



**GÜNEŞ PANELLERİNDE GÜNEŞ İLE GÖLGE
ARASINDAKİ ORANLARIN VERİMLİLİK
ÜZERİNE ETKİLERİ VE ANALİZİ**

Şerafettin KABADAYI

**2020
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kâzım YETİK**

**GÜNEŞ PANELLERİNDE GÜNEŞ İLE GÖLGE ARASINDAKİ
ORANLARIN VERİMLİLİK ÜZERİNE ETKİLERİ VE ANALİZİ**

Şerafettin KABADAYI

**Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır.**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kâzım YETİK**

**KARABÜK
Kasım 2020**

Şerafettin KABADAYI tarafından hazırlanan “GÜNEŞ PANELLERİNDE GÜNEŞ İLE GÖLGE ARASINDAKİ ORANLARIN VERİMLİLİK ÜZERİNE ETKİLERİ VE ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kâzım YETİK
Tez Danışmanı, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir. 05/11/2020

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Prof. Dr. Savaş CANBULAT (KÜ)
Üye : Prof. Dr. Hamiyet ŞAHİN KOL (KBÜ)
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kazım YETİK (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Şerafettin KABADAYI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ PANELLERİNDE GÜNEŞ İLE GÖLGE ARASINDAKİ ORANLARIN VERİMLİLİK ÜZERİNE ETKİLERİ VE ANALİZİ

Şerafettin KABADAYI

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kâzım YETİK

Kasım 2020, 69 sayfa

Yenilenebilir enerji kaynaklarından en önemlisi güneştir. Çevremiz için en zararsız ve sınırsız enerji kaynağı olması sebebi ile son yıllarda en çok araştırılan konuların başında güneş enerjisi gelmektedir. Güneş ışınlarından yararlanarak elektrik üreten panellerle kurulan güneş tarlalarında elektrik üretimi yapılmaktadır. Güneş panellerinin verimlilik analizi için en önemli iki parametre panel tipi ve güneş alma oranlarıdır. Bu çalışmada farklı tipte paneller ile güneş/gölge oranı üzerinden verimlilik analizi yapılmıştır. Çalışmanın yapılması için kurulmuş olan güneş simülasyon odasından yararlanılmıştır. Deneyler bu oda içerisinde karşılaştırılabilir orandaki güneş etkisi ile sağlanmıştır. Çalışmada ulaşılan ölçüm sonuçları ile istatistiksel analizler yapılmıştır. Elde edilen bilgiler panel tipi ve güneş/gölge oranına göre kullanıcıların net bilgilere ulaşmasını sağlamıştır.

Anahtar Sözcükler : Verimlilik, güneş paneli, yenilenebilir enerji, istatistiksel analiz,
güneş, çevre.

Bilim Kodu : 90322

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE EFFECTS OF SUN AND SHADOW RATES ON EFFICIENCY IN SOLAR PANELS

Şerafettin KABADAYI

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Environmental Engineering**

Thesis Advisor:

Dr. Mehmet Kâzım YETİK

November 2020, 69 pages

The most important source of renewable energy is the Sun. Solar energy is one of the most investigated subjects in recent years due to being the most harmless and unlimited energy source for our environment. Electricity is produced through solar fields, which are established with panels that generate electricity by utilizing the sun's rays. The two most important parameters for the efficiency analysis of solar panels are panel type and sunlight receiving rates. In this study, efficiency analysis was performed with different types of panels on sun / shadow ratio. The solar simulation room, which was established to conduct the study was used. Experiments were provided in this room with a comparable solar effect. The statistical analyses were made with the measurement results obtained in the study. The information obtained enabled users to access clear information according to the panel type and sun / shadow ratio.

Key Word : Efficiency, solar panel, renewable energy, statistical analysis, Sun,
environment.

Science Code : 90322

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren öncelikle sayın hocam Dr. Mehmet Kâzım YETİK'e akabinde tüm hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

FYL-2019-2073 numaralı bu projede kullanılan materyallerin temini için gerekli maddi desteklerinden ötürü Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüęü'ne teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme, maddi-manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	6
GÜNEŞ PANELLERİ.....	6
2.1. GÜNEŞ PANELİ ÇEŞİTLERİ	11
2.1.1. Monokristal Paneller.....	12
2.1.2. Polikristal Paneller.....	14
2.1.3. İnce Film Paneller.....	15
2.1.3. Esnek Paneller	16
BÖLÜM 3	18
ÇALIŞMADA KULLANILAN PANELLER VE EKİPMANLAR	18
3.1. KULLANILAN PANELLER VE ÖZELLİKLERİ	18
3.1.1. Monokristal Panel.....	18
3.1.2. Polikristal Panel.....	19
3.1.3. İnce Film Panel.....	20
3.1.4. Esnek Panel.....	21
3.2. KULLANILAN MULTİMETRE VE IŞIK KAYNAĞI	22

	<u>Sayfa</u>
3.2.1. Multimetre (Avometre).....	22
3.2.2. Işık Kaynağı.....	23
3.3. GÜNEŞ SİMÜLASYON ODASI	24
BÖLÜM 4	26
ÖLÇÜMLERİN YAPILMA AŞAMASI	26
4.1. PANELLERİN KONUMLANDIRILMASI	27
4.1.1. Monokristal Panel.....	27
4.1.2. Polikristal Panel.....	30
4.1.3. İnce Film Panel	32
4.1.4. Esnek Panel.....	34
4.2. ÇALIŞMANIN MALİYETİ.....	35
BÖLÜM 5	37
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	37
5.1. ÖLÇÜM SONUÇLARI VE GRAFİKLER.....	39
5.1.1. Monokristal Panel.....	39
5.1.2. Polikristal Panel.....	42
5.1.3. İnce Film Panel	44
5.1.4. Esnek Panel.....	47
5.1.5. Tüm Panellerin Ölçüm Sonuçları ve Grafiği	49
BÖLÜM 6	52
SONUÇLAR	52
KAYNAKLAR	55
EK AÇIKLAMALAR A. İSTATİSTİKSEL HESAPLAMA SONUÇLARI.....	58
ÖZGEÇMİŞ	69

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Türkiye global radyasyon değerleri (kwh/m ² gün).....	2
Şekil 1.2. Türkiye güneşlenme süreleri (saat)	3
Şekil 2.1. FV hücre yapısı	9
Şekil 2.2. Silisyum elementinin atomik yapısı.....	13
Şekil 2.3. Silisyum saflaştırma aşamaları.....	13
Şekil 2.4. Monokristal panel	14
Şekil 2.5. Polikristal panel.....	15
Şekil 2.6. İnce film panel kullanılan sistem.	16
Şekil 2.7. Esnek panel.	17
Şekil 2.8. Yıllık panel tipi/alan/elektrik üretimi grafiği.	18
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan monokristal panel.	20
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan polikristal panel.....	21
Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan ince film panel.....	23
Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan esnek panel.	23
Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan multimetre (avometre).....	24
Şekil 3.6. Çalışmada kullanılan ışık kaynağı.	25
Şekil 4.1. Monokristal panel gölgesiz ölçüm aşaması.	28
Şekil 4.2. Monokristal panel maksimum çıkış voltajı.....	29
Şekil 4.3. Panelin %33'lük kısmı gölge altında.	30
Şekil 4.4. Panelin arkadan görüntüsü.	30
Şekil 4.5. Polikristal panel gölgesiz ölçüm aşaması.....	31
Şekil 4.6. Polikristal panel maksimum çıkış voltajı.	32
Şekil 4.7. Panel ile ışık kaynağı mesafe (1m).	32
Şekil 4.8. İnce film panel %16'sı kapalı halde iken.	33
Şekil 4.9. İnce film panel %80 oranında ışık almıyor durumda.....	34
Şekil 4.10. İnce film panel %80 oranında ışık almıyor durumda çıkış voltajı.....	34
Şekil 4.11. Esnek panel %62,5 oranında gölge durumunda.	35
Şekil 4.12. Esnek panel %62,5 oranında gölge durumunda çıkış voltajı.	36
Şekil 5.1. Monokristal panel verim grafiği.	41

	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.2. Monokristal panel doğrusal grafik.....	42
Şekil 5.3. Polikristal panel verim grafiği.....	44
Şekil 5.4. Polikristal doğrusal grafik.....	44
Şekil 5.5. İnce film panel verim grafiği	46
Şekil 5.6. İnce film panel doğrusal grafik.....	47
Şekil 5.7. Esnek panel verim grafiği	49
Şekil 5.8. Esnek panel doğrusal grafik.....	49
Şekil 5.9. Tüm paneller verim grafiği	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Monokristal panel teknik özellikleri.....	19
Çizelge 3.2. Polikristal panel teknik özellikleri.....	20
Çizelge 3.3. İnce film panel teknik özellikleri.....	21
Çizelge 3.4. Esnek panel teknik özellikleri.....	22
Çizelge 3.5. Multimetre teknik bilgiler.....	23
Çizelge 3.6. Işık kaynağı teknik özellikleri.....	24
Çizelge 4.1. Ekipman maliyetleri.....	37
Çizelge 5.1. Monokristal panel ölçüm sonuçları.....	40
Çizelge 5.2. Monokristal panel istatistiksel sonuçlar.....	41
Çizelge 5.3. Polikristal panel ölçüm sonuçları.....	43
Çizelge 5.4. Polikristal panel istatistiksel sonuçlar.....	43
Çizelge 5.5. İnce film panel ölçüm sonuçları.....	45
Çizelge 5.6. İnce film panel istatistiksel sonuçlar.....	46
Çizelge 5.7. Esnek panel ölçüm sonuçları.....	48
Çizelge 5.8. Esnek panel istatistiksel sonuçlar.....	48
Çizelge 5.9. Tüm panellerin ölçüm sonuçları.....	50
Çizelge 6.1. Panellerin en yüksek voltaj değerleri.....	53
Çizelge 6.2. Monokristal ve polikristal panelin karşılaştırılması.....	54
Çizelge Ek A.1. Monokristal panel outlier detection analizi.....	59
Çizelge Ek A.2. Polikristal panel outlier detection analizi.....	60
Çizelge Ek A.3. İnce film panel outlier detection analizi.....	61
Çizelge Ek A.4. Esnek panel outlier detection analizi.....	62
Çizelge Ek A.5. Monokristal panel anova analizi sonuçları.....	63
Çizelge Ek A.6. Monokristal panel hata analizi sonuçları.....	63
Çizelge Ek A.7. Monokristal panel regresyon analizi sonuçları.....	63
Çizelge Ek A.8. Monokristal panel $y=ax+b$ hesaplama sonuçları.....	64
Çizelge Ek A.9. Polikristal panel anova analizi sonuçları.....	64
Çizelge Ek A.10. Polikristal panel hata analizi sonuçları.....	64
Çizelge Ek A.11. Polikristal panel regresyon analizi sonuçları.....	65
Çizelge Ek A.12. Polikristal panel $y=ax+b$ hesaplama sonuçları.....	65

Sayfa

Çizelge Ek A.13. Esnek panel anova analizi sonuçları.	65
Çizelge Ek A.14. Esnek panel hata analizi sonuçları.	66
Çizelge Ek A.15. Esnek panel regresyon analizi sonuçları.	66
Çizelge Ek A.16. Esnek panel $y=ax+b$ hesaplama sonuçları.	66
Çizelge Ek A.17. İnce film panel anova analizi sonuçları.	67
Çizelge Ek A.18. İnce film panel hata analizi sonuçları.	67
Çizelge Ek A.19. İnce film panel regresyon analizi sonuçları.	67
Çizelge Ek A.20. İstatistiksel hesaplama sonuçları.	68
Çizelge Ek A.21. İnce film panel $y=ax+b$ hesaplama sonuçları.	68

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A	: amper
°C	: santigrad
C	: karbon
Cu	: bakır
F	: flor
H	: hidrojen
He	: helyum
K	: kelvin
Lm	: lümen
Si	: silisyum
V	: volt
W	: watt
Ω	: ohms
γ	: dalga boyu

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
EN	: European Norm (Avrupa Normu)
ETFE	: Etilen Tetrafloroetilen
IIW	: International Institute of Welding (Uluslararası Kaynak Enstitüsü)
SI	: Système International D'unités (Uluslararası Birimler Sistemi)
TS	: Türk Standardı
FV	: Fotovoltaik

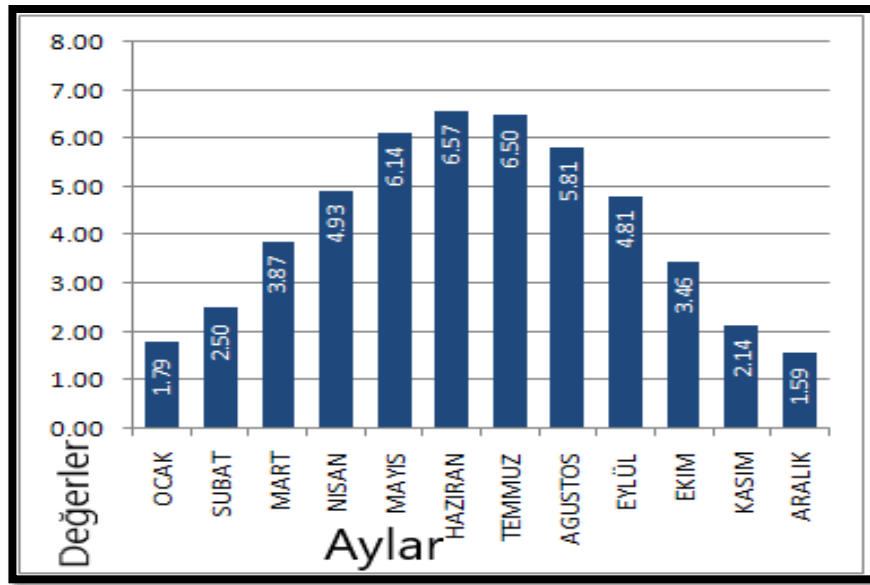
BÖLÜM 1

GİRİŞ

Her geçen gün önemi hızla artan enerji ihtiyacı sebebi ile enerji kaynakları ve enerji üretim prosesleri bilimsel çalışmaların odağı haline gelmiştir. Bu bağlamda enerji kaynakları, enerji üretim prosesleri aşamasında çevreye büyük zararlar verebilmektedir. Bu nedenle kullanılan enerji kaynaklarının çevresel etkilerini azaltmak için yenilenebilir enerji kaynakları ile değiştirmeye başlama gereksinimi doğmuştur. Yenilenebilir enerji, adından da anlaşılacağı üzere evrenin kullanımımıza sunduğu sınırsız olarak nitelendirilebilecek miktarda bulunan kaynaklardır. Bunları kısaca sıralayacak olursak; güneş, rüzgâr, jeotermal vb. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en değerli olanlarından biri ise güneş enerjisidir. Ülkemiz güneş enerjisi bakımından zengin ülkeler arasında yer almaktadır. Şekil 1.1’de görüldüğü üzere global radyasyon değerleri yaz aylarında artış göstermektedir. Türkiye’de güneşlenme sürelerindeki artışın yaz aylarında daha çok olduğu Şekil 1.2’de gösterilmiştir.

Çevre kirliliğini en aza indirerek enerji üretebilmek için araştırmalar sürekli olarak sürdürülmektedir. Bu incelemelere göre güneş enerjisinin büyük öneme sahip olduğu görülmektedir. Çevremiz için en zararsız olması ve sınırsız enerji kaynağı olması sebebi ile son yıllarda en çok araştırılan konuların başında güneş enerjisi gelmektedir. Güneş enerjisi, güneş paneli ya da diğer bir deyişle güneş pili vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.

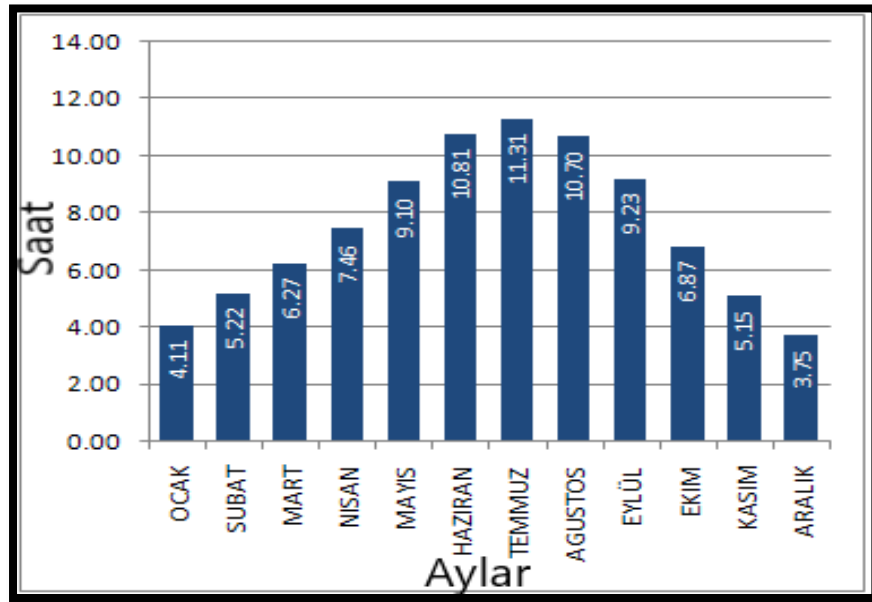
Yenilenebilir enerji teknolojileri, enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği ve küresel ısınma konusundaki endişeler nedeniyle bilim adamları tarafından büyük oranda teşvik edilmektedir (Pace ve Gatrell, 2009). Sürdürülebilir enerji kullanımını desteklemek için, bazı ülkelerde vergi indirimi, fiyatlandırma politikaları, üretim teşvikleri gibi çeşitli kanunlar ve özendirici kampanyalar hazırlanmıştır. 2016 yılında yapılan bir araştırmaya göre yenilenebilir enerji kaynakları, küresel enerji üretiminin %6,7'sini oluştururken, Almanya'nın enerji üretiminin %23,5'ini ve Çin'in enerji üretiminin %20,9'unu oluşturmaktadır (Kissel ve Krauter, 2006).



Şekil 1.1. Türkiye ortalama aylık global radyasyon değerleri (kwh/m²) (<http://www.yegm.gov.tr>, 2020).

Alınacak verimin üst seviyede olması için kullanılacak panellerin, ışığı engelleyecek etmenlerin olmadığı şekilde konumlandırılması gerekir. Yapılan çalışmaların ışığında güneş enerjisinin sürekli olarak bulunabilir olması, yakıt maliyetinin bulunmaması ve çevreye verdiği zararların yok denecek kadar az olması güneş enerjisini diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından daha önemli bir konuma taşımaktadır. Özellikle fotovoltaik (FV) sistemler ile güneş enerjisinden elektrik elde edebilmek için gereken bileşenlerin teknolojik olarak hızla gelişimi, fotovoltaik sistemlerin enerji üretimi için tercih edilmesine imkân tanımaktadır (Suda vd., 2016; Kaplan, 2012).

Güneş panelleri üretim metotlarına göre birçok çeşide ve boyuta sahiptir. Bu panellerin veriminin en üst düzeyde olması için güneş ışınlarını bol miktarda almaları gerekmektedir. Güneş panellerinin verimlilik analizi için en önemli iki parametre panel tipi ve güneş ışığı alma oranlarıdır. Güneş panellerine düşen ışık miktarı panelin ürettiği enerji miktarını belirleyen en önemli parametrelerden biridir. Panel üstüne düşen ışık; arttıkça enerji üretimi yükselmekte, aynı şekilde azaldıkça da enerji üretimi azalmakta ve verim düşmektedir. Güneş panellerinden yüksek verim alınabilmesi için, panelin güneşe olan konumu büyük öneme sahiptir. Panelin alacağı ışık oranı da yüksek olmalıdır. Güneş ışınlarının panele ulaşmasını engelleyecek etmenler ortadan kaldırılmalıdır. Panel üzerine düşebilecek gölgeler, panelin verimini düşürebilmektedir.



Şekil 1.2. Türkiye aylık ortalama güneşlenme süreleri (saat) (<http://www.yegm.gov.tr>, 2020).

Güneş enerjisi kullanılarak üretilen elektrik oranı dünya genelinde %32,6 artarken, Çin’de %69,7 oranında, Japonya’da %58,6 ve ABD’de %41,8 oranında artarak büyük bir gelişme göstermiştir (Petroleum, 2016).

Bu çalışmanın amacı, farklı yapılara ve özelliklere sahip güneş panellerini kullanarak verimlilik analizi yapmaktır. Panel tiplerine göre, panelin bazı bölgelerinin güneş ışınlarıyla buluşamaması durumunda verimin ne kadar değişim gösterdiği incelenmektedir. Elde edilen sonuçlar sayesinde paneller herhangi bir gölgeye maruz kaldığında elektrik üretiminin değişim oranı tespit edilerek verimlilikleri hesaplanmaktadır; böylece, güneş tarlaları için ya da güneş paneli montajında yer seçimi, bakım ve temizlik için tasarım yapılması aşamasında önemli bir kaynak ortaya çıkacaktır.

Çalışmadan elde edilecek bulgular ışığında hedeflenen üretim kapasitesi en verimli şekilde yönetilebilecektir. Çalışmanın en önemli hedefi yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinden maksimum verim almaktır. Ekosisteme zarar vermeden elektrik üretimini maksimum verimlilikte sürdürmektir. Çalışmada, bir güneş simülasyon odası kurularak, iklim koşullarından etkilenmeden, günün her saatinde, yapılan her ölçümde aynı miktarda güneş ışığı ile ölçümler yapılabilecek şekilde, panellerin güneş/gölge verimlilik değerleri ortaya koyulabilecektir. Bu çalışma, kendinden sonra gelecek olan çalışmalar için rehber olacaktır. Yapılacak olan herhangi bir çalışmada, güneş paneli verim ölçümü noktasında büyük fayda sağlayacaktır.

Hazırlanmış olan bu tez, genel itibarı ile literatür taraması ve deneysel çalışmalar olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Çalışmanın, literatür taraması kısmı kendi içinde üç, deneysel çalışmalar ise yine üç olmak üzere toplam 6 konu başlığı altında aktarılmıştır.

Bunlar;

- Birinci bölüm “giriş” kısmı olup burada çalışma hakkında kısa açıklamalar yapılmıştır.
- İkinci bölümde ise genel olarak kullanılan tüm güneş panelleri hakkında detaylı bir literatür taraması bulunmaktadır.
- Üçüncü bölümde bu çalışmada kullanılmış olan güneş panelleri, ışık kaynağı, ölçüm cihazları detaylı bir biçimde tanıtılmıştır.
- Dördüncü kısımda, çalışmanın nasıl yapıldığı, panellerin nasıl yerleştirildiği, ışık kaynağının nasıl konumlandırıldığı, ışık kaynağı ile panel arasında ışığın panel üzerine düşmesini engelleyen materyallerin nasıl yerleştirildiği anlatılmıştır. Ölçümlerin uygulanış parametreleri hakkında bilgiler verilmiş olup, kurulan düzenek fotoğraflarla da gösterilmiştir.
- Beşinci bölümde ise, testlerden elde edilen veriler daha kolay saptanması amacıyla grafik yöntemi ile ortaya konulmuş ve grafikler değerlendirilmiştir.
- Altıncı bölümde çalışmanın sonuçları irdelenmiş ve elde edilen veriler ışığında değerlendirmeler ortaya koyulmuştur.

BÖLÜM 2

GÜNEŞ PANELLERİ

Günümüzde vazgeçilmez bir parçamız olan teknoloji, getirdiği kolaylıkların yanı sıra enerji ihtiyacı doğurmuştur. Bu ihtiyaç geçmiş yıllarda fosil yakıtlarla giderilmeye çalışılsa da bulunduğumuz dönemde sera gazı etkilerini azaltmak ve çevremizi korumak amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen değerin artırılması gerekmektedir. Hızla gelişmekte olan teknoloji ve sanayi ile insanların hayattan beklentileri artmış, bununla birlikte yaşam kalitesinin yükselmesiyle gereksinimler artmıştır. Fosil kaynaklı enerjiler sonsuz değildir ve bir gün tükenecekleri bilimsel bir gerçektir. Bu gerçek göstermektedir ki, fosil kaynakların çalışma prensibi üzerine kurulu birçok teknolojik sistem de çalışamaz hale gelecektir. Bunun sonuçları bütün dünya ekonomisini etkileyecek kadar büyük olabilecektir (Çelik, 2002).

Güneş enerjisi teknolojisi, rüzgâr enerjisi teknolojisi ile birlikte, gelecekteki elektrik üretim sistemlerinin, önemli bir bölümünü oluşturacağı öngörülmektedir. Bu öngörünün sebebi, iklim değişikliğinin kötü sonuçlarını azaltmak ve buna paralel olarak karbon emisyonu sıfır olan enerji üretim sistemlerine duyulan ihtiyacın artmasıdır. Dünyada toplam kurulu FV sistem gücünün 2018 sonunda 500 GW civarında olduğu bilinmektedir (Jäger-Waldau, 2018). Dünya çapında enerji ihtiyacının, 2002'den 2030'a kadar %60 artacağı tahmin edilmektedir. Bu dönemde, dünyadaki fosil yakıtların payı 2002'de %80'den 2030'da %82'ye yükselecektir. (Solangi vd., 2011).

Dünya şehirlerinin hızlı kentleşmesi göz önüne alındığında, enerji tükenmesi ve ciddi çevre sorunlarını sınırlandırmak için kentsel enerji ekonomisinde yeni politikaların oluşturulması gerekmektedir (Balat, 2006).

Küresel enerji üretiminde CO₂ salınımını azaltmak için kullanılan stratejiler ve çevresel sonuçların değerlendirilmesi, gelecekte önemli bir yer tutacaktır. İlerleyen yıllarda, ülkelerin bu yönde adımlar atması ve enerji politikalarını değiştirmesi öngörülmektedir (Antonanzas vd., 2019).

İklim değişikliğinin üstesinden gelmek ve Paris İklim Anlaşması hedeflerine ulaşmak amacıyla enerji sistemlerinin düşük karbonlu teknolojilere dönüştürülmesi gerekmektedir (Elzen vd., 2016). Bu teknolojiler arasında, güneş enerjisinin, yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli teknolojilerden biri olduğu kanıtlanmıştır (Michas vd., 2019). Güneş enerjisi, evlerde ve iş yerlerinde minimum bakım ve sıfır yakıt maliyeti ile kendi elektriğini üretilip kullanmaktadır (Kalkbrenner vd., 2016). Kurulu kapasite miktarına göre, güneş enerjisi sektörü dünya çapında en hızlı büyüyen enerji teknolojisidir. Bununla birlikte, FV sektöründe büyük gelişmeler görülmesine ve FV modüllerinin, fiyatlarının yıllardır düşmesine rağmen, güneş enerjisi kullanımı tahminleri ile gerçek kullanım sayısı arasında hala büyük ölçüde fark vardır (Solar Power Europe, 2020).

Güneş enerjisi kullanımı karbon salınımını büyük ölçüde azaltabilecek potansiyele sahiptir. ABD, Kaliforniya'da 113.533 haneye kurulan güneş enerjisi sisteminin, 696.544 Ton C (karbon) salınımını azalttığı görülmüştür (Kabir vd., 2018). Güneş enerjisi sistemlerinin ilk yatırım maliyeti yüksek görünmektedir. Fakat sistem kurulduktan sonra işletme maliyeti oldukça düşüktür. Bu nedenle, uzun dönemde güneş enerjisi kullanımının maliyeti diğer enerji kaynaklarından daha avantajlı hale gelebilmektedir. Yapılan bir araştırmaya göre watt başına düşen güneş pili hücre üretim maliyeti 1977 yılında 76,67 dolar olarak görülürken 2014 yılında bu sayının 0,36 dolar seviyelerinde seyrettiği görülmüştür. Güneş paneli sektöründe gelişmeler devam ettiğinden, bu değerlerin giderek azalması beklenmektedir (Kabir vd., 2018).

Dünyamız için önemli olan diğer bir nokta ise fosil bazlı yakıtların oluşturduğu çevre kirliliğidir. Üzerinde bulunduğumuz gezegende meydana gelen çevresel problemlerin büyük bir kısmını fosil kaynaklı yakıtların tüketilmesi oluşturmaktadır. Özellikle, gelişmiş ülkelerde güneş enerjisinden doğrudan elektrik üretebilen fotovoltaik (FV) hücrelerden oluşan güneş panelleri çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Dünya üzerinde üretilen elektrik enerjisinin yaklaşık olarak %1-2 si FV'ler ile üretilmektedir (Öztürk ve Kaya, 2013). Küresel ısınma, toprak kirliliği, asit yağmurları gibi büyük etkileri de bulunan bu fosil yakıtların kullanımının azaltılması gerekmektedir (Koç ve Sayın, 2011).

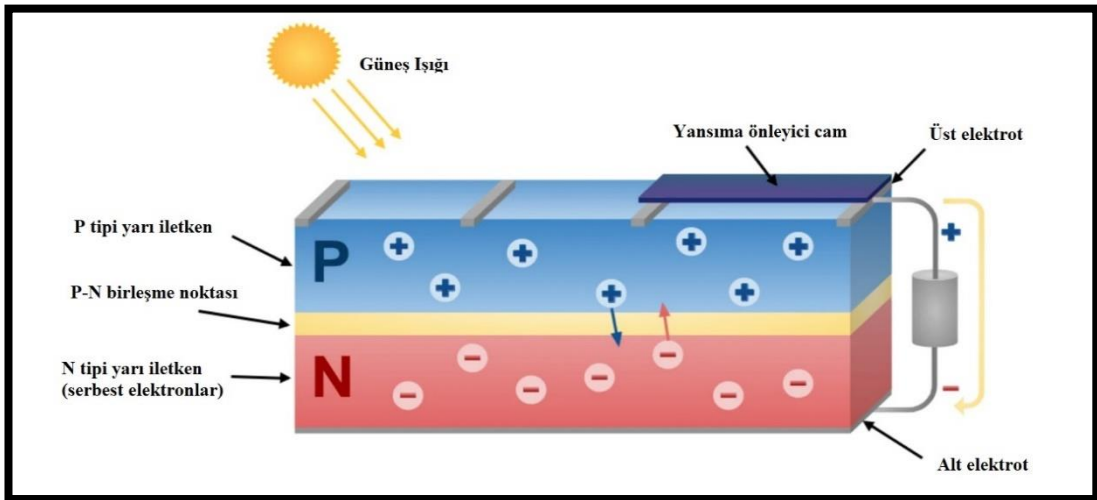
Dünyanın en önemli enerji kaynağı Güneş'tir. Güneş; H ve He gazlarından oluşan, enerjisi bol miktarda olan, yenilenebilir ve üstelik bedava bir ısı, ışık kaynağıdır. Güneş dış yüzeyinde 6000 °C sıcaklığında olup merkezde ise 20 milyon °C'yi bulur. Güneş'in yüksek sıcaklığı nedeniyle elektronlar çekirdeklerine ayrılır. Bu yüzden güneşte atom ve molekül değil; serbest elektron ve atom çekirdekleri bulunur. Bu karışım "plazma" olarak isimlendirilir. Güneş içi yakıtı H, ürünü He olan koca bir fırındır. Oluşan He miktarı harcanan H miktarından azdır. ($4H \rightarrow 1He$) Aradaki fark ise Güneş'ten ışın (ısı ve ışık) olarak çıkan enerjiyi (radyasyonu) verir. Güneş, Dünya'dan yaklaşık 150 milyon km uzakta bulunur. Dünya hem kendi çevresinde döner hem de Güneş'in çevresinde eliptik bir yörüngede döner. Dünyanın kendi etrafında dönmesi ile gece ve gündüz oluşur. Diğer taraftan, Dünya'nın Güneş çevresinde dönmesi ile mevsimler oluşur. Bu nedenle, Güneş'ten Dünya'ya gelen enerji miktarı günlük ve mevsimsel olarak değişir (Erkul, 2010).

Fotoelektrik olayı; güneş ışığı yarı iletken madde üzerine düştüğünde ışınımın enerjisi, madde atomlarının en dış yörüngesindeki elektronları hareket ettirir. Şekil 2.1'de bulunan güneş paneli çalışma sisteminde görüldüğü gibi, iletkenler üzerindeki elektrik akımı atomların bu gevşek elektronlarının hareketi sayesinde oluşur. Elektronlar taşıdıkları enerjilerini karşılaştıkları, engeller (direnç-yük) üzerinde bırakarak ışık yaparlar (Demirtaş, 2006).

Güneş paneli olarak adlandırılan bu yapılar, güneşten gelen ışınların panel üzerine düşmesi ile doğrudan elektrik enerjisi üretmeye yararlar. Kısaca FV şeklinde isimlendirilirler. Sistemde küçük birimler halinde güneş hücreleri bulunur. Genelde 100 cm² boyutunda ve 0.2 ile 0.4 mm kalınlığında üretilmektedirler. Üretim aşamasında silisyum elementi, amorf silisyum, bakır indiyum selenoid, kadmiyum tellür, bakır indiyum galyum selenoid şeklinde bileşikler sıklıkla kullanılmaktadır.

Kullanılan yarı iletken malzemenin çalışma prensibi; hücre yüzeyine gelen ışık fotonlarının elektron sökmesi ve bu elektron taneciklerinin dış çevrede hareket etmesi şeklindedir. Işık, bir fotovoltmik hücrenin içine girer ve elektronları harekete geçirmeye yetecek enerjiyi ortaya çıkarır. Bu enerji elektronların bir elektrik akımı oluşturabilecekleri kadar voltajı üretmelerini sağlar (Sick and Erge, 1996).

Güneş enerjisi panel hücreleri genel olarak N tipi ve P tipi yarı iletkenlerin bir araya getirilmesiyle oluşmaktadır. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi Güneş’ten gelen fotonlar FV hücre yüzeyine çarparak serbest elektronları harekete geçirir. Bu noktada sistem çalışır ve elektrik üretilir. FV hücrelerin üretimi sırasında, genellikle silisyum elementi kullanılmaktadır. Silisyum elementine, periyodik cetveldeki VA ya da IIIA grubu elementlerinin çok az miktarda eklenmesi ile N tipi ve P tipi yarı iletkenler oluşturulur. Bu yarı iletkenler bir araya getirilir ve sonucunda güneş pili oluşturulur.



Şekil 2.1. FV hücre yapısı (www.engineering.com, 2020).

Elektronikte yarı iletken üretiminden dolayı önemli bir madde olan silisyum, güneş pilinin de en yaygın hammaddelerinden biridir. Teknolojik olarak tek kristalli, çok kristalli ve amorf yapıları üretilen güneş pilleri ticari olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Küpeli , 2005).

N tipi yarı iletkenler; VA grubu elementlerinin, IVA grubu yarı iletkenlere çok az bir miktarda eklenmesi ile oluşturulur. Genellikle IVA grubundan silisyum veya germanyum elementleri kullanılmaktadır. Ancak çoğu zaman silisyum elementi tercih edilmektedir. VA grubundan ise fosfor, arsenik, bizmut, antimon elementlerinin IVA grubu elementlerine eklenmesi ile oluşturulur. Çoğu zaman fosfor elementi kullanılmaktadır (Gökçe, 2020).

P tipi yarı iletkenlerde ise N tipi yarıiletkenlerdeki gibi VA gurubu elementlerinin yerine IIIA gurubu elementleri IVA grubu elementlerine çok az miktarda eklenmesiyle oluşturulur. IIIA grubundaki bor, alüminyum, galyum gibi elementlerin IVA grubundaki Şekil 2.2'de atomik yapısı görülen silisyum (Si) ya da germanyum (Ge)'a eklenmesiyle oluşturulur. Son yörüngesindeki 3 elektrondan dolayı bir boşluk meydana gelir.

Alüminyum çerçeveli ve camlı modüller; güneş enerjisi modülü, alüminyum bir çerçeve içerisine bir panel şeklinde oturtulur. Panel, cam bir tabaka ve pilleri çevresel etkilerden koruyacak bir filmle kaplanmış FV pillerinden oluşur. En çok kullanılan modül tiplerindendir (Oluklulu, 2001).

Dünya üzerinde kullanılan tüm cihazlarda ve ekipmanlarda ana hedeflerden biri verimliliğin yüksek tutulmasıdır. Özellikle enerji sektöründe verimlilik daha kıymetlidir. Bunun sebebi, ekolojik faktörler olarak göze çarpmaktadır. Enerji üretimi sırasında çevreye zarar verilmekte olup, yenilenebilir enerjiler bu noktada devreye girmektedir. Atmosfere salınan sera gazlarının azaltılması amacıyla kullanılan alternatif enerji sistemlerinde verimlilik daha önemli hale gelmektedir. Bu projede de amaç güneş panellerinin verimliliğinin ölçülmesidir. Güneş simülasyon odasından yararlanılarak yapılacak deneylerde sabit enerji/güneş ışığı düzeyinde güneş ışığından yararlanma imkânı elde edilmiştir. Yine bu ölçümlerde farklı gölge pozisyonlarında yapılan ölçümler sonucu, verimlilik oranları ölçülmüştür. İlgili panel için belirlenen güneş/gölge oranları ile enerji dönüşüm miktarı belirlenmiş, elde edilen veriler yorumlanarak çalışma tamamlanmıştır.

Bu çalışma sonucunda dünya üzerindeki enerji gereksiniminin güneş ile karşılanan kısmında güneş panelleri ile ilgili önemli bilgiler elde edilmiş olup, gölgeye neden olan etmenlerin verime etkisi, farklı üretim yöntemleri ve tiplere ait paneller için değerlendirilmiştir. Çalışmanın ışığında, paneller ile ilgili çalışma yapmak isteyen bir araştırmacı, sistemin maliyetini öğrenmekle beraber çalışma sistemi hakkında da bilgi sahibi olacaktır.

2.1. GÜNEŞ PANELİ ÇEŞİTLERİ

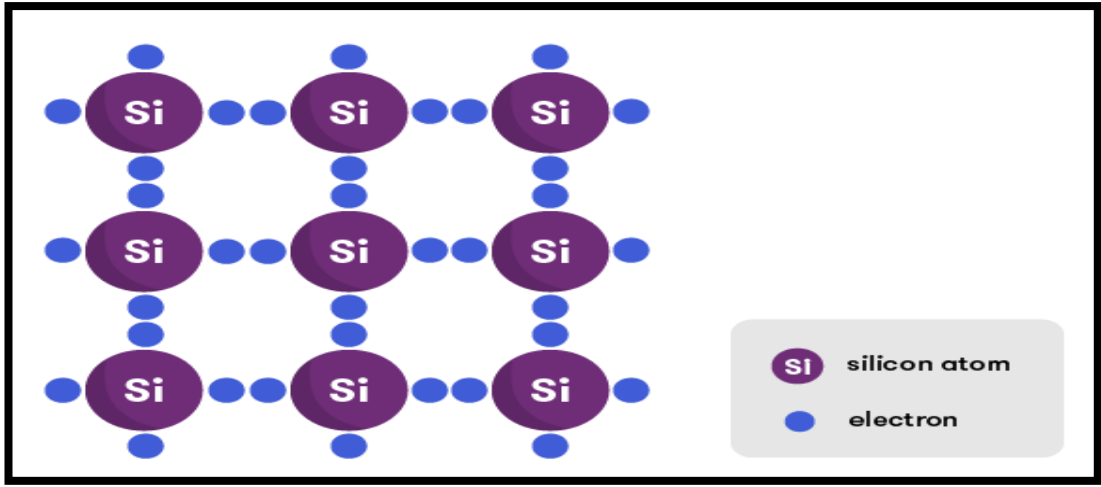
Güneş panelleri ihtiyaca göre üretilebilen ve farklı türlere sahip bir yarıiletkenidir. Panel çeşitlerinin her birinin kendine has özellikleri vardır. İstenilen boyutta üretilebilen bu paneller kullanım alanına göre seçilebilir. Her panelin ürettiği elektrik voltajı değişkenlik gösterebilmektedir. Üretim maliyetleri panel çeşitlerine göre değişmekte olup, kullanıcılar ihtiyaçları doğrultusunda istedikleri paneli tercih edebilmektedir.

Güneş paneli çeşitleri dört ana grupta toplanmaktadır:

- Monokristal Paneller: Bu paneller yüksek verim ile çalışırlar, az güneş ışığıyla bile verim sağlamaktadırlar. Laboratuvar koşullarında ticari silikon güneş pilleri şu anda %24-25 verimliliğe ulaşabilmektedir (Blakersa, 2013).
- Polikristal Paneller: Verim olarak düşük çalışan bu paneller, ekonomik olarak uygundur. Polikristal güneş panellerinin verimlilikleri %14 ile %16 aralığındadır (Boz, 2011).
- İnce Film Paneller: Uygulanması kolay olan ince film panellerin verimliliği %18'lere kadar çıkmış olsa da malzeme uzun dönemde kararlılığını koruyamamaktadır (Oktik, 2001).
- Yarı Esnek Paneller: Montaj alanına göre esneyebilen panellerdir, verimleri değişebilmektedir (Boz, 2011).

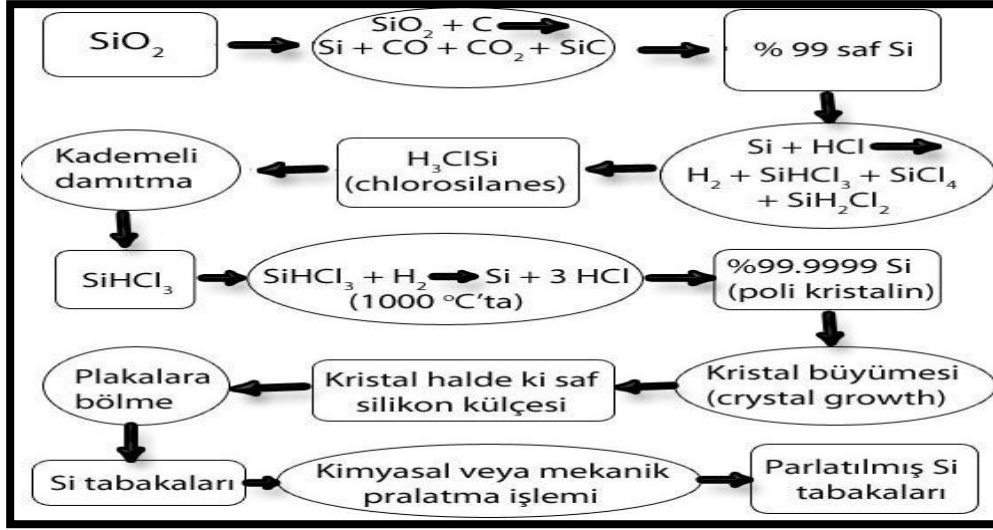
2.1.1. Monokristal Paneller

Monokristal silisyum güneş pillerinin, güneş paneli yapımında sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Monokristal silisyum, maliyet olarak oldukça pahalıdır. Bu nedenle polikristal kullanılan güneş hücresinin, daha fazla kullanıldığı görülmüştür. Silisyum elementinin güneş pili üretiminde sıklıkla kullanılmasının çok sayıda sebebi bulunmaktadır. Bu nedenler; silisyumun elektriksel, yapısal ve optik özelliklerini uzun süreler boyunca muhafaza edebilmesinden kaynaklanmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Silisyum elementinin atomik yapısı (<https://www.science.org.au>, 2020).

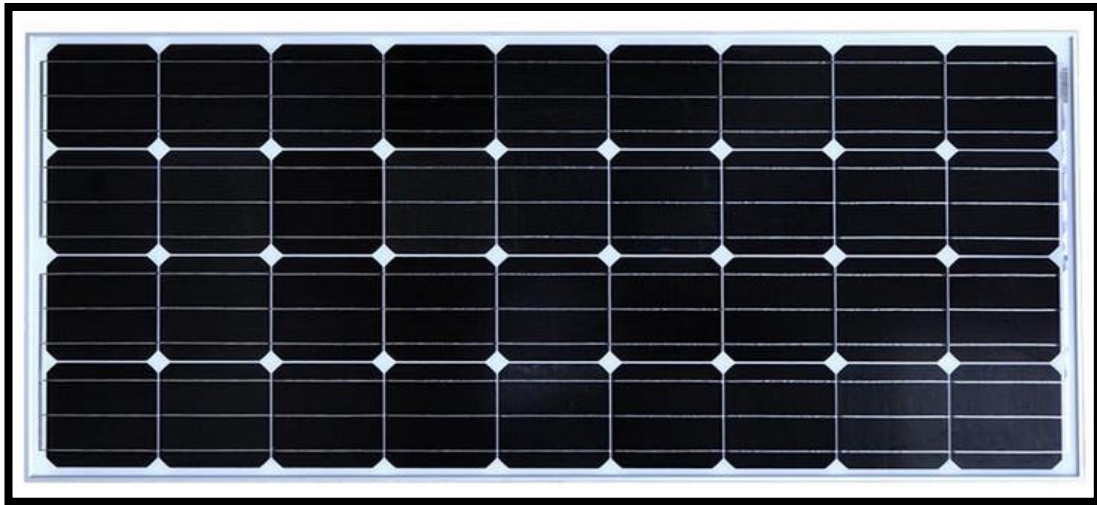
Monokristal silisyum teknolojisi maliyet olarak pahalı ve üretimi zordur. Dünya üzerinde oksijen elementinden sonra, en fazla silisyum elementi bulunur. Silisyum elementinin, kum ve kuvars biçimleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Kum, saflık oranı çok düşük olması sebebiyle tercih edilmemektedir. Fakat kuvars maddesinin yaklaşık olarak %90'ı silisyumdan oluşmaktadır. Şekil 2.3'te görüldüğü gibi kuvars birden fazla işleminden geçirildikten sonra, %99 saflık oranında silika maddesi elde edilir.



Şekil 2.3. Silisyum saflaştırma aşamaları (<http://www.gunessistemleri.com>, 2020).

Silika maddesi gerekli işlemlerden geçerek Silisyum elementi elde edilir. Bu aşamaların ardından silisyum elementi saflaştırıldıktan sonra yarı iletken özelliğe sahip çok kristalli silisyum elementi elde edilir. Çok kristalli silisyum elde edilene kadar olan işlemler oldukça maliyetlidir.

Yarı iletken niteliğe sahip olan çok kristalli saf silisyum elde edilmesi için, çok kristalli silisyum tekrar eritilmekte ve büyütülmektedir. Çekirdekler, çok düşük hızlarda ergimiş silisyum banyosuna koyulurlar. Yaklaşık olarak 0,5 mm kalınlıkta üretilmektedirler.



Şekil 2.4. Monokristal panel (<https://www.acsenerji.com>, 2020)

Hücrelerin üretim aşamasında malzeme kaybı oluşması dezavantaj olarak göze çarpmaktadır. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi renkleri koyu mavi şeklinde olmakta ve hücre ağırlığı yaklaşık olarak 10 gramdan daha azdır.

2.1.2. Polikristal Paneller

Elektriksel, optik ve yapısal özellikleri monokristal paneller ile aynı şekildedir. Damarların boyutları kristallerin kalitesiyle doğru orantılıdır. Damarlar arasında süreksizlik varsa, özellikle elektriksel yük taşıyıcıların aktarılması konusunda büyük ölçüde engelleyici olmaktadır.

Çok kristalli malzemenin elektriksel özellikleri, küçülen damar büyüklüğü ile orantılıdır; elde edilebilecek verimliliğin monokristal ile karşılaştırılması durumunda daha küçük olmasına sebep olur. Ancak çok kristalli silisyum üretim teknolojileri nispeten daha kolay olup ve maliyeti ise düşüktür (Oktik, 2001).

Polikristal silisyum maddesinin üretim aşamasında dökme yöntemi kullanılmaktadır. Üretim aşamasında ilk etapta tek kristalli silisyumun elde edilmesi ile aynı işlemler bir aynen uygulanır. Erimiş haldeki yarı iletken silisyum maddesi, kalıplara dökülmek suretiyle soğuması beklenir. Kalıplardan elde edilmiş olan bloklar kare şeklinde kesilir. Bu yöntem kullanılarak üretilen malzemelerden elde edilen güneş pillerinin maliyeti düşük verimi daha azdır. Şekil 2.5'te görülen polikristal güneş panellerinin verimlilikleri %14 ile %16 aralığındadır (Boz, 2011).



Şekil 2.5. Polikristal panel (<https://www.acsenerji.com>, 2020).

2.1.3. İnce Film Paneller

Şekil 2.6'da görülen ince film güneş panelleri yapım aşamasında, gelen ışınları soğurma özelliği yüksek olan malzemeler daha ince bir tabaka şeklinde kullanılmaktadır. Örnek olarak amorf silisyum kullanılan güneş panellerinin absorpsiyon katsayısı, kristal silisyum kullanılan güneş panellerine kıyasla daha fazladır.

Dalga boyu katsayısı 0,7 mikrondan küçük bir kısımdaki güneş radyasyonu 1 mikron kalınlığında amorf silisyum ile absorblanabilir durumda iken, kristal silisyumda ise aynı radyasyonu absorblamak için 500 mikron kalınlıkta malzeme kullanılması gerekmektedir. Bu yüzden amorf yapılu güneş pillerinde daha az malzeme kullanılır ve montaj kolaylığı nedeniyle bir avantaj sağlar (Erkul, 2010).

İnce film panellerin ticari olarak kullanılan diğer bir adı da thin film paneller olarak geçmektedir. Kullanılan teknolojinin gelişmesi ile birlikte üretim maliyetlerinin azaltılması hedeflenmiştir. Bu parametre, ince film panellerin yaygınlaşmasına mâni olan en büyük engeldir. Pazar payının ancak %7'sine tekabül eden bir kullanım oranı vardır. Ancak laboratuvar ortamında verimlerin artırılması üzerinde çalışılmalar devam etmektedir. Öte yandan uzay ve uydu uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Verimleri ise %28 ile 30 civarındadır (Boz, 2011).

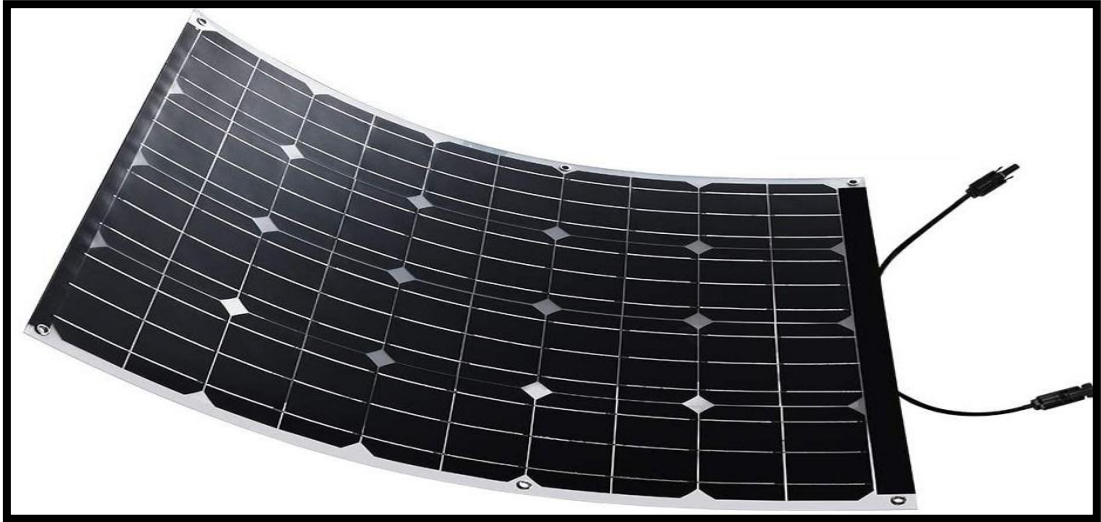


Şekil 2.6. İnce film panel kullanılan sistem (<https://energyinformative.org>, 2020).

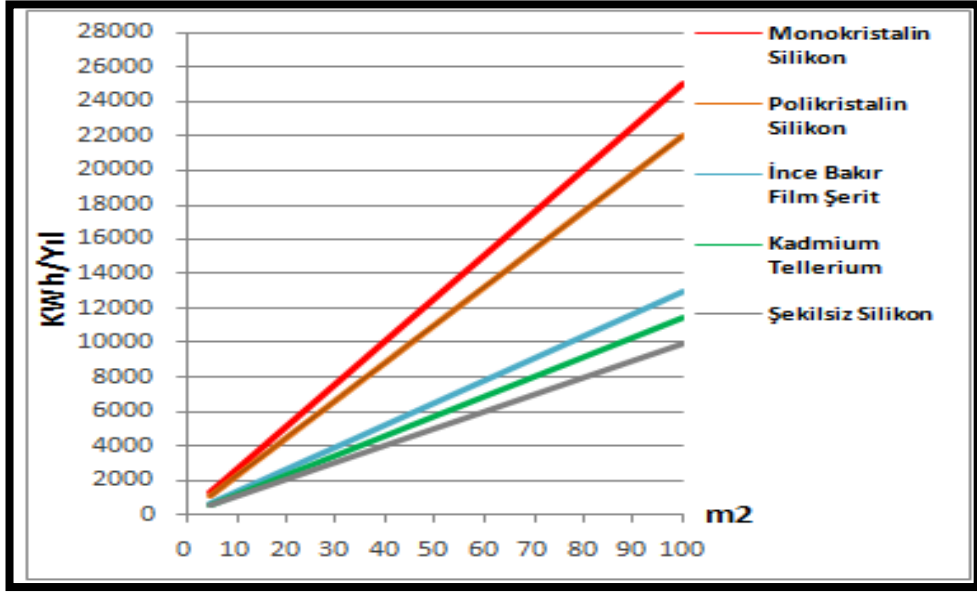
2.1.3. Esnek Paneller

Yapıları itibariyle bu tip paneller, isminden anlaşıldığı üzere esneyebilme özelliğine sahiptirler. Diğer panel türlerine göre daha hafiftirler ve uygulaması daha kolay gerçekleştirilebilmektedir. Yüzeyi deniz tuzundan etkilenmeyen flor bazlı bir plastik olan ETFE malzemesi ile kaplanması sebebiyle doğa olaylarına karşı daha dayanıklıdır. Montaj sırasında esnek yapısı sayesinde yapıştırılarak sabitlenebilmektedir. Eğimli yüzeylerde kolayca kullanılabilme imkânı mevcuttur.

Esnek paneller Şekil 2.7’de görüldüğü gibi temperli cam kullanılmaması ve alüminyum çerçeveye sahip olmaması nedeniyle daha hafiftirler. Bu nedenle kullanım alanları epey geniştir. Dayanıklı yapısı ve cam bulundurmaması nedeniyle tekne, karavan gibi hareketli ortamlarda tercih edilebilmektedir. Türkiye şartlarında esnek panellerin satış fiyatı yüksek olması sebebiyle, özel bir ihtiyaç olmadığı sürece tercih edilmemektedir.



Şekil 2.7. Esnek panel (<https://www.thesolarnerd.com>, 2020).



Şekil 2.8. Yıllık panel tipi/alan/elektrik üretimi grafiği (<http://www.yegm.gov.tr>, 2020).

Ülkemizde, genel olarak yukarıda açıklanan panel tipleri kullanılmaktadır. Her panelin kullanım alanı farklı olması sebebiyle, ülkemizde kullanılan panellerin oranı değişmektedir. Şekil 2.8’de görüldüğü gibi, güneş panelinde metrekare başına üretilen elektrik miktarı yıllık olarak monokristal panelde daha fazladır. Monokristal paneli sırasıyla, polikristal panel, ince film panel takip etmektedir.

BÖLÜM 3

ÇALIŞMADA KULLANILAN PANELLER VE EKİPMANLAR

Bu kısımda araştırma süresince kullanılmış olan güneş panelleri ve diğer ekipmanlar tanıtılmıştır. Çalışmada proje bazında temin edilen 4 panel çeşidi kullanılmıştır. Bu panellerin sabitlenmesi amacıyla, demir profiller kullanılarak yapılmış olan, istenildiğinde taşınabilen tekerlekli bir sistem kullanılmıştır. Panellerin çalışabildiği optimal ışığı verebilen, tekerlekli bir sistemle sabitlenen led projektör yardımıyla panellere ışık düşürülmüştür. Panellerin üzerinde gölge oluşturulması amacıyla, ışık geçirmeyecek kalınlıkta, çeşitli boyutlarda mukavva kullanılmıştır. Panellerin çıkış voltajlarının ölçülmesi amacıyla kalibrasyonu ilgili firma tarafından yapılmış, profesyonel bir avometre kullanılmıştır.

3.1. KULLANILAN PANELLER VE ÖZELLİKLERİ

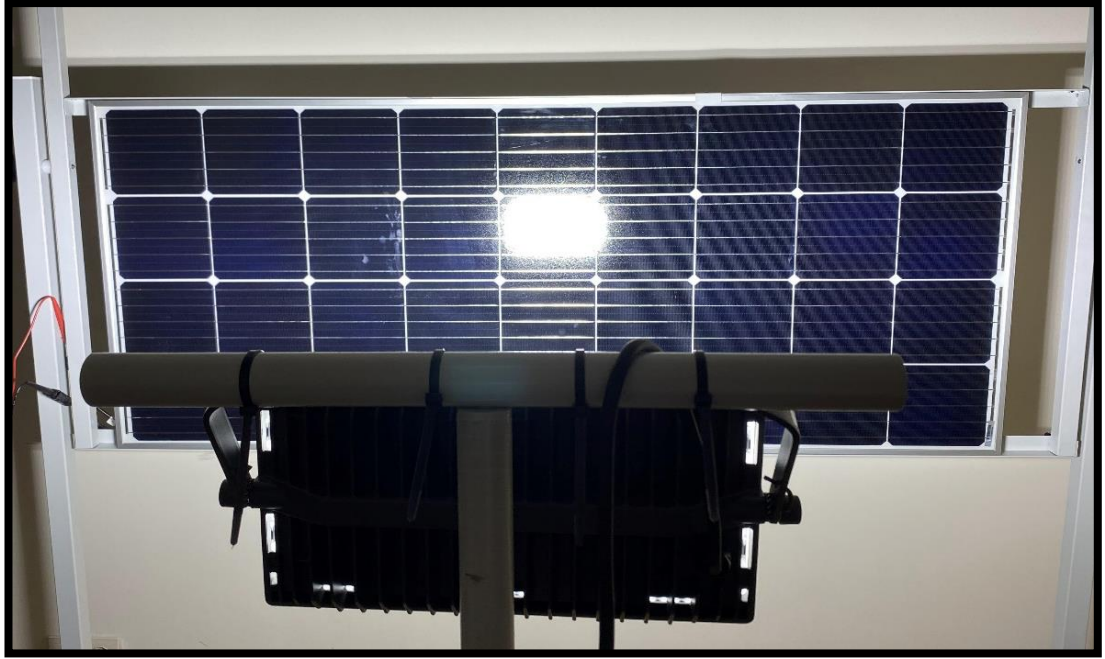
3.1.1. Monokristal Panel

Şekil 3.1’de görülen monokristal panelin teknik özellikleri çizelge 3.1’de verilmiştir.

Teknik özellikler;

Çizelge 3.1. Monokristal panel teknik özellikleri.

Çıkış Gücü (W)	185
VMP (V)	18.60
IMP (A)	9.95
VOC (V)	22.60
ISC (A)	10.30
Boyut (mm)	1480x670x30
Ağırlık (kg)	11.9



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan monokristal panel.

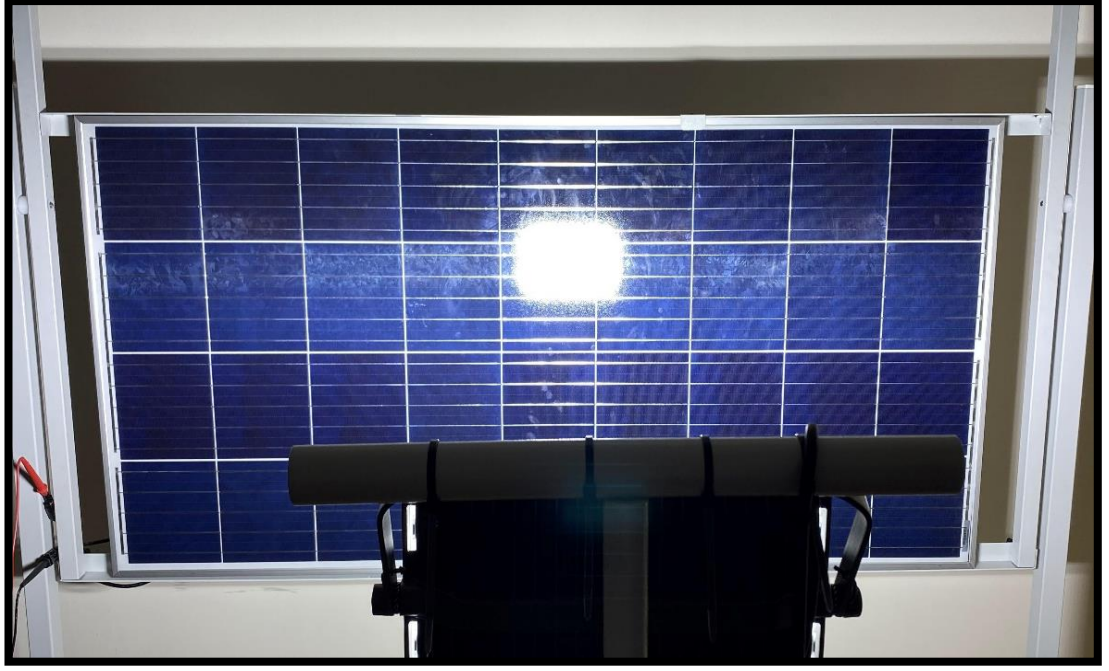
3.1.2. Polikristal Panel

Şekil 3.2’de görülen polikristal panelin teknik özellikleri çizelge 3.2’de verilmiştir.

Teknik özellikler;

Çizelge 3.2. Polikristal panel teknik özellikleri.

Çıkış Gücü (W)	165
VMP (V)	18.4
IMP (A)	8.97
VOC (V)	22.3
ISC (A)	9.30
Boyut (mm)	1480x670x30
Ağırlık (kg)	11.9



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan polikristal panel.

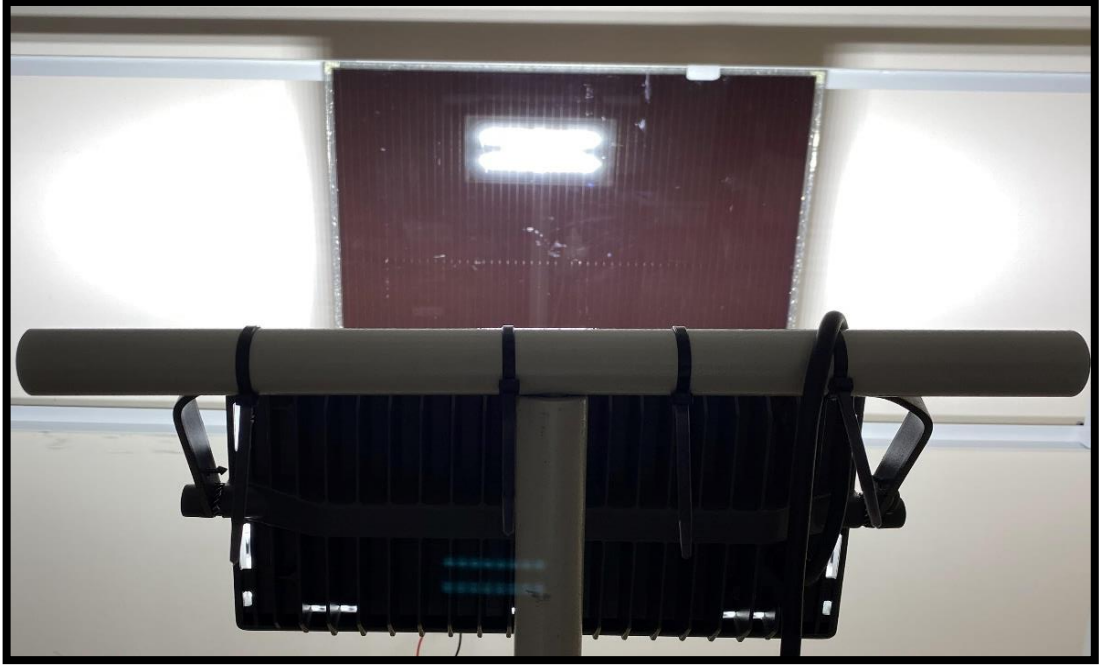
3.1.3. İnce Film Panel

Şekil 3.3.de görülen ince film panelin teknik özellikleri çizelge 3.3'te verilmiştir.

Teknik özellikler;

Çizelge 3.3. İnce film panel teknik özellikleri.

Çıkış Gücü (W)	135
VMP (V)	52.5
IMP (A)	2.45
VOC (V)	55
ISC (A)	2.5
Boyut (mm)	615x625x8
Ağırlık (kg)	7.5



Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan ince film panel.

3.1.4. Esnek Panel

Şekil 3.4.te görülen esnek panelin teknik özellikleri çizelge 3.4'te verilmiştir.

Teknik özellikler;

Çizelge 3.4. Esnek panel teknik özellikleri.

Çıkış Gücü (W)	100
VMP (V)	16
IMP (A)	6.25
VOC (V)	19.2
ISC (A)	6.87
Boyut (mm)	1050x 540 x 3
Ağırlık (kg)	4



Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan esnek panel.

3.2. KULLANILAN MULTİMETRE VE IŞIK KAYNAĞI

3.2.1. Multimetre (avometre)

Şekil 3.5.te görülen avometrenin teknik özellikleri çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5 Multimetre teknik bilgiler.

AC Gerilim (40 Hz-500 Hz)	6.000V	0.001V	%1,0 + 3
	60.00V	0.01V	
	600.0 V	0.1 V	
DC Gerilim (volt)	6.000V	0.001 V	%0,5 + 3
	60.00V	0.01 V	
	600.0 V	0.1 V	
AC (milivolt)	600.0 mV	0.1 mV	%3,0 + 3
Direnç (ohms)	400.0 Ω	0.1 Ω	%0,5 + 3
	4.000 k Ω	0.001 k Ω	%0,5 + 2
	40.00 k Ω	0.01 k Ω	%0,5 + 2
	400.0 k Ω	0.1 k Ω	%0,5 + 2



Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan multimetre (avometre).

3.2.2. Işık Kaynağı

Çizelge 3.6. Işık kaynağı teknik özellikleri.

Renk sıcaklığı (k)	5700k
Güç (w)	100W
Ömür (saat)	30000 saat
Işık akısı (lm)	9500 lümen
Boyut (mm)	356x235x53
Optimal çalışma sıcaklığı (°C)	-40/+45 °C



Şekil 3.6. Çalışmada kullanılan ışık kaynağı.

Işık kaynağı, çevreye en az zarar vermesi amacıyla minimum elektrik kullanmaktadır. Standart aydınlatma ampulleri yerine günümüz teknolojisi olan LED kullanılmıştır.

Işık kaynağı, özel ölçülerde istenilen yüksekliğe ayarlanabilen bir profil üzerine sabitlenmiştir. Şekil 3.6'da görülen ışık kaynağın gücü çizelge 3.6'da görüldüğü gibi 100 W olup 9500 lm parlaklık vermektedir. Böylelikle değişen panel boylarına uygun olarak 1 m mesafede tutulmuş ve standart ölçümlerin yapılması sağlanmıştır.

3.3. GÜNEŞ SİMÜLASYON ODASI

Çalışmanın yapıldığı güneş simülasyon odası ışık geçirmeyen, tamamen karanlık vaziyettedir. Ölçüm sonuçlarının doğruluğu açısından ortamın karanlık olması önem arz etmektedir. Oda içerisinde ışık kaynağının bağlanacağı bir priz bulunmakta ve elektrik buradan temin edilmektedir. Kurulan bu simülasyon odası, herhangi bir özellikte panelin, verim analizinin yapılabilmesine imkân tanımaktadır.

Çalışmada kullanılan demir profil kullanılan taşıma sistemi, güneş panellerini sabit tutacak şekilde tasarlanmış olup, farklı boyutlardaki panellere uyum sağlayabilen

niteliktedir. Taşınabilir olması amacıyla, tekerlek sistemine sahiptir ve ölçüleri 1500*700 mm'dir.

Işık kaynağı gücünü elektrik prizinden almakta ve cihaz 220v akım ile çalışmaktadır. Şekil 4.1'de görüldüğü üzere, taşınabilir olması amacıyla tekerlekli yapıya sahip bir sisteme sabitlenmiştir.

Simülasyon odası ekipmanlarından biri de şekil 3.5'te görülen avometredir. Panellerin çıkış gücünün ölçülmesi amacıyla kullanılmaktadır. Kalibrasyonu ilgili firma tarafından yapılmıştır.

BÖLÜM 4

ÖLÇÜMLERİN YAPILMA AŞAMASI

Güneş panelleri herhangi bir ışığa maruz kaldıklarında elektrik üretmeye başlamaktadırlar. Fakat ölçümlerin kesintisiz ve sürekli olması amacıyla ölçümler güneş odasında gerçekleştirilmiştir. Bilindiği üzere hava durumu değişiklik gösterebilmektedir. Verimli ölçümler için kesintisiz ışık kaynağı ile gereken koşullar sağlanması gerekmektedir. Hava şartlarından etkilenmeden, sağlıklı bir ölçüm yapmak amacıyla karanlık ve optimum şartlara sahip kapalı bir ortamda testler yapılmıştır.

Ölçümler, kullanılan panellerin boyutlarına göre özel olarak imal edilmiş olan profil bir taşıyıcı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Panel boyutlarına uygun şekilde ayarlanabilir materyal kullanılmıştır. Sabitlenmiş durumda olan panellere, ışık kaynağı 1 metre mesafede olacak şekilde konumlandırılmıştır. Işık kaynağı, panel ile arasında herhangi bir engel olmadan çalıştırılmış ve panellerin en yüksek voltaj değerleri ölçülmüştür.

Gölge simülasyonu sağlanması amacıyla, kalınlığı 4 milimetre olan mukavva üzerine siyah renkte kâğıt kaplanarak ışık geçirgenliği olmayan bir materyal kullanılmıştır. Kullanılan materyal ile panellerin belirli kısımları, hiç ışık geçirmeyecek şekilde kapatılmıştır. Bu sayede panelin kapatılan kısımlarının verime etkileri net bir şekilde ortaya konulmuştur. Panellerin yüzeyleri yüzdesel olarak sırası ile kapatılmış ve ölçümler sürdürülmüştür.

Ölçümler esnasında paneller, yatay ve dikey gölgeye maruz bırakılmıştır. Her ölçümde voltaj değerleri not edilmiş olup çalışmaya devam edilmiştir. Her panelin boyutları farklı olduğundan, kapatılan yüzeylerin boyutları da değişiklik göstermiştir. Daha anlaşılır olması amacıyla, ölçümlerde kapatılan yüzeylerin oranı yakın tutulmaya çalışılmıştır.

4.1. PANELLERİN KONUMLANDIRILMASI

4.1.1. Monokristal Panel

Şekil 4.1’de görülen monokristal panel platforma yerleştirilmiş ve ardından gölge sağlanmadan ışık kaynağı çalıştırılarak ölçüm gerçekleştirilmiştir. Böylelikle panelin tam performansta verebildiği çıkış voltajı ölçülmüştür. Tamamı karartılmış olan güneş simülasyon odasında, avometre cihazı aracılığıyla panellerin verdiği değerler ölçülmüştür.

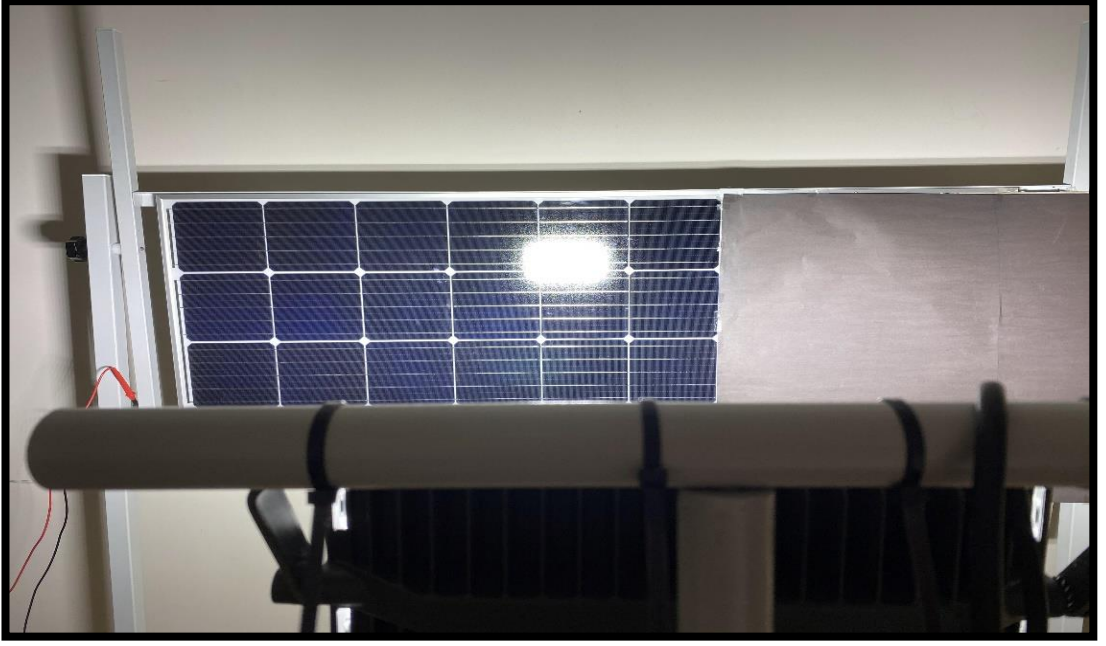


Şekil 4.1. Monokristal panel gölgesiz ölçüm aşaması.



Şekil 4.2. Monokristal panel maksimum çıkış voltajı.

Bu ölçümün ardından şekil 4.3'te ön görünüşü ve 4.4'te arka görünüşü verilmiş olan panelin yüzeyi belirli yüzdeler ile kapatılmıştır. Ardından şekil 4.2'de görüldüğü gibi ölçümler sırası ile devam etmiştir. Bu sayede panelin gölge ortamındaki voltaj değişimi değerlendirme imkânı bulunmuştur.



Şekil 4.3. Panelin %33'lük kısmı gölge altında.



Şekil 4.4. Panel arkadan görünüşü.

4.1.2. Polikristal Panel

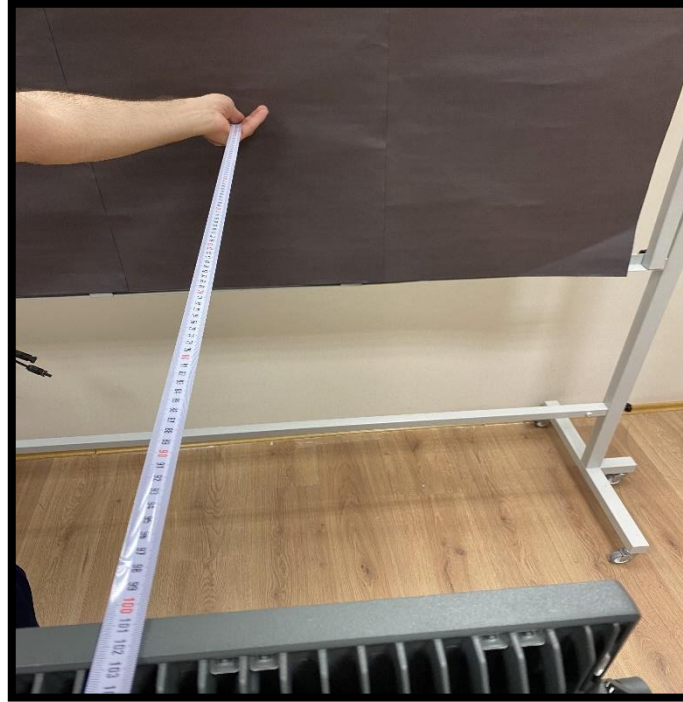
Polikristal panel sisteme yerleştirilmiş ve ardından maksimum voltaj değerinin ölçülmesi amacıyla ışık kaynağı çalıştırılmıştır. Panelin maksimum çıkış voltajı ölçülmüştür olup şekil 4.6'da görülebilir. Panelin karanlık ortamda, yalnızca ışık kaynağı vasıtasıyla alınan değerler ölçülmüştür. Panel ile ışık kaynağı arası mesafe 1 metre olup şekil 4.7'de görülmektedir. Polikristal panel şekil 4.5'te görüldüğü gibi renk olarak lacivert tonlarındadır.



Şekil 4.5. Polikristal panel gölgesiz ölçüm aşaması.



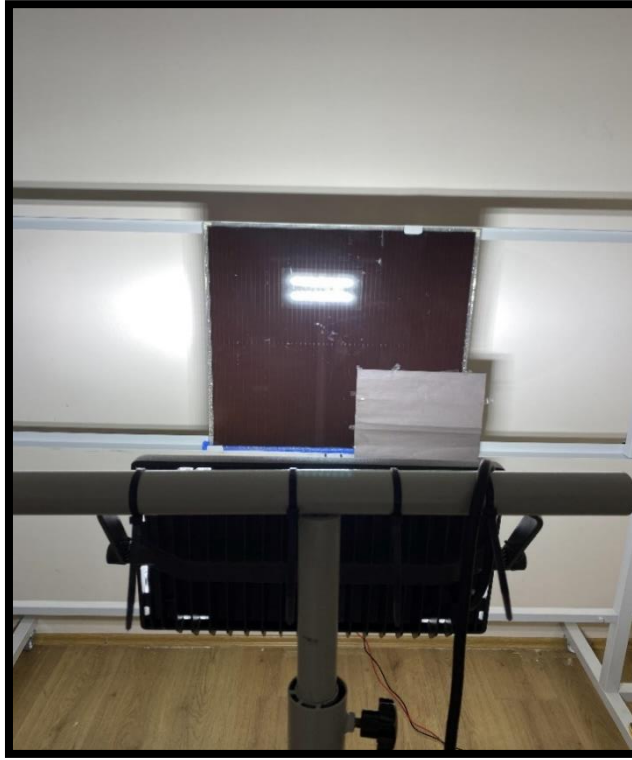
Şekil 4.6. Polikristal panel maksimum çıkış voltajı.



Şekil 4.7. Panel ile ışık kaynağı mesafe (1m).

4.1.3. İnce Film Panel

Kullanılan ince film panel boyutları diğer panellere göre farklı olduğundan ve kare şeklinden dolayı şekil 4.8’de görüldüğü gibi sistemin ortasına konumlandırılmıştır. Diğer panellerin yüzeyleri dikdörtgen olduğundan bu panelin kare yapısına uygun şekilde yüzdelik dilimlerle panel yüzeyi ışık almaması için kapatılmış olup şekil 4.9’da görülmektedir. Şekil 4.10’da görülmekte olan ölçüm cihazı ile çıkış voltajı ölçülmüştür.



Şekil 4.8. İnce film panel %16'sı kapalı halde iken.



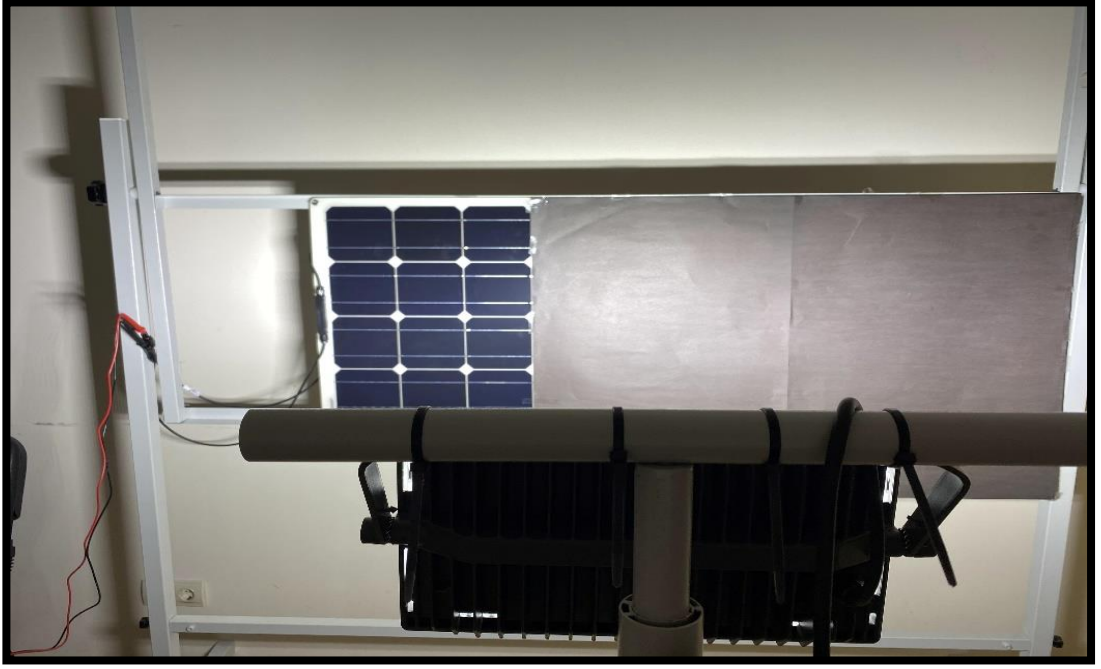
Şekil 4.9. İnce film panel %80 oranında ışık almıyor durumda.



Şekil 4.10. İnce film panel %80 kapalı durumda çıkış voltajı.

4.1.4. Esnek Panel

Ölçümlerde kullanılan esnek panel şekil 4.11’de görüldüğü gibi sisteme sabitlenmiş olup akabinde gerekli ölçümlerin yapılması amacıyla, boyutuna en uygun yüzde oranlarında gölge oluşumu sağlanmıştır. Yapılan ölçümlerin daha iyi anlaşılması amacıyla şekil 4.12’de görüldüğü gibi fotoğraf eklenmiştir.



Şekil 4.11. Esnek panel %62,5 oranında gölge durumunda.



Şekil 4.12. Esnek panel %62,5 oranında gölge durumunda çıkış voltaj değeri.

Çalışmada kullanılan 4 tip panel sabit bir platformda, eşit şiddette ışık kaynağına maruz bırakılmıştır. Paneller gölge sağlaması amacıyla, değişken olmayan bir malzeme vasıtasıyla belirli oranlar dahilinde kapatılmıştır. Bütün paneller standart biçimde karanlık ortamda, farklı bir uygulama olmaksızın eşit şartlara tabi tutulmuştur. Neticede kalibre edilmiş bir ölçüm cihazı ile sonuçlar görülmüştür.

4.2. ÇALIŞMANIN MALİYETİ

Bu kısımda; yapılan çalışmaya benzer şekilde bir sistem kurmanın yaklaşık olarak maliyeti paylaşılmıştır. Kullanılan ekipmanların özellikleri önceki sayfalarda detaylı olarak verilmiştir. Belirtilen tutarlar ekipman bedelleri olup, tez basım-cilt, kargo gibi giderler dahil edilmemiştir. Çalışmada kullanılan ekipmanların 21/09/2019 tarihindeki maliyeti çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Ekipman maliyetleri (21.09.2019 tarihinde).

İnce film güneş paneli	699 ₺
Esnek güneş paneli	1099 ₺
Polikristal güneş paneli	425 ₺
Monokristal güneş paneli	529 ₺
Avometre	458 ₺
Işık kaynağı	587 ₺
Panel tutucu profil ve ışık kaynağı tutucu profil	1100 ₺
Toplam	4897 ₺

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışmada panellerin hesaplanan tüm gölge oranlarında, görülen çıkış voltaj değerleri not edilmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar grafikler vasıtasıyla daha belirgin hale gelmiş ve farklılıklar göz önüne serilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile bazı istatistiksel formüller kullanılarak detaylı bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Kullanılan formüller aşağıdaki gibidir (Cengizhan, 2001-2003).

Aritmetik ortalama

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Örneklem varyans

$$S^2 = \frac{\sum(x - \bar{X})^2}{n - 1}$$

Standart sapma

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Korelasyon

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

Lineer regresyon

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \epsilon$$

Outlier Detection

$$Iqr = Q3 - Q1$$

$$\text{Lower Bound: } (Q1 - 1.5 * Iqr)$$

$$\text{Upper Bound: } (Q3 + 1.5 * Iqr)$$

Aritmetik ortalama formülü ile, sonuçların aritmetik ortalamaları alınmıştır. Örneklem varyans formülü ile değerlerin varyansları bulunmuştur. Standart sapma formülü ile sonuçların standart sapma değerleri ortaya konulmuştur.

Korelasyon ve lineer regresyon formülleri ile sonuçların tutarlılığı teyit edilmiştir. Outlier detection formülleri ile, sonuçların tutarlılığı ve belirli aralıkların dışına çıkıp çıkmadığı kontrol edilmiştir.

Yapılan testler ışığında çıkan sonuçlar, yukarıda belirtilen formüller vasıtasıyla hesaplanmış olup, bu sonuçlar doğrultusunda yapılan analizlerde sapma olmadığı ve doğru sonuçlar alındığı görülmüştür.

Grafiklerde, yatay ve dikey olarak iki ayrı parametre görülmektedir. Dikey kısım panelin dikey olarak belirli yüzdeler şeklinde kapatılması, yatay olarak gösterilen kısım ise yatay şekilde panelin yüzeyinin kapatıldığı ölçüm şeklidir. Grafikler 0-100 arasında ışık gören alan yüzdesi olarak gösterilmiştir. Grafiklerde görülen voltaj kısmı ise o anki gölge oranında alınan çıkış voltajıdır. Ölçümde kullanılan tüm paneller için standart şekilde ölçümler yapılmış ve grafik formatında gösterilmiştir.

5.1. ÖLÇÜM SONUÇLARI VE GRAFİKLER

5.1.1. Monokristal Panel

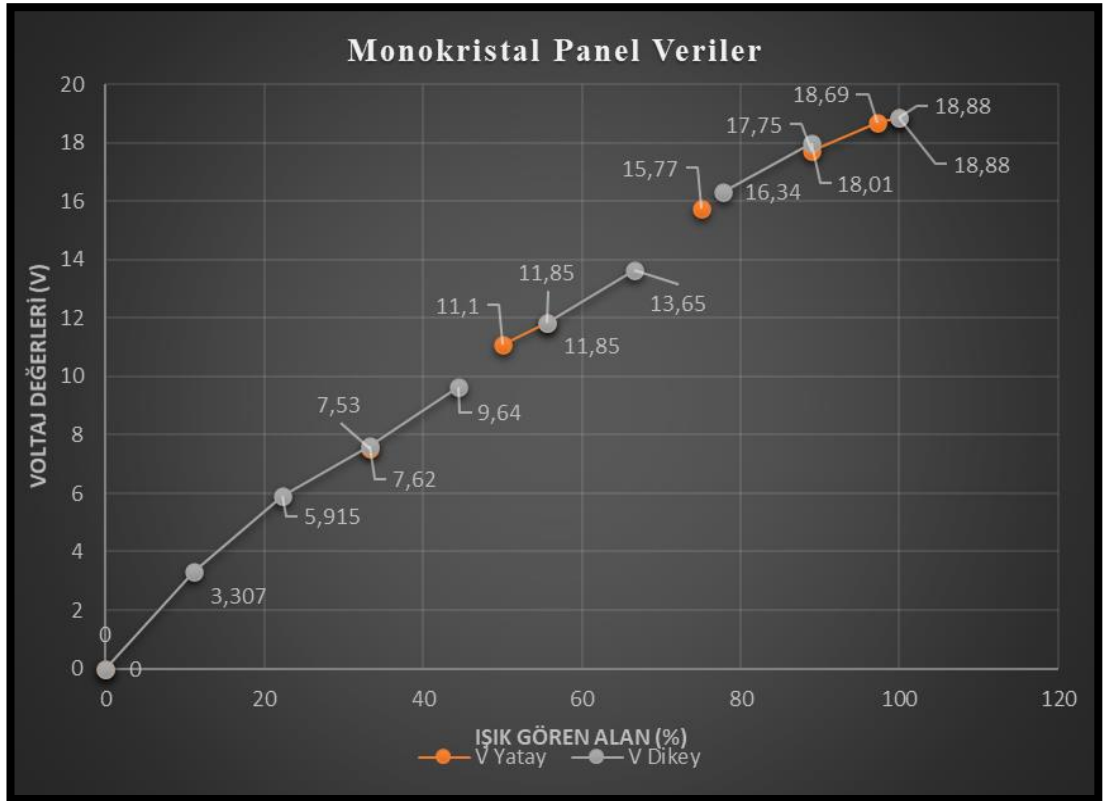
Çizelge 5.1’de görülen veriler üzerinde Microsoft Excel programı aracılığı ile yapılan istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 5.2’de görülmektedir. Tabloda ‘-’ işaretiyle gösterilen bölümlerde ölçüm yapılamamıştır bunun nedeni panelin dikey ve yatay olarak belirli oranda hücrelerinin düzenli olarak kapatılmasından ötürü yatay ve dikey gölge oranı yüzdelerinde farklılıklar mevcuttur. Bu nedenle kapatılan kısımlar farklı yüzde oranlarına denk gelmektedir.

Çizelge 5.1. Monokristal panel ölçüm sonuçları.

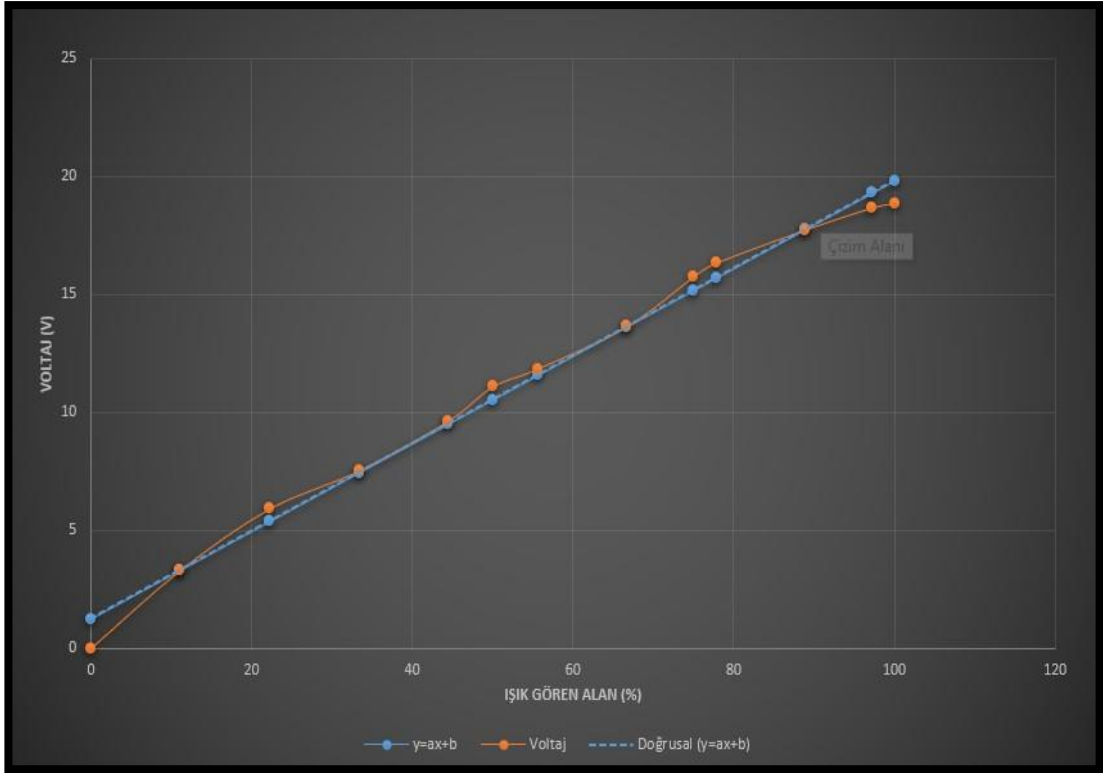
Işık alan yüzey Yüzdesi (%)	Yatay (V)	Dikey (V)
100	18,88	18,88
97,23	18,69	-
88,89	17,75	18,01
77,77	-	16,34
75	15,77	-
66,66	-	13,65
55,56	11,85	11,85
50	11,1	-
44,44	-	9,64
33,34	7,53	7,62
22,22	-	5,915
11,11	-	3,307
0	0	0

Çizelge 5.2. Monokristal panel istatistiksel sonuçlar.

	Yatay	Dikey
Standart sapma	6,549822	6,364101
Aritmetik ortalama	12,69625	10,5212
Varyans	225,9762	213,1217
Korelasyon yüzey-voltaj	0,994419	0,995492



Şekil 5.1. Monokristal panel verim grafiği.



Şekil 5.2. Monokristal panel doğrusal grafik.

Monokristal panel için ölçüm sonuçları çizelge 5.1’de tablo biçiminde ve ardından şekil 5.1’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Görüldüğü üzere çıkış voltaj değerleri, gölge oranıyla doğrusal biçimde ilerlemektedir. Gölge oranı azaldıkça, çıkış voltaj değeri artmıştır. Korelasyon değerleriyle paralel olarak sapma olmadığı görülmüştür. Şekil 5.2’de görülen doğrusal artışa bakıldığında, hesaplanan ortalama değere göre 1-2 volt arası daha fazla çıkış voltajı ölçüldüğü görülmektedir.

5.1.2. Polikristal Panel

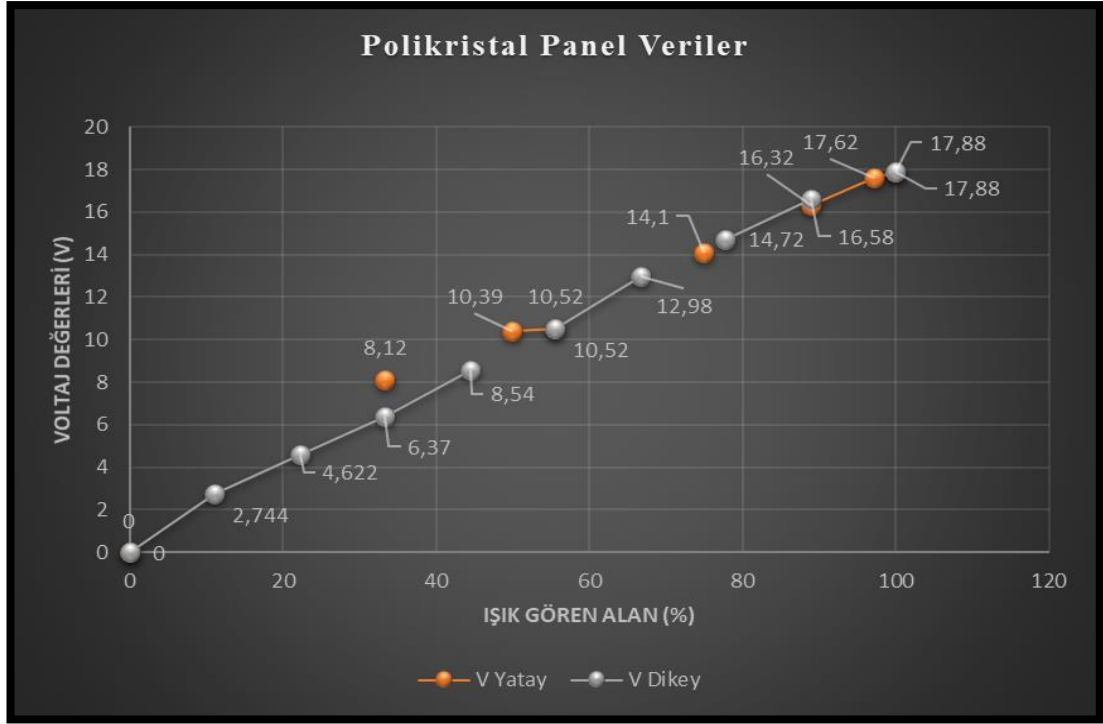
Çizelge 5.3'te görülen veriler üzerinde Microsoft excel programı aracılığı ile yapılan istatistiksel analiz sonuçları çizelge 5.4'te görülmektedir.

Çizelge 5.3. Polikristal panel ölçüm sonuçları.

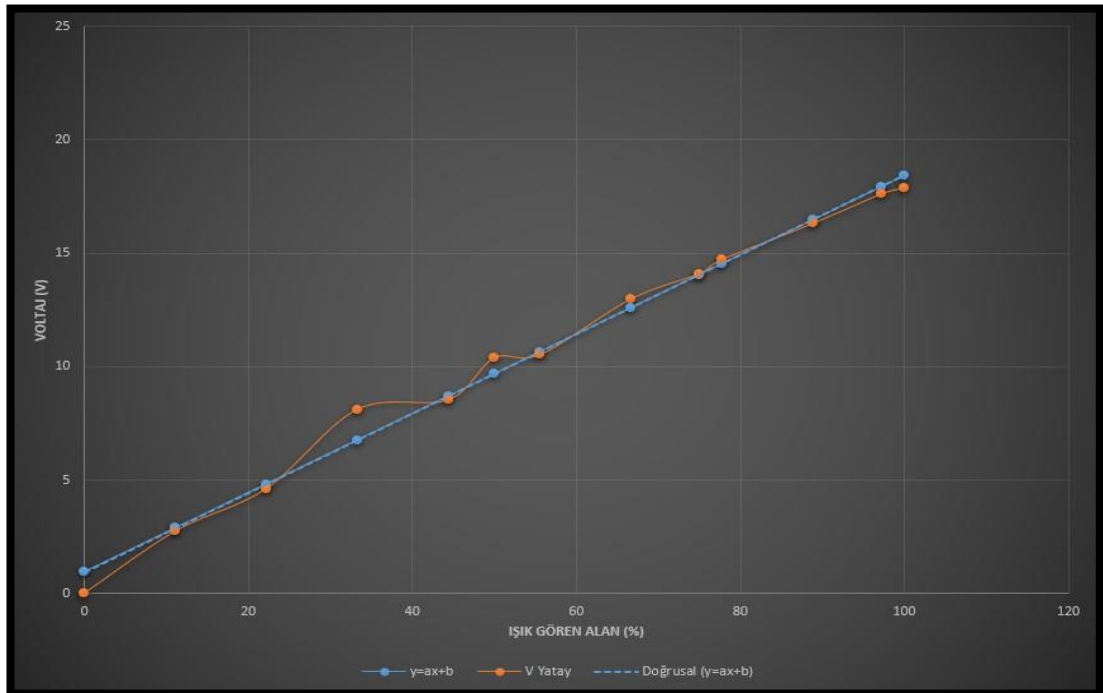
Yüzde (%)	Yatay (V)	Dikey (V)
100	17,88	17,88
97,23	17,62	-
88,89	16,32	16,58
77,77	-	14,72
75	14,1	-
66,66	-	12,98
55,56	10,52	10,52
50	10,39	-
44,44	-	8,54
33,34	8,12	6,37
22,22	-	4,622
11,11	-	2,744
0	0	0

Çizelge 5.4. Polikristal panel istatistiksel sonuçlar

	Yatay	Dikey
Standart sapma	6,01111	6,0659
Aritmetik ortalama	11,869	9,4956
Varyans	207,07	203,74
Korelasyon yüzey-voltaj	0,9929	0,9985



Şekil 5.3. Polikristal panel verim grafiği.



Şekil 5.4. Polikristal panel doğrusal grafiği.

Polikristal panel için yapılan ölçümlerde çıkan sonuçlar şekil 5.3’de grafik formatında, çizelge 5.3’te tablo şeklinde gösterilmiştir. Gölge oranı arttıkça, panel voltajının azaldığı görülmüştür. Çıkış voltajının artış oranı ile ışık gören alan kısmının artması paralellik göstermiştir. Grafikte görüldüğü gibi, yatay veya dikey gölge olması çıkış voltajını benzer oranda etkilemiştir. Şekil 5.4’te görülen grafikte mavi renk ile gösterilen beklenen değerlere yakın değerler ölçülmüştür.

5.1.3. İnce Film Panel

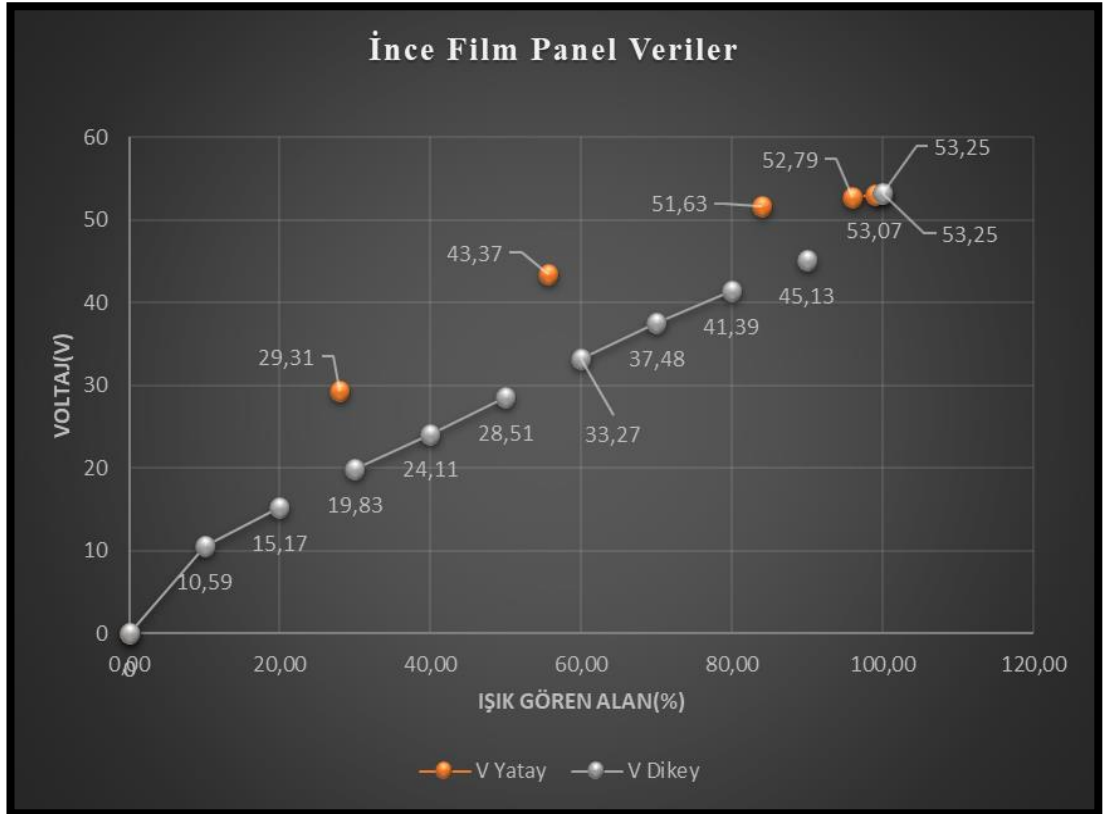
Çizelge 5.5’te görülen veriler üzerinde Microsoft excel programı aracılığı ile yapılan istatistiksel analiz sonuçları çizelge 5.6’da görülmektedir.

Çizelge 5.5. İnce film panel ölçüm sonuçları.

Yüzde (%)	Yatay (V)	Dikey (V)
100	53,25	53,25
99	53,07	-
96	52,79	-
90	-	45,13
84	51,63	-
80	-	41,39
70	-	37,48
60	-	33,27
55,56	43,37	-
50	-	28,51
40	-	24,11
30	-	19,83
27,87	29,31	-
20	-	15,17
10	-	10,59
0	0	0

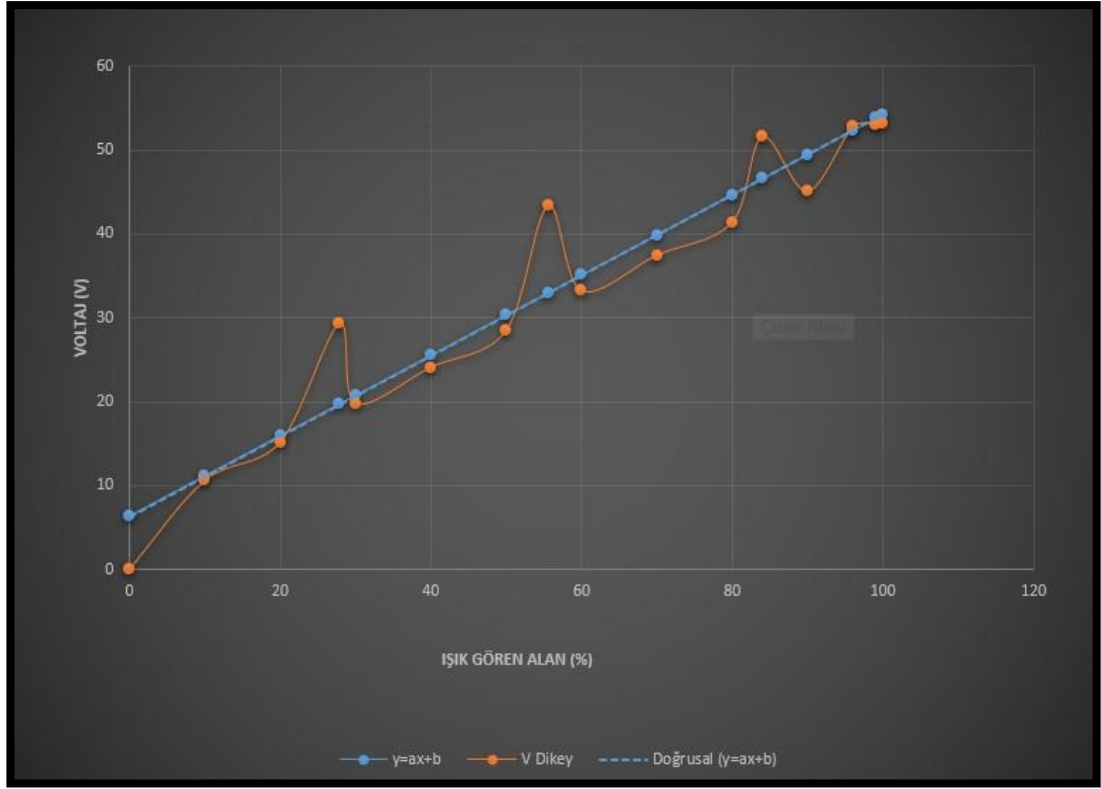
Çizelge 5.6. İnce film panel istatistiksel sonuçlar.

	Yatay	Dikey
Standart sapma	19,87121237	16,00545049
Aritmetik ortalama	40,48857143	28,06636364
Varyans	747,844469	527,53
Korelasyon yüzey-voltaj	0,951435057	0,993763216



Şekil 5.5. İnce film panel verim grafiği.

İnce film panel kullanılarak yapılan ölçümlerde çıkan sonuçlar şekil 5.5.'teki grafikte görülmektedir. Yatay ve dikey olarak kapatılan panelde, grafiğe bakıldığında farklı sonuçlar görülmektedir. Panelin yatay olarak gölge durumunda kaldığı kısımda, dikey olarak gölge durumda olan kısma göre, aynı yüzdelik gölge oranında yer yer yaklaşık 10 volt daha fazla çıkış değeri görülmektedir. Gölge oranıyla paralel bir şekilde voltaj değerinin düştüğü görülmektedir.



Şekil 5.6. İnce film panel doğrusal grafik.

Şekil 5.6'te bulunan grafiğe bakıldığında hesaplanmış olan doğrusal değerine göre yer yer yakın değerler alınmıştır. %75-80 aralığında, mavi ile gösterilen beklenen çıkış voltajından 1 volt civarı daha düşük verim alındığı görülebilmektedir.

5.1.4. Esnek Panel

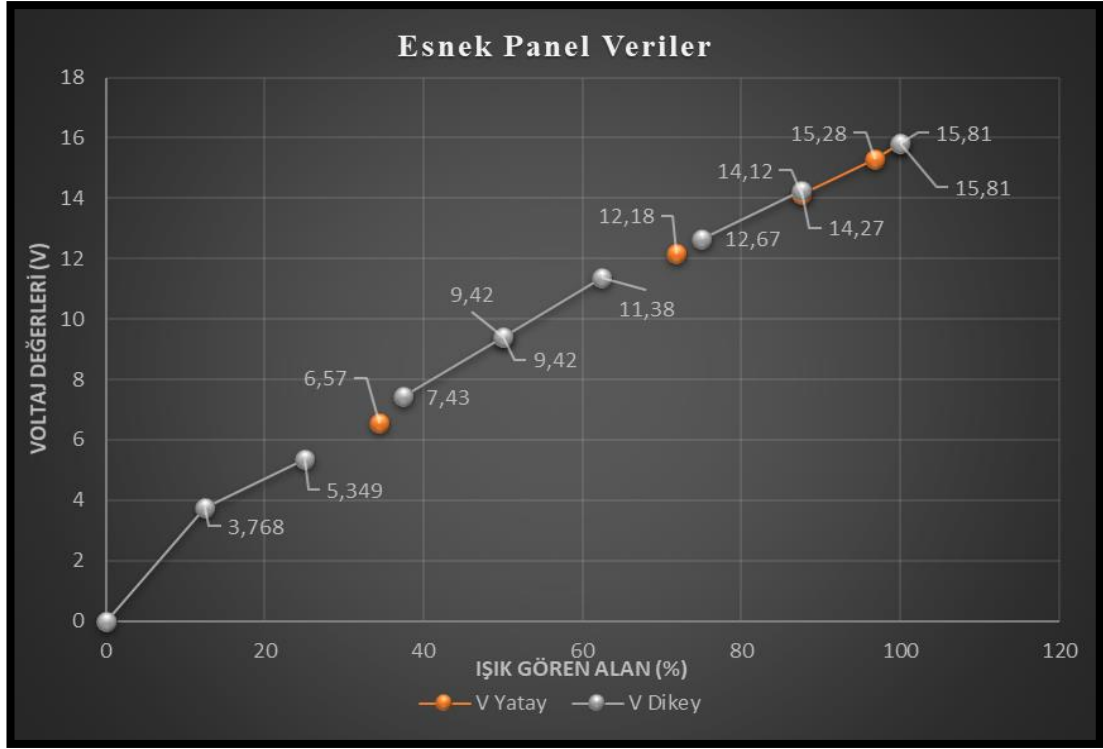
Çizelge 5.7’de görülen veriler üzerinde Microsoft excel programı aracılığı ile yapılan istatistiksel analiz sonuçları çizelge 5.8’de görülmektedir

Çizelge 5.7. Esnek panel ölçüm sonuçları.

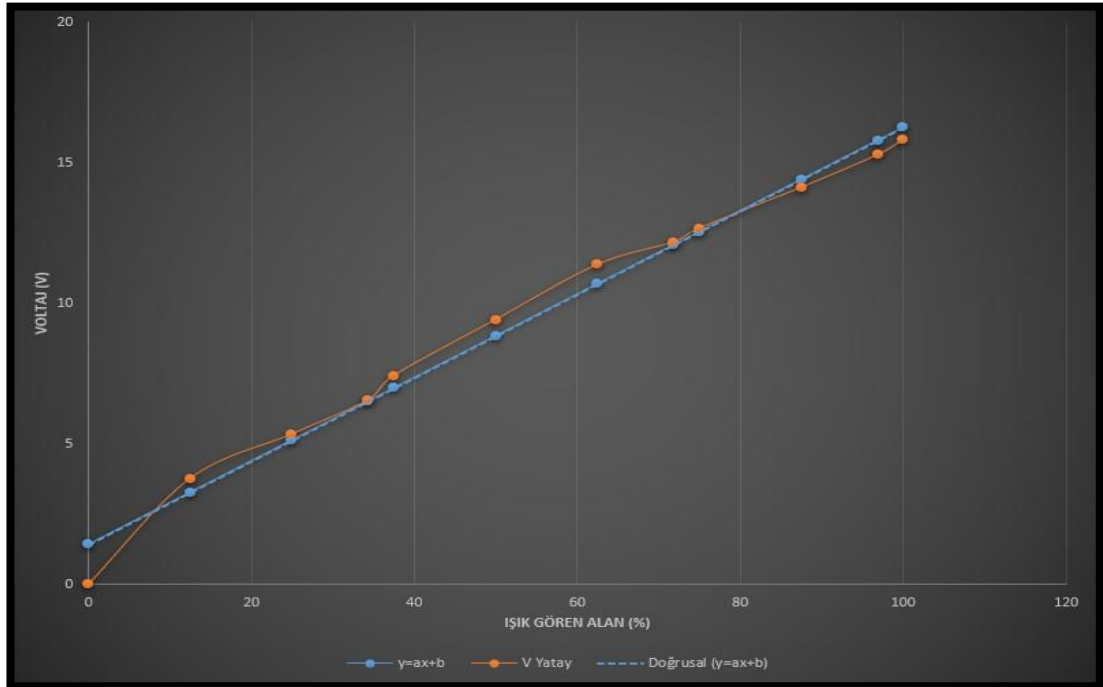
Yüzde (%)	Yatay (V)	Dikey (V)
100	15,81	15,81
96,88	15,28	-
87,5	14,12	14,27
75	-	12,67
71,88	12,18	-
62,5	-	11,38
50	9,42	9,42
37,5	-	7,43
34,38	6,57	-
25	-	5,349
12,5	-	3,768
0	0	0

Çizelge 5.8. Esnek panel istatistiksel sonuçlar.

	Yatay	Dikey
Standart sapma	5,683756722	5,214602382
Aritmetik ortalama	10,48285714	8,899666667
Varyans	208,3392048	177,090625
Korelasyon yüzey-voltaj	0,994377377	0,992050379



Şekil 5.7. Esnek panel verim grafiği.



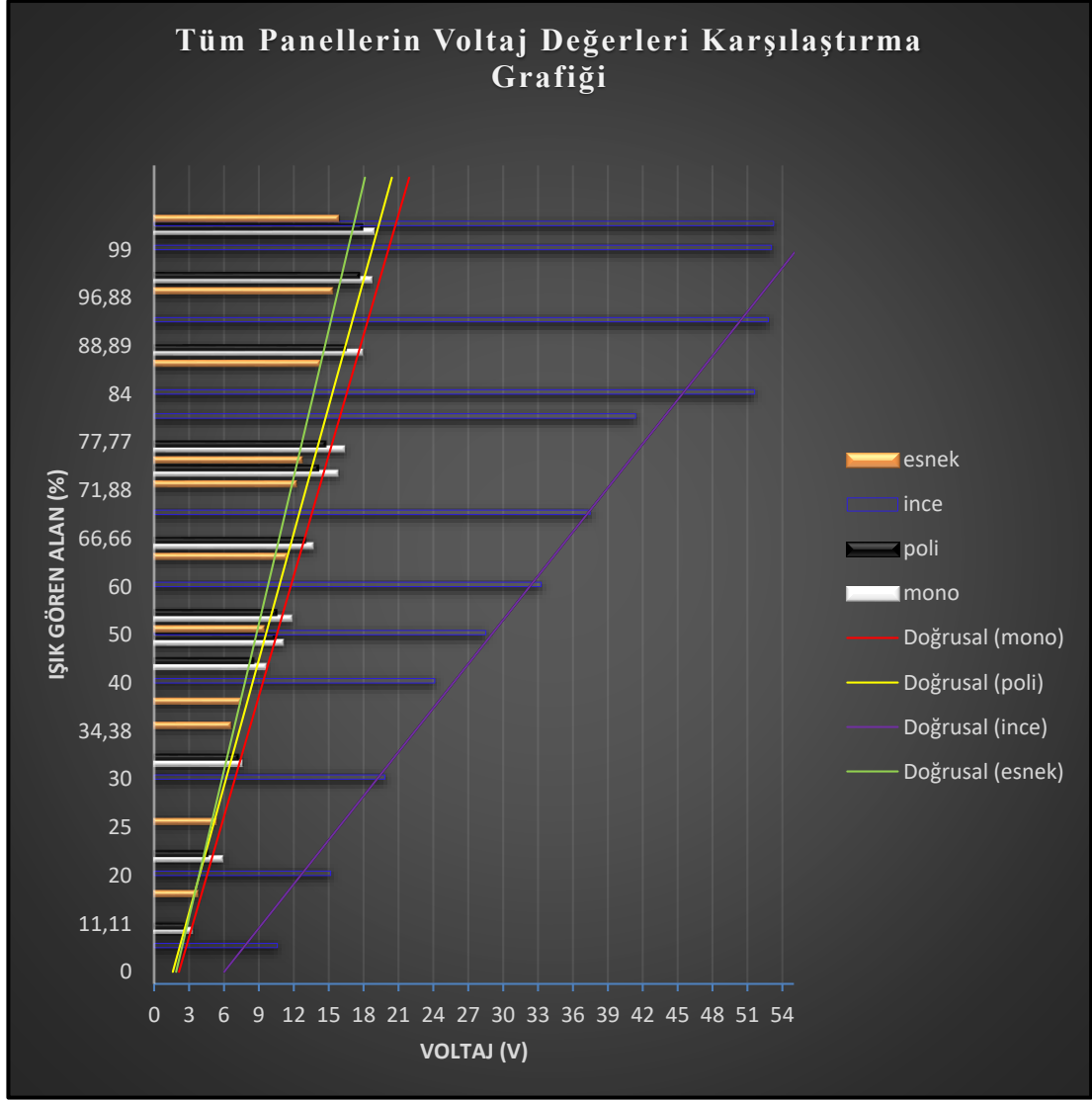
Şekil 5.8. Esnek panel doğrusal grafik.

Esnek panelde alınan sonuçlara bakıldığında yatay ve dikey gölge durumlarında, çizelge 5.8’de görülen korelasyon değeriyle paralel olarak, sapma olmadığını ve sonuçların kabul edilebilir koşullarda olduğunu göstermektedir. Şekil 5.7’de bulunan grafiğe bakıldığında çıkış voltajı değerlerinin belirli bir ivmeyle yükseldiğini görülmektedir. Diğer panellerde görüldüğü gibi gölge oranı azaldıkça, çıkış voltajı buna paralel olarak artmıştır. Şekil 5.8’de görülen değerlere bakıldığında beklenen çıkış voltaj değerinden 1-2 volt daha fazla elektrik üretimi ölçülmüştür.

5.1.5. Tüm Panellerin Ölçüm Sonuçları ve Grafiği

Çizelge 5.9. Panellerin yatay-dikey ortalama ölçüm sonuçları.

Yüzde (%)	Monokristal (v)	Polikristal (v)	İnce Film (v)	Esnek (v)
0	0	0	0	0
10	-	-	10,59	-
11,11	3,307	2,744	-	-
12,5	-	-	-	3,768
20	-	-	15,17	-
22,22	5,915	4,622	-	-
25	-	-	-	5,349
27,87	-	-	23,65	-
30	-	-	19,83	-
33,34	7,57	7,245	-	-
34,38	-	-	-	6,57
37,5	-	-	-	7,43
40	-	-	24,11	-
44,44	9,64	8,54	-	-
50	11,1	10,39	28,51	9,42
55,56	11,85	10,52	38,32	-
60	-	-	33,27	-
62,5	-	-	-	11,38
66,66	13,65	12,98	-	-
70	-	-	37,48	-
71,88	-	-	-	12,18
75	15,77	14,1	-	12,67
77,77	16,34	14,72	-	-
80	-	-	41,39	-
84	-	-	51,63	-
87,5	-	-	-	14,195
88,89	17,88	16,45	-	-
96	-	-	52,79	-
96,88	-	-	-	15,28
97,23	18,69	17,62	-	-
99	-	-	53,07	-
100	18,88	17,88	53,25	15,81



Şekil 5.9. Tüm paneller için verim grafiği.

5.9. numaralı çizelgede tablo halinde verilen ölçüm sonuçları, şekil 5.9'da grafiğe dökülmüştür. Grafikte görülen sarı renkteki değerler esnek panele, mor renk ince film panele, siyah renk polikristal panele, beyaz renk ise monokristal panele aittir. Grafik üzerinde ince film panelin diğer panellere oranla 3 kata kadar daha fazla verim aldığını görülmektedir. Daha sonra ise monokristal panelin geldiği görülmektedir. 3.sırada ise polikristal panel yer almaktadır. Grafiğe bakıldığında son sırada ise esnek panelin bulunduğu göze çarpmaktadır.

Paneller gölgeye maruz kaldıklarında verim değişimi grafikte görülebilmektedir. Bu çalışmada paneller üzerine belirli oranda gölgeler düşürülmüştür. Bu gölge simülasyonları panelin farklı kısımlarına uygulanmış ve sonuçlar izlenmiştir. Panel sistemleri belirli bir kısmına gölge düştüğü anda verim düşüşü gösterebilmektedir.

Yer yer farklı kullanım alanlarına sahip olan panellerde verim büyük önem taşımaktadır. Esnek panellerde daha çok spesifik kullanım alanları olmasına nedeniyle verim oranı diğer panellere göre düşük olsa bile görmezden gelinebilecek düzeydedir.

Grafikte beyaz renkte görünen monokristal panel gölge altında polikristal ve esnek panele göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Özellikle polikristal panel ile başabaş sonuçlar verdiği görülmektedir.

Farklı renklerde gösterilmiş olan doğrusal çizgilere bakıldığında, esnek ve polikristal panel değerlerinin çoğunun doğrusal sınırın dahilinde kaldığı görülmektedir. Monkristal ve ince film panellerin değerlerine bakıldığında yer yer doğrusal ortalama çizgisinin dışına taşıdığı görülmektedir. Grafiğe bakıldığında paneller farklı gölge oranlarında çoğu zaman doğrusal olmayan, değişken sonuçlar vermiştir. Bu sonuçlar; panellerin verimlerinin tahmin edilemeyeceğini, çıkış voltajları hakkında doğru netice alınabilmesi için çalışmada yapılan testlerin gerçekleştirilmesi gerekliliğini gözler önüne sermiştir.

Çalışmada istatistiksel formüller ile hesaplanan değerler ve excel program çıktıları, ek açıklamalar kısmında, çizelge ek-a1 ile ek-a21 ismiyle gösterilmiştir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Bu çalışmada, güneş paneli sektöründe yoğun kullanım alanına sahip panel çeşitleri kullanılmıştır. Monokristal, polikristal, esnek ve ince film olmak üzere 4 farklı panel çeşidi üzerinde ölçümler yapılmıştır. Gölge durumlarında panellerin verimlerinin nasıl etkilendiği incelenmiştir. Paneller yüksek parlaklığa sahip bir ışık kaynağı altında sabit mesafede teste tabi tutulmuştur. Panellerin üzerine gölge düşürmek için kullanılan malzeme, ışık geçirmeyecek kalınlıktadır. Ölçümler tamamen karanlık bir güneş simülasyon odasında, panellerden 0 (sıfır) çıkış voltaj değeri alınan ortamda gerçekleştirilmiştir. Hava durumu kaynaklı değişimlerin olmaması (yağmur, bulutlu hava gibi) ve ölçümlerin standart bir ortamda yapılması amacıyla bu ortam tercih edilmiştir. Kullanılan multimetre (avometre) profesyonel olup, üretici firma tarafından kalibrasyonu yapılmıştır. Paneller üzerinde, her panelin boyutuna uygun olarak belirli oranda gölge simülasyonu çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Güneş panellerinde güneş ile gölge arasındaki oranların verimlilik üzerine etkilerinin araştırıldığı bu çalışma sonucunda;

- Gölge analizi test sonuçlarına göre, çizelge 6.1’de görüldüğü üzere en yüksek voltaj değerleri ince film panel ile ölçülmüş ve onu sırasıyla monokristal, polikristal ve esnek panel takip etmiştir.

Çizelge 6.1. Panellerin en yüksek voltaj değerleri.

Esnek (v)	Monokristal (v)	Polikristal (v)	İnce film (v)
53,25	18,88	17,88	15,81

- Bu çalışmanın sonucuna göre ince film panel diğer panellere oranla daha yüksek çıkış voltajı değeri sunmaktadır. Fakat dış yüzeyi cam ile kaplanmış olduğundan, kullanımına diğer panel türlerine kıyasla ekstra özen gösterilmelidir. Daha küçük boyutlarda ve daha hafif olmasına karşın fiyatı monokristal ve polikristal panellere göre yüksek olması sebebiyle sıklıkla tercih edilmeyebilir.
- Polikristal panel ölçüm sonuçlarına bakıldığında, gölge durumunda verimi yeterli düzeydedir. Monokristal panel ile dış görünüş açısından sadece renk tonu farkı bulunmaktadır. Bu nedenle aynı şekilde montajı diğer panellere kıyasla daha kolaydır ve daha sağlamdır. Performansına göre fiyatı uygundur. Monokristal panel ile arasında yer yer ortalama 1-2 volt fark vardır. Fakat çizelge 6.2.de görüldüğü gibi fiyatı ile bu açığı kapatmaktadır.

Çizelge 6.2. Monokristal ve polikristal panelin karşılaştırılması.

Fiyat*	529 Türk Lirası		425 Türk Lirası	
Panel Türü	Monokristal		Polikristal	
Yüzde (%)	Yatay (v)	Dikey (v)	Yatay (v)	Dikey (v)
100	18,88	18,88	17,88	17,88
97,23	18,69	-	17,62	-
88,89	17,75	18,01	16,32	16,58
77,77	-	16,34	-	14,72
75	15,77	-	14,1	-
66,66	-	13,65	-	12,98
55,56	11,85	11,85	10,52	10,52
50	11,1	-	10,39	-
44,44	-	9,64	-	8,54
33,34	7,53	7,62	8,12	6,37
22,22	-	5,915	-	4,622
11,11	-	3,307	-	2,744

*21/09/2019 tarihindeki fiyatlardır

- Alınan sonuçlara bakıldığında monokristal panelin gölge durumunda verimi tatmin edici düzeydedir. Alüminyum çerçeveye sahip olması nedeniyle dayanıklıdır. Montaj esnasında kolaylık sağlamaktadır. Diğer panellere göre verimi yüksektir. Fiyatının polikristal panele göre yüksek olması nedeniyle tercih edilmeyebilir.
- Ölçüm sonuçlarına göre, esnek panel verimi diğer panellere kıyasla daha düşük seviyededir. Ağırlığı en az olan panel türüdür. Montajı basittir, esnek olması sebebiyle kırılma ihtimali diğer panellere göre oldukça düşüktür. Deniz tuzundan etkilenmemesi ve eğimli yapılara uyum sağlaması gibi olumlu özellikleri mevcuttur. Yapılan çalışmada, fiyatı en yüksek olan panel türüdür ve bu nedenle sadece ihtiyaç duyulan spesifik alanlarda tercih edilmesi uygundur.
- Gölge analizi sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde; günümüzde kullanılan teknoloji ile güneş panellerinin herhangi bir kısmının gölge durumunda kalması halinde, tüm panelin etkilenmediği bir kez daha ortaya konulmuştur. Panelin gölge altında kalan hücreleri çalışmamakta, fakat ışık gören kısımlar elektrik üretmeye devam etmektedir. Veriler ışığında bakıldığında, panel tercihinin kullanım amacına göre yapılması gerektiği görülmektedir. Çalışmada paylaşılmış olan doğrusal grafikler incelendiğinde, uygulanan lineer regresyon analizine göre deney sonuçlarının tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmada kullanılan panel türlerinin, gölge oranına paralel olarak veriminin düştüğü görülmüştür. Fiyatlandırma, dayanıklılık, tutarlılık, ergonomi ve verim gibi tüm parametreler göz önüne alındığında polikristal panelin ön plana çıktığı sonucuna varılmıştır.
- Araştırmacılar, bu çalışmadan faydalanarak, güneş açısının verimliliğe etkileri konusunda çalışma yapabilecektir. Farklı açılarla gelen ışınlarında, güneş panellerinin enerji üretimindeki verimleri hakkında çalışmalar gerçekleştirilebilecektir.

KAYNAKLAR

Antonanzas, J., Arbeloa Iberob, M., Quinn, J.C., “Comparative life cycle assessment of fixed and single axis tracking systems for photovoltaics”, *Journal of Cleaner Production*, 240: 1-12 (2019).

Balat, M., “Solar technological progress and use of solar energy in the world”, *Part A Recovery Utilization and Environmental Effects* 28 (10): 979-994 (2006).

Blakers, A., Zin, N., McIntosh, K.R., Fong, K., “High efficiency silicon solar cells”, *Energy Procedia*, 33:1–10 (2010).

Boz, O. “Günümüzün alternatif enerji kaynağı güneş pilleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir 38-39 (2011).

Cengizhan, C., “Temel İstatistik Kavramları Ders Notu”, *Marmara Üniversitesi*, İstanbul 37-40 (2003).

Çelik, B.G., “Fotovoltaik modüllerin mimaride uygulama olanakları Eskişehir için bir örnek çalışma”, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Eskişehir 28-30 (2002).

Demirtaş, M., “Bilgisayar kontrollü güneş takip mekanizması tasarımı ve uygulaması”, *Politeknik*, 247-253 (2006).

Elzen, M., Höhne, M., Franzen, T., Fekete, H., Winkler, H., Schaeffer, R., Sha, F., “Paris agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °c”, *Nature*, 534: 631–639 (2016).

Erkul, A., “Monokristal, polikristal, amorf silisyum güneş panellerinin verimliliğinin incelenmesi ve aydınlatma sistemine uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara 32-38 (2010).

Gökçe, İ., “Fotovoltaik (fv) hücreler yardımıyla güneş enerjisinden elektrik üretimi ve performansını etkileyen faktörlerin incelenmesi”, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana 25-27 (2020).

İnternet: Acs Enerji, “Güneş paneli çeşitleri”, <http://www.acsenerji.com/gunes-panelleri> (2020).

İnternet: Energy Informative, “Thin film solar panel”, <https://energyinformative.org/wp-content/uploads/2013/06/thin-film-solar-panels-e1372104973762.jpg> (2020).

İnternet: Engineering, “Challenges of Making Solar Energy Economical”, <https://www.engineering.com/DesignerEdge/DesignerEdgeArticles/ArticleID/19841/Challenges-of-Making-Solar-Energy-Economical.aspx> (2020).

İnternet: Güneş Sistemleri, “Güneş Panellerinin Üretim Süreci”, <http://www.gunessistemleri.com/uretimsureci.php> (2020).

İnternet: Australian Academy of Science, “From Sunlight to Electricity”, <https://www.science.org.au/curious/technology-future/solar-pv> (2020).

İnternet: Solar Power Europe, “EU Solar Market Grows 36% in 2018”, <https://www.solarpowereurope.org/eu-solar-market-grows-36-in-2018> (2020).

İnternet: The Solar Nerd, “Everything you need to know about flexible solar panels”, <https://www.thesolarnerd.com/blog/flexible-solar-panel-review> (2020).

İnternet: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, “Türkiye Güneş Enerjisi İstatistikleri”, <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> (2020).

Jäger-Waldau, A., “Publications office of the european union, Luxembourg” *PV Status Report* 31-33 (2017).

Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A., & Kim, K. H., “Solar energy: potential and future prospects”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 894-900 (2018).

Kalkbrenner, B.J., Roosen, J., “Citizens willingness to participate in local renewable energy projects: the role of community and trust in Germany”, *Energy Research & Social Science*, 13: 60-70 (2016).

Kaplan, Z., “FV sistem tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya 29-35 (2012).

Kissel, J.M., Krauter, S.C.W., “Adaptations of renewable energy policies to unstable macroeconomic situations case study: wind power in Brazil”, *Energy Policy* 34 (18): 3591-3598 (2006).

Koç, İ., & Sayın, S., “Güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaik sistemler ve yapılarda kullanım biçimleri” *S.Ü. Müh. - Mim. Fak. Dergisi* 17(3) 1-7 (2011).

Küpelı , A., “Güneş pilleri ve verimleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir 22-28 (2005).

Michas, S., Stavrakas, V., Spyridaki, N.A. and Flamos, A., “Identifying research priorities for the further development and deployment of solar photovoltaics”, *International Journal of Sustainable Energy*, 38(3): 276-296 (2019).

Oktik, Ş., “Güneş Elektrik Dönüşümleri Fotovoltaik Güneş Gözeleri ve Güç Sistemleri”, *Temiz Enerji Vakfı Yayınları*, Ankara, 50-53 (2001).

Oluklulu, Ç., “Güneş enerjisinden etkin olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaik modüller, boyutlandırılmaları ve mimaride kullanım olanakları üzerine bir araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara 30-35 (2001).

Öztürk, H., Kaya, D., “Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi: Fotovoltaik Teknoloji”, *Umuttepe Yayınları*, Kocaeli, 417-418 (2013).

Pace, J., Gatrell, J.D., “Spatial Analysis, Policy, Planning, And Alternative Energy Production”, *In Planning and Socioeconomic Applications*, 155-158 (2009).

Petroleum, “Yenilenebilir enerji sistemlerinde gelişmeler sunumu”, *Uluslararası petrol, lpg, madeni yağ, ekipmanları ve teknolojileri fuarı*, Basra, Irak, 20-22 (2016).

Sick, F., & Erge, T., “Photovoltaics in Buildings: A Design Handbook for Architects and Engineers”, *James & James Ltd*, Londra, İngiltere, 68-73 (1996).

Solangi, K.H., Islam, M.R., Saidur, R., Rahim, N.A. and Fayaz, H., “A review on global solar energy policy”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15: (63) 2149 (2011).

Suda, C., Metin, B., Cengiz, K., Er, E., Öğün, M. ve Topçuoğlu, K., “Fv güç sistemi modellenmesi” *Küresel Mühendislik Çalışmaları Dergisi*, 3(1) 61–71 (2016).

EK AÇIKLAMALAR A.

İSTATİSTİKSEL HESAPLAMA SONUÇLARI

Çizelge Ek A.1. Monokristal panel outlier detection analizi.

Outlier Detection	Q1	Q3	Q1-Q3	En büyük	En küçük
NORMAL	7,57	16,34	8,77	29,495	-5,585
NORMAL	9,1225	16,725	7,6025	28,12875	-2,28125
NORMAL	9,1225	16,725	7,6025	28,12875	-2,28125
NORMAL	10,37	17,11	6,74	27,22	0,26
NORMAL	10,37	17,11	6,74	27,22	0,26
NORMAL	10,37	17,11	6,74	27,22	0,26
NORMAL	11,2875	17,495	6,2075	26,80625	1,97625
NORMAL	11,2875	17,495	6,2075	26,80625	1,97625
NORMAL	11,2875	17,495	6,2075	26,80625	1,97625
NORMAL	11,2875	17,495	6,2075	26,80625	1,97625
NORMAL	11,85	17,88	6,03	26,925	2,805
NORMAL	11,85	17,88	6,03	26,925	2,805
NORMAL	11,85	17,88	6,03	26,925	2,805
NORMAL	11,85	17,88	6,03	26,925	2,805
NORMAL	13,2	18,0825	4,8825	25,40625	5,87625
NORMAL	14,71	18,285	3,575	23,6475	9,3475
NORMAL	15,9125	18,4875	2,575	22,35	12,05
NORMAL	15,9125	18,4875	2,575	22,35	12,05
NORMAL	15,9125	18,4875	2,575	22,35	12,05
NORMAL	16,34	18,69	2,35	22,215	12,815
NORMAL	16,34	18,69	2,35	22,215	12,815
NORMAL	16,34	18,69	2,35	22,215	12,815
NORMAL	17,495	18,7375	1,2425	20,60125	15,63125
NORMAL	18,285	18,785	0,5	19,535	17,535
NORMAL	18,285	18,785	0,5	19,535	17,535
NORMAL	18,285	18,785	0,5	19,535	17,535
NORMAL	18,285	18,785	0,5	19,535	17,535
NORMAL	18,7375	18,8325	0,095	18,975	18,595
NORMAL	18,7375	18,8325	0,095	18,975	18,595
NORMAL	18,7375	18,8325	0,095	18,975	18,595
NORMAL	18,88	18,88	0	18,88	18,88
NORMAL	18,88	18,88	0	18,88	18,88

Çizelge Ek A.2. Polikristal panel outlier detection analizi.

Outlier Detection	Q1	Q3	Q1-Q3	En büyük	En küçük
NORMAL	7,245	14,72	7,475	25,9325	-3,9675
NORMAL	8,21625	15,1525	6,93625	25,55688	-2,18813
NORMAL	8,21625	15,1525	6,93625	25,55688	-2,18813
NORMAL	9,465	15,585	6,12	24,765	0,285
NORMAL	9,465	15,585	6,12	24,765	0,285
NORMAL	9,465	15,585	6,12	24,765	0,285
NORMAL	10,4225	16,0175	5,595	24,41	2,03
NORMAL	10,4225	16,0175	5,595	24,41	2,03
NORMAL	10,4225	16,0175	5,595	24,41	2,03
NORMAL	10,4225	16,0175	5,595	24,41	2,03
NORMAL	10,52	16,45	5,93	25,345	1,625
NORMAL	10,52	16,45	5,93	25,345	1,625
NORMAL	10,52	16,45	5,93	25,345	1,625
NORMAL	10,52	16,45	5,93	25,345	1,625
NORMAL	12,365	16,7425	4,3775	23,30875	5,79875
NORMAL	13,54	17,035	3,495	22,2775	8,2975
NORMAL	14,255	17,3275	3,0725	21,93625	9,64625
NORMAL	14,255	17,3275	3,0725	21,93625	9,64625
NORMAL	14,255	17,3275	3,0725	21,93625	9,64625
NORMAL	14,72	17,62	2,9	21,97	10,37
NORMAL	14,72	17,62	2,9	21,97	10,37
NORMAL	14,72	17,62	2,9	21,97	10,37
NORMAL	16,0175	17,685	1,6675	20,18625	13,51625
NORMAL	17,035	17,75	0,715	18,8225	15,9625
NORMAL	17,035	17,75	0,715	18,8225	15,9625
NORMAL	17,035	17,75	0,715	18,8225	15,9625
NORMAL	17,035	17,75	0,715	18,8225	15,9625
NORMAL	17,685	17,815	0,13	18,01	17,49
NORMAL	17,685	17,815	0,13	18,01	17,49
NORMAL	17,685	17,815	0,13	18,01	17,49
NORMAL	17,88	17,88	0	17,88	17,88
NORMAL	17,88	17,88	0	17,88	17,88

Çizelge Ek A.3. İnce film panel outlier detection analizi.

Outlier Detection	Q1	Q3	Q1-Q3	En büyük	En küçük
NORMAL	21,74	46,51	24,77	83,665	-15,415
NORMAL	23,765	49,07	25,305	87,0275	-14,1925
NORMAL	24,11	51,63	27,52	92,91	-17,17
NORMAL	24,11	51,63	27,52	92,91	-17,17
NORMAL	24,11	51,63	27,52	92,91	-17,17
NORMAL	27,41	51,92	24,51	88,685	-9,355
NORMAL	27,41	51,92	24,51	88,685	-9,355
NORMAL	27,41	51,92	24,51	88,685	-9,355
NORMAL	30,89	52,21	21,32	84,19	-1,09
NORMAL	34,3225	52,5	18,1775	79,76625	7,05625
NORMAL	34,3225	52,5	18,1775	79,76625	7,05625
NORMAL	34,3225	52,5	18,1775	79,76625	7,05625
NORMAL	34,3225	52,5	18,1775	79,76625	7,05625
NORMAL	37,48	52,79	15,31	75,755	14,515
NORMAL	37,48	52,79	15,31	75,755	14,515
NORMAL	38,11	52,86	14,75	74,985	15,985
NORMAL	39,435	52,93	13,495	73,1725	19,1925
NORMAL	43,95	53	9,05	66,575	30,375
NORMAL	43,95	53	9,05	66,575	30,375
NORMAL	43,95	53	9,05	66,575	30,375
NORMAL	51,63	53,07	1,44	55,23	49,47
NORMAL	51,63	53,07	1,44	55,23	49,47
NORMAL	51,63	53,07	1,44	55,23	49,47
NORMAL	51,63	53,07	1,44	55,23	49,47
NORMAL	52,5	53,115	0,615	54,0375	51,5775
NORMAL	52,93	53,16	0,23	53,505	52,585
NORMAL	52,93	53,16	0,23	53,505	52,585
NORMAL	52,93	53,16	0,23	53,505	52,585
NORMAL	53,115	53,205	0,09	53,34	52,98
NORMAL	53,115	53,205	0,09	53,34	52,98
NORMAL	53,115	53,205	0,09	53,34	52,98
NORMAL	53,25	53,25	0	53,25	53,25

Çizelge Ek A.4. Esnek panel outlier detection analizi.

Outlier Detection	Q1	Q3	Q1-Q3	En büyük	En küçük
NORMAL	6,26475	13,05125	6,7865	23,231	-3,915
NORMAL	7	13,4325	6,4325	23,08125	-2,64875
NORMAL	7	13,4325	6,4325	23,08125	-2,64875
NORMAL	7	13,4325	6,4325	23,08125	-2,64875
NORMAL	7,9275	13,81375	5,88625	22,64313	-0,90188
NORMAL	7,9275	13,81375	5,88625	22,64313	-0,90188
NORMAL	7,9275	13,81375	5,88625	22,64313	-0,90188
NORMAL	9,42	14,195	4,775	21,3575	2,2575
NORMAL	9,42	14,195	4,775	21,3575	2,2575
NORMAL	9,42	14,195	4,775	21,3575	2,2575
NORMAL	9,42	14,195	4,775	21,3575	2,2575
NORMAL	10,89	14,46625	3,57625	19,83063	5,525625
NORMAL	11,78	14,7375	2,9575	19,17375	7,34375
NORMAL	11,78	14,7375	2,9575	19,17375	7,34375
NORMAL	11,78	14,7375	2,9575	19,17375	7,34375
NORMAL	12,3025	15,00875	2,70625	19,06813	8,243125
NORMAL	12,3025	15,00875	2,70625	19,06813	8,243125
NORMAL	12,3025	15,00875	2,70625	19,06813	8,243125
NORMAL	12,67	15,28	2,61	19,195	8,755
NORMAL	12,67	15,28	2,61	19,195	8,755
NORMAL	12,67	15,28	2,61	19,195	8,755
NORMAL	13,81375	15,4125	1,59875	17,81063	11,41563
NORMAL	14,7375	15,545	0,8075	16,75625	13,52625
NORMAL	14,7375	15,545	0,8075	16,75625	13,52625
NORMAL	14,7375	15,545	0,8075	16,75625	13,52625
NORMAL	14,7375	15,545	0,8075	16,75625	13,52625
NORMAL	15,4125	15,6775	0,265	16,075	15,015
NORMAL	15,4125	15,6775	0,265	16,075	15,015
NORMAL	15,4125	15,6775	0,265	16,075	15,015
NORMAL	15,81	15,81	0	15,81	15,81
NORMAL	15,81	15,81	0	15,81	15,81
NORMAL	15,81	15,81	0	15,81	15,81

Çizelge Ek A.5. Monokristal panel anova analizi sonuçları.

ANOVA	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	437,19757	437,19757	1115,4262	2,07245E
Fark	11	4,3115116	0,3919556		
Toplam	12	441,50908			

Çizelge Ek A.6. Monokristal panel hata analizi sonuçları.

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95,0%</i>
Kesişim	1,2384	0,3547	3,4907	0,0050	0,4575	2,0192	0,4575
	14	72307	28467	5208	65209	62376	65209
X Değişkeni	0,1859	0,0055	33,397	2,0724	0,1737	0,1982	0,1737
	86	68769	99785	5E-12	28961	42518	28961

Çizelge Ek A.7. Monokristal panel regresyon analizi sonuçları.

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,995105
R Kare	0,990235
Ayarlı R Kare	0,989347
Standart Hata	0,626064
Gözlem	13

Çizelge Ek A.8. Monokristal panel $y=ax+b$ hesaplama sonuçları.

Yüzde	$y=ax+b$	Voltaj
100	19,83698773	18,88
97,23	19,32180723	18,69
88,89	17,77068617	17,75
77,77	15,70252474	16,34
75	15,18734425	15,77
66,66	13,63622318	13,65
55,56	11,57178147	11,85
50	10,53770076	11,1
44,44	9,503620051	9,64
33,34	7,439178344	7,53
22,22	5,371016922	5,915
11,11	3,304715357	3,307
0	1,238413792	0

Çizelge Ek A.9. Polikristal panel anova analizi sonuçları.

ANOVA	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	386,1750893	386,1750893	1082,366125	2,4417E
Fark	11	3,924666418	0,356787856	-	-
Toplam	12	390,0997557	-	-	-

Çizelge Ek A.10. Polikristal panel hata analizi sonuçları.

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95,0%</i>
Kesişim	0,9472	0,3384	2,7985	0,0173	0,2022	1,692	0,2022
X Değişkeni	0,1747	0,0053	32,899	2,4417	0,1631	0,1864	0,1631

Çizelge Ek A.11. Polikristal panel regresyon analizi sonuçları.

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,994956947
R Kare	0,989939326
Ayarlı R Kare	0,989024719
Standart Hata	0,597317216
Gözlem	13

Çizelge Ek A.12. Polikristal panel $y=ax+b$ hesaplama sonuçları.

Yüzde	$y=ax+b$	Voltaj
100	18,42692011	17,88
97,23	17,94273362	17,62
88,89	16,48493023	16,32
77,77	14,54119239	14,72
75	14,05700589	14,1
66,66	12,59920251	12,98
55,56	10,6589606	10,52
50	9,687091678	10,39
44,44	8,715222756	8,54
33,34	6,774980843	8,12
22,22	4,831242999	4,622
11,11	2,889253121	2,744
0	0,947263243	0

Çizelge Ek A.13. Esnek panel anova analizi sonuçları.

ANOVA	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık F</i>
Regresyon	1	264,6607	264,6607	680,9592	1,57208E
Fark	10	3,88658	0,388658	-	-
Toplam	11	268,5473	-	-	-

Çizelge Ek A.14. Esnek panel hata analizi sonuçları.

	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-değeri</i>	<i>Düşük %95</i>	<i>Yüksek %95</i>	<i>Düşük 95,0%</i>
Kesişim	1,4351	0,3575	4,0135	0,0024	0,6384	2,2318	0,6384
X Değişkeni	0,1481	0,0056	26,095	1,5720	0,1354	0,1607	0,1354

Çizelge Ek A.15. Esnek panel regresyon analizi sonuçları.

<i>Regresyon İstatistikleri</i>	
Çoklu R	0,99273731
R Kare	0,985527366
Ayarlı R Kare	0,984080103
Standart Hata	0,623425053
Gözlem	12

Çizelge Ek A.16. Esnek panel $y=ax+b$ hesaplama sonuçları.

Yüzde	$y=ax+b$	Voltaj
100	16,24901472	15,81
96,88	15,78682171	15,28
87,5	14,39727989	14,12
75	12,54554506	12,67
71,88	12,08335205	12,18
62,5	10,69381024	11,38
50	8,842075408	9,42
37,5	6,990340581	7,43
34,38	6,528147568	6,57
25	5,138605754	5,349
12,5	3,286870926	3,768
0	1,435136099	0
100	16,24901472	15,81

Çizelge Ek A.17. İnce film panel anova analizi sonuçları.

ANOVA	df	SS	MS	F	Anlamlılık F
Regresyon	1	1	3771,216	3771,216	168,3953
Fark	10	14	313,5301	22,39501	-
Toplam	11	15	4084,746	-	-

Çizelge Ek A.18. İnce film panel hata analizi sonuçları.

	Kat Sayılar	Standart Hata	t Stat	P-değeri	Düşük %95	Yüksek %95	Düşük 95,0%
Kesişim	6,33798	2,41651	2,62277	0,02006	1,15506	11,5208	1,15506
X Değişkeni	0,47948	0,03694	12,9767	3,40437	0,40023	0,55872	0,40023

Çizelge Ek A.19. İnce film panel regresyon analizi sonuçları.

Regresyon İstatistikleri	
Çoklu R	0,960855694
R Kare	0,923243665
Ayarlı R Kare	0,917761069
Standart Hata	4,732336686
Gözlem	16

Çizelge Ek A.20. İstatistiksel hesaplama sonuçları.

	Monokristal	Polikristal	İnce film	Esnek
Standart sapma	6,074596	5,750025	16,75475	4,947413
Aritmetik ortalama	11,584	10,60085	32,204	9,504333
Varyans	196,1791	186,0879	543,6742	162,6412
Korelasyon yüzey-voltaj	0,9951	0,997194	0,983369	0,992825

Çizelge Ek A.21. İnce film panel $y=ax+b$ hesaplama sonuçları.

Yüzde	$y=ax+b$	Voltaj
100	54,28602166	53,25
99	53,80654125	53,07
96	52,36810002	52,79
90,000	49,49121755	45,13
84,000	46,61433508	51,63
80,000	44,69641343	41,39
70,000	39,90160931	37,48
60,000	35,1068052	33,27
55,560	32,97791217	43,37
50,000	30,31200108	28,51
40,000	25,51719697	24,11
30,000	20,72239285	19,83
27,870	19,70109957	29,31

ÖZGEÇMİŞ

Şerafettin KABADAYI 1992 yılında Karabük'te doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Karabük Mustafa Yazıcı Lisesi'nden mezun oldu. 2011 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2017 yılında iyi derece ile mezun olmuştur. İngilizce hazırlık öğrenimini iyi derecede bitirmiş, iyi derecede İngilizce bilmektedir. 2013 ile 2014 yılları haziran aylarında Kardemir A.Ş.'de staj yapmıştır. 2018 yılında özel bir firmada çevre mühendisi olarak işe başlamış 2020 yılında ayrılmıştır. 2017 yılında KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Kılavuzlar Mah. 406. Sk. Merkez / KARABÜK

Tel : (554) 919 05 68

E-posta : kabadayi92@hotmail.com