gri renkli çakıl diğer tarafta zemin etkilerini incelemek için modüllerin altına ve arkasına beyaz bez yerleştirilmiştir. Arka tarafta ışınımı arttırmak için kullanılan beyaz zemin bezinin, ön ve arka taraflar arasında önemli spektral uyumsuzluklara yol açmadığını bulmuşlardır.

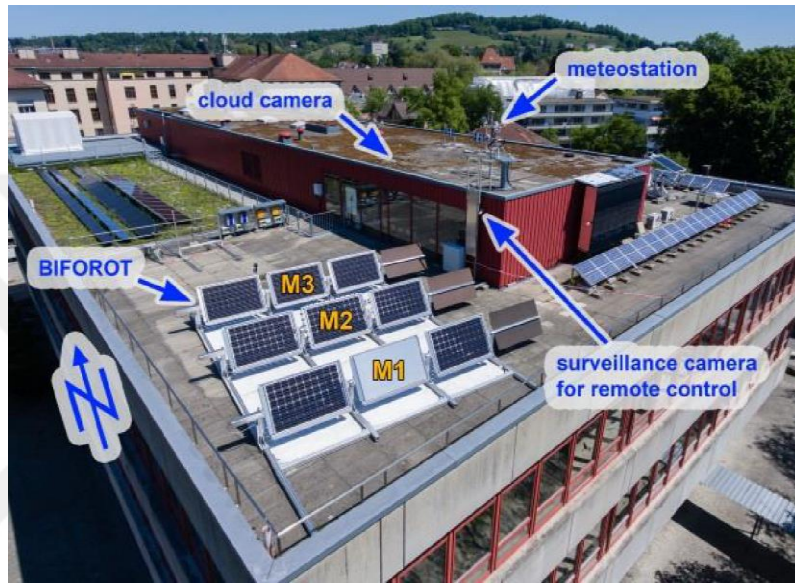


Şekil 2.1. Beyaz bez yerleştirilmiş paneller (Kenny ve ark. 1999)

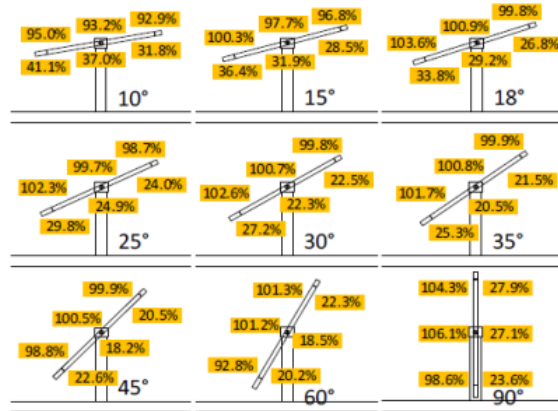
Garcia ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada arkaya yansıyan ışınımı etkileyen farklı iç mekan montaj konfigürasyonları altında tek yüzlü ve çift yüzlü silikon PV modüllerinin elektriksel performansını incelemiştir. Çift yüzlü aydınlatma için beyaz yansıtıcı bir arka panel yerleştirilmiştir. Elektrik performansını siyah bir arka panel ve tek yüzlü bir aydınlatma yöntemi ile de incelenmiştir. Ek arka aydınlatmanın IEC TS 60904-1-2:2019 standartlarında akım ve voltaj ölçümüyle %20'ye kadar üretilen elektrik değerinde artış sağladığını bulmuşlardır.

Çift yüzlü modüller için optimum montaj koşulu, belirli kurulum koşullarında ön ve arka taraflardan elde edilen performansını en üst düzeye çıkarılması durumudur. Arka tarafta ön yüzeye nazaran ışığın homojen bir dağılımda olmaması önemli problemlerdendir. Baumann ve ark. (2017) Almanya Zürih Uygulamalı Bilimler

Üniversitesinde ön ve arka taraftaki aydınlatma homojenliğini ve sistematik olarak değişen kurulum koşulları ile dış mekan ölçümlerini deneysel olarak incelemişlerdir. Zeminin beyaza boyandığı çalışmada panel dizilerinin gölgeleme etkileri de dikkate alınmıştır. Eğim açıları bir dakikalık aralıklarla on iki pozisyonda; 0° , 10° , 15° , 18° , 21° , 25° , 30° , 35° , 40° , 45° , 60° , 90° olarak farklı açılarda incelenmiştir. Ölçüm döneminde (kış mevsimi) maksimum enerji verimini, 35° ile 45° arasında bir eğim açısı aralığında elde etmişlerdir.



Şekil 2.2. Çift yüzlü modüllerin yerleşimi (Baumann ve ark. 2017)



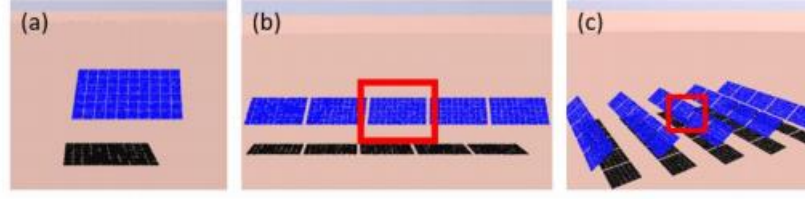
Şekil 2.3. Panellerin eğim açılarının şekilleri (Baumann ve ark. 2017)

Ferrada ve ark. (2017) Şili Atacama Çölü'nde Çift yüzlü PV modülleri için fotojenik akım yoğunluğunu incelemişlerdir. Ayrıca PV modüllerin üzerinde cam kalınlıklarının değişimini de incelemişlerdir. Hesaplama, Atacama Çölü'nün güneş

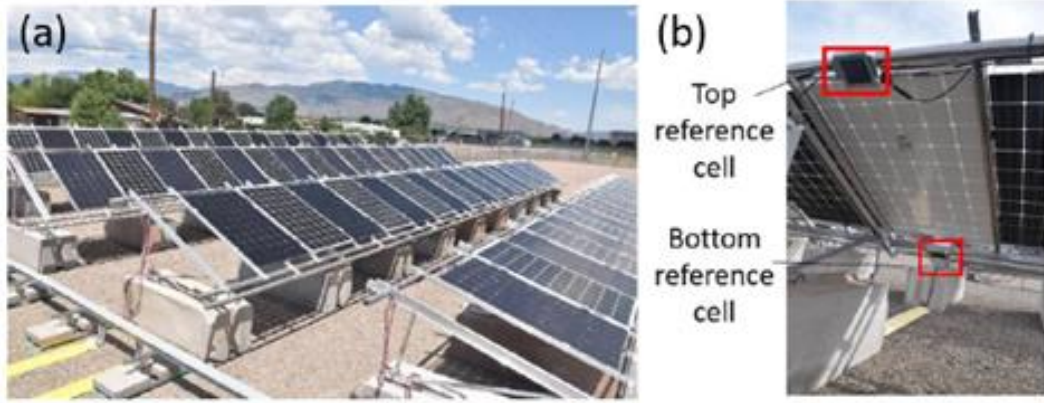
spektrumu dikkate alınarak dört farklı güneş hücresi, standart bir p-tipi, pasif yayıcı ve arka temas (PERC), çift yüzlü hücre ve arkası kapalı hücre için yapılmıştır. Zeminin çöl kumu olduğu çalışmada PV modüllerinin eğim açısı 18° belirlenmiştir. Aynı güneş spektrumu altında bir fotovoltaik panel ile birlikte cam ve enkapsülant kullanımının etkisini incelerken, düşük ultraviyole (UV) kesme değerine sahip etilen vinil asetat (EVA), IBC güneş enerjisi ile % 2'ye kadar daha yüksek akım yoğunluğu değerlerine ulaşılmıştır. 300-1200 nm dalga boyu aralığında iki spektrumun etkisini incelerken en yüksek akım kazancı, kapsülleyici olarak bir termoplastik malzeme (TM) olan standart 3,2 mm cam ile elde edilen IBC fotovoltaik panel için % 7,4'tür.

Matúš ve ark. (2020) Tek yüzlü ve Çift yüzlü panellerin eğim açısı 25° ve 90° eğim açıları değişikliklerinin fotovoltaik sistemlerin güç dengesi üzerindeki etkisini Çek Cumhuriyeti Masaryk Üniversitesi Eğitim Fakültesi çatısında yaptıkları çalışma ile incelemişlerdir. Bu çalışmada fotovoltaik modülün 90° eğim açısıyla ölçülen değerleri, 25° eğim açısıyla ölçülen değerlerine göre yıllık ortalama performansı %30 daha fazla olduğu belirtilmiştir. Çift yüzlü fotovoltaik panel kullanımında ise %7,6 bir artış tespit edilmiştir.

Asgharzadeh ve ark. (2018) kurulum parametrelerinin ve sistem konfigürasyonunun çift yüzlü PV dizilerinin performansı üzerindeki etkisi incelemişlerdir. Çalışmada simülasyon programları ve Sandia laboratuvarından ölçüm sonuçlarını kullanmışlardır. Eğim açıları 5, 35, 65 derece olarak belirlenmiştir. Hafif toprak, bej ve karla kaplı beyaz etilenden oluşmak üzere 3 farklı zemin malzemesi kullanılmıştır. Deneylerde tek modül sistemi 2244 Wh, Çok sıralı sistem 2149 Wh, Çok sıralı sistem (yansıma yok) 2115 Wh ve tek modül (belirli gölge) 2160 Wh olarak ölçülmüştür. Büyük ölçekli, güneşe bakan çift yüzlü sistemler için optimum eğim açısının tekli sistemlere göre daha yüksek olduğu ve 20° 'ye kadar artabileceği bulunmuştur. Ayrıca %21'lik bir zemin albedo oranı ile sistemdeki çift yüzlü panellerin tekli verimi, çoklu verime göre %7 daha fazla olduğu bulunmuştur. Panel yüksekliği ve albedo oranının çift yüzlü sistemlerin performansı üzerinde doğrudan etkisi olduğu gösterilmektedir. Ancak, eğim açısının sistem üzerine etkisi daha karmaşıktır. Mevsimsel optimum eğim açıları, yükseklik gibi albedo, sistemin boyutu, hava koşulları gibi pek çok parametreye bağlı olduğu belirtilmiştir.

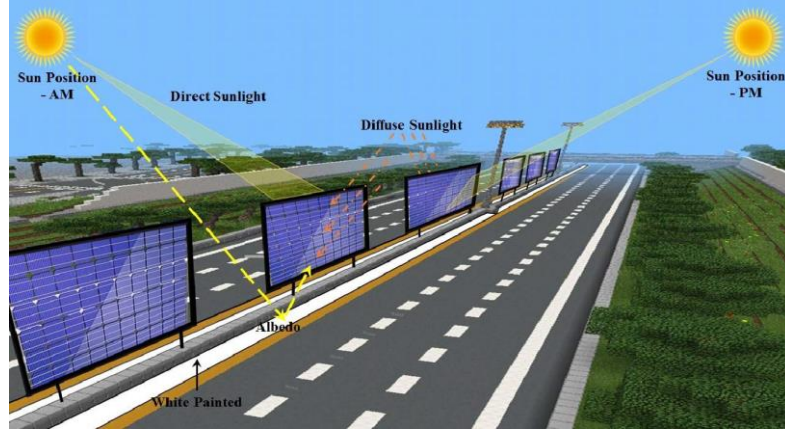


Şekil 2.4. Boyutun sistem performansı üzerindeki etkisini incelemek için (a) tek bir modülden (b) beş modülden oluşan bir sıra ve (c) beş modülden oluşan üç sıradan oluşan güneye bakan üç PV sistemi (Asgharzadeh ve ark. 2018)



Şekil 2.5. (a) Sandia sabit eğimli panelleri. (b) Üst ve alt referans hücreleri (Asgharzadeh ve ark. 2018)

Mahmud ve ark. (2018) çift yüzü panellerin sayısal ve simülasyona dayalı olarak incelenmişlerdir. Bangladeş'te 3790 km ulusal karayolu, 4206 km bölgesel karayolu ve 13121 km ilçe yolunda orta şeritte çift yönlü fotovoltaik panellerin kurulumu durumunu modellemişlerdir. Çalışmada paneller yere dik olarak yerleştirilmiştir. Yüzey tipi ve yansıtıcı değeri; yeşil alan (çimen) %23, beton %16, beyaz boyalı beton %60-80, beyaz çakıl %27, beyaz çatı kaplama metali %56, açık gri çatı kaplama folyosu %62, beyaz çatı folyosu %80 olarak alınmıştır. Sekiz farklı kara yolunda dikey olarak monte edilmiş çift yüzü güneş enerjisinden yararlanarak net güç üretimi; N1: 97890.08 MWhr, N2: 195780.16MWhr, N3: 57396.104 MWhr, N4: 72875.60 MWhr, N5: 72875.60 MWhr, N6: 195780.16 MWhr, N7: 125808.33 MWhr, N8: 186956.50 MWhr olacağı belirtilmiştir. Böylece çevre dostu enerji üretiminin yanı sıra elektrik santralinden arazi kullanımını azaltılması açısından önemli olduğu vurgulanmıştır.



Şekil 2.6. Otoyollarda fotovoltaik panellerin yerleşim modeli (Mahmud ve ark. 2018)

Baumann ve ark. (2019) çalışmalarında Çift yüzlü fotovoltaik sistemleri çatı kurulumunda deneysel olarak incelemişlerdir. 9.09 kWp nominal güce sahip fotovoltaik sistem Almanya Zürih Üniversitesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada albedo etkisi standart yeşil çatı=0.09, parlak yeşil çatı=0.21, çakıl =0.14, daha fazla bitki içeren standart yeşil çatı=0.16 olarak ölçülmüştür. Dikey yerleştirilmiş çift yüzlü fotovoltaik panellerde 942 kWh/kWp enerji elde edilmiş, bu değer güneşe yönlendirilmiş tek yüzlü fotovoltaik panellerden elde edilen 1000 kWh/kWp enerji değeri ile benzer olduğu ifade edilmiştir. Farklı yüzeylerde gerçekleştirilen yansıma ölçümlerinin sonuçları 25, 65, 90 derece eğim açısıyla ve karla kaplı dağlık alanlar veya çöller gibi yerlerin seçiminin daha uygun olduğunu söylemiştir.



Şekil 2.7. Çatıdaki fotovoltaik panellerin zeminleri (Baumann ve ark. 2019)

Pisigan ve ark. (2014) Tropikal bölgelerdeki kentsel yerleşimlerde çift yüzlü fotovoltaik modülleri incelemiştir. Singapur'da doğu-batı ve kuzey-güney

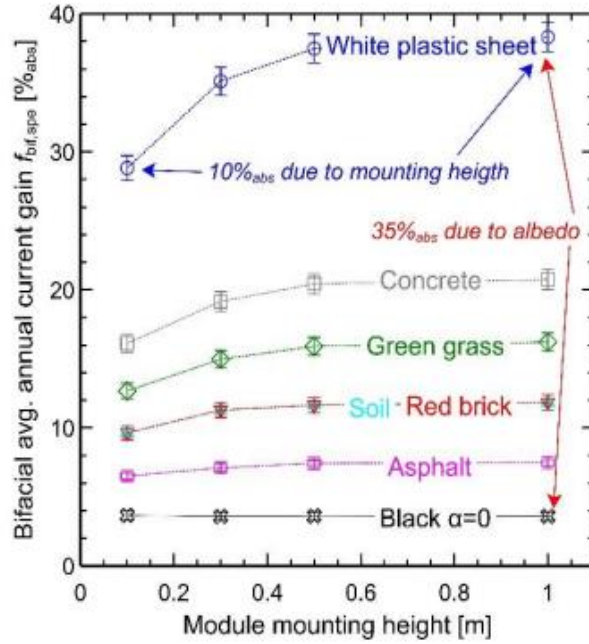
yönelimlerinde dikey olarak monte edilmiş çift yüzlü fotovoltaik modüllerin saha deneyleri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bölge için temel bir çalışma olduğu için önemli olduğu belirtilmiştir. Doğu-Batı yerleşiminde üretilen elektriğinin Kuzey-Güney yerleşiminde elde edilen enerjinin %105 ~ 170'i arasında olduğu bulunmuştur.

Chiodetti ve ark. (2015) büyük ölçekli bir tesisin tekno-ekonomik optimizasyonu farklı yerlerde ve farklı zemin şartları için gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, spesifik üretimin, tek yüzlü tesislere kıyasla çift yüzlü tesislerde %7,2 ile %14,2 arasında artabileceğini göstermektedir. Test edilen bazı durumlarda, çift yüzlü tesislerin modül maliyetlerinin 68 c€/Wp'ye ulaşması durumunda tek yüzlü tesislerden daha karlı hale gelmesinin beklendiği belirtilmiştir.



Şekil 2.8. Test edilen panellerin görünümü (Chiodetti ve ark. 2015)

Vogt ve ark. (2016) Almanya'da Çift yüzlü modüllerin performansına farklı yansıtıcı yüzey olarak asfalt, çıplak toprak, kırmızı tuğla, yeşil çimen, beton ve beyaz plastiklerde bakılmıştır. Çeşitli toprak yansıtıcıları ve montaj koşulları için tek yüzlü fotovoltaik modüllere karşı çift yüzlü fotovoltaik modüllerin yıllık ortalama enerji üretim kazancını simüle edilmiştir. Yıllık ortalama enerji üretiminde %10-35 arasında bir artış olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 2.9. Farklı albedo şartlarında ölçüm değerleri (Vogt ve ark. 2016)

Özden ve ark. (2017) Ankara'da çift yüzü PV modülünün yıllık performansını incelemişlerdir. Modül çok iyi performans göstererek 1750 kWh/kwp'lik bir üretim değerine ulaşarak iç Anadolu bölgesi için bu değer, beklenenin üzerinde olduğunu belirtmişlerdir. Sonuçlar, çift yüzü modüllerin şu anda fotovoltaik pazara hakim olan tek yüzü modüllerinin yerini alma potansiyeline sahip olduğunu gösterdiğini belirtmişlerdir.

Cha ve ark. (2018) Kore Konkuk Üniversitesi Çift yüzü fotovoltaik modülün arkasından üretilen enerji miktarını tahmin etmek için modelleme önermişlerdir. Arka taraftaki ışınım miktarını hesapladıktan sonra, tahmini güç üretimi, modülün arka tarafındaki gerçek güç çıkışı ile karşılaştırılmıştır. Deneyler, dört farklı yansıtıcılı ortam kullanılarak 30 derecelik eğim açısında yapılmıştır. Modelin teorik tahmini, ölçüm verilerinde maksimum %5 ve ortalama %1,86 hata ile uyum göstermiştir. Bu araştırmanın, geleceğin enerji olan bir mikro sistem ortamında güneş enerjisi uygularken yüksek performans oranına sahip çift yüzü PV modülüne dayalı sistemler tasarlayarak yenilebilir enerji yapılarına katkıda bulunacağını belirtilmiştir.



Şekil 2.10. Fotovoltaik paneller ve albedoları (Cha ve ark. 2018)

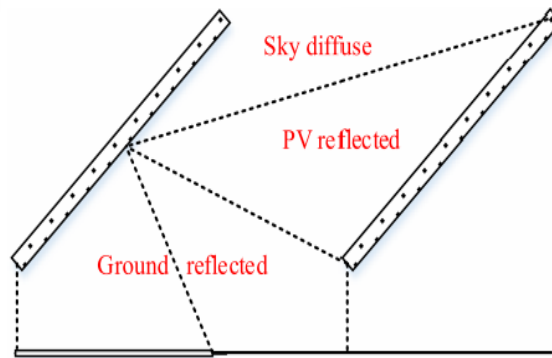
Dittmann ve ark. (2018) laboratuvar ortamında tek ve çift yüzü fotovoltaik panelleri incelemiştir. Çift yüzü ölçüm ve IEC60904-1-2 yaklaşımları karşılaştırıldığında düşük ışınımlarda %1 yüksek ışınımlarda ise %5 lik bir fark olabildiğini belirtmiştir.

Stein ve ark. (2017) Çift yüzü fotovoltaik modüllerden ve sistemlerden dış saha performansını incelemiştir. Eğim ve Azimut açılarının yanı sıra zemin yansıtıcısını değiştiren beş farklı konfigürasyona bölünmüş 16 çift yüzü ve 16 tek yüzü modülden oluşmuştur. 15 derece (Güney) beyaz çakıl – 15 derece (Batı) beyaz çakıl – 30 derece (Güney) Doğal – 90 derece (Güney) Doğal – 90 derece (Batı) Doğal olarak yerleştirilmiştir. Bu sistem, çift yüzü modüllerin bir seri dizide nasıl davrandığını öğrenmeyi amaçlamaktadır. Her dizi için enerji kazanç hesaplanmıştır. Artan eğim açıları sırasına göre, bu kazançlar sırasıyla %11.8, %12.3, %15.4 ve %19'dur. Sonuç olarak, çift yüzü modüller, geleneksel tasarlanmış sistemlerde tek yüzü modüllerden önemli ölçüde daha iyi performans göstermektedir. Albedo'yu geliştiren, arka taraftaki engelleri önleyen ve dizinin altındaki zemin gölgelemesini en aza indiren optimize edilmiş sistem tasarımlarıyla çift yüzü modüllerin ek performans avantajlarının mümkün olduğu belirtmiştir.



Şekil 2.11. Kurulan panel sisteminin görüntüsü (Stein ve ark. 2017)

Wang ve ark. (2019) Çin’de çift yüzlü PV modüllerinin arka taraf ışık dağılımları, görünüm faktörü modellerine göre incelenmiştir. Simülasyon ve deney sonucuna göre, çift yüzlü modüllerin farklı koşullar altında (çayır, çimento zemin, kar alanı,) mikro uyumsuzluk kayıpları analiz edilmiştir. Simülasyonda, PV sistemindeki çift yüzlü PV modülünün mikro uyumsuzluk kaybının %3’ten az olduğu ve bunun PV modüllerinin zeminini çevreleyen alana bağlı olduğunu belirtmiştir. 30 derece eğim açıyla çift yüzlü PV modüllerinin albedo kazançları çayır %10,50, çimento zemin %22,73, kar zemini %38,88 olarak ölçülmüştür.



Şekil 2.12. Fotovoltaik panellerin arka taraf ışık dağılımlarının gösterimi (Wang ve ark. 2019)

Singh ve ark. (2012) Singapur’un tropikal iklimlerinde çift yüzlü modül performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Çift yüzlü modüllerin tek yüzlü modüllerle karşılaştırıldığında %10’a yakın bir performans kazancını sağladığı belirtmişlerdir. Sistemin çatıyı değiştirmeden kolayca uygulanabileceğini belirtmişlerdir.

Castillo ve ark. (2016) çok değişkenli (yükseklik oranı, eğim açısı ve zemin albedo) çift yüzlü fotovoltaik modül test sonuçları ve en uygun yıllık çift yüzlü enerji verimi modelini incelemişlerdir. Bir tanesi New York ve altı tanesi Arizona’da olmak

üzere yedi tane çift yüzlü panelin test sonuçları; altı tanesi en az 1 yıl, New York'taki ise 2,5 yıl sürmüştür. Farklı yerlerdeki çift yüzlü PV modülleri birbiriyle karşılaştırılınca yıllık enerji üretim değerleri tek yüzlü ile karşılaştırıldığında %12,3 ile %30,0 arasında değişmektedir.



Şekil 2.13. Fotovoltaik panellerin ve albedolarının görünümü (Castillo ve ark. 2016)

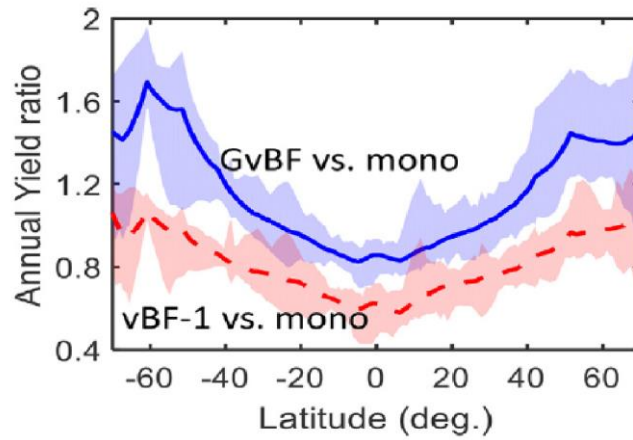
Sepeai ve ark. (2013) PC-1D simülasyon programı ile çift yüzlü fotovoltaik panelin tasarımı ve optimizasyonu yapılmıştır. Bu tasarımdan elde edilen verimler sırasıyla ön ve arka yüzeyler için %16,42 ve %14,18 olarak bulmuşlardır.

Sun ve ark. (2018) çift yüzlü güneş modüllerinin dünya çapında optimizasyonunu incelemişlerdir. 30 derece eğim açısıyla 0.25'lik düşük bir albedo ile, toprak montajlı çift yüzlü modüllerin kazancının dünya çapında %10'dan civarı olabileceğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte, albedo'yu 0,5'e yükseltmek ve modülleri yerden 1 m yükseltmek, çift yüzlü modüllerin kazancını %30'a kadar artıracaklarını belirtmişlerdir.

Appelbaum (2016) birden fazla sıra halinde koyulan ve sıralar arasında bir mesafe ile ayrılmış çift yüzlü fotovoltaik panellerden oluşan bir güneş alanındaki yıllık ışınımının hesaplanmasını sunmuşlardır. Yıllık ışınımın hesaplanması (a) güneye bakan optimum eğim (20°) açısına sahip çift yüzlü fotovoltaik paneller, (b) dikey olarak monte edilmiş ve doğu-batı yönüne bakan çift yüzlü fotovoltaik panelleri karşılaştırmıştır. Çalışma, optimum eğim açısına sahip çift yüzlü fotovoltaik panellerin, aynı çevresel koşullar için dikey çift yüzlü fotovoltaik panellerden %32 daha fazla enerji üretebileceğini göstermiştir.

Khan ve ark. (2019) Bangladeş'te dikey panellerin gri zemin üzerine yerleştirildiği bir güneş çiftliğinin çift yüzlü modüllerin kazancını hesaplamıştır. Geleneksel eğimli tek yüzlü tasarımla karşılaştırıldığında, çift yüzlünün kazancının (i)

20° enlemde küçüktür, (ii) 40° enlemde %50'ye yükselir ve (iii) 60° enlemde ise 2 katına çıkarılabileceğini belirtmişlerdir.



Şekil 2.14. Tek yüzü panel ve Çift yüzü panelin verileri (Khan ve ark. 2019)

Joge ve ark. (2003) Japonya'da bir binanın çatısına çift yüzü güneş sistemi kurmuşlardır. Fotovoltaik modüller, binanın çatısına tek yüzü panel güneye, çift yüzü panel ise doğu ve batıya bakacak şekilde dikey olarak monte etmiştir. Çift yüzü panel, güneye sabitlenmiş geleneksel tek yüzü panele eşdeğer elektrik gücü üretebileceğini gözlemlemiştir. Azimut açılarından bağımsız olarak herhangi bir binaya uygulanabileceğini belirtmiştir.

Eremkere ve ark. (2019) Fotovoltaik tasarımların teknik, ekonomik ve çevresel analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Araştırma sonucunda, modül açısı 20° ve azimut 0° kabul edilerek yıllık güneş enerjisi potansiyeli 1543 kWh/m² olarak belirlenmiştir. Tek kristalli silikon, çok kristalli silikon ve amorf silikon güç oranları sırası ile %85,15 - %84,39 - %80,40 ve yıllık elektrik üretimi 1219 kWh/yıl, 1280 kWh/yıl ve 1291 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Perdahlıyan ve ark. (2021) Edirne bölgesinde güneş potansiyelinin değerlendirilmesi, bir işletme binasında PV çatı sistemi tasarımları ve yatırım için ekonomik analizleri yapmıştır. Bina konumu ve panel eğim açıları aynı olacak şekilde, aynı kapasitede monokristal ve polikristal paneller karşılaştırdığında; monokristal panellerin polikristal panellere göre yıllık ortalama 100 kWh fazla üretim sağladığı sonucuna ulaşmaktadır. Azimut açısı 0° ve eğim açısı 30° olduğunda en fazla 111,6 MWh yıllık üretim olduğu hesaplanmıştır.

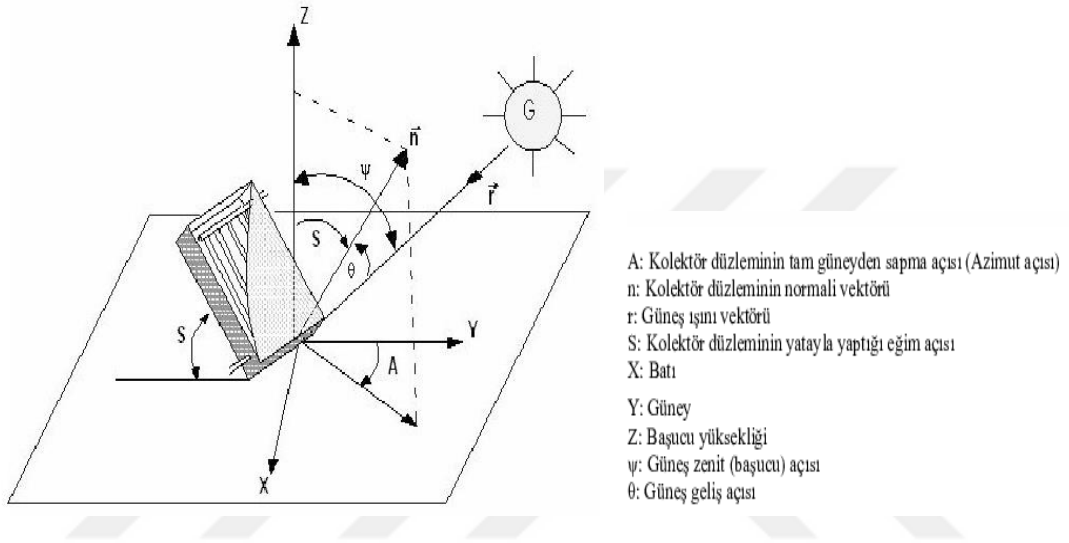
Kılıcı ve ark. (2019) Kayseri bölgesinde; sabit sistem ile tek yüzlü panel, mevsimsel olarak açısı değişebilen sistem ile tek yüzlü panel, tek eksenli güneş takip sistemi ile tek yüzlü panel, sabit sistem ile çift yüzlü panel ve tek eksenli hareketli sistem ile çift yüzlü panel olmak üzere 5 farklı fotovoltaik sisteminin tasarımları incelemiştir. PVsyst programıyla sistemlerin üretim analizlerini yapmışlardır. Hareketli ve çift yüzeyli panel ile yapılan sistem 2391.6 MWh enerji üreterek en yüksek enerji üretimine sahip olduğunu hesaplamışlardır.

Bu tez çalışmasında literatürde çift yüzlü ve tek yüzlü fotovoltaik panellerin karşılaştırılmaları araştırılmış, farklı zemin koşullarında ve farklı eğim açılarında yapılan araştırmalar incelenmiştir. Türkiye’de bu alanda az sayıda literatür çalışmaları olduğu için 35° eğim açısında beyaz zemin, toprak zemin, asfalt zemin ve tek yüzlü fotovoltaik panellerin Konya, Ankara, Antalya, İzmir ve Sivas bölgelerinde performans analizlerine bakılmıştır. Konya bölgesinin beyaz zeminde çift yüzlü fotovoltaik panel ve tek yüzlü fotovoltaik panelin maliyet analizi yapılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Güneş Geometrisi ve Fotovoltaik Panellerde Önemi

Güneş geometrisi, güneş ışınları ile yeryüzündeki çeşitli düzlemlerin yapmış olduğu açıları içerir. Bunlar; deklinasyon, saat, zenit, azimut, güneş yükseklik ve geliş açılarını içermektedir. Şekil 3.1’de güneş geometrisinin açıları gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Güneş geometrisi açıları

3.1.1. Deklinasyon Açısı (δ)

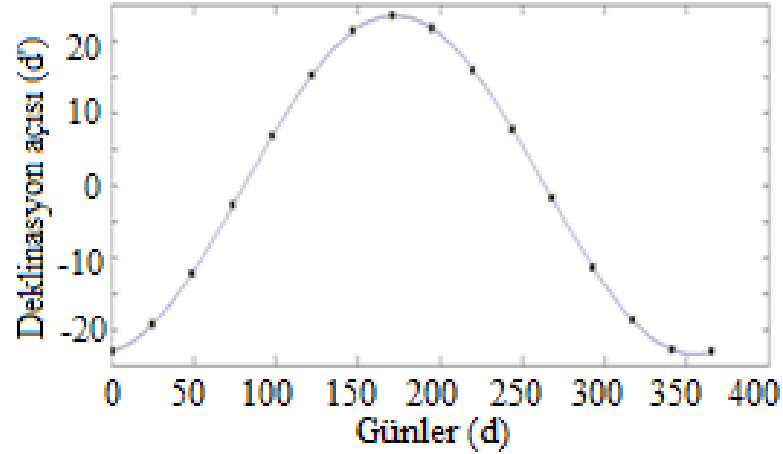
Deklinasyon, aylara ve mevsimlere göre güneş ışınlarının dünyaya geliş açılarıdır. Bu açının en büyük değeri, 21 Haziranda 23.45° ve en küçük değeri 21 Aralıkta -23.45° dir. Dünyanın kendi ve güneşin çevresinde dönüşü sırasında oluşan açıdır.

Deklinasyon açısının bir başka tanımı da güneş ışınlarının öğle vakti dik olarak alındığı bir bölge ile ekvator arasındaki enlem derecesi farkıdır. Aşağıdaki eşitlik (Cooper eşitliği) kullanılarak deklinasyon açısı (δ) hesaplanabilir: (Ceylan ve Gürel 2017)

$$\delta = 23.45 \sin \left(360 \frac{284+n}{365} \right) \quad (3.1)$$

Kullanılan eşitlikte n hesap yapılacak gün sayısıdır.

Şekil 3.2’de deklinasyon açısının yılın günlerine göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Deklinasyon açısının yılın günlerine göre değişimi

3.1.2. Saat Açısı (ω)

Öğleden önce negatif, öğleden sonra pozitif olmak üzere dünyanın kendi eksenini etrafında saatte 15° dönmesi dolayısıyla yerel meridyenin doğu veya batısı yönünde güneşin açısal yer değiştirmesi olarak ifade edilebilir. Güneş saat açısının hesaplanmasında yerel saat kullanılır. (Ceylan ve Gürel 2017)

3.1.3. Zenit Açısı (ψ)

Yatay yüzey ($\beta=0$) için güneş geliş açısıdır. Doğrudan güneş ışınımı ile yatay düzlemin normali arasındaki açıdır. Başka bir ifade ile bu açı, yatay yüzey için tanımlanan güneş geliş açısıdır. Zenit açısı güneşin hareketine göre 0° den 90° ye kadar değer alabilir. Güneşin doğuşu ya da batışında Zenit açısı yaklaşık olarak 90° iken, öğlen vakti 0° ye eşit veya çok yakındır. (Ceylan ve Gürel 2017)

3.1.4. Güneş Yükseklik Açısı (α)

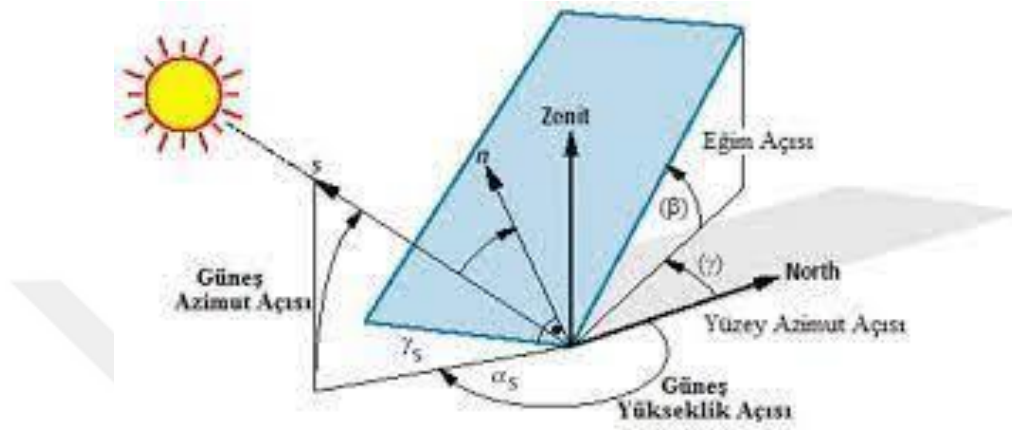
Doğrudan güneş ışını ile yatay düzlem arasındaki açıdır. (Ceylan ve Gürel 2017)

Güneş yükseklik açısı, yerel yatay düzlem ile güneşin herhangi bir anda bulunduğu noktaya doğru varsayılan çizgi arasındaki açı olarak tanımlanır.

Güneş yükseklik açısı, gündeğümü ve günbatımında sıfırdır. Öğle vaktinde ise bu açı yaklaşık olarak 90 derecedir.

3.1.5. Güneş Azimut Açısı (γ_s)

Herhangi bir bölgede ve zamanda güneşe doğru varsayılan doğrunun yatay düzlemdeki izdüşümü ile güney doğrultusu arasındaki açıdır (Şekil 3.3). Güneyden doğuya doğru (-), batıya doğru (+) kabul edilir. (Ceylan ve Gürel 2017)



Şekil 3.3. Azimut ve eğim açısı şematik gösterimi

3.1.6. Yüzey Azimut Açısı (γ)

Yüzeyin normalinin yatay düzlemdeki izdüşümü ile güney doğrultusu arasındaki açıdır. -180° ve $+180^\circ$ arasında değişebilir. Güneye bakan yüzeyler için 0° , batıya yönelen yüzey için negatif ve doğuya yönelen yüzey için pozitif değer alır.

3.1.7. Hava Kütlesi (HK)

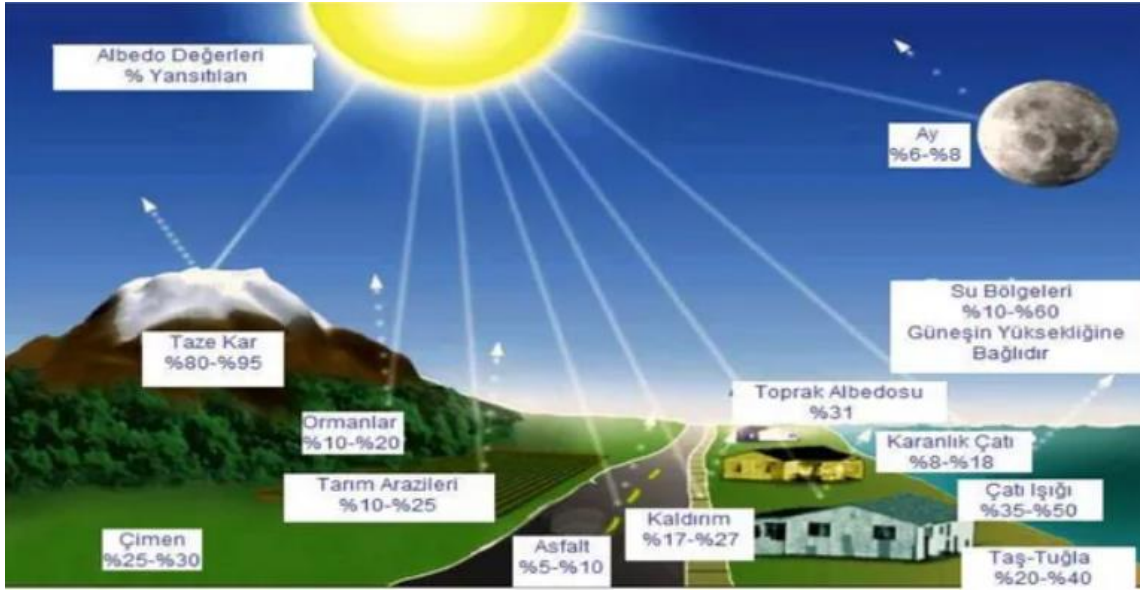
Işın radyasyonun geçtiği atmosfer kütlesinin, güneş tam tepede iken ışın radyasyonun içinden geçeceği atmosfer kütlesine oranıdır. Hava kütlesi (*air mass*) faktörü, güneş ışınlarının herhangi bir açıda atmosferdeki geçtikleri hava kütlesinin, güneşin dik olduğu durumda atmosferden geçtiği hava kütlesine oranıdır.

3.1.8. Geliş Açısı (θ)

Direkt güneş ışınımı ile yüzeyin normali arasındaki açı, güneş geliş açısı şeklinde ifade edilir. Eğik düzlemde doğrudan ışınımın geliş açısı, eğik düzlemin normali ile güneş ışınları arasındaki açıdır. (Ceylan ve Gürel 2017)

3.2. Albedo Etkisi

Bir yüzeyin üzerine düşen elektromanyetik enerjiyi yansıtma kapasitesi, yani yüzeyin yansıtma gücü, albedo olarak adlandırılır. Cisimlerin albedo oranları (Şekil 3.4) o cisimlerin yüzey alanına, dokusuna ve rengine bağlı olarak değişir. Beyaz görünen bir cisim, yüksek bir albedo oranına sahip olup ona çarpan ışığın çoğunu yansıtırken, koyu renkte görünen bir cismin, düşük bir albedo oranı olduğundan çarpan ışığın çoğunu emer.



Şekil 3.4. Yer yüzünde albedo oranının ölçümleri

Şekil 3.5'te yüksek albedo oranına sahip bir cismin yüzeyi, gelen ışınının %80'ini yansıtır. Düşük albedo oranına sahip bir cismin yüzeyi, gelen ışınının sadece %10'unu yansıtır.



Şekil 3.5. Beyaz yüzey ve siyah yüzey albedo oranları

Yansıyan enerji miktarı Dünya için ortalama 0.31'dir. Yani Dünya gelen ışınımın neredeyse üçte birini tekrar uzaya yansıtır. Ancak bu durum Dünya'nın her yeri için aynı değildir, özellikle kutuplarda veya kar ve buzun geleneksel olarak baskın olduğu yerlerde, yüzey değişiklikleri ile birlikte değişir. Ormanlar, okyanuslar, şehirler, çöllerin hepsi farklı albedo değerlerine sahiptir (Mamizadeh 2019).

Bazı yüzeylerin albedo değerleri:

Çizelge 3.1. Yüzeyler ve albedo değerleri

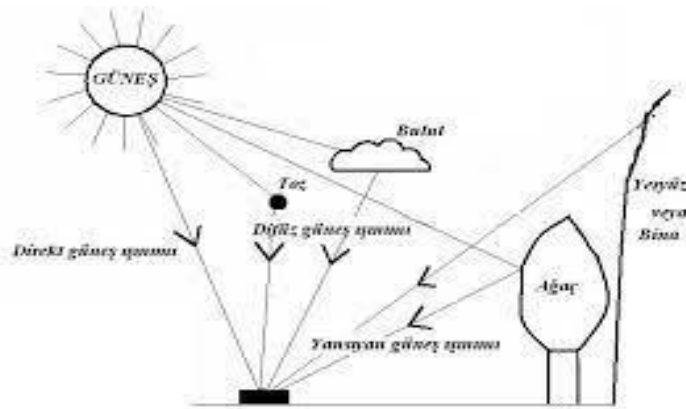
Yüzeyler	Albedo Değeri
Deniz (açıya göre değişken)	0,05-0,25
Karışık Orman	0,10
Şehir	0,15
Çayır	0,20
Çöl	0,30
Bulut	0,60-0,90
Temiz Kar	0,80-0,90

3.3. Güneş Işınımı Çeşitleri

Güneş ışınım çeşitleri şunlardır;

- Güneşten Direkt Gelen (Direkt ışınım)
- Güneş Dışında Her Yönden Gelen (Difüz, yayılı ışınım)
- Gökyüzü Toplamından Gelen (Global veya Toplam Işınım=Direkt+Yayılı)
- Yansıtılmış ışınım

Şekil 3.6'da ışınım çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Direkt, difüz ve yansıtılmış güneş ışınımını

3.3.1. Güneş Işınımı Ölçümleri

Güneş ışınım ölçümleri aşağıdaki durumlara bağlıdır;

- Gökyüzünün durumuna
- Kısa süreli zaman değişimine (dakika, saat)
- Uzun süreli zaman periyoduna (mevsim, yıl, on yıllara)
- Bulunulan noktaya göre değişim göstermektedir.

Güneş ışınımını ölçen cihazlar aşağıdaki biçimde sınıflandırılabilirler:

3.3.1.1. Piranometre

Toplam (direkt ve difüz) güneş ışınımını ölçmek için kullanılan cihazlardır (Şekil 3.7). Eğer bu cihazla difüz güneş ışınımı ölçülmek istenirse cihazın üzerine direkt güneş ışınımını engelleyecek metal bir bant takılarak ölçüm yapılabilir.



Şekil 3.7. Piranometre

3.3.1.2. Pirheliometre

Direkt güneş ışınımını ölçmek için kullanılan cihazdır (Şekil 3.8). Bu cihaz güneş izleyici sistem ile birlikte güneş ışınmasını sürekli dik alacak şekilde yerleştirilerek kullanılır.



Şekil 3.8. Pirheliometre

3.3.1.3. Piradyometre

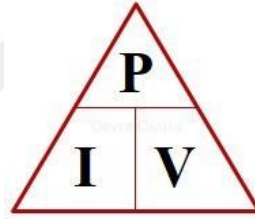
Direkt, difüz ve yansıtılmış güneş ışınımının bileşenlerinin tümünü ölçen cihazdır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Piradyometre

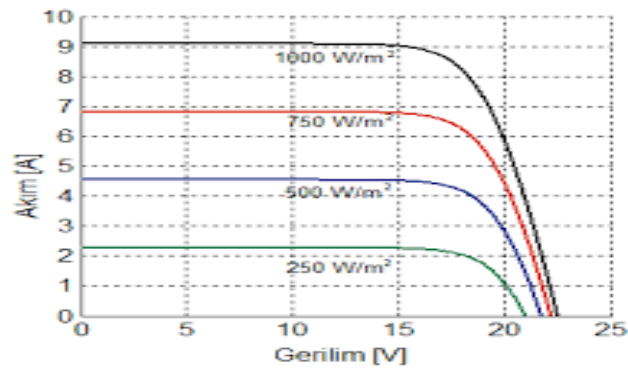
3.4. Fotovoltaik Panelin Voltaj ve Akım Ölçümleri

Voltaj ve akımın güç ile ilişkisi Ohm yasasının uzantısıdır. Şekil 3.10'da olduğu gibi güç denklemi sunulmuştur.



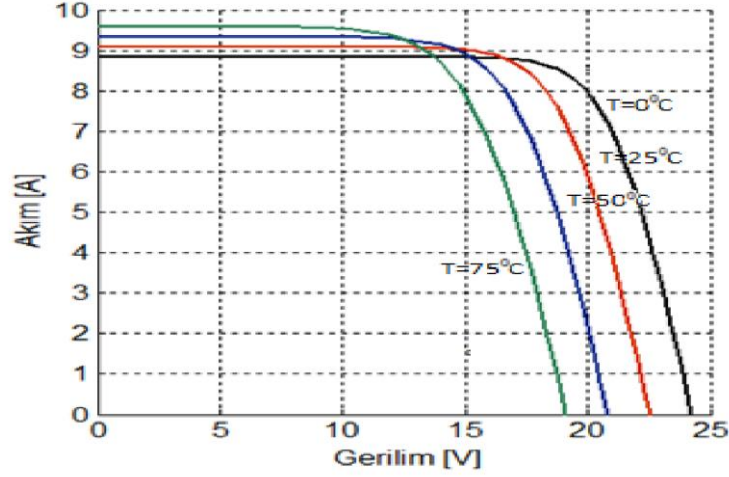
Şekil 3.10. Güç ile akım ve voltaj arasındaki ilişki

Fotovoltaik panelin üzerine düşen güneş ışınımına bağlı olarak voltaj ve akım değişimleri Şekil 3.11'de gösterilmiştir (Hikmet 2017).



Şekil 3.11. Güneş ışınımına bağlı olarak akım ve voltajın değişimi

Hücre sıcaklığının akım üzerinde etkisinin olmadığı ve her bir derece sıcaklık artışına bağlı olarak 1,5-2 mV'luk bir kayba uğradığı Şekil 3.12'den gösterilmektedir.



Şekil 3.12. Sıcaklığa bağlı olarak akım ve voltajın değişimi

3.4.1. Açık Devre Voltajı (V_{oc})

Bu değer basit bir multimetre ya da voltmetre ile ölçülebilmektedir. Panel hiçbir yüke bağlanmadan voltmetre ya da multimetre panele paralel bağlanarak ölçüm yapılabilmektedir.

3.4.2. Maksimum Güç Voltajı (V_{mp})

Modül maksimum güçte (standart test koşullarında) ölçülen değerdir. Modül maksimum güçte ve maksimum yükte olmalıdır. Bu değer modül sisteme bağlı olsa bile batarya yükleri ve diğer yükler değişkenlik gösterebileceğinden kolay bir şekilde ölçülemez. Standart test koşullarında her bir hücre genellikle 0.5 V üretir. Pratik olarak V_{mp} , hücre sayısına göre buradan hesap edilebilir. Maksimum güç voltajı en yüksek 39.8 voltur. (Ceylan ve Gürel 2017)

3.4.3. Nominal Voltaj (V_{nom})

Şebekeden ayrık sistemlerde kullanılan şarj regülatörü, MPPT (Maksimum Güç Noktası Takipçisi) cihazları gibi panelden gelen voltajın regüle edildikten sonraki durumudur. Birçok sistem 12-24 V_{nom} Voltaja sahip olup, 36-72 seri bağlı hücreden

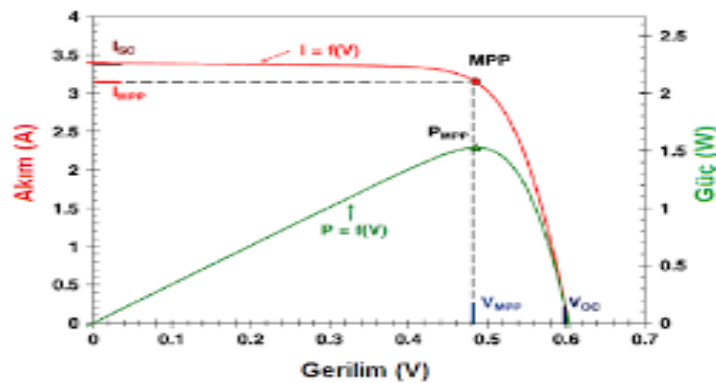
oluşmaktadır. 12 ya da 24 volt nominal çıkışlı paneller tercih edildiğinde batarya ya da akü gruplandırması paralel ve seri şekilde oluşturulabilmektedir. Nominal voltaj şarj regülatörünün batarya çıkışından ölçülebilir. Bunun için güneş modülünün yükte olması gerekir. Aksi halde yanlışlıkla batarya voltajı ölçümü yapılacaktır. 12 voltluk sistemlerde nominal voltaj 12-13 V_{nom} arasında değişmektedir. (Ceylan ve Gürel 2017)

3.4.4. Kısa Devre Akımı (I_{SC})

Kısa devre akımı modül herhangi bir yüke bağlanmadan bir voltmetre ya da multimetrenin modüle seri bağlanması sonucu ölçülür. Başka bir ifade ile modülün artı ve eksi uçları arasında multimetre seri bağlanarak uçlar birleştirilir. Kısa devre akımı en yüksek 5.8 A'dır. (Ceylan ve Gürel 2017)

3.4.5. Maksimum Güç Akımı (I_{mp})

Güneş modülü standart test şartlarında maksimum yükte çekilen akımdır. Panel etiketlerinden okunabilmektedir. Çevre şartlarında modül üzerinden ölçülemez. Bunun için test şartlarında elde edilen değerler kullanılır. Uygulamada bir modül üzerinden, açık devre voltajı (V_{oc}), kısa devre akımı (I_{sc}), değerleri okunur. Maksimum güç voltajı (V_{mp}) ve maksimum güç akımı (I_{mp}) modüllerin standart test koşullarında elde edilen değerler olduğundan panel etiketlerinden okunabilir. Teorik olarak ulaşılabilecek en üst limiti gösterir. Bu değerler arasındaki bağlantılar Şekil 3.13'de gösterilmiştir. (Ceylan ve Gürel 2017)



Şekil 3.13. Akım ve voltaj arasındaki ilişkinin grafiksel ifadesi

3.5. Fotovoltaik Panellerin Kapasite Hesaplamaları

Fotovoltaik panelleri evsel uygulamalarda şebekeden ayrı sistemler bazında kendilerine uygulama alanı bulurken, endüstriyel uygulamalarda çoğunlukla şebekeye paralel sistemler ile karşımıza çıkmaktadır.

Ülkemizde şebekeye paralel evsel uygulamaların kanuni düzenlemesi olmadığından, başka bir ifade ile çift yönlü sayaç kullanımı ile ilgili bir düzenleme olmadığından, bu uygulamalar genelde bataryalı olarak yapılmaktadır.

Bataryalı ayrı sistemlerin fotovoltaik panel sayısı ve yüzey alanı, şebekeye paralel sistemlerden farklılık göstermektedir. Bataryalı ayrı sistemlerde, fotovoltaik paneller hem gündüz saatlerinde ihtiyacı karşılamak hem de gündüzden gece kullanılacak enerjiyi depolamak zorundadır. Şebekeye paralel sistemler ise sadece gündüz kullanımı karşılamak için dizayn edilmektedir. Çünkü gece için bir depolama olmadığından, ihtiyaç şebekeden sağlanmaktadır.

Şebekeye paralel (on-grid) sistemlerin özellikleri:

Depolama gerektirmediğinden ilk yatırım maliyetleri düşüktür.

Depolama gerektirmediğinden akü bakım ve değişim masrafları yoktur.

Çift yönlü sayaç kullanılması kanuni düzenleme gerektirmektedir.

Yıllık üretilecek enerji tahmin edilebilmektedir.

Anlık üretilecek enerji tahmin edilememektedir.

Şebekeye verilen ve şebekeden alınan enerji maliyetleri değişkenlik gösterir.

Bu sistemlerin kullanımı dünyada genel olarak devlet desteğine ihtiyaç duymaktadır.

Fotovoltaik paneller ile elektrik üretim sistemleri oldukça sessiz çalışırlar.

Sistemler modülerdir ekleme ve çıkarma yapılabilmektedir.

Enerjinin tüketildiği yerde üretilebilme avantajı vardır.

Şebekeden ayrı (off-grid veya stand alone) sistemlerin özellikleri:

Sistem gece kullanımı için depolama gerektirdiğinden ilk yatırım masrafları yüksektir.

Akü bakım ve değişim masrafları vardır.

Ayrı kullanım için kanuni düzenlemeye ihtiyaç yoktur.

Akülerde elektrik enerjisinin kimyasal enerji olarak depolanması ve kullanılması verimli değildir.

Sistemler modülerdir. Ekleme ve çıkarma yapılabilmektedir.

Fotovoltaik paneller ile elektrik üretim sistemleri oldukça sessiz çalışırlar.

Dünyada genel olarak bu sistemlerin evlerde kullanılması devlet desteğine ihtiyaç duymaktadır.

Hava, kara ve deniz taşıtlarında kullanılan tüm sistemler ayrı sistemlerdir. Elektrik şebekenin getirilmesinin yüksek maliyetli olduğu ve altyapı gerektiren dağ evleri, çiftlikler gibi ortamlarda kullanılması uygundur.

3.5.1. Şebekeden Ayrık (off-grid) Sistemler İçin Kapasite Hesapları

Ayrık sistemler birbirine paralel olarak bağlanan fotovoltaik panellerden oluşmaktadır. Bu sistem aşağıdaki kısımlardan oluşmaktadır:

- Fotovoltaik panel,
- Şarj regülatörü,
- Derin deşarj batarya,
- Off-grid invertör.

Fotovoltaik panel adedinin belirlenmesi:

Sistemde kullanılacak fotovoltaik panel adedi aşağıdaki gibi belirlenir:

$$GPA_{OFF} = \frac{TGG}{GPG \times GS \times 0.85} \quad (3.2)$$

Bu denklemde GS: Güneşlenme Süresi (h), GPG: PV panellerin Gücü (W/adet), TGG: Toplam Gerekli Güç (Wh), 0.85: Fotovoltaik modüle ait verim katsayısı olarak gösterilmiştir.

3.5.1.1. GS: Güneşlenme Süresi (h)

Bölgenin Güneşlenme süresi sistem dizaynında en önemli kriterdir. Fotovoltaik panelin yüzey alanını belirleyen etken de bölgenin güneşlenme süresidir. Güneşlenme süreleri ülkemizde güney bölgesinden kuzeye doğru gittikçe azalmaktadır.

3.5.1.2. GPG: PV panellerin Gücü (W/adet)

Öncelikle kullanılacak PV panellerin tipi belirlenmelidir. Bunun için daha önce değinilen üç seçenek vardır. Çatı uygulamalarında polikristal ya da monokristal güneş panelleri tercih edilmektedir. Ülkemizde monokristal güneş panelleri üretilmektedir. Uzun dönemli yatırım için yüksek verimli ve dayanıklı bu tip paneller uygun tercih gibi

görülmektedir. Paneller nominal gerilim olarak 12/24/36/48 volt çıkışlı olarak seçilmektedir. Bu şekilde bir seçim, toplam gerekli güce göre (TGG) belirlenmektedir. Yüksek çıkış voltajlı PV panellerin tercihi, akımın düşmesini sağlayacağından kablo ve şarj regülatörü seçimlerinde maliyetin düşmesini de sağlayacaktır. (Ceylan ve Gürel 2017)

3.5.1.3. Toplam Gerekli Güç (TGG) (Wh)

Bir evin ya da bir cihazın çalışması için gerekli olan enerji ihtiyacıdır. Aşağıdaki eşitlikte olduğu gibi cihazın gücünün cihazın çalışma süresi ile çarpılması sonucu bulunur. Evsel kullanım için her bir cihazın gücü ve çalışma süreleri ayrı ayrı belirlenmelidir.

Evsel kullanım için temmuz ayı elektrik faturası, bir yıl gelen toplam faturanın ortalaması olduğundan bu aya ait elektrik faturası kullanılabilir. (Ceylan ve Gürel 2017)

$$TGG = CG \times C\Ç S \quad (3.3)$$

Bu denklemde CG: Cihazın ya da cihazların güçleri (W), CÇS: Cihazın ya da cihazların gün içerisindeki çalışma süresi (h) olarak gösterilmiştir.

3.5.1.4. Batarya ya da Aküler:

Aküler üretilen elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depolarlar. Jet akülerin dışındaki diğer aküler, depoladıkları enerjinin ancak %60'nın kullanımına izin verirler. Fotovoltaik panellerde kullanılmak üzere üretilen derin deşarj jel aküler depoladıkları enerjinin %80'inin kullanımına izin vermektedirler.

Bir fotovoltaik sistemde kullanılacak toplam batarya gücü (TBG) aşağıdaki eşitliklerden bulunabilir;

$$TBG = GPG \times GPA \times GS \times 1.20 \times 2 \quad (3.4)$$

$$TBA = \frac{TBG}{V_{bat} \times I_{bat}} \quad (3.5)$$

Buradaki TBG ; Toplam batarya gücü (Wh/gün) ve 1.20 ; Derin deşarj bataryaların tam dolu halde %80'i kullanılabilir. Bu 1.20 yüzden %20'lik bu kayıp, "1.20" ile çarpılarak hesaba eklenir. 2 ; Eşitliğin en son tarafındaki 2 sabiti, akülerin yarısından daha fazlasının boşaltılmaması için eklenmektedir. Bu yolla akü ömrünün uzatılması hedeflenmektedir. TBA ; Toplam batarya adedi, V_{bat} ; Batarya voltajı (genellikle 12 Volttur), I_{bat} ; Kullanılacak tek bir bataryanın akımı olarak gösterilmiştir.

3.5.1.5. İnvvertörler (Eviriciler):

Panellerin üretmiş olduğu DC elektrik enerjisini evlerde kullanılan AC enerjiye (220V-50 Hz) çeviren aygıtlardır. Şebekeden ayrık sistemler için "off-grid invertörler", şebekeye paralel sistemler için ise "on-grid invertörler" tercih edilmelidir. On-grid veya off-grid sistemler için invertörlerin seçiminde dikkat edilecek en önemli nokta; invertör gücünün, sistemde aynı anda çalışan tüm cihazların güçlerinin toplamından daha fazla olacak şekilde seçim işleminin gerçekleştirilmesidir. Piyasada kullanılan invertörler genel olarak %95 kapasitede çalışmaktadır.

İnvvertör seçimi için bir başka yaklaşım da şu şekildedir:

İnvvertör kapasitesi aynı anda çalışan cihazların toplam güçlerinin (CG) 0.7 katından büyük, 1.2 katından küçük olmalıdır (Gülsever 2020).

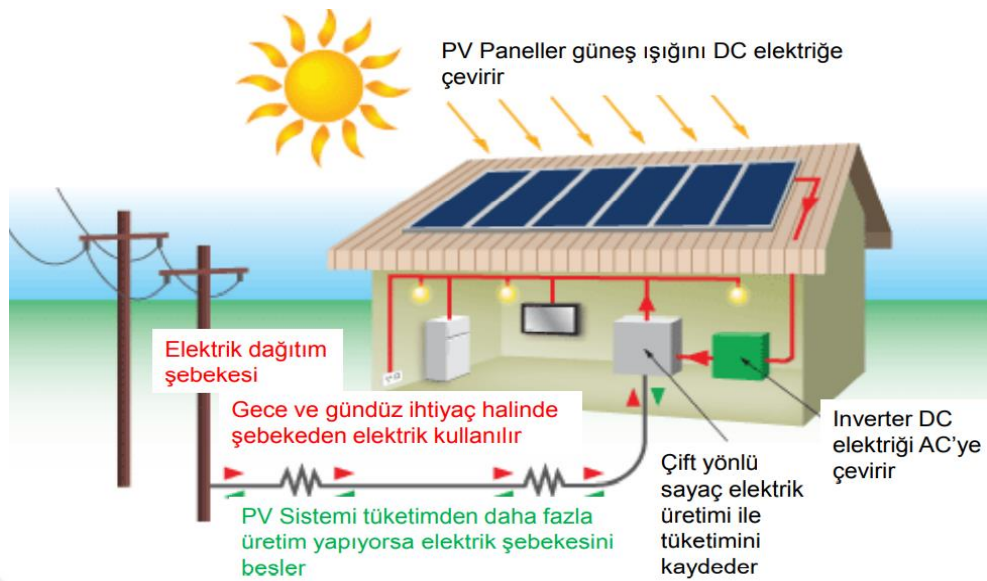
$$0.7 \times CG < P_{inv} < 1.2 \times CG \quad (3.6)$$

3.5.2. Şebekeye Paralel (on-grid) Sistemler İçin Kapasite Hesapları

Şebekeye paralel sistemlerde (Şekil 3.14) fotovoltaik paneller 3 farklı dizilimde olabilmektedir. Bu dizilimler kullanılacak invertörün konumuna göre; merkezi invertörlü, dizi invertörlü ve modül invertörlü olarak sıralanabilir. Dolayısı ile panelleri birbirleri arasında seri ya da paralel bağlayarak invertör için uygun gerilimler sağlanmalıdır.

Şebekeye paralel sistemler 3 ana kısımdan oluşmaktadır.

1. Fotovoltaik panel
2. On-grid invertör
3. Çift yönlü sayaç



Şekil 3.14. Şebekeye bağlı sistemler

Fotovoltaik panelin adedinin belirlenmesi:

$$GPA_{ON} = \frac{CG}{GPG \times 0.85} \quad (3.7)$$

Eşitlikte; CG : Cihaz ya da cihazların güçleri toplamı (W), GPG : Seçilen PV panellerin gücü (W), 0.85 : Dış ortamda tozlanma, kablolama kayıpları ve zamanla oluşacak optik kayıplardır. (Ceylan ve Gürel 2017)

3.5.2.1. Fotovoltaik Panellerin Optimum Eğim Açısının Hesaplanması

Fotovoltaik panellerin düz ya da eğik bir zemine (çatıya vb.) ve bina duvarlarına yerleştirilmesi çeşitli şekillerde yapılabilmektedir. Paneller optimum eğim açısında hazırlanmış olan kaideye birbirlerini gölgelemeyecek şekilde yerleştirilebilirler. Fotovoltaik panel montajında her panel dizisi kendi eğim açısında ve arka dizideki PV panelleri gölgelemeyecek şekilde yerleştirilirler. Çatı üzerinde gömülü ya da örtülü uygulamalarda yağmur suyunun düzgün akışı sağlanmalıdır. Çatı üstü uygulamalarda PV paneller zeminden en az 30 cm yukarı kaldırılarak montaj yapılmalıdır. Bu şekilde PV paneller zeminde birikecek kar ve yağmur suyundan korunmuş olacaktır.

3.5.2.2. Optimum Panel Eğim Açısı ve Gölgeleme

Optimum panel eğim açısı ile ilgili birbirinden farklı birçok yaklaşım bulunmaktadır. Burada birçok yaklaşım irdelenerek kullanılabilen iki pratik yaklaşımdan bahsedilmiştir (Ajder, 2011).

1. Öneri:

Türkiye dünyanın kuzey yarım küresinde yer alır. Ilıman iklim kuşağında olan bölgelerde maksimum enerji tüketimi yaz mevsiminde gerçekleşir. Dolayısı ile panel açılarının da bu aylarda maksimum güneş ışınımını alacak şekilde dizayn etmek uygun olmaktadır. Bu da ülkemiz için mayıs, haziran ve temmuz ayları için hesaplamalar yapmayı gerekli kılacaktır. Evsel tüketimde maksimum enerji tüketiminin klimalar nedeniyle yaz mevsiminde olacağı düşünülerek bu yaklaşım önerilmiştir.

$$\beta_{opt} = \text{Bölgenin enlemi} - 23.6^\circ \quad (3.8)$$

2. Öneri:

Panellerin yerleştirileceği bölgenin enleminin 0.69 katının 3.7 fazlası optimum panel eğim açısı olarak kullanılabilir. İlk öneride olduğu gibi şayet en yüksek tüketiminiz yaz mevsiminde bahsi geçen üç ayda değil de bütün bir yıla dağılmışsa ya da panellerden üretilen enerji şebekeye verilecek ise bu yaklaşım önerilmektedir.

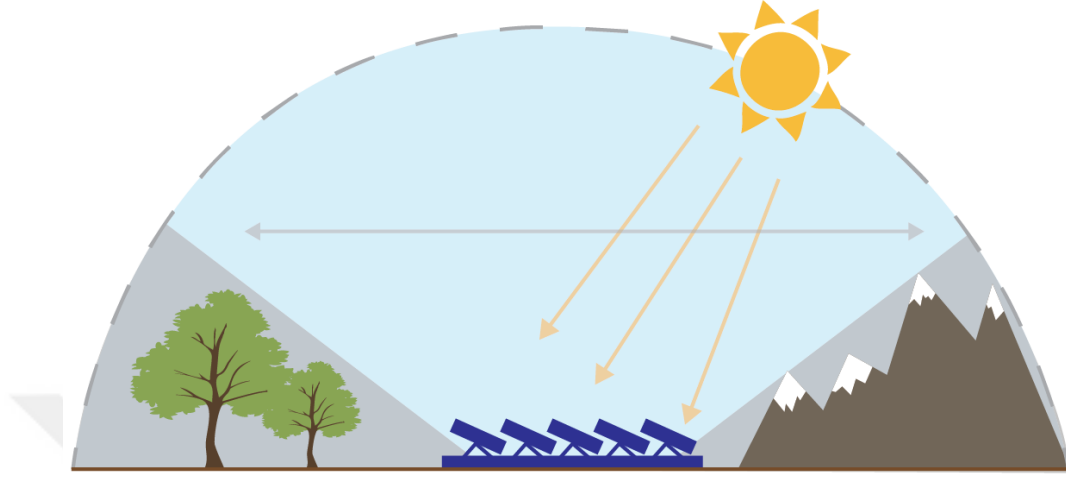
$$\beta_{opt} = 3.7 + \phi \times 0.69 \quad (3.9)$$

Yatay düzleme konulan bir fotovoltaik panelin optimum eğim açısı belirlendikten sonra seçilen PV panelin boyuna göre gölge boyu, bir başka ifade ile PV paneller arası mesafe belirlenmelidir. Güneş yükseklik açısının en düşük olduğu zaman 21 Aralıktır. 21 Aralıkta güneş yükseklik açısı en küçük ve gölge boyu ise en uzun olur.

PV paneller arası mesafe ya da olabilecek en uzun gölge boyu (Şekil 3.15) aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$L = a \times \left[\frac{\sin(\beta_{opt})}{\tan(23)} + \cos(\beta_{opt}) \right] \quad (3.10)$$

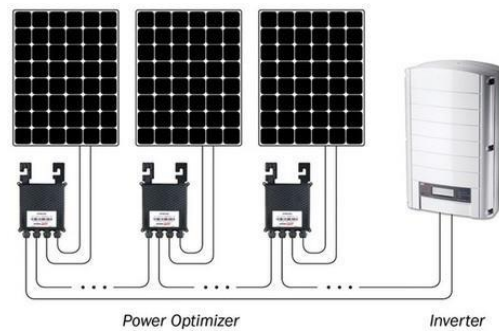
Eşitlikte; L : PV paneller arası mesafe ya da olabilecek en uzun gölge boyu (m), a : Kullanılacak PV panel boyu (m), β_{opt} : Optimum PV panel eğim açısıdır ($^{\circ}$) olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Güneş ışınlarının gölgeleme olmadan gelmesi

3.6. Power Optimizer (Güç İyileştirici)

Dizi invertörlerde bilindiği üzere belirli adette PV panel birbirlerine seri olarak bağlanır ve sonrasında invertöre takılır. Bu seri grubun içerisinde herhangi bir solar panel bozulursa veya gölgelenmeye maruz kalırsa, seri olarak bağlı olduğu için tüm solar paneller negatif olarak etkilenecek ve üretim ciddi oranda düşecektir. Optimizerli invertörde (Şekil 3.16) ise her bir PV panelin arkasına optimizer takılır ve böylelikle her PV panel birbirinden bağımsız hale gelir. Panelde yine seri bağlantı olacak ama herhangi bir gölge durumunda diğer paneller kendi güçlerini maksimum olarak verebileceklerdir (Chen 2012).



Şekil 3.16. Power optimizer ve Invertör'a bağlı durumu

Dizi invertörde hesaplanan adetteki PV panelleri direkt olarak birbirine seri olarak bağlanmaktadır. Optimizerli invertörde (Şekil 3.17) ise küçük optimizerler PV panellerin altına (genel olarak çatıya sabitlenen profile) monte edilir. Basit bir kurulumuna sahiptir ve çok fazla zaman almaz. Özellikle gölgeden kaçamayacağımız çatılarda (baca, klima dış ünitesi gibi) optimizerli invertör iyi bir seçenek olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 3.17. Çatıda PV panellerin arkasına sabitlenen optimizer

3.7. Zemin Yansımalarının Hesaplanması

Zemin yansımaları, gölgeli alandan yansımaya ve gölgesiz alan yansımalarının toplamı ile hesaplanmaktadır. Gölgelememiş alandaki ışımaya, küresel yatay ışımaya (KYI) ile gösterilmiştir. Gölgelemiş alandaki ışımaya ise dağılık yatay ışımaya (DYI) ile gösterilmiştir ve aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$G_1 = \frac{\rho_g * DYI * A_1}{A_n} F_1 + \frac{\rho_g * KYI * A_2}{A_n} F_2 \quad (3.11)$$

ρ_g , zeminin yansıtıcılığı, A_1 zeminin gölgeli alanı, A_2 zeminin gölgelememiş alanı, A_n modellenen PV'nin alanı, F_1 zeminin gölgeli alanından modülün arka yüzeyine kadar olan görüş faktörü; F_2 zeminin gölgelememiş alanından modülün arka yüzeyine kadar olan görüş faktörüdür.

$$G_2 = DYI * \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (3.12)$$

Burada β , PV modülünün kurulum eğimidir. Arka sıradaki PV modüllerinin yansıtıcılığı, PV modüllerinin düşük yansıtma özelliğinden dolayı küçük bir katkı sağlamaktadır.

$$G_3 = \frac{\rho_m * G_m * A_m}{A_n} F_3 \quad (3.13)$$

Burada A_m , arka PV modülünün alanı; ρ_m arka PV modüllerinin yansıtıcılığı, G_m PV modülünün düzlemindeki gelen ışınım, F_3 arka PV modülünden modülün arka yüzeyine kadar olan görüş faktörüdür. Bu nedenle, Çift yüzlü PV modüllerinin arka yüzeyi tarafından alınan toplam ışınım aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir: (Wang ve ark. 2019).

$$G_{\text{rear}} = G_1 + G_2 + G_3 \quad (3.14)$$

Performans Oranı (PR), sistemin sürekli olarak IEC EN 61724 normunda tanımlanan nominal STC verimliliğinde çalışması durumunda üreteceği enerjiye göre etkin olarak üretilen enerjinin oranıdır. Sistemlerde mevcut enerji kayıplar sonrası sisteme aktarılan enerji (KŞAE) olarak tanımlanır. STC koşullarında potansiyel olarak üretilen enerji, gerçekten de $KŞAE * KG$ çarpımına eşittir, burada KG, STC kurulu gücüdür. Bu nedenle şebekeye bağlı bir sistem için PO aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

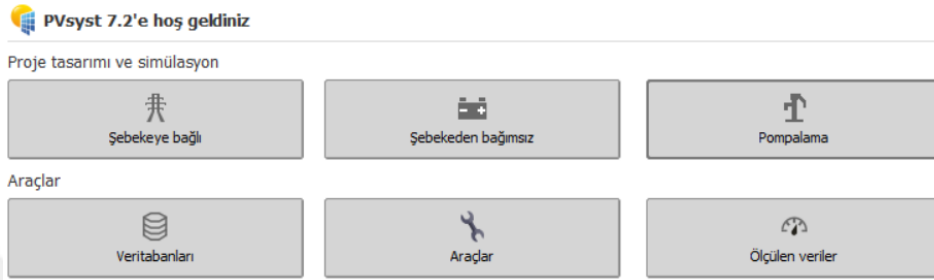
$$PO = KŞAE / (KYI * KG) \quad (3.15)$$

Çift yüzlü PV Sistemleri için, PV modüllerinin arka tarafından çift yüzlü katkı bir kazanç haline gelecek, bu da PO'yu artıracaktır. Revize edilmiş IEC 61724 -1 standardı, çift yüzlü Performans Oranı kavramını tanıtmaktadır. Temel fikir, PV modüllerinin arka tarafındaki ek ışınım katkısının küresel olay ışınımına eklenmesidir. PVsyst'te, çift yüzlü PO'yu hesaplamak için, arka taraf ışınması AYEI - YGF olarak tahmin edilir; burada AYEI, PV modüllerinin arka tarafındaki etkin ışımadır ve YGF, 'Yapı gölgeleme faktörü' tarafından indüklenen kayıplardır.

$$PO_{\text{bf}} = PO / (1 + (AYEI - YGF)/(KYI)) \quad (3.16)$$

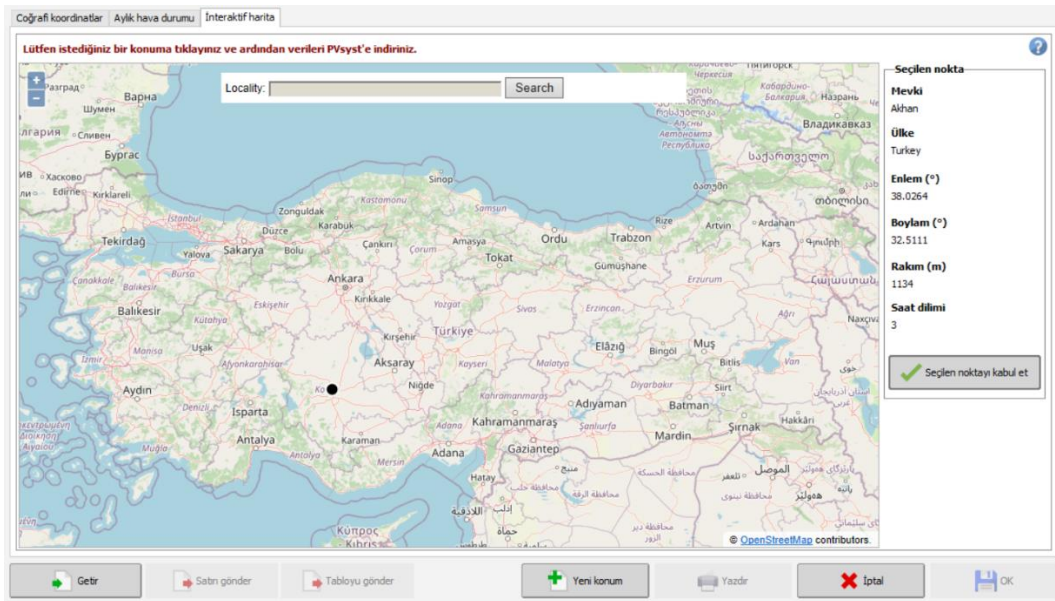
3.8. PVsyst Programında Modelleme

Bu bölümde tez çalışmasında kullanılan PVsyst programının arayüzü ve kullanım şekli kısaca anlatılmıştır. PVsyst programına ana ekranı Şekil 3.18'deki verilmiştir. Şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız ve pompalama seçeneklerinden değerlendirilmek istenen seçilir ve proje tasarım simülasyonuna başlanabilir.



Şekil 3.18. PVsyst programına giriş

PVsyst programında konum belirlemek için Şekil 3.19'da gösterildiği gibi Türkiye haritasında seçilen bölgelerin coğrafi koordinatları girilerek veya haritadan seçerek o bölgelerin, interaktif haritadan aylık ve yıllık hava durumu ve iklim koşulları bilgilerine ulaşılabilir.



Şekil 3.19. PVsyst programında konum haritası

Tez çalışmasında değerlendirilen ve haritada (Şekil 3.20) gösterilen bölgelerin enlem ve boylamları şunlardır;

Konya bölgesinin enlem ve boylamları $38^{\circ} - 32^{\circ}$,

Ankara bölgesinin enlem ve boylamları $40^{\circ} - 31^{\circ}$,

Antalya bölgesinin enlem ve boylamları $36^{\circ} - 30^{\circ}$,

İzmir bölgesinin enlem ve boylamları $38^{\circ} - 27^{\circ}$

Sivas bölgesinin enlem ve boylamları $39^{\circ} - 36^{\circ}$ alınmıştır.



Şekil 3.20 Projede yer alan bölgeler

Proje ayarları kısmından projenin değerlendirileceği aylarda albedo oranı seçilebilir veya farklı albedo değerleri de girilebilir (Şekil 3.21). Proje mevsimsel olarak gerçekleştirilecekse veya belirli aylarda yapılacaksa albedo değerleri kısmından ayarlanmaktadır.

Albedo değerleri

Aylık değerler				Ortak bir değer seçiniz	
Oca.	0.80	Tem.	0.80	Ortak değer	0.20
Şub.	0.80	Ağu.	0.80	(Varsayılan Albedo = 0.2)	
Mar.	0.80	Eyl.	0.80	<input checked="" type="checkbox"/> Tanımla	
Nis.	0.80	Eki.	0.80	Copy from .MET file	
May.	0.80	Kas.	0.80	Copy monthly values	
Haz.	0.80	Ara.	0.80	<input checked="" type="checkbox"/> Kopyala	

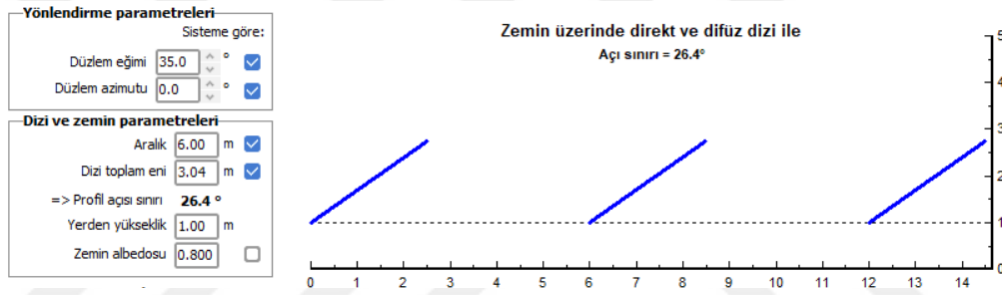
Şekil 3.21. Albedo oranının aylara göre değerleri

Fotovoltaik panelleri montaj edilecekleri, düz çatı, cephe veya eğimli çatı vb. özelliğini seçerek kurulum koşulları ayarlanabilir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Fotovoltaik panellerin yerleştirileceği zemin özellikleri

Yönlendirme kısmından Şekil 3.23'te olduğu gibi sınırsız dizi modeli seçildikten sonra azimut açısı 0° , eğim açısı 35° , yerden yüksekliği 1 metre, PV paneller arası uzaklık 6 metre ve albedo oranı kontrol ettikten sonra kaydedilip sistem özelliklerine geçilebilir.



Şekil 3.23. Sınırsız dizi modeli

Sistem özelliklerinden Şekil 3.24'te gösterildiği gibi planlanan güç ve modül yüzey alanına göre sistem ayarlanırken seçilecek PV panel ve invertörün markası, modeli, optimizer ve MPPT gibi ayarları şekil gibi seçilmektedir. Fotovoltaik panelin tipi monokristal veya polikristal seçilebilir. Bu çalışmada fotovoltaik panel olarak GTC Solar Turkey markasının çift yüzlü fotovoltaik panellerde GG1H-300 Bifacial PERC 60 cells - Double Glass modeli seçilirken tek yüzlü fotovoltaik panellerde GG1H-300 Mono PERC 60 cells - Double Glass modeli seçilip karşılaştırma yapılmıştır.

The screenshot displays the PVsyst software interface for configuring a photovoltaic system. The main window is titled 'Alt alan' (Alt area) and contains several sections:

- Alt dizinin ismi ve yönü:** Name: PV alanı, Azimut: 0°, Eğim: 35°.
- Ön boyutlandırma yardımı:** Planlanan güç giriniz: 54.6 kWp, Boyutlandır: 300 m².
- PV modül seçimi:** Mevcut: GTC Solar Turkey, 300 Wp 27V, Si-mono, GG1H-300 Bifacial PERC 60 ce. 2018 yılından beri. Çift yüzü modül seçimi aktif.
- İnvertör seçimi:** Mevcut: Huawei Technologies, 100 kW, 600 - 1450 V TL, 50/60 Hz, SUN2000-100KTL-H1, 2020 yılından beri. Çıkış gerilimi: 800 V Tri 50Hz. MPPT giriş sayısı: 3. Çalışma gerilimi: 600-1450 V. Kullanılan invertör gücü: 50.0 kWac. Multi-MPPT kullanımı aktif.
- Dizi boyutlandırması:** Modül ve zincir sayısı: Seri mod. sayısı: 30, Zincir sayısı: 6. İşletme koşulları: Vmpp (60°C): 850 V, Vmpp (20°C): 1002 V, Voc (-10°C): 1320 V. Yüzeş ışınım: 1000 W/m². İmp (STC): 55.5 A, Isc (STC): 58.5 A. Alan nominal gücü (STC): 54.0 kWp.
- Alt alanlar listesi:** A table listing PV areas with columns for Name, #Mod, #İnv., and #Zincir. It shows two entries: GTC Solar Turkey - GG1H-300 ... (30 modules, 6 inverters) and Huawei Technologies - SUN2000 ... (1 module, 3 inverters).
- Global sistem özeti:** Summary of system parameters: Modül sayısı: 180, Modül yüzeyi: 297 m², İnvertör sayısı: 0.5, PV nominal gücü: 54.0 kWp, Maksimum PV gücü: 54.5 kWDC, Nominal AC gücü: 50.0 kWAC, Nom. güç oranı: 1.080.

Şekil 3.24. Sistem özellikleri

Yukarıda ele aldığımız fotovoltaik panellerin boyu 1662 mm, eni 992 mm, kalınlığı 5 mm, ağırlığı 19,80 kg ve modül yüzeyi 1,649 m² olarak verilmiştir. Seçeceğimiz fotovoltaik modülün boyutları ve hücre özellikleri Şekil 3.25'teki gibi gösterilmektedir.

Modül		Hücre	
Boy	1662 mm	Seri	60
En	992 mm	Paralel	1
Kalınlık	5.0 mm	Hücre yüzeyi	243.0 cm ²
Ağırlık	19.80 kg	Toplam hücre sayısı	60
Modül yüzeyi	1.649 m ²	Hücre yüzeyi	1.458 m ²

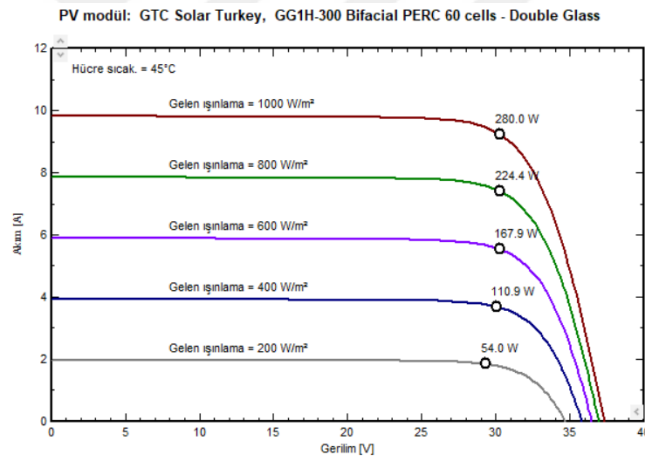
Şekil 3.25. Fotovoltaik modülün boyutları ve hücre özellikleri

PVsyst programında seçilen PV panelin teknik özellikleri, iç model sonuçları ve ana parametre değerlerine ulaşılmaktadır (Şekil 3.26).

Üretici teknik özellikleri veya diğer ölçümler				Model özeti	
Referans koşulları	Gref	1000 W/m ²	TRef	25 °C	Ana parametreler
Kısa devre akımı	Isc	9,750 A	Açık devre Voc	39,80 V	Rparal.
Maks güç noktası	Imp	9,460 A	Vmpp	31,72 V	550 Ω
Sıcaklık katsayısı	muIsc	3,9 mA/°C	Hücre sayısı	60 seri	Rsh (G = 0)
	veya muIsc	0,040 %/°C			2000 Ω
					R seri model
					0,25 Ω
					R seri maks.
					0,29 Ω
					Görünür R seri
					0,41 Ω
					Model parametreleri
					Gama
					1,002
					IoRef
					0,06 nA
					muVoc
					-122 mV/°C
					muPMax sabit
					-0,38 /°C

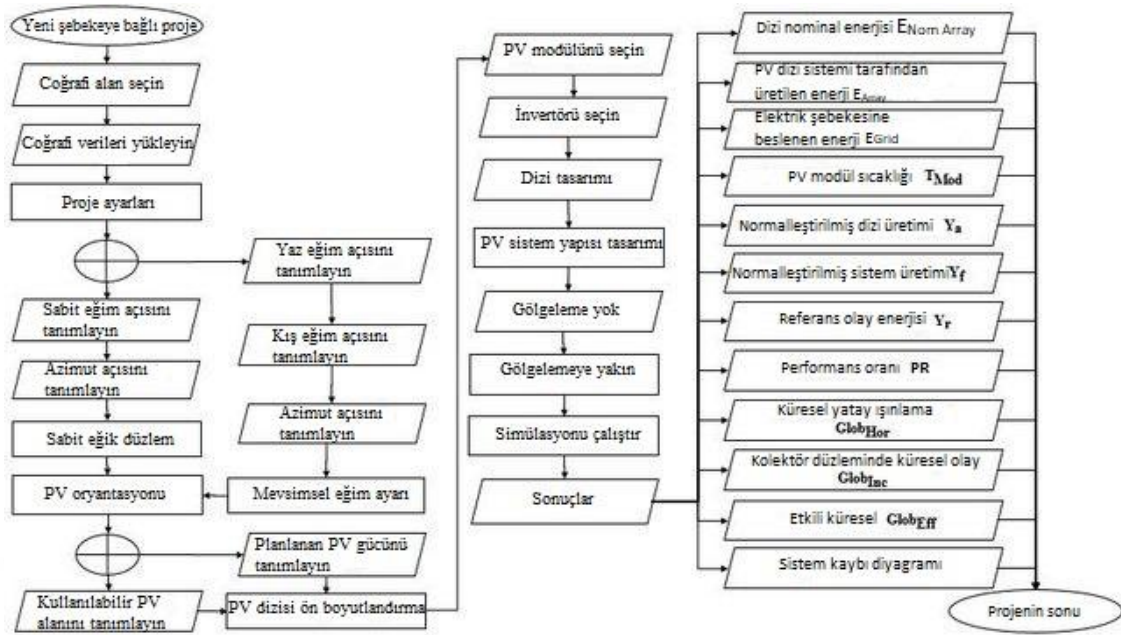
Şekil 3.26. PVsyst programında seçilen PV panelin teknik özellikleri

İnvertör olarak Huawei Technologies markasının SUN2000-100KTL-H1 modeli seçilebilir. Tez çalışmasında seçilen fotovoltaik panelin akım-gerilim değişimi Şekil 3.27'deki gibi gösterilmektedir. Gösterildiği gibi ışınım arttıkça gerilim az bir miktar artmakta ancak akım oldukça fazla yükselmektedir.



Şekil 3.27. İnvertör akım gerilim grafiği

Şebekeye bağlı sistemlerin akış şemasının Şekil 3.28'de verilmiştir. Bu şemada başlangıçtan sonuçlara bir PVsyst projesinin tüm adımları verilmiştir. Şebekeye bağlı sistem projesi seçildikten sonra coğrafi konum seçilerek coğrafi verilerin yüklenmesi beklenmektedir. Proje ayarları kısmından sabit eğik düzlem veya sınırsız dizi gibi PV panellerin kurulumu belirlenir. PV dizilerin modül, invertör, dizi tasarımı ve gölgeleme ayarları yapıldıktan sonra simülasyonumuzu başlatılır. Sonuçlar kısmından dizi nominal enerjisi, PV dizi sistemi tarafından üretilen enerji, elektrik şebekesine beslenen enerji, performans oranı, kolektör düzleminde küresel olay ve sistem kayıp diyagramı gibi sonuçlara ulaşılabilir.



Şekil 3.28. Şebekeye bağlı sistemlerin akış şeması

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışma PVsyst programıyla Konya, Ankara, Antalya, İzmir ve Sivas bölgelerinde; farklı albedo ve zemin koşullarında çift yüzlü fotovoltaik panellerle tek yüzlü fotovoltaik panellerin performansları karşılaştırılmıştır. PVsyst programındaki fotovoltaik panellerin yönlendirme parametreleri; azimut açısı 0° , eğim açısı 35° , yerden yüksekliği 1 metre, dizi sayısı 5 ve diziler (paneller) arası uzaklık 6 metre olarak alınmıştır. Fotovoltaik panellin tipi monokristal seçilirken modül sayısı 180 olarak bulunmuştur. Fotovoltaik panel olarak GTC Solar Turkey markanın çift yüzlü fotovoltaik panellerde GG1H-300 Bifacial PERC 60 cells - Double Glass modeli seçilirken tek yüzlü fotovoltaik panellerde GG1H-300 Mono PERC 60 cells - Double Glass modeli seçilmiştir. Fotovoltaik panellerin boyu 1662 mm, eni 992 mm, kalınlığı 5 mm, ağırlığı 19,80 kg ve modül yüzeyi $1,649 \text{ m}^2$ olarak verilmiştir. İnvvertör olarak Huawei Technologies markasının SUN2000-100KTL-H1 modeli seçilmiştir. Albedo oranları beyaz zemin için %80, kum zemin için %30 ve asfalt zemin için %10 alınmıştır.

4.1. PVsyst ile yapılan Performans Analizleri

4.1.1. Konya Bölgesinin Performans Analizi

Yapılan analizlerde Konya Bölgesi için küresel yatay ışınım ve yatay difüz ışınım değerlerinin aylara göre değişimi Çizelge 4.1'de verilmiştir. Farklı koşullarının incelendiği aynı bölge için tüm analizlerde iklim koşulları ve ışınım değerleri aynı kabul edilmiştir. Yıllık toplam ışınım değeri $1754,7 \text{ kWh/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer $594,3 \text{ kWh/m}^2$ ise yatay difüz ışınımı olduğu anlaşılmaktadır. Atmosfer tarafından üretilen dünya dışı ışınımın zayıflaması burada gerekli olacak temiz kuru atmosfer sayısının bir göstergesi olan Linke bulanıklık (Chabane ve ark. 2021) faktörü de hesaplanmış ve Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Konya bölgesi aylık güneş ışınım ve hava durumu tablosu

Aylar	Küresel yatay ışınım (kWh/m ²)	Yatay difüz Işınım (kWh/ m ²)	Sıcaklık °C	Rüzgar hızı (m/s)	Linke bulanıklığı [-]	Bağıl nem (%)
Ocak	69,2	28,60	-0,20	3,0	2,62	80,6
Şubat	87,3	36,6	1,80	3,39	2,93	74,3
Mart	131,0	47,8	6,80	3,80	3,41	60,3
Nisan	166,1	69,8	11,10	3,69	3,91	54,3
Mayıs	210,6	73,7	16,20	3,50	3,55	52,3
Haziran	223,3	62,9	20,70	4,10	3,17	44,3
Temmuz	229,2	68,0	24,70	4,60	3,13	35,2
Ağustos	208,4	56,8	24,40	4,40	3,09	35,1
Eylül	169,6	47,5	19,30	3,60	2,92	41,5
Ekim	119,2	41,3	13,40	3,21	2,99	56,1
Kasım	78,4	31,0	6,60	2,70	2,74	68,7
Aralık	62,4	30,30	1,50	2,69	2,60	80,3
Toplam	1754,7	594,3	12,20	3,60	3,09	56,9

Konya bölgesi için beyaz, kum, asfalt zemin koşullarında çift yüzlü PV panellerin ve aynı koşullardaki tek yüzlü PV panellerin; Kolektöre yansıyan ışınımını, şebekeye aktarılan enerjileri ve performans oranları hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Her zemin koşulu için değerler Çizelge 4.2 ve 4.3'te verilmiştir. Tek yüzlü PV paneller için kolektöre yansıyan ışınımın (KYI) yatay ışınımdan eğimli düzleme aktarılması sonucu 1969 kWh/m² iken çift yüzlü PV panellerin asfalt zemin şartında 1984,9 kWh/m², kum zemin şartında 2016,6 kWh/m² ve beyaz zemin şartında 2095,9 kWh/m² olarak bulunmuştur. Uzak ve lineer gölgelemeler, yansıma etkisi kayıpları gibi optik kayıplardan etkilenen kolektöre yansıyan ışınımın tek yüzlü PV için 1897,9 kWh/m², çift yüzlü PV paneller için asfalt zemin koşulunda 1904,2 kWh/m², kum zemin koşulunda 1916,7 kWh/m² ve beyaz zemin koşulunda 1948,1 kWh/m² bulunmaktadır. Işınım değerlerinin zeminin albedo oranına oldukça bağlı olduğu gösterilmektedir. Mevsimsel olarak yaz aylarında kolektöre yansıyan küresel ışınım değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Performans oranların ise yıllık ortalamalarına bakıldığında beyaz zemin hariç diğerlerinin 0,9'un altında olduğu görülmüştür.

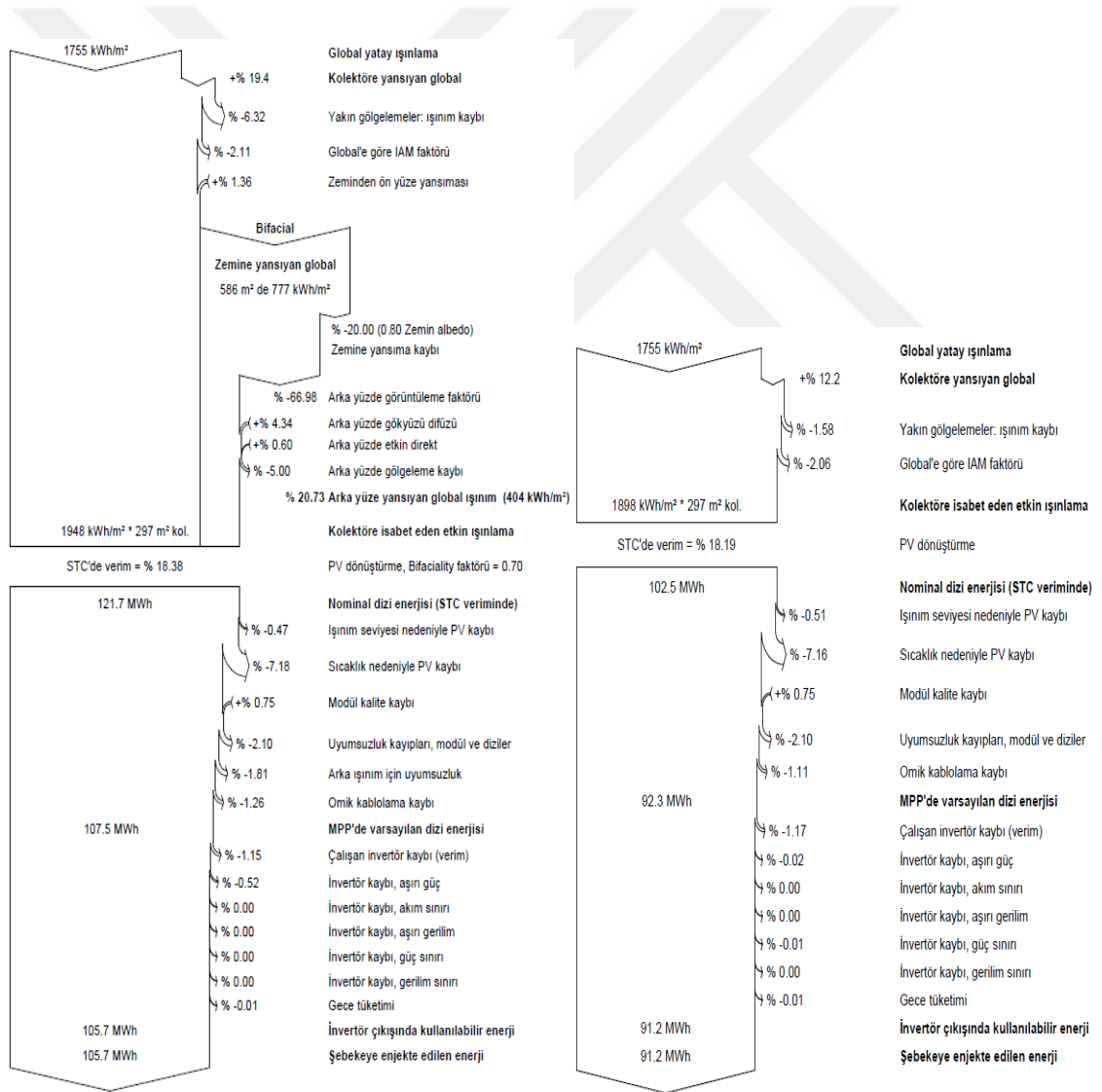
Çizelge 4.2. Konya bölgesinde asfalt zeminde çift yözlü PV paneller ve tek yözlü PV paneller için elde edilen aylık değerler

Aylar	Asfalt Zeminde Çift Yözlü PV Paneller					Tek yözlü PV Paneller				
	KYI	KKYI	ŞAE	KŞAE	PO	KYI	KKYI	ŞAE	KŞAE	PO
	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh		kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	
Ocak	111,9	106,9	5,72	5,648	0,935	111,2	106,7	5,579	5,508	0,917
Şubat	124,2	119,6	6,34	6,268	0,935	123,4	119,3	6,159	6,088	0,914
Mart	162,4	157,1	8,061	7,964	0,908	161,2	156,6	7,808	7,714	0,886
Nisan	176,4	168,9	8,626	8,526	0,895	174,9	168,3	8,317	8,221	0,87
Mayıs	198,3	189,8	9,509	9,397	0,878	196,4	188,9	9,122	9,013	0,85
Haziran	198,2	189,7	9,327	9,22	0,862	196,1	188,7	8,905	8,799	0,831
Temmuz	207,8	198,6	9,58	9,469	0,844	205,7	197,7	9,156	9,047	0,814
Ağustos	213,6	205,7	9,764	9,647	0,836	211,7	204,9	9,432	9,318	0,815
Eylül	200,6	193,9	9,364	9,257	0,854	199,1	193,3	9,084	8,981	0,835
Ekim	164,8	159,9	7,992	7,898	0,887	163,8	159,5	7,766	7,674	0,868
Kasım	124,4	118,8	6,129	6,057	0,902	123,7	118,5	5,978	5,908	0,885
Aralık	102,2	95,6	5,115	5,052	0,915	101,7	95,4	4,987	4,926	0,897
Toplam	1984,9	1904,2	95,527	94,404	0,881	1969	1897,9	92,294	91,197	0,858

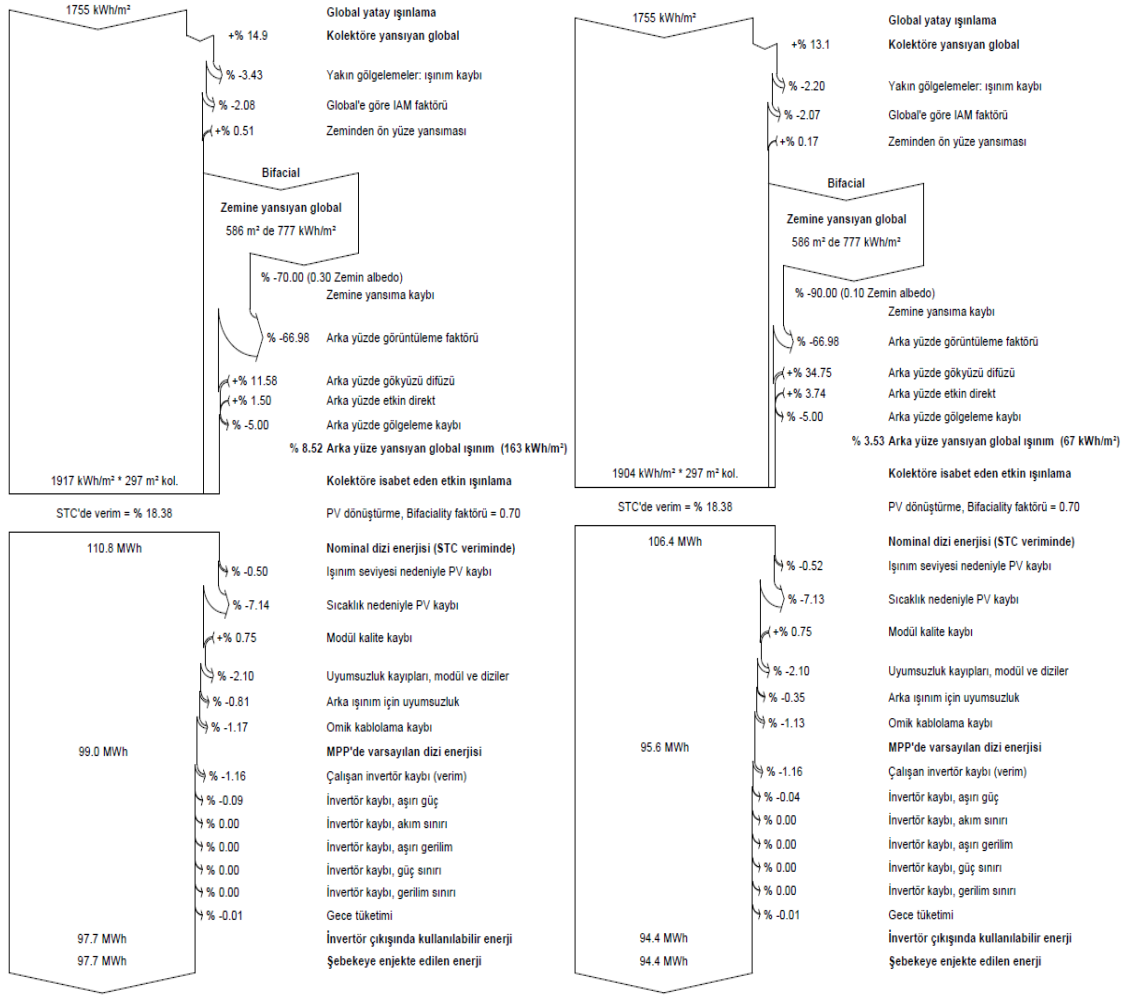
Çizelge 4.3. Konya bölgesindeki Çift yözlü PV paneller için beyaz ve kum zeminde elde edilen aylık değerler

Aylar	Beyaz Zeminde Çift Yözlü PV Paneller					Kum Zeminde Çift Yözlü PV Paneller				
	KYI	KKYI	ŞAE	KŞAE	PO	KYI	KKYI	ŞAE	KŞAE	PO
	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh		kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	
Ocak	116,2	108,2	6,05	5,98	0,952	113,1	107,2	5,82	5,74	0,94
Şubat	129,7	121,4	6,88	6,8	0,97	125,8	120,1	6,5	6,42	0,946
Mart	170,7	160,1	8,87	8,77	0,951	164,7	157,9	8,31	8,21	0,922
Nisan	187	173,1	9,71	9,6	0,951	179,4	170,1	8,95	8,85	0,913
Mayıs	211,6	195,6	11,03	10,9	0,954	202,1	191,4	9,96	9,84	0,902
Haziran	212,3	196,1	11,04	10,92	0,952	202,2	191,5	9,83	9,72	0,89
Temmuz	222,3	205,1	11,27	11,14	0,928	211,9	200,5	10,07	9,96	0,87
Ağustos	226,8	211,1	11,1	10,97	0,895	217,4	207,2	10,16	10,03	0,855
Eylül	211,4	197,9	10,35	10,23	0,897	203,7	195	9,66	9,55	0,868
Ekim	172,4	162,5	8,71	8,6	0,924	167	160,6	8,21	8,11	0,899
Kasım	129,4	120,3	6,52	6,44	0,922	125,8	119,2	6,24	6,17	0,908
Aralık	106,2	96,7	5,39	5,33	0,93	103,4	95,9	5,19	5,13	0,919
Toplam	2095,9	1948,1	106,93	105,69	0,934	2016,6	1916,7	98,89	97,73	0,897

PVsyst simülasyonunda Konya bölgesinde Beyaz zemine kurulan çift yüzü PV paneller ve tek yüzü PV panellerin Kayıp Diyagramı Şekil 4.1'te, Asfalt zemin ve Kum zemindeki çift yüzü PV paneldeki Kayıplar Diyagramı ise Şekil 4.2'te gösterilmiştir. Tüm sistemlerde için yıllık toplam ışınım değeri 1755 kWh/m^2 dir. Beyaz zeminin albedo oranı %80 alınmış ve zemine yansıyan küresel ışınım 586 m^2 de 777 kWh/m^2 olarak gösterilmiştir. Dizinin çıkışında etkin enerji değerleri karşılaştırıldığında beyaz zeminde çift yüzü PV paneller için $106,93 \text{ MWh}$ iken tek yüzü PV panellerde $92,294 \text{ MWh}$ olarak bulunmuştur. Kayıplar çıkarıldığında şebekeye aktarılan enerjileri beyaz zemin için $105,7 \text{ MWh}$ olurken tek yüzü PV panellerde $91,2 \text{ MWh}$ olduğunu gösterilmiştir. Diğer tüm kayıplar içerisinde yaklaşık %7 PV sıcaklık nedeniyle PV kaybı değeri dikkat çekmektedir.



Şekil 4.1. Beyaz zemin (solda) üzerine kurulan Çift yüzü ve Tek yüzü (sağ) PV panellerin Kayıp Diyagramları

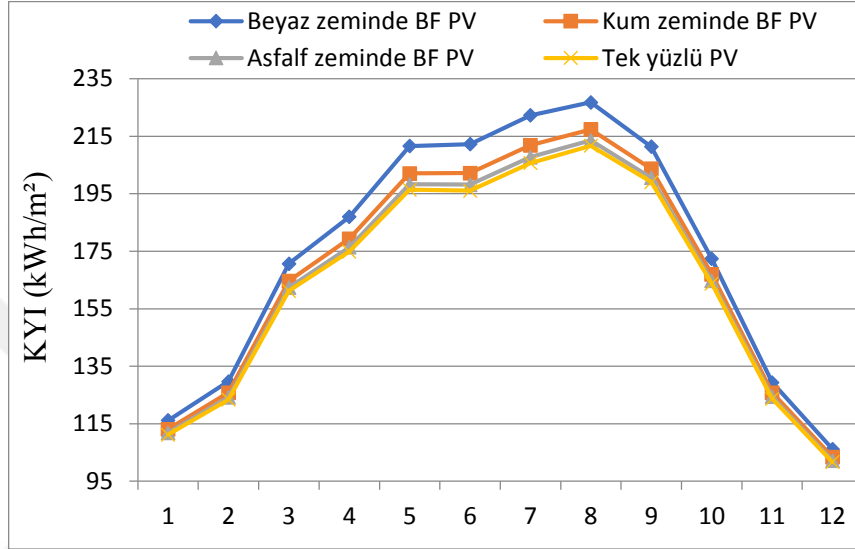


Şekil 4.2. Kum zeminde Çift yüzlü (solda) ve Asfalt zeminde Çift yüzlü (sağda) PV panellerin Kayıp Diyagramları

Kum zeminin albedo değerinin %30 ve asfalt zeminin albedo değerinin %10 olduğu Şekil 4.2'de görülmektedir. Albedo oranı aynı zamanda toplam küresel ışınımın kum ve asfalt zeminde 777 kWh/m² değerinin ne kadarının PV panellerin arka yüzeyi tarafından kullanılabilirdiğini gösteren bir değerdir. Yıllık şebekeye aktarılan enerji değerleri kum zeminde 98,89 MWh iken asfalt zeminde 95,52 MWh olarak bulunmuştur. Tüm kayıplar çıkarıldığında şebekeye aktarılan enerjileri kum zemin için yıllık 97,7 MWh olurken asfalt zeminde 94,4 MWh olarak bulunmuştur.

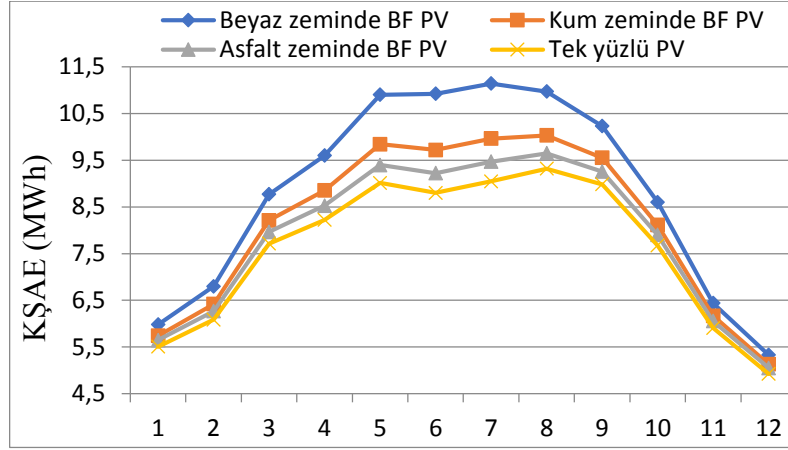
Şekil 4.3'de Konya bölgesi için farklı zemin koşullarında (beyaz, kum, asfalt) çift yüzlü PV paneller ve tek yüzlü PV için küresel ışınım değerlerinin aylara göre değişimi verilmiştir. Işınım değerleri kış aylarında düşükken yaz aylarında artmaktadır. En fazla ışınım oluşan aylardan olan ağustos ayında çift yüzlü PV panellerde beyaz zeminde 226,8 kWh/m² ışınım değeri, kum zeminde 217,4 kWh/m² ışınım değeri, asfalt zeminde 213,6

kWh/m^2 ve tek yüzölçü PV panellerde $211,7 \text{ kWh/m}^2$ ışınım değeri hesaplanmıştır. Ağustos ayında beyaz zeminde çift yüzölçü PV paneller, tek yüzölçü PV panellere göre kolektöre yansıyan ışınım değeri %7,1 daha yüksek olduğu görülmüştür. Farklı zemin koşullarının PV panellerin arka yüzeylerinde oluşan ışınım etkisinin oldukça yüksek olduğu gösterilmektedir. Tek yüzölçü PV panelin üzerinde gelen ışınım ise yatay düzleme gelen ışınımın 35° açığa dönüştürülmesi ile hesaplanmaktadır.



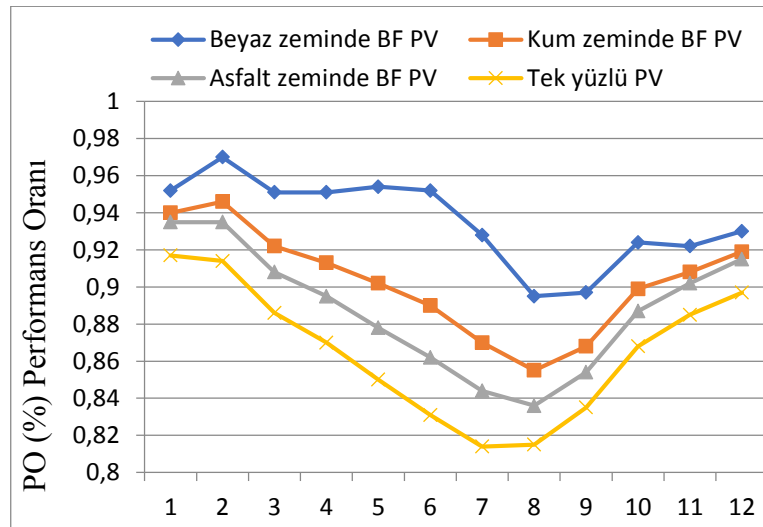
Şekil 4.3. Konya bölgesinde kolektöre yansıyan aylık ışınım

Konya bölgesi için farklı zemin koşullarında çift yüzölçü ve tek yüzölçü PV panellerin kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerji değerlerinin aylara göre değişimi Şekil 4.4'de verilmiştir. Analizlerde ışınımın en yüksek olduğu aylardan olan beyaz zemine kurulu çift yüzölçü PV panellerin tek yüzölçü PV panellere göre temmuz ayında kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerji değeri %23,1 daha fazla olduğu gösterilmiştir. Yıllık kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerji çift yüzölçü PV panellerde beyaz zeminde $105,69 \text{ MWh}$ iken tek yüzölçü PV panelde $91,197 \text{ MWh}$ 'tir. Beyaz zeminde kurulu çift yüzölçü PV sistemin tek yüzölçü PV sistemlere göre kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerji değerleri karşılaştırdığında %15,9 daha fazla olduğu bulunmuştur. Kum ve asfalt yüzeylere kurulan çift yüzölçü PV panellerin de enerji üretim değerinin tek yüzölçü PV panellere göre daha fazla olduğu ancak beyaz zemine göre oldukça düşük olduğu da önemli bulgular arasındadır.



Şekil 4.4. Konya bölgesinde farklı PV paneller ve yüzey koşulları için aylara göre kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerji

Konya bölgesinde farklı zemin koşullarına kurulan çift yüzlü PV panellerin ve tek yüzlü PV panellerin aylara göre performans oranları (PO) değerlerinin Şekil 4.5’de verilmiştir. Yıllık ortalama değerlere göre çift yüzlü PV panellerin PO değeri beyaz zemin için 0,934, kum zemin için 0,897, asfalt zemin için 0,881 olarak bulunmuştur. Tek yüzlü PV paneller için PO değeri ise 0,858 hesaplanmıştır. Temmuz ayında beyaz zemine kurulu çift yüzlü PV panellerin performans oranı 0,928 iken tek yüzlü PV panellerin performans oranı 0,814 ile karşılaştığında çift yüzlü PV panellerin performans oranı %14 daha fazla çıkmıştır. Beyaz zeminde çift yüzlü ve tek yüzlü PV paneller arasındaki en fazla fark ise haziran ayında çıkmıştır. Beyaz zemine kurulu çift yüzlü PV ve tek yüzlü PV panellerin yıllık performansları incelendiğinde beyaz zemindeki çift yüzlü PV panelin PO değerinin %8,8 daha fazla olduğu gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Konya bölgesinde çift yüzlü ve tek yüzlü PV paneller için PO değerleri

4.1.2. Ankara Bölgesinin Performans Analizi

Yapılan analizlerde Ankara Bölgesi için küresel yatay ışınım ve yatay difüz ışınım değerlerinin aylara göre değişimi Çizelge 4.4'de verilmiştir. Bölgedeki tüm analizler için iklim koşulları ve ışınım değerleri aynı kabul edilmiştir. Yıllık toplam ışınım değeri 1642,1 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Bu değer 597,9 kWh/m² ise yatay difüz ışınımı olduğu anlaşılmaktadır. Yıllık toplam ışınım değeri Konya bölgesinde düşük iken yatay difüz ışınımı Konya bölgesinde fazla çıkmıştır.

Çizelge 4.4. Ankara bölgesi aylık güneş ışınım ve hava durumu tablosu

Aylar	Küresel yatay ışınım (kWh/m ²)	Yatay difüz Işınım (kWh/ m ²)	Sıcaklık °C	Rüzgar hızı (m/s)	Linke bulanıklığı [-]	Bağıl nem (%)
Ocak	62,5	28	0,4	1,79	2,672	82
Şubat	82	39,5	2,3	1,99	2,945	74,8
Mart	123,2	47,2	6,6	2,3	3,495	66,7
Nisan	155,3	67,8	11,1	2,4	3,959	61,3
Mayıs	193,8	73,2	16,2	2,3	3,552	59,7
Haziran	209,3	77,2	20,2	2,5	3,202	56,3
Temmuz	222,6	60,5	24,4	2,7	3,137	46,3
Ağustos	203	60,4	24,4	2,59	3,085	45,8
Eylül	156,7	48,9	18,9	2,1	2,973	53,1
Ekim	107	43	12,9	1,79	2,987	66,4
Kasım	71,7	28,3	6,8	1,5	2,738	73,6
Aralık	55	23,9	1,9	1,59	2,664	82,1
Toplam	1642,1	597,9	12,2	2,1	3,118	64

Ankara bölgesi için beyaz, kum, asfalt zemin koşullarında çift yüzlü PV panellerin ve aynı koşullardaki tek yüzlü PV panellerin; kolektöre yansıyan ışınimleri, şebekeye aktarılan enerjileri ve performans oranları hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Her zemin koşulu için değerler Çizelge 4.5 ve 4.6'da verilmiştir. Tek yüzlü PV paneller için kolektöre yansıyan ışınım (KYI) yatay ışınımdan eğik düzleme aktarılması sonucu 1866,1 kWh/m² iken çift yüzlü PV panellerin asfalt zeminde 1880,9 kWh/m², kum

zeminde 1910,6 kWh/m² ve beyaz zeminde 1984,8 kWh/m² olarak bulunmuştur. Uzak ve lineer gölgelemeler, yansıma etkisi kayıpları gibi optik kayıplardan etkilenen kolektöre yansıyan ışınımın tek yüzlü PV için 1792,9 kWh/m², çift yüzlü PV paneller için asfalt zeminde 1798,8 kWh/m², kum zeminde 1810,4 kWh/m² ve beyaz zeminde 1839,6 kWh/m² bulunmaktadır. Yaz aylarında çift yüzlü fotovoltaik panellerin beyaz zemin koşulunda kolektöre yansıyan küresel ışınım değerlerinin Konya bölgesinden düşük olduğu görülmüştür. Performans oranlarının ise yıllık ortalamalarına bakıldığında Konya bölgesine yakın değerler bulunmuştur.

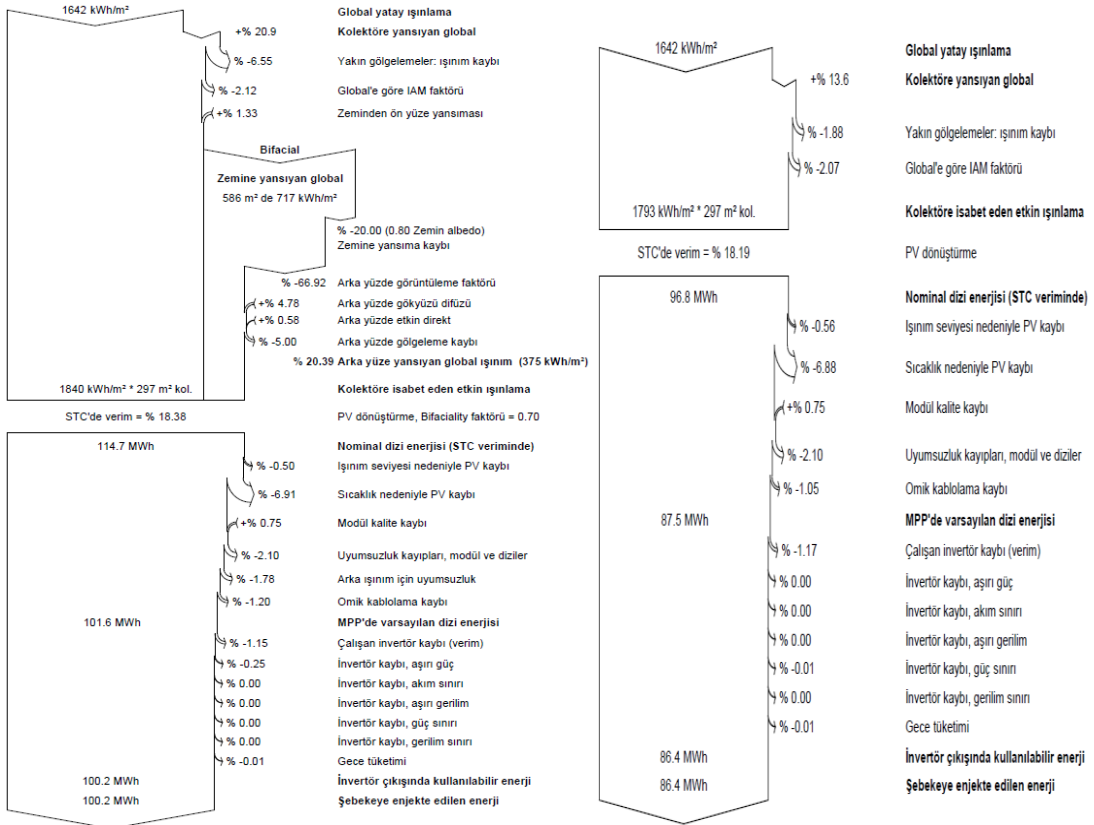
Çizelge 4.5. Ankara bölgesinde asfalt zeminde çift yüzlü PV paneller ve tek yüzlü PV paneller için elde edilen aylık değerler

Aylar	Asfalt Zeminde Çift Yüzlü PV Paneller					Tek yüzlü PV Paneller				
	KYI kWh/m ²	KKYI kWh/m ²	ŞAE MWh	KŞAE MWh	PO	KYI kWh/m ²	KKYI kWh/m ²	ŞAE MWh	KŞAE MWh	PO
Ocak	103,6	97,6	5,258	5,194	0,929	103	97,5	5,131	5,068	0,911
Şubat	117,1	112,4	6,01	5,942	0,939	116,4	112,2	5,832	5,766	0,917
Mart	154,8	149,7	7,74	7,646	0,915	153,7	149,3	7,497	7,405	0,892
Nisan	164,4	157,3	8,057	7,962	0,897	163	156,7	7,755	7,663	0,871
Mayıs	183,8	175,5	8,807	8,703	0,877	182	174,7	8,434	8,332	0,848
Haziran	189,4	180,9	8,963	8,86	0,866	187,5	180	8,56	8,459	0,835
Temmuz	205,6	197,1	9,46	9,351	0,842	203,6	196,2	9,061	8,953	0,814
Ağustos	209,9	201,8	9,613	9,5	0,838	208,1	201,1	9,282	9,171	0,816
Eylül	188,1	181,5	8,827	8,727	0,859	186,6	181	8,558	8,461	0,839
Ekim	148,2	143,3	7,223	7,138	0,892	147,2	142,9	7,012	6,93	0,872
Kasım	118,7	112,3	5,815	5,747	0,897	118	112,1	5,681	5,614	0,881
Aralık	97,4	89,4	4,762	4,703	0,894	96,9	89,3	4,655	4,597	0,879
Toplam	1880,9	1798,8	90,535	89,471	0,881	1866,1	1792,9	87,459	86,417	0,858

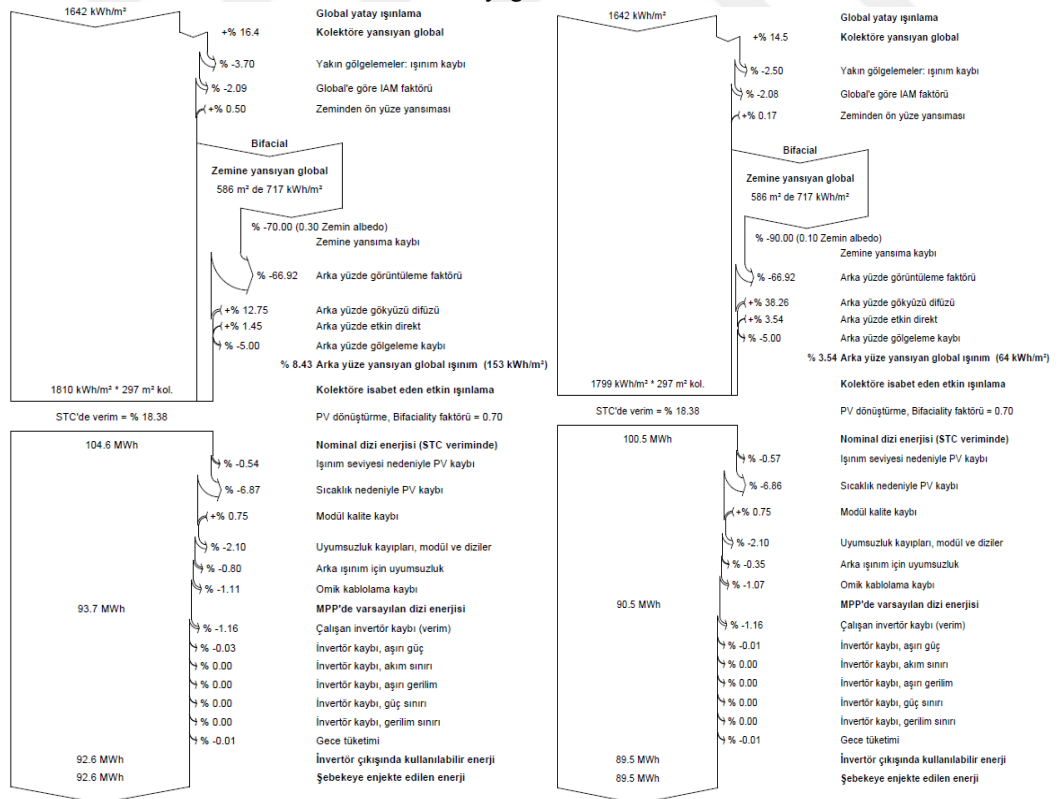
Çizelge 4.6. Ankara bölgesindeki Çift yüzlü PV paneller için beyaz ve kum zeminde elde edilen aylık değerler

Aylar	Beyaz Zeminde Çift Yüzlü PV Paneller					Kum Zeminde Çift Yüzlü PV Paneller				
	KYI	KKYI	ŞAE	KŞAE	PO	KYI	KKYI	ŞAE	KŞAE	PO
	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh		kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	
Ocak	107,5	98,8	5,54	5,47	0,942	104,7	98	5,338	5,272	0,933
Şubat	122,3	114,2	6,53	6,46	0,978	118,6	112,9	6,162	6,092	0,951
Mart	162,6	152,5	8,52	8,42	0,959	157	150,5	7,975	7,879	0,929
Nisan	174,3	161,3	9,13	9,03	0,959	167,2	158,4	8,374	8,275	0,916
Mayıs	196,1	180,8	10,24	10,12	0,956	187,3	177	9,23	9,121	0,902
Haziran	202,7	186,8	10,6	10,48	0,957	193,2	182,6	9,435	9,327	0,894
Temmuz	219,7	203,3	11,09	10,96	0,924	209,6	198,9	9,931	9,816	0,867
Ağustos	222,8	207,1	10,94	10,82	0,899	213,6	203,3	9,998	9,88	0,857
Eylül	198	185,2	9,79	9,67	0,905	190,9	182,6	9,11	9,006	0,874
Ekim	154,9	145,6	7,91	7,81	0,934	150,1	143,9	7,42	7,334	0,905
Kasım	123,2	113,6	6,13	6,06	0,911	120	112,6	5,906	5,837	0,901
Aralık	100,9	90,4	4,97	4,91	0,901	98,4	89,7	4,822	4,762	0,896
Toplam	1984,8	1839,6	101,39	100,22	0,935	1910,6	1810,4	93,699	92,602	0,898

PVsyst simülasyonunda Ankara bölgesinde Beyaz zemine kurulan çift yüzlü PV panel ve tek yüzlü PV panellerin kayıp diyagramı Şekil 4.6'da Asfalt zemin ve Kum zeminlerdeki çift yüzlü PV paneldeki Kayıplar ise Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Tüm sistemlerde için yıllık toplam ışıınım değeri 1642 kWh/m²'dir. Beyaz zeminin albedo oranı %80 alınmış ve zemine yansıyan ışıınım 586 m² de 717 kWh/m² olarak bulunmuştur. Şebekeye aktarılan enerji değerleri karşılaştırıldığında beyaz zeminde çift yüzlü PV paneller için 101,39 MWh iken tek yüzlü PV panelde 87,45 MWh olarak bulunmuştur. Kayıplar çıkarıldığında şebekeye aktarılan enerjileri beyaz zemin için 100,22 MWh olurken tek yüzlü PV panelde 86,41 MWh olduğunu gösterilmiştir. Diğer tüm kayıplar içerisinde yaklaşık %6,9 ile sıcaklık kaynaklı verim kaybı değeri dikkat çekmektedir.



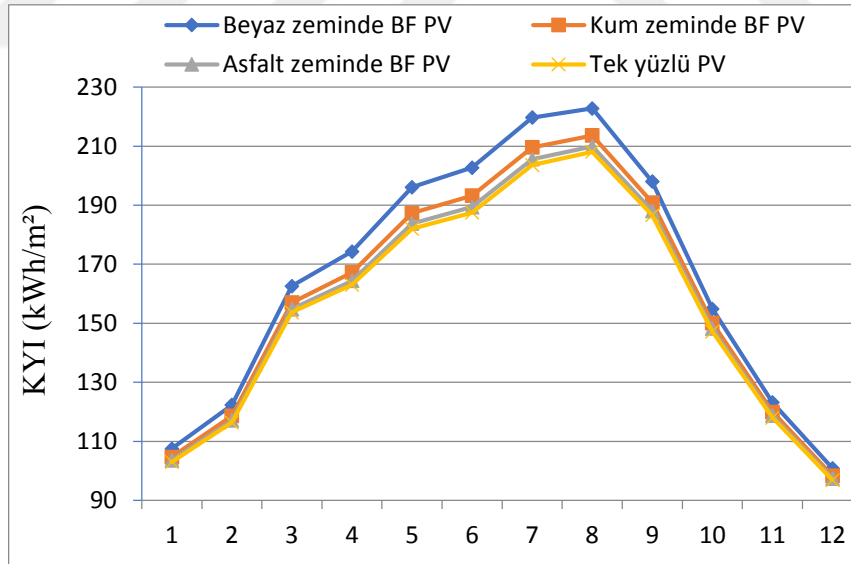
Şekil 4.6. Beyaz zemin (solda) üzerine kurulan Çift yüzlü ve Tek yüzlü (sağ) PV panellerin Kayıp Diyagramları



Şekil 4.7. Kum zeminde Çift yüzlü (solda) ve Asfalt zeminde Çift yüzlü (sağda) PV panellerin Kayıp Diyagramları

Kum zeminin albedo değerinin %30 ve asfalt zeminin albedo değerinin %10 olduğu Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Albedo oranları aynı zamanda toplam küresel ışınımın kum ve asfalt zeminde 717 kWh/m^2 değerinin ne kadarının PV panellerin arka yüzeyi tarafından kullanılabilirdiğini gösteren bir değerdir. Yıllık şebekeye aktarılan enerji değerleri kum zeminde $93,69 \text{ MWh}$ iken asfalt zeminde $90,53 \text{ MWh}$ olarak bulunmuştur. Tüm kayıplar çıkarıldığında şebekeye aktarılan enerjileri kum zemin için yıllık $92,6 \text{ MWh}$ olurken asfalt zeminde $89,4 \text{ MWh}$ olarak bulunmuştur.

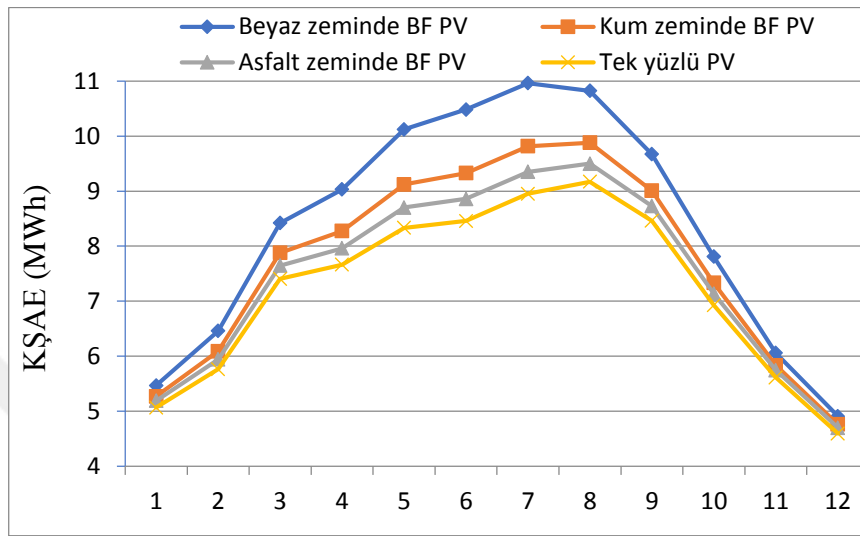
Şekil 4.8’de Ankara bölgesi için farklı zemin koşullarında (beyaz, kum, asfalt) çift yüzlü PV paneller ve tek yüzlü PV için küresel ışınım değerlerinin aylara göre değişimi verilmiştir. Işınım değerleri kış aylarında düşükken yaz aylarında artmaktadır. En fazla ışınım oluşan aylardan olan temmuz ayında beyaz zemin için $219,7 \text{ kWh/m}^2$ ışınım değeri oluşurken kum zemin için $209,6 \text{ kWh/m}^2$ asfalt zeminde $205,6 \text{ kWh/m}^2$ ve tek yüzlü PV panelde $203,6 \text{ kWh/m}^2$ hesaplanmıştır. Temmuz ayında beyaz zeminde çift yüzlü PV panellerin tek yüzlü PV panellere göre kolektöre yansıyan ışınımı karşılaştırıldığında çift yüzlü PV panellerin %7,9 daha yüksek olduğu gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Ankara bölgesinde kolektöre yansıyan aylık ışınım

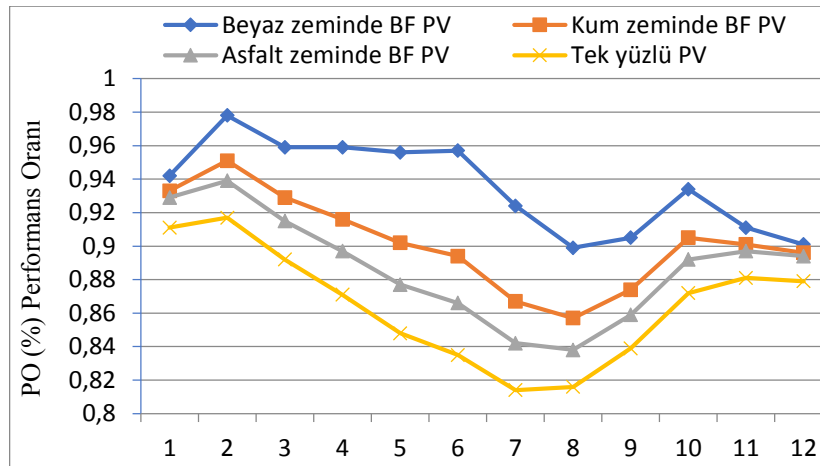
Ankara bölgesi için farklı zemin koşullarında çift yüzlü ve aynı koşullarda tek yüzlü PV panellerin elektrik üretim değerlerinin aylara göre değişimi Şekil 4.9’da verilmiştir. Analizlerde ışınımın da en yüksek olduğu aylardan olan temmuz ayında Beyaz zemine kurulu çift yüzlü PV panelin, tek yüzlü PV panele göre kayıplar sonrası

şebekeye aktarılan enerjisi %22,4 daha fazla olduğu gösterilmektedir. Yıllık kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerji beyaz zemindeki çift yüzlü PV panelde 100,22 MWh iken tek yüzlü PV panelde 86,4 MWh'dir. Beyaz zeminde kurulu çift yüzlü PV sisteminin tek yüzlü PV sistemlerine göre yıllık kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjisini karşılaştırdığımızda %16 daha fazla olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.9. Ankara bölgesinde farklı PV paneller ve yüzey koşulları için aylara göre kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerji

Ankara bölgesinde farklı zemin koşullarına kurulan çift yüzlü PV panellerin ve tek yüzlü PV panellerin aylara göre PO değerleri Şekil 4.10'da verilmiştir. Yıllık ortalama değerlere göre çift yüzlü PV panellerin PO değeri beyaz zemin için 0,935, kum zemin için 0,898, asfalt zemin için 0,881 olarak bulunmuştur. Tek yüzlü PV paneller için PO değeri ise 0,858 hesaplanmıştır. Temmuz ayında beyaz zemine kurulu çift yüzlü PV panellerin performans oranı 0,935 tek yüzlü PV panellerin performans oranı 0,858 ile karşılaştırıldığında çift yüzlü PV panellerin performans oranı %13,8 daha fazla çıkmıştır. Beyaz zeminde çift yüzlü ve tek yüzlü PV paneller arasındaki en fazla fark ise haziran ayında çıkmıştır. Beyaz zemine kurulu çift yüzlü ve tek yüzlü PV panellerin yıllık performansları incelendiğinde beyaz zeminin PO değerinin %8,9 daha fazla olduğu gösterilmektedir.



Şekil 4.10. Ankara bölgesinde çift yüzlü ve tek yüzlü PV paneller için PO değerleri

4.1.3. Antalya Bölgesinin Performans Analizi

Yapılan analizlerde Antalya Bölgesi için küresel yatay ışınım ve yatay difüz ışınım değerlerinin aylara göre değişimi Çizelge 4.7’de verilmiştir. Tüm fotovoltaik analizler için iklim koşulları ve ışınım değerleri aynı kabul edilmiştir. Yıllık toplam ışınım değeri $1425,1 \text{ kWh/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer $626,3 \text{ kWh/m}^2$ ise yatay difüz ışınımı olduğu anlaşılmaktadır. Antalya bölgesinin yıllık toplam ışınım değeri Konya ve Ankara bölgesinden düşükken yatay difüz ışınımı değeri yüksek çıkmıştır.

Çizelge 4.7. Antalya bölgesi aylık güneş ışınım ve hava durumu tablosu

Aylar	Küresel yatay ışınım (kWh/m^2)	Yatay difüz Işınım (kWh/m^2)	Sıcaklık $^{\circ}\text{C}$	Rüzgar hızı (m/s)	Linke bulanıklığı [-]	Bağıl nem (%)
Ocak	66,9	29,2	9,7	3,79	3,055	65,7
Şubat	76,5	43,8	10,9	3,7	3,427	64,8
Mart	120,2	63,1	13,5	3,5	3,949	62,8
Nisan	151,1	74,3	16,4	3,2	4,601	65,3
Mayıs	193,2	82,3	21,2	2,89	4,256	63,2
Haziran	212,7	80,2	26	3,09	3,651	55
Temmuz	217,9	73,7	30,1	3	3,78	50,4
Ağustos	191,6	75,2	30,2	2,9	3,885	51,9
Eylül	151,5	61,5	25,7	3,1	3,613	55,5
Ekim	104,7	50,7	20,8	3,1	3,497	56,8
Kasım	73,4	32,9	15	3	3,231	64,1
Aralık	60,2	32,9	11,1	3,49	3,088	66,6
Toplam	1619,9	695	19,2	3,2	3,669	60,2

Antalya bölgesi için beyaz, kum, asfalt zemin koşullarında çift yüzü PV panellerin ve aynı koşullardaki tek yüzü PV panellerin; Kolektöre yansıyan ışınımı, Şebekeye aktarılan enerjileri ve Performans oranları hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Her zemin koşulu için değerler Çizelge 4.8 ve 4.9'da verilmiştir. Tek yüzü PV paneller için kolektöre yansıyan ışınım (KYI) yatay ışınımından eğik düzleme aktarılması sonucu 1587,1 kWh/m² iken çift yüzü PV panellerin asfalt zeminde 1599,9 kWh/m², kum zeminde 1809,3 kWh/m² ve beyaz zeminde 1882,6 kWh/m² olarak bulunmuştur. Uzak ve lineer gölgelemeler, yansıma etkisi kayıpları gibi optik kayıplardan etkilenen kolektöre yansıyan ışınımın tek yüzü PV için 1517,4 kWh/m², çift yüzü PV paneller için asfalt zeminde 1522,6 kWh/m², kum zeminde 1717 kWh/m² ve beyaz zeminde 1746,5 kWh/m² bulunmaktadır. Işınım değerlerinin zeminin albedo oranına oldukça bağlı olduğu gösterilmektedir. Yaz aylarında çift yüzü fotovoltaik panellerin beyaz zemin koşulunda kolektöre yansıyan ışınım değerleri ve performans oranlarına bakıldığında Konya ve Ankara bölgesinden düşük olduğu gösterilmiştir.

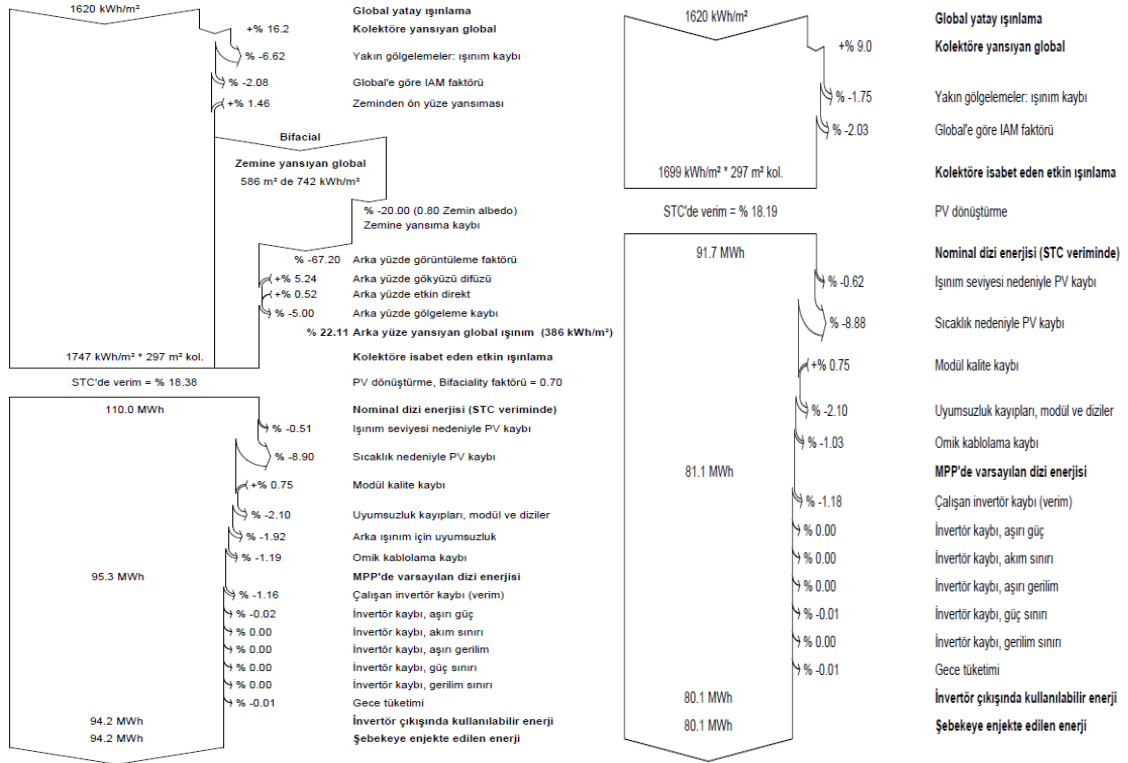
Çizelge 4.8. Antalya bölgesinde asfalt zeminde çift yüzü PV paneller ve tek yüzü PV paneller için elde edilen aylık değerler

Aylar	Asfalt Zeminde Çift Yüzlü PV Paneller					Tek yüzü PV				
	KYI kWh/m ²	KKYI kWh/m ²	ŞAE MWh	KŞAE MWh	PO	KYI kWh/m ²	KKYI kWh/m ²	ŞAE MWh	KŞAE MWh	PO
Ocak	105	100,4	5,168	5,102	0,9	104,4	100,2	5,034	4,969	0,882
Şubat	99,2	95,3	4,964	4,904	0,915	98,5	95	4,788	4,73	0,889
Mart	140,1	134,5	6,896	6,814	0,901	139	134,1	6,645	6,564	0,875
Nisan	158,1	151,2	7,642	7,552	0,885	156,7	150,6	7,349	7,262	0,858
Mayıs	182,1	174	8,62	8,517	0,866	180,3	173,3	8,258	8,157	0,838
Haziran	189,9	181,5	8,811	8,711	0,85	188	180,6	8,414	8,316	0,819
Temmuz	198,4	190	8,989	8,884	0,829	196,4	189,1	8,602	8,499	0,801
Ağustos	194,1	186,5	8,746	8,642	0,824	192,4	185,8	8,432	8,331	0,802
Eylül	171,6	165,1	7,886	7,796	0,841	170,3	164,6	7,625	7,537	0,82
Ekim	133,3	128,5	6,323	6,247	0,868	132,4	128,1	6,114	6,041	0,845
Kasım	110,2	105,6	5,325	5,26	0,884	109,5	105,4	5,181	5,117	0,865
Aralık	98	92,5	4,759	4,698	0,888	97,4	92,3	4,642	4,582	0,871
Toplam	1780	1705,2	84,129	83,127	0,865	1765,4	1699,2	81,082	80,105	0,84

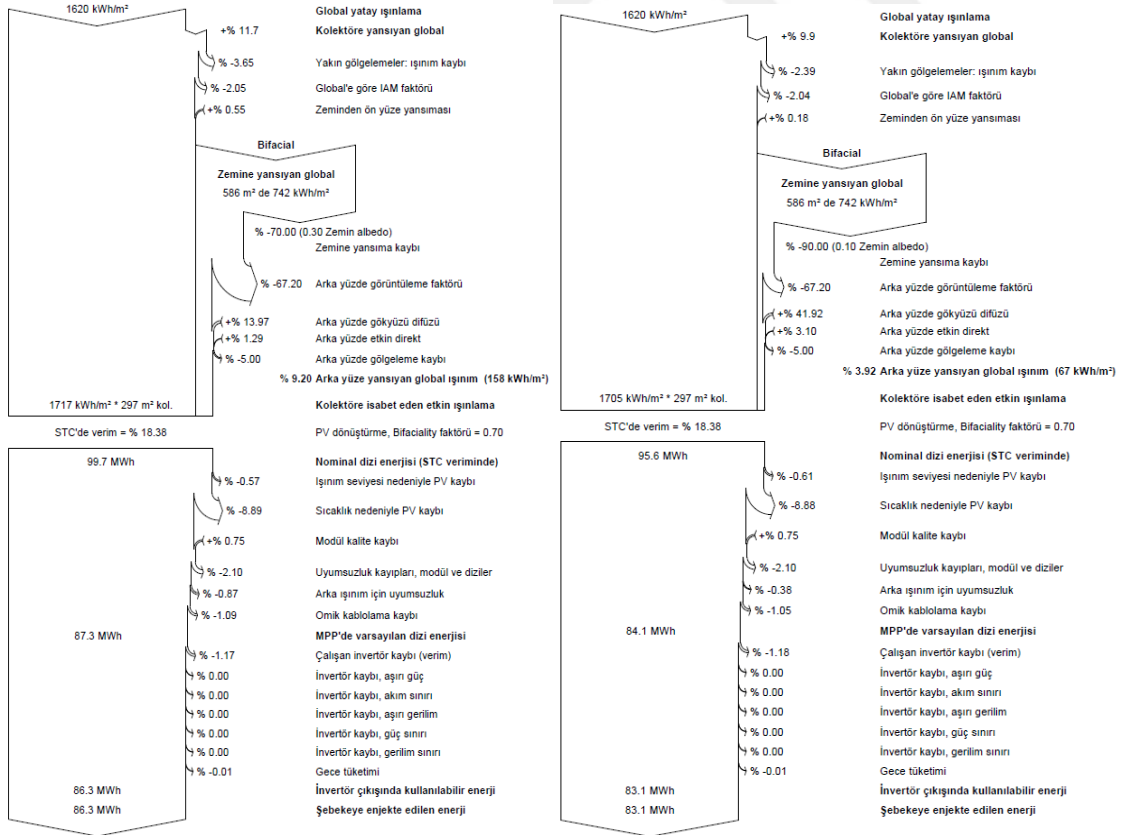
Çizelge 4.9. Antalya bölgesindeki Çift yüzlü PV paneller için beyaz ve kum zeminde elde edilen aylık değerler

Aylar	Beyaz Zeminde Çift Yüzlü PV Paneller					Kum Zeminde Çift Yüzlü PV Paneller				
	KYI	KKYI	ŞAE	KŞAE	PO	KYI	KKYI	ŞAE	KŞAE	PO
	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh		kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	
Ocak	109,2	101,7	5,51	5,44	0,922	106,2	100,8	5,264	5,197	0,906
Şubat	104,1	97	5,52	5,45	0,97	100,6	95,8	5,123	5,061	0,931
Mart	147,7	137,4	7,76	7,67	0,961	142,2	135,3	7,144	7,059	0,919
Nisan	167,6	155,1	8,72	8,62	0,952	160,8	152,3	7,952	7,859	0,905
Mayıs	194,3	179,4	10,08	9,96	0,949	185,6	175,6	9,039	8,931	0,891
Haziran	203,4	187,6	10,46	10,34	0,942	193,7	183,2	9,284	9,179	0,877
Temmuz	212,2	196,2	10,59	10,47	0,914	202,4	191,8	9,45	9,341	0,855
Ağustos	206,3	191,6	10,02	9,9	0,889	197,6	188	9,112	9,003	0,844
Eylül	181,2	168,8	8,85	8,75	0,894	174,4	166,2	8,163	8,07	0,857
Ekim	140	130,9	7,03	6,95	0,919	135,2	129,2	6,526	6,449	0,883
Kasım	114,9	107,2	5,73	5,67	0,913	111,5	106,1	5,442	5,376	0,893
Aralık	101,8	93,6	5,03	4,96	0,903	99,1	92,8	4,835	4,774	0,893
Toplam	1882,6	1746,5	95,29	94,17	0,926	1809,3	1717	87,334	86,3	0,883

PVsyst simülasyonunda Antalya bölgesinde Beyaz zemine kurulan çift yüzlü PV panel ve tek yüzlü PV panellerin Kayıp Diyagramı Şekil 4.11’de, Asfalt zemin ve Kum zemindeki çift yüzlü PV paneldeki kayıplar ise Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Tüm sistemlerde için yıllık toplam ışıınım değeri 1620 kWh/m²’dir. Beyaz zeminin albedo oranı %80 alınmış ve zemine yansıyan küresel ışıınım 586 m² de 742 kWh/m² olarak gösterilmiştir. Şebekeye aktarılan enerji değeri karşılaştırıldığında beyaz zeminde çift yüzlü PV paneller için 95,29 MWh iken tek yüzlü PV panelde 81,08 MWh olarak bulunmuştur. Kayıplar çıkarıldığında şebekeye aktarılan enerjileri beyaz zemin için 94,17 MWh olurken tek yüzlü PV panelde 80,1 MWh olduğunu gösterilmiştir. Diğer tüm kayıplar içerisinde yaklaşık %8,8 sıcaklık nedeniyle PV kaybı değeri dikkat çekmektedir. Sıcaklık kaybı Konya ve Ankara bölgesinden daha fazladır.



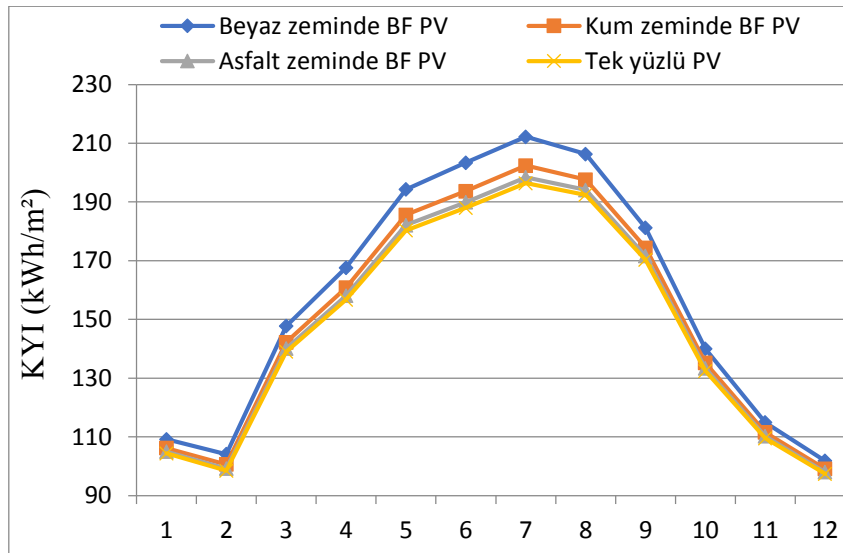
Şekil 4.11. Beyaz zemin (solda) üzerine kurulan Çift yüzlü ve Tek yüzlü (sağ) PV panellerin Kayıp Diyagramları



Şekil 4.12. Kum zeminde Çift yüzlü (solda) ve Asfalt zeminde Çift yüzlü (sağda) PV panellerin Kayıp Diyagramları

Kum zeminin albedo değerinin %30 ve asfalt zeminin albedo değerinin %10 olduğu Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Albedo oranları aynı zamanda toplam küresel ışınımın kum ve asfalt zeminde 742 kWh/m^2 değerinin ne kadarının PV panellerin arka yüzeyi tarafından kullanılabilirdiğini gösteren bir değerdir. Yıllık şebekeye aktarılan enerji değerleri kum zeminde $87,33 \text{ MWh}$ iken asfalt zeminde $84,12 \text{ MWh}$ olarak bulunmuştur. Tüm kayıplar çıkarıldığında şebekeye aktarılan enerjileri kum zemin için yıllık $86,3 \text{ MWh}$ olurken asfalt zeminde $83,12 \text{ MWh}$ olarak bulunmuştur.

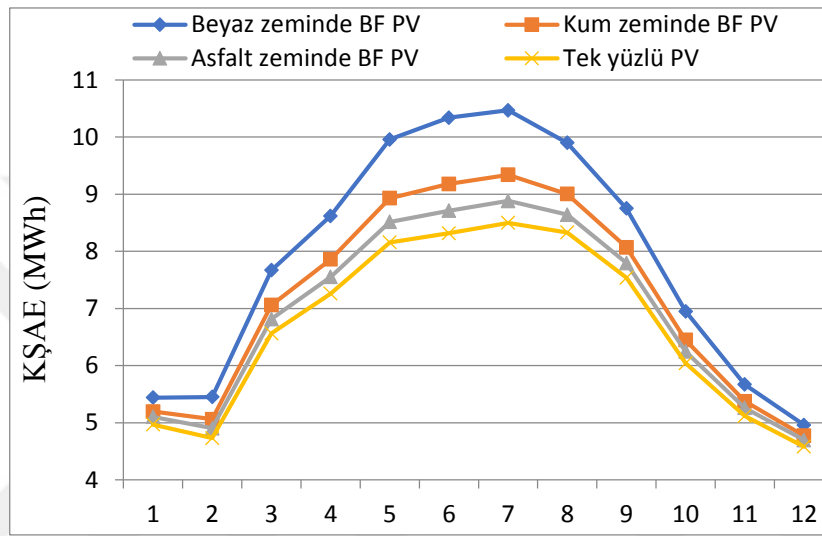
Şekil 4.13’de Antalya bölgesi için farklı zemin koşullarında (beyaz, kum, asfalt) çift yüzlü PV paneller ve tek yüzlü PV için küresel ışınım değerlerinin aylara göre değişimi verilmiştir. Işınım değerleri kış aylarında düşükken yaz aylarında artmaktadır. Haziran ayında çift yüzlü PV panellerde beyaz zeminde $203,4 \text{ kWh/m}^2$ kum zeminde $193,7 \text{ kWh/m}^2$ asfalt zeminde $189,9 \text{ kWh/m}^2$ ve tek yüzlü PV panelde 188 kWh/m^2 hesaplanmıştır. Haziran ayında beyaz zeminde çift yüzlü PV panellerin tek yüzlü PV panele göre kolektöre yansıyan ışınımını karşılaştırıldığında çift yüzlü PV panellerin %8,2 daha yüksek olduğu gösterilmiştir. Konya bölgesin haziran ayında çift yüzlü PV panellerde beyaz zeminin tek yüzlü PV panellerle karşılaştırıldığında Antalya bölgesinde %0,1 fazla olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.13. Antalya bölgesinde kolektöre yansıyan aylık ışınım

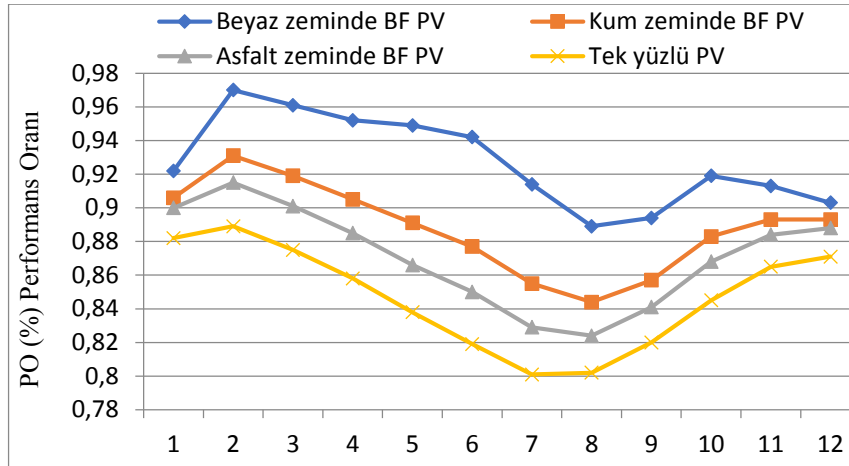
Antalya bölgesi için farklı zemin koşullarında çift yüzlü ve tek yüzlü PV panellerin elektrik üretim değerlerinin aylara göre değişimi Şekil 4.14’de verilmiştir. Analizlerde ışınımın en yüksek olduğu aylardan olan haziran ayında Beyaz zemine kurulu

çift yüzlü PV panelin tek yüzlü PV panele göre kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjisi %24,3 daha fazla olduğu gösterilmektedir. Yıllık kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerji beyaz zemindeki çift yüzlü PV panelde 94,17 MWh iken tek yüzlü PV panelde 80,1 MWh'tir. Beyaz zeminde kurulu çift yüzlü PV panelin tek yüzlü PV sistemlerine göre yıllık kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjisini karşılaştırdığımızda %17,5 daha fazla olduğu bulunmuştur. Antalya bölgesinin yıllık şebekeye aktarılan enerjisi Konya ve Ankara bölgesinden %1,6 daha fazla çıkmıştır.



Şekil 4.14. Antalya bölgesinde farklı PV paneller ve yüzey koşulları için aylara göre kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerji

Antalya bölgesinde farklı zemin koşullarına kurulan çift yüzlü PV panellerin ve tek yüzlü PV panellerin aylara göre performans oranları (PO) değerleri Şekil 4.15'de verilmiştir. Yıllık ortalama değerlere göre çift yüzlü PV panellerin PO değeri beyaz zeminde 0,926, kum zeminde 0,883, asfalt zeminde 0,865 olarak bulunmuştur. Tek yüzlü PV paneller için PO değeri ise 0,84 olarak hesaplanmıştır. Haziran ayında beyaz zemine kurulu çift yüzlü PV panellerin performans oranı 0,942 tek yüzlü PV panellerin performans oranı 0,819 ile karşılaştırıldığında çift yüzlü PV paneller %15 daha fazla çıkmıştır. Beyaz zeminde çift yüzlü PV paneller ve tek yüzlü PV panellerin arasındaki en fazla fark ise haziran ayında çıkmıştır. Beyaz zemine kurulu çift yüzlü ve tek yüzlü PV panellerin yıllık performansları incelendiğinde beyaz zeminin PO değerinin %10,2 daha fazla olduğu gösterilmektedir. Antalya bölgesinin performans oranı Konya ve Ankara bölgesinden en az %1,3 fazla olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.15. Antalya bölgesinde çift yüzlü ve tek yüzlü PV paneller için PO değerleri

4.1.4. İzmir Bölgesinin Performans Analizi

Yapılan analizlerde İzmir Bölgesi için küresel yatay ışınım ve yatay difüz ışınım değerlerinin aylara göre değişimi Çizelge 4.10'da verilmiştir. Tüm fotovoltaik analizler için iklim koşulları ve ışınım değerleri aynı kabul edilmiştir. Yıllık toplam ışınım değeri 1769 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Bu değer 783 kWh/m² ise yatay difüz ışınımı olduğu anlaşılmaktadır. İzmir bölgesinin yıllık toplam ışınım ve yatay difüz ışınım değerleri diğer değerlendirilen diğer şehirlerden yüksek çıkmıştır.

Çizelge 4.10. İzmir bölgesi aylık güneş ışınım ve hava durumu tablosu

Aylar	Küresel yatay ışınım (kWh/m ²)	Yatay difüz Işınım (kWh/ m ²)	Sıcaklık °C	Rüzgar hızı (m/s)	Linke bulanıklığı [-]	Bağıl nem (%)
Ocak	71	32,3	9,5	2,8	3	72,4
Şubat	78,1	38,4	10,4	2,7	3,4	67,4
Mart	130,2	60,4	13,1	2,7	4	62,2
Nisan	170,8	70,7	16,8	2,5	4,5	56,7
Mayıs	212,5	77,2	21,7	2,4	4,1	53,8
Haziran	229,2	69,1	26,1	2,7	3,5	50,7
Temmuz	242,9	60,6	29,5	2,9	3,4	43,7
Ağustos	216,4	55,3	29,4	2,9	3,4	45,7
Eylül	166	50,3	24,2	2,6	3,4	53,2
Ekim	118,9	40,4	19	2,3	3,4	61,7
Kasım	77,2	29,9	15,1	2,3	3,2	67,7
Aralık	55,9	28,1	10,4	2,4	3,1	64,4
Toplam	1769,1	612,7	18,8	2,6	3,533	58,5

İzmir bölgesi için beyaz, kum, asfalt zemin koşullarında çift yözlü PV panellerin ve aynı koşullardaki tek yözlü PV panellerin; Kolektöre yansıyan ışınımları, Şebekeye aktarılan enerjileri ve Performans oranları hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Her zemin koşulu için değerler Çizelge 4.11 ve 4.12’de verilmiştir. Tek yözlü PV paneller için kolektöre yansıyan ışınım (KYI) yatay ışınımdan eğik düzleme aktarılması sonucu 1990,9 kWh/m² iken çift yözlü PV panellerin asfalt zeminde 2006,9 kWh/m², kum zeminde 2038,9 kWh/m² ve beyaz zeminde 2118,9 kWh/m² olarak bulunmuştur. Uzak ve lineer gölgelemeler, Yansıma etkisi kayıpları gibi optik kayıplardan etkilenen kolektöre yansıyan ışınımlar tek yözlü PV için 1923,7 kWh/m², çift yözlü PV paneller için asfalt zeminde 1930 kWh/m², kum zeminde 1942,6 kWh/m² ve beyaz zeminde 1974,2 kWh/m² bulunmaktadır. Işınım değerlerinin zeminin albedo oranına oldukça bağlı olduğu gösterilmektedir. İzmir bölgesinde yaz aylarında kolektöre yansıyan ışınım değeri Konya, Ankara ve Antalya bölgesinden fazlayken PO değeri ise düşük çıkmıştır.

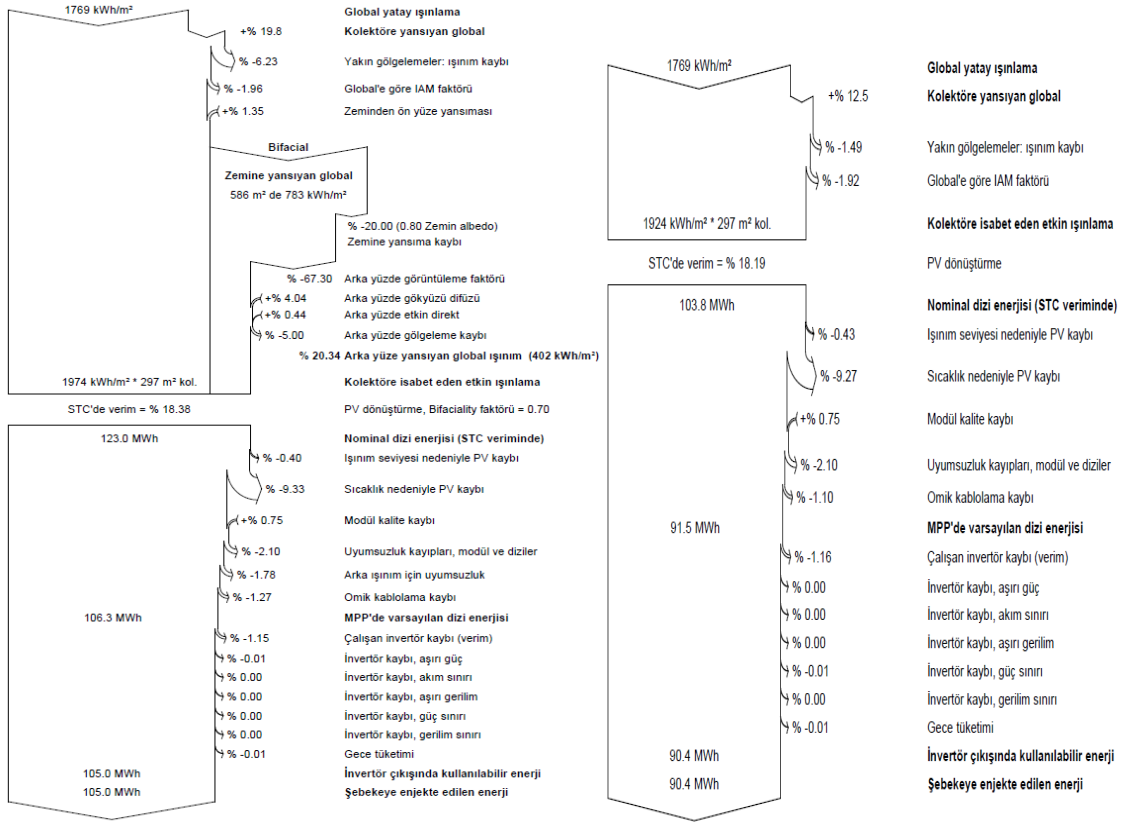
Çizelge 4.11. İzmir bölgesinde asfalt zeminde çift yözlü PV paneller ve tek yözlü PV paneller için elde edilen aylık değerler

Aylar	Asfalt Zeminde Çift Yözlü PV Paneller					Tek yözlü PV				
	KYI kWh/m ²	KKYI kWh/m ²	ŞAE MWh	KŞAE MWh	PO	KYI kWh/m ²	KKYI kWh/m ²	ŞAE MWh	KŞAE MWh	PO
Ocak	114,5	108,5	5,61	5,54	0,896	113,9	108,3	5,469	5,403	0,879
Şubat	108,8	105	5,45	5,384	0,916	108,1	104,8	5,284	5,219	0,894
Mart	161	155,3	7,95	7,854	0,903	159,8	154,8	7,687	7,598	0,88
Nisan	183,4	176,2	8,82	8,716	0,88	181,8	175,6	8,512	8,413	0,857
Mayıs	203,5	195,4	9,57	9,457	0,86	201,6	194,6	9,193	9,083	0,834
Haziran	206,6	198,3	9,53	9,424	0,845	204,5	197,4	9,124	9,018	0,817
Temmuz	224,7	216,4	10,12	9,999	0,824	222,5	215,4	9,727	9,612	0,8
Ağustos	223,7	216,3	10,04	9,925	0,822	221,8	215,5	9,718	9,605	0,802
Eylül	197,4	191	9,09	8,987	0,843	195,9	190,5	8,824	8,724	0,825
Ekim	167,7	162,8	8	7,908	0,873	166,6	162,5	7,787	7,698	0,856
Kasım	124,6	119,4	6	5,924	0,881	123,9	119,2	5,858	5,787	0,865
Aralık	91,1	85,2	4,43	4,374	0,889	90,6	85,1	4,32	4,262	0,872
Toplam	2006,9	1930	94,6	93,492	0,863	1990,9	1923,7	91,503	90,423	0,841

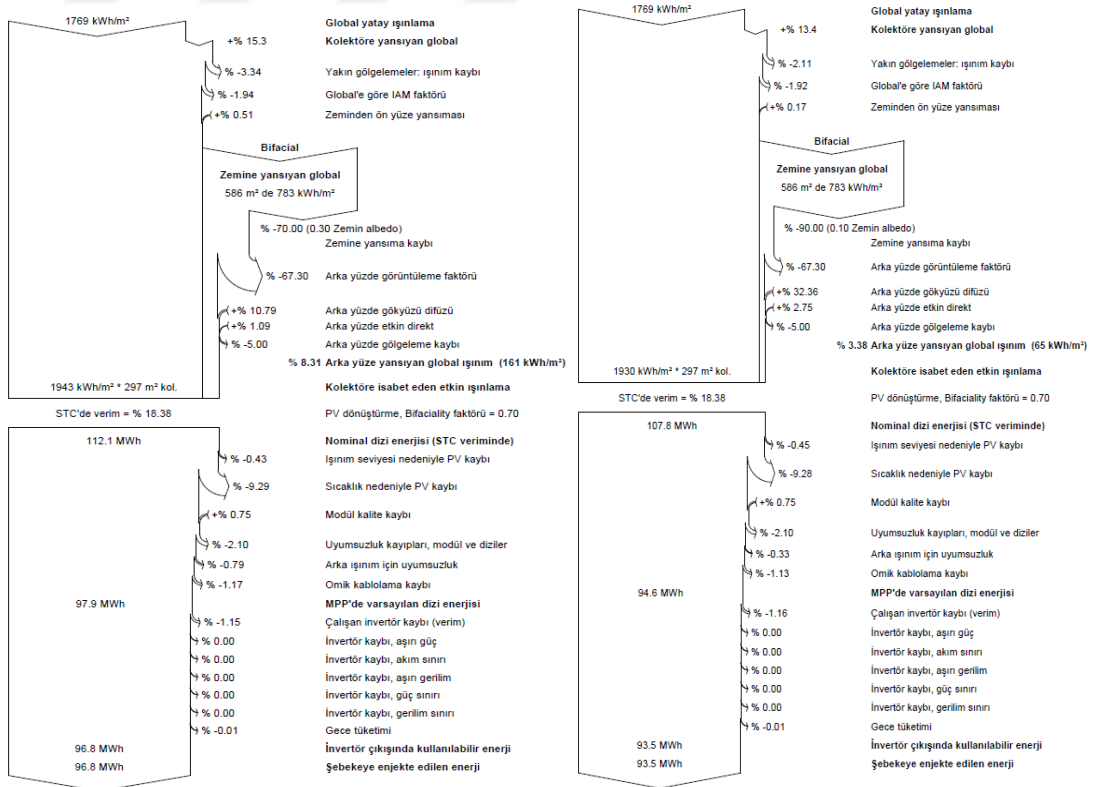
Çizelge 4.12. İzmir bölgesindeki Çift yüzlü PV paneller için beyaz ve kum zeminde elde edilen aylık değerler

Aylar	Beyaz Zeminde Çift Yüzlü PV Paneller					Kum Zeminde Çift Yüzlü PV Paneller				
	KYI	KKYI	ŞAE	KŞAE	PO	KYI	KKYI	ŞAE	KŞAE	PO
	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh		kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	
Ocak	119	109,9	5,94	5,87	0,913	115,8	108,9	5,7	5,63	0,901
Şubat	113,8	106,7	5,97	5,9	0,96	110,2	105,5	5,6	5,53	0,929
Mart	169,2	158,3	8,85	8,75	0,957	163,3	156,1	8,2	8,11	0,919
Nisan	194,2	180,5	9,98	9,86	0,94	186,5	177,5	9,15	9,05	0,898
Mayıs	217	201,3	11,12	10,99	0,938	207,4	197,1	10,01	9,9	0,884
Haziran	221,1	204,9	11,26	11,14	0,933	210,7	200,2	10,03	9,92	0,871
Temmuz	240,1	223,2	11,85	11,72	0,904	229,1	218,4	10,61	10,49	0,848
Ağustos	237,4	221,9	11,42	11,29	0,88	227,6	217,9	10,44	10,32	0,839
Eylül	207,9	194,9	10,1	9,98	0,889	200,4	192,2	9,38	9,27	0,857
Ekim	175,2	165,4	8,73	8,63	0,912	169,8	163,5	8,21	8,11	0,885
Kasım	129,4	120,9	6,36	6,28	0,899	125,9	119,8	6,1	6,03	0,886
Aralık	94,6	86,3	4,68	4,62	0,905	92,1	85,5	4,5	4,44	0,894
Toplam	2118,9	1974,2	106,25	105,01	0,918	2038,9	1942,6	97,94	96,8	0,879

PVsyst simülasyonunda İzmir bölgesinde Beyaz zemine kurulan çift yüzlü PV panel ve tek yüzlü PV panellerin kayıp diyagramı Şekil 4.16'da Asfalt zemin ve Kum zemindeki çift yüzlü PV paneldeki kayıp diyagramı ise Şekil 4.17'de gösterilmiştir. Tüm sistemlerde için yıllık toplam ışınım değeri 1769 kWh/m²'dir. Beyaz zeminin albedo oranı %80 alınmış ve zemine yansıyan küresel ışınım 586 m² de 783 kWh/m² olarak gösterilmiştir. Şebekeye aktarılan enerji değerleri karşılaştırıldığında beyaz zeminde çift yüzlü PV paneller için 106,25 MWh iken tek yüzlü PV panelde 91,5 MWh olarak bulunmuştur. Kayıplar çıkarıldığında şebekeye aktarılan enerjileri beyaz zeminde çift yüzlü PV paneller için 105 MWh olurken tek yüzlü PV panelde 90,42 MWh olduğunu gösterilmiştir. Diğer tüm kayıplar içerisinde yaklaşık %9,3 sıcaklık nedeniyle PV kaybı değeri dikkat çekmektedir. İzmir bölgesinin sıcaklık kaybı değerlendirilen diğer şehirlerin tamamından daha fazla çıkmıştır.



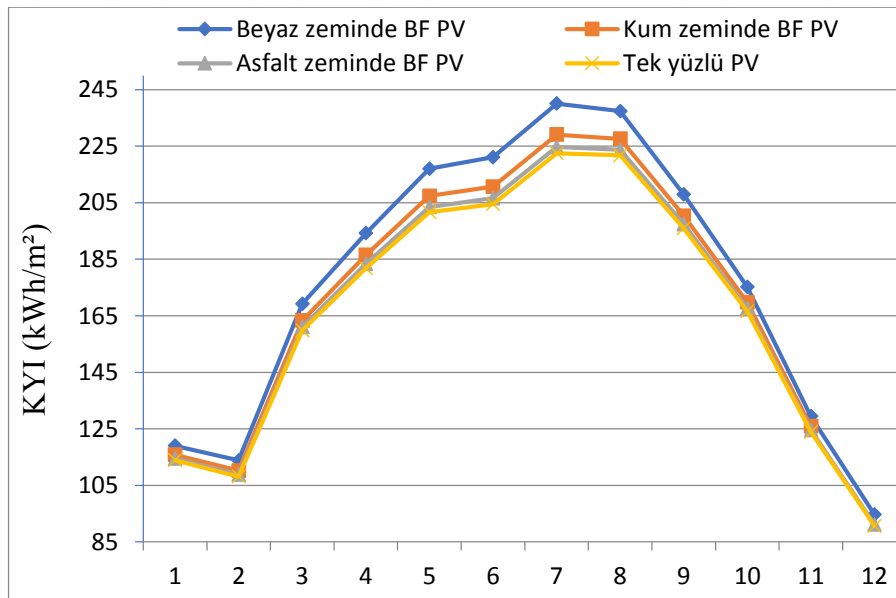
Şekil 4.16. Beyaz zemin (solda) üzerine kurulan Çift yüzlü ve Tek yüzlü (sağ) PV panellerin Kayıp Diyagramları



Şekil 4.17. Kum zeminde Çift yüzlü (solda) ve Asfalt zeminde Çift yüzlü (sağda) PV panellerin Kayıp Diyagramları

Kum zeminin albedo değerinin %30 ve asfalt zeminin albedo değerinin %10 olduğu Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Albedo oranları aynı zamanda toplam küresel ışınımın kum ve asfalt zeminde 783 kWh/m^2 değerinin ne kadarının PV panellerin arka yüzeyi tarafından kullanılabilirliğini gösteren bir değerdir. Yıllık şebekeye aktarılan enerji değerleri kum zeminde $97,94 \text{ MWh}$ iken asfalt zeminde $94,6 \text{ MWh}$ olarak bulunmuştur. Tüm kayıplar çıkarıldığında şebekeye aktarılan enerjileri kum zemin için yıllık $96,8 \text{ MWh}$ olurken asfalt zeminde $93,5 \text{ MWh}$ olarak bulunmuştur.

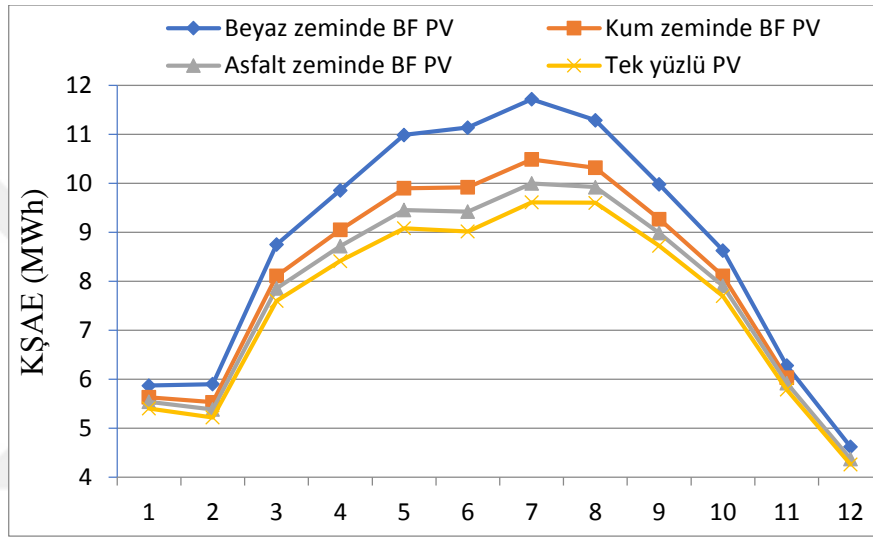
Şekil 4.18’de İzmir bölgesi için farklı zemin koşullarında (beyaz, kum, asfalt) çift yüzü PV paneller ve tek yüzü PV için küresel ışınım değerlerinin aylara göre değişimi verilmiştir. Işınım değerleri kış aylarında düşükken yaz aylarında artmaktadır. En fazla kolektör yansıyan ışınım oluşan aylardan olan ağustos ayında çift yüzü PV panellerin beyaz zeminde $237,4 \text{ kWh/m}^2$, kum zeminde $227,6 \text{ kWh/m}^2$, asfalt zeminde $223,7 \text{ kWh/m}^2$ ve tek yüzü PV panelde $221,8 \text{ kWh/m}^2$ hesaplanmıştır. Ağustos ayında beyaz zeminde çift yüzü PV panellerin tek yüzü PV panele göre kolektör yansıyan ışınımı karşılaştırıldığında beyaz zeminde çift yüzü PV panellerin %7 daha yüksek olduğu gösterilmiştir.



Şekil 4.18. İzmir bölgesinde kolektöre yansıyan aylık ışınım değerleri

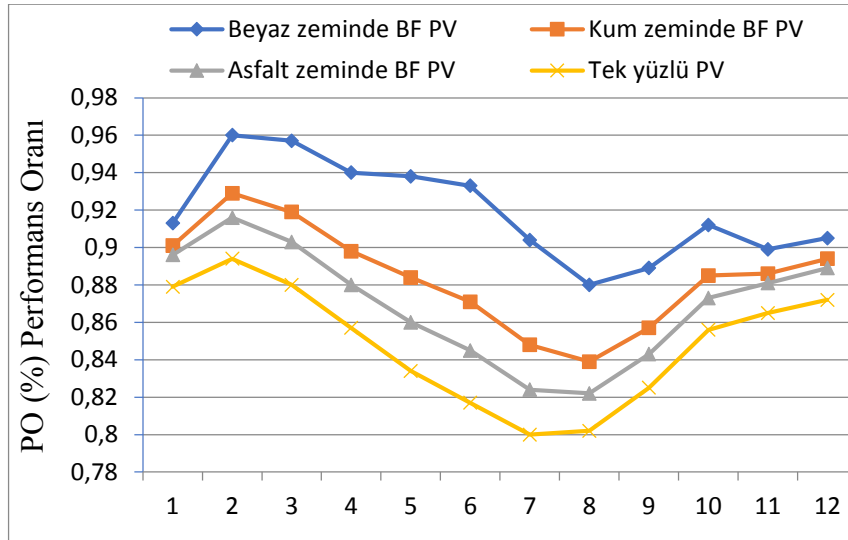
İzmir bölgesi için farklı zemin koşullarında çift yüzü ve tek yüzü PV panellerin elektrik üretim değerlerinin aylara göre değişimi Şekil 4.19’de verilmiştir. Analizlerde ışınımın en yüksek olduğu aylardan olan temmuz ayında beyaz zemine kurulu çift yüzü

PV panelin tek yüzlü PV panele göre kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjisi %21,9 daha fazla olduğu gösterilmektedir. Yıllık kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerji beyaz zemindeki çift yüzlü PV panelde 105 MWh iken tek yüzlü PV panelde 90,42 MWh'tir. Yıllık kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjisi çift yüzlü PV panellerin beyaz zeminde tek yüzlü PV panellere göre karşılaştırdığımızda %16,1 daha fazla olduğu bulunmuştur. Kum ve asfalt yüzeylere kurulan çift yüzlü PV panellerin enerji üretim değerinin tek yüzlü PV panellere göre daha fazla olduğu ancak beyaz zemine göre oldukça düşük olduğu da gösterilmektedir.



Şekil 4.19. İzmir bölgesinde farklı PV paneller ve yüzey koşulları için aylara göre kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerji

İzmir bölgesinde farklı zemin koşullarına kurulan çift yüzlü PV panellerin ve tek yüzlü PV panellerin aylara göre PO Şekil 4.20'te verilmiştir. Yıllık ortalama değerlere göre çift yüzlü PV panellerin PO beyaz zemin için 0,918 kum zemin için 0,879 asfalt zemin için 0,863 olarak bulunmuştur. Tek yüzlü PV paneller için PO ise 0,841 hesaplanmıştır. Ağustos ayında beyaz zemine kurulu çift yüzlü PV panellerin performans oranı 0,88 iken tek yüzlü PV panellerin 0.80 değeri ile karşılaştırıldığında çift yüzlü PV panellerin performans oranı %10 daha fazla çıkmıştır. Beyaz zeminin çift yüzlü ve tek yüzlü PV panelleri arasındaki en fazla fark ise haziran ayında çıkmıştır. Beyaz zemine kurulu PV ve tek yüzlü PV panellerin yıllık performansları incelendiğinde beyaz zeminin PO değerinin %9,1 daha fazla olduğu gösterilmektedir.



Şekil 4.20. İzmir bölgesinde çift yüzü ve tek yüzü PV paneller için PO değerleri

4.1.5. Sivas Bölgesinin Performans Analizi

Yapılan analizlerde Sivas Bölgesi için küresel yatay ışınım ve yatay difüz ışınım değerlerinin aylara göre değişimi Çizelge 4.13'te verilmiştir. Tüm fotovoltaik analizler için iklim koşulları ve ışınım değerleri aynı kabul edilmiştir. Yıllık toplam ışınım değeri 1678 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Bu değer 733 kWh/m² ise yatay difüz ışınımı olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.13. Sivas bölgesi aylık güneş ışınım ve hava durumu tablosu

Aylar	Küresel yatay ışınım (kWh/m ²)	Yatay difüz Işınım (kWh/m ²)	Sıcaklık °C	Rüzgar hızı (m/s)	Linke bulanıklığı [-]	Bağıl nem (%)
Ocak	61,7	29,7	-5,1	2,39	2,504	80,8
Şubat	84,6	35,3	-3,5	2,49	2,805	77,7
Mart	124,1	51,3	1,9	2,8	3,285	67,5
Nisan	157,9	60,6	7	2,7	3,725	61
Mayıs	195,9	73,6	11,5	2,39	3,343	61,9
Haziran	217,2	64,9	15,2	2,4	2,925	60,3
Temmuz	216,7	69,2	19,1	2,59	2,802	53,5
Ağustos	204,9	57,4	19,6	2,6	2,834	53,1
Eylül	164,7	46,8	14,8	2,1	2,681	55,4
Ekim	114	42	9,3	2,01	2,893	63,6
Kasım	75,5	29,5	2,9	2	2,594	67,4
Aralık	61	23,3	-2,7	2,3	2,465	77,5
Toplam	1678,2	583,6	7,5	2,4	2,905	65

Sivas bölgesi için beyaz, kum, asfalt zemin koşullarında çift yözlü PV panellerin ve aynı koşullardaki tek yözlü PV panellerin; Kolektöre yansıyan ışınımları, şebekeye aktarılan enerjileri ve performans oranları hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Her zemin koşulu için değerler Çizelge 4.14 ve 4.15'te verilmiştir. Tek yözlü PV paneller için kolektöre yansıyan ışınımlar (KYI) yatay ışınımdan eğik düzleme aktarılması sonucu 1917,2 kWh/m² iken çift yözlü PV panellerin asfalt zeminde 1932,4 kWh/m², kum zeminde 1962,7 kWh/m² ve beyaz zeminde 2038,6 kWh/m² olarak bulunmuştur. Uzak ve lineer gölgelemeler, yansıma etkisi kayıpları gibi optik kayıplardan etkilenen kolektöre yansıyan ışınımlar tek yözlü PV için 1840,5 kWh/m², çift yözlü PV paneller için asfalt zeminde 1846,5 kWh/m², kum zeminde 1858,4 kWh/m² ve beyaz zemin 1888,1 kWh/m² bulunmaktadır. Işınım değerlerinin zeminin albedo oranına oldukça bağlı olduğu gösterilmektedir. Mevsimsel olarak yaz aylarında kolektöre yansıyan ışınım değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Performans oranların ise yıllık ortalamalarına bakıldığında beyaz zemin ve kum zemin hariç diğerlerinin 0,9'un altında olduğu gösterilmektedir.

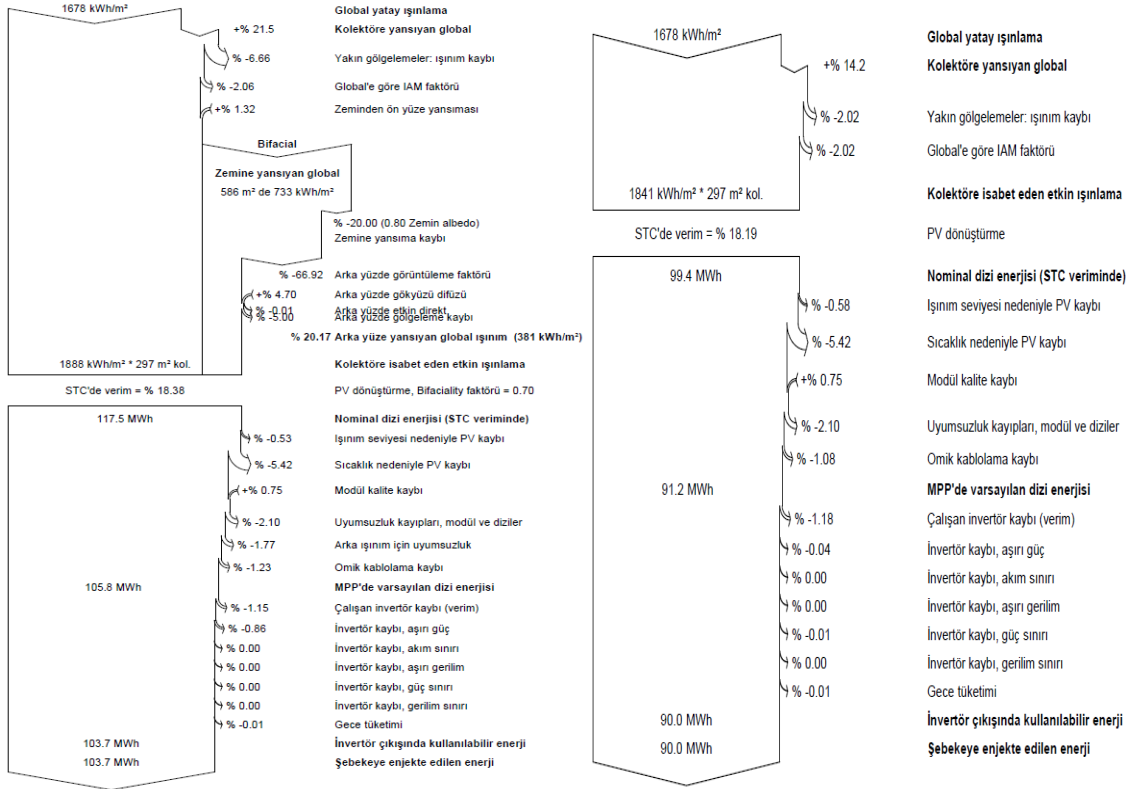
Çizelge 4.14. Sivas bölgesinde asfalt zeminde çift yözlü PV paneller ve tek yözlü PV paneller için elde edilen aylık değerler

Aylar	Asfalt Zeminde Çift Yözlü PV Paneller					Tek yözlü PV				
	KYI	KKYI	ŞAE	KŞAE	PO	KYI	KKYI	ŞAE	KŞAE	PO
	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh		kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	
Ocak	102,8	95,3	5,224	5,161	0,93	102,2	95,1	5,089	5,028	0,911
Şubat	123,8	119,4	6,458	6,383	0,955	123	119,1	6,28	6,206	0,934
Mart	152,3	146,6	7,747	7,656	0,931	151,2	146,2	7,49	7,401	0,907
Nisan	167,6	160,8	8,319	8,219	0,908	166,1	160,2	8,027	7,93	0,884
Mayıs	185,1	176,9	9,007	8,899	0,891	183,3	176,1	8,632	8,528	0,862
Haziran	196,4	188,2	9,404	9,287	0,875	194,5	187,3	9,013	8,9	0,847
Temmuz	200,4	191,8	9,417	9,302	0,86	198,4	191	9,03	8,919	0,832
Ağustos	211,5	203,7	9,829	9,716	0,851	209,7	203	9,488	9,376	0,828
Eylül	196,3	189,9	9,233	9,123	0,861	194,8	189,3	8,97	8,863	0,843
Ekim	159,8	154,4	7,876	7,785	0,902	158,7	154	7,656	7,567	0,883
Kasım	123,2	116,8	6,141	6,069	0,912	122,5	116,6	5,995	5,924	0,896
Aralık	113,3	102,7	5,567	5,501	0,899	112,8	102,5	5,451	5,387	0,885
Toplam	1932,4	1846,5	94,222	93,102	0,892	1917,2	1840,5	91,122	90,028	0,87

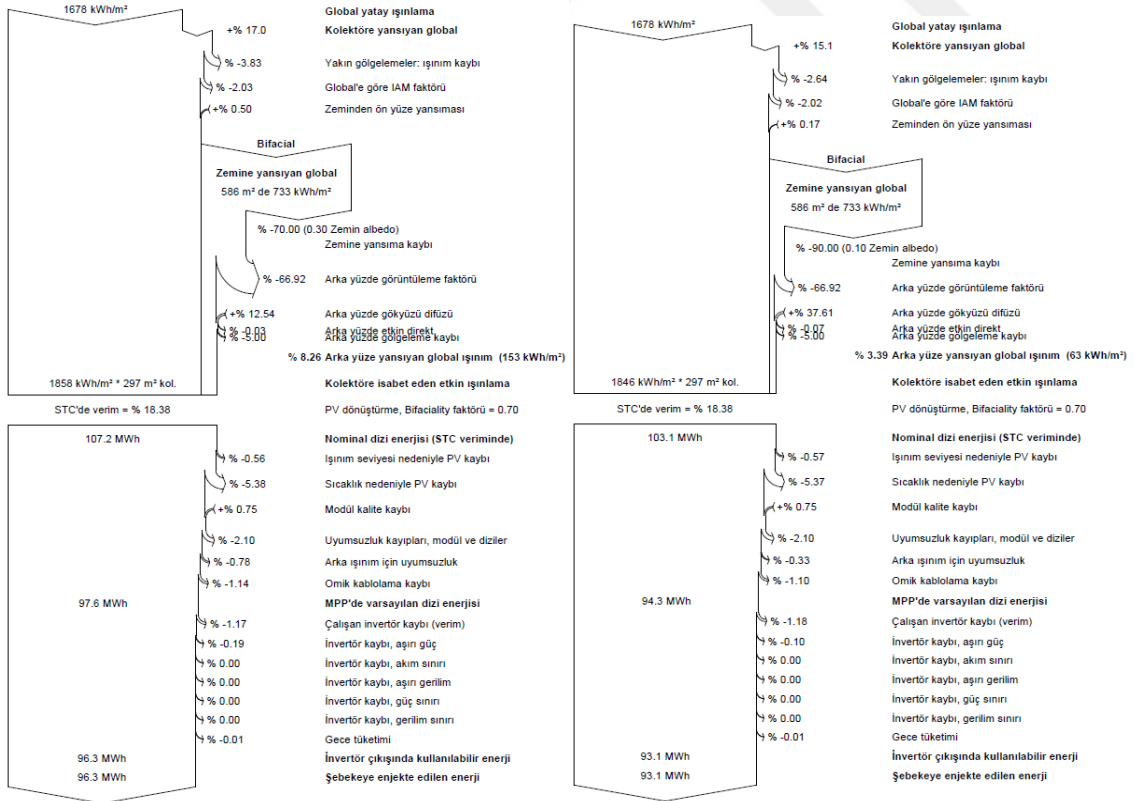
Çizelge 4.15. Sivas bölgesindeki Çift yüzlü PV paneller için beyaz ve kum zeminde elde edilen aylık değerler

Aylar	Beyaz Zeminde Çift Yüzlü PV Paneller					Kum Zeminde Çift Yüzlü PV Paneller				
	KYI	KKYI	ŞAE	KŞAE	PO	KYI	KKYI	ŞAE	KŞAE	PO
	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh		kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	
Ocak	106,7	96,5	5,51	5,45	0,946	103,9	95,6	5,31	5,24	0,935
Şubat	129,1	121,1	6,95	6,87	0,986	125,3	119,9	6,6	6,53	0,965
Mart	160,2	149,5	8,57	8,47	0,979	154,5	147,5	7,99	7,9	0,947
Nisan	177,5	164,8	9,34	9,23	0,962	170,4	161,9	8,62	8,52	0,926
Mayıs	197,5	182,3	10,42	10,29	0,965	188,6	178,4	9,43	9,32	0,915
Haziran	210,2	194,4	11,05	10,91	0,962	200,4	190	9,9	9,77	0,903
Temmuz	214,1	197,9	11,02	10,89	0,942	204,3	193,6	9,89	9,77	0,886
Ağustos	224,5	209	11,12	10,99	0,907	215,2	205,3	10,22	10,1	0,869
Eylül	206,7	193,7	10,1	9,98	0,894	199,3	191	9,5	9,39	0,872
Ekim	167	156,8	8,57	8,47	0,94	161,8	155,1	8,08	7,99	0,914
Kasım	127,9	118,2	6,49	6,41	0,928	124,5	117,2	6,24	6,17	0,917
Aralık	117,2	103,7	5,77	5,71	0,902	114,4	103	5,63	5,56	0,9
Toplam	2038,6	1888,1	104,91	103,68	0,942	1962,7	1858,4	97,42	96,27	0,908

PVsyst simülasyonunda Sivas bölgesinde Beyaz zemine kurulan Çift yüzlü PV panel ve tek yüzlü PV panellerin Kayıp Diyagramı Şekil 4.21'de, Asfalt zemin ve Kum zemindeki Çift yüzlü PV paneldeki Kayıplar ise Şekil 4.22'de gösterilmiştir. Tüm sistemlerde için yıllık toplam ışınım değeri 1678 kWh/m²'dir. Beyaz zeminin albedo oranı %80 alınmış ve zemine yansıyan küresel ışınım 586 m² de 733 kWh/m² olarak gösterilmiştir. Şebekeye aktarılan enerji değerleri karşılaştırıldığında beyaz zeminde çift yüzlü PV paneller için 104,91 MWh iken tek yüzlü PV panelde 91,12 MWh olarak bulunmuştur. Kayıplar çıkarıldığında şebekeye aktarılan enerjileri beyaz zemin için 103,68 MWh olurken tek yüzlü PV panelde 90,03 MWh olduğunu gösterilmiştir. Diğer tüm kayıplar içerisinde yaklaşık %5,4 sıcaklık nedeniyle PV kaybı değeri dikkat çekmektedir.



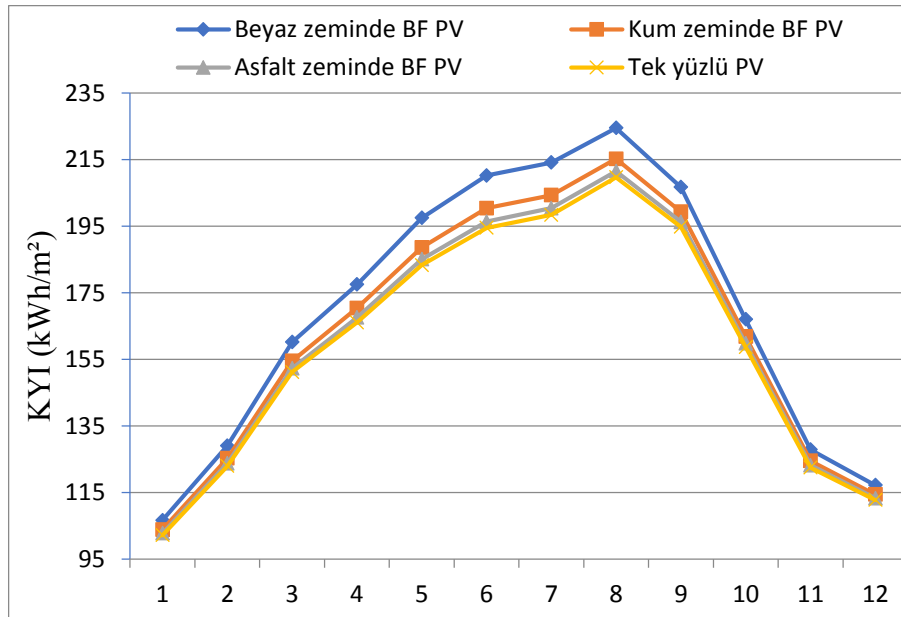
Şekil 4.21. Beyaz zemin (solda) üzerine kurulan Çift yüzlü ve Tek yüzlü (sağ) PV panellerin Kayıp Diyagramları



Şekil 4.22. Kum zeminde Çift yüzlü (solda) ve Asfalt zeminde Çift yüzlü (sağda) PV panellerin Kayıp Diyagramları

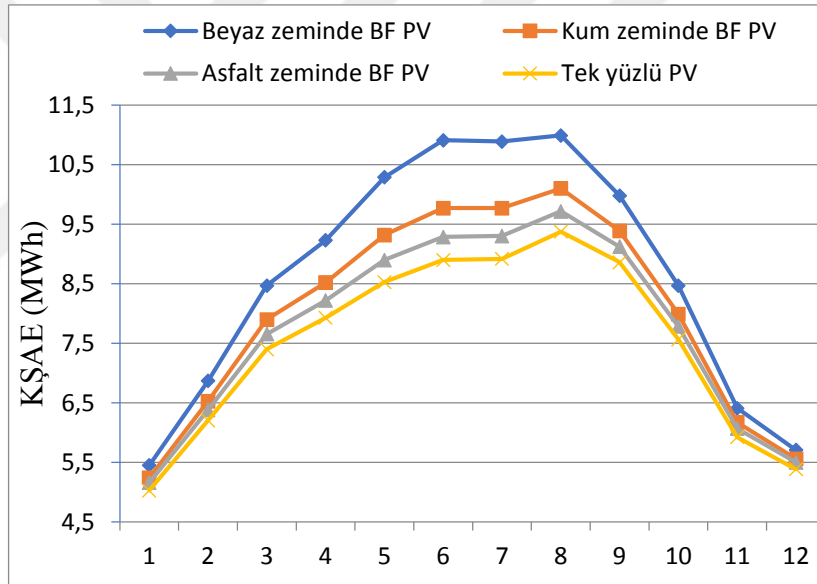
Kum zeminin albedo değerinin %30 ve asfalt zeminin albedo değerinin %10 olduğu Şekil 4.22'de gösterilmiştir. Albedo oranları aynı zamanda toplam küresel ışınımın kum ve asfalt zeminde 733 kWh/m^2 değerinin ne kadarının PV panellerin arka yüzeyi tarafından kullanılabilirdiğini gösteren bir değerdir. Dizinin çıkışında etkin enerji değerleri kum zeminde $97,42 \text{ MWh}$ iken asfalt zeminde $94,22 \text{ MWh}$ olarak bulunmuştur. Tüm kayıplar çıkarıldığında yıllık şebekeye aktarılan enerjileri kum zemin için $96,27 \text{ MWh}$ olurken asfalt zeminde $93,1 \text{ MWh}$ olarak bulunmuştur.

Şekil 4.23'te Sivas bölgesi için farklı zemin koşullarında (beyaz, kum, asfalt) çift yüzü PV paneller ve tek yüzü PV için küresel ışınım değerlerinin aylara göre değişimi verilmiştir. Işınım değerleri kış aylarında düşükken yaz aylarında artmaktadır. En fazla ışınım oluşan aylardan olan ağustos ayında beyaz zemin için $224,5 \text{ kWh/m}^2$ ışınım değeri oluşurken kum zemin için $215,2 \text{ kWh/m}^2$, asfalt zeminde $211,5 \text{ kWh/m}^2$ ve tek yüzü PV panelde $209,7 \text{ kWh/m}^2$ hesaplanmıştır. Ağustos ayında beyaz zeminde çift yüzü PV panellerin tek yüzü PV panele göre kolektöre yansıyan ışınımı karşılaştırıldığında beyaz zeminde çift yüzü PV panellerin %7 daha yüksek olduğu gösterilmiştir. Farklı zemin koşullarında PV panellerin arka yüzeylerinde oluşan ışınımın etkisine bağlı olduğu gösterilmektedir. Sivas bölgesinin ağustos ayında kolektöre yansıyan ışınımı Konya bölgesinden %0,1 az çıkmıştır.



Şekil 4.23. Sivas bölgesinde kolektöre yansıyan aylık ışınım

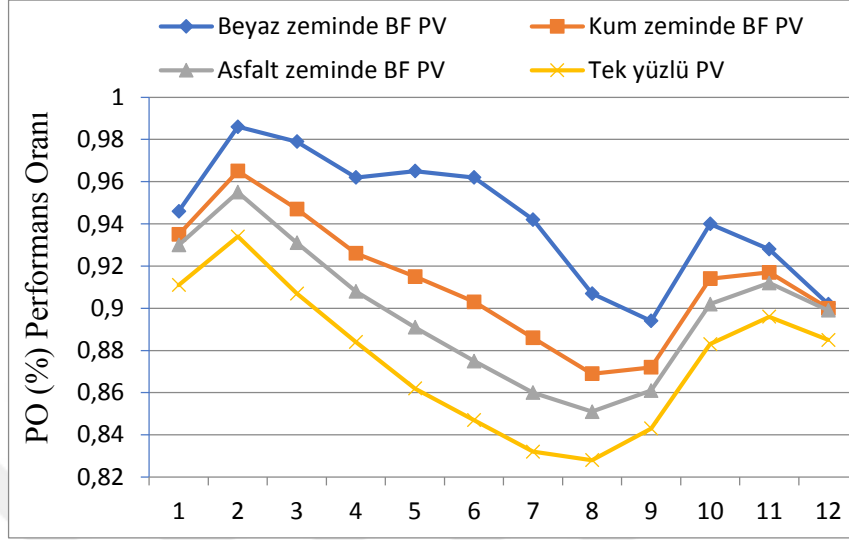
Sivas bölgesi için farklı zemin koşullarında çift yüzlü ve tek yüzlü PV panellerin elektrik üretim değerlerinin aylara göre değişimi Şekil 4.24'te verilmiştir. Analizlerde ışınımın en yüksek olduğu aylardan olan ağustos ayında Beyaz zemine kurulu çift yüzlü PV panelin tek yüzlü PV panele göre kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjisi %17,2 daha fazla olduğu gösterilmektedir. Yıllık kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerji beyaz zemindeki çift yüzlü PV panelde 103,7 MWh iken tek yüzlü PV panelde 90,03 MWh'tir. Beyaz zeminde kurulu çift yüzlü PV panellerin tek yüzlü PV panellere göre yıllık kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjisini karşılaştırdığımızda %15,1 daha fazla olduğu bulunmuştur. Kum ve asfalt yüzeylere kurulan çift yüzlü PV panellerin de enerji üretim değerinin tek yüzlü PV panellere göre daha fazla olduğu ancak beyaz zemine göre oldukça düşük olduğu da gösterilmektedir. Konya bölgesinde yıllık beyaz zeminde çift yüzlü fotovoltaik panellerin tek yüzlü fotovoltaik panellere oranı Sivas bölgesinden %0,8 fazla çıkmıştır.



Şekil 4.24. Sivas bölgesinde farklı PV paneller ve yüzey koşulları için aylara göre kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerji

Sivas bölgesinde farklı zemin koşullarına kurulan çift yüzlü PV panellerin ve tek yüzlü PV panellerin aylara göre performans oranları (PO) Şekil 4.25'de verilmiştir. Yıllık ortalama değerlere göre çift yüzlü PV panellerin PO beyaz zemin için 0,942 kum zemin için 0,908 asfalt zemin için 0,892 olarak bulunmuştur. Tek yüzlü PV paneller için PO değeri ise 0,87 hesaplanmıştır. Temmuz ayında beyaz zemine kurulu çift yüzlü PV panellerin performans oranı 0,942 iken tek yüzlü PV panellerin 0,832 değeri karşılaştırıldığında çift yüzlü PV panellerin %13,2 daha fazla çıkmıştır. Beyaz zemindeki

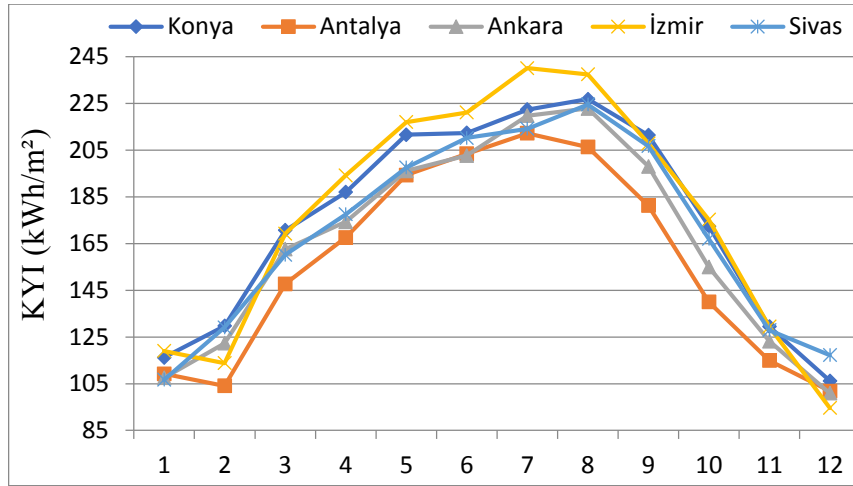
çift yüzlü PV panelin tek yüzlü PV panellerle arasındaki en fazla fark ise haziran ayında çıkmıştır. Beyaz zemine kurulu çift yüzlü ve tek yüzlü PV panellerin yıllık performansları incelendiğinde beyaz zeminin PO değerinin %8,2 daha fazla olduğu gösterilmektedir.



Şekil 4.25. Sivas Bölgesinde çift yüzlü ve tek yüzlü PV paneller için PO değerleri

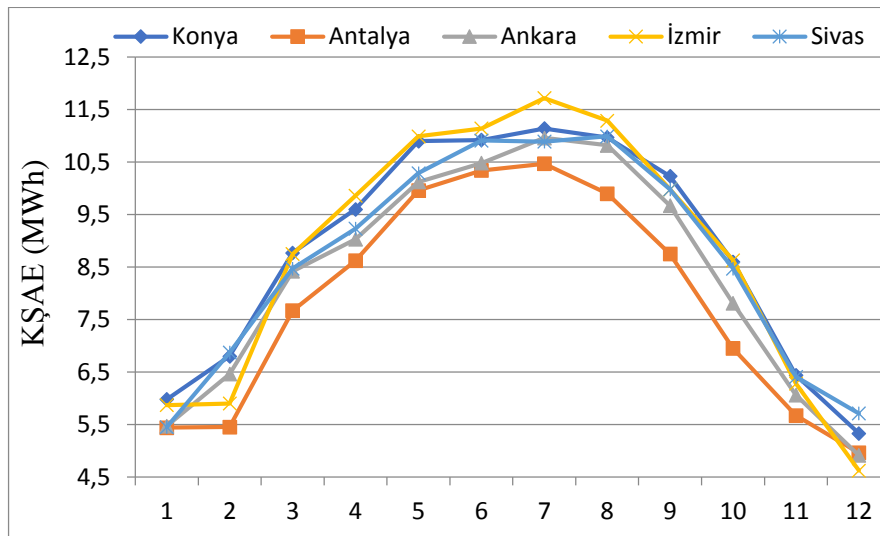
4.1.6. Beyaz Zemin Koşulunda Bölgelerin Performans Analizi

Beyaz zemin koşullarında Ankara, Antalya, Konya, İzmir ve Sivas bölgelerinin aylara göre kolektöre yansıyan ışınımları, şebekeye aktarılan enerjileri ve performans oranları hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Bütün bölgelerde Beyaz zeminin albedo oranı %80 alınmıştır. Işınım değerleri kış aylarında düşükken yaz aylarında artmaktadır (Şekil 4.26). Bölgelerin yıllık kolektöre yansıyan ışınımlarına bakıldığında Ankara bölgesinin 1984,8 kWh/m², Antalya bölgesinin 1882,6 kWh/m², Konya bölgesinin 2095,9 kWh/m², İzmir bölgesinin 2118,9 kWh/m² ve Sivas bölgesinin 2038,6 kWh/m² olarak bulunmuştur. Beyaz zeminde çift yüzlü PV panellerin yıllık kolektöre yansıyan ışınımları karşılaştırıldığında Konya bölgesinin; Ankara bölgesinden %5,6, Antalya bölgesinden %11,3 ve Sivas bölgesinden %2,8 daha yüksek çıkmıştır. İzmir bölgesi ise Konya bölgesinden %1,1 daha yüksek çıkmıştır. Beyaz zemin koşullarında çift yüzlü PV panellerde Konya bölgesi ve Ankara bölgesine göre Ağustos ayında kolektöre yansıyan ışınımları karşılaştırıldığında %1,8 daha fazla olduğu gösterilmiştir.



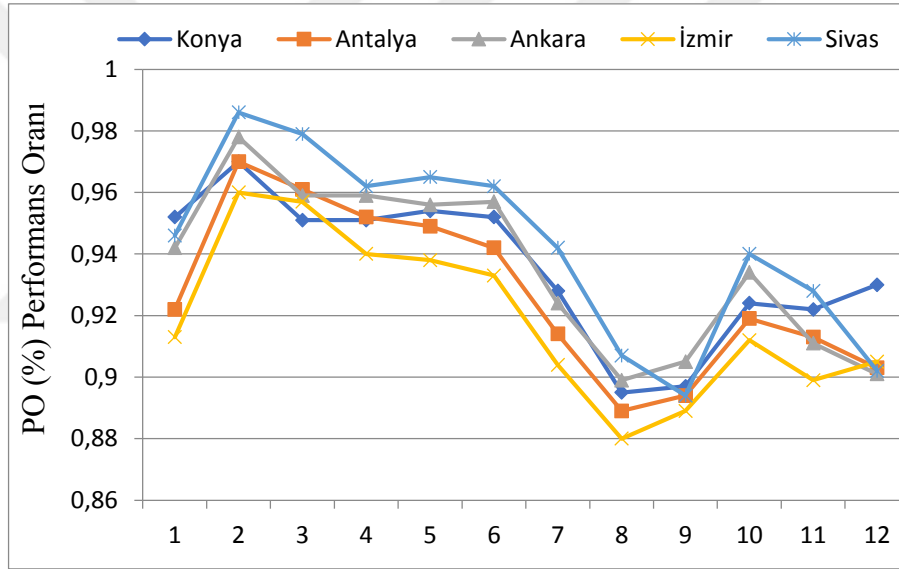
Şekil 4.26. Beyaz zeminde kolektöre yansıyan ışınımın bölgelere göre dağılımı

Beyaz zemin koşullarında bölgelerin yıllık kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjilerine bakıldığında Ankara bölgesinin 100,22 MWh, Antalya bölgesinin 94,17 MWh, Konya bölgesinin 105,69 MWh, İzmir bölgesinin 105,01 MWh ve Sivas bölgesinin 103,68 MWh olarak bulunmuştur. Kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjilerine bakıldığında Konya bölgesinin 105,69 MWh ile en fazla olduğu gösterilmiştir. Beyaz zemin koşulunda çift yüzlü PV panellerin kayıplar sonrası yıllık şebekeye aktarılan enerjileri karşılaştırıldığında Konya bölgesinin; Ankara bölgesinden %5,4 Antalya bölgesinden %12,2 İzmir bölgesinden %0,5 ve Sivas bölgesinden %1,9 daha yüksek olduğu bulunmuştur. Işınımın en fazla olduğu aylardan birisi olan temmuz ayında kayıplar sonrası yıllık şebekeye aktarılan enerjileri karşılaştırıldığında Konya bölgesi Ankara bölgesinden %1,6 daha fazla olduğu gösterilmiştir (Şekil 4.27).



Şekil 4.27. Beyaz zeminde kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjilerin bölgelere göre dağılımı

Beyaz zemin koşullarında çift yüzü PV paneller bölgelerin yıllık performans oranlarına bakıldığında Ankara bölgesinin 0,935 Antalya bölgesinin 0,926 Konya bölgesinin 0,934 İzmir bölgesinin 0,918 ve Sivas bölgesinin 0,942 olarak bulunmuştur. Beyaz zemin koşulunda çift yüzü PV panellerin yıllık performans oranları karşılaştırıldığında Konya bölgesinin; Antalya bölgesinden %0,8 İzmir bölgesinden %1,7 daha yüksek olduğu ve Ankara bölgesinden %0,1 Sivas bölgesinden %0,8 daha az olduğu bulunmuştur. Beyaz zeminde çift yüzü PV panellerin Konya bölgesinin İzmir bölgesine göre haziran ayı için performans oranları karşılaştırıldığında Konya bölgesinin %2 daha fazla olduğu gösterilmiştir. Aralık ayında Konya bölgesinin performans oranı diğer bölgelerin hepsinden daha fazla olduğu gösterilmiştir (Şekil 4.28).

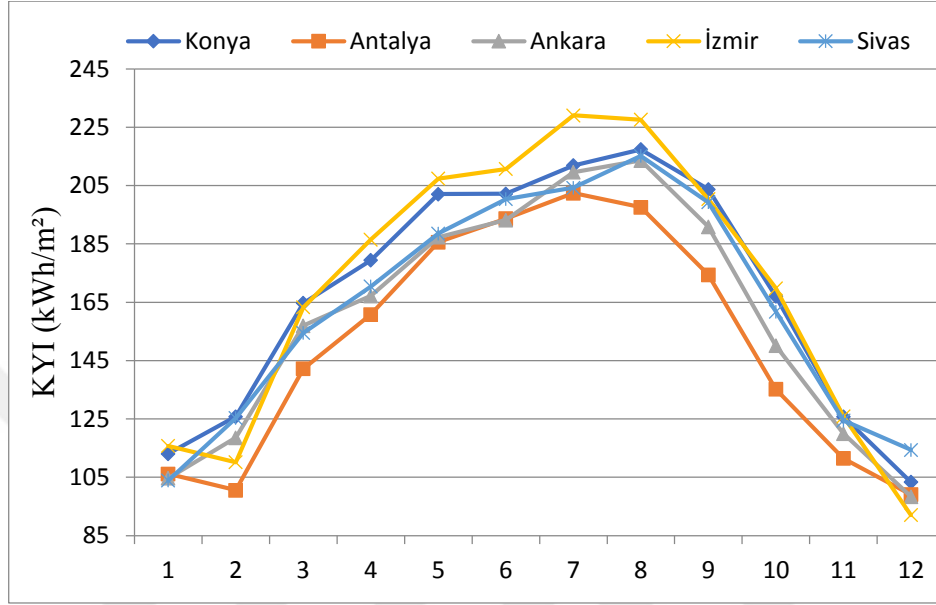


Şekil 4.28. Beyaz zeminde bölgelerin performans oranlarının dağılımı

4.1.7. Kum Zemin Koşulunda Bölgelerin Performans Analizi

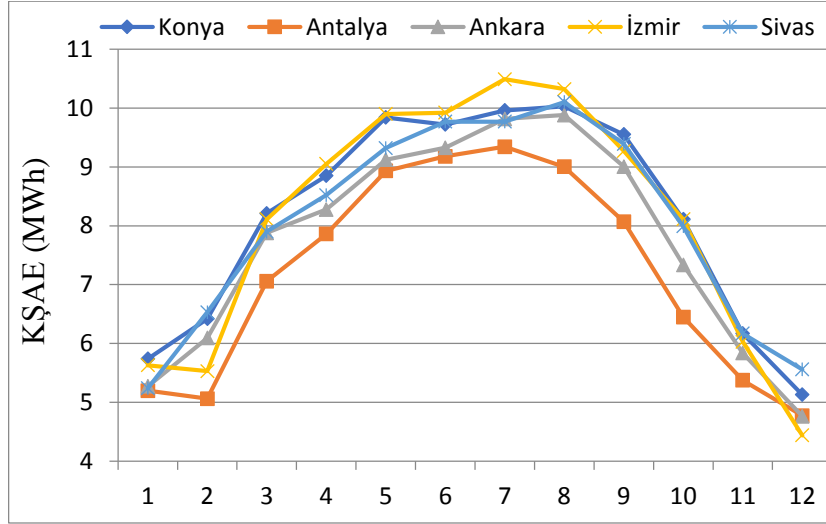
Kum zemin koşullarında Ankara, Antalya, Konya, İzmir ve Sivas bölgelerinin aylara göre kolektöre yansıyan ışınımları, şebekeye aktarılan enerjileri ve performans oranları hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Bütün bölgelerde kum zeminin albedo oranı %30 alınmıştır. Işınım değerleri kış aylarında düşükken yaz aylarında artmaktadır (Şekil 4.29). Bölgelerin yıllık kolektöre yansıyan ışınımlarına bakıldığında Ankara bölgesinin 1910,6 kWh/m², Antalya bölgesinin 1809,3 kWh/m², Konya bölgesinin 2016,6 kWh/m², İzmir bölgesinin 2038,9 kWh/m² ve Sivas bölgesinin 1962,7 kWh/m² olarak bulunmuştur. İzmir bölgesinin 2038,9 kWh/m² ile en fazla olduğu gösterilmiştir. Kum zemin koşulunda çift

yüzlü PV panellerin kolektöre yansıyan global ışınımına karşılaştırıldığında haziran ayında Konya bölgesinin; Ankara bölgesinden %1,5 Antalya bölgesinden %4,9 ve Sivas bölgesinden %0,9 daha yüksek çıkmıştır. İzmir bölgesi ise Konya bölgesinden %4,2 daha yüksek çıkmıştır.



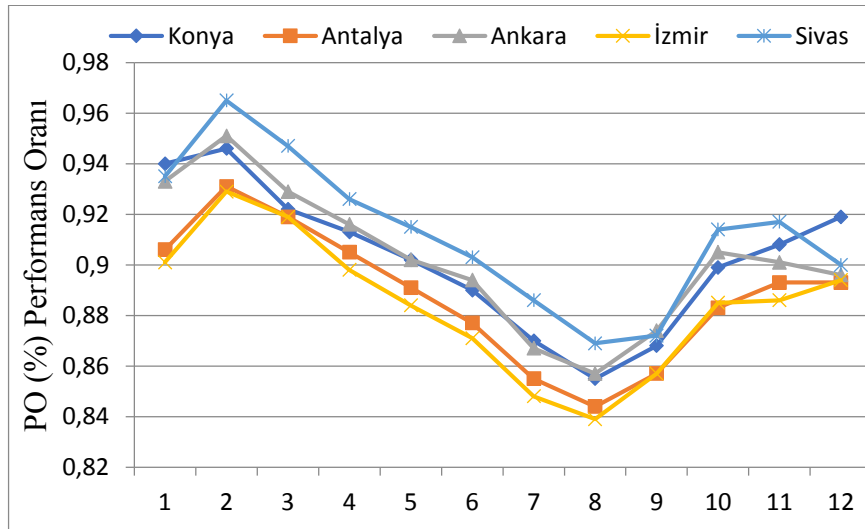
Şekil 4.29. Kum zeminde kolektöre yansıyan ışınımın bölgelere göre dağılımı

Kum zemin koşullarında bölgelerin yıllık kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjilerine bakıldığında Ankara bölgesinin 92,6 MWh, Antalya bölgesinin 86,3 MWh, Konya bölgesinin 97,73 MWh, İzmir bölgesinin 96,8 MWh ve Sivas bölgesinin 96,27 MWh olarak bulunmuştur. Kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjilerine bakıldığında Konya bölgesinin 97,73 MWh ile en fazla olduğu gösterilmiştir. Kum zemin koşulunda çift yüzlü PV panellerin yıllık kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjileri karşılaştırıldığında Konya bölgesinin; Ankara bölgesinden %5,5 Antalya bölgesinden %13,2 İzmir bölgesinden %0,9 ve Sivas bölgesinden %1,5 daha yüksek olduğu bulunmuştur. Işınımın en fazla olduğu aylardan birisi olan haziran ayında kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjileri karşılaştırıldığında Konya bölgesi Antalya bölgesinden %5,8 daha fazla olduğu gösterilmiştir (Şekil 4.30).



Şekil 4.30. Kum zeminde kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjilerin bölgelere göre dağılımı

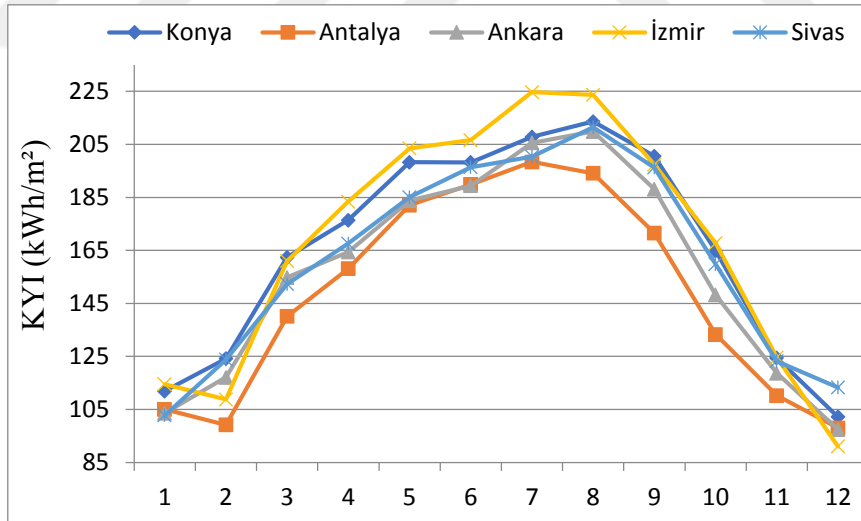
Kum zemin koşullarında çift yüzü PV paneller bölgelerin yıllık performans oranlarına bakıldığında Ankara bölgesinin 0,898 Antalya bölgesinin 0,883 Konya bölgesinin 0,897 İzmir bölgesinin 0,879 ve Sivas bölgesinin 0,908 olarak bulunmuştur. Kum zeminde çift yüzü PV panellerin yıllık performans oranları karşılaştırıldığında Konya bölgesinin; Antalya bölgesinden %1,5 İzmir bölgesinden %2 daha yüksek olduğu ve Ankara bölgesinden %0,1 Sivas bölgesinden %1,2 daha az olduğu bulunmuştur. Kum zemin koşullarında Ankara bölgesinin Konya bölgesine göre haziran ayı için performans oranları karşılaştırıldığında Ankara bölgesinin %0,4 daha fazla olduğu gösterilmiştir. aralık ayında Konya bölgesinin performans oranı diğer bölgelerin hepsinden daha fazla olduğu gösterilmiştir (Şekil 4.31).



Şekil 4.31. Kum zeminde bölgelerin performans oranlarının dağılımı

4.1.8. Asfalt Zemin Koşulunda Bölgelerin Performans Analizi

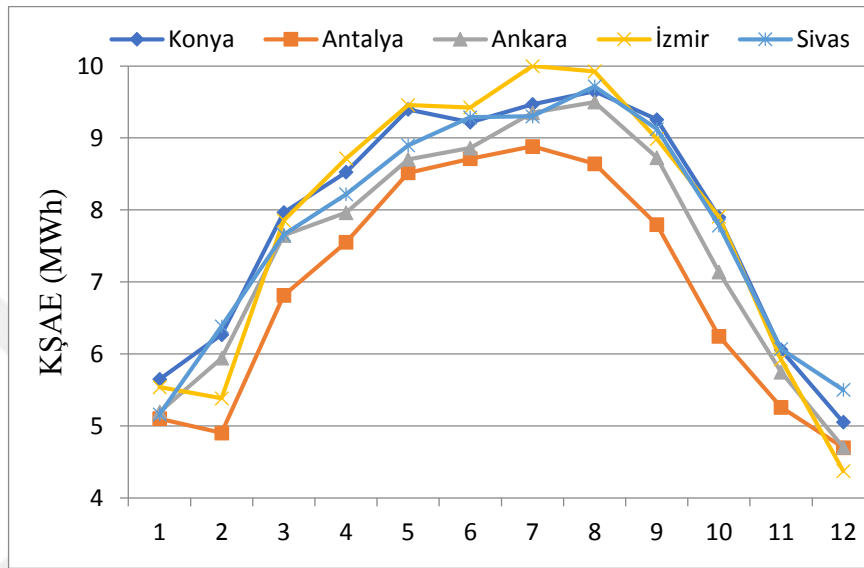
Asfalt zemin koşullarında çift yüzü PV paneller Ankara, Antalya, Konya, İzmir ve Sivas bölgelerinin aylara göre kolektöre yansıyan ışınımaları, şebekeye aktarılan enerjileri ve performans oranları hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Bütün bölgelerde asfalt zeminin albedo oranı %10 alınmıştır. Işınım değerleri kış aylarında düşükken yaz aylarında artmaktadır (Şekil 4.32). Bölgelerin yıllık kolektöre yansıyan ışınımına bakıldığında Ankara bölgesinin 1880,9 kWh/m², Antalya bölgesinin 1780 kWh/m², Konya bölgesinin 1984,9 kWh/m², İzmir bölgesinin 2006,9 kWh/m² ve Sivas bölgesinin 1932,4 kWh/m² olarak bulunmuştur. Kolektöre yansıyan ışınımına bakıldığında İzmir bölgesinin 2006,9 kWh/m² ile en fazla olduğu gösterilmiştir. Asfalt zemin koşulunda çift yüzü PV panellerin kolektöre yansıyan global ışınımına karşılaştırıldığında temmuz ayında Konya bölgesinin; Ankara bölgesinden %5,5 Antalya bölgesinden %4,7 ve Sivas bölgesinden %3,7 daha yüksek çıkmıştır. İzmir bölgesi ise Konya bölgesinden %7,5 daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 4.32. Asfalt zeminde kolektöre yansıyan ışınımın bölgelere göre dağılımı

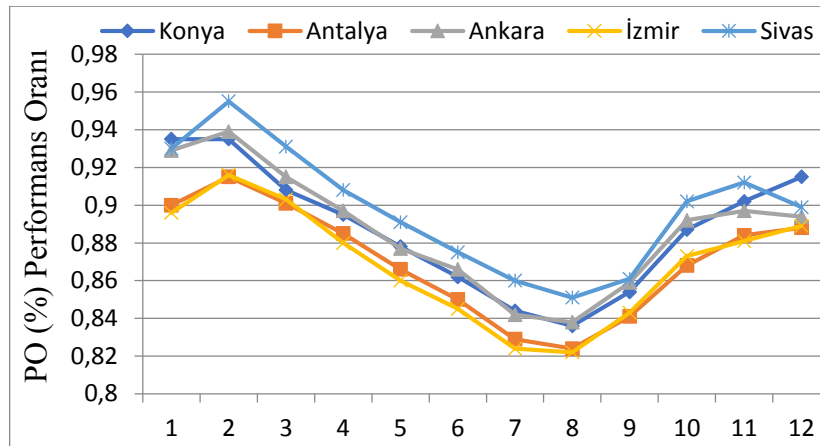
Asfalt zemin koşullarında çift yüzü PV paneller bölgelerin yıllık kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjilerine bakıldığında Ankara bölgesinin 89,47 MWh, Antalya bölgesinin 83,12 MWh, Konya bölgesinin 94,40 MWh, İzmir bölgesinin 93,49 MWh ve Sivas bölgesinin 93,10 MWh olarak bulunmuştur. Kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjilerine bakıldığında Konya bölgesinin 94,40 MWh ile en fazla olduğu gösterilmiştir.

Asfalt zemin koşulunda çift yüzlü PV paneller yıllık kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjileri karşılaştırıldığında Konya bölgesinin; Ankara bölgesinden %5,5 Antalya bölgesinden %13,5 İzmir bölgesinden %0,9 ve Sivas bölgesinden %1,4 daha yüksek olduğu bulunmuştur. Işınımın en fazla olduğu aylardan birisi olan temmuz ayında kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjileri karşılaştırıldığında Konya bölgesi İzmir bölgesinden %5,3 daha az olduğu gösterilmiştir (Şekil 4.33).



Şekil 4.33. Asfalt zeminde kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjilerin bölgelere göre dağılımı

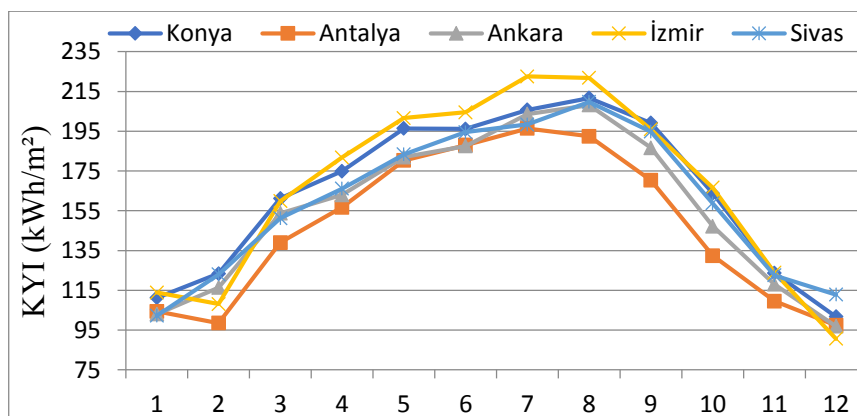
Asfalt zemin koşullarında çift yüzlü PV paneller bölgelerin yıllık performans oranlarına bakıldığında Ankara bölgesinin 0,881 Antalya bölgesinin 0,865 Konya bölgesinin 0,881 İzmir bölgesinin 0,863 ve Sivas bölgesinin 0,892 olarak bulunmuştur. Asfalt zeminde çift yüzlü PV panellerin Konya bölgesinin yıllık performans oranlarına karşılaştırıldığında Konya bölgesinin; Antalya bölgesinden %1,8 İzmir bölgesinden %2 daha yüksek olduğu, Ankara bölgesiyle eşit ve Sivas bölgesinden %1,2 daha az olduğu bulunmuştur. Asfalt zemin koşullarında Konya bölgesinin Sivas bölgesine göre temmuz ayı için performans oranları karşılaştırıldığında Konya bölgesinin %1,8 daha az olduğu gösterilmiştir. Aralık ayında Konya bölgesinin performans oranı diğer bölgelerin hepsinden daha fazla olduğu gösterilmiştir (Şekil 4.34).



Şekil 4.34. Asfalt zeminde bölgelerin performans oranlarının dağılımı

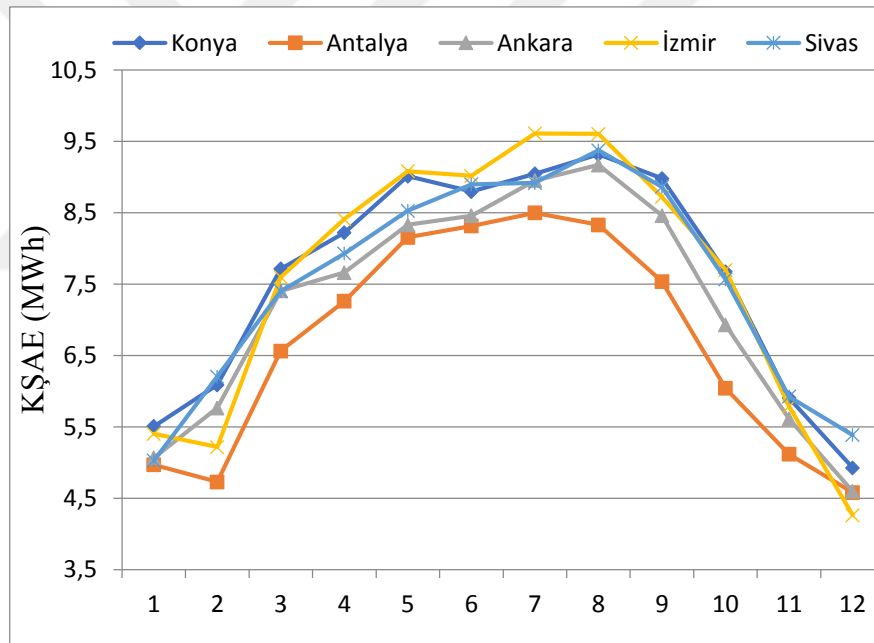
4.1.9. Tek Yüzlü PV Panellerin Performans Analizi

Tek yüzlü PV panellerin Ankara, Antalya, Konya, İzmir ve Sivas bölgelerinin aylara göre kolektöre yansıyan ışınımları, şebekeye aktarılan enerjileri ve performans oranları hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Bütün bölgelerde tek yüzlü PV panellerinin albedo oranı alınmamıştır. Işınm değerleri kış aylarında düşükken yaz aylarında artmaktadır (Şekil 4.35). Bölgelerin yıllık kolektöre yansıyan ışınımlarına bakıldığında Ankara bölgesinin 1866,1 kWh/m², Antalya bölgesinin 1765,4 kWh/m², Konya bölgesinin 1969 kWh/m², İzmir bölgesinin 1990,9 kWh/m² ve Sivas bölgesinin 1917,2 kWh/m² olarak bulunmuştur. Kolektöre yansıyan ışınımlarına bakıldığında İzmir bölgesinin 2006,9 kWh/m² ile en fazla olduğu gösterilmiştir. Tek yüzlü PV panellerin yıllık kolektöre yansıyan global ışınımına karşılaştırıldığında Konya bölgesinin; Ankara bölgesinden %7,5 Antalya bölgesinden %11,5 ve Sivas bölgesinden %2,7 daha yüksek ve İzmir bölgesinden %1,9 daha düşük çıkmıştır.



Şekil 4.35. Tek yüzlü PV panellerin kolektöre yansıyan ışınımların bölgelere göre dağılımı

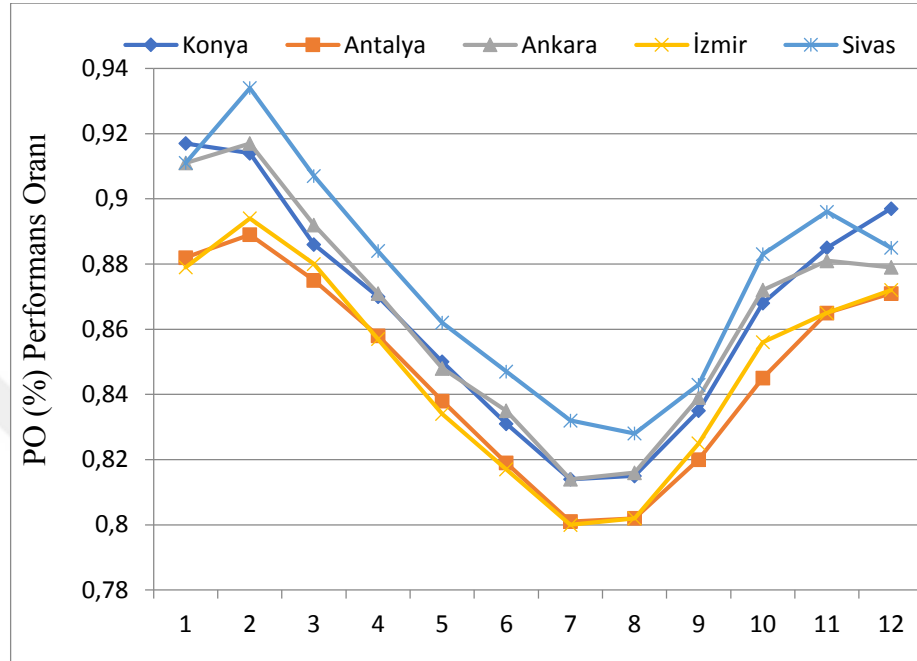
Farklı bölgelerde Tek yüzlü PV panellerin yıllık kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjilerine bakıldığında Ankara bölgesinin 86,41 MWh, Antalya bölgesinin 80,1 MWh, Konya bölgesinin 91,19 MWh, İzmir bölgesinin 90,42 MWh ve Sivas bölgesinin 90 MWh olarak bulunmuştur. Kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjilerine bakıldığında Konya bölgesinin 91,19 MWh ile en fazla olduğu gösterilmiştir. Tek yüzlü PV panellerin yıllık kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjileri karşılaştırıldığında Konya bölgesinin; Ankara bölgesinden %5,4 Antalya bölgesinden %13,8 İzmir bölgesinden %0,8 ve Sivas bölgesinden %1,3 daha yüksek olduğu bulunmuştur. Işınımın en fazla olduğu aylardan birisi olan ağustos ayında kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjileri karşılaştırıldığında Konya bölgesi Ankara bölgesinden %1,5 daha fazla olduğu gösterilmiştir (Şekil 4.36).



Şekil 4.36. Tek yüzlü PV panellerin kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjilerin bölgelere göre dağılımı

Tek yüzlü PV panellerin farklı bölgelerde yıllık performans oranlarına bakıldığında Ankara bölgesinin 0,858 Antalya bölgesinin 0,84 Konya bölgesinin 0,858 İzmir bölgesinin 0,841 ve Sivas bölgesinin 0,87 olarak bulunmuştur. Tek yüzlü PV panellerin yıllık performans oranlarına bakıldığında Konya bölgesinin; Antalya bölgesinden %2,1 İzmir bölgesinden %2 daha yüksek olduğu, Ankara bölgesiyle eşit ve Sivas bölgesinden %1,4 daha az olduğu bulunmuştur. Tek yüzlü PV panellerin Konya

bölgesinin Antalya bölgesine göre temmuz ayı için performans oranları karşılaştırıldığında Konya bölgesinin %1,6 daha fazla olduğu gösterilmiştir. Aralık ayında Konya bölgesinin performans oranı diğer bölgelerin hepsinden daha fazla olduğu gösterilmiştir (Şekil 4.37).



Şekil 4.37. Farklı bölgelerde tek yönlü PV panellerin Performans oranlarının dağılımı

4.2. Ekonomik Analiz

Tek yüzlü fotovoltaik paneller ve çift yüzlü fotovoltaik panellerin beyaz zemin koşullundaki sistemler için ekonomik analizler yapılmıştır. Çalışmada 5 farklı il için analizler yapılsa da, çift yüzlü fotovoltaik panellerin yıllık kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerji değerleri 105,69 MWh ile en fazla enerji üretimi gerçekleşen bölge olan Konya bölgesinde maliyet analizi yapılmıştır. Konya bölgesinde tek yüzlü PV panellerde yıllık üretilen enerji değeri ise 91,197 MWh'tir. Sistem elemanlarının Türk Lirası üzerinden fiyatları Çizelge 4.16'da gösterilmektedir. Birim fiyatları kullanılarak hesaplanan toplam adetlere göre toplam maliyet ise Çizelge 4.17'de gösterilmektedir. Çift yüzlü PV panelleri ve tek yüzlü PV panelleri için aynı kablo, invertör, taşıyıcı sistem ve sayaç kullanılacağı kabul edilmiştir.

Çizelge 4.16. PV sistem elemanlarının adet fiyatları

Malzeme Birim Fiyatları	Adet (TL)
Çift Yüzlü PV Monokristal Panel (Wp)	2.648,63
Tek Yüzlü PV Monokristal Panel (Wp)	2.525,44
İnvertör (kW)	96.500,40
Solar Kablo (AC-DC) (m)	17,40
Taşıyıcı sistem ve montaj elemanları	50.000,00
Çift Taraflı Sayaç	2300,00
MPPT	1.724,69
Proje geliştirme, Genel masraflar, Montaj	30.000,00
Çatı zemin boyası (beyaz) m ²	10,00

Çizelge 4.17. PV sistem elemanlarının adete göre maliyeti

Hücre Tipi	Çift Yüzlü PV		Tek Yüzlü PV
	Adet	TL	TL
Fotovoltaik Panel 300 Wp	180	476.753,4	454.579,2
İnvertör	1	96.500,40	
Solar Kablo (AC-DC) (m)	2450	42.630	
MPPT	3	5.174	
Taşıyıcı sistem ve elemanları	1	50000	
Çift Taraflı Sayaç	1	2300	
Proje, Genel masraflar, Montaj	1	30000	
Beyaz Zemin Boya ve İşçilik	600 m ²	6000	-
Toplam		709.357,8	681.183,6

Tek yüzlü fotovoltaik panellerin nakit akımı ve çift yüzlü fotovoltaik panellerin nakit akımının yıllara göre değişimleri Çizelge 4.18 ve Çizelge 4.19’da gösterilmiştir. Proje ömrü 25 yıl, yıllık bakım giderleri ise 16.000 TL, hurda değeri ise 60.000 TL olarak kabul edilmiştir. Yapılan hesaplamalarda, elektrik kullanımından tasarruf sağlaması için şebekeye satışı yapılabilecek kapasitede elektrik elde edilebilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak üretilen elektrik enerjisi üretiminin şebekeye satılması ile ilgili kWh başına 2,56 TL olarak belirlemiştir (Anonim 2022). Buna göre yapılan hesaplamada Tek yüzlü PV uygulamasında yıllık enerji tasarrufu 233.464,32 TL iken, Çift yüzlü PV panelde enerji tasarrufu 270.566,4 TL olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.18. Tek yüzlü PV panellerin nakit akım tablosu

Tek Yüzlü PV /Yıllar	0	1	2	3	25
Yatırım Maliyeti	-681.183,6					
İşletme ve bakım maliyeti		-16.000	-16.000	-16.000	-16.000	-16.000
Enerji tasarrufu/gelir		233.464,3	233.464,3	233.464,3	233.464,3	233.464,3
Hurda Değeri						60.000
Net Bütçe	-681.183,6	217.464,3	217.464,3	217.464,3	217.464,3	277.464,3

Çizelge 4.19. Çift yüzlü PV panellerin nakit akımı

Çift Yüzlü PV/Yıllar	0	1	2	3	25
Yatırım Maliyeti	- 709.357,8					
İşletme ve bakım maliyeti		-16.000	-16.000	-16.000	-16.000	-16.000
Enerji tasarrufu-gelir		270.566,4	270.566,4	270.566,4	270.566,4	270.566,4
Hurda Değeri						60.000
Net Bütçe	- 709.357,8	254.566,4	254.566,4	254.566,4	254.566,4	314.566,4

Projelerin karşılaştırılması için farklı ekonomik analiz yöntemleri kullanılmıştır.

4.2.1. Basit Geri Ödeme Süresi Yöntemi

Projeye yapılan yatırım bedelinin, yıllık net kazanç ile ne kadar sürede geri kazanılacağını hesaplama yöntemine basit geri ödeme süresi yöntemi denir. Yapılan hesaplama sonucunda çıkan süre yatırımcı için beklenen geri ödeme süresinin altında ise yatırım yapılması uygundur. (Perdahlıyan ve Öztuna, 2021)

$$\text{Geri Ödeme Süresi} = (\text{Yatırım Bedeli}) / (\text{Yıllık Net Kazanç}) \quad (4.1)$$

Buna göre yapılan hesaplamada Tek yüzlü PV panellerin basit geri ödeme süresi 3,1 yıl iken Çift yüzlü PV panellerde 2,7 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlarla çift yüzlü fotovoltaik panelin tek yüzlü fotovoltaik panele göre 0,4 yıl geri ödeme süresi daha kısadır.

4.2.1.2. Net Bugünkü Değer Yöntemi

Bu hesaplama yönteminde, yatırım yapılacak projenin nakit akışlarının zaman değerine göre incelenmesi yapılmaktadır. Belli bir indirim oranına göre indirgenen net gelirler ile indirgenen giderler toplamları ve bunlara ek olarak hurdanın bugünkü değeri toplamı arasındaki farka bir yatırımın net bugünkü değeri (P) denir. (Sarıaslan, 1990). $P > 0$ yani fark pozitif ise projenin yatırım yapılabilir olduğu kabul edilir. Birden fazla proje olması durumunda P’i yüksek olan proje tercih edilmelidir. Eğer $P = 0$ olursa yıllık hâsılat girdilerinin işletme maliyetleri ve yatırım maliyetlerini karşılamakta güçlük çektiği anlaşılacaktır. (Brigham ve Houston, 1999)

Net bugünkü değer yöntemi aşağıdaki formülle ifade edilebilmektedir. (Aksoy, 2011) İskonto oranı 2022 yılı için %15,75 olarak alınmıştır. (Neksymm 2022)

$$P = F \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \cdot i} \quad (4.2)$$

$$P_2 = S \frac{1}{(1+i)^n} \quad (4.3)$$

P: Net Bugünkü değer, F: Yatırımdan yıllık net getiri/tasarruf, i: iskonto oranı, S: Hurda değeri, n: yıl,

Yapılan hesaplamalarda tek yözlü PV panel uygulaması için net bugünkü değer 1.407.544,3 TL bulunurken, çift yözlü PV uygulamasında 1.647.377,8 TL bulunmuştur. Buna göre çift yözlü PV uygulaması 239.833,5 TL daha fazla tasarruf sağladığı görülmüştür.

Net Kazanç/Masraf oranları karşılaştırıldığında tek yözlü PV panel uygulaması için Net Kazanç/Masraf 2,0 bulunurken çift yözlü PV panel uygulamasında 2,3 olarak bulunmuştur.

4.2.1.3. İç Verim Oranı

Nakit girişlerin bugünkü değerini, nakit çıkışların bugünkü değerine eşitleyen orana iç verim oranı denir. Yapılacak sistem yatırımının P (Net Bugünkü Değer) değerini sıfır yapan iskonto oranı olarak da adlandırılır. Aynı zamanda iç verim oranı yatırımın katma değer oranını da belirlemektedir. Yatırım kararı bu oran ile verilebilir. Ayrıca proje yatırımının karlılığı da iç verim oranından görülebilmektedir. (Brigham ve Houston, 1999)

İç verim oranı formülü denklem 4.4 ve 4.5 ile bulunmaktadır. Bu hesap yönteminde Nakit Akımlarının Bugünkü Değerini, Yatırım Harcamalarının Bugünkü Değerine eşitleyen r değeri hesaplanır (Kose ve ark. 2014).

$$P = F \frac{(1+r)^n - 1}{(1+r)^{n*r}} \quad (4.4)$$

$$P_2 = S \frac{1}{(1+r)^n} \quad (4.5)$$

P: Net Bugünkü değer, F: Yatırımdan yıllık net getiri/tasarruf, r: iç karlılık oranı, S: Hurda değeri, n: yıl,

Proje yatırımının P'sini sıfıra eşitleyen bir (r) oranı tespit edilmekte olup, bu yöntemde P=0 olarak kabul edilmektedir. Bu yöntemin temel karar kriteri olan yatırım projesinin sermaye maliyetinin İç verim oranından küçük olması durumunda proje kabul

edilebilir. Diğer bir ifadeyle, projenin verimliliği (r), sermaye maliyetinden büyükse projenin yapılabilirlięi kabul edilir. Alternatif projelerde ise verimliliği (r) büyük olan proje tercih edilecektir.

Yatırım değerlendirilmesi yapılırken, yatırımcının projeden beklediği karlılık oranı ile iç verim oranının karşılaştırılması yapılmaktadır. İç verim oranının beklenen karlılık oranından yüksek olması durumunda proje, yatırım için mantıklıdır. Beklenen karlılık oranının iç verim oranından fazla olması durumunda proje yatırımı red alır. Tek proje tasarımı değil de birden fazla proje seçeneği varsa, bu projelerden iç verim oranı en yüksek olanı yatırım için tercih edilebilir olanıdır.

Yatırımcının herhangi bir diğer projeden yıllık kar oranı burada hesaplanan tek yüzlü PV panelde 0,32 ve çift yüzlü PV panelde 0,36 değerlerinden düşük ise bu yatırımların yapılması değil ise diğer yatırımların değerlendirilmesi fizibildir.

5. SONUÇLAR

5.1. Sonuçlar

Çift yüzlü fotovoltaik panellerde; fotovoltaik hücrelerin ve malzemelerinin önemi hakkında bilgi verilmiştir. Bu sistemlerin teknolojilerindeki verim değerlerindeki artış için yapılan çalışmalar yanında, uygulama sahasında yapılacak bazı değişikliklerle toplam enerji üretiminde elde edilebilecek artışlar da oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, Fotovoltaik sistemlerinin modellenmesinde kullanılan bir program olan PVsyst ile Konya, Ankara, Antalya, İzmir ve Sivas illerinde modellemeler yapılmıştır. Yapılan uygulamalarda 54 kWp kurulu güç için 35° eğim açısı ve 0° azimut açıları alınmıştır. Albedo değerleri %80 beyaz zemin, %30 kum zemin, %10 asfalt zemin gibi farklı zemin koşullarında çift yüzlü PV paneller ile tek yüzlü PV panellerin performansları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Veriler yıl boyunca aylık bazda değerlendirilmiştir.

Beyaz zeminde çift yüzlü PV panellerde bölgelerin yıllık olarak kolektöre yansıyan ışınımına bakıldığında Ankara bölgesinin 1984,8 kWh/m², Antalya bölgesinin 1882,6 kWh/m², Konya bölgesinin 2095,9 kWh/m², İzmir bölgesinin 2118,9 kWh/m² ve Sivas bölgesinin 2038,6 kWh/m² olduğu hesaplanmıştır. Beyaz zeminde çift yüzlü PV panellerin yıllık kolektöre yansıyan ışınımı karşılaştırıldığında Konya bölgesinin; Ankara bölgesinden %5,5, Antalya bölgesinden %11,3 ve Sivas bölgesinden %2,8 kolektöre yansıyan ışınımı daha yüksek çıkmıştır. İzmir bölgesinin kolektöre yansıyan ışınımı ise Konya bölgesinden %1,1 daha yüksek çıkmıştır.

Beyaz zeminde çift yüzlü PV panelde bölgelerin yıllık kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjilerine bakıldığında Ankara bölgesinin 100,22 MWh, Antalya bölgesinin 94,17 MWh, Konya bölgesinin 105,69 MWh, İzmir bölgesinin 105,01 MWh ve Sivas bölgesinin 103,68 MWh olarak bulunmuştur. Kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjilere bakıldığında Konya bölgesinin 105,69 MWh ile en fazla olduğu gösterilmiştir. Beyaz zeminde çift yüzlü PV panellerin yıllık kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjileri karşılaştırıldığında Konya bölgesinin; Ankara bölgesinden %5,4 Antalya bölgesinden %12,2 İzmir bölgesinden %0,5 ve Sivas bölgesinden %1,9 kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerjilerinin daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Beyaz zeminde çift yüzlü PV panellerin bölgelerin yıllık performans oranlarına bakıldığında Ankara bölgesinin 0,935 Antalya bölgesinin 0,926 Konya bölgesinin 0,934

İzmir bölgesinin 0,918 ve Sivas bölgesinin 0,942 olarak bulunmuştur. Beyaz zeminde çift yüzlü PV panellerin yıllık performans oranları karşılaştırıldığında Konya bölgesinin; Antalya bölgesinden %0,8 İzmir bölgesinden %1,7 performans oranının daha yüksek olduğu ve Ankara bölgesinden %0,1 Sivas bölgesinden %0,8 performans oranının daha az olduğu belirlenmiştir.

Beyaz zemine kurulu çift yüzlü PV panelin tek yüzlü PV panele göre yıllık kolektöre yansıyan ışınım değerleri karşılaştırıldığında çift yüzlü PV panelin %6,4 kolektöre yansıyan ışınımın daha fazla olduğu gösterilmiştir. Beyaz zeminde çift yüzlü PV panellerin kolektöre yansıyan ışınım değeri, Asfalt zemindeki çift yüzlü PV panellerinden ise yıllık olarak %5,6, kum zemindeki çift yüzlü PV panellerinden ise %3,9 daha fazladır. Değerlendirilen illerden biri olan Konya'da yıllık Şebekeye aktarılan elektrik enerjisi farklı zemin koşulları için karşılaştırıldığında yıllık toplam 105,69 MWh ile en fazla gücün beyaz zeminde çift yüzlü PV panellerde elde edildiği bulunmuştur. Temmuz ayında beyaz zemindeki çift yüzlü PV panelin Tek yüzlü PV panele göre performans oranları karşılaştırıldığında beyaz zemindeki çift yüzlü PV panelin performans oranı %14 daha fazla olduğu gösterilmiştir. Temmuz ayında beyaz zeminde çift yüzlü PV paneller de üretilen enerji, Asfalt zeminde çift yüzlü PV paneller de üretilen enerjiden %9,9, kum zeminde çift yüzlü PV paneller de üretilen enerjiden %6,6 daha fazladır. Beyaz zemine kurulu çift yüzlü PV panellerin tek yüzlü PV panele göre yıllık performans oranları karşılaştırıldığında beyaz zeminde çift yüzlü PV panellerin performans oranı %8,8 daha fazla olduğu gösterilmektedir.

Konya bölgesinde 600 m² alanda yıllık kayıplar sonrası şebekeye aktarılan enerji tek yüzlü fotovoltaik panellerde 152 kWh/m² şebekeye enerji aktarılırken beyaz zeminde çift yüzlü fotovoltaik panellerde ise 176,1 kWh/m² şebekeye enerji aktarılmıştır. Yıllık çift yüzlü fotovoltaik panellerin tek yüzlü fotovoltaik panellerden %15,9 daha fazla enerji elde etmişlerdir. Bu duruma göre kısıtlı arazi ve çatı koşullarında çift yüzlü fotovoltaik panellerin daha avantajlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Çift yüzlü fotovoltaik panel, tek yüzlü fotovoltaik panele göre 0,4 yıl geri ödeme süresi daha erkendir. Net bugünkü değere bakıldığında çift yüzlü PV uygulaması 239.833,5 TL daha fazla tasarruf sağladığı görülmüştür. İç verim oranlarına bakıldığında tek yüzlü PV panel 0,32 ve çift yüzlü PV panel 0,36 olarak bulunmuştur.

5.2. Öneriler

PVsyst programıyla yapılan bu çalışmanın deneysel olarak uygulanması, sayısal ve deneysel sonuçların karşılaştırılması ve PVsyst programında kullanılan modellerin doğruluğu karşılaştırılabilir.

Bu tez çalışmasında panel yükseklikleri sabit kabul edilmiştir. Gelecek çalışmalarda panellerin yerden yüksekliğinin verime etkisi de incelenebilir. Bir diğer parametre olan azimut açısının etkileri de değerlendirilebilir. Ayrıca bir optimizasyon algoritması ile değişkenler modellenerek farklı bölgelerde ve şartlarda optimum kurulum koşulları belirlenebilir.



KAYNAKLAR

- Ajder, A. (2011). Fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri için optimum eğim açısının hesaplanması.
- Aksoy, M. H. (2011). *Güneş ve rüzgâr enerjisi ile çalışan su pompalama sisteminin deneysel incelenmesi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Alkiş, M. (2020). *Farklı akışkanlar ile pasif soğutmanın fotovoltaik (FV) panellerin parametrelerine etkileri* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Anonim, "Elektrik Birim Fiyatı 2022", erişim: 26 Temmuz 2022, <https://solaravm.com/1-kw-kac-tl-2022>. Solaravm, "Elektrik Birim Fiyatı 2022".
- Appelbaum, J. (2016). İki yüzeyli fotovoltaik panel alanı. *Yenilenebilir Enerji*, 85, 338-343.
- Asgharzadeh, A., Marion, B., Deline, C., Hansen, C., Stein, J. S., & Toor, F. (2018). A sensitivity study of the impact of installation parameters and system configuration on the performance of bifacial PV arrays. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 8(3), 798-805.
- Batur, A. (2018). *Bazı gazların sera etkisinin güneş panellerinin verimliliği üzerine etkisi* (Master's thesis, Siirt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Baumann, T., Klenk, M., Keller, N., Nussbaumer, H., & Baumgartner, F. (2017). Illumination homogeneity of bifacial systems—Outdoor measurements with systematically varied installation conditions. In *33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), Amsterdam, Netherlands, 25-29 September 2017* (pp. 1605-1609).
- Baumann, T., Nussbaumer, H., Klenk, M., Dreisiebner, A., Carigiet, F., & Baumgartner, F. (2019). Photovoltaic systems with vertically mounted bifacial PV modules in combination with green roofs. *Solar Energy*, 190, 139-146.
- Benli, F. (2018). *Fotovoltaik (PV) ve fotovoltaik termal (PV-T) kolektörlerin deneysel olarak karşılaştırılması* (Master's thesis, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Bilčík, M., Božíková, M., Kotoulek, P., Kišev, M., Csillag, J., & Petrović, A. (2020). Comparison of the annual power balance of photovoltaic modules. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 24(1), 18-21.
- Brigham, E.F. & Houston, J.F. (1999). *Intermediate Financial Management*. New York: The Dryden Press. 506-509.
- Castillo-Aguilella, J. E., & Hauser, P. S. (2016). Multi-variable bifacial photovoltaic module test results and best-fit annual bifacial energy yield model. *IEEE Access*, 4, 498-506.

- Ceylan, İ., & Gürel, A. E. (2017). Güneş Enerjisi Sistemleri ve Tasarımı. *Dora Yayıncılık, Bursa, 196s.*
- Cha, H. L., Bhang, B. G., Park, S. Y., Choi, J. H., & Ahn, H. K. (2018). Power prediction of bifacial Si PV module with different reflection conditions on rooftop. *Applied Sciences*, 8(10), 1752.
- Chabane, F., Moumami, N., & Brima, A. (2021). A New Approach to Estimate the Distribution of Solar Radiation Using Linke Turbidity Factor and Tilt Angle. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Mechanical Engineering*, 45(2), 523-534.
- Chen, SM, Liang, TJ ve Hu, KR (2012). DC dağıtım sistemi için güneş enerjisi optimize edici tasarımı, analizi ve uygulaması. *Güç elektroniği ile ilgili IEEE işlemleri* , 28 (4), 1764-1772.
- Chiodetti, M. (2015). Bifacial PV plants: performance model development and optimization of their configuration.
- Çetinkaya, N. (2017). Improving of renewable energy support policy and a performance analysis of a grid-connected 1 MWP PV power plant in Konya. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(3), 251-261.
- Dittmann, S., Krause, S., Bagdahn, J., Park, H., Oh, S. Y., Esefelder, S., Brammer, T., Kim, B. S., Schindler, S. & Hanifi, H. (2017). Characterization of bifacial PV mini-modules using front-and doubleside illumination. In 33rd European PV Solar Energy Conference.
- Eremkere, M. & Aktaş. T. 2020, Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Üzüm Suyu İşleme Tesis Çatısına Uygulanabilecek Fotovoltaik Tasarımların Teknik, Ekonomik ve Çevresel Açılardan Analizi . *El-Cezeri* . 7 (1) . 275-294 . DOI: 10.31202/ecjse.636966
- Ferrada, P., Marzo, A., Cabrera, E., Chu, H., del Campo, V., Rabanal, J., Diaz-Almeida, D., Schneider, A. & Kopecek, R. (2017). Potential for photogenerated current for silicon based photovoltaic modules in the Atacama Desert. *Solar Energy*, 144, 580-593.
- Fidan, M. S., & Alkan, E. (2014). Bitkisel Hammaddelerden elde edilen biyodizelin alternatif enerji kaynağı olarak kullanılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(2), 144-160.
- Gülsever, M. (2020). Güneş enerjisi destekli evsel elektrik ihtiyacının matematiksel modellenmesi-sistemin performans analizi (Master's thesis, Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Güven, A. F. & Mete, M. (2021). Balıkesir İli Erdek İlçesi İçin Bağımsız Hibrit Enerji Sisteminin Fizibilite Çalışması Ve Ekonomik Analizi . *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi* , 9 (4) , 1063-1076 . DOI: 10.36306/konjes.978002

- Haon, P. A. R. K., ÖZTÜRK, A., Hajun, P. A. R. K., & KHAN, M. U. 2019, Utilization of robotics for solar panel cleaning and maintenance. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(4), 768-775.
- Hikmet, ESEN (2017). Fotovoltaik Paneller Kullanılarak Şişme Sistemi ile Dış Ortamların Soğutulmasının Araştırılması. *Politeknik Dergisi* , 20 (2), 341-349.
- Husain, AA, Hasan, WZW, Shafie, S., Hamidon, MN ve Pandey, SS (2018). Şeffaf güneş fotovoltaik teknolojilerinin gözden geçirilmesi. *Yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji incelemeleri* , 94 , 779-791.
- Joge, T., Araki, I., Takaku, K., Nakahara, H., Eguchi, Y., & Tomita, T. (2003, May). Advanced applications of bifacial solar modulus. In 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 2003. Proceedings of (Vol. 3, pp. 2451-2454). IEEE.
- Kaya, M. N., Aksoy, M. H., & Kose, F. 2017, Renewable energy in Turkey: potential, current status and future aspects. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara*, 15(1), 65.
- Kenar, N., Ketenoğlu, O. (2009). Güneş kaynaklı ultraviyole radyasyonunun karasal ekosistemler üzerine etkileri. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 2(33), 67-77.
- Kenny, R. P., Garcia Menendez, E., Lopez-Garcia, J., & Haile, B. (2018, August). Characterizing the operating conditions of bifacial modules. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1999, No. 1, p. 020014). AIP Publishing LLC.
- Kılıcı, O., & Koklu, M. (2019). The importance of fixed and variable angle in solar power plants analysis. *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers*, 7(4), 75-83.
- Khan, M. R., Sakr, E., Sun, X., Bermel, P., & Alam, M. A. (2019). Ground sculpting to enhance energy yield of vertical bifacial solar farms. *Applied Energy*, 241, 592-598.
- Kose, F., Aksoy, M. H., & Ozgoren, M. 2019, Experimental investigation of solar/wind hybrid system for irrigation in Konya, Turkey. *Thermal Science*, 23(6 Part B), 4129-4139.
- Kose, F., Aksoy, M. H., & Ozgoren, M., 2014, An assessment of wind energy potential to meet electricity demand and economic feasibility in Konya, Turkey. *International Journal of Green Energy*, 11(6), 559-576.
- Lopez-Garcia, J., Casado, A., & Sample, T. (2019). Electrical performance of bifacial silicon PV modules under different indoor mounting configurations affecting the rear reflected irradiance. *Solar Energy*, 177, 471-482.
- Mahmud, M. S., WazedurRahman, M., Lipu, M. H., Al Mamun, A., Annur, T., Islam, M. M., Rahman, M. M. & Islam, M. A. (2018, July). Solar Highway in Bangladesh

- Using Bifacial PV. In 2018 IEEE International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCA) (pp. 1-7). IEEE.
- Mamizadeh, S. (2019). Yapay sinir ağıları ile yüzey sıcaklık ve albedo modellemesi (Master's thesis, İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Neksymm, “Merkez Bankası Reeskont ve Avans Faiz Oranları Belirlendi”, erişim: 26 Temmuz 2022 , https://www.neksymm.com/merkez-bankasi-reeskont-ve-avans-faiz-oranlari-belirlendi_d1007. Neksymm, “Merkez Bankası Reeskont ve Avans Faiz Oranları Belirlendi”
- Özden, T., Turan, R., & Aklnoğlu, B. G. (2017, December). On the Yearly Performance of a Bifacial PV Module in Central Anatolia-Turkey. In 2017 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC) (pp. 1-3). IEEE.
- Öztürk, C. (2020). Güneş enerji sistemlerinde verim analizi ve enerji kayıplarının tespiti (Master's thesis, Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Perdahlıyan, E., & Öztuna, S. (2021). Endüstriyel bir tesis çatısına fotovoltaik sistem kurulumu için tasarım ve hesaplamaları Edirne örneği (Master's thesis, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Pisigan, C., & Jiang, F. (2014). Performance of Bi-facial PV Modules in Urban Settlements in Tropical Regions. In Advanced Materials Research (Vol. 853, pp. 312-316). Trans Tech Publications Ltd.
- Russell, TC, Saive, R., Augusto, A., Bowden, SG ve Atwater, HA (2017). Spektral albedonun bifasiyal güneş pilleri üzerindeki etkisi: Teorik ve deneysel bir çalışma. IEEE Fotovoltaik Dergisi , 7 (6), 1611-1618.
- Sarıaslan, H. (1990), Yatırım Projelerinin Hazırlanması ve Değerlendirilmesi, Planlama-Analiz-Fizibilite. Ankara: Turhan Kitapevi.
- Sepeai, S., Zaidi, S. H., Desa, M. K. M., Sulaiman, M. Y., Ludin, N. A., Ibrahim, M. A., & Sopian, K. (2013). Design optimization of bifacial solar cell by PC1D simulation. Journal of Energy Technologies and Policy, 3(5).
- Singh, J. P., Walsh, T. M., & Aberle, A. G. (2012). Performance investigation of bifacial PV modules in the tropics. Proc. 27th EUPVSEC, 3263-3266.
- Stein, J. S., Riley, D., Lave, M., Hansen, C., Deline, C., & Toor, F. (2017, June). Outdoor field performance from bifacial photovoltaic modules and systems. In 2017 IEEE 44th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC) (pp. 3184-3189). IEEE.
- Sun, X., Khan, M. R., Deline, C., & Alam, M. A. (2018). Optimization and performance of bifacial solar modules: A global perspective. Applied energy, 212, 1601-1610.
- Uzun, B. (2019). Güneş paneli verilerinin dc enerji hattı üzerinden uzaktan izlenmesi ve verimliliğe etkileri (Master's thesis, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

- Vogt, M. R., Gewohn, T., Bothe, K., Schinke, C., & Brendel, R. (2018). Impact of using spectrally resolved ground albedo data for performance simulations of bifacial modules. In Proceedings of the 35th Eur. Photovolt. Sol. Energy Conference Exhibition (pp. 1011-1016).
- Yaniktepe, B., Kara, O., & Ozalp, C. 2017, The global solar radiation estimation and analysis of solar energy: Case study for Osmaniye, Turkey. *International Journal of Green Energy*, 14(9), 765-773.
- Zengin, B. 2020, Enerji alternatiflerinin dağıtık ve merkezi üretim kapsamında analizi için bir bulanık çok kriterli karar verme model önerisi ve Türkiye uygulaması (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Wang, L., Liu, F., Yu, S., Quan, P., & Zhang, Z. (2019). The Study on Micromismatch Losses of the Bifacial PV Modules Due to the Irradiance Nonuniformity on Its Backside Surface. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 10(1), 135-143.