

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**KİR VE TOZLANMANIN FOTOVOLTAİK
SİSTEM VERİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

Doğın GÜRBÜZ

Yüksek Lisans Tezi
Anabilim Dalı: Enerji Sistemleri Mühendisliğı
Danışman: Prof. Dr. Sami EKİCİ

MART-2018

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİR VE TOZLANMANIN FOTOVOLTAİK SİSTEM VERİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Doğan GÜRBÜZ

(151135102)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 01 Mart 2018

Tezin Savunulduğu Tarih : 23 Mart 2018

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sami EKİCİ (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Resul ÇÖTELİ (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÜSTÜNDAĞ (B.Ü)

MART-2018

ÖNSÖZ

Yeryüzünde insanoğlu hayatını idame ettirebilmesi için bir takım ihtiyaçlara sahiptir. İnsanoğlu hayatını sürdürebilmek için bazı düzenekler ve sistemler geliştirmiştir. Bu üretilmiş olan sistem ve düzenekleri çalıştırabilmek için ilk başta kendi gücünü kullanmış daha sonra artan enerji ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmuştur. Bu enerjiyi önceleri hayvanlardan elde etmiş, daha sonra ise fosil kaynaklı enerjiyi kullanmaya başlamışlardır. Fosil kaynaklarının kullanımının gün geçtikçe artış göstermesi dünyanın dengesini bozduğu gibi küresel ısınmaya da sebep olmuş ve bu kaynakların kalan ömrünü önemli ölçüde kısaltmıştır. 1973 yılında meydana gelen petrol krizinden sonra küçük çapta devam eden çeşitli alternatif enerji kaynakları araştırmalarının sayısı hızla arttırmış ve yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi ortaya çıkmıştır. Yenilenebilir enerji; Güneş enerjisi, Rüzgar enerjisi, Hidroelektrik, Hidrojen ve Jeotermal gibi enerji kaynaklarıdır.

Güneş enerji sistemleri; kaynağını güneşten sağlamakla birlikte, bu enerjiyi ısıtmak ve aydınlanmak için doğrudan kullanarak elektrik enerjisi üretimi için de kullanılmaktadır. Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren ünitelerin maliyetlerinde son yıllarda meydana gelen düşüşler, gelişmekte olan dünyanın kırsal alanlarında ve kentsel alanların etrafındaki önemli enerji problemlerine bir cevap olarak Fotovoltaik (PV) sistemler doğmuştur. Gün geçtikçe büyük bir pazara sahip olan PV sistemler: içme suyu ve sulama için suyun pompalanması; telekomünikasyon araçları ve lambalar, televizyonlar, elektrikli ev aletleri vb. alanlarda kullanılmaktadır.

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla ilgili en önemli çalışma konularından birisi de bu kaynakların kullanımı sırasında meydana gelen kayıpların azaltılması ve böylece sistem veriminin artırılmasıdır. Bu çalışmada PV sistem veriminin panellerin kurulum açısına ve temizlenme periyoduna bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Bu çalışmada bana her konuda desteğini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Sami EKİCİ'ye, çalışmalarım sırasında gösterdikleri destek ve sabırdan dolayı sevgili aileme ve tüm mesai arkadaşlarıma en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Doğan GÜRBÜZ

ELAZIĞ-2018

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
SEMBOLLER LİSTESİ	IX
KISALTMALAR LİSTESİ	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Çalışması	2
1.2. Tezin Amacı	5
2. GÜNEŞ ENERJİSİ.....	7
2.1. Güneş Enerjisinin Avantajları	8
2.2. Güneş Enerjisinin Dezavantajları	9
2.3. Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı ve Çalışma Prensipleri.....	10
2.3.1. P-N Ekleme	11
2.4. Güneş Pili Çeşitleri.....	11
2.4.1. Kristal Silisyum Güneş Pilleri	11
2.4.2. Galyum Arsenit (GaAs) Güneş Pilleri.....	12
2.4.3. Kadmiyum Tellürid (Cdte) Güneş Pilleri	12
2.4.4. Bakır İndiyum Diselenid Güneş Pilleri	13
2.4.5. Amorf Silisyum Güneş Pilleri	14
2.4.6. Yoğunlaştırıcı Güneş Pilleri	15
2.4.7. Boya Duyarlı Güneş Pilleri	15
2.4.8. Lüminesan güneş yoğunlaştırıcı:.....	16
2.4.9. Hibrit güneş pilleri.....	17
2.4.10. Quantum Nokta Güneş Pilleri	17
2.4.11. Perovskite Güneş Pilleri	18
3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDEKİ KAYIPLAR.....	20
3.1. Işınım Kayıpları.....	20
3.1.1. Modül Düzlem Açısı	20
3.1.2. Spektrum Kayıpları	21

3.2.	Gölgelenme Kayıpları	22
3.3.	Toz Kayıpları.....	22
3.4.	Yansıma Kayıpları.....	22
3.5.	Termal Kayıplar	23
3.6.	Kablo Kayıpları	23
3.7.	Modül Teknik Özelliklerindeki Sapmalar	23
3.8.	Uyumsuzluk Kayıpları	24
4.	PV SİSTEMLERDE TOZLANMADAN KAYNAKLANAN KAYIPLAR	25
5.	DENEYSEL SONUÇLAR.....	32
5.1.	Yatay güneş panellerine ait açık devre gerilimleri	34
5.2.	Eğimli Güneş Panellerine Ait Açık Devre Gerilimleri	37
5.3.	Yatay güneş panellerine ait kısa devre akımları.....	40
5.4.	Eğimli Güneş Panellerine Ait Kısa Devre Akımları	43
5.5.	Yatay güneş panellerine ait çıkış güçleri.....	45
5.6.	Eğimli güneş panellerine ait çıkış güçleri	48
6.	SONUÇ	55
	KAYNAKLAR.....	57
	ÖZGEÇMİŞ	63

ÖZET

Enerji, bir ülke için kalkınma, gelişme, refah ve yaşam kalitesi anlamına gelen hayati öneme sahip bir konudur. Her canlının hayatını devam ettirebilmek için enerjiye ihtiyacı olduğu gibi, toplumlarında varlıklarını sürdürebilmesi, kurmuş oldukları tesisleri, fabrikaları ve makineleri çalıştırabilmeleri için enerjiye ihtiyacı vardır. Dünyada nüfus artışı, şehirleşme, sanayileşme ve teknolojinin yaygınlaşmasına paralel olarak enerji tüketimi de sürekli artmaktadır. Artan enerji talebiyle beraber fosil yakıtlar hızla tükenmektedir. 2050’li yıllara gelindiğinde petrolün tükenme noktasına geleceği varsayılmaktadır. Doğalgaza 2070, kömüre ise 2150 yılına kadar ömür biçilmektedir. Bunun yanında fosil yakıtların kullanılması çevremize olan olumsuz etkileri beraberinde getirmiştir. Bu sebepten dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına talep artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları çevreyi kirletmeyen temiz enerji kaynaklarıdır. Bu tezde de yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik (PV) sistemlerin veriminin kir ve tozlanmadan nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Sekiz adet panelden dört adedinin yatayla yapmış olduğu açı 0° ve diğerlerinin yatayla yapmış olduğu açı 30° olarak ayarlanmıştır. Her dörtlü grupta panellerden biri hiç temizlenmezken, biri her gün, biri haftada bir, biri ayda bir temizlenmiştir. Elazığ ilinde yapılan bu çalışmada 6 ay boyunca panellerin her gün açık devre gerilimi, kısa devre akımı ölçülerek gücü hesaplanmıştır. Nihai olarak temizlenme periyodu ve güneşin geliş açısının panellerin verimine olan etkileri incelenerek en ideal temizlenme periyodu tespit edilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Sistemler, Güneş Enerjisi, Panel Temizlenme Periyodu, Yenilenebilir Enerji Kaynakları

SUMMARY

Effect of Dirt and Dusting on Photovoltaic System Yield

Energy is a vital issue that means development, prosperity and quality of life for a country. Every creature needs energy to survive. They need energy to run their assets in their communities, to operate their facilities, factories and machines. In parallel with the population increase, urbanization, industrialization and the spread of technology in the world, energy consumption is continuously increasing. Along with increased energy demand, fossil fuels are rapidly depleting. By the 2050s, it is assumed that oil will come to the extinction point. The natural gas will be consumed in 2070, and the life of the locust is until 2150. However, the use of fossil fuels has brought negative effects to the environment. As a result, demand for renewable energy sources has increased. Renewable energy sources are clean energy sources that do not pollute the environment. In this thesis, it was investigated how the efficiency of photovoltaic (PV) systems, which convert solar energy from renewable energy sources into electrical energy, is affected by dirt and dust. The angle at which the four panels are installed horizontally is set to 0° and the angle at which the others are installed horizontally is set to 30° . In every quadruple group, one of the panels was never cleaned, one was cleaned every day, one was cleaned every week, and one was cleaned every month. In this research made in Elazığ province, open circuit voltage, short circuit current were measured and power were calculated every day for 6 months. The effects of the cleaning period on PV panel's power were investigated. It was tried to determine the ideal panel angle and cleaning period as final.

Keywords: Photovoltaic Systems, Solar Energy, Panel Cleaning Period, Renewable Energy Sources

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Güneş pillerinin verimini gösteren grafik	1
Şekil 1.2. Dünyanın güneş haritası	2
Şekil 2.1. Türkiye Güneş Enerjisi Atlası	7
Şekil 2.2. Güneş Pili Yapısı	10
Şekil 2.3. Atomların komşu atoma bağlanması	12
Şekil 2.4. Galyum arsenit güneş pili	12
Şekil 2.5. Kadmiyum Tellürid güneş pili.	13
Şekil 2.6. İndiyum Diselenid kimyasal yapısı.	14
Şekil 2.7. Kristal ve Amorf Silisyum	14
Şekil 2.8. Yoğunlaştırıcı güneş pilleri	15
Şekil 2.9. Boya duyarlı güneş pili	16
Şekil 2.10. Lüminesan güneş yoğunlaştırıcı	17
Şekil 2.11. Quantum nokta güneş pili	18
Şekil 2.12. Perovksite güneş pili yapısı	19
Şekil 3.1. Fotovoltaik (PV) sistemde kayıplar	20
Şekil 3.2. Elektromanyetik spektrum	21
Şekil 4.1. Günlük ortalama toz konsantrasyonu	25
Şekil 4.2. Güneş paneli temizleme	26
Şekil 4.3. Otomatik güneş paneli temizleme cihazı	26
Şekil 4.4. Büyük güçlü bir güneş tarlası	27
Şekil 4.5. Basınçlı su ile panel temizliği.	27
Şekil 4.6. Panel temizleme aracı	28
Şekil 4.7. Tozlanmış güneş panelleri	29
Şekil 4.8. Yağmur etkisinde kalmış güneş panelleri	30
Şekil 5.1. Deneylerde kullanılan güneş paneli.	32
Şekil 5.2. Farklı eğim açılarıyla oluşturulan deney düzeneği.	33
Şekil 5.3. Ölçüm yapılan panellerin temizleme periyotları.	33
Şekil 5.4. Kış aylarında yatay düzlemdeki güneş panelleri	34
Şekil 5.5. Yatay panellerinin gerilim-zaman grafikleri	35
Şekil 5.6. Yatay güneş panellerinin gerilimlerindeki değişim.	35

Şekil 5.7. Yatay güneş panellerine ait aylık gerilim-zaman grafikleri.....	37
Şekil 5.8. 30° eğim açılı güneş panellerine ait görsel.....	37
Şekil 5.9. Eğime sahip panellerin gerilim-zaman grafikleri.....	38
Şekil 5.10. Eğimli güneş panellerinin gerilimlerdeki değişim.	39
Şekil 5.11. 30° eğim açısına sahip güneş panellerine ait aylık gerilim-zaman grafikleri....	40
Şekil 5.12. Yatay panellerin akım-zaman grafikleri.	41
Şekil 5.13. Yatay güneş panellerinin akımlarındaki değişim.	41
Şekil 5.14. Yatay güneş panellerine ait aylık akım-zaman grafikleri.	42
Şekil 5.15. Eğimli panellerin akım-zaman grafikleri.	43
Şekil 5.16. Eğimli güneş panellerinin akımlarındaki değişim.....	43
Şekil 5.17. Eğimli güneş panellerine ait aylık akım-zaman grafikleri.	44
Şekil 5.18. Yatay panellerin güç-zaman grafikleri.....	45
Şekil 5.19. Yatay panellerin çıkış güçlerinin değişimi.....	46
Şekil 5.20. Yatay güneş panellerine ait aylık güç-zaman grafikleri.....	47
Şekil 5.21. Yatay panellerin temizlenme periyoduna bağlı ortalama anlık çıkış güçleri...	48
Şekil 5.22. Eğimli panellerin güç-zaman grafikleri.	48
Şekil 5.23. Eğimli panellerin çıkış güçlerinin değişimi.	49
Şekil 5.24. Eğimli panellere ait aylık güç-zaman grafikleri.....	50
Şekil 5.25. Eğimli panellerin temizlenme periyoduna bağlı ortalama anlık çıkış güçleri...	51
Şekil 5.26. Yatay güneş panellerinin temizleme periyotlarının ikili olarak karşılaştırması.	52
Şekil 5.27. Eğimli güneş panellerinin temizleme periyotlarının ikili olarak karşılaştırması.	53

SEMBOLLER LİSTESİ

A : Amper

I : Akım

P : Güç

V : Gerilim

W : Watt



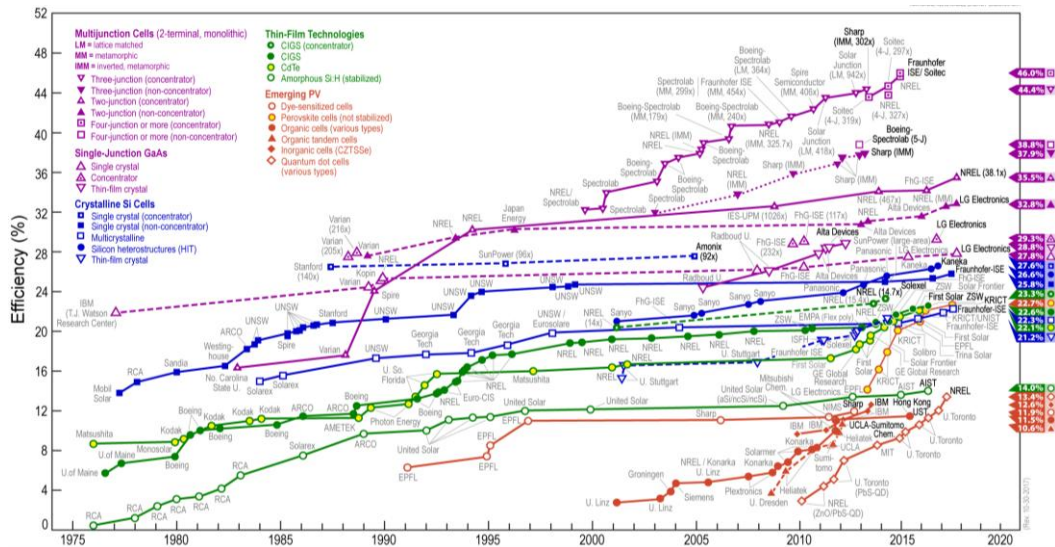
KISALTMALAR LİSTESİ

A-Si	: Amorf Silisyum
CdTe	: Kadmiyum Tellürid
CIGS	: Bakır İndiyum Galyum Selenit
CPV	: Yoğunlaştırıcı Güneş Pilleri
CuInSe₂	: Bakır İndiyum Diselenid
DSSC	: Boya Duyarlı Güneş Pilleri
GaAs	: Galyum Arsenit
IR	: Infrared (Kızılötesi) Spektroskopisi
LSC	: Lüminesan Güneş Yoğunlaştırıcı
PbS	: Kurşun Sülfid
PV	: Fotovoltaik
TiO₂	: Titanyum Dioksit
UV	: Ultraviyole

1. GİRİŞ

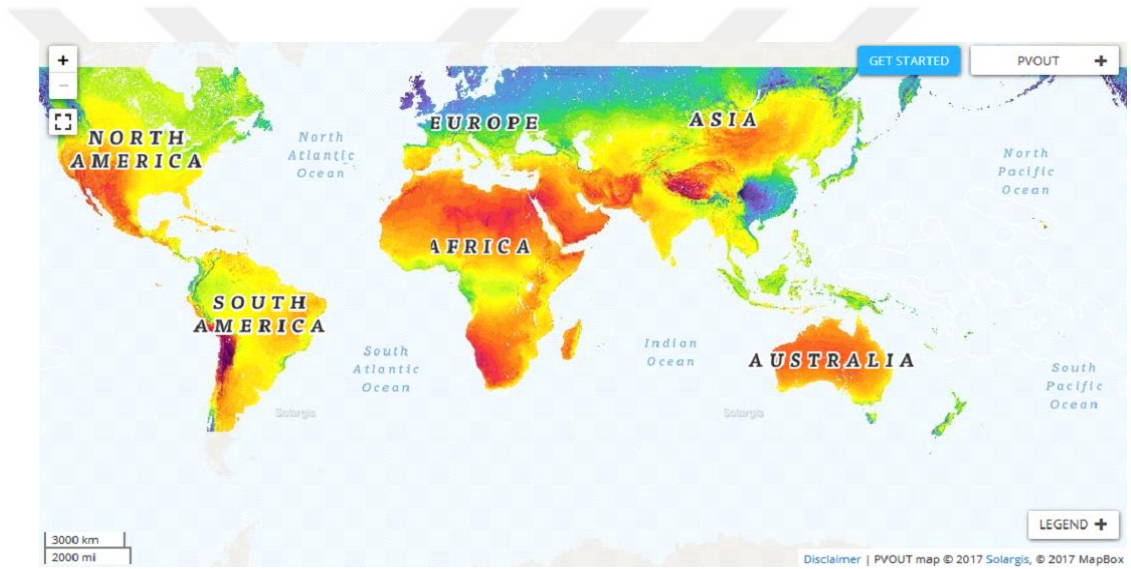
Yenilenebilir enerji son yıllarda küresel bir konu olmuştur. Fosil kaynakların kısıtlı olması ve küresel ısınma nedeni ile yenilenebilir enerjiye olan talep artmıştır. Güneş enerjisi, potansiyel ve pazarlanabilir bir enerji olarak ortaya çıkmıştır. Güneşten yeryüzüne bir saatte ulaşan enerji (4.3×10^{20} J) gezegenimizin bir yıllık enerji tüketiminin (4.1×10^{20} J) tamamını karşılar. Güneş enerjisini kullanmak düşük maliyetli ve yüksek verimli güneş pillerinin üretimi ile mümkün olacaktır. Son zamanlarda güneş pilleri teknolojileri ile ilgili geniş bir yelpazede çalışmalar ve ilerlemeler sağlanmıştır. Bu teknolojilere örnek olarak; boya-duyarlı nanokristal güneş pilleri, hacimsel heteroeklem güneş pilleri, tüketim heteroeklem güneş pilleri (depleted heterojunction solar cells) ve hibrit organik-inorganik güneş pilleri verilebilir [1].

Kronolojik olarak güneş pilleri üç jenerasyona ayrılır. İlk jenerasyon fotovoltaik güneş pilleri tek kristal yarıiletken tabaka ile yapılmıştır. İkinci nesil fotovoltaik güneş pillerinde inorganik ince film kullanılmıştır. Bu güneş pillerinin üretim maliyetleri düşük olmasına karşın verimleri de (%14'ten az) birinci nesil güneş pillerine kıyasla (yaklaşık %27) düşüktür. Teorik olarak tek eklem güneş pilleri Shockley-Queisser termodinamik limiti ile belirlenen maksimum %33 civarında bir verimle çalışabilir. Böylece, düşük maliyetli ve verimi %33'den daha büyük olan yeni bir güneş pili teknolojisi ihtiyacı doğmuştur. Üçüncü nesil güneş pilleri bu alanda çığır açmıştır [1]. Aşağıda üç jenerasyona ait güneş pillerinin verimlerinin yıllara göre gelişimi verilmiştir.



Şekil 1.1. Güneş pillerinin verimini gösteren grafik [2].

Güneş pillerinin verimini artırmak için aşılması gereken zorlukları genel olarak, güneş pilinin iç yapısıyla ilgili kayıplar (P tipi, n tipi yarı iletken çeşidi, bunların bant aralığı, pil direnci, vb.) ve güneş panelini oluşturan bileşenlerin optimum bir şekilde bir araya getirilirken meydana gelen kayıplar (güneş ışınlarının güneş paneline geliş açısı, güneş paneli üzerindeki kir ve toz tabakası, vb.) biçiminde sıralanabilir. Şekil 1.2 de görüldüğü gibi dünyanın güneş haritası verilerine göre genel olarak çöl iklimine sahip bölgelerde yıllık ortalama güneşlenme süresi en fazladır. Fakat bu bölgelerde kurulan paneller üzerinde toz birikimi güneş panelinin verimini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu yüzden bu tezde panel üzerindeki kirlenmenin panel verimine olan etkileri incelenmiştir. Bu konu üzerinde yapılan bazı çalışmalar Bölüm 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.2. Dünyanın güneş haritası [3].

1.1. Literatür Çalışması

Sulaiman ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaya göre; fotovoltaik panellerin yüzeyinde biriken toz, kir, kum ve yosun gibi maddeler sistem verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu maddelerin fotovoltaik sistem üzerinde birikmesi sistemin verimini önemli ölçüde düşürmektedir. Bu tür kir ve tozlanmanın fotovoltaik performansını %85 oranında düşüreceği saptanmıştır. Yosunun, fotovoltaik panellerin çıkış gücüne %86 oranında etki edeceği saptanmıştır. Bu nedenle fotovoltaik panellerin belirli periyotlarla temizlenmesi gerektiği ortaya konulmuştur [4].

Mekhilef ve arkadaşları güneş enerjisini fotovoltaik hücreler yoluyla elektriğe dönüştürmenin çevresel ve ekonomik avantajları dolayısıyla gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin fotovoltaik sistemlerin verimliliklerini artırmak için daha fazla bütçe ayırdıklarını belirtmişlerdir. Malzeme ve tasarım parametrelerinin yanı sıra, fotovoltaik hücrenin performansını etkileyebilecek toz, nem ve hava akış hızı gibi birçok farklı faktör olduğunu ifade etmişlerdir. Bu toz birikiminin, nem seviyesinin ve hava akış hızının etkisi ayrı ayrı ele alınmış ve bu üç faktörün her birinin diğer ikisini de etkilediği gösterilmiştir. Güneş pili tasarlanırken tüm bu faktörlerin etkisinin dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır [5].

Dorobantu ve arkadaşları güneş panellerinde yüzey kirliliklerini ele almışlardır. Fotovoltaik hücreler üzerinde biriken toz ve kir ile etkilenen hücreleri içeren panellerin verimliliğinin düşmesine neden olduğunu ve sonuçta sistemde görünen kayıplar olduğunu belirtmişlerdir. Bazı bölgesel kirliliklerin gölgeli alanlar oluşturduğunu ve bunun da deneysel olarak belirginleşen aşırı ısınmaya neden olduğu sonucuna varmışlardır [6].

Kazem ve arkadaşları fotovoltaik modül (çok kristalli) performansı üzerindeki toz etkisini araştırmışlardır. Ayrıca farklı kirletici türlerinin birikimine bağlı olarak fotovoltaik performansını incelemişlerdir. Kırmızı toprak, kül, kum, kalsiyum karbonat ve silis de dahil olmak üzere kirleticilerin fotovoltaik modülün gücü üzerine etkileri ile ilgili deneyler yapmış ve analiz etmişlerdir. Sonuçta fotovoltaik çıkış gerilimi ve gücündeki azalmanın, kirletici türüne ve çökeltme seviyesine bağlı olduğunu göstermişlerdir. Kül kirleticisinin, kullanılan diğer toz kirleticilerle karşılaştırıldığında fotovoltaik modül geriliminde en etkili toz parçacığı olduğu belirtilmiştir. Fotovoltaik çıkış geriliminde en fazla düşüşün, kül kirletici kullanıldığında kaydedildiği (% 25) sonucuna varmışlardır [7].

Casanova ve arkadaşları bir fotovoltaik modülün yüzeyinde biriken tozun, güneş hücresine ulaşan radyasyonu azalttığını ve üretilen enerjide kayıp oluşturduğunu belirtmişlerdir. Tozun güneş hücresindeki radyasyonu azalttığını, aynı zamanda gelen radyasyonun gelme açısını da değiştirdiğini ifade etmişlerdir. Fotovoltaik modülünün yüzeyinde biriken toz nedeniyle bir yıldaki günlük enerji kaybı ortalamasının % 4.4 civarında olduğu sonucuna varmışlardır. Yağmursuz gün sayısının artmasının, günlük enerji kayıplarının % 20'den daha fazla olabileceğini vurgulamışlardır. Ek olarak, ısıma kayıplarının gün içinde sabit olmadığını, güneş ışığı geliş açısı ve yayılı radyasyon ile direkt radyasyon arasındaki orana bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Kirli yüzey yüzdesini

ve yayılı / direkt radyasyon oranını dikkate alarak, gün boyunca ısıma kayıplarının nitel davranışını açıklamışlardır [8].

Darwish ve arkadaşları yaptığı çalışmada, tozun fotovoltaiik sistemin performansını önemli derecede etkilediğini kanıtlamışlardır. Toz parçacıklarının, birçok çevre koşuluna bağlı olarak fazına, çeşidine, kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre farklılık gösterdiği ve rüzgar hızına ek olarak hava sıcaklığı ve nemin dağınık tozun fotovoltaiik panelde nasıl toplanacağını belirlemede önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir. Büyük ölçekli güneş tarlalarının, Arap ülkelerindeki çöl alanına taşınması nedeniyle yaptıkları bu çalışma önem arz etmektedir [9].

Rajput ve arkadaşları tozun fotovoltaiik panelin performansı üzerine etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Tozun, fotovoltaiik modülün gücünü ve verimini azalttığını belirtmişlerdir. Yaptıkları deneylerde, tozun bulunmadığı durumda maksimum verimin % 6,38, minimum verimin % 2,29 ve tozun bulunduğu durumda ise maksimum verimin % 0,64 ve minimum verimin %0,33 olduğunu bulmuşlardır. Sonuçta yapılan çalışma ile tozun, fotovoltaiik modülün gücünü % 92,11 ve verimini % 89 oranında azalttığını göstermişlerdir. Ayrıca güneş panelinden yüksek verim sağlamak için otomatik bir temizleme mekanizması önermişlerdir [10].

Sulaiman ve arkadaşları toz varlığının etkisini, laboratuvar ortamında sabit bir ışınlam altında yapay toz kullanarak incelemişlerdir. Güneş panelinin gücündeki azalmanın en fazla % 18'e kadar çıkabileceği sonucuna varmışlardır. Daha fazla ışınlam altında, tozun etkisinin azaldığını fakat bu durumda bile önemli derecede kayıp yaşandığını göstermişlerdir. Bu nedenle yüksek performans sağlamak için güneş panelinin yüzeyindeki kirlerin giderilmesi gerektiğini vurgulamışlardır [11].

Rahman ve arkadaşları sınırlı fosil kaynaklar hızla tükenmesi ve bunlarla ilgili çevresel sorunların yenilenebilir enerjiye yönelimin artmasına neden olduğunu vurgulamıştır. Güneş panelinin yüzeyinde biriken tozun bir ay içinde sistem verimini % 35'e kadar azaltabileceğini belirtmişlerdir [12].

Alnaser ve arkadaşları Mena bölgesindeki fotovoltaiik panellerin performansının düşük olmasının en büyük nedenin, fotovoltaiik paneller üzerinde biriken toz parçacıkları olduğunu söylemişlerdir. Bahreyn Üniversitesinde 500 kW kurulu güce sahip olan bir fotovoltaiik sistemde 8 fotovoltaiik panel ile deney yapmışlardır. Bahreyn'de çöl ortamında toz birikimi nedeniyle fotovoltaiik panel veriminin %32 oranında azaldığını gözlemlemişlerdir. Yaptıkları bu deneyleri 9 ay boyunca uygulamışlardır. Aylık olarak

ölçtükleri panellerde ise ortalama %26'lık bir verim düşüşünün yaşandığını belirlemişlerdir [13].

Mani ve arkadaşları tozun fotovoltaik sistem verimi üzerindeki etkisini inceleyen araştırmaları kategorize ederek bir değerlendirme yapmışlar ve sistem performansını daha ileri götürmek için yapılacak araştırmaların zorluklarından bahsetmişlerdir. Yaptıkları çalışmayı iki aşamalı olarak ele almışlardır; 1. aşamada, 1960'lerden 1990'a kadar; 2. aşamada ise 1990 sonrasındaki araştırmaları değerlendirmişlerdir. İklim ve çevre koşullarına bağlı olarak fotovoltaik sistemler için uygun temizleme / bakım döngüsünün belirlenmesine rehberlik edecek bir tavsiye tablosu geliştirmişlerdir [14].

Ahmed ve arkadaşları tozun fotovoltaik performansı üzerindeki etkilerini gözden geçirmişler ve toz özelliklerinin, fotovoltaik sistem parametrelerinin ve çevre parametrelerinin etkilerinden bahsetmişlerdir. Tozdan kaynaklanan verim kayıplarını etkileyen daha birçok parametre olduğunu ve bu parametrelerin bir bütün olarak dikkate alınması gerektiğini vurgulamışlardır. Bu kayıpları etkileyen hususlar hakkında daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğunu ifade etmişlerdir. Optimum eğim, yükseklik, farklı coğrafi / iklimsel koşullar için toz özellikleri (boyut, geometri, elektrostatik çökme davranışı), tozun biyolojik ve elektrokimyasal özellikleri, yaygın rüzgar düzenleri ve çeşitli fotovoltaik modül konfigürasyonları için minimum toz birikiminin optimizasyonu gibi parametrelerin fotovoltaik performansı üzerine etkilerinden bahsetmişlerdir [15].

Kaldellis ve arkadaşları, çalışmalarını Libya'nın güney alanında gerçekleştirmişlerdir. Libya'nın güney alanının yılın belli dönemlerinde (Mayıs-Şubat) toz ve kum taşıyan mevsimsel rüzgarlara maruz kaldığını ve bu toz, kum, kuş pisliği ve küçük parçacıkların fotovoltaik panellerin yüzeyinde biriktiğinden bahsetmişlerdir. Bu tozlanmanın fotovoltaik panellerin çıkış gücünde (%2-2,5) civarında bir performans kaybına neden olduğunu belirtmişlerdir. Bu güç kaybını önlemek için ve sistem verimini arttırmak için periyodik olarak haftalık temizlik yapmışlardır. Sonuç olarak güç kayıplarını azaltmak için güneş panellerinin yüzeyinin sık sık su ile temizlenmesinin önemli olduğunu ifade etmişlerdir [16].

1.2. Tezin Amacı

Güneş tarlaları genelde güneşlenme süresinin çok olduğu bölgelerde kurulmaktadır. Fakat bu bölgelerde karşılaşılan en önemli problemlerin başında panellerin kirlenmesi

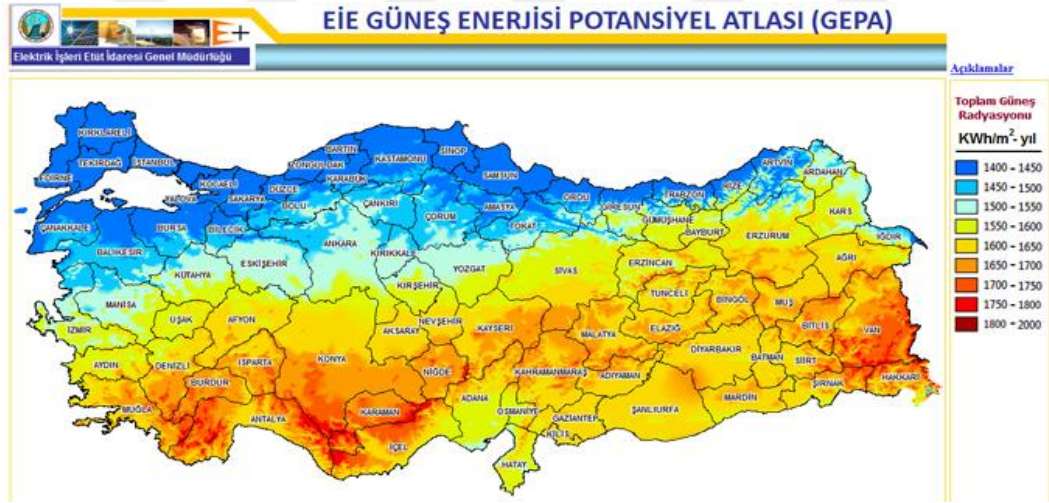
gelmektedir. Bu tezde güneş panellerinin verimini olumsuz etkileyen kir ve tozun panel verimi ve gücü üzerindeki etkisi Elazığ il merkezinde 25 Haziran 2016-25 Aralık 2016 ayları arasındaki 6 aylık süre boyunca deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmada 310x360x17mm boyutlarında sekiz adet güneş paneli kullanılmış olup dört panelin yatayla yaptığı açı 0° , diğerlerinin yatayla yaptığı açı 30° olarak ayarlanmıştır. Her dörtlü grupta, panellerden biri her gün temizlenmiş, biri haftalık temizlenmiş, biri aylık temizlenmiş, biri de hiç temizlenmemiştir. Bu panellerin açık devre gerilimleri ve kısa devre akımları avometre ile her gün ölçülüp gücün zamanla değişimi incelenmiş ve temizleme periyodunun güç üzerindeki etkileri araştırılmıştır.



2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Enerji, insan yaşamında önemli bir önceliğe sahiptir. Enerjisiz bir yaşam, günümüz koşullarında neredeyse olası değildir. Gelişen teknoloji ve dünyadaki nüfus artışından dolayı artan enerji açığı ile birlikte enerji talebi her geçen gün hızla artış göstermektedir. Bu enerji talebinin nedenlerinin başında ise nüfus ve gelir artışı yer almaktadır. 2030 yılı için tahmini olarak dünya nüfusunun 8,3 milyar olması öngörülmektedir. Bu nüfus artışı ile 1,3 milyar insanın daha enerji talebini karşılamak için enerji üretmek gerekecektir. Artan enerji ihtiyacının karşılanması için güneş enerjisi önemli bir alternatiftir [17].

Ülkemiz yüzölçümü ve nüfusu itibarıyla dünya üzerinde önemli bir yere sahiptir. Elektrik üretimi 2008 yılında 198,3 milyar kWh'a varmıştır. Artan nüfus ve dolayısıyla artan enerji ihtiyacı dünyada olduğu gibi ülkemizi de güneş enerjisi gibi alternatif enerji kaynakları arayışına itmiştir [17]. Türkiye'de güneş enerjisi potansiyelini gösteren harita Şekil 2.1 deki gibi olup güney bölgelerin güneş enerjisi potansiyeli diğer bölgelere kıyasla daha yüksektir.



Şekil 2.1. Türkiye Güneş Enerjisi Atlası [17].

Tarihçiler, yunan mucidi olan Arşimet'in güneş enerjisini M.Ö 3. yüzyılda kullanmaya başladığını iddia etmektedir. Arşimet Syracuse kuşatması sırasında aynalar topluluğu vasıtasıyla güneş ışınlarını odaklayıp düşman gemilerini yakmayı başarmıştır. M.Ö. 700'de insanlar güneş ışığını büyüteç ile yoğunlaştırarak yangın çıkarmayı düşünmüşlerdir. 1767'de ilk güneş fırını icat edilmiştir. Bugünkü güneş fırınları, elektrik

erişiminin olmadığı dünyanın çeşitli yerlerinde yemek hazırlamak için ucuz ve popüler çözümler olup bu cihazların çalışması için sadece güneş ışığı olması yeterlidir [18].

1839 yılında Fransız fizikçi Edmund Becquerel için büyük bir yıl olmuştur, 19 yaşındaki fizikçi bir malzemenin ışığa maruz kalması sonucu gerilim oluştuğunu keşfetmiştir. İngiliz mühendislerinden biri olan Willoughby Smith, 1873'de katı selenyumda foto iletkenliği keşfetmiştir. 1876 yılında Smith'in keşfi üzerine Profesör William Grylls Adams ve öğrencisi ışığa maruz kalan bir malzemede elektrik akımını gözlemleyen ilk kişilerdendirler. Selenyum plakasının üzerine iki elektrot yerleştirerek plakanın ışığa maruz kaldığında çok az miktarda elektrik ürettiğini gözlemlemişlerdir. Bir Amerikalı mucit olan Charles Fritts, güneş pillerinin nasıl yapılması gerektiği konusunda ilk projeyi öne sürmüştür. Basit tasarımları selenyum tabakalardan oluşmaktaydı. Albert Einstein, ışığın metal yüzeyindeki elektronları nasıl kopardığını anlatan ışık foton teorisini formüle etmiştir. 16 yıl geçtikten sonra 1921'de keşfettiği bilimsel atılımlar için Nobel Ödülü'ne layık görülmüştür [18].

Polonya'lı bilim adamı Jan Czochralski, tek kristal silikon üretmek için bir yöntem bulmuş ve bu buluşu silikon temelli güneş pilleri için temel oluşturmuştur. Bell Labs'tan David Chapin, Calvin Fuller ve Gerald Pearson, dünyanın ilk fotovoltaiik hücrelerini (güneş pili) geliştirmişlerdir. Başka bir deyişle güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren ilk cihazı yapmışlardır. Daha sonra bu pillerin verimini % 4'ten % 11'e kadar yükseltmişlerdir [18].

2.1. Güneş Enerjisinin Avantajları

- Güneş panellerinin en önemli avantajı yenilenebilir enerji kaynağı olmasıdır. Dünyanın her yerinde kullanılabilir olan güneş enerjisi, güneşe sahip olduğumuz sürece erişilebilir olacaktır; bu nedenle, en az 5 milyar yıl güneş ışığından faydalanabiliriz [18].
- Güneş sistemimiz tarafından üretilen elektrik ile enerji ihtiyaçlarımızın bir kısmı karşılanacağı için, elektrik faturaları da düşecektir [18].
- Güneş enerjisi ile elektrik (fotovoltaiik) veya ısı (güneş termik) üretebilmektedir. Güneş enerjisi, enerji şebekesine erişimi olmayan alanlarda elektrik üretmek, sınırlı temiz su kaynakları olan bölgelerdeki suyu arıtmak ve uzaydaki uyduları

çalıştırmak için kullanılabilir. Güneş enerjisi, binalar için kullanılan malzemelere de entegre edilebilir [18].

- Güneş enerjisi sistemleri genellikle çok bakım gerektirmez. En güvenilir güneş paneli üreticileri 20-25 yıl garanti verir. Ayrıca, hareketli parça olmadığından yıpranma yoktur. İnverter sürekli çalıştığı için 5-10 yıl sonra değişmesi gereken tek elemandır. İnverter dışında, kabloların da sistemimizin maksimum verimde çalışmasını sağlamak için bakıma gereksinimi vardır [18].

Güneş enerjisi endüstrisindeki teknoloji sürekli olarak ilerlemektedir. Kuantum fiziği ve nano teknolojideki gelişmeler güneş panellerinin verimini iki hatta üç katına çıkarabilir [18].

2.2. Güneş Enerjisinin Dezavantajları

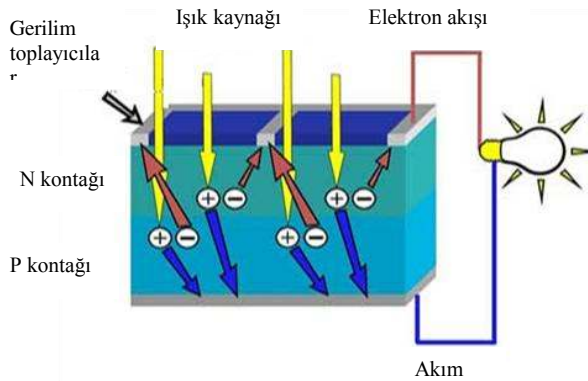
- Güneş panelleri, invertör, piller, enerji iletimi ve kurulum için ayrı ayrı maliyet gerekir. Bununla birlikte, güneş enerjisi teknolojileri sürekli gelişmekte olduğundan gelecekte fiyatların düşeceği düşünülmektedir [18].
- Güneş enerjisinden bulutlu ve yağışlı günlerde de faydalanılabilse de, güneş pillerinin verimi oldukça düşük olmaktadır. Güneş panelleri, güneş enerjisini etkili bir şekilde toplamak için güneş ışığına bağımlıdır. Bu nedenle, birkaç bulutlu ya da yağışlı gün enerji sistemi üzerinde belirgin bir etkiye sahip olabilir [18].
- Üretilen elektrik enerjisi hemen kullanılmalı veya büyük pillerle saklanmalıdır. Güneş sistemlerinde kullanılan bu piller, gece boyunca enerjinin kullanılabilmesi için gün boyunca şarj edilebilir. Bu, gün boyu güneş enerjisi kullanmak için iyi bir çözüm ancak aynı zamanda oldukça pahalıdır. Çoğu durumda, gün boyunca güneş enerjisini kullanmaktansa gece boyunca şebekeden enerji almak daha akıllıcadır. Şans eseri, enerji talebimiz gün içinde genellikle daha yüksektir, bu yüzden talebin çoğunu güneş enerjisiyle karşılayabiliriz [18].
- Güneş panelleri çok fazla alan gerektirir ve bazı çatılar, sahip olmak istediğiniz güneş panellerinin sayısına uyacak kadar büyük değildir [18].
- Güneş pillerinin etkin kullanımı iyileştirilmesine rağmen yaklaşık verim % 20'den % 40'a varan oranlar arasında değişmektedir. Panele çarpan güneş ışığının geri kalanı ısı olarak boşa harcanır. Güneş panellerinde doğrudan güneş ışığından

elektrik üretmek için pahalı yarıiletken malzemeler kullanılmaktadır. Yarı iletken üreten fabrikalar 'temiz' üretim ortamlarına ihtiyaç duymakta olup bu ortamları inşa etmek ve bakım yapmak maliyetlidir [19].

- Bir ev için fotovoltaik sistem kurulumu oldukça pahalı ve aynı zamanda kurulumu için deneyimli insanlar gerektirmektedir. Güneş takip sistemleri orta gelirli ev sahipleri için çok pahalıdır.
- Dev güneş enerjisi tarlaları çöl bölgelerinde inşa edilmiş ve kurulum maliyeti düşürülmüştür. Fakat bu büyük, ucuz araziler, güce ihtiyaç duyulan şehirlerden çok uzaktadır. Gücü uzak bir pazara ulaştırmak için uzun enerji iletim hatları gereklidir.
- Bir güneş panelinin her santimetresinin en verimli şekilde çalışabilmesi için temiz ve kirden arındırılmış olması gerekir ve bu da bakım maliyetinin artmasına neden olur [19].
- Panel üzerindeki bir toz bile gelen ışığın küçük bir kısmını bloke edeceği için verimliliği büyük ölçüde düşürmektedir.

2.3. Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı ve Çalışma Prensipleri

Bir güneş pili, fotovoltaik etki kullanarak ışık enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren katı hal aygıtlarıdır (p-n birleşimi). Dönüşüm işleminde sırasıyla güneş enerjisinin absorbe edilmesi, bir elektronun uyarılması ve dış devrede akım oluşması olayları gerçekleşir. Silikon, bu işlem için uygun bir malzemedir. Şekil 2.2'de bir güneş pilinin yapısı görülmektedir [20].



Şekil 2.2. Güneş Pili Yapısı [21].

2.3.1. P-N Eklemi

Bir fotovoltaik hücre P-tipi yarıiletken (yüksek konsantrasyonda boşluk) ve N-tipi yarıiletken (yüksek konsantrasyonda elektron) malzeme birleştirilerek oluşturulur. Bu birleşime bağlı olarak, N tipi malzemedeki serbest elektronlar difüzyon yoluyla P tipi yarıiletkendeki boşluklarla birleşir. Elektronların P tipi tarafa hareket etmesi, N tipi taraftaki pozitif iyon çekirdeklerini ortaya çıkarırken, boşlukların N tipi tarafa hareket etmesi, P tipi taraftaki negatif iyon çekirdeklerini ortaya çıkarır. Bu durum eklem noktasında bir elektrik alanı meydana getirir ve tüketim bölgesinin oluşmasına neden olur [20].

Güneş pilinde "ışıktan üretilen akım" olarak bilinen akımın üretilmesi iki önemli işlemi içerir.

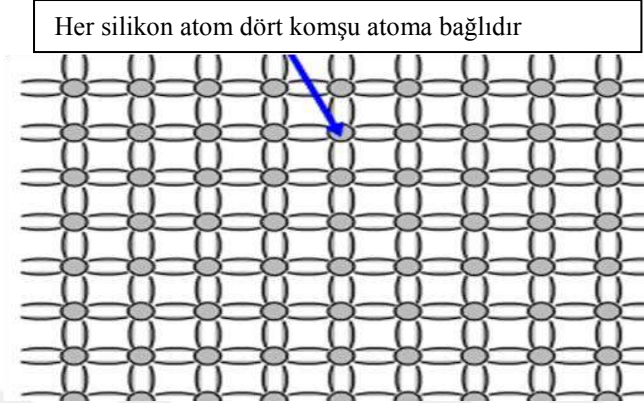
1. Fotonunun enerjisi bant aralığından daha büyük bir enerjiye sahip olması koşuluyla absorpsiyon sonucu elektron-boşluk çiftinin oluşması. Bununla birlikte, elektronlar ve boşluklar karardır ve ortalama olarak, yeniden birleşmeden önce azınlık taşıyıcı ömrüne eşit bir süre için var olurlar. Taşıyıcılar birleşirse, ışıktan üretilen elektron-boşluk çifti kaybolur ve akım veya güç üretilemez.
2. Taşıyıcılar, p-n tüketim bölgesinde bulunan elektrik alanının etkisiyle ayrılırlar. Güneş pili kısa devre edilirse, ışıkla üretilen taşıyıcılar dış devre içinden akarak bir akım oluşturur [20].

2.4. Güneş Pili Çeşitleri

2.4.1. Kristal Silisyum Güneş Pilleri

Silikon güneş pillerinin çoğunluğu, tekli kristal ya da çoklu kristal silisyum tabaka olarak imal edilmektedir. Tek kristal halindeki tabakalar tipik olarak daha iyi malzeme parametrelerine sahiptir ancak aynı zamanda daha pahalıdır. Kristalize silikon, her atomun ideal olarak önceden belirlenmiş bir konumda bulunduğu düzenli bir kristal yapısına sahiptir. Kristal silikon, öngörülebilir ve uniform bir davranış sergiler; ancak, dikkatli ve yavaş üretim işlemleri nedeniyle, aynı zamanda en pahalı silisyum türüdür. Silikon atomlarının düzenli kristal silisyumda düzenlenmesi, iyi tanımlanmış bir bant yapısı oluşturur. Her silikon atomun dış kabuğunda dört elektron vardır. Komşu atomlardan

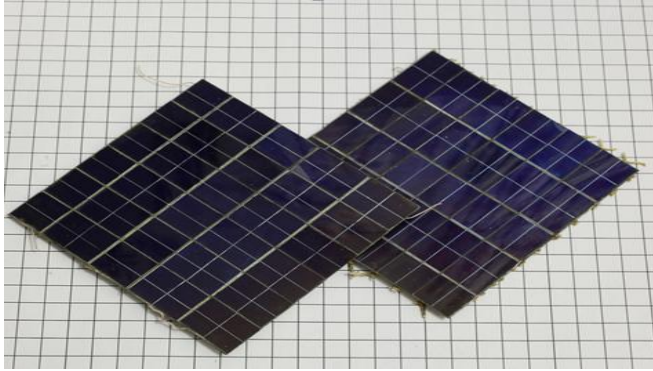
elektron çiftleri paylaşılır, böylece her atom komşu atomlarla dört bağ oluşturur [22]. Atomların komşu atomlara nasıl bağlandığı Şekil 2.3'te görülmektedir.



Şekil 2.3. Atomların komşu atoma bağlanması [22].

2.4.2. Galyum Arsenit (GaAs) Güneş Pilleri

Galyum arsenit güneş pilleri optik yoğunlaştırıcı sistemlerde ve uzay uygulamalarında kullanılmaktadır. Galyum arsenit, yarı iletken aygıtların bir numaralı hammaddesidir. Bunun nedeni ise oldukça yüksek elektron mobilitesidir [23]. Galyum arsenit güneş piline ait görsel Şekil 2.4'de görülmektedir.



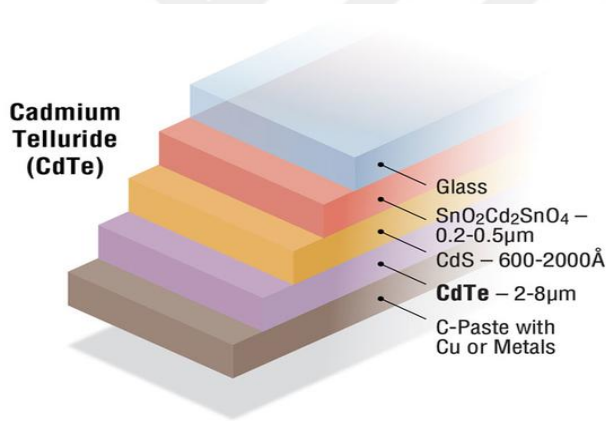
Şekil 2.4. Galyum arsenit güneş pili [24].

2.4.3. Kadmiyum Tellürid (CdTe) Güneş Pilleri

En yaygın CdTe güneş pilleri, n-katkılı bir kadmiyum sülfid (CdS) tabakasıyla eşleşen bir p-katkılı CdTe katmanı içeren basit bir p-n heterojen eklem yapısından oluşur.

Tipik CdTe ince film üretim teknikleri arasında, yakın aralıklı süblimleşme, fiziksel-buhar biriktirme, püskürtme ile biriktirme, kimyasal-buhar biriktirme, spreyc biriktirme ve ekran baskı biriktirme yer alır. Şekil 2.5’de görülen CdTe güneş pilleri, yüksek kaliteli bir şeffaf iletken oksit (TCO) özellikle flor katkılı kalay oksit ($\text{SnO}_2\text{:F}$) ve tipik olarak bir bakır (Cu) veya metal karbon macunu içeren arka elektrik kontağı ekleyerek tamamlanır. Arka kontakta bakırı kullanmanın bir dezavantajı, bakır atomlarının CdTe ve CdS katmanlarına kademeli olarak difüzyonudur; bu da kusurlar oluşturur ve CdTe / CdS bağlantısında bakır birikimini artırır [25].

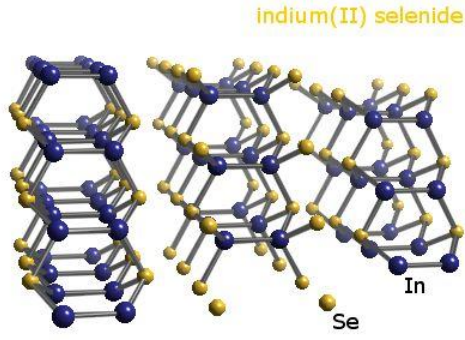
Kadmiyum klorür (CdCl_2) buharlaştırma işleminin keşfinden sonra genel CdTe güneş pil performansı önemli ölçüde iyileşmiştir. CdTe katmanı CdS katmanı üzerinde büyütüldükten sonra 390°C 'ye yakın sıcaklıklarda oksijen ortamında tavlama işlemi gerçekleştirilir. CdCl_2 işlemi, daha büyük CdTe tanelerinin büyümesi ve kusurların pasifleştirilmesi gibi CdTe güneş pilleri üzerinde olumlu etkilere sahiptir [25].



Şekil 2.5. Kadmiyum Tellürid güneş pili [26].

2.4.4. Bakır İndiyum Diselenid Güneş Pilleri

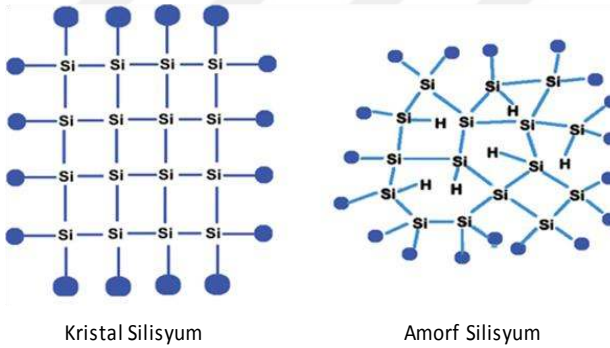
Bakır indiyum diselenid (CuInSe_2) ince film teknolojisi, elverişli elektronik ve optik özelliklerinden dolayı yeni nesil güneş pilleri için umut vericidir. Bu güneş pilleri yaygın olarak bakır indiyum galyum diselenid [$\text{Cu}(\text{In}_x\text{Ga}_{1-x})\text{Se}_2$] veya CIGS hücreleri olarak bilinirler. Laboratuvar ölçekli hücre verimleri %20' yi aşmasına rağmen, ticari CIGS modülleri tipik olarak % 12 ile % 14 arasında verimlilik göstermektedir [27]. İndiyum diselenid yapısı Şekil 2.6' da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. İndiyum Diselenid kimyasal yapısı [28].

2.4.5. Amorf Silisyum Güneş Pilleri

"Amorf" kelimesi tam anlamıyla biçimsiz demektir. Diğer silikon bazlı güneş pilleri türlerinde olduğu gibi, silikon malzeme moleküler düzeyde yapılandırılmamış veya kristalleştirilmemiştir. Amorf silisyum (A-Si) küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanıldığı gibi ayrıca güneş ışınlarının az olduğu yerlerde santral uygulamalarında kullanımı görülmektedir.



Şekil 2.7. Kristal ve Amorf Silisyum [30].

A-Si ve silikon kristal arasındaki yapısal farklılıklar, bu iki malzemeye dayalı güneş cihazlarının üretim teknolojisinin farklı olduğunu gösterir. A-Si ve diğer "ince film" teknolojilerinde çok ince yarı iletken filmler cam veya diğer düşük maliyetli yüzeyler üzerine biriktirilir [29]. Kristal silisyum ve amorf silisyum arasındaki fark Şekil 2.7'de görülmektedir.

2.4.6. Yoğunlaştırıcı Güneş Pilleri

Yoğunlaştırıcı fotovoltaik sistemi (CPV), geleneksel fotovoltaik teknolojinin yaptığı gibi ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür ancak maksimum verim için her hücrenin üzerine güneş ışığını odaklamak için Şekil 2.8’de ki gibi gelişmiş bir optik sistem kullanır. Bazen düşük yoğunlaştırıcı ve yüksek yoğunlaştırıcı gibi yoğunlaştırma faktörü ile farklılaşan farklı CPV tasarımları mevcuttur. Konvansiyonel fotovoltaik sistemlerin aksine, güneş ışığını küçük ancak oldukça verimli, çok eklemli güneş pillerine odaklamak için mercekler ve eğimli aynalar kullanır. Ayrıca, CPV sistemleri genellikle verimliliklerini artırmak için güneş takip cihazlarını ve bazen de bir soğutma sistemini kullanmaktadır [31].



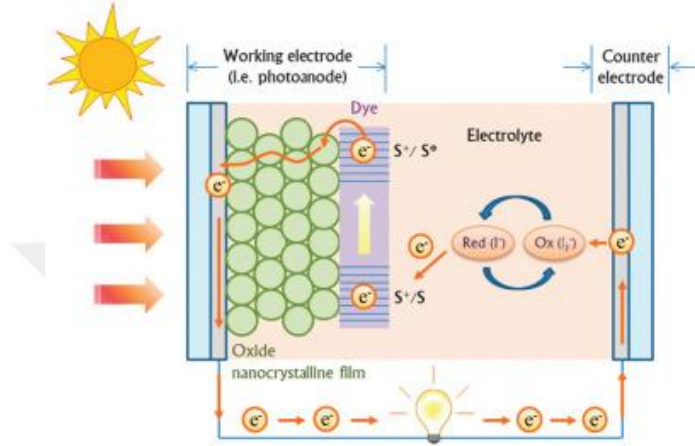
Şekil 2.8. Yoğunlaştırıcı güneş pilleri [32].

CPV teknolojisi 70’li yıllardan beri mevcut olmakla birlikte son teknolojik gelişmeler, CPV kullanımının hız kazanmasına olanak sağlamıştır [31].

2.4.7. Boya Duyarlı Güneş Pilleri

Boya Duyarlı güneş pilleri (DSSC), görünür ışığı elektriğe dönüştüren üçüncü nesil fotovoltaik (güneş) hücre tipidirler. Şekil 2.9 da görülen bu yeni gelişmiş güneş pili sınıfı, doğanın ışık enerjisinin emilimini taklit etme şekli nedeniyle suni fotosenteze benzetilebilir. DSSC 1991’de Prof. Michael Graetzel ve Dr Brian O'Regan tarafından

İsviçre'de geliştirilmiş olup Grätzel hücresi olarak da adlandırılmaktadırlar. DSSC, kullanıcıya suni ve doğal ışığın enerjiye dönüştürülmesini sağlayan geniş bir ışık yelpazesinde, hem iç mekan hem de dış mekanda elektrik üretmek için kullanılabilecek yeni bir teknolojidir. Boya duyarlı güneş pili, ince film güneş pilleri grubuna ait düşük maliyetli bir güneş pilidir [31].

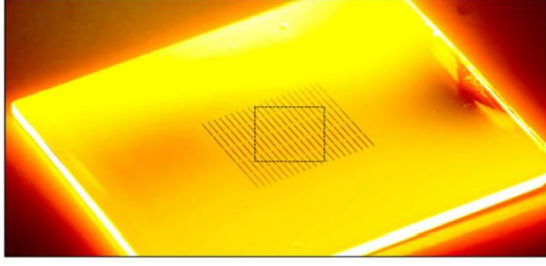


Şekil 2.9. Boya duyarlı güneş pili [33].

2.4.8. Lüminesan güneş yoğunlaştırıcı:

Şekil 2.10'da görülen lüminesan güneş yoğunlaştırıcı (LSC), lüminesan boya ya da kuantum noktalarının içerisine gömüldüğü veya boyandığı şeffaf bir plastik veya cam parçasıdır. İnce lüminesan malzeme tabakası, tipik olarak, organik boyalar, kuantum noktaları gibi ışıldayan türlerle katkılı bir polimerden (polimetilmetakrilat veya nadir toprak kompleksleri gibi) oluşur. LSC'lerin kullanılması için en önemli neden daha pahalı olan PV'lere kıyasla daha az yer kaplayan ucuz bir alternatif olmasıdır. Şekil 2.11'de görülen tipik yoğunlaştırıcı sistemlerinin diğer önemli bir avantajı da LSC'lerin hem direk gelen hem de eğimli gelen güneş radyasyonunu toplayabilmesidir. Bu nedenle güneşin izlenmesi gerekli değildir [31].

LSC'lerin geliştirilmesi, teorik olarak azami verimliliğe yakın bir çalışma yapısının oluşturulmasını amaçlamaktadır. İdeal bir LSC güneş spektrumunu etkin bir şekilde kullanmak için geniş bir soğurma aralığı, emici lüminesan türlerden %100 ışık emisyonu, emilim kayıplarını azaltmak için emilim ve emisyon spektrumu arasında büyük bir kayma ve uzun vadeli istikrar gibi özelliklere sahiptir [31].



Şekil 2.10. Lüminesan güneş yoğunlaştırıcı [31].

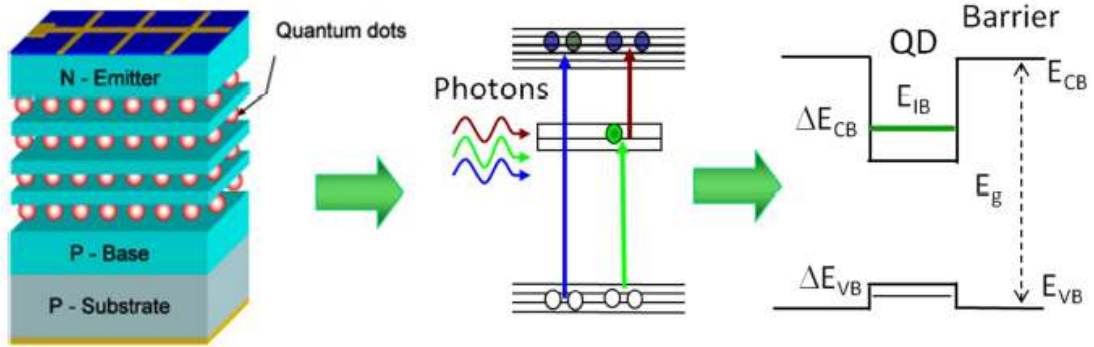
2.4.9. Hibrit güneş pilleri

Hibrit güneş pilleri, hem organik hem de inorganik yarıiletkenlerin avantajlarını bir araya getirir. Hibrit güneş pilleri, elektron ve boşluk olarak ışığı emen konjuge polimerlerden oluşan organik maddelere sahiptir [34]. Hibrit hücrelerdeki inorganik materyaller, yapıdaki alıcı ve elektron taşıyıcı olarak kullanılır. Hibrit fotovoltaik cihazlar hem düşük maliyetlidir hem de seri üretime elverişlidir. Hibrit solar hücrelerde, bir fotoaktif tabaka oluşturmak için elektron iletimi yüksek bir materyal organik materyal ile karıştırılır. İki malzemenin bir araya gelmesiyle oluşan güneş hücresinin güç dönüştürme verimliliği tek bir materyal ile oluşturulan güneş hücresininkinden büyük olur [35]. Malzemelerden biri foton absorbe edip elektron-boşluk çifti oluştururken diğeri eklem bölgesinde elektron-boşluk çiftinin birbirinden ayrılmasını sağlar. Elektron-hol çiftinin ayrılması ile birlikte hücrenin iki ucu arasına bir potansiyel fark oluşur. Elektron-boşluk çiftinin ayrılması için gerekli enerji alıcı ve verici materyallerin bant aralığı tarafından sağlanır. Ayrışma sonrası elektron ve boşluk anot ve katot elektrotlarına taşınır. Bir eksitonun (elektron- boşluk çifti) yeniden birleşme yoluyla yok olma durumundan önce bir malzeme boyunca ilerleyebileceği ortalama mesafe, difüzyon uzunluğu olarak bilinir. Polimerlerde bu mesafe 5-10 nm civarındadır. Bir alıcıya yakınlığı, difüzyon uzunluğuna eşit veya küçük mesafede üretilen foto-akıma katkıda bulunur. Kısa difüzyon uzunluğu problemiyle başa çıkmak için, kalın bir heteroeklem yapısı kullanılır [36].

2.4.10. Quantum Nokta Güneş Pilleri

Kuantum nokta güneş pilinde, fotonları absorbe eden fotovoltaik malzeme olarak kuantum nokta yapılar kullanılır. Kuantum nokta yapılar silika, bakır indiyum galyum selenit (CIGS) veya CdTe gibi malzemelerin yerini almaya çalışmaktadır. Kuantum

noktaların bant aralığı, kuantum nokta yapıların boyutları değiştirilerek ayarlanabilmekte iken büyük hacimli materyallerde, bant aralığı malzemenin seçimi ile birlikte sabitlenir. Bu özellik, kuantum noktaları, güneş tayfının büyük kısmını hasat ederek verimi artırmak için çekici hale getirir. Kuantum nokta yapılar, Eksiton Bohr yarıçapı boyutunun altına düşen yarı iletken parçacıklardır. Kuantum noktalara "suni atomlarda" denir. [37]. Bant açısını ayarlama yeteneği, kuantum noktalarını güneş pilleri için arzu edilen hale getirir. Kurşun sülfid (PbS) kuantum nokta kullanılarak uzak kızılötesi bant aralığına sahip güneş hücresi elde edilebilir ve geleneksel yollarla bunu elde etmek zordur. Dünya'ya ulaşan güneş enerjisinin yarısı kızılötesinde iken bu kızıl ötesi ışınların çoğu ise yakın kızılötesidir. Bir kuantum nokta güneş pili, diğer pillere kıyasla kızılötesi enerjisini absorbe edebilecek özelliğe sahiptir. Dahası kuantum noktaların sentezi kolaydır. Kuantum noktalar, döndürme ile kaplama, elle veya otomatik bir süreçle bir yüzeye kaplanabilirler. Büyük ölçekli üretim, püskürtme veya rulo baskı sistemleri kullanarak modül yapım maliyetlerini önemli ölçüde düşürebilir. İlk zamanlarda pahalı moleküler ışın epitaksi süreçleri kullanılmış, ancak daha sonra daha ucuz üretim yöntemleri geliştirilmiştir. Kuantum nokta güneş hücrelerinde %8'lik verim elde edilebilmektedir. Şekil 2.11'de Quantum nokta güneş pili gösterilmiştir.

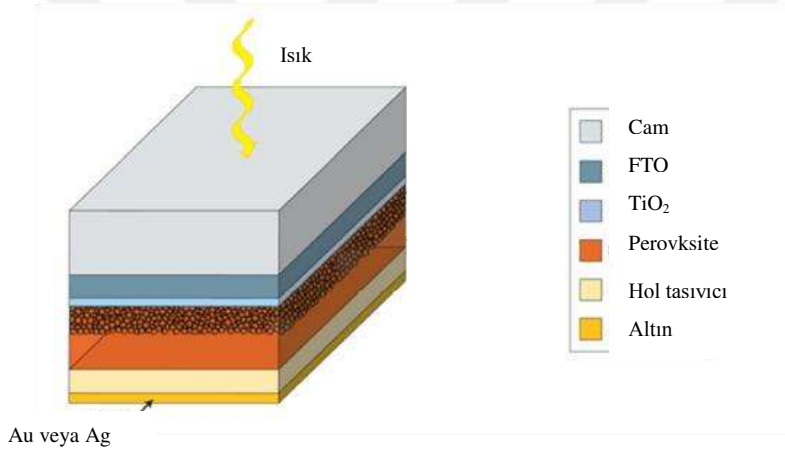


Şekil 2.11. Quantum nokta güneş pili [37].

2.4.11. Perovskite Güneş Pilleri

Perovskite güneş hücresinde, foton absorbe eden malzemeler ABX_3 kristal yapısındadır ve bu yapıya perovskite yapı denir. En yaygın olarak incelenen perovskite 2,3 eV ile 1,6 eV arasında bir bant aralığına sahip metil amonyum kurşun trihalojenür ($CH_3NH_3PbX_3$, burada X, I-, Br-, Cl- gibi halojen bir iyonudur) 'dür. Formamidinium

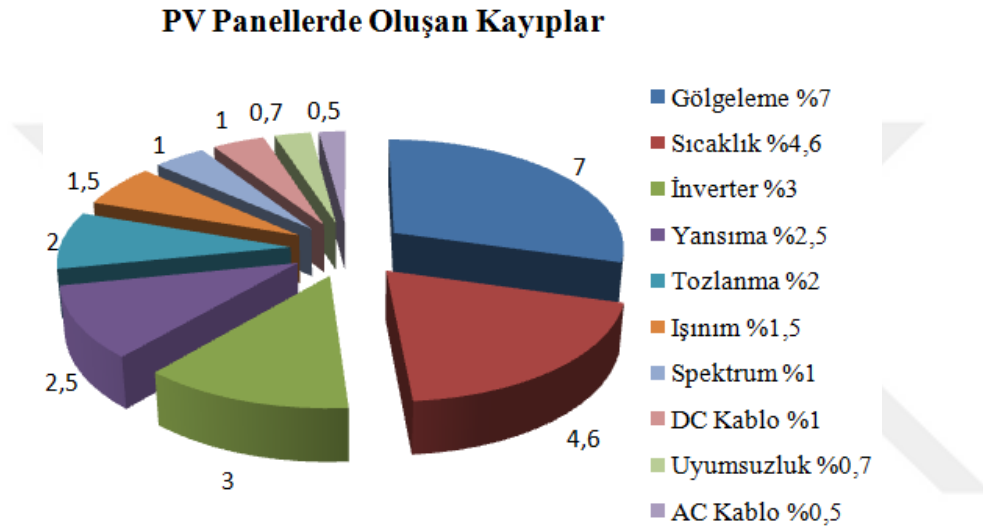
kurşun trihalojenür ($\text{H}_2\text{NCHNH}_2\text{PbX}_3$), 2,2 eV ile 1,5 eV arasında bant genişliğindedir. Minimum bant açısı, tek eklemlı güneş hücresi için metil amonyum kurşun trihalide göre en yakın olanıdır, bu nedenle daha yüksek bir verime sahip olmaktadır [38]. Bu yapıdaki ortak endişe bileşendeki kurşundur. Bu güneş pillerinde kalay bazlı daha düşük verimli perovskite yapılarda kullanılmaktadır. Perovskite güneş pilleri, geleneksel silikon güneş pillerinden daha basit bir yolla üretilirler. Geleneksel yüksek saflıkta silikon üretmek için, vakumlu temiz odada yüksek sıcaklık (1000 °C'nin üstünde) gerektiren çok adımlı ve pahalı süreçler vardır. Şekil 2.12 de görüldüğü gibi perovskite güneş pili yapısında sırasıyla gümüş ya da altın katman, hol (boşluk) taşıyıcı katman, perovskite yapı, TiO_2 katman, FTO (Flor katkılı kalay oksit: Saydam iletken tabaka) ve cam bulunmakta olup 2012 de ortaya çıkan bu güneş pilinin verimi %19 ları geçmiştir [31].



Şekil 2.12. Perovskite güneş pili yapısı [31].

3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDEKİ KAYIPLAR

Şebeke bağlantılı bir fotovoltaik sistemin üretmekte olduğu enerji birçok faktöre bağlıdır. Sistemi oluşturmakta olan bileşenlerin nominal karakteristik değerleri, sistem konfigürasyonu, sistemin coğrafi konumu, kurulum noktasının etrafında bulunan yapılar ve işletim sırasında gerçekleşebilecek arızalar bunlardan bazılarıdır [39]. Fotovoltaik (PV) sistemdeki kayıplar Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Fotovoltaik (PV) sistemde kayıplar [40].

3.1. Işınım Kayıpları

Radyasyon, uzaydan gelen enerjidir. Güneş ışığı, en bilinen radyasyon formlarından biridir. Güneş'ten görünür ışığın dışında morötesi ışınlarda gelir. Bu tür radyasyonlara iyonlaştırıcı radyasyon olarak bakılabilir ve bu ışınlar atmosferden geçemez ve bu durum güneş enerjisinin tümünden yararlanmamızı engeller. Bu ışınlardan yararlanmanın yolu güneş panellerini atmosfer dışına yerleştirmektir [41].

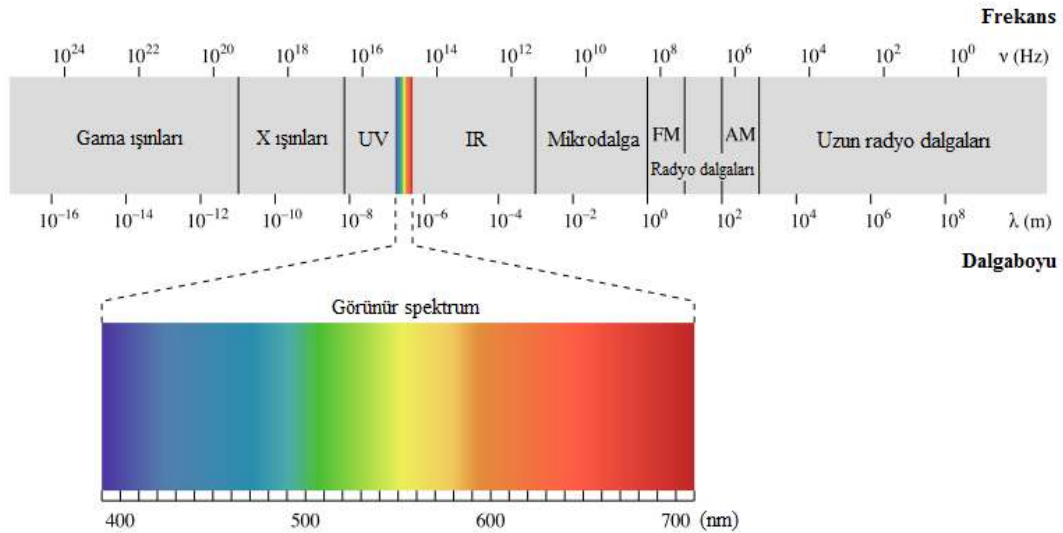
3.1.1. Modül Düzlem Açısı

Modül düzleminin yatay düzleme göre eğim açısı elde edilen verimi etkiler. Güneş panellerinden maksimum verim elde etmek için güneşten gelen ışınların panel düzlemine dik olarak düşmesi gerekir. Panellerin bulunduğu coğrafi konum nedeniyle güneş

ışınlarının panele dik düşmesi için panellerin yatayla yaptığı açıda değişimler olur. Örneğin ekvatorda panellerin yatay düzleme paralel olması güneş ışınlarının panel düzlemine dik düşmesi için yeterlidir. Fakat ekvatordan kuzey veya güney kutbuna doğru gidildikçe güneş ışınlarının yatay düzlemle yaptığı açı küçülür ve buna bağlı olarak ta maksimum verim için panellerin eğim açılarının ayarlanması gerekir. Bu problemin çözülmesi için güneş ışınlarının panel düzlemine dik düşmesini sağlayan ve otomatik olarak hareket eden panel sistemleri geliştirilmiştir [41].

3.1.2. Spektrum Kayıpları

Anlık ışınımında, AM 1,5'teki (Air mass) standart güneş spektrumunda eğer sapma olursa, sistemdeki PV modüllerin spektral tepkilerindeki seçicilikten kaynaklanan kayıplar ortaya çıkar. Güneş ve gökyüzü ışınimleri için yıl boyunca gözlemlenmekte olan spektrum, açık gökyüzünün ideal spektrumundan (AM 1,5) farklılık göstermektedir. Bu farklılıktan dolayı sapmalar hesaba alınarak, toplam yıllık olarak gelen güneş ışınımı solar hücre teknolojisine bağlı olarak bir faktörle çarpılarak belli bir oranda azaltılır [42]. Şekil 3.2 de dalga boyu ve frekansa bağlı olarak elektromanyetik spektrum görülmektedir.



Şekil 3.2. Elektromanyetik spektrum [42].

3.2. Gölgeleme Kayıpları

PV panellerin performansını etkileyen en önemli faktörlerden birisi gölgelendirmeden kaynaklanan kayıplardır. Gölgeleme neden olabilecek faktörlere komşu binalar ve enerji nakil direkleri örnek olarak verilebilir [43, 44]. Özellikle şehir merkezlerinde birbirine çok yakın inşa edilmiş binalar özellikle çatılara kurulmuş PV modüllerinde gölgelenmeye neden olmaktadır [43, 45].

Bazen, PV sistem diziliminin yanlış tasarımından dolayı kendini gölgelemesi de mümkün olabilmektedir. Bu nedenle tasarım aşamasında doğru kararlar verilmelidir. PV sisteminin kurulduğu yer dikkatli seçilmelidir [43].

3.3. Toz Kayıpları

Bu kayıplar, herhangi bir nedenle PV modül yüzeyinin kirlenmesi veya modül yüzeyinde kar birikimi nedeniyle gelen güneş radyasyonunun azaltılmasından kaynaklanmaktadır [46]. Tozlanmadan kaynaklanan kayıplar için yapılan araştırma sonuçları, özellikle yağış oranının çok az olduğu alanlarda bu kayıpların olağandışı durumlarda % 15'e ulaştığını göstermektedir [46, 47].

3.4. Yansımaya Kayıpları

PV malzemelerde, ışık akısının bir kısmı emilmekte daha sonra elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Kullanılan malzemenin kalitesi optik yansımaya, iletimdeki kayıpların azlığına, emilmekte olan ışınım yoğunluğuna bağlıdır. Kristal silisyum, amorf silisyumdan daha fazla ışık toplamaktadır. Buradaki amaç ışığı hapsederek yansımaları mümkün olduğu kadar minimum seviye indirmektir (hava ile temastaki ham silisyum ışığın %33'nü geri yansıtır). Yansımaya kayıplarının önlenmesi ve emilmenin azami seviyeye çıkartılması için modüller farklı katmanlardan üretilir. Fotovoltaik modüllerin yüzey kaplama camları emilmeyi en üst seviyeye, yansımayı en aza getirmek için tasarlanmış temperli bir yapıya sahiptir. Hücreler de aynı şekilde ışığın yansımalarını önleyecek yansımaya önleyici kaplama malzeme ile kaplıdır. Yansıyan solar ışınımın şiddeti güneş ve PV modül arasındaki açıya ve modülün kırılma indisine bağlıdır. Normal bir ışınımda solar modüller gelen ışığın %4'ünü yansıtırlar [48].

3.5. Termal Kayıplar

Güneş panelleri, 25 ° C, 1000 W / m² güneş radyasyonuna ve AM 1.5 (hava kütlesi) karşılık gelen standart test koşulları altında test edilir. Panelin verimliliği, standart test koşullarına göre hesaplanır. Elektrik üretimi, PV modül yüzeyine güneş ışınımının ulaşmasıyla başlar. Güneş ışınlarının bir kısmı elektrik enerjisine dönüştürülürken, bir kısmı ısı enerjisine dönüşür [49].

Panelde meydana gelen sıcaklık arttıkça PV performansı da düşmeye başlar. PV panelleri, tüm güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüremez. PV panellerinin dönüşüm oranı yaklaşık % 5-25 aralığındadır. Bu nedenle, güneş modüllerinin elektrik enerjisine dönüştüremediği fazla enerji modüllerin ısınmasına ve dolayısıyla termal kayıplara neden olur [44, 50].

3.6. Kablo Kayıpları

Normal olarak iyi tasarlanmış bir sistemde kablo kayıpları %2'den az olmalı ve bu oran zamanla yükselmemelidir. Kablolardan kaynaklanan enerji kayıpları, kablo direncinin artmasıyla doğru orantılıdır. Sistem kayıplarının önemli bir kısmı elektriksel kısımlarda meydana gelir. Bu kayıpların bir kısmı kablolarda, bir kısmı ise üretilen doğru akımı alternatif akıma dönüştürmek için kullanılan invertörlerde meydana gelmektedir [51].

3.7. Modül Teknik Özelliklerindeki Sapmalar

Solar modüllerin katalog değerleri ile gerçek değerleri arasındaki farklılıklar modül teknik özelliklerindeki sapmaları meydana getirir. Solar hücrelerinin performans verilerinde oluşan sapmalar ve üretim süreçlerindeki standart parametrelerin tutturulamaması, saha koşullarında güç değerlerinin dalgalanmasına sebep olmaktadır. Bu durum, enerji üretim rakamlarında öngörülen değerlerin saha koşullarında daha düşük çıkmasına sebep olmaktadır [52].

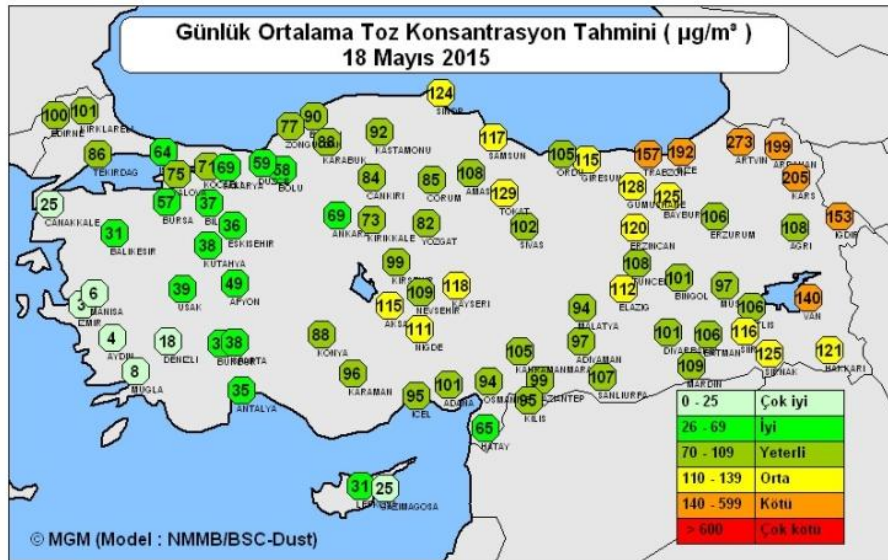
3.8. Uyumsuzluk Kayıpları

İstenilen sistem gerilim ve akımını sağlayabilmek için fotovoltaiik paneller birbirlerine seri veya paralel şekilde bağlanır. Fakat elde edilen toplam güç, fotovoltaiik panellerin ayrı ayrı teorik güçleri toplamından daha düşük bir orana sahip olabilir [53]. Fotovoltaiik dizisindeki modüllerin birbirlerinden farklı çalışma sıcaklıklarında bulunması ya da farklı ışıınım değeri ve açılarına maruz kalması durumunda uyumsuzluklar meydana gelir. Aynı şekilde fotovoltaiik dizisindeki modül kabloları arasındaki mesafe ve kesit farklıları uyumsuzluk kayıplarına neden olmaktadır. Modüllerin maksimum güç noktasından uzakta çalıştırılması, dinamik uyumsuzluk oluşturur. Paralel bağlantıda gerilimin, seri bağlantıda ise akımın tüm modüller için eşit olması nedeniyle seri veya paralel olarak birbirlerine bağlanmış fotovoltaiik paneller maksimum güç noktalarında çalışamayabilir [54].

4. PV SİSTEMLERDE TOZLANMADAN KAYNAKLANAN KAYIPLAR

PV sistemin yüzeyinde biriken toz, modüllere ulaşan güneş ışınlarının miktarını azaltmaktadır. Tozlanma üzerine yapılan araştırmalar göstermiştir ki, özellikle az yağış alan bölgelerde bu kayıplar aşırı durumlarda %15 oranlarına ulaşmaktadır [55].

Bu aşamada yapılması gereken modüllerin temizlenmesidir. Fakat güneş enerji santrallerinde, özellikle su sıkıntısı çekilen alanlarda bu işlem pahalıya mal olmaktadır. Tozlanmadan kaynaklanan güç kaybı tozun cinsine, en son düşen yağmurdan beri geçen zamana ve temizlik programına bağlıdır [56]. Şekil 4.1’de Türkiye’deki günlük ortalama toz konsantrasyonu gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi bazı istisnai durumlar hariç genel olarak doğudan batıya gidildikçe toz konsantrasyonu azalmaktadır. Toz konsantrasyonunun en fazla olduğu yer Kuzey Doğu Anadolu iken en az olduğu yer Ege kıyılarıdır.



Şekil 4.1. Günlük ortalama toz konsantrasyonu [57].

Güneş panelleri pahalı fakat mükemmel bir yatırımdır. Ancak, bunlar kendi kendini temizleyememektedir. Bu, güneş paneli verimini önemli ölçüde düşürmektedir. Yatırım maliyetleri üretmek istediğimiz elektriğin maliyetini geçerse, kullanım amacını yitirir [58]. İnsan gücüyle temizlenen güneş panelleri Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.2. Güneş paneli temizleme [58].

Rüzgarla birlikte panel yüzeyinde biriken toz, yapraklar ve hatta kuş pislikleri güneş ışığının güneş panellerindeki güneş hücrelerine ulaşmasını engellemektedir. Kirlenmenin artış göstermesi, üretilen elektriğin miktarını düşürmektedir. Birçok faktör güneş panellerinin verimini etkiler. Kirli güneş panelleri, verimi düşürür fakat düzeltilmesi en kolay olanıdır. Ulusal Yenilenebilir Enerji laboratuvarına göre bazı bölgelerde kayıplar %25 gibi yüksek bir orana ulaşabilmektedir [59]. Güneş panellerinin temizlenmesine alternatif olarak üretilen bir otomatik temizleme cihazı Şekil 4.3’de görülmektedir.



Şekil 4.3. Otomatik güneş paneli temizleme cihazı [59].

Güneş panellerini bir robot kullanarak temizlemek basit bir iş gibi gelebilir fakat birkaç kilometrekarelik bir güneş tarlası için bu işlem oldukça zor, aynı zamanda maliyetlidir. Temizleme işlemi için kullanılan kimyasallar çevreye zarar verebilir [60]. Çok geniş bir alana kurulmuş büyük güçlü bir güneş tarlası Şekil 4.4’de görülmektedir.



Şekil 4.4. Büyük güçlü bir güneş tarlası [61].

Kar yağışının sıklıkla görüldüğü bölgelerde yere kurulu sistemlerde %1, çatı sistemlerinde ise %2 karlanma kayıpları meydana gelebilmektedir [60]. Güneş panellerinde, enerjinin kalitesini etkileyen en önemli faktörler; güneş açısı, rüzgâr yönü ve hızı, sıcaklık, nem, hava kirliliği, güneş panelinin yüzeyinin temizliği, kullanılan PV panelin yarı iletken yapısı ve PV verimlilik oranıdır [62,63]. Güneş panellerinin basınçlı suyla temizlenmesi Şekil 4.5’de görülmektedir.



Şekil 4.5. Basınçlı su ile panel temizliği [64].

PV sistemlerinde yüksek güneş ışıınım değeri sistemin güç çıkışı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir [63]. Işıınımın ötesinde, hava koşulları da (ortam sıcaklığı, açı, toz vb.) enerji üretimini oldukça etkilemektedir [65]. Güneş panellerini temizlemek amacıyla kullanılan farklı bir uygulama Şekil 4.6’da görölmektedir.



Şekil 4.6. Panel temizleme aracı [66].

Çöller, çok güneşli olduğundan dolayı güneş santralleri için ideal yerlerdir. Fakat aynı zamanda çok tozludurlar, bu da büyük bir sorundur. Bu tip yerlerde güneş panelleri sık sık temizlenmediği takdirde özellikle toz fırtınalarından sonra % 60'lara varan verim kayıpları yaşanabilmektedir. Ancak bu kurak bölgelerde su temin ederek panelleri temizlemek oldukça zor hatta imkansızdır [67]. Şekil 4.7’de yüzeyleri tozla kaplanmış güneş panelleri görölmektedir.



Şekil 4.7. Tozlanmış güneş panelleri [67].

Fotovoltaik modüllerin yüzeyinde biriken toz, hücreye gelen ışıma şiddetini azaltır ve güç kayıpları oluşturur [68]. Fakat yağışlı dönemlerde yağmur suyu kirli hücrenin temizlenmesine ve normal performansına kavuşmasına neden olur: Şekil 4.8’de görüldüğü gibi yağmur etkisinde kalmış bir güneş panelinin hafif bir yağmur etkisiyle bile temizlemesi mümkündür. Bununla birlikte, yazın yağmurun olmadığı uzun zaman aralıklarında toz birikimi, günlük kayıpların % 20’yi aşmasına neden olabilir. Kayıpların büyük değerlere ulaşabileceği ve fotovoltaik sistemlerin verimliliğinde önemli bir düşüş oluşturan yağışsız bölgelerde tozdan dolayı meydana gelen enerji kayıplarının hesaplanması önemlidir. Bu gibi durumlarda modüllerin düzenli bir şekilde temizlenmesi gerekecek ve dolayısıyla bakım maliyetleri artıracaktır [69]. Birleşik Arap Emirliklerinde kolektör performansında yaz aylarında %10, kış aylarında %6 azalma gözlenmiştir. Havadaki tozun yüksek konsantrasyonda panel üzerine birikimi, hücre camının geçirgenliğinde önemli bir bozulmaya neden olur [70].



Şekil 4.8. Yağmur etkisinde kalmış güneş panelleri [71].

Bir PV modülündeki hücreler tarafından alınan radyasyon, modül yüzeyine gelen radyasyondan çok daha düşüktür. Bu enerji kaybının ana nedenleri, modüllerdeki yüzeyde biriken kirlerdir. Bu kirler yansıma ve soğurma yaparak kayıplara neden olurlar. Yansıma ve absorpsiyon kayıpları, ışınların geliş açısına bağlıdır. Geliş açısından kaynaklı kayıplar, yüzey üzerindeki kirin artmasıyla birlikte artma eğilimi gösterir, dolayısıyla bunları eşzamanlı olarak incelemek gerekir. Literatürde, kirlilik verimi kaybı ile ilgili veri azdır. Kirin türü ve birikimi iklimlere (yağış, vb.), Yerin çevresine ve PV modüllerinin konumu ve eğimine bağlı olduğundan, optik kayıplarla ilgili mevcut veriler mutlaka bölgeye bağlıdır. Literatürde, kirlilik enerjisi kayıplarını farklı şekillerde ele alınmıştır. Örneğin, Hammond ve ark. 1997'de kirlenmenin iki eksenli bir PV izleyici içine monte edilen çeşitli modüllerin kısa devre akımına etkisini araştırmışlardır [72]. Bu veriler aynı izleyiciye yerleştirilen ama düzenli olarak temizlenen diğer benzer modüller ile karşılaştırılmıştır. Her iki veri kümesinin karşılaştırılmasından, 5 mm³ üzerindeki yağış oranlarının kir enerji kayıplarını (toz nedeniyle) yaklaşık % 0,5 oranında azalttığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, yağmurlama süresince kaydedilen maksimum kir enerji kayıplarının % 3 olduğu sonucuna varmışlardır. Sonuç olarak, kir yüzünden ortaya çıkan ışınım enerjisi kayıplarında, ışınların geliş açısının etkisi teyit edilmiştir. Becker ve arkadaşları ile Haeberling ve arkadaşları kentsel alanların yakınında 30° eğim açılı sabit bir fotovoltaik tesisin yıllık verim değişimini incelemiş ve böylece tren istasyonları, bacalar, ormanlar ve çiftlikler gibi biyolojik kirlilik kaynaklarının tesisin verimi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Haeberling

ve arkadaşları 4 yıl içinde jeneratör gücünün kirlilik nedeniyle yaz aylarında %8-10 arasında azaldığını belirlemişlerdir. Kimber ve arkadaşları kurak iklimlerde kir enerji kayıplarını, yağış miktarı verileri ve manuel temizleme sayısının bir fonksiyonu olarak simüle etmeye çalışmışlardır. Yağışlar ve kir (toz) arasında günlük sistem verimliliğini azaltmayı temsil eden bir model önermişlerdir [72]. Bu analiz sonucunda, enerji kayıplarını yaklaşık % 5 olarak belirlemişlerdir. Garcia ve arkadaşları kuzey İspanya'da bulunan bir PV tesisinde ölçülen kirlilikten kaynaklı yıllık enerji kayıplarının ölçümelerini yapmışlardır. Bu enerji kayıpları, azimut açılı izleyicili ve 45^0 eğim açılı modüller ile sabit yatay modüllerde ölçülmüştür. Çalışmalarında, günlük optik enerji kayıpları, azimut açılı izleme yüzeylerinde % 1 ila % 8 oranında değişirken sabit yatay yüzeylerde ise % 8 ila % 22 arasında değişmekte olduğu sonucuna varmışlardır. Yağışsız dönemlerde, kayıpların günde yaklaşık % 0.1-0.2 arttığını ve $4-5 \text{ mm}^3$ üzerindeki günlük yağışların ise modülleri belirgin şekilde temizlediğini tespit etmişlerdir [72].

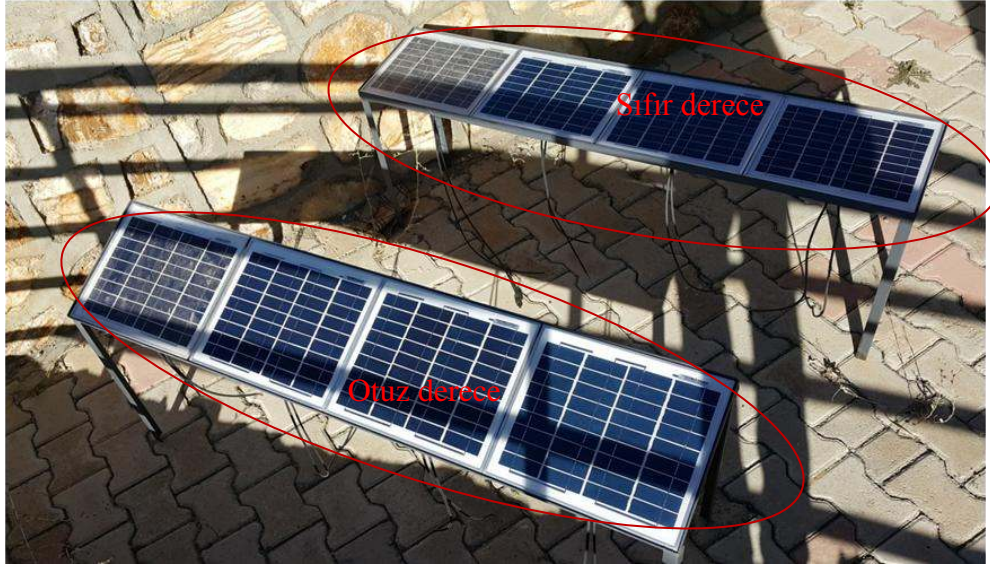
5. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışmada Şekil 5.1’de görülen 310x360x17mm ölçülerine sahip $P=V_{oc} \times I_{sc}=21,1 \times 0,718=15,14$ Watt gücünde eş polikristal sekiz adet güneş paneli kullanılmıştır. 1,4 kg ağırlığındaki panellerin, açık devre gerilimi 21,1 Volt, kısa devre akımı 0,718 Amper, hata toleransı % ± 3 dür.



Şekil 5.1. Deneylerde kullanılan güneş paneli.

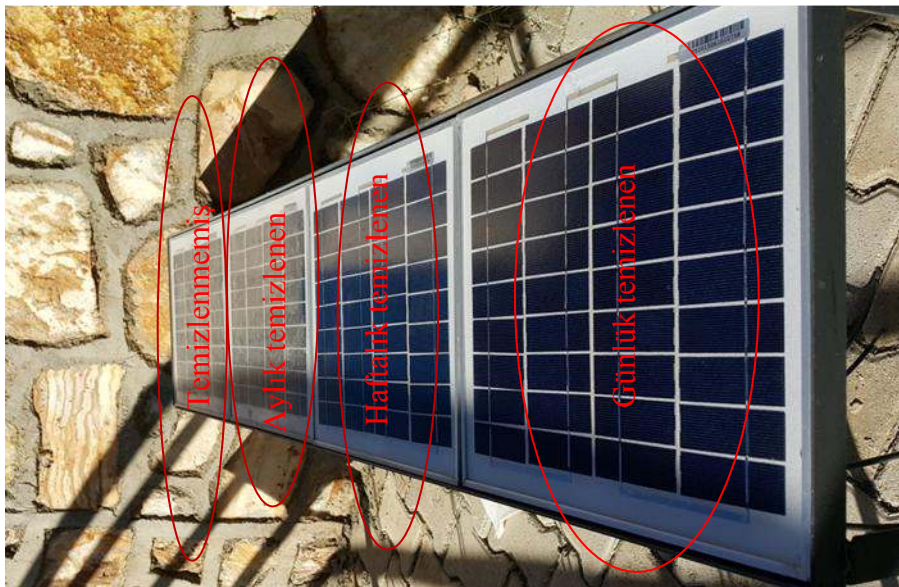
Şekil 5.2 de görülen ölçüm setindeki güneş panellerinden dört adedinin yatayla yaptığı açı 0° ve diğerlerinin yatayla yapmış olduğu açı ise 30° olacak şekilde ayarlanmıştır. Her iki gruptaki panellerden biri hiç temizlenmezken, biri her gün, biri haftada bir, diğeri ise ayda bir temizlenerek 6 ay boyunca günlük olarak multimetre ile açık devre gerilimi ve kısa devre akımları ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler ile panellerin çıkış güç değerleri hesaplanarak panellerin temizlenme periyodunun panellerin çıkış gücü üzerindeki etkisi incelenmiştir.



Şekil 5.2. Farklı eğim açılarıyla oluşturulan deney düzeneği.

Deneysel çalışma Elazığ il merkezinde 25 Haziran 2016-25 Aralık 2016 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Multimetre ile günlük olarak ölçülen akım ve gerilim verileri 6 aylık süre boyunca bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. Akım ve gerilimlerin çarpımı ile ($P=V \cdot I$) panellerin çıkış güçleri hesaplanarak temizlenme periyoduna bağlı olarak gerilim, akım ve çıkış güçlerinin değişim grafikleri çizdirilmiş ve en ideal temizleme periyodu bulunmaya çalışılmıştır.

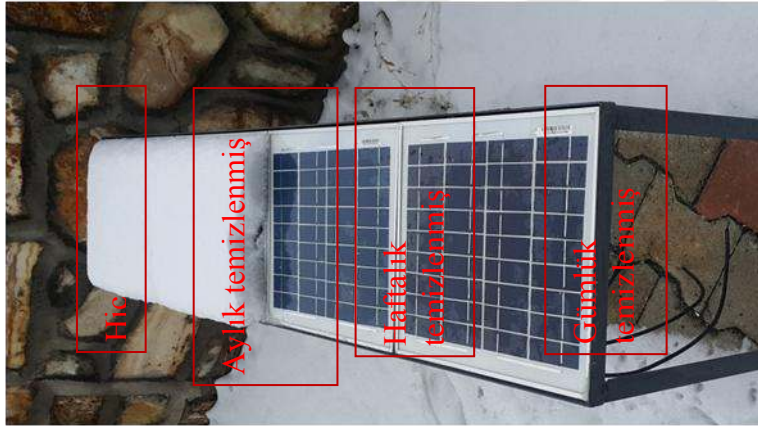
Şekil 5.3'te gösterilen dört adet panelden biri hiç temizlenmemiş, biri günlük, biri haftalık ve biride aylık olarak temizlenmiştir.



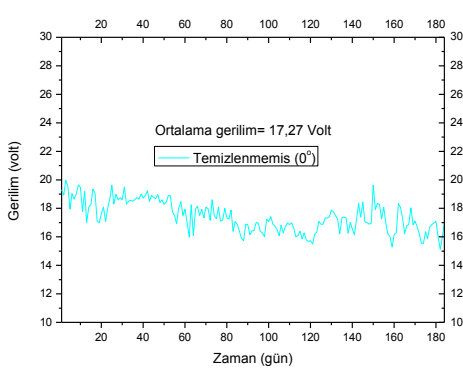
Şekil 5.3. Ölçüm yapılan panellerin temizleme periyotları.

5.1. Yatay güneş panellerine ait açık devre gerilimleri

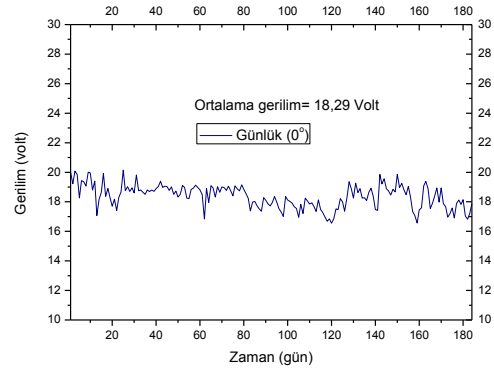
Şekil 5.4'te görülen 0° eğim açılı güneş panellerinin gerilimleri günlük olarak ölçülmüş ve Şekil 5.5'teki sonuçlar elde edilmiştir. Bu grafiklerden görüldüğü üzere hiç temizlenmeyen panelin ortalama gerilimi 17,27 V, günlük temizlenen panelin ortalama gerilimi 18,29 V, haftalık temizlenen panelin ortalama gerilimi 17,95 V ve aylık temizlenen panelin ortalama gerilimi 17,65 V'dir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında temizlik periyodunun uzamasıyla birlikte ortalama panel gerilimlerinin azaldığı açıkça görülmektedir. Günlük temizlenen ve hiç temizlenmeyen panelin gerilimindeki fark incelendiğinde %5,5'lik bir kayıp olduğu görülmüştür.



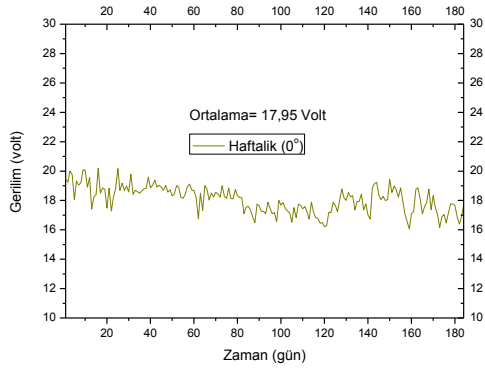
Şekil 5.4. Kış aylarında yatay düzlemdeki güneş panelleri.



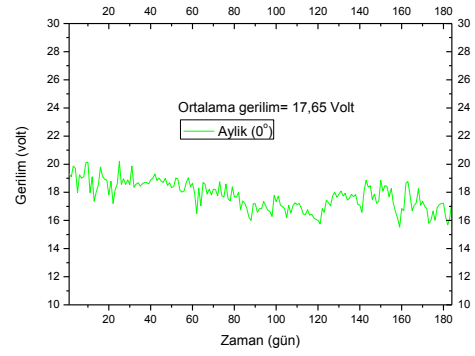
(a)



(b)



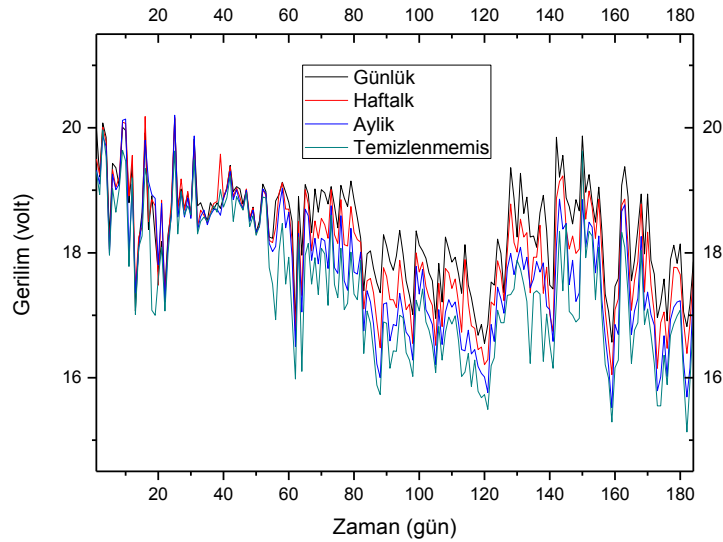
(c)



(d)

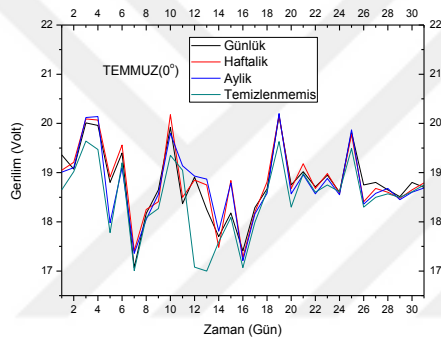
Şekil 5.5. Yatay panellerinin gerilim-zaman grafikleri.

Temizleme periyoduna bağlı olarak panel açık devre gerilim değerlerindeki farklılıkların dahi iyi görülebilmesi için sonuçlar Şekil 5.6'daki gibi üst üste çizdirilmiştir. Dikkat edilirse ölçümlerin alınmaya başlandığı ilk 20 günün sonunda hiç temizlenmeyen panel geriliminin diğerlerinden ayrılmaya başladığı görülmektedir. Yaklaşık 50. ölçüm gününden sonra ise bu fark oldukça belirginleşmiştir. Özellikle 60. günden itibaren farklı ölçüm periyotlarına ait açık devre gerilimlerinin belirgin biçimde birbirinden ayırt edilebildiği görülmektedir.

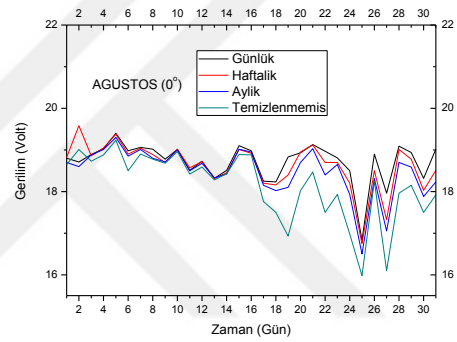


Şekil 5.6. Yatay güneş panellerinin gerilimlerindeki değişim.

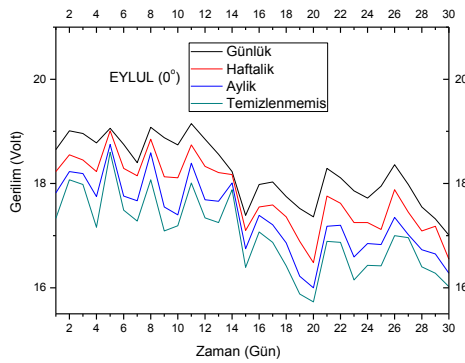
Yatay yerleştirilmiş güneş paneli verileri kullanılarak elde edilen 6 aylık gerilim çıktıları her ay için ayrı ayrı çizdirilmiş grafikleri Şekil 5.7’de gösterilmiştir. Bu ölçümler 2016 Temmuz ayında başlamış ve 2016 Aralık ayının sonuna kadar devam edilmiştir. Şekil 5.7 (a)’daki Temmuz ayı gerilim grafiğinden; günlük, haftalık, aylık temizlenen ve hiç temizlenmeyen panellerin verimlerinde önemli ölçüde değişiklik olmadığı görülmektedir. Şekil 5.7 (b)’de Ağustos ayının da ilk günlerinde dört panelin geriliminde büyük bir farklılık gözlenmezken ayın artarından itibaren kirlenmenin etkisiyle gerilimde farklılıklar gözlenmeye başlanmıştır. Şekil 5.7 (c) - (f) grafiklerinden görüldüğü gibi Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında panellerdeki kirliliğin zamanla artmasının etkisiyle gerilimdeki farklar önemli ölçüde artmıştır.



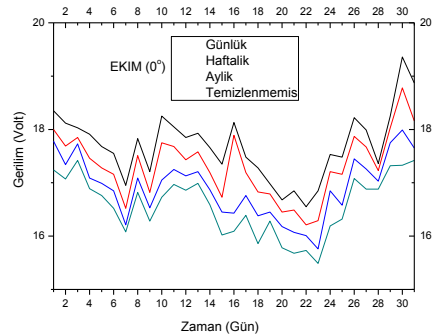
(a)



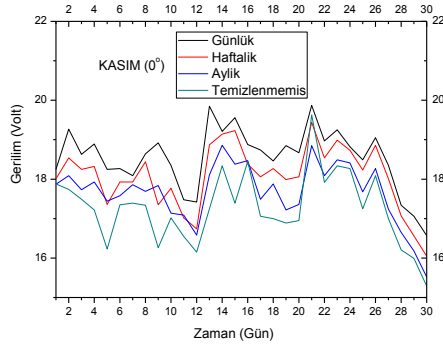
(b)



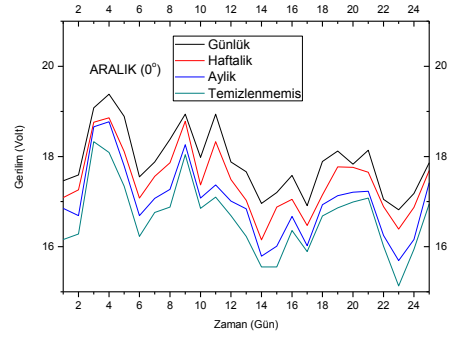
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 5.7. Yatay güneş panellerine ait aylık gerilim-zaman grafikleri.

5.2. Eğimli Güneş Panellerine Ait Açık Devre Gerilimleri

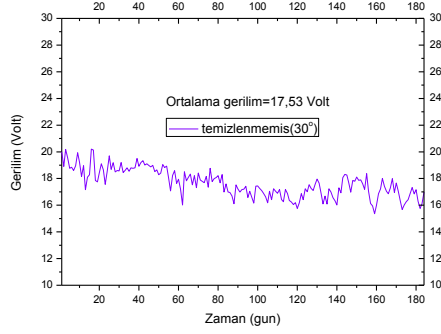
Şekil 5.8’de görülen 30° eğim açılı güneş panellerinin gerilimleri günlük olarak ölçülmüş ve Şekil 5.9’daki grafiklerde gösterilen sonuçlar elde edilmiştir. Bu grafiklerden görüldüğü üzere hiç temizlenmeyen panelin ortalama gerilimi 17,53 V, günlük temizlenen panelin ortalama gerilimi 18,55 V, haftalık temizlenen panelin ortalama gerilimi 18,21 V ve aylık temizlenen panelin ortalama gerilimi 17,86 V’dur.



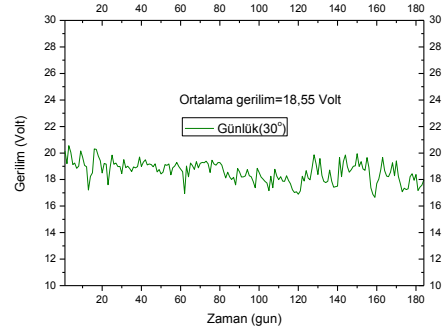
Şekil 5.8. 30° eğim açılı güneş panellerine ait görsel.

Şekil 5.9’daki grafiklerden görüldüğü gibi temizlik periyodu artıktça ortalama gerilimin de azaldığı görülmektedir. Günlük temizlenen ve hiç temizlenmeyen panelin gerilimindeki fark %5,49’dur. Şekil 5.10’da tüm ölçümler üst üste çizdirilmiştir. Yatay

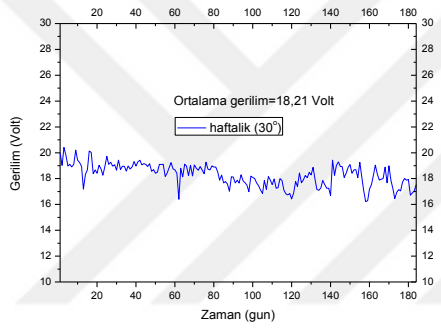
panellerden farklı olarak eğimli panellerdeki gerilimlerin özellikle 50. ölçüm gününden itibaren farklılaşmaya başladıkları görülmektedir.



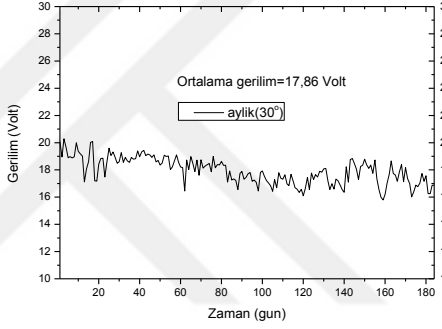
(a)



(b)



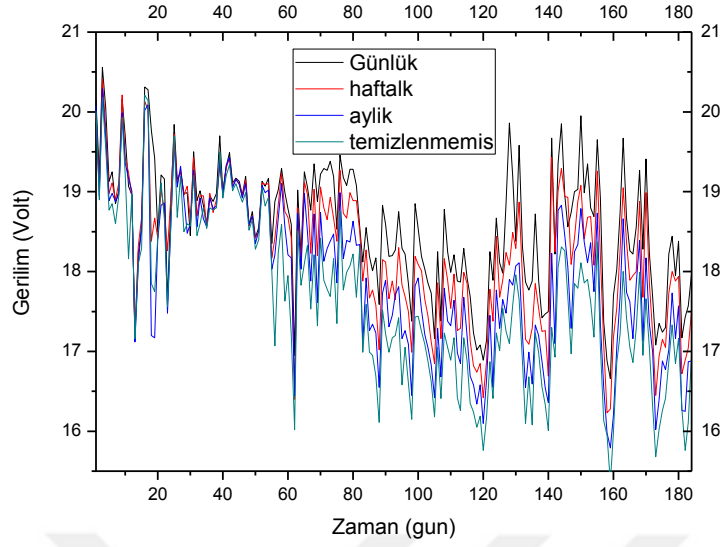
(c)



(d)

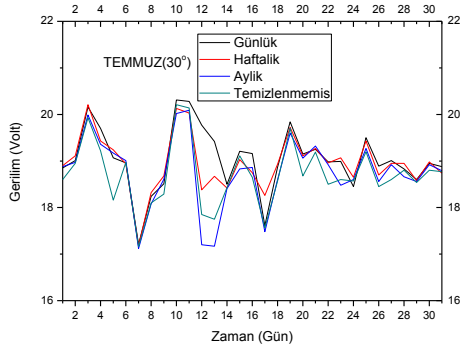
Şekil 5.9. Eğime sahip panellerin gerilim-zaman grafikleri.

Şekil 5.11’de eğimli güneş panellerine ait aylık gerilim ölçüm sonuçları verilmiştir. 30° eğim açılı panellerin aylık gerilim-zaman grafikleri ile 0° açılı ile yerleştirilmiş güneş paneli gerilim verileri karşılaştırıldığında, 30° eğim açısı ile yerleştirilen panellerin ortalama gerilimlerinin daha yüksek olduğu görülebilir.

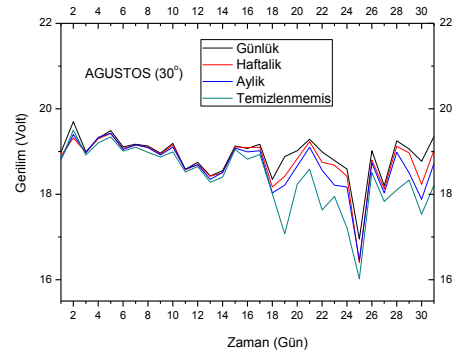


Şekil 5.10. Eğimli güneş panellerinin gerilimlerdeki değişim.

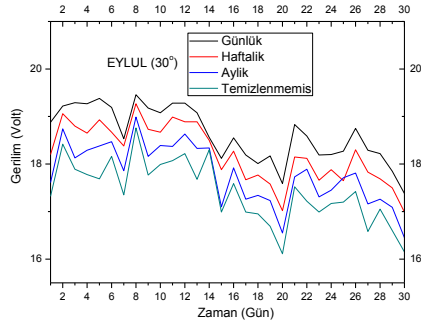
Bu durum, 30° eğim açılı güneş panellerine gelen ışınların panel yüzeyine daha dik gelmesine atfedilebilir. Şekil 5.11'deki grafikler dikkate alındığında, hiç temizlenmeyen, günlük, haftalık, aylık temizlenen panellerin gerilimlerdeki farkın Temmuz ayında çok fazla olmadığı fakat Ağustos ayının ortalarından itibaren bu farkın artmaya başladığı ve Eylül, Ekim aylarında bu farkın daha da arttığı söylenebilir. Kasım ve Aralık aylarında bu farkın daha fazla artmadığı görülmektedir. Bu durumun, bu aylardaki yağışların panelleri temizlemesinden kaynaklandığı söylenebilir.



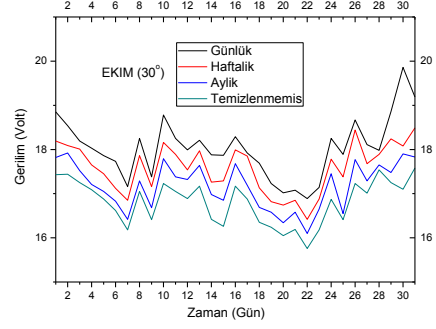
(a)



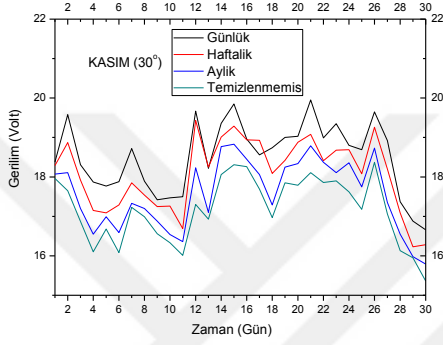
(b)



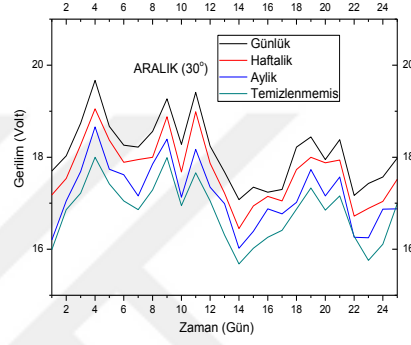
(c)



(d)



(e)

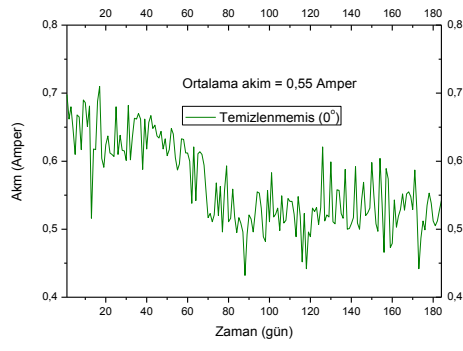


(f)

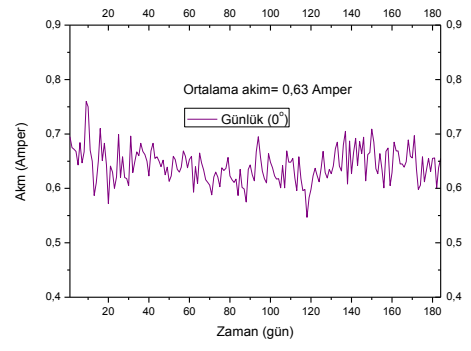
Şekil 5.11. 30° eğim açısına sahip güneş panellerine ait aylık gerilim-zaman grafikleri.

5.3. Yatay güneş panellerine ait kısa devre akımları

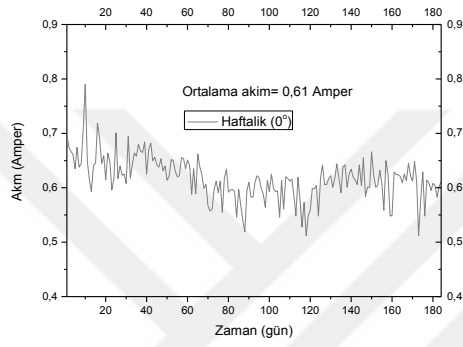
0° eğim açılı güneş panellerinin akımları günlük olarak ölçülmüş ve Şekil 5.12'deki sonuçlar elde edilmiştir. Bu grafiklerden görüldüğü üzere hiç temizlenmeyen panelin ortalama akımı 0,55 A, günlük temizlenen panelin ortalama akımı 0,63 A, haftalık temizlenen panelin ortalama akımı 0,61 A ve aylık temizlenen panelin ortalama akımı 0,58 A'dır. Buradan temizlik periyodu artıktıkça ortalama akımında azaldığı görülmektedir. Günlük temizlenen ve hiç temizlenmeyen panelin ortalama akımları arasındaki fark %12,69'dur. Şekil 5.13'te tüm ölçümler tek bir grafik üzerinde gösterilmiştir.



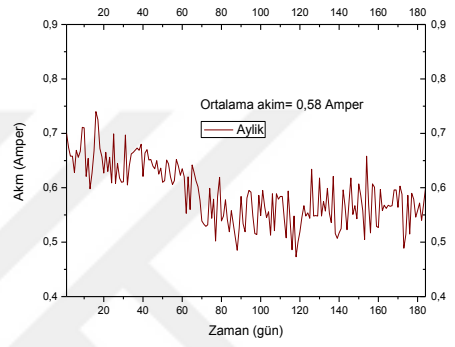
(a)



(b)

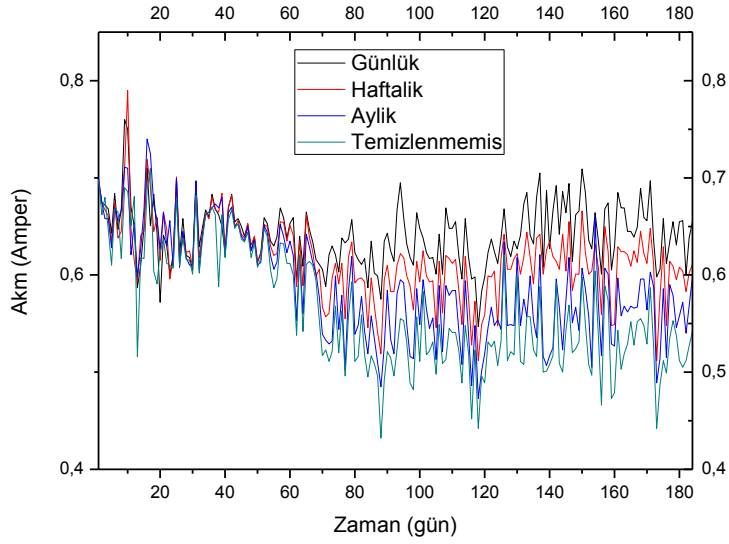


(c)



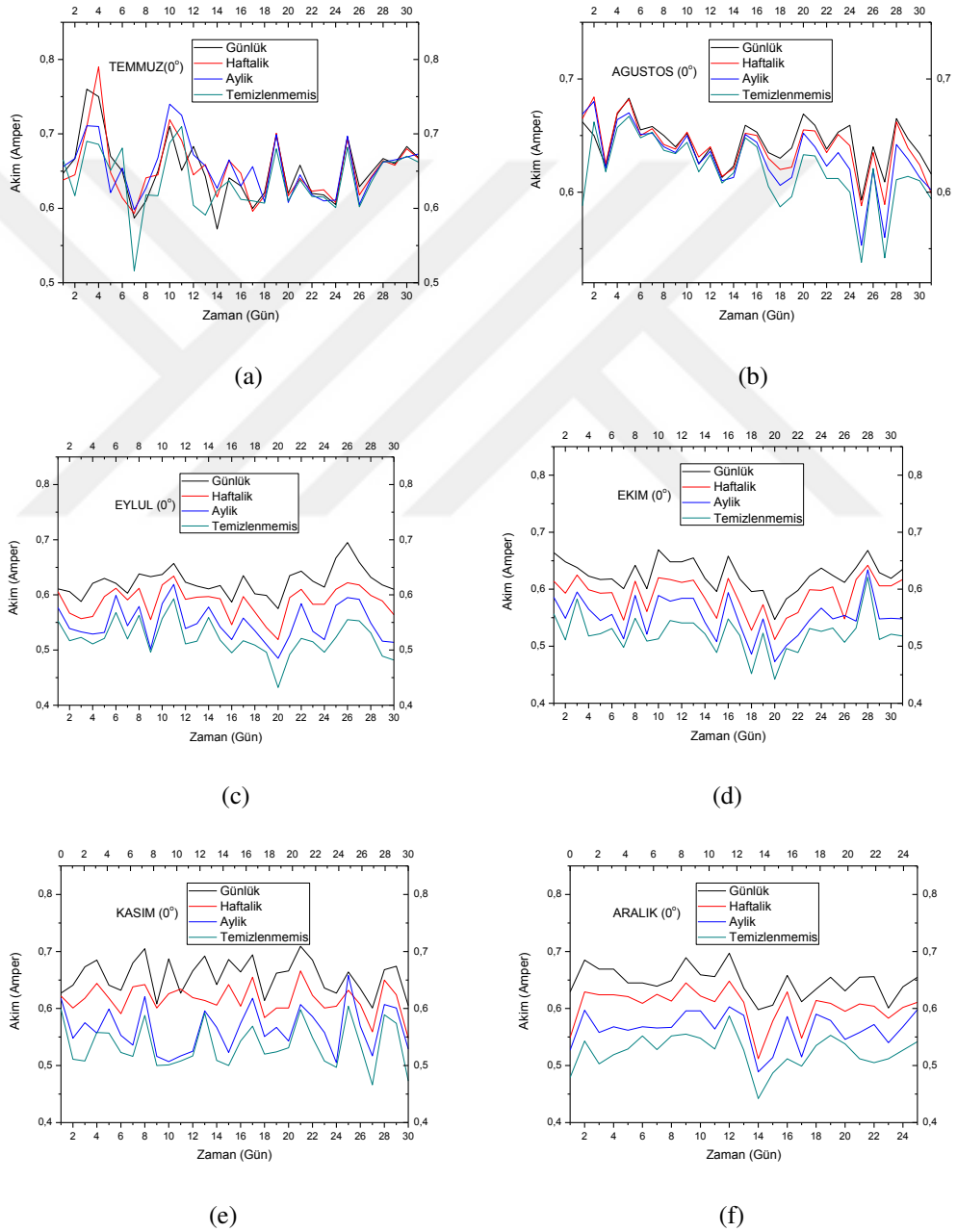
(d)

Şekil 5.12. Yatay panellerin akım-zaman grafikleri.



Şekil 5.13. Yatay güneş panellerinin akımlarındaki değişim.

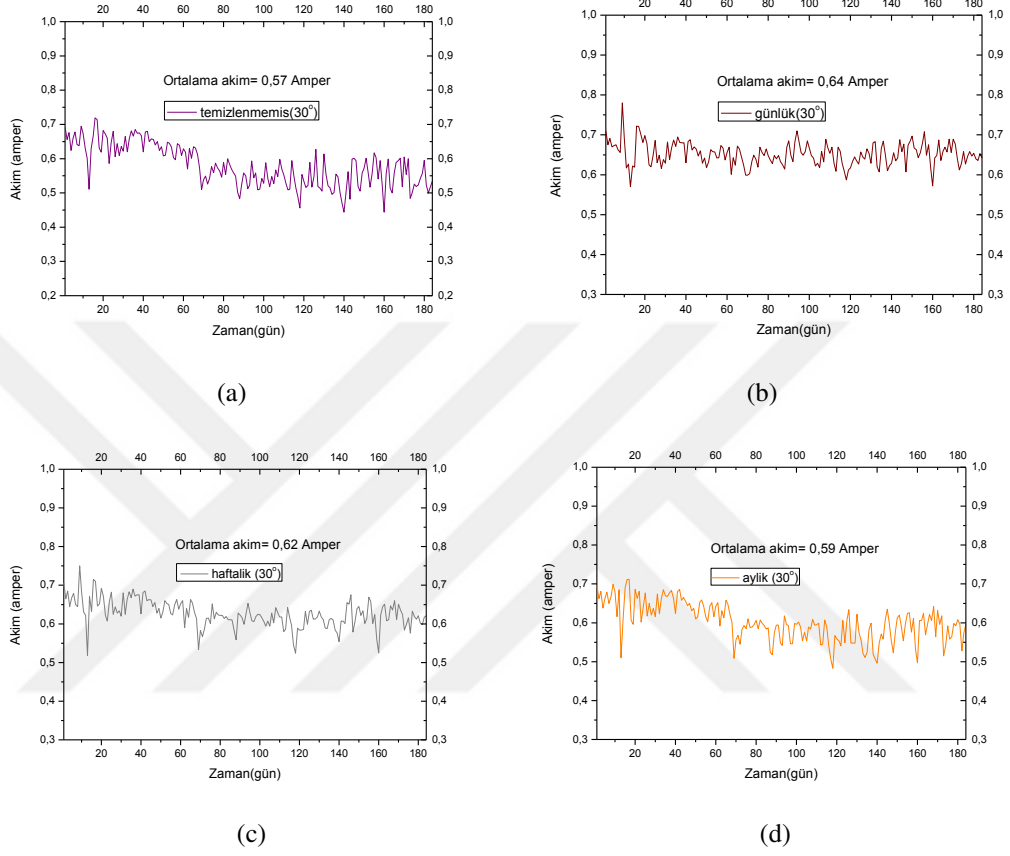
Şekil 5.14'te 0° eğim açısına sahip güneş panellerine ait akımların aylık olarak zamana karşı değişim grafikleri gösterilmiştir. Temmuz ayının ilk günlerinde, temizlenme periyodu farklı dört panel için ortalama akımların fazla değişmediği, daha sonraki aylarda ise bu değerlerin farklılaşmaya başladığı görülmektedir. Ağustos ayının ikinci periyodundan itibaren panel akımları arasındaki fark belirginleşmeye başlamıştır. Şekil 5.14 (c)-(f)'de görüldüğü gibi Eylül ayından itibaren akım değerleri arasındaki fark giderek artmıştır.



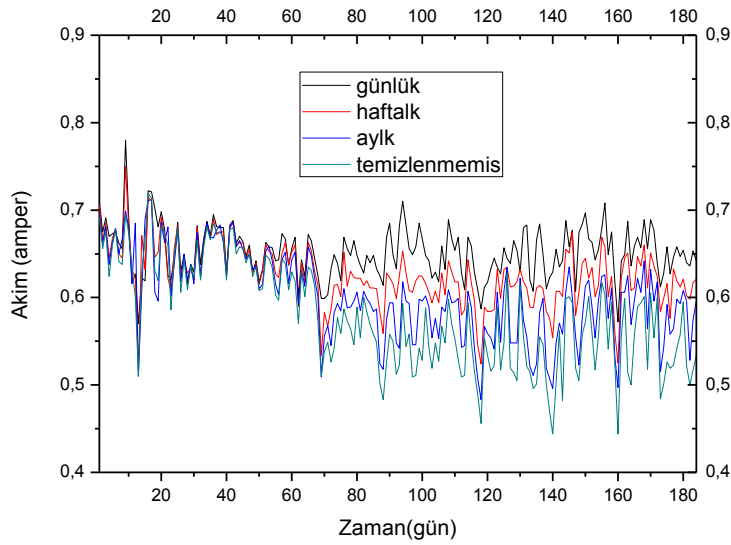
Şekil 5.14. Yatay güneş panellerine ait aylık akım-zaman grafikleri.

5.4. Eğimli Güneş Panellerine Ait Kısa Devre Akımları

30° eğim açılı güneş panellerinin akımları günlük olarak ölçülmüş ve Şekil 5.15’deki grafiklerde gösterilen sonuçlar elde edilmiştir.

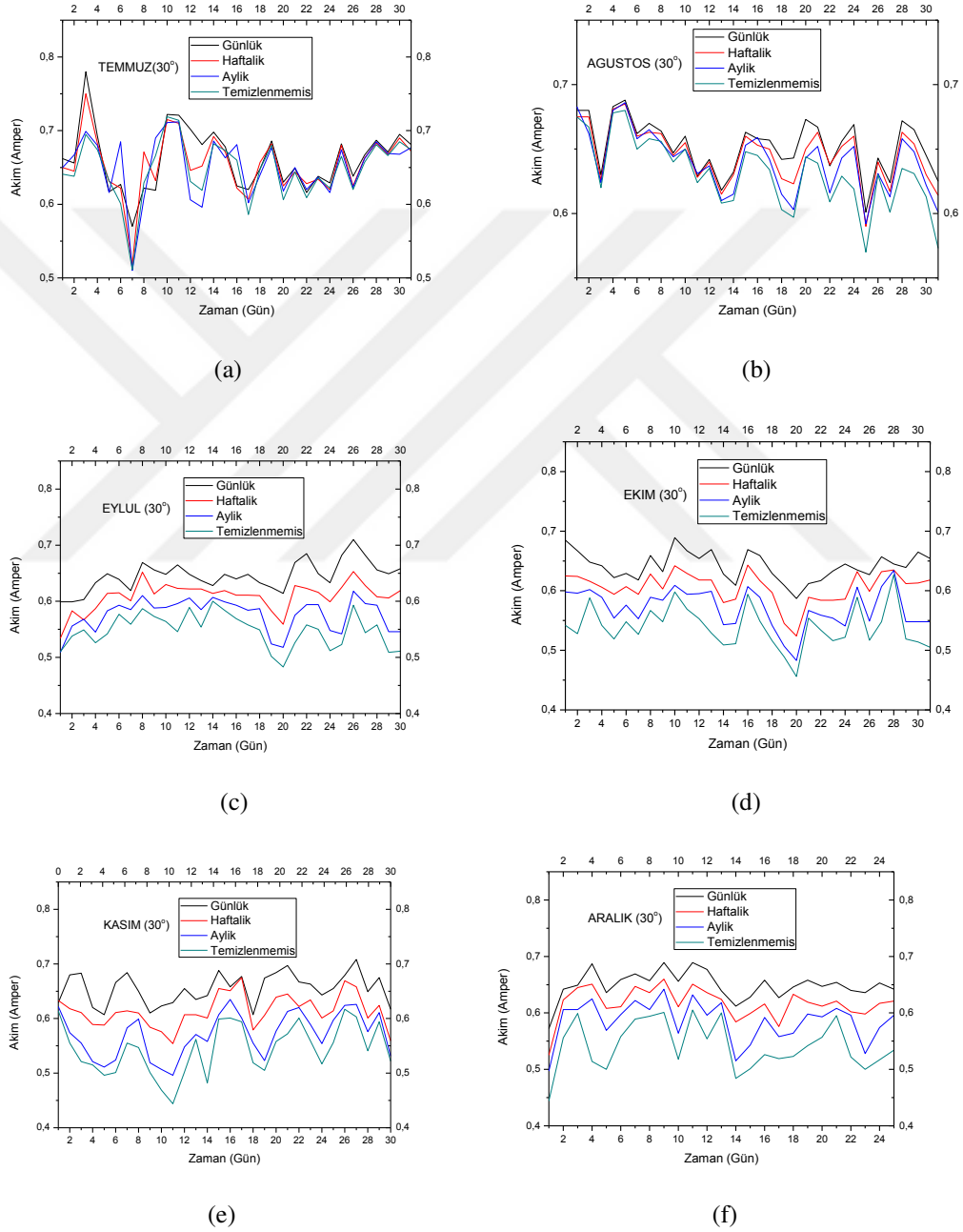


Şekil 5.15. Eğimli panellerin akım-zaman grafikleri.



Şekil 5.16. Eğimli güneş panellerinin akımlarındaki değişim.

Günlük temizlenen panelin ortalama akımı ile temizlenmeyen panelin akımı arasındaki fark %10,93 olarak bulunmuştur. Şekil 5.16’da ise bütün panellerin ölçülen akımları bir arada gösterilmiştir. Hiç temizlenmeyen panelin ortalama akımının 0,57 A, günlük temizlenen panelin ortalama akımının 0,64 A, haftalık temizlenen panelin ortalama akımının 0,62 A ve aylık temizlenen panelin ortalama akımının 0,59 A olduğu görülmektedir. Şekil 5.17’de ise sonuçlar aylık periyotlar halinde gösterilmiştir.

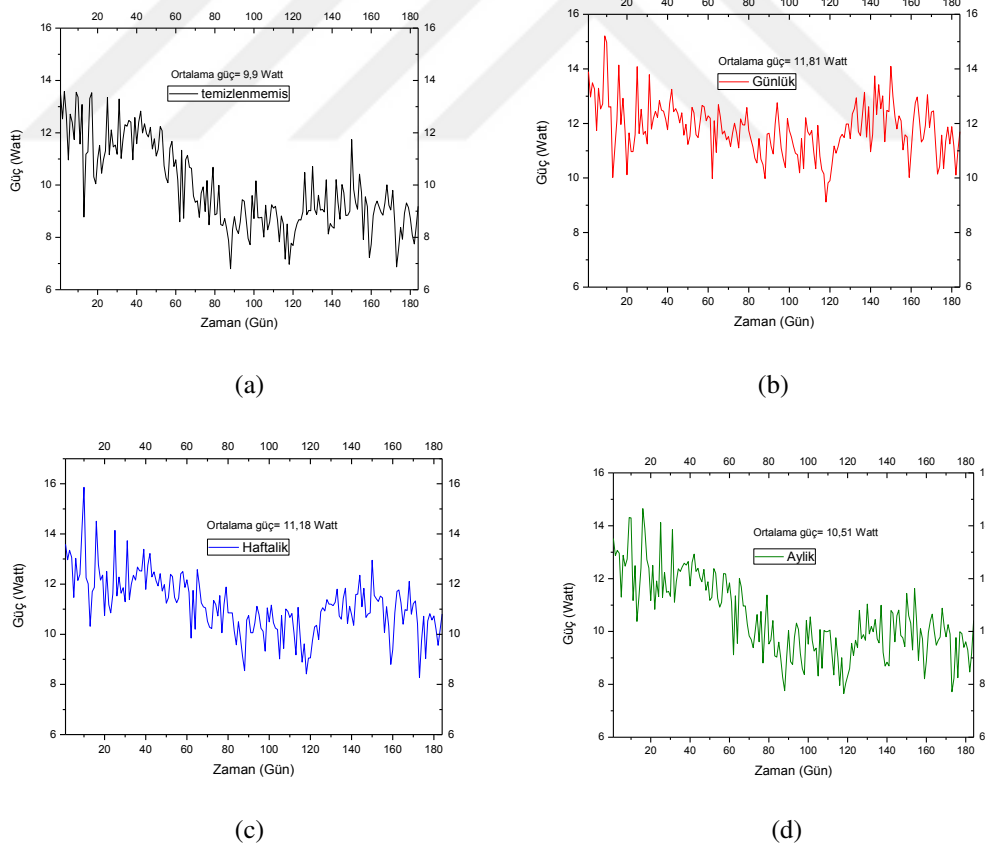


Şekil 5.17. Eğimli güneş panellerine ait aylık akım-zaman grafikleri.

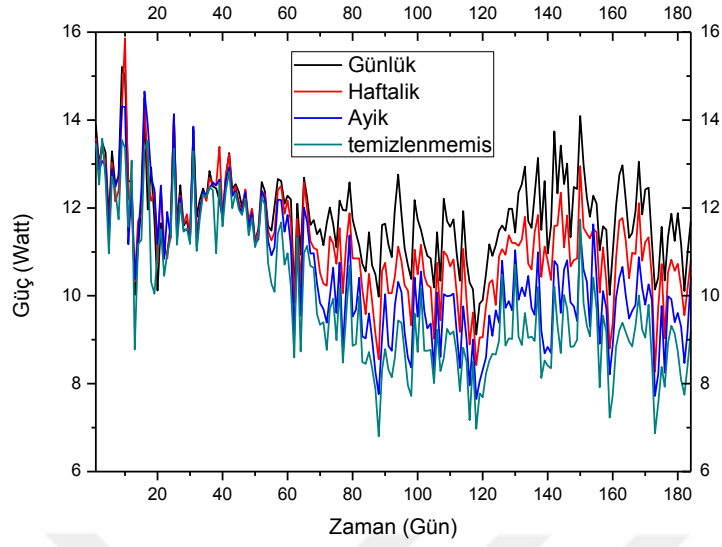
Şekil 5.17’de görüldüğü gibi Temmuz ve Ağustos aylarında akım grafiklerindeki değişim fazla değildir. Özellikle Ağustos ayının ikinci periyodundan itibaren panel akımları arasındaki fark büyümeye başlamıştır.

5.5. Yatay güneş panellerine ait çıkış güçleri

Ölçülen akım ve gerilim değerleri kullanılarak yatay güneş panellerine ait anlık çıkış güçleri her gün için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Şekil 5.18’de panellerin her gün için hesaplanan anlık güç değerleri gösterilmiştir. Bu grafiklerden görüldüğü üzere hiç temizlenmeyen panelin ortalama gücü 9,9 W, günlük temizlenen panelin ortalama gücü 11,81 W, haftalık temizlenen panelin ortalama gücü 11,18 W ve aylık temizlenen panelin ortalama gücü 10,51 W’dır. Şekil 5.19’da ise tek bir grafik üzerinde paneller için hesaplanan anlık çıkış güçleri görülmektedir.



Şekil 5.18. Yatay panellerin güç-zaman grafikleri.

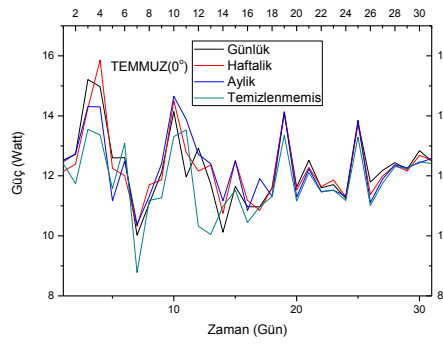


Şekil 5.19. Yatay panellerin çıkış güçlerinin değişimi.

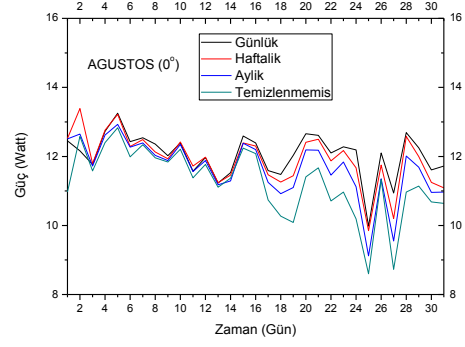
Şekil 5.19’da görüldüğü gibi temizlik periyodu artıkça anlık güç değerlerinin azaldığı görülmektedir. Günlük temizlenen ve hiç temizlenmeyen panelin gücündeki fark incelendiğinde %16,17 lük bir kayıp olduğu görülmekte olup güç, akım ile gerilimin çarpımı olduğu için akım ve gerilime göre güçteki düşüşün daha fazla olması beklenen bir sonuçtur.

Şekil 5.20’de yatay olarak yerleştirilen güneş panellerinin anlık akım ve gerilimlerinin çarpımı ile elde edilen aylık güç grafikleri görülmektedir. Bu grafikler ile akımın ve gerilimin artış gösterdiği aylarda, güç çıkışının da artış gösterdiği hatta güç çıkışının daha fazla olduğu görülmektedir. Ağustos ayının son günlerinden başlayarak sonraki aylarda çıkış güçlerinde temizleme periyoduna bağlı olarak çıkış güçlerindeki farklılığın belirginleştiği görülmektedir.

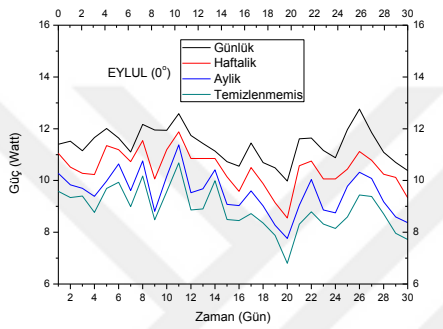
Rüzgâr, nem oranı, yağmur ve kar yağışı gibi meteorolojik parametreler panel çıkış gücünü ciddi şekilde etkilemektedir. Örneğin 15 Ağustos 2016 tarihinden itibaren temizlenen paneller ile temizlenmeyen panel çıkış güçleri belirgin bir biçimde farklılaşmış iken 25-26 Ağustos 2016 tarihinde panel çıkışlarının birbirine yakın olmasının nedeni Elazığ ilinde havanın bulutlu ve yağışlı olmasıdır. Hava durumunun mevsim normaline dönmesiyle birlikte panel çıkışları belirli bir süre sonra birbirinden farklılaşmaktadır.



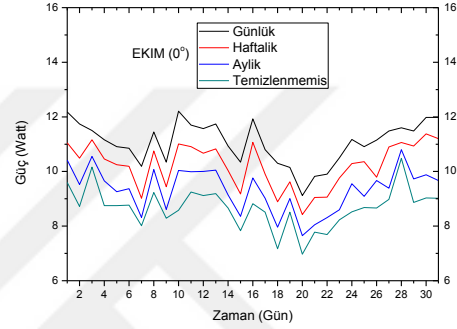
(a)



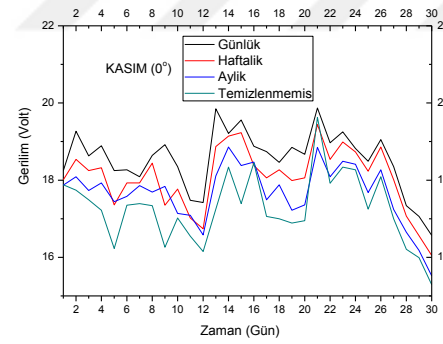
(b)



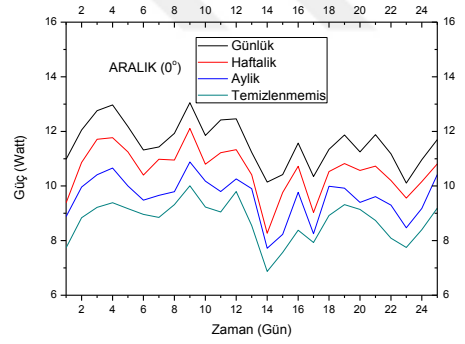
(c)



(d)



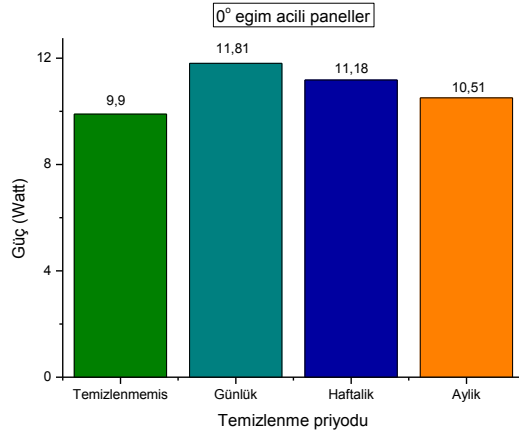
(e)



(f)

Şekil 5.20. Yatay güneş panellerine ait aylık güç-zaman grafikleri.

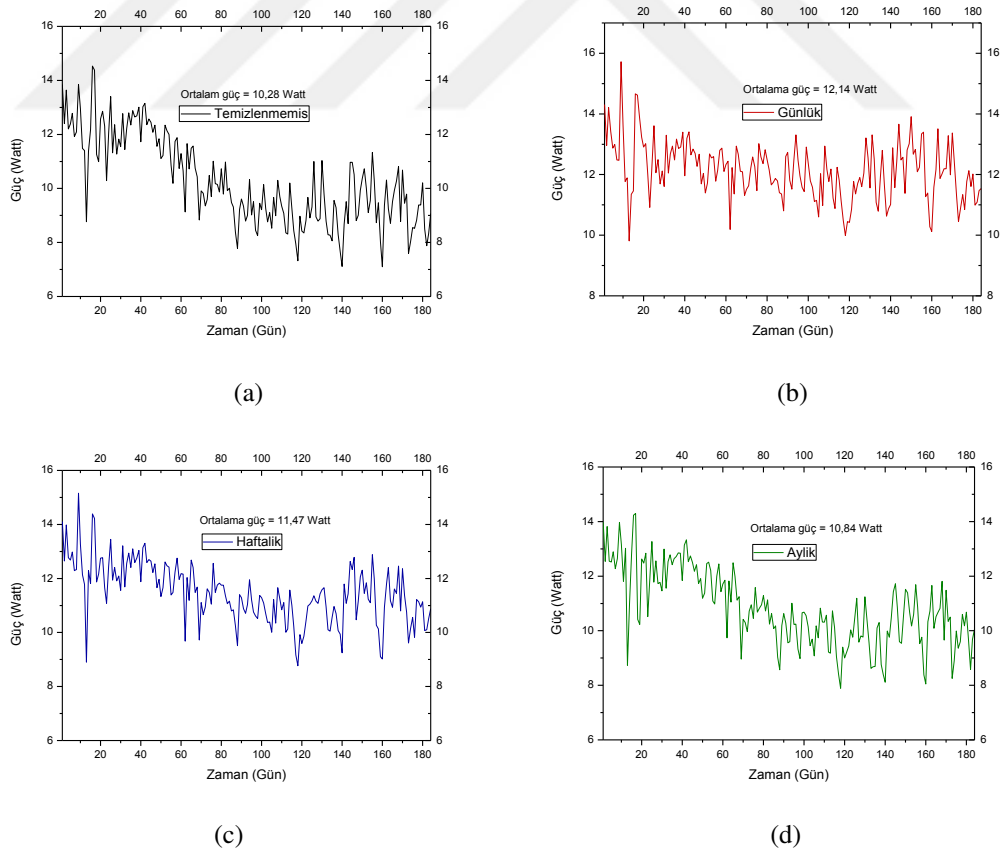
Yatay olarak konumlandırılmış ve farklı temizlenme periyoduna tabi tutulmuş güneş panellerinin anlık ortalama çıkış güçleri Şekil 5.21’de görülmektedir. Bu grafikten görüldüğü gibi hiç temizlenmeyen ve her gün temizlenen panelin gücündeki fark en büyük iken aylık temizlenen ve hiç temizlenmeyen panelin gücündeki fark daha küçüktür.



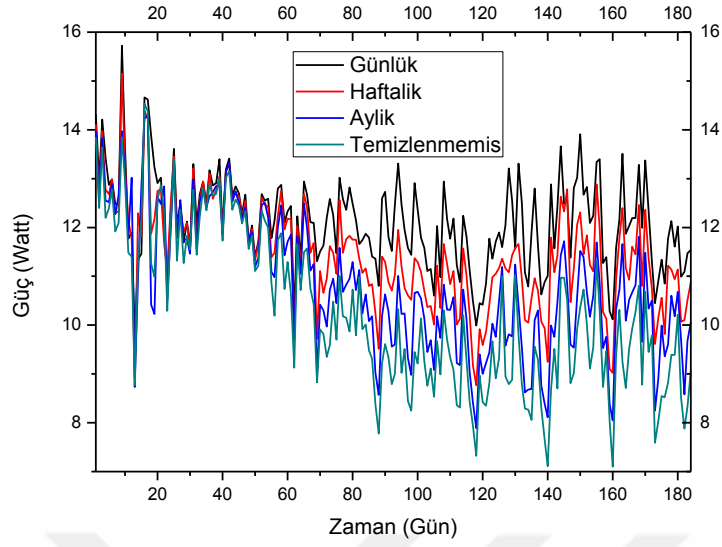
Şekil 5.21. Yatay panellerin temizlenme periyoduna bağlı ortalama anlık çıkış güçleri.

5.6. Eğimli güneş panellerine ait çıkış güçleri

30° eğim açılı güneş panellerinin güçleri ölçülen akım-gerilim değerleri ile günlük olarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.22’de verilmiştir.



Şekil 5.22. Eğimli panellerin güç-zaman grafikleri.

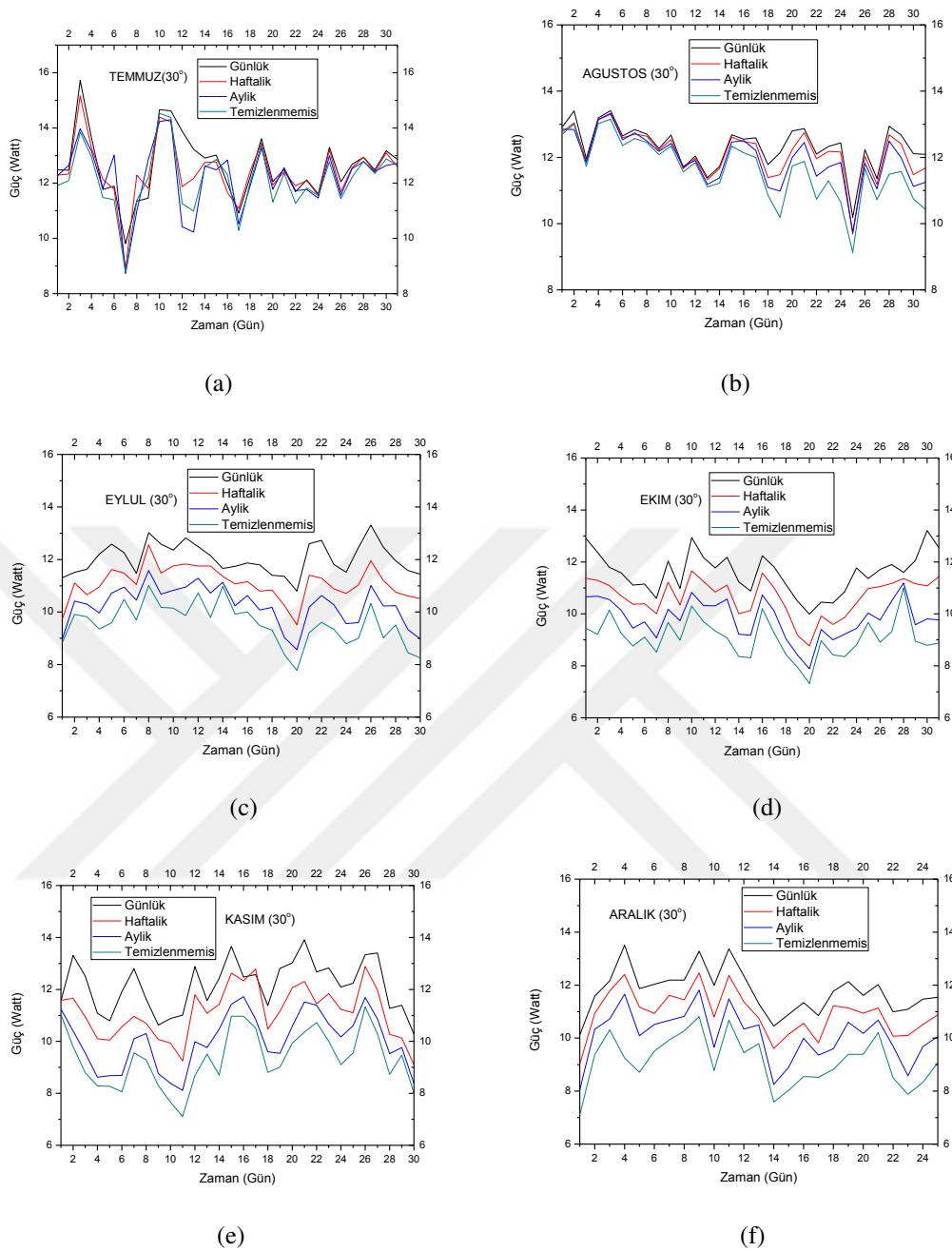


Şekil 5.23. Eğimli panellerin çıkış güçlerinin değişimi.

Şekil 5.22'deki grafiklerden görüldüğü üzere hiç temizlenmeyen panelin ortalama gücü 10,28 W, günlük temizlenen panelin ortalama gücü 12,14 W, haftalık temizlenen panelin ortalama gücü 11,47 W ve aylık temizlenen panelin ortalama gücü 10,84 W'tır. Günlük temizlenen ve hiç temizlenmeyen panelin gücündeki fark incelendiğinde %15,32'lik bir kayıp olduğu görülmektedir.

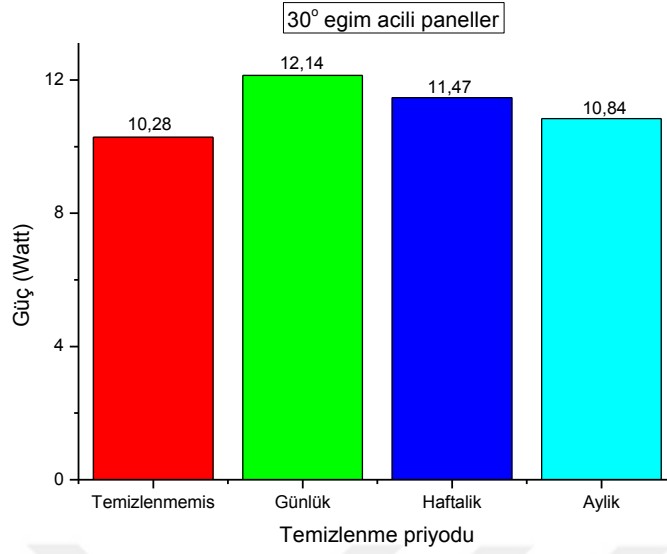
Şekil 5.24'de 30 derece eğim açılı panellerin aylık olarak anlık güç-zaman grafikleri gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi temizleme periyoduna bağlı olarak anlık çıkış güçlerindeki değişimin yatay olarak konumlandırılan panellerdeki değişime benzer özellik göstererek Ağustos ayının ikinci periyodundan itibaren farklılaşmaya başladığı görülmektedir. Eylül, Ekim ve Kasım aylarında da panel çıkış güçleri arasındaki farkın artış gösterdiği ve günlük temizlenen güneş panellerinin diğerlerine göre daha fazla güç çıkışı verdiği gözlenmektedir.

Şekil 5.25'de ise farklı temizleme periyoduna sahip eğimli panellere ait ortalama anlık çıkış güçleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.24. Eğimli panellere ait aylık güç-zaman grafikleri.

Hangi temizleme periyodunun uygun olduğunu daha iyi görebilmek için hem yatay hem de eğimli olarak yerleştirilen güneş panellerinin ikili karşılaştırma grafikleri çizdirilmiştir. Şekil 5.26’da yatay olarak yerleştirilen ve 6 ay boyunca güç çıkışları hesaplanan; günlük, haftalık, aylık olarak temizlenen ve hiç temizlenmeyen panellerin ikili biçimde birbiriyle karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 5.25. Eğimli panellerin temizlenme periyoduna bağlı ortalama anlık çıkış güçleri.

Şekil 5.26 (a)'da günlük temizlenen güneş panellerinin çıkış güçlerinde ilk günlerde fazla değişimin olmadığı fakat 50. günden sonra bu farkın arttığı ve verimin önemli ölçüde değiştiği gözlenmektedir.

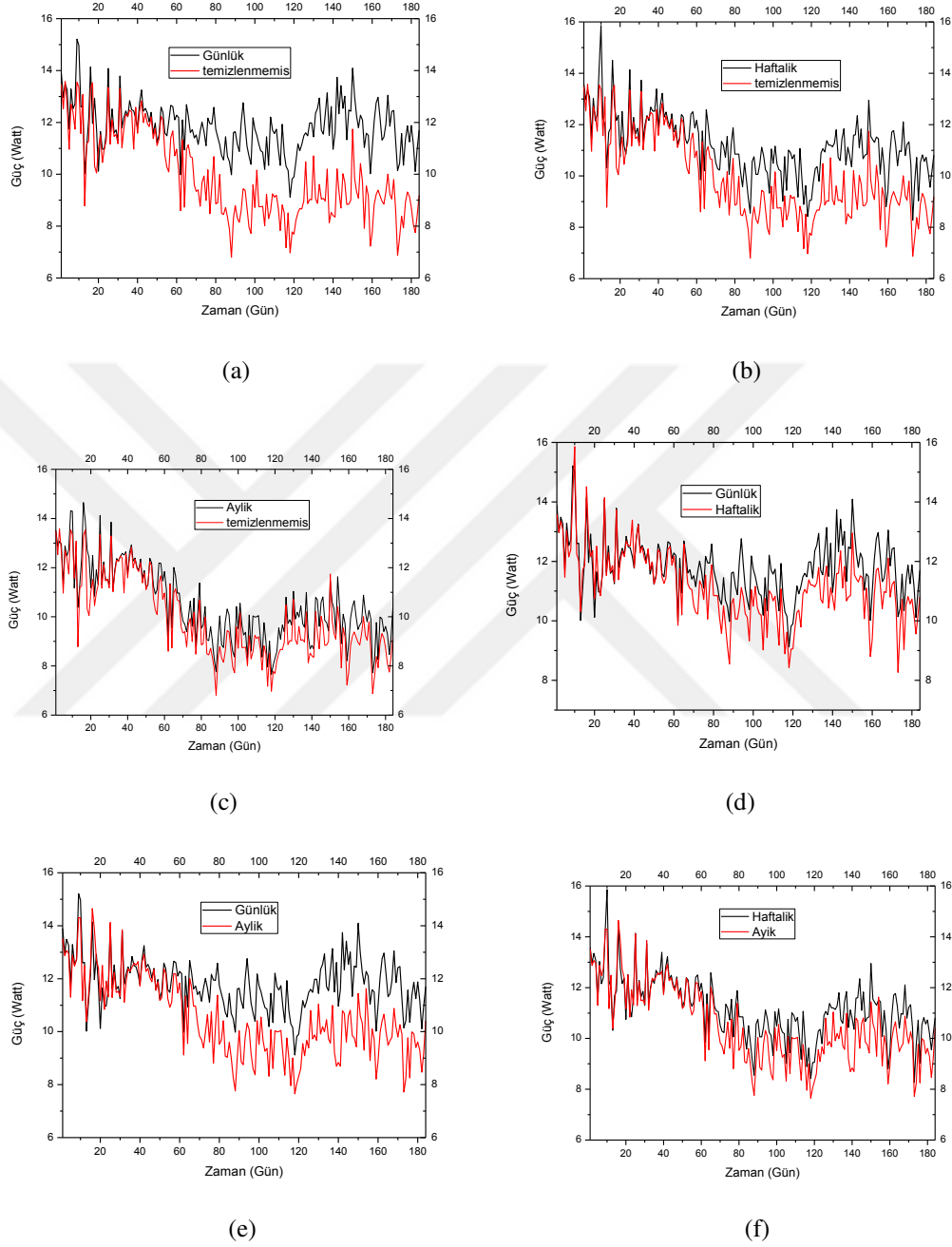
Haftalık ve hiç temizlenmemiş güneş panelleri karşılaştırıldığında günlük temizlenen panellere benzer bir değişimin olduğu ancak iki panelin çıkış güçleri arasındaki farkın daha az olduğu görülmektedir.

Aylık olarak temizlenen ve hiç temizlenmeyen panellerin hesaplanan çıkış güçleri arasındaki farkın fazla olmadığı görülmüştür. Bu durum, panelleri ayda bir temizlemenin yeterli olmadığı şeklinde değerlendirilebilir.

Günlük ve haftalık panellerin karşılaştırılmasında ise, farkın 3. aydan itibaren belirginleştiği, daha sonra aralarındaki farkın hemen hemen sabit kaldığı gözlenmiştir. Bu gözlem oldukça önemli bir sonuç ortaya çıkartmaktadır. Çıkış güçleri arasındaki farkın az olması ve panel temizliğinin maliyetli bir işlem olması göz önüne alındığında panelleri günlük temizlemek yerine haftada bir kez temizlemek mevcut teknolojide daha mantıklı görülmektedir.

Günlük ve aylık temizlenen panellerin çıkışları karşılaştırıldığında 2. aydan itibaren çıkış güçlerinde belirgin bir farklılık meydana geldiği görülmektedir. Bu farklılık hiç temizlenmeyen paneldeki durumla benzerlik göstermektedir. Son olarak, aylık ve haftalık

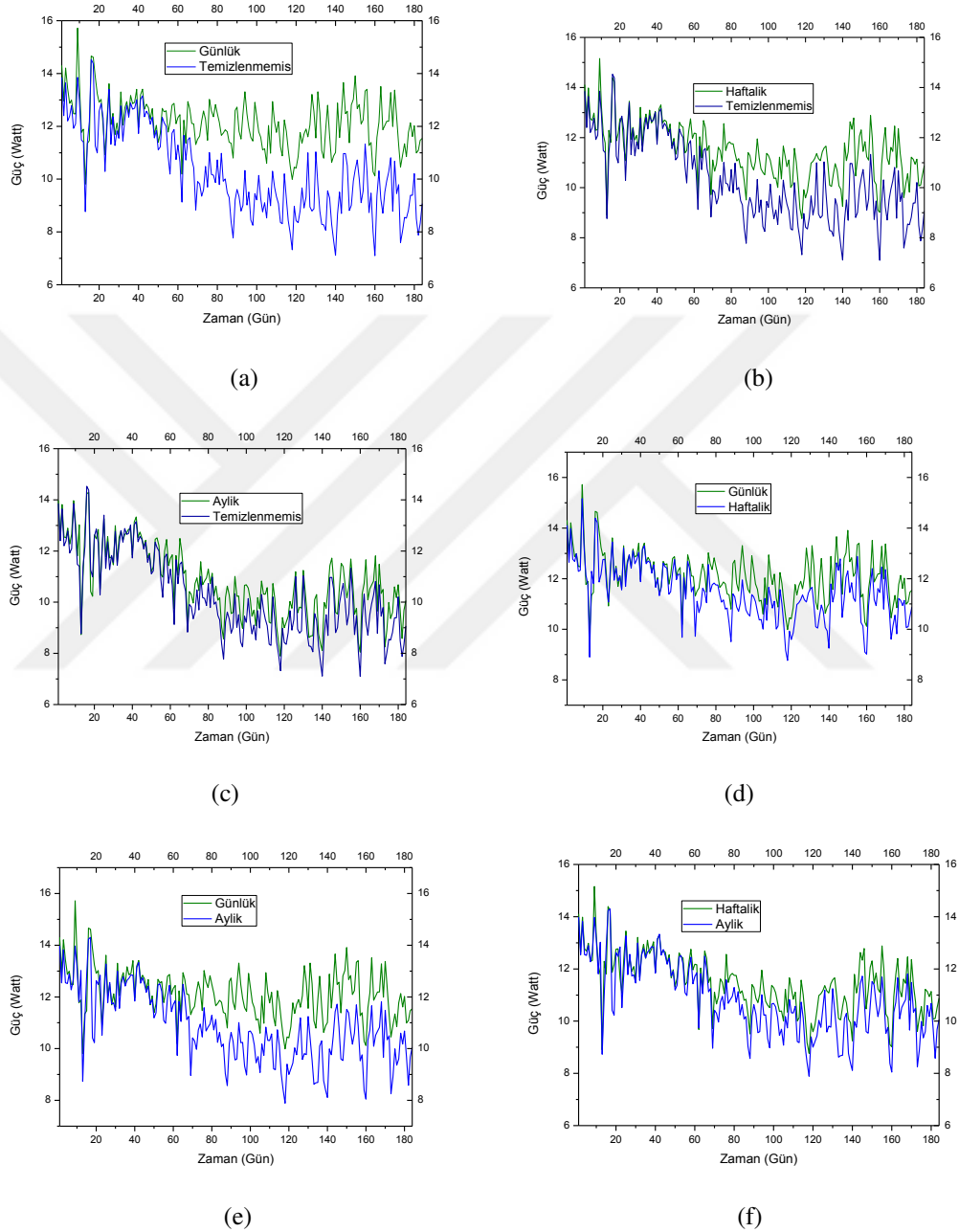
olarak temizlenen panellerin karşılaştırılmasında haftalık temizlenen güneş panellerinin çıkış gücünün daha yüksek olduğu rahatlıkla görülebilmektedir.



Şekil 5.26. Yatay güneş panellerinin temizleme periyotlarının ikili olarak karşılaştırması.

Şekil 5.27’de 30 derece açı ile yerleştirilen ve 6 ay boyunca güç çıkışları hesaplanan güneş panellerinin günlük, haftalık, aylık temizlenen ve hiç temizlenmeyen panellerin birbiriyle karşılaştırılması gösterilmiştir. Günlük temizlenen ile hiç temizlenmemiş güneş

panellerinin karşılaştırılmasında ilk günlerde güç çıkışındaki değişimin fazla olmadığı fakat yaklaşık 2 ay sonra bu farkın arttığı ve verimin önemli ölçüde değiştiği gözlenmektedir.



Şekil 5.27. Eğimli güneş panellerinin temizleme periyotlarının ikili olarak karşılaştırması.

Şekil 5.27 (b)'de haftalık ve hiç temizlenmemiş güneş panelleri karşılaştırılmış haftalık temizlenen panellerdeki güç çıkışının temizlenmemiş güneş panellerine göre daha fazla olduğu gösterilmiştir.

Şekil 5.27 (c)'de aylık olarak temizlenen ve hiç temizlenmeyen güneş panelleri karşılaştırılmış güç çıkışları birbirine yakın olarak ilerlemiştir.

Şekil 5.27 (d)'de günlük ve haftalık olarak temizlenen iki panel karşılaştırılmış farkın ayın ortasından itibaren küçük de olsa belirginleştiği görülmüştür.

Şekil 5.27 (e)'de günlük ve aylık olarak temizlenen iki panel karşılaştırılmış günlük temizlenen panellerin 2. aydan itibaren belirginleştiği ve çıkış güçleri arasındaki farkın oldukça fazla olduğu görülmüştür.

Son olarak Şekil 5.27 (f)'de aylık ve haftalık olarak temizlenen iki panel karşılaştırılmış, çıkış güçleri arasındaki farkın 5.27 (b)'de gösterilen günlük-haftalık temizlenme durumuna benzer bir eğilim olduğu görülmüştür.

Yatay ve eğimli panellerin çıkış güçleri karşılaştırıldığında, günlük temizlenen panellerin güçlerindeki fark %2.7, haftalık temizlenen panellerin güçlerindeki fark %2.5, aylık temizlenen panellerin güçlerindeki fark %3.04 ve hiç temizlenmeyen panellerin çıkış güçlerindeki fark %3.6 olarak bulunmuştur. Eğimli güneş panellerinin güçleri yatay güneş panellerinin güçlerinden daha büyüktür. Bunun başlıca nedenleri şunlardır:

1. Elazığ ilinin kuzey yarım kürede olması nedeniyle güneş ışınlarının eğimli güneş panellerine daha dik gelmesi.
2. Eğimden dolayı tozların sürüklenip panellerin temizlenmesi.
3. Rüzgar ve yağmurun eğimli panellerdeki kiri yatay panellere kıyasla daha iyi bir biçimde temizlemesi.

Panellerin yatay ve eğimli olmasının çıkış gücünü olumlu anlamda etkileyeceği çıkarımı yapılabilir. Her gün temizlenen panellerin güçleri arasındaki fark %2.7 olup bu paneller diğerlerine kıyasla daha temiz olduğuna göre buradaki farkın önemli bir kısmı güneş ışınlarının geliş açısından kaynaklandığı sonucuna varılabilir. Hiç temizlenmeyen panellerin güçleri arasındaki fark %3.6 olduğuna göre $(3.6-2.7=0.9)$ kirlenmeden dolayı %0.9'luk bir kayıp olduğu söylenebilir. Fakat gücün optimize edilmesi amacıyla en ideal açının bulunması için farklı açılarda deneyler yapılması gerekmektedir.

6. SONUÇ

Dünyanın artan enerji ihtiyacı ile birlikte belirli bir zaman sonra fosil yakıtlar gibi yenilenemez enerji kaynakları enerji talebini karşılayamaz hale gelecektir. Bu enerji ihtiyacını karşılamak için güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları alternatif olarak kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinin diğer enerji türlerine göre bazı avantajlı yönleri vardır. Örneğin termik santralde yakıt olarak kömür ve doğalgaz yakılarak enerji elde edilirken, güneş enerjisinde herhangi bir yakıtı ihtiyaç duymadan enerji elde ederiz. Ayrıca güneş panelleri zararlı gaz salınımı yapmaz. Bu paneller için güneşten aldığı ısımlar elektrik enerjisi üretmek için yeterli olmaktadır. Fakat bununla birlikte panellerde biriken kirlilikler gibi bazı olumsuz faktörler güneş panellerinin verimini düşürürler. Bu çalışmada tozdan ve kirden kaynaklanan güneş panellerinin gücündeki değişim incelenmiştir. Sekiz adet güneş panelinin gücü günlük olarak ölçülmüştür. Dört adet güneş panelinin yatayla yaptığı açı 0° ve diğer dört adet güneş panelinin yatayla yapmış olduğu açı 30° ile yerleştirilerek panellerin açık devre gerilimi, kısa devre akımı ve gücü hesaplanmıştır. Bu ölçümler tüm hava şartlarında 6 aylık süre boyunca her gün yapılmıştır.

Yağmur ve kar yağışlarının olduğu günlerde de yine aynı şekilde ölçümler yapılmış ve gücün düştüğü gözlenmiştir. Bu ölçümler doğrultusunda 0° eğimle yerleştirilmiş güneş panellerinin günlük temizlenen ve hiç temizlenmeyen panelin gücündeki fark incelendiğinde %16,17'lik bir kayıp olduğu görülmekte olup temizlenme periyodu artıkça, akım, gerilim ve gücün azaldığı görülmüştür. 30° eğimle yerleştirilmiş güneş panellerinde ise günlük temizlenen ve hiç temizlenmeyen panelin gücündeki fark incelendiğinde %15,3'lik bir kayıp olduğu gözlemlenmiştir.

0° yatay ve 30° eğimli güneş panellerinin güçleri incelendiğinde aradaki günlük temizlenen panellerde %2.7, haftalık temizlenen panellerde %2.5, aylık temizlenen panellerde %3.04 ve hiç temizlenmeyen güneş panellerinde ise %3.6 olarak bulunmuştur. Eğimli güneş panellerinin güçleri yatay güneş panellerinin güçlerinden daha büyüktür. Her gün temizlenen panellerin güçleri arasındaki fark %2.7 olup bu paneller diğerlerine kıyasla daha temiz olduğuna göre buradaki farkın önemli bir kısmının güneş ışınlarının geliş açısından kaynaklandığı sonucuna varılabilir. Elazığ'ın coğrafi konumundan dolayı 30°

eğim açısıyla yerleştirilen panellerin akım, gerilim ve gücünün 0° eğim açısıyla yerleştirilen panellerinkinden büyük olduğu belirlenmiştir.

Günlük temizlenen güneş panellerinin gücünün, hiç temizlenmeyen güneş panellerin gücüne oranla önemli ölçüde büyük olduğundan güneş panellerinin günlük olarak temizlenmesi güneş enerjisi santrallerinin verimini önemli ölçüde etkileyecektir. Fakat güneş panellerinin günlük olarak temizlenmesi, işçilik, su ya da temizlik sıvısı gibi diğer maliyetleri de artıracığından panellerin haftalık olarak temizlenmesinin maliyet açısından daha uygun olacağı düşünülmektedir. Ayda bir kez yapılacak bir panel temizliği yeterli görülmesi de hiç temizlenmeyen panellere göre bir verim artışı aşıkardır.

Toz ve kirlenmeden kaynaklanan kayıpların minimum düzeye indirgenmesi için uygulanacak en uygun temizlik periyodunun kurulum yapılacak farklı bölgeler için ayrı ayrı hesaplanması daha uygun olacaktır. Farklı coğrafi bölgeler, tozlanma konsantrasyonu, güneşlenme süreleri, temizlenme periyodunu değiştirecektir. Mevsimlerin farklı olması da verimini etkileyebilir. Günümüzde bu kayıpları azaltmak için üzerinde yoğun olarak çalışılan konulardan birisi de temizleme biçimidir. Önceki bölümlerde panel temizleme biçimlerine ait farklı uygulamalar gösterilmiştir. Küçük ölçekli kurulumlar için insan eliyle manuel olarak yapılacak temizleme işlemi basit görünse de özellikle büyük ölçekli güneş santrallerinde bu uygulama hem zaman alıcı hem de kolay gözükmemektedir. Bazı otomatik temizleme uygulamaları mevcut olsa da daha kullanışlı ve ekonomik bir temizleme sistemi arayışı üzerinde yapılan çalışmalar halen devam etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Jun, K. H., Careem, A. M. and Arof, K. A.,** 2013. Quantum dot-sensitized solar cells—perspective and recent developments: A review of Cd chalcogenide quantum dots as sensitizers , *Renewable Energy*, /22, 148-167.
- [2] <https://solarmagazine.com/perovskite-solar-cell-developments-in-2016> *Solar Magazine*. 11 Mart 2016.
- [3] <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/01/Global-Solar-Atlas.png> Global Solar Atlas. 17 Haziran 2017.
- [4] **Sulaiman, S. A., Singh, A. K., Mokhtar, M. M. M. and Bou-Rabee, M. A.,** 2014. The International Conference on Technologies and Sustainability , *Energy Procedia*, 50, 50-56.
- [5] **Mekhilef, S., Saidur, R. and Kamalisarvestani, M.,** 2012. Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells, *Renewable and sustainable Energy Reviews*, 16, 2920-2925.
- [6] **Dorobantu, L., Popescu, M. O. and Craciunescu, A.,** 2011. The effect of surface impurities on photovoltaic panels, *ICREPQ'11, Las Palmas*.
- [7] **Kazem, H. A., Khatib, T., Sopian, K., Buttinger, F., Elmenreich, W. and Albusaidi, A. S.,** 2013. Effect of Dust Deposition on the Performance of Multi-Crystalline Photovoltaic Modules Based on Experimental Measurements , *International journal of renewable energy research*, 3, 1-4.
- [8] **Casanova, J. Z., Piliougine, M., Carretero, J., Bernaola, P., Carpena, P., Mora-Lopez, L. and Sidrach-Cardona, M.,** 2011. Analysis of dust losses in photovoltaic modules, *World Renewable Energy Congress*, Malaga.
- [9] **Darwish, Z. A., Kazem, H. A., Sopain, K., Alghoul, M. A. and Chaichan, M. T.,** 2013. Impact of Some Environmental Variables with Dust on Solar Photovoltaic(PV) Performance: Review and Research Status, *International journal of Energy and Environment*, 7, 152-159.
- [10] **Sudhakar, K. and Rajput, D. S.,** 2013. Effect of Dust on The Performance of Solar PV Panel, *International journal of ChemTech Research*, 5, 1083-1086

- [11] **Sulaiman, S. A., Hussain, H. H., Leh, N. S. H. N. and Razali, M. S. I.,** 2011. Effect of Dust on the Performance of PV Panels , *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, **5**, 2028-2033.
- [12] **Rahman, M. M., Islam, M. A., Karim, A. H. M. Z. and Ronee, A. H.,** 2012. Effect of Natural Dust on the Performance of PV Panels in Bangladesh I.J., *Modern Education and Computer Science*, **10**, 26-32.
- [13] **Alnaser, N. W., Dakhel, A. A., Othman, M. J. A., Batarseh, I., Lee, J. K., Najmaii, S. and Alnaser, W. E.,** 2015. Dust Accumulation Study on the Bapco 0,5 MWp PV Project at University of Bahrain, *International journal of Power and Renewable Energy Systems*, **2**, 35-54.
- [14] **Mani, M. and Pillai, R.,** 2010. Impact of dust on solar photovoltaic(pv) performance: Research status, challenges and recommendations, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **14**, 3124-3131
- [15] **Ahmed, Z., Kazem, H. A. and Sopian, K.,** 2012. Effect of Dust on Photovoltaic Performance: Review and Research Status, *Latest Trends in Renewable Energy and Environmental Informatics*, **14**, 175-3
- [16] **Kaldellis, J. K., Fragos, P. and Kapsali, M.,** 2011. Systematic experimental study of the pollution deposition impact on the energy yield of photovoltaic installations, *Renewable Energy*, **36**, 2717-2724.
- [17] http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/c37b2dc6484b7db_ek.pdf Türkiye'nin Enerji Talebindeki Gelişmeler. 25 Temmuz 2017.
- [18] <http://energyinformative.org/the-history-of-solar-energy-timeline/> the history of solar energy timeline. 16 Nisan 2017.
- [19] <http://www.solarpoweristhefuture.com/problems-with-solar-energy.shtml> problems with solar energy. 24 Mayıs 2017.
- [20] <http://solarlove.org/how-solar-cells-work-components-operation-of-solar-cells/how-solar-cells-work-components-operation-of-solar-cells> how solar cells work components operation of solar cells. 02 Ağustos 2017.
- [21] <http://gunesenerjisi.uzerine.com/index.jsp?objid=691> GÜNEŞ PİLLERİ. 19 Şubat 2018.
- [22] <http://www.pveducation.org/pvcdrom/manufacturing/single-crystalline-silicon> single crystalline silicon. 14 Eylül 2017.
- [23] http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx güneş enerjisi. 21 Ocak 2018.

- [24] http://www.periodictable.ru/031Ga/Ga_en.html Gallium crystals in ampoule.12 Aralık 2017.
- [25] <https://www.energy.gov/eere/solar/cadmium-telluride> cadmium-telluride. 22 Kasım 2017
- [26] **Shieh, F., Saunders, A.E. and Korgel, B.A.**, 2005. “General Shape Control of Colloidal CdS, CdSe, CdTe Quantum Rods and Quantum Rod Heterostructures” , *Texas Materials Institute*, **109**, 8538–8542.
- [27] <https://energy.gov/eere/solar/copper-indium-gallium-diselenide> copper indium gallium diselenide. 14 Nisan 2017.
- [28] https://www.webelements.com/compounds/indium/indium_selenide.html indium selenide. 15 Mayıs 2017.
- [29] <http://pvcddrom.pveducation.org/MANUFACT/A-SI.HTM> intrinsic silicon. 16 Temmuz 2017.
- [30] **Moreno, M.**, 2016. Crystalline and Non-crystalline Solids, book edited by Pietro Mandracci, 51, 953-978.
- [31] **Bagher, A.M., Vahid, M.M.A. and Mohsen, M.**, 2015. Types of Solar Cells and Application, *American Journal of Optics and Photonics*, **5**, 94-113.
- [32] <https://www.treehugger.com/renewable-energy/worldatms-largest-concentrating-solar-pv-project-announced-by-solfocus.html> worldatms largest concentrating solar pv project announced by solfocus. 20 Ekim 2017.
- [33] **Pandikumar, A.**, 2016. An ideal photoanode for dye-sensitized solar cells”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **60**, 408-420.
- [34] **Milliron, J., Gur, I. and Alivisatos, A.P.**, 2005. Hybrid Organic–Nanocrystal Solar Cells, *MRS Bulletin*, **30**, 41-44.
- [35] **Shaheen, E., Ginley, D.S. and Jabbour, G.E.**, 2005. Organic–Based Photovoltaics. *MRS Bulletin*, **30**, 10-19.
- [36] **Saunders, R. and Turner, M.L.**, 2008. Nanoparticle-polymer photovoltaic cells, *Advances in Colloid and Interface Science*, **138**,1–23, 2008.
- [37] **Andreas, F.**, 2006. Sizedependent band gap of colloidal quantum dots, *Journal of Applied Physics*, **99**, 0137-08.
- [38] **Eperon, E., Stranks, S.D., Menelaou, C., Johnston, M.B., Herza L.M. and Snaith, H.J.**, 2014. Formamidinium lead trihalide: a broadly tunable perovskite for efficient planar heterojunction solar cells, *Energy & Environmental Science*, **7**, 982-988.

- [39] **Grunow P, Preiss A, Koch, S and Krauter, S.** (2009). Yield and Spectral Effects of A-Si Modules, Proceedings of the 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, pp. 2846-2829, ISBN 3-936338-25-6, Hamburg, Germany, September 2009
- [40] <http://www.aspilsan.com/makale.asp?id=7> Fotovoltaik(PV) Panellerde Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi. 19 Şubat 2018.
- [41] <http://electronicstechnician.tpub.com/14092/css/Radiation-And-Induction-Losses-60.htm> Radiation-And-Induction-Losses. 22 Mart 2017.
- [42] **Grunow P, Preiss A, Koch, S and Krauter, S.** (2009). Yield and Spectral Effects of A Si Modules, Proceedings of the 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, pp. 2846- 2829, ISBN 3-936338-25-6, Hamburg, Germany, September 2009.
- [43] **Salema, F. and Awadallah, M.A.,** 2015. Detection and assessment of partial shading in photovoltaic arrays, Journal of Electrical Systems and Information Technology, **3**, 23–32.
- [44] **Roberts, S. and Guariento, N.,** 2009. Building Integrated Photovoltaics a Handbook, Birkhauser Press, Berlin, Germany.
- [45] **R. Thomas,** M. Fordham, Photovoltaics and Architecture, Spon Press, *London and Newyork*, 2001.
- [46] **Maghami, M.R., Hizam, H., Gomes, C., Radzi, M.A., Rezadad, M.I. and Hajighorbani, S.,** 2016. Power loss due to soiling on solar panel: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **59**, 1307–1316.
- [47] **Piliougine, M., Carretero, J., Sidrachde-Cardona, M., Montiel, D. and Sánchez-Friera, P.,** 2008. Comparative analysis of the dust losses in photovoltaic modules with different cover glasses , *Proceedings of 23rd European Solar Energy Conference*, Valencia, Spain, pp. 2698-2700, September.
- [48] [www. asunenergy.com](http://www.asunenergy.com). Delplanque, E. Case study: impact of photovoltaic modules, 4 Ağustos 2017.
- [49] **Kane, A., and Verma, V.,** 2013. Performance enhancement of building integrated photovoltaic module using thermoelectric cooling, *International Journal of Renewable Energy Research*, **3**, 320-324.

- [50] **Sabri, L. and Benzirar, M.,** 2014. Effect of ambient conditions on thermal properties of photovoltaic cells: crystalline and amorphous silicon, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, **3**, 17815-17821.
- [51] **Ancuta, F. and Cepisca, C.,** 2011. Failure analysis capabilities for PV systems, *Recent Researches in Energy, Environment, Entrepreneurship, Innovation*, 109–115.
- [52] **Herrman W, Althaus J and Steland A.** Statistical and Experimental Methods for Assessing the Power Output Specification of PV Modules 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference, 4-8 September 2006, Dresden, Germany
- [53] **Henze, N.B. and Sahan, B.,** 2009. Study on MPP Mismatch losses in Photovoltaic Applications, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 21.-25.09.2009, Hamburg
- [54] **Herrmann, W,** 2005, 'Mismatchverluste bei Verschaltung von Solarmodulen Ertragsgewinn durch Vorsortierung?', Tagungsband des 20. Symposiums
- [55] **Piliouguine, M., Carretero, J., Sidrachde-Cardona, M., Montiel, V. and Sánchez, F.P.,** 2008. Comparative analysis of the dust losses in photovoltaic modules with different cover glasses. *Proceedings of 23rd European Solar Energy Conference*, pp. 2698-2700.
- [56] **Kymakis, E., Kalykakis, S. and Papazoglou T.M.,** 2009. Performance Analysis of a Grid Connected Photovoltaic Park on the Island of Crete. *Energy Conversion and Management*, **50**, 433–438.
- [57] <https://www.mgm.gov.tr/tahmin/toz-tasinimi.aspx?s=h2> tahmini toz taşınımı. 14 Ocak 2017.
- [58] <http://pvclean.co.uk/services/other-cleaning-services-we-offer/solar-panel-cleaning/> solar panel cleaning. 04 Kasım 2017.
- [59] <http://www.puritycleaningsystems.com/solar-panels-cleaning/> solar panel cleaning. 07 Ekim 2017.
- [60] **Wirth, G.T., Weigl, J., Weizenbeck, M., Schroedter-Homscheidt, Z.M., and Becker, G.,** 2009. Mapping of snow cover periods for yield assessment and dimensioning of PV systems.“ 24. European Photovoltaic Solar Energy Conference. Hamburg, Germany, 2009.
- [61] https://www.hanwha.com/en/products_and_services/solar_energy.html solar_energy.12.12.2017.

- [62] **Reactive Power Reserve Work Group**, 1999. Final Report, voltage stability criteria, undervoltage load shedding strategy, and reactive power reserve monitoring methodology, p.154, 1999.
- [63] **Diaf, S., Notton, G., Belhamel, M., Haddadi, M. and Louche, A.**, 2008. Design and technoeconomical optimization for hybrid PV/wind system under various meteorological conditions. *Appl Energy*, **85**, 968-87.
- [64] <https://evergreensolar.com/how/cleaning/> cleaning. 21 Haziran 2017.
- [65] **Kaldellis, J.K., Kapsali, M. and Kavadias, K.A.**, 2014. Temperature and wind speed impact on the efficiency of PV installations. Experience obtained from outdoor measurements in Greece..
- [66] <http://www.enerjihaber.com/guncel/solar-panel-temizligi/11065/> solar panel temizligi. 15 Temmuz 2017.
- [67] <https://www.treehugger.com/solar-technology/rugged-robot-saudi-arabia-cleans-dusty-solar-panels-without-using-water.html> rugged robot saudi arabia cleans dusty solar panels without using-water. 24 Mayıs 2017.
- [68] **Mani, M. and Pillai, R.**, 2010. Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **14**, 3124-3131.
- [69] **Casanova, Z., Piliougine, M., Carretero, J., Bernaola, P., Carpena, P., Mora-Lopez, L., Cardona, M.**, 2011. Analysis of dust losses in photovoltaic modules ’’, World Renewable Energy Congress, 2985-2992.
- [70] **Jiang, H., Lu, L. and Sun, K.**, 2011. Experimental investigation of the impact of airborne dust deposition on the performance of solar photovoltaic (PV) modules, *Atmospheric Environment*, **45**, 4299-4304.
- [71] http://www.solarnovus.com/a-new-technology-improves-pv-moduleefficiency_N7034.html a new technology improves pv moduleefficiency. 12.02.2017.
- [72] **Garci, M., Marroyo, L., Lorenzo, E. and Pe’rez, M.**, 2011. Soiling and other optical losses in solar-tracking PV plants in Navarra, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, **19**, 211-217.

ÖZGEÇMİŞ

11.09.1993 Elazığ doğumluyum. İlk ve ortaokulu Mezre ortaöğretim okulunda tamamladım. Lise öğrenimimi Cumhuriyet Lisesinde tamamladım. 2011-2015 yılları arasında Şırnak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümünden mezun oldum.

