T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FOTOVOLTAİK PANELLERDE GÖLGE FAKTÖRÜNÜN DENEYSEL OLARAK ANALİZİ

Ezgi ÖZTÜRK

DANIŞMAN
Doç. Dr. Aysel ERSOY YILMAZ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2020

Bu çalışma, [11.06.2020] tarihinde aşağıdaki jüri tarafından [Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programında [Yüksek Lisans tezi] olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

[Doç. Dr.] [Aysel ERSOY YILMAZ](Danışman)
[İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi]

[Dr. Öğr. Üyesi] [Rana ORTAÇ KABAOĞLU]
[İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa]
[Mühendislik Fakültesi]

[Dr. Öğr. Üyesi] [Serkan KURT]
[Yıldız Teknik Üniversitesi]
[Elektrik-Elektronik Fakültesi]

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin FYL-2019-33778 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans eğitim ve öğretimim süresince bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, birlikte çalışmaktan gurur ve mutluluk duyduğum saygıdeğer hocam, Doç.Dr. Aysel ERSOY YILMAZ 'a teşekkürlerimi sunarım. Aynı zamanda çalışmamda yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Emrah DOKUR'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her alanında bana desteklerini esirgemeyen Babam Yakup BECİT ve Annem Sevim BECİT'e teşekkür ederim. Ayrıca her kararımda yanımda olan ve destekleyen sevgili eşim Kaan ÖZTÜRK'e çok teşekkür ederim.

Haziran 2020 Ezgi ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vi**
TABLO LİSTESİ ..... **viii**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **ix**
ÖZET ..... **x**
SUMMARY ..... **xii**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **3**
2.1 GÜNEŞ ENERJİSİ VE KULLANIM ALANLARI 5
2.2 FOTOVOLTAİK PANELLER 5
2.3 FOTOVOLTAİK PANEL ÇEŞİTLERİ 7
2.4 FOTOVOLTAİK PANELLERİN ÇALIŞMA PRENSİBİ 9
2.5 FOTOVOLTAİK PANELLERDE GÖLGELENME 10
3. MALZEME VE YÖNTEM **16**
3.1. SAHA ÖLÇÜM EKİPMANLARI 16
3.2. GÜVENİLİRLİK ANALİZİ YÖNTEMİ "WEIBULL DAĞILIMI" 18
3.2.1 WEIBULL DAĞILIMI KULLANIM ALANLARI 20
4. BULGULAR **22**
4.1. MONOKRİSTAL PANELİN ÖLÇÜM SONUÇLARI 24
4.1.1. Hücrelerin Dikey Doğrultuda Kapatılması Sonucu Elde Edilen Veriler 24
4.1.2. Hücrelerin Yatay Doğrultuda Kapatılması Sonucu Elde Edilen Veriler 28
4.2 İNCE FİLM PANELİN ÖLÇÜM SONUÇLARI 31
4.2.1 Hücrelerin Dikey Doğrultuda Kapatılması 31
4.2.2 Hücrelerin Yatay Doğrultuda Kapatılması 36
4.3 GÜVENİLİRLİK ANALİZİ 41
5. TARTIŞMA VE SONUÇ **49**
KAYNAKLAR **51**
ÖZGEÇMİŞ **54**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1:Monokristal Panel. 7

Şekil 2.2:Polikristal Panel..... 8

Şekil 2.3:Fotovoltaik Panelin Çalışma Prensibi 10

Şekil 3.1:Deneylerde Kullanılan Ölçüm Cihazı. 16

Şekil 3.2:Monokristal ve İnce Film Paneller 17

Şekil 3.3:Mukavvalar ile Gölgeleme Etkisi Oluşturulması. 18

Şekil 4.1: Monokristal panelin dikey doğrultuda sırasıyla 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 tane hücresinin kapatılması durumunda akım – gerilim eğrisi. 25

Şekil 4.2: Monokristal panelin dikey doğrultuda sırasıyla 8, 9, 10, 11, 12, 13 ve 14 tane hücresinin kapatılması. 26

Şekil 4.3: Monokristal panelin dikey doğrultuda sırasıyla 15, 16, 17, 18, 19, 20 ve 21 tane hücresinin kapatılması. 27

Şekil 4.4: Monokristal panelin dikey doğrultuda sırasıyla 22 ve 23 tane hücresinin kapatılması..... 28

Şekil 4.5: Monokristal panelin yatay doğrultuda sırasıyla 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 tane hücresinin kapatılması..... 29

Şekil 4.6: Monokristal panelin yatay doğrultuda sırasıyla 8, 9, 10, 11, 12, 13 ve 14 tane hücresinin kapatılması. 30

Şekil 4.7: Monokristal panelin yatay doğrultuda sırasıyla 15, 16, 17, 18, 19 ve 20 tane hücresinin kapatılması. 31

Şekil 4.8: İnce film panelin dikey doğrultuda sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 tane hücresinin kapatılması..... 32

Şekil 4.9:İnce film panelin dikey doğrultuda sırasıyla 5, 6, 7, 8, 9, 10 ve 11 tane hücresinin kapatılması. 33

Şekil 4.10:İnce film panelin dikey doğrultuda sırasıyla 12, 13, 14, 15, 16, 17 ve 18 tane hücresinin kapatılması. 34

Şekil 4.11: İnce film panelin dikey doğrultuda sırasıyla 19, 20, 21, 22, 23, 24 ve 25 tane hücresinin kapatılması. 35

Şekil 4.12: İnce film panelin dikey doğrultuda sırasıyla 26, 27 ve 28 tane hücresinin kapatılması. 36

Şekil 4.13: İnce film panelin yatay doğrultuda sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 tane hücresinin kapatılması. 37

Şekil 4.14: İnce film panelin yatay doğrultuda sırasıyla 5, 6 ve 7 tane hücresinin kapatılması. 38

Şekil 4.15: İnce film panelin yatay doğrultuda sırasıyla 8, 9, 10, 11, 12, 13 ve 14 tane hücresinin kapatılması. 39

Şekil 4.16: İnce film panelin yatay doğrultuda sırasıyla 15, 16, 17, 18, 19, 20 ve 21 tane hücresinin kapatılması. 40

Şekil 4.17: İnce film panelin yatay doğrultuda sırasıyla 22, 23, 24, 25, 26, 27 ve 28 tane hücresinin kapatılması. 41

Şekil 4.18: Durum 1 için Weibull uyumluluk grafiği. 43

Şekil 4.19: Durum 2 için Weibull uyumluluk grafiği. 44

Şekil 4.20: Durum 3 için Weibull uyumluluk grafiği. 45

Şekil 4.21: Durum 4 için Weibull uyumluluk grafiği. 46

Şekil 4.22: Gölgeleme etkisi altında karşılaştırmalı Weibull grafikleri. 48

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1: Monokristal panel için dikeyde her bir hücre kapatıldığında elde edilen gerilim ve güç değerleri 22

Tablo 4.2: Monokristal panel için yatayda her bir hücre kapatıldığında elde edilen gerilim ve güç değerleri 23

Tablo 4.3: İnce film panel için yatayda her bir hücre kapatıldığında elde edilen gerilim ve güç değerleri 23

Tablo 4.4: İnce film panel için dikeyde her bir hücre kapatıldığında elde edilen gerilim ve güç değerleri 24

Tablo 4.5: Elde edilen şekil ve ölçek parametrelerinin GM ve MLM yöntemleri ile elde edilen değerlerinin karşılaştırılması. 47

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

cm : Santimetre
cm² : Santimetrekare
m : Metre
mm : Milimetre
W : Watt
MW : Megawatt
W/ m² : Watt/metrekare

Kısaltmalar **Açıklama**

AC : Alternatif Akım(Alternative Current)
DC : Doğru Akım(Direct Current)
GM : Grafik Metot(Graphic Method)
I_{SC} : Kısa Devre Akımı(Short Circuit Current)
I-V : Akım-Gerilim(Current-Voltage)
mA : Miliamper(Milliampere)
MLM : Maksimum Likelihood Metotları(Maximum Likelihood Methods)
MPP : Maksimum Güç Noktası(Maximum Power Point)
PV : Fotovoltaik(Photovoltaic)
STC : Standart Test Koşulları (Stadard Test Conditions)
U_{OC} : Açık Devre Gerilimi (Open Circuit Voltage)
V-P : Gerilim-Güç(Voltage-Power)

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FOTOVOLTAİK PANELLERDE GÖLGE FAKTÖRÜNÜN DENEYSEL OLARAK ANALİZİ

Ezgi ÖZTÜRK

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Aysel ERSOY YILMAZ

Bir ülkenin kalkınmasında belirleyici etkenlerden biri de enerjidir. Günümüzde fosil enerjilerin gittikçe azalması ve bunların temininde yaşanan sorunlar yenilenebilir enerji konusunu ülkelerin gelecek projeksiyonlarında en önemli madde haline getirmiştir. Yenilenebilir enerji, fosil yakıt kullanımını azaltır, yerli kaynakları geliştirir, dışa bağımlılığı azaltır, uluslararası anlaşmalara uyum sağlar ve elektrik götürmenin zor olduğu coğrafi bölgelere elektriğin sağlanması konusunda önemli rol oynar.

Güneş enerjisi yenilebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır. Dünyadaki enerji ihtiyacı nüfusun ve sanayileşmenin giderek artması ile bir ivme kazanmıştır. Elektrik üretiminde güneş enerjisinin rolü gün geçtikçe artış göstermekte ve bu konuda yapılan çalışmalar da giderek önem kazanmaya başlamıştır. PV panellerinin pek çok avantajı vardır ve bunlardan en önemlisi temiz, sürdürülebilir bir enerji kaynağı (güneş radyasyonu) kullanmasıdır. PV panellerin verimi de oldukça önemli bir konudur. PV panellerin verimini toz, nem, basınç, rüzgâr, yağmur, kuş pislikleri vb. ciddi şekilde etkiler.

Açık havada yapılan deneysel çalışmada hücrelerin yatay ve dikey doğrultuda kapatılarak gölgelenme etkisi yaratılmış ve ölçümler yapılmıştır. Alınan ölçümlere göre özellikle 3 ve 4 adet hücrenin kapatılmasından sonra hem monokristal panel de hem ince film panel de optimum güç değerleri 0,1 W değerine kadar düşmektedir. Elde edilen deneysel sonuçlar Weibull dağılımında güvenilirlik analizi yapılmıştır.

Bu çalışmada gölgeleme etkisinin PV panellerin verimi üzerine etkisi deneysel olarak ölçülmüştür. Gölgeleme etkisinin PV panellerin verimini ciddi anlamda düşürdüğü tespit edilmiştir.

Haziran 2020, 54 sayfa.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir enerji, güneş enerjisi, fotovoltaik panel, gölgeleme etkisi.

SUMMARY

M.Sc. THESIS

EXPERIMENTAL ANALYSIS of SHADOW FACTOR in PHOTOVOLTAIC PANELS

Ezgi ÖZTÜRK

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Electrical and Electronic Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Aysel ERSOY YILMAZ

One of the determining factors in the development of a country is energy. Nowadays, the decrease in fossil energies and the problems in supplying them have made renewable energy the most important item in the future projections of countries. Renewable energy reduces fossil fuel use, improves domestic resources, reduces dependence on external sources, complies with international agreements and plays an important role in supplying electricity to geographic areas where it is difficult to deliver electricity.

Solar energy is an edible and clean energy source. The need for energy in the world has gained momentum with the increasing population and industrialization. The role of solar energy in electricity generation is increasing day by day and the studies on this subject have become increasingly important. PV panels have many advantages and the most important one is the use of a clean, sustainable energy source (solar radiation). The efficiency of PV panels is also an important issue. The efficiency of PV panels can be reduced by dust, humidity, pressure, wind, rain, bird droppings, etc. severe effects.

In the experimental study conducted outdoors, the shading effect was created and measurements were made by closing the cells in horizontal and vertical directions. According to the

measurements taken, especially after the closing of 3 and 4 cells, the optimum power values of both monocrystalline panel and thin film panel decreases to 0.1 W. The experimental results obtained are under reliability analysis in the Weibull distribution.

In this study, the effect of shading effect on the efficiency of PV panels was measured experimentally. It has been found that the shading effect significantly reduces the efficiency of PV panels.

June 2020, 54 pages.

Keywords: renewable energy, solar energy, photovoltaic panel, shading effect

1. GİRİŞ

Bir ülkenin kalkınmasında belirleyici faktörlerden biri de enerjidir. Bu enerjinin nasıl üretildiği ve tüketildiği önemli bir göstergedir. Günümüzde fosil enerjilerin gittikçe azalması ve bunların temininde yaşanan sorunlar yenilenebilir enerji konusunu ülkelerin gelecek projeksiyonlarında en önemli madde haline getirmiştir. Yenilenebilir enerji, fosil yakıt kullanımını azaltır, yerli kaynakları geliştirir, dışa bağımlılığı azaltır, uluslararası anlaşmalara uyum sağlar ve elektrik götürmenin zor olduğu coğrafi bölgelere elektriğin sağlanması konusunda kolaylık sağlar.

Güneş enerjisi yenilebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır. Dünyadaki enerji ihtiyacı nüfusun ve sanayileşmenin giderek artması ile bir ivme kazanmıştır. Petrol ve doğalgaz kaynaklarının azalması veya bu kaynaklara sahip olmayan ülkelerde artan enerji ihtiyacına karşılık vermek zor bir süreç oluşturmaktadır. Bu yüzden, daha temiz ve daha az maliyetli olan yenilebilir enerji kaynaklarına eğilim göstermek bu sıkıntının önüne geçilmesine yardımcı olacaktır. Elektrik üretiminde güneş enerjisinin rolü gün geçtikçe artış göstermekte ve bu konuda yapılan çalışmalar da giderek önem kazanmaya başlamıştır.

Dünyadaki hükümetler yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik edecek yönde politikalar izlemeye başlamıştır. Çevre dostu çözümler benimsenmiştir. Bu çevre dostu çözümlerin içinde güneş panelleri (PV, fotovoltaik) de yer almaktadır. Fotovoltaik paneller, güneş radyasyonunu elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. PV panellerinin pek çok avantajı vardır ve bunlardan en önemlisi temiz, sürdürülebilir bir enerji kaynağı (güneş radyasyonu) kullanmasıdır. PV panellerin verimi de oldukça önemli bir konudur. PV panellerin verimini toz, nem, basınç, toz, rüzgâr, yağmur, kuş pislikleri vb. ciddi şekilde etkiler.

Güneş enerjisi konusunda dünyanın önde gelen ülkeleri arasında yer bulmaya çalışan Türkiye, sahip olduğu potansiyeli kadar güneş enerjisini oldukça eskiden beri bilen ve bugünkü teknolojik gelişmelerle birlikte de bu kaynaktan en iyi şekilde yararlanmaya çalışan ülkelerden birisidir. Özellikle son yıllarda ülkemiz güneş enerji sistemleri piyasasında büyük yatırımlar yapmakta ve piyasanın geliştirilmesi yönünde birçok çalışmalar yapılmaktadır. Diğer dünya devletlerine göre ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli ve yıllık güneşlenme süresi oldukça fazladır. Türkiye, sahip olduğu coğrafi konum nedeniyle 1.527 kWh/m2 yıl önemli bir miktarda güneş ışığına sahiptir [1]. Ülkemiz güçlü ışınıma sahip olsa da coğrafi konum ve özellikleri

nedeniyle farklı çeşitlerde çevresel etkenlere de sahiptir. Bu etkenler de panel verimini azaltıcı etki yapar.

Bulut, bina, ağaçlar gibi bazı faktörler panel üzerinde gölge oluşturabilmektedir. Bu da panelin veriminin azalmasına neden olmaktadır. Gölgeleme etkisi, panel üzerinde bazı engeller sebebiyle sistemin genel olarak aynı oranda ışınımın etkisine sahip olmamasıyla oluşmaktadır. Bu durumda, daha düşük orandaki ışınımın etkisinde olan hücreler, güç üretmek yerine sistem gücünü düşürmektedir. PV panellerin gölgeye maruz kalması modül verimliliğini etkilemektedir. Hücre üzerindeki küçük bir gölgelenme bile verimliliğe önemli oranda etki göstermektedir. Bir hücredeki gölgelenme diğer dizelerde ki hücrelerin performansını da ciddi bir oranda etkiler. Dış etkenlerin oluşturduğu gölgelenmeden farklı olarak aynı dizede ki modül sırası öndeki modül sırası tarafından gölgelenebilir bu konuda verimliliğe etkisi olan bir durumdur.

Bu çalışmada, fotovoltaik panellerin verimliliğine gölge faktörünün etkisi açık alanda deneysel olarak ölçülmüş ve değerlendirilmiştir. Paneller üzerine düşen güneş ışığı değeri piranometre ile ölçülmüş ve aynı ışıma değeri için (1000 W/m2) gölgelenmenin etkisi panelden alınan akım ve gerilim değerlerini ölçmek sureti ile ortaya konmaya çalışılmıştır. Aynı ışıma değeri için hazırlanan özel gölgeleme alanları her biri bir hücreyi kapatacak şekilde kullanılmıştır. PV panellerin optimum gücü ile ölçülen güç değerleri kıyaslanarak gölgelenme faktörünün fotovoltaik panellerin verimi üzerine etkisi saptanmıştır.

Elde edilen deneysel sonuçlar Weibull dağılımı kullanılarak güvenilirlik analizi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen şekil ve ölçek parametrelerinin tahmini için Grafik Metot ve Maksimum Likelihood Metotları kullanılmıştır. Yapılan analiz sonucunda panel verimliliğini ifade eden bir güvenilirlik fonksiyonu elde edilmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

Yenilenebilir enerji, ülkenin enerji gereksinimini karşılayarak dışa bağımlılık oranının azaltılması, kaynakları değerlendirerek sürdürülebilir enerji kullanımını sağlanması ve enerji tüketimi sonucunda çevreye verilen zararların en aza indirilmesi yönünden oldukça önemli bir konudur. Bugün dünya genelinde tüketilen enerjinin yaklaşık yüzde 20'si yenilenebilir kaynaklardan elde edilmektedir [2]. Fosil yakıtlara olan bağımlılık yüksek seviyede olmasına rağmen son yıllarda yenilenebilir enerjinin kullanım oranı giderek artış göstermektedir. Son dönemlerde tüm dünya ile birlikte gelişime uyum sağlayan Türkiye'de de yenilenebilir enerji konusunda önemli gelişmeler kaydedilmektedir. 2018 yılında Türkiye'nin elektrik üretim kapasitesi 3.350,80 MW net bir artış göstererek yılsonu itibari ile 88.550,80 MW'a ulaştı. Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından yapılan açıklamaya göre artışta en büyük pay 1.642,2 MW ile güneş enerjisi yatırımlarının oldu. Türkiye'nin elektrik üretim kapasitesi Haziran ayı sonu itibari ile 90.420,9 MW'a kadar yükseldi.

2019 yılı için ise Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından yapılan bilgilendirmeye göre kurulu güç geçtiğimiz Haziran ayında 693,2 MW, 2019'un ilk dokuz aylık döneminde ise 1.870,1 MW artış gösterdi.

TEİAŞ verilerine göre 2019'ın ilk altı aylık döneminde yerli kömüre dayalı elektrik üretim kapasitesi 1.109,3 MW artış gösterdi. Bu dönemde güneş enerjisine dayalı güç 388,2 MW artarken, rüzgar enerjisindeki güç artışı ise 210,6 MW oldu. Akarsu tipi hidroelektrik santrallere dayalı güç 75,7 MW, jeotermal enerji alanındaki güç ise 53 MW artış gösterdi [3].

Türkiye sahip olduğu coğrafi konumu ve jeopolitik özellikleri sebebiyle tüm yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma olanağına sahiptir. Bu yenilenebilir enerji kaynaklarından özellikle jeotermal, güneş, hidrolik ve rüzgar enerjisi potansiyelleri açısından AB ülkeleri ile kıyaslandığında, Türkiye'nin oldukça önemli bir konuma sahip olduğu gözlenmektedir.

2018 yılında elektrik üretimimizin, %37,3'ü kömürden, %29,8'i doğal gazdan, %19,8'i hidrolik enerjiden, %6,6'sı rüzgârdan, %2,6'sı güneşten, %2,5'i jeotermal enerjiden ve %1,4'ü diğer kaynaklardan karşılanmıştır. 2019 yılı ilk yarısı itibarıyla kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı; yüzde 31,4'ü hidrolik enerji, yüzde 29,0'sı doğal gaz, yüzde 22,4'ü kömür, yüzde 8,0'ı rüzgâr, yüzde 6,0'ı güneş, yüzde 1,5'i jeotermal ve yüzde 1,7'si ise diğer kaynaklardır.

Ayrıca Ülkemizde elektrik enerjisi üretim santrali sayısı, 2019 yılı ilk yarısı itibarıyla 7.957'ye (Lisanssız santraller dahil) ulaşmıştır. Mevcut santrallerin 664 adedi hidroelektrik, 67 adedi kömür, 257 adedi rüzgâr, 48 adedi jeotermal, 327 adedi doğal gaz, 6.349 adedi güneş, 245 adedi ise diğer kaynaklı santrallerdir. Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı kapsamında Türkiye'nin 2023 yılı için toplam enerji tüketimi 1,2 trilyon MWh olarak öngörülmekte ve bu tüketimin 252 milyar MWh'lık bölümünün yenilenebilir kaynaklardan karşılanması hedeflenmektedir. Bu gelişmeler dikkate alındığında Türkiye'nin 2023 hedefleri kapsamındaki toplam enerji tüketiminin en az üçte birini (1/3) yenilenebilir enerji kaynaklarından giderilmesi yönünde önünde oldukça önemli bir sürecin olduğu söylenebilir [4]. PV teknolojisi kullanılarak güneş ışınları doğrudan elektriğe dönüştürülebilir. Güneşten gelen ışınımı PV teknolojisi ile hapsetmek ve elektrik enerjisine dönüştürmek için yarı iletkenler kullanılarak elde edilen solar hücreler kullanır. Bunun yanında solar hücrelerde kullanılan yarı iletkenlerin yapısı ile ilgili yapılan araştırmalar, PV sistemlerinin verimliliğini % 15-20'ye sınırlamıştır [5]. PV sistemlerin performansı panel teknolojisi, batarya türü gibi özelliklerle birlikte gölgelenme, sıcaklık, rüzgâr, yaşlanma, radyasyon ve kirlilik gibi çevresel etkenlerden etkilenmektedir. İklim değişikliği güneş ışınımlarında farklılıklara neden olur, bu nedenden kaynaklı olarak solar PV çıkış performansında değişiklikler gözlenir. Bu sebepten dolayı güneş takip ve maksimum güç noktası izleme sistemleri geliştirilerek PV sistemlerin verimliliğini arttırılabilir.

Gölgelenme fotovoltaik panellerin verimi üzerinde önemli bir faktördür. Ağaç, baca, bina gibi etkenler fotovoltaik paneller üzerinde gölgeleme etkisi oluşturmaktadır. Gölgeleme, kısmi gölgeleme ve homojen gölgeleme olarak iki başlık altında irdelenmektedir. Sathyanarayana ve arkadaşlarının (2015) yaptıkları çalışmada, homojen ve kısmi gölgeleme etkisi inceleme altına alınmıştır. Kısmi gölgeleme için panelin üzerinde yaprak, kablo ve bina etkisi yaratacak şekilde gölge oluşturulmuştur. Homojen gölgeleme konusu içinde farklı boyutlarda kağıtlar kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda ise homojen gölgelemede, gölgesiz duruma kıyasla kısa devre akımı ve güç lineer olarak azalma durumu göstermiştir. İşin kısmi gölgeleme boyutunda ise kablo gölgesi en az etkiye sahip iken, bina modeli en fazla etkiyi göstermiştir. Parçalı gölgeleme, PV panel veya panelin belirli bir bölümüne bulut, bina, ağaç gibi engellerin gelerek güneş ışığını kesmesi sonucu ortaya çıkmaktadır [6]. Gölgeye maruz kalmış hücrenin sıcaklık ve ışınımı değişim gösterdiğinden güç azalmaktadır. Gölge, panelin hücrelerinden üretilen akımlarının uyumsuzlukları ile sonuçlanmaktadır. Gölgeli hücre, gölgelenmemiş hücrelere göre daha az akım üretmektedir fakat paneldeki hücreler seri bağlandığından tüm hücrelerden aynı

akım geçmesi durumu beklenir. Bu mevcut durum uyumsuzluklara yol açmaktadır. Kısmi gölgelemeye sadece tek hücre maruz kalsa bile tüm gözeler gölgelenmişçesine tüm panelin gücü önemli ölçüde azalabilir.

2.1 GÜNEŞ ENERJİSİ VE KULLANIM ALANLARI

• Fabrika, endüstriyel alanlar vb. gibi ortamlarda güneş enerjisi sistemleri işletmeler tarafından tercih edilmektedir.

• Çatı üzeri GES projeleri, tarım, hayvancılık, depolama alanlarında, AVM, oteller, hastaneler, akaryakıt istasyonları gibi alanlarda oldukça yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

• Çatı tipi güneş enerjisi santralleri de evlerin elektrik gereksinimini karşılamada tercih edilmektedir.

• Elektrik enerjisinin ulaşamadığı yerleşim yerleri için tercih edilmektedir.

• Tarımsal sulama ihtiyaçlarında güneş enerjisi sistemleri kullanılır. Maliyet olarak ekonomik bir enerji çeşidi olması sebebiyle güneş enerjisi, sıcak su üretiminde ciddi oranda tercih edilen bir enerji çeşididir.

• PV paneller kullanılarak elektrik üretilerek seralarda sebze ve meyveleri ısıtma konusunda tercih edilir. Bu sebepten kırsal kesimler ve tarım alanları güneş enerjisi kullanım bölgeleri olarak tercih edilmektedir.

• Trafik lambaları, işaret lambaları ve sokak lambaları güneş enerjisinin tercih edildiği diğer konulardır. Bu konularda kullanılan sistemler genel anlamda akülü güneş enerjisi sistemleridir. Elektrikler kesildiği zaman akü devreye girerek trafikte meydana gelebilecek karışıklıkların önüne geçer.

2.2 FOTOVOLTAİK PANELLER

Fotovoltaik hücreler, güneş ışınımlarını doğrudan elektrik enerjisine çeviren yarı iletken özellikli yapılardır. Fotovoltaik hücrelerin tarihi de eskilere dayanmaktadır. Becquerel 1839 yılında elektrolit içerisine batırılmış olan elektrotlar arasındaki gerilimin elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğunu gözlemlemiş ve Fotovoltaik olayını bulmuştur. Daha sonraları bu mantık üzerinde geliştirmeler yapılarak günümüzdeki haline ulaşmıştır. Yakın geçmişe kadar

klasik elektrik enerjisi üretim metotları ile kıyaslandığında pahalı şekilde değerlendirilen fotovoltaik güç sistemleri, artık yakın gelecekte güç üretimine katkı sağlayabilecek sistemler olarak gözlenmektedir. Elektrik enerjisi üretiminde görünmeyen maliyet dediğimiz sosyal maliyet dikkate alındığında, fotovoltaik sistemler fosil temelli sistemlere göre daha ekonomik olarak değerlendirilebilir [7].

Kısaca fotovoltaik, güneş enerjisini elektrik akımına çevirme teknolojisidir. Silikon gibi bazı malzemeler güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürme özelliğine sahiptir. Bu olaya fotovoltaik(PV) etki denir.

Fotovoltaik güneş hücreleri, üzerine güneş ışığı geldiği zaman güneş enerjisini direkt olarak DC elektrik enerjisine çeviren yarı iletken maddelerden meydana gelen sistemlerdir. Genel olarak yüzeyleri kare, dikdörtgen ya da daire biçiminde şekillendirilen kristalin güneş hücrelerinin alanı 100 / 156 / 243 cm2 civarında ve kalınlıkları ise 0,2 - 0,4 mm arasındadır [5].Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye bağlı bir biçimde çalışırlar, üzerlerine ışık düşümü gerçekleştiğinde uçlarında elektrik gerilimi meydana gelir. Fotonları güneş pilleri soğurarak, fotonların enerjisini elektronlara dönüştürür. Bu elektronlar hücrelerin ön ve arka bölümlerinde toplanır.

Burada yaratılan gerilim bir elektrik akımına sebep olur. Modüllere ve panellere monte edilmiş hücreler, gerektiği kadar yüksek gerilim elde edilmesi adına kendi aralarında da seriler halinde birbirine bağlı konumdadır.

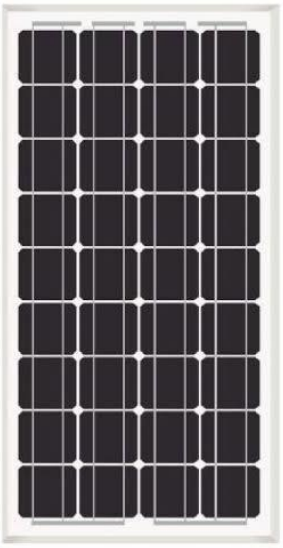
Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına göre değişkenlik göstererek % 5 ile % 20 arasındaki bir verimle elektrik enerjisine dönüştürülebilir [8]. Güç çıkışını yükseltmek hedefiyle çok miktarda güneş pili birbirine paralel veya seri biçimlerde bağlanarak bir yüzey üzerine kurulumu yapılır, bu yapı fotovoltaik modül olarak isimlendirilir. Güç isteğine bağlı şekilde modüller birbirlerine seri veya paralel biçimde bağlanarak birkaç Watt'tan Megawatt'lara varan sistem meydana getirilir.

2.3 FOTOVOLTAİK PANEL ÇEŞİTLERİ

Monokristal (Tek Kristalli) Güneş Paneli

Şekil 2.1'de gösterildiği gibi monokristal güneş panelleri verim olarak yüksek monokristalin hücrelerden oluşmaktadır. Aynı gücü üretebilen polikristalin güneş hücrelerine kıyasla yer konusunda daha avantajlıdır. Üretimi sırasında yüksek teknolojiden faydanıldığı için üretim süresi daha çok zaman almaktadır. Mono adı yapısındaki yüksek saflık oranındaki kristal kullanılmasından ileri gelir. Ömür olarak uzun ömürlü sistemlerdir. Verimlilik değeri yaklaşık olarak %15-%18 [9].

Monokristal panellerin konutlarda kullanımı üzerine Endonezya'da yapılan bir çalışmada sadece çatı alanının kullanımının yeterli olduğu fakat panel sayısı arttıkça gölgeleme etkisi nedeni ile performansın olumsuz etkilendiği vurgulanmıştır [10,11]. Gölgeleme etkisi panel performansının azaltan ana sebeplerden biridir. Yalnızca % 25 oranında yapılan bir gölgeleme dahi panelin kısa devre akımını %40,72 ve aktardığı maksimum gücü % 41,40 oranında azalttığı yapılan çalışmalarda verilmiştir [12].



Şekil 2.1:Monokristal Panel.

Polikristal (Çok Kristalli) Güneş Paneli

Şekil 2.2'de gösterilen polikristal güneş paneli üretim ekipmanlarına kolay ulaşılabilir. Bu koşula rağmen enerji verimliliği monokristalin güneş hücrelerine kıyasla daha düşüktür. Monokristal saflığında üretilmemektedir ve heterojen yapısından kaynaklı olarak polikristal adını taşımaktadır. Verimlilikleri %12-%15 değerlerindedir [9].

Polikristal panellere gölgeleme etkisinin değerlendirildiği bir çalışmada panelin gölge miktarı 0'dan kademelei olarak yüzde 25'e kadar arttırılmış ve yaoılan karşılatırma sonrasında %25 gölgeleme etkisnin panelin verilimliliğini % 61, 80 düştüğü raporlanmıştır [12].



Şekil 2.2:Polikristal Panel.

Esnek Güneş Paneli

Standart güneş paneli teknolojisinden farklı olarak özellikle çatı uygulamalarında kullanmak için geliştirilmiş bir türdür. Kolay taşınabilir ve uygulanabilirdir. Kurulumu için konstrüksiyona veya profile gereksinim yoktur fakat verimliliği diğer panel çeşitleriyle kıyaslanacak olursa daha düşüktür. Verimlilik değeri %4 ile %8 arasında değişmektedir [9].

İnce Film Güneş Paneli

İnce Film güneş hücreleri güneş ışınları absorbe edici özellik taşımaktadır. Kristal güneş panellerine kıyasla daha düşük verime sahiptir. Düşük verime sahip olmasından dolayıyüksek güç üretebilmeleri için geniş alanlara gereksinim duymaktadır. Verimlilik değeri %7 ile % 14 arasındadır [9].

2.4 FOTOVOLTAİK PANELLERİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Güneş ışığı foton adı verilen küçük enerji paketlerini içerisinde barındırır. Güneş her zaman diliminde oldukça önemli boyutlardaki bu enerjiyi fotonlar aracılığıyla dünyaya iletir. Fotovoltaik paneller güneşten gelen bu fotonları elektrik enerjisine çevirmek amacıyla geliştirilmiştir.

Şekil 2.3'de gösterildiği üzere PV panellerin çalışma mantığını genel anlamda ele alacak olursak p-n ekleminden oluşan diyota benzerlik gösterir. Fotoelektrik mantığını temel alan fotovoltaik panellerde fotonlar aracılığıyla koparılan elektronlar eklemde hareketlenir ve elektrik akımı meydana getirir. Fotovoltaik panelin yapısını oluşturmak için kullanılan malzemeler silisyum, galyum gibi yarı iletken malzemelerdir.

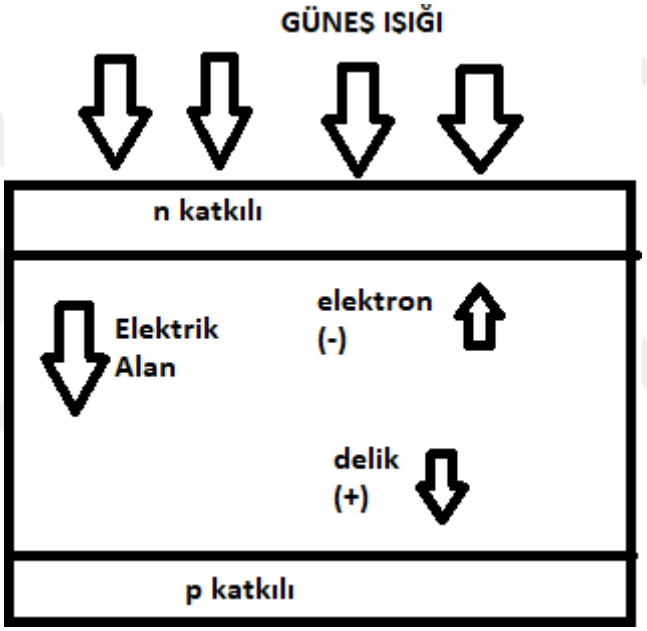
Yarı iletken bir malzemeden güneş pili olarak yararlanılabilmesi için n ya da p tipi katkılanması gereklidir. Saf yarı iletken eriyik içerisine katkı maddesini kontrollü bir biçimde işlenmesi sayesinde katkılanma oluşur.

Örnek vermek gerekirse, n tipi katkılamada; silisyum eriğine periyodik cetvelin 5.gurubunun bir elementi olan fosfor ilave edilir. Silisyum son katmanında 4, fosfor son katmanında 5 elektrona sahip olduğu için meydana gelen kristal yapıda elektron fazlalığı oluşur. N tipi katkılama bölgesi verici bölge ismiyle de bilinir.

P tipi katkılamada ise; silisyum eriğine periyodik cetvelin 3.gurubun bir elementi(alüminyum, bor vb.) ilave edilir. P tipi katkı maddesinde 3 elektron vardır, bundan dolayı yeni oluşan kristal yapıda elektron eksikliği oluşur. P tipi katkılama bölgesi alıcı bölge ismiyle de bilinir.

Güneş ışınlarından gelen fotonlar ile N tipi bölgede bulunun fazla sayıdaki elektronlar elektron eksikliği olan P tipi bölgeye doğru yönelim gösterirler. Bu hareket elektron-hol çiftlerini meydana getirir.

P ve N bölgelerinin elektron azlığı ve çokluğu her iki bölgede de elektrik alan meydana getirir. Elektrik alan aracılığıyla birbirinden ayrılan elektron hol çiftleri fotovoltaik panelin kontak uçları arasında bir güç çıkışı oluşturur.



Şekil 2.3:Fotovoltaik Panelin Çalışma Prensibi.

2.5 FOTOVOLTAİK PANELLERDE GÖLGELENME

Gölge, panel performansını etkileyen önemli bir unsurdur. Bulut, yapraklar, bina vb. panel üzerinde gölge meydana getirebilir. Bu durum panelin veriminin azalmasına sebep olmaktadır. Gölgeleme etkisi, panel üzerinde bazı engeller nedeniyle sistem genelinin aynı oranda ışınıma sahip olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda, daha az seviyede ışınıma uğrayan hücreler, güç üretmesi beklenirken tam tersine sistem gücünü azaltmaktadır.

Gölgeleme, kısmi gölgeleme ve homojen gölgeleme olarak iki başlık içerisinde araştırılmaktadır. Parçalı gölgeleme, PV panel veya panelin belirli bir bölümüne ağaç, bulut ya da bina gibi engellerin gelmesi ve güneş ışığını kesintiye uğratması sonucu meydana gelmektedir. Gölgeye maruz kalmış hücrenin sıcaklık ve ışınımı değişim gösterdiğinden güç azalmaktadır. Bu durumda, panelin hücrelerinde üretilen akımlarının uyumsuzlukları ortaya çıkmaktadır. Gölgeli hücre, gölgelenmemiş hücrelere kıyasla daha az akım üretmektedir fakat paneldeki hücreler seri bağlanması sebebiyle bütün hücrelerden aynı akım geçmelidir. Bu durum uyumsuzluklara neden olmaktadır. Bir hücre üzerindeki kısmı gölgeleme, bütün hücreler gölgelenmişçesine bütün panelin gücünü ciddi miktarda düşürebilir. Kısmi gölgelemede, gölgeli panellerin yerleri ve gölgenin şekli sebebiyle meydana gelen uyumsuzluklar gücü düşürmektedir. Yapılan çalışmalarda Su-Do-Ku modeli ileri sürülmüştür ve panellerin fiziksel konumu bu modele göre ayarlanmıştır. Bu modelde, gölge altındaki hücrelerin dağıtılarak bir sıradaki baskın gölgelemenin düşürülmesi amaçlanmaktadır [13].

Lijun Gao ve arkadaşları paralel bağlı, seri bağlı PV paneller üzerinde gölgeleme koşullarını incelemişlerdir ve kıyaslamada bulunmuşlardır. Gölgeleme miktarını %5, %12,5, %25, %50 olarak ayarlayıp seri ve paralel bağlı PV panellerde ayrı ayrı güç değerlerini ölçmüşlerdir. Gölgeleme olmadığı takdirde paralel ve seri bağlı PV panellerde aynı değerler ölçülmüştür. Gölgeleme uygulandığı zaman ise gölgelemenin her değerinde paralel bağlı PV panellerde ölçülen güç miktarı daha yüksek çıkmıştır. %50 değerindeki gölgeleme için seri bağlı PV panellerde güç değeri %41,9 değerine paralel bağlı PV panellerde ise %72,4 değerine düşmüştür. PV panellerin paralel bağlanması gölgeleme faktörü açısından daha avantajlı olmuştur [14].

Maria Carmela Di Piazza ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada prototip bir PV panelin çevresel faktörler ve hücre sıcaklığının değişiminin panelin I-V eğrilerine etkisini incelemişlerdir. Laboratuvar ortamında yapılan çalışmada düzgün ışıma bölgesel gölgeleme durumlarında I-V eğrileri çizdirilmiş, modelleme ile doğruluğu karşılaştırılmıştır [15].

A. Zegaoui ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada PV hücre panel ve ışımanın fiziksel olarak modellendiği bir simülasyon hazırlamış, direk ve ters modların modellenmesini yapmıştır. Bu çalışmada özellikle kısmi ve genel gölgeleme durumlarında PV hücrenin karakteristikleri elde edilmeye çalışılmış ayrıca PV panellerde by pass diyot koruması ile bunun sebep olduğu sıcak nokta ve ısınmanın etkisini incelemişlerdir [16].

Bruno Andò ve arkadaşları, genel olarak hücre bazında yapılan çalışmalardan farklı olarak bizim çalışmamızda olduğu gibi panel bazında çalışmalarını gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada panel üzerinde farklı noktalara yerleştirilen sensörler üzerinden anlık ve sürekli gölgelenme kirlilik yaşlanma anomolileri adreslenilerek takip edilmiştir. Verimliliğe etki eden rasgele sebepler akım ve gerilim ile değerlendirilmiştir. Ölçümler 23 Kasım 2013 saat 07:00-13:00 arasında gerçekleştirilmiş ve doyma akımı seri direnç ile şönt dirençteki değişiklikler grafik olarak verilmiştir. Buna göre doyma akımı saat 10:00'dan sonra stabil hala geçip düşerken STC faktörü akımla aynı davranışı göstermiştir. Paralel ve seri direnç gün içerisinde bulutlar, kirlilik, gölgelenme nedeniyle farklılıklar göstermiştir [17].

Masud Rana Rashel ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada PV hücrelerde gölgeleme davranışının deneysel olarak modellenmesi kadar simülasyon yapılmasını da önemli bulmuşlardır. Gölgeleme etkisini ortaya koyabilmek için MATLAB Simulink'te bir model hazırlamışlar ve seri, paralel bağlanma durumunda hücrelerin solar performansını MATLAB Simulink üzerinde incelemişlerdir. Bunun için gölgenin olmadığı durumda ve gölgelenmenin başlayıp ışımanın 800, 600, 400, 200, 0 değerlerine gelmesi durumunda akımın değişimini, hücrelerin seri ve paralel bağlanması durumları için değerlendirmişlerdir [18].

Cheng-Chuan Chen ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada PV hücreleri seri ve paralel bağlanma durumlarını modellemişlerdir. Bunu kısmi gölgelenme etkisi altındaki sabit ışınım altında panel sıcaklığının 0, 25, 50, 75, 100 değerlerine çıktığı durumlarda gerçekleştirmişlerdir. Panelin güç ve gerilim değişimlerini ortaya koymuşlardır [19].

Paula dos Santos ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada PV panellerin güç çıkışına gölgelenme pozisyonunun etkisini araştırmışlardır. Yaptıkları deneysel çalışmada çeşitli senaryo durumları için panel çıkışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Bunun için kullandıkları panel 6 modüllü bir paneldir [20].

M. Tripathy ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada binalara entegre olarak çalışan PV ısıtıcı sistemlerin gölgelenme etkisi nedeniyle kendini ödeme sürelerinde ve ömür sürelerindeki maliyet analizlerini yaparak ekonomik olarak kendi kendini amorti ettiği süreyi bulmaya çalışmışlardır. Günümüzde özellikle yeşil enerji olarak geçen binaların PV paneller ile ısıtılması ve yeşil etiket kazandırılmaya çalışılması giderek popülerleşen bir uygulamadır. Bina giydirmesinde panel kullanımı Hindistan'ın on beş farklı eyalatinde incelenmiştir. Burada

panelin yerleştirme açısı ile yüzeydeki ısının değişimi ve elektriksel verimdeki değişiklik bina yüksekliği, binaların birbiri ile aralarındaki mesafeye bağlı olarak ayrıntılı bir şekilde belirtilmiştir [21].

Eloy Díaz-Dorado ve arkadaşları yaptıkları çalışmada gölgelerin sebep olduğu güç kayıplarını minimize etmek için PV panellerde ışımayı takip eden bir sistem üzerinde çalışmışlardır. Gölgelenme ve katkı gölgelenmenin etkileri değerlendirilmiştir. Buna bağlı olarak solar ışıma takipleyici sistemleri için optimum lokasyonu bulmada yeni bir algoritma önerilmiştir. Bu algoritma ile panel verimliliği %4 kadar artırılmıştır [22].

Sourabh Dongaonkar ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada ince film solar hücrelerde gölge etkisini tanımlama, karakterizasyon yapmıştır. Karanlık akımının ne olduğu ayrıntılı bir şekilde tanımlanmıştır [23].

Jin Du ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada kısmi gölgelenme koşullarında solar panel çıkışının kendini kompanze ettiği bir sistem tasarlamıştır. Önerdikleri DMPPT devre ile hem deneysel hem de simülasyon olarak kısmi gölgelenme koşullarında çıkış gücünün arttığını raporlamışlardır. [24]

J. Monedero ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada büyük PV enerji sahalarında gölgeden kaynaklı kayıp sorunu için iki eksenli ışın izleme sistemleri oluşturmak suretiyle kayıpları azaltmışlardır. Burada PV saha içerisinde gölgelenmenin olduğu noktalarda enerji kayıpları ortaya konmaya çalışılmıştır [25].

Şebekeye bağlı PV sistemlerde kısmi gölgelenme şebeke anlamında ciddi sıkıntılar yaratmaktadır. Chris Deline ve arkadaşları, deneysel olarak yaptıkları çalışmada hücreler opak bir maske ile kapatılmış (hücrenin %10 %16 %20 %24 %31 %35 %39 kapatılmıştır.) 25 farklı hücrede gölgelenme yapılarak performans değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmanın sonunda hücrenin verimliliğinin azaldığı gözlenmiştir [26].

Dzung Nguyen ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada solar PV hücreleri gölgelenme koşulları altında deneysel olarak değerlendirilmiştir. Panellerin farklı konfriyü edilmesiyle gölgenin etkisi ortaya koyulmaya çalışılmıştır [27].

Narendra D. Kaushika ve arkadaşları, entelkonekte solar PV panellerin karakteristiklerinin çalışıldığı teorik bir yayın hazırlamışlardır. Burada çeşitli senaryolarla farklı hücreler gölgelendirilmek suretiyle güçteki kayıp ortaya konulmaya çalışılmıştır [28].

M. Tripathy ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada binalara entegre PV panel teknolojisi için panelin yerleştirme açısı ile gölge etkisi arasındaki ilişkiyi değerlendirmiş günün farklı saatleri yılın farklı ayları için panel eğim açısı, bina yüksekliği, binalar arasındaki mesafe ilişkilerini ortaya koymuştur. Sonuçta Hindistan'ın farklı eyaletleri için optimum panel eğim açısını ortaya koymuştur [29].

A. Ibrahim, yaptığı çalışmada deneysel olarak bir solar simülatör hazırlamış burada silikon bir hücrenin I-V karakteristiklerini incelemiştir. Farklı iklim koşulları için %5 ile %15 arasında güç düşümü yaşandığını özellikle fazların bunda belirleyici olduğunu raporlamıştır. Aynı zamanda çalışması ile Isc değerinin %2.78,Voc değerinin ise günlük %0.863 azaldığını raporlamıştır [30].

Murat Ünlü ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada fotovoltaik panellerde önemli bir sorun olan parçalı gölgelenme konusunda detaylı bir analiz yapmıştır. Analiz için 80 Watt gücündeki bir fotovoltaik güneş panelinin Matlab/Simulink ortamında matematiksel modeli tasarlanmıştır. Bu model kullanılarak 6 adet seri bağlı güneş panellerinin çeşitli parçalı gölgelenme durumları incelenmiştir. Fotovoltaik paneller üzerinde ışınım eşit olduğunda yalnızca bir tane Maksimum Güç Noktası (MGN) oluşmuştur. Bunun yanı sıra, parçalı gölgelenme durumlarında, bypass diyotlarının etkisiyle çok sayıda yerel MGN oluşabilmektedir. Parçalı gölgelenme meydana geldiğinde; 1 tane genel ve 1 ya da daha fazla yerel MGN oluşmuştur. Bu çalışmada bilhassa farklı parçalı gölgelenme durumlarında maksimum güç noktalarının nasıl değiştiğinin analizi yapılmıştır [31].

Mimar Seval Turhan ve Y. Doç.Dr. İkbal Çetiner yaptıkları çalışmada, PV panel sistemleri binanın çatısına farklı yöntemlerle uygulamıştır. Çatı uygulamalarında cephe uygulamalarına kıyasla gölgelenme riski daha düşüktür fakat yine de etraftaki yüksek katlı binalar sebebiyle panel üzerine gölge düşme olasılığı bulunmaktadır. Gölgelenmeye neden olan bir diğer faktör ise, PV panellerin birbiri üzerine gölge düşürmesidir. Yapılan bu çalışmada paneller çatı yüzeyinde oluşturulan ızgara sisteminin üzerine, 190^0 'lik çatı eğimine parelel olarak uygulanmıştır. Bu sebeple birbirlerinin üzerine gölge düşürme riski oluşmamıştır fakat burada

gölge riski yaratan bir diğer etmen olarak bacaların varlığından bahsedilmiştir. Bu sebeple, tasarım yapılırken bacalardan dolayı gölgelenecek alanlar hesaplanmış ve paneller bu hesaplar doğrultusunda yerleştirilmiştir. Çalışma sonunda diğer optimum etmenler ile birlikte, doğru eğim açısı ile yerleştirilen ve gölgelenme risklerine karşı önlem alınan PV panellerden maksimum verim elde edilmesinin mümkün olduğu tespit edilmiştir [32].

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. SAHA ÖLÇÜM EKİPMANLARI

Bu çalışmada, iki tür farklı fotovoltaik panel kullanılmıştır. Bunlardan ilki sektörde de çok yaygın olarak kullanılan monokristal paneller diğeri de son beş yılda popülerlik kazanan ince film paneller tercih edilmiştir.

Bu çalışmada güneş ışığının miktarını ölçmek için Benning PV 2 ölçüm cihazı kullanılmıştır. Benning PV 2 cihazının duyarlılığı + 5 V'tur. Benning PV 2 cihazı 200 mA test akımıyla koruyucu topraklama iletken direnci ölçümü,solar modüllerin veya 1000 V DC'ye kadar olan PV dizilerinin açık devre gerilim ölçümü (U_{oc}),kullanıcı için herhangi bir tehlike oluşturmadan 15 A DC'ye kadar bir iç devre üzerinden kısa devre akım ölçümü (I_{sc}) özelliklerine sahiptir. 1000 W/m2 ışınım altında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde kullanılan cihaza ait fotoğraf Şekil 3.1 'de verilmiştir.



Şekil 3.1:Deneylerde Kullanılan Ölçüm Cihazı.

Güneş ışınlarının gelme açısı ve panelin yerleştirme açısı birbirine dik olacak şekilde ayarlanmıştır. İstanbul Avcılar bölgesi için Azimuth açısı 40^o uygulanmış ve paneller bu pozisyona getirilmiştir.

Bulutlar, ağaçlar, baca vb. herhangi bir olasılık ihtimali bırakılmayıp gölgelenmede her bir hücrenin kapatılmasına olanak sağlayan 12,5 x12,5 cm kalınlığında hazırlanmış mukavvalarla panellerin sırasıyla hücreleri Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'de görüldüğü gibi kapatılmıştır.



Şekil 3.2:Monokristal ve İnce Film Paneller.

Bu çalışma açık havada bulutsuz ortamda yapılmıştır. Güneş ışınlarının geliş açısı ile panelin konumu birbirine dik olacak şekilde düzenlenmiştir. Benning PV 2 cihazı ile güneş ışınımları 1000 W/m2 iken ölçüm alınmıştır. Elde ettiğimiz güç değerleri panellerin optimum güç değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.3:Mukavvalar ile Gölgeleme Etkisi Oluşturulması.

3.2. GÜVENİLİRLİK ANALİZİ YÖNTEMİ "WEIBULL DAĞILIMI"

Weibulll dağılımı, ilk olarak 1951 yılında Waloddi Weibull tarafından makinelerin yaşam sürelerini tahmin etmek amacıyla kendi adıyla ortaya konmuş bir dağılımdır. Günümüzde ise yaşam süreli veri analizinde ve mühendislikte yer alan istatistiksel modellerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bilindiği üzere, değişkenin belli aralıkta herhangi bir değer alabildiği tesadüfi olayları tanımlamak için sürekli tesadüfi değişkenler kullanılmaktadır. Weibull dağılımı da bu anlamda sürekli ve aynı zamanda esnek bir dağılımdır. Pek çok uygulamada teorik olarak uygun çözümler sağlar.

Günümüzde yaşam süreli veya başarısızlık oranları ile ilgili veri analizinde sıkça kullanılan Weibull olasılık dağılımı, çoğunlukla iki parametreli logaritmik bir model içermektedir. Weibull olasılık dağılımının parametreleri, değişik yöntemler ile öngörülebilir. Bu yöntemler içinde yaygın kullanılanlar, grafik yöntemi, en küçük kareler yöntemi, maksimum benzerlik yöntemi, moment yöntemidir. Grafik yönteminde, sadece grafik ortamında şekil yardımı ile bir tahmin yapılırken, diğer yöntemlerde matematiksel eşitlikler ve istatistiksel özellikler kullanılarak öngörüler yapılmaktadır.

Bir sistemin güvenilirliği ve çalışması o sistemi oluşturan çeşitli elemanların güvenilirliğine dayalıdır. Dayanabileceğinden fazla bir yükün etkisinde kalan bir sistem elemanı ya da malzeme yorulabilir, yorulma kırılması ile gücünü kaybedebilir. Benzeyen çevre şartları altında bulunan benzer elemanlar farklı ve önceden kestirilemeyen zamanlarda yorulma dolayısıyla kırılabilir veya bozulabilir.

Weibull dağılımı bozulma oranı fonksiyonu (α ve β parametreleri olmak üzere) denklem 3.1'de gösterildiği gibidir.

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \tag{3.1}$$

Bu denklemde α ölçü parametresi (karakteristik ömür) ve β şekil parametresidir. Şekil parametresi bozulma oranını tanımlayan bir büyüklüktür. $\beta = 1$ değerinde Weibull dağılımı eksponansiyel modele dönüşür. β □ 1 ise bozulma oranı azalmakta, β □ 1 ise bozulma artmaktadır.

Belli bir etki altında bırakılan elemanlar her ne kadar aynı zamanda bozulmasalar da ölçülen zamanlar belli bir uyum gösterirler. Elde edilen zamanlardan oluşturulan Weibull dağılımına göre benzer örnekler arasından seçilen bir parçanın bir t zamanında bozulma olasılığı denklem 3.2'de belirtildiği gibidir.

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}\right] \tag{3.2}$$

F(t) birikimli olasılık dağılım fonksiyonudur. Cumulative Distribution Function CDF) α ve β parametreleri, gözlem sonuçlarına Maksimum olabilirlik (Maximum Likelihood), Lineer Regresyon, grafik ve moment (MOM) metodları uygulanarak hesaplanabilir.

Birikimli olasılık dağılım fonksiyonunun türevini alarak olasılık yoğunluk fonksiyonu (Probability Density Function PDF) $f(t)$ denklem 3.3 elde edilir.

$$\frac{dF(t)}{dt} = f(t) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}\right] \tag{3.3}$$

Bir parçanın bozulacağı ya da sağlam kalacağı olasılığından yola çıkarak bozulma olasılığıyla bozulmama olasılığı toplamının 1 eşit olacağını söyleyebiliriz. Bu durumda parçanın sağlam kalma ihtimali yani güvenilirliği denklem 3.4'teki gibi hesaplanır.

$$R(t) = 1 - F(t) \tag{3.4}$$

3.2.1 WEIBULL DAĞILIMI KULLANIM ALANLARI

Endüstriyel mühendislik alanında fabrikasyon ve mal teslim zamanlarını temsil etmek için modellemelerde Weibull dağılımı kullanılmaktadır. Weibull dağılımı metrolojide hava tahmin modellemesinde önemli bir rol oynamaktadır. Radar sistemlerinin modelleme alanında da kullanılmaktadır. Weibull dağılımı oldukça yaygın olarak rüzgâr hızı dağılımını tanımlamak için kullanılır çünkü doğasal pratik rüzgar hızı çizelgelerine teorik Weibull şekli oldukça uygun olmaktadır.

Mehmet Kurban ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, Weibull dağılımı kullanılarak Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampüsü için 2005 yılı Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarına ait rüzgâr karakteristiklerinin aylık değişimini incelemiş, ortalama rüzgâr hızı ve enerji yoğunluğu hesaplamaları yapmıştır. Weibull dağılımının parametrelerini bulmada ise Moment Metodu kullanılmıştır. Rüzgâr hız verilerinin standart sapması beklenen değerler arasında çıkmıştır. Bu çalışma Eskişehir bölgesinin rüzgâr enerjisi potansiyeli hakkında yaklaşık olarak bilgi sahibi olmak ve bu konuda gerekli faaliyetleri yapabilmek amacıyla yapılmıştır [33].

Mehmet Danacı ve arkadaşları bu çalışmada, istatistiksel parça güvenilirliğinde Weibull dağılımının kullanımı için tahmin algoritmalarını ele almıştır. Bu çalışmada, tamamlanmış veriler için Weibull uyumluluk testlerini yapan, Weibull parametrelerinin ve yüzdeliklerinin en çok olabilirlik ve ağırlıklı en küçük kareler yöntemleriyle nokta tahminlerini gerçekleştiren algoritmalar geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma arayüzünün kullanımı DC motorların hata zamanlarına ait tamamlanmış veriler üzerinde gösterilmiştir [34].

Mukden Uğur ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, laboratuvar koşullarında yapay olarak oluşturulan çeşitli dış etkenler altında polimerik yalıtkan malzemenin bozulma süresini araştırmak için Eğik Düzlem Yüzeyde İz Oluşumu Test metoduna uygun olarak çeşitli testler yapmıştır. Her testte sadece bir dış veya iç etken değiştirilerek bu etkenin polimerik test örneği üzerindeki eskitme yeteneğini incelemiştir. Sonuçta tek bir etkenin değişmesi ile test örneğinin bozulma süresini çok iyi bir yaklaşıkla verebilen bir istatistik model geliştirilip elde etmiştir.

Bu çalışma polyester yalıtkanlar için bozulma zamanını doğru bir yaklaşıklıkla kestirebilen bir istatistiksel model içermektedir. Bu model çeşitli gerilim, sıvı akış hızı ve uygulanan kuvvet gerilimleri için uygun sonuçlar vermiştir. Elde edilen model ile hesaplanan bozulma süreleri deneysel sonuçlarla gayet uyumlu olduğunu gözlemlemiştir. Bu çalışmada deneysel sonuçlardan faydalanılarak önerilen weibull eştliğini kullanılarak oldukça uyumlu sonuçlar elde etmişlerdir [35].

4. BULGULAR

Monokristal ve ince film panellerimizin hücrelerini 12,5 x 12,5 cm ölçülere sahip mukavvalarla yatay ve dikey olmak üzere sırasıyla 1 hücre 2 hücre 3 hücre kapalı olacak şekilde hücrelerini kapatarak Benning PV 2 cihazıyla ölçüm alınmıştır. Alınan ölçümler Benning PV 2 cihazının yazılım programına aktarılarak grafikler elde edilmiştir. Bu grafiklerden aynı zamanda optimum güç değerleri de okunmuştur. Aşağıda sırasıyla monokristal panel için Tablo 4.1'de dikey hücreler kapatılarak elde edilen güç değerleri verilmiş, Tablo 4.2'de yatay hücreler kapatılarak elde edilen güç değerleri verilmiş; ince film panel için Tablo 4.3'de yatay hücreler kapatılarak elde edilen güç değerleri verilmiş; Tablo 4.4'de dikey hücreler kapatılarak elde edilen güç değerleri verilmiştir.

Tablo 4.1: Monokristal panel için dikeyde her bir hücre kapatıldığında elde edilen gerilim ve güç değerleri

4 **0,3 W**	**8** **0,2 W**	**12** **0,1 W**	**16** **0 W**	**20** **Kesim**	**4,3 V**	**0**
3 **0,4 W**	**7** **0,1 W**	**11** **Kesim**	**15** **Kesim**	**19** **0 W**	**23** **0 W**	**2 V**
2 **0,6 W**	**6** **0,1 W**	**10** **0,1 W**	**14** **kesim**	**18** **Kesim**	**22** **Kesim**	**3 V**
1 **1,6 W**	**5** **0,2 W**	**9** **0,1 W**	**13** **0,1 W**	**17** **Kesim**	**21** **Kesim**	**3.7 V**

Tablo 4.2: Monokristal panel için yatayda her bir hücre kapatıldığında elde edilen gerilim ve güç değerleri

4,3 V	3,3 V	2,6 V	2,4 V	1,5 V	1,1 V	0
15 0 W	16 Kesim	17 Kesim	18 kesim	19 0 W	20 Kesim	4,6 V
8 Kesim	9 0,1 W	10 0,1 W	11 0 W	12 Kesim	13 Kesim	14 Kesim
1 1,3 W	2 0,9 W	3 0,2 W	4 0,1 W	5 0,1 W	6 0,1 W	7 kesim



Tablo 4.3: İnce film panel için yatayda her bir hücre kapatıldığında elde edilen gerilim ve güç değerleri

22 Kesim	23 Kesim	24 Kesim	25 kesim	26 0 W	27 Kesim	28 kesim
15 kesim	16 Kesim	17 Kesim	18 kesim	19 kesim	20 Kesim	21 Kesim
8 kesim	9 kesim	10 Kesim	11 kesim	12 kesim	13 Kesim	14 0 W
1 42,7 W	2 7,4 W	3 0,4 W	4 kesim	5 kesim	6 kesim	7 0,1 W



Tablo 4.4: İnce film panel için dikeyde her bir hücre kapatıldığında elde edilen gerilim ve güç değerleri

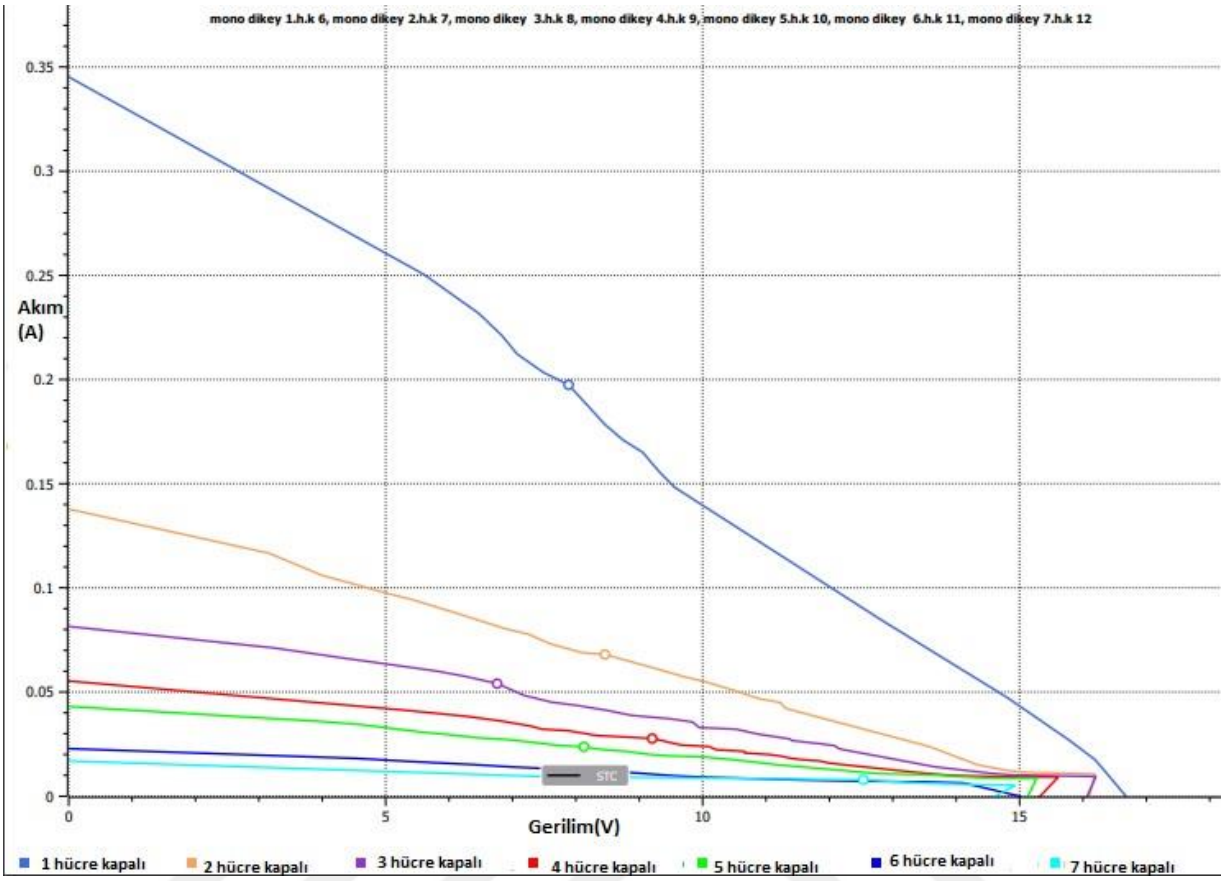


4 **0,1 W**	**8** **kesim**	**12** **kesim**	**16** **Kesim**	**20** **kesim**	**24** **kesim**	**29** **kesim**
3 **0,3 W**	**7** **kesim**	**11** **0,1 W**	**15** **kesim**	**19** **kesim**	**23** **kesim**	**28** **Kesim**
2 **7,8 W**	**6** **kesim**	**10** **kesim**	**14** **0,1 W**	**18** **kesim**	**22** **kesim**	**27** **kesim**
1 **43,3 W**	**5** **kesim**	**9** **kesim**	**13** **0,1 W**	**17** **kesim**	**21** **kesim**	**26** **Kesim**

4.1. MONOKRİSTAL PANELİN ÖLÇÜM SONUÇLARI

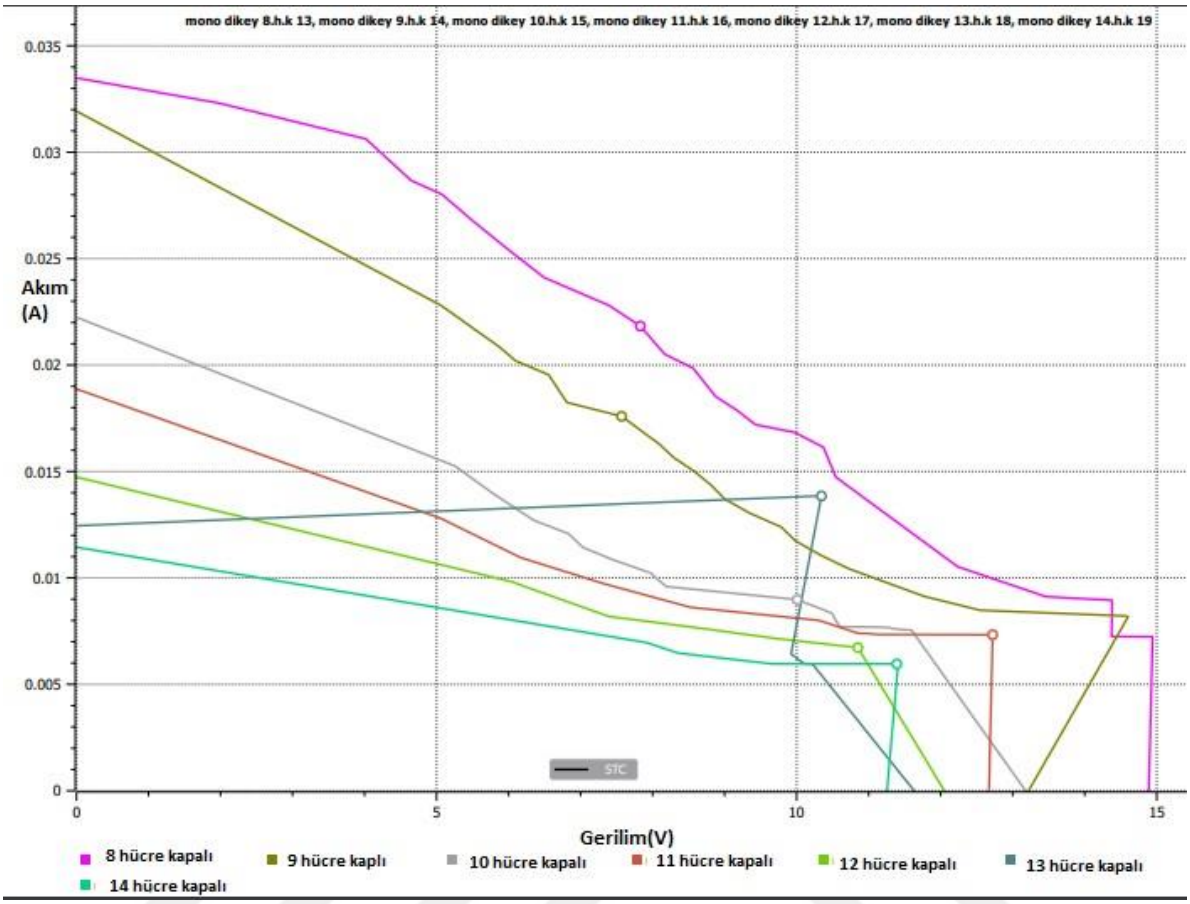
4.1.1. Hücrelerin Dikey Doğrultuda Kapatılması Sonucu Elde Edilen Veriler

Bu bölümde monokristal panelin hücrelerinin dikey doğrultuda sırasıyla kapatılması sonucu elde edilen akım gerilim grafikleri verilmiştir. MPP noktaları grafiklerde içi boş yuvarlak şeklinde gösterilmiştir.



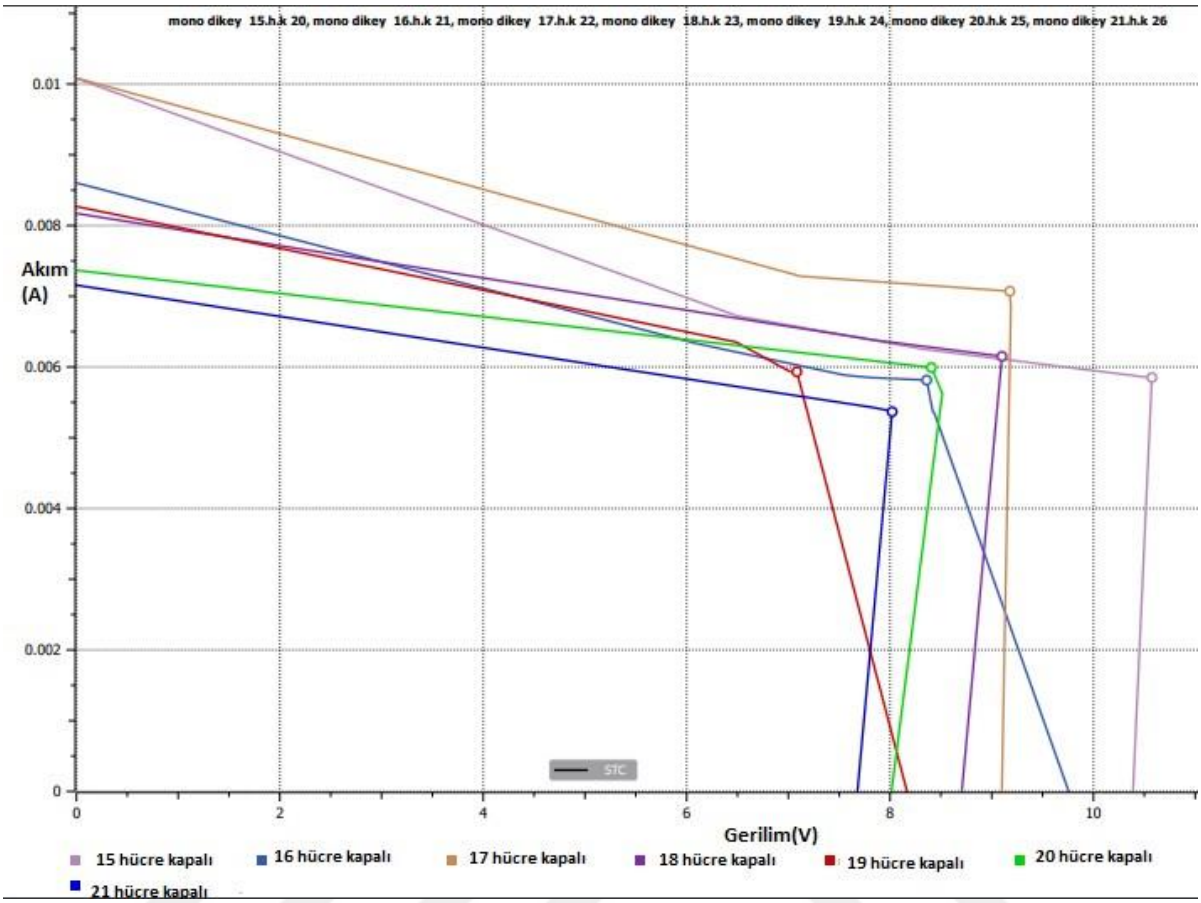
Şekil 4.1: Monokristal panelin dikey doğrultuda sırasıyla 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 tane hücresinin kapatılması durumunda akım – gerilim eğrisi.

Şekil 4.1 ‘de monokristal panelin dikey doğrultuda 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 tane hücresinin kapatılması durumundaki akım gerilim eğrisi verilmiştir. Kapatılan hücre sayısı arttıkça akım gerilim eğrisinde akım giderek azalmış ve MPP noktalarının şekildeki yuvarlaklarla gösterildiği üzere giderek kaydığı ve azaldığı ölçülüp hesaplanmıştır.



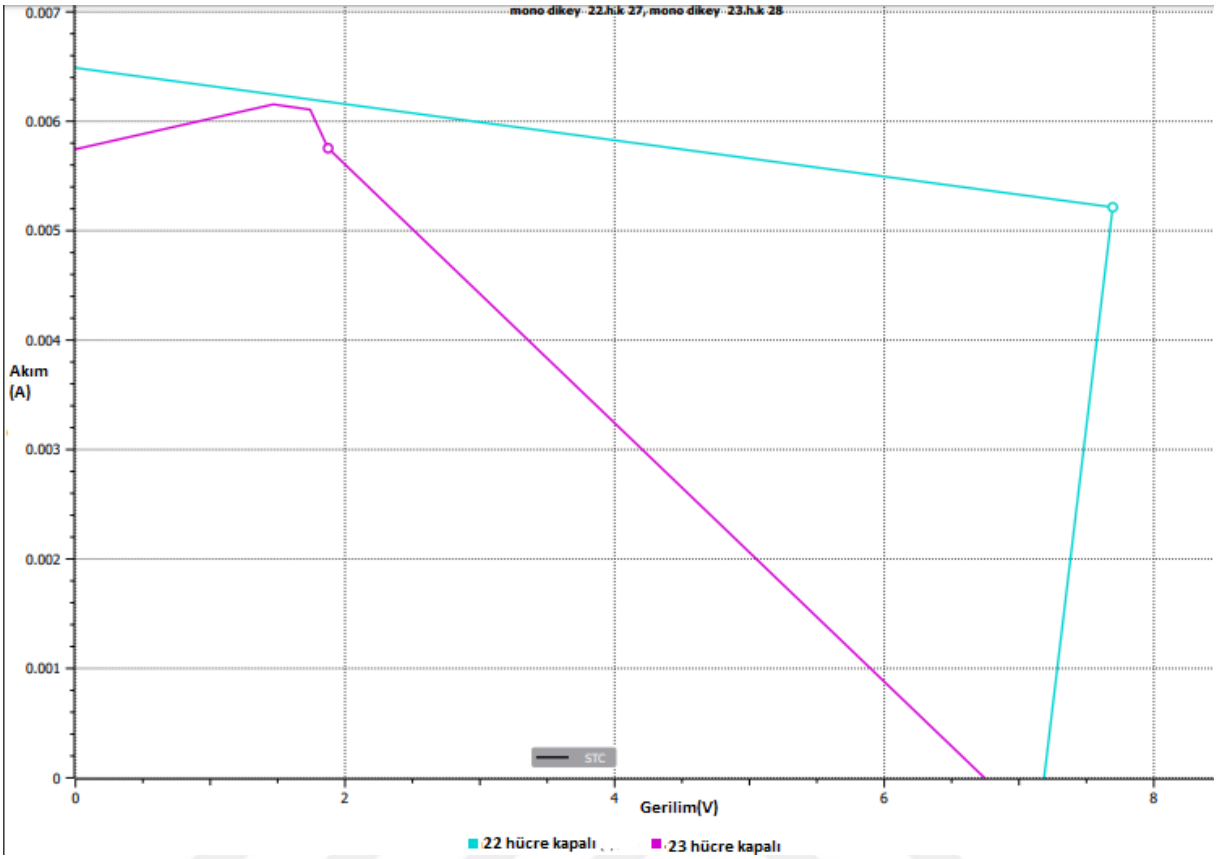
Şekil 4.2: Monokristal panelin dikey doğrultuda sırasıyla 8, 9, 10, 11, 12, 13 ve 14 tane hücresinin kapatılması.

Şekil 4.2' de monokristal panelin dikey doğrultuda 8, 9, 10, 11, 12, 13 ve 14 tane hücresinin kapatılması durumundaki akım gerilim eğrisi verilmiştir. Akım değerlerinde düşüşün kapatılan hücre sayısı ile doğru orantılı olduğu gözlenmiştir. MPP noktalarının şekildeki yuvarlaklarla gösterildiği üzere giderek kaydığı ölçülüp hesaplanmıştır.



Şekil 4.3: Monokristal panelin dikey doğrultuda sırasıyla 15, 16, 17, 18, 19, 20 ve 21 tane hücresinin kapatılması.

Şekil 4.3' de monokristal panelin dikey doğrultuda 15, 16, 17, 18, 19, 20 ve 21 tane hücresinin kapatılması durumundaki akım gerilim eğrisi verilmiştir. Kapatılan hücre sayısı arttıkça akım gerilim eğrisinde akım giderek azalmıştır.

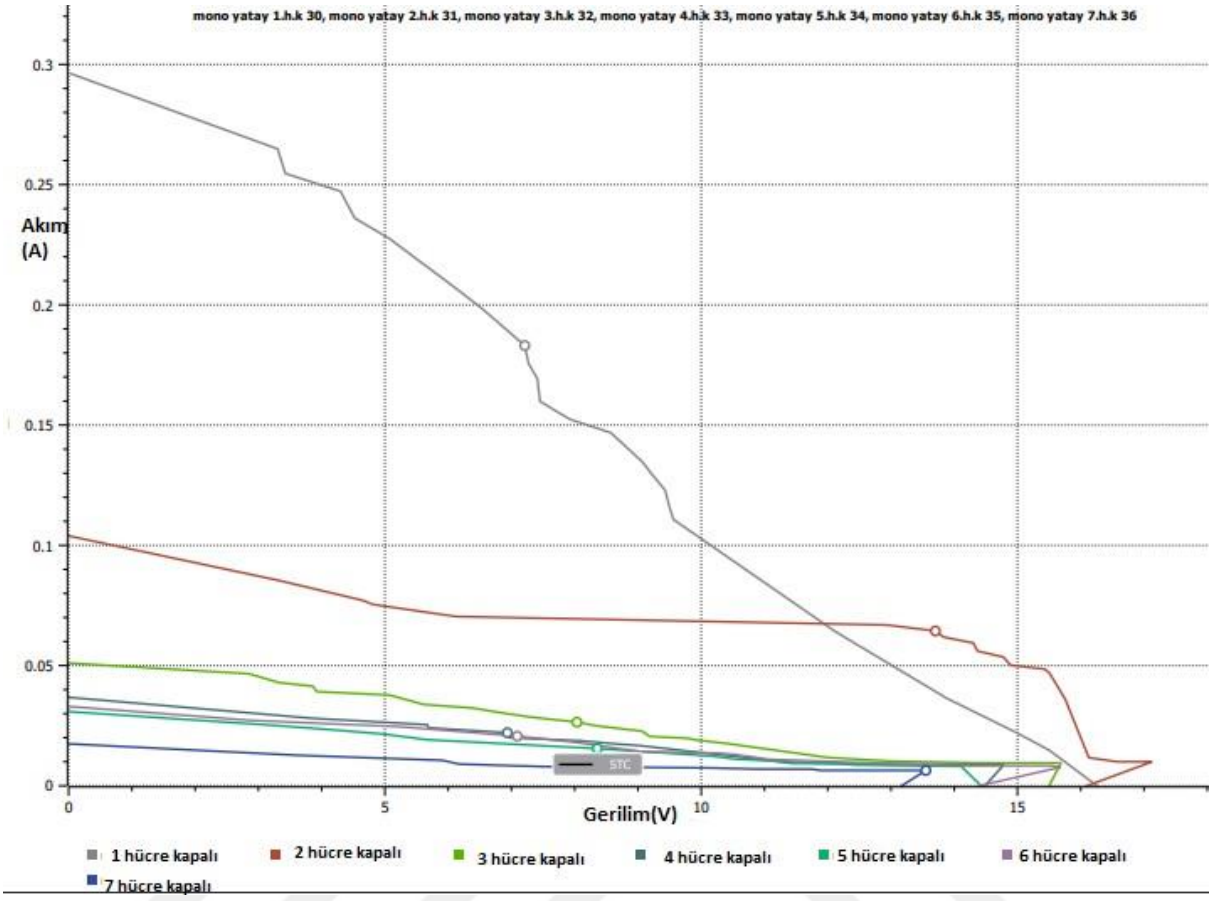


Şekil 4.4: Monokristal panelin dikey doğrultuda sırasıyla 22 ve 23 tane hücresinin kapatılması.

Şekil 4.4 ‘de monokristal panelin dikey doğrultuda 22 ve 23 tane hücresinin kapatılması durumundaki akım gerilim eğrisi verilmiştir. Mukavvalarla kapatılan hücre sayısı arttıkça akım gerilim eğrisinde akım giderek azalmıştır. MPP noktalarının şekildeki yuvarlaklarla gösterildiği üzere giderek kaydığı ölçülüp hesaplanmıştır.

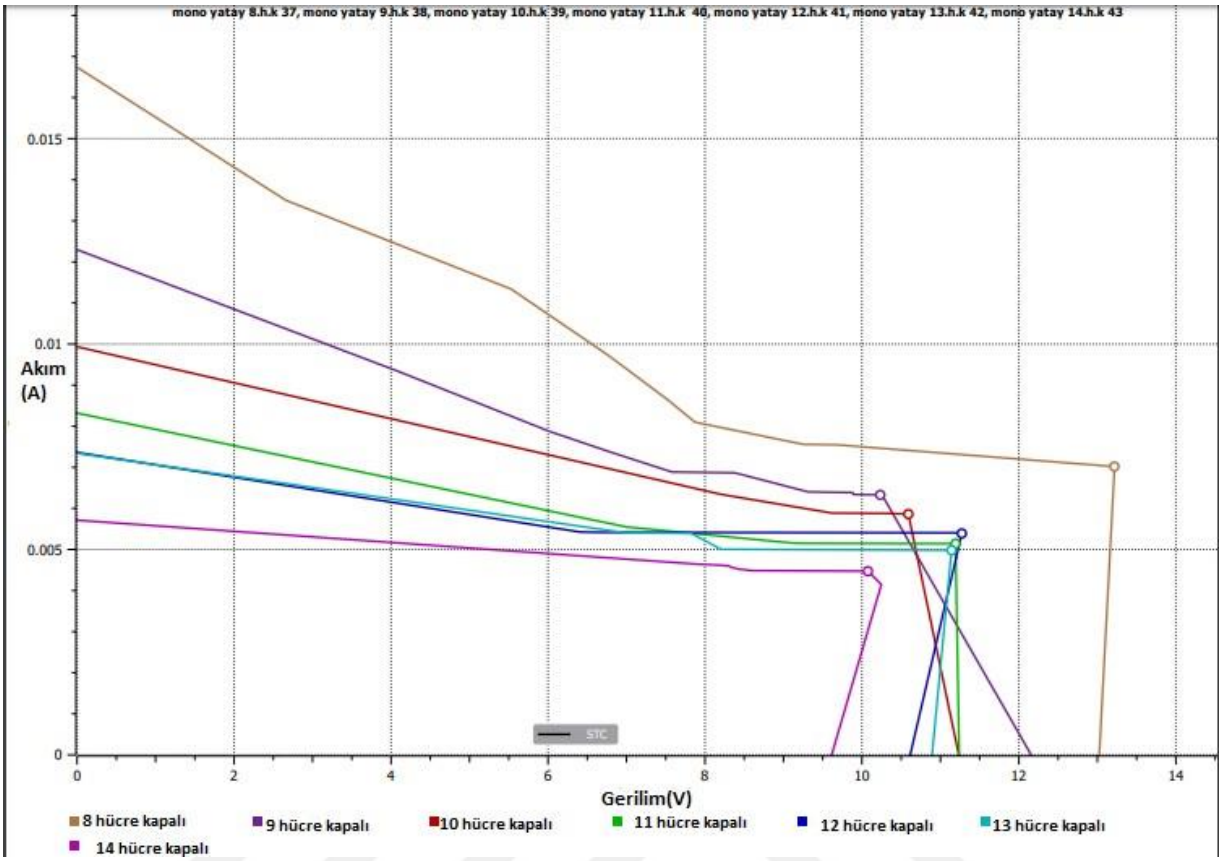
4.1.2. Hücrelerin Yatay Doğrultuda Kapatılması Sonucu Elde Edilen Veriler

Bu bölümde monokristal panelin hücrelerinin yatay doğrultuda sırasıyla kapatılması sonucu elde edilen akım gerilim grafikleri verilmiştir. MPP noktaları grafikler üzerinde içi boş yuvarlaklar olarak gösterilmiştir.



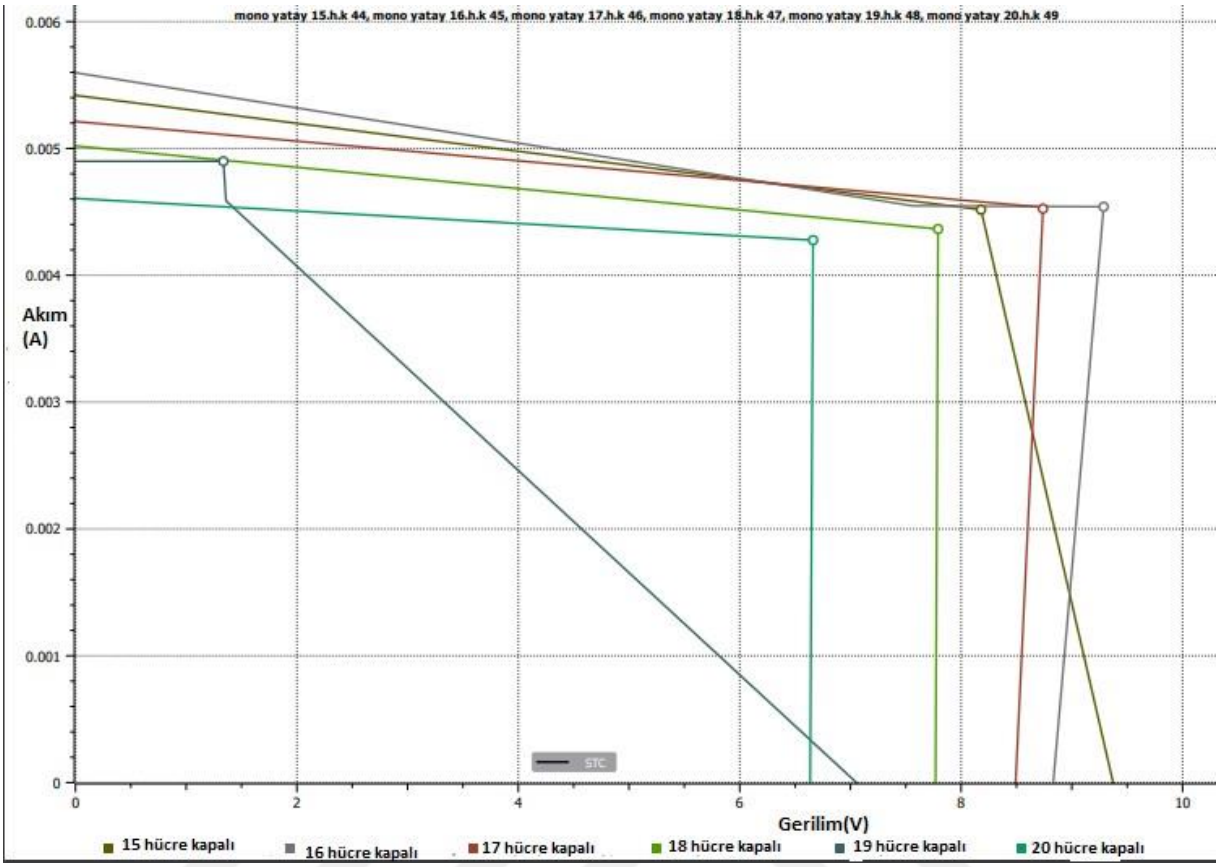
Şekil 4.5: Monokristal panelin yatay doğrultuda sırasıyla 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 tane hücresinin kapatılması.

Şekil 4.5'de monokristal panelin yatay doğrultuda 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 tane hücresinin kapatılması durumundaki akım gerilim eğrisi verilmiştir. Kapatılan hücre sayısı arttıkça akım gerilim eğrisinde akım giderek azalmış ve MPP noktalarının şekildeki yuvarlaklarla gösterildiği üzere giderek kaydığı ve azaldığı ölçülüp hesaplanmıştır.



Şekil 4.6: Monokristal panelin yatay doğrultuda sırasıyla 8, 9, 10, 11, 12, 13 ve 14 tane hücresinin kapatılması.

Şekil 4.6 ‘da monokristal panelin yatay doğrultuda 8, 9, 10, 11, 12, 13 ve 14 tane hücresinin kapatılması durumundaki akım gerilim eğrisi verilmiştir. Mukavvalarla kapatılan hücre sayısı arttıkça akım gerilim eğrisinde akım giderek düşmüştür.



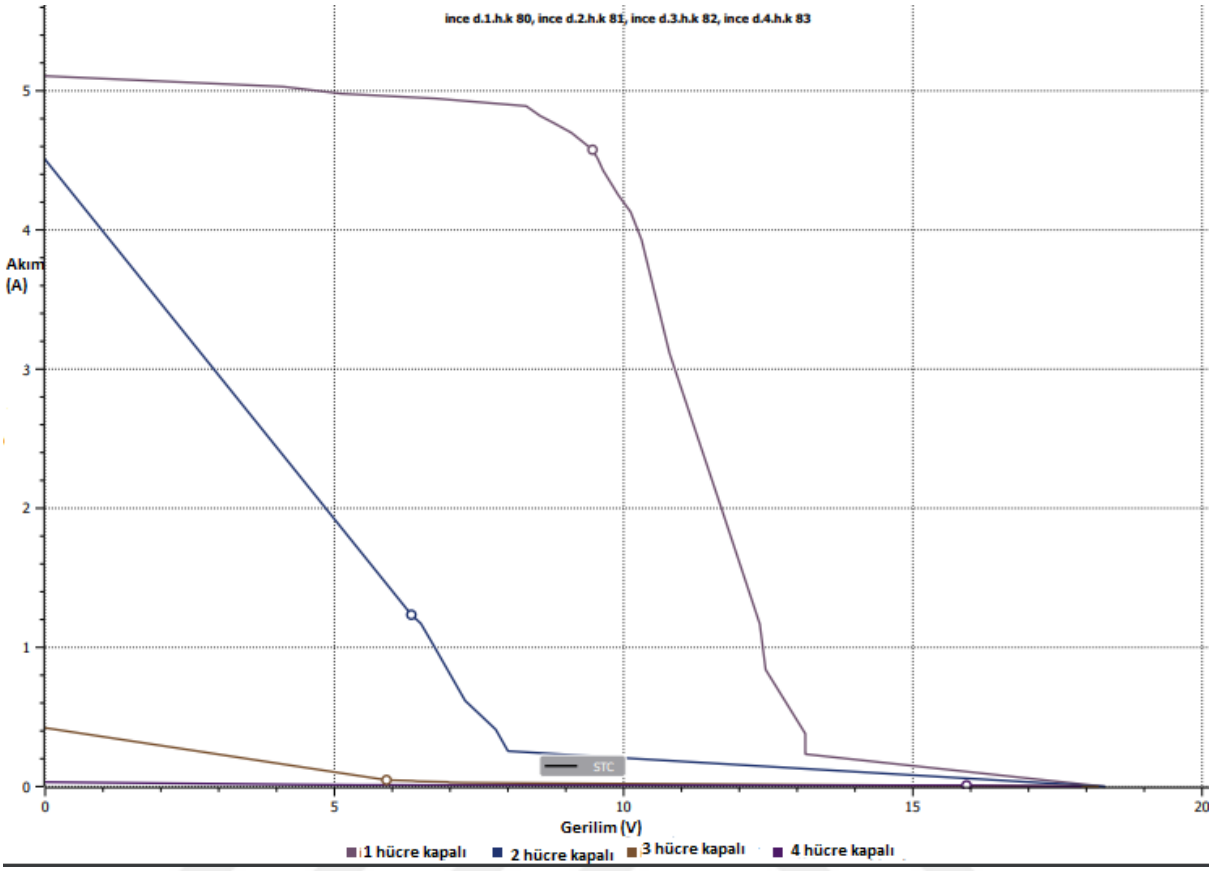
Şekil 4.7: Monokristal panelin yatay doğrultuda sırasıyla 15, 16, 17, 18, 19 ve 20 tane hücresinin kapatılması.

Şekil 4.7' de monokristal panelin yatay doğrultuda 15, 16, 17, 18, 19 ve 20 tane hücresinin kapatılması durumundaki akım gerilim eğrisi verilmiştir. Kapatılan hücre sayısı artış oldukça akım gerilim eğrisinde akım değerleri giderek azalmış ve MPP noktalarının şekildeki yuvarlaklarla gösterildiği üzere giderek kaydığı ölçülüp hesaplanmıştır.

4.2 İNCE FİLM PANELİN ÖLÇÜM SONUÇLARI

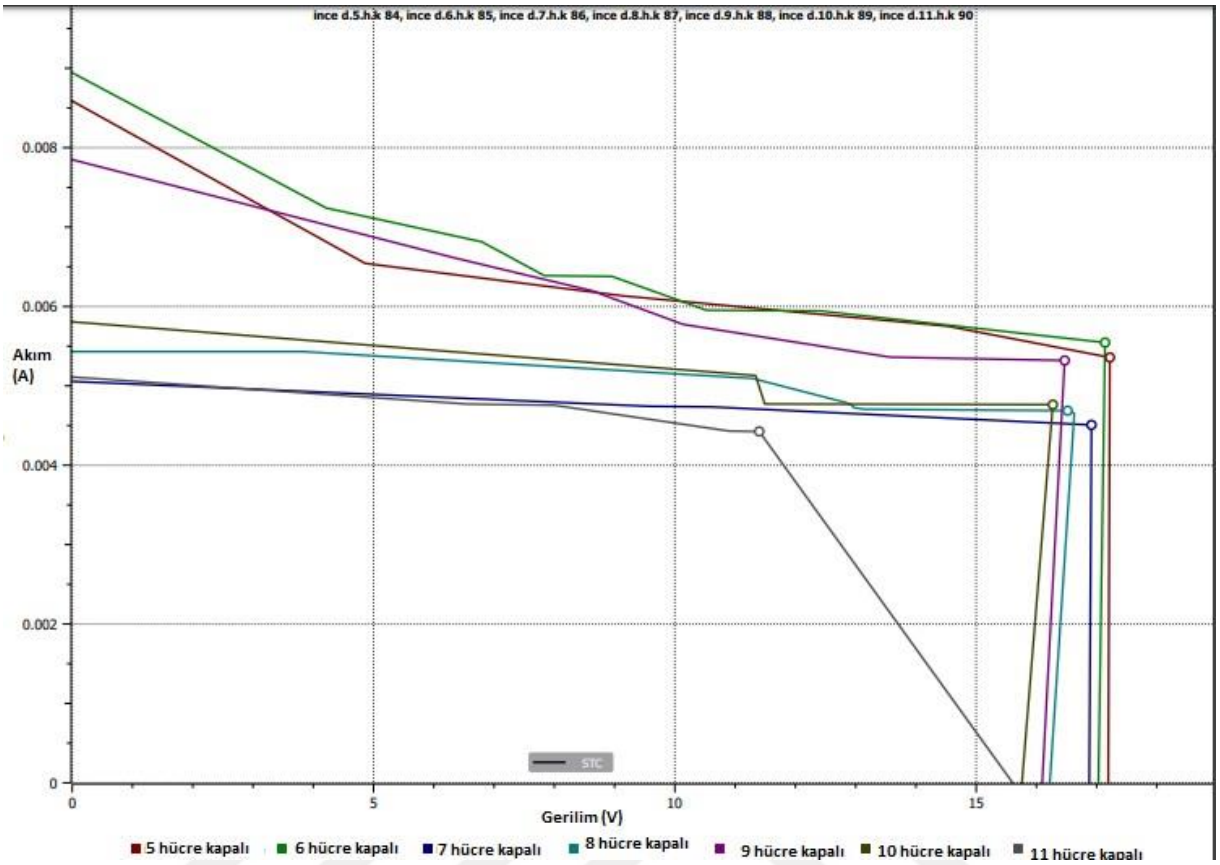
4.2.1 Hücrelerin Dikey Doğrultuda Kapatılması

Aşağıda ince film panelin hücrelerinin dikey doğrultuda sırasıyla kapatılması sonucu elde edilen akım gerilim grafikleri verilmiştir. MPP noktaları grafikler üzerinde içi boş yuvarlaklar olarak gösterilmiştir.



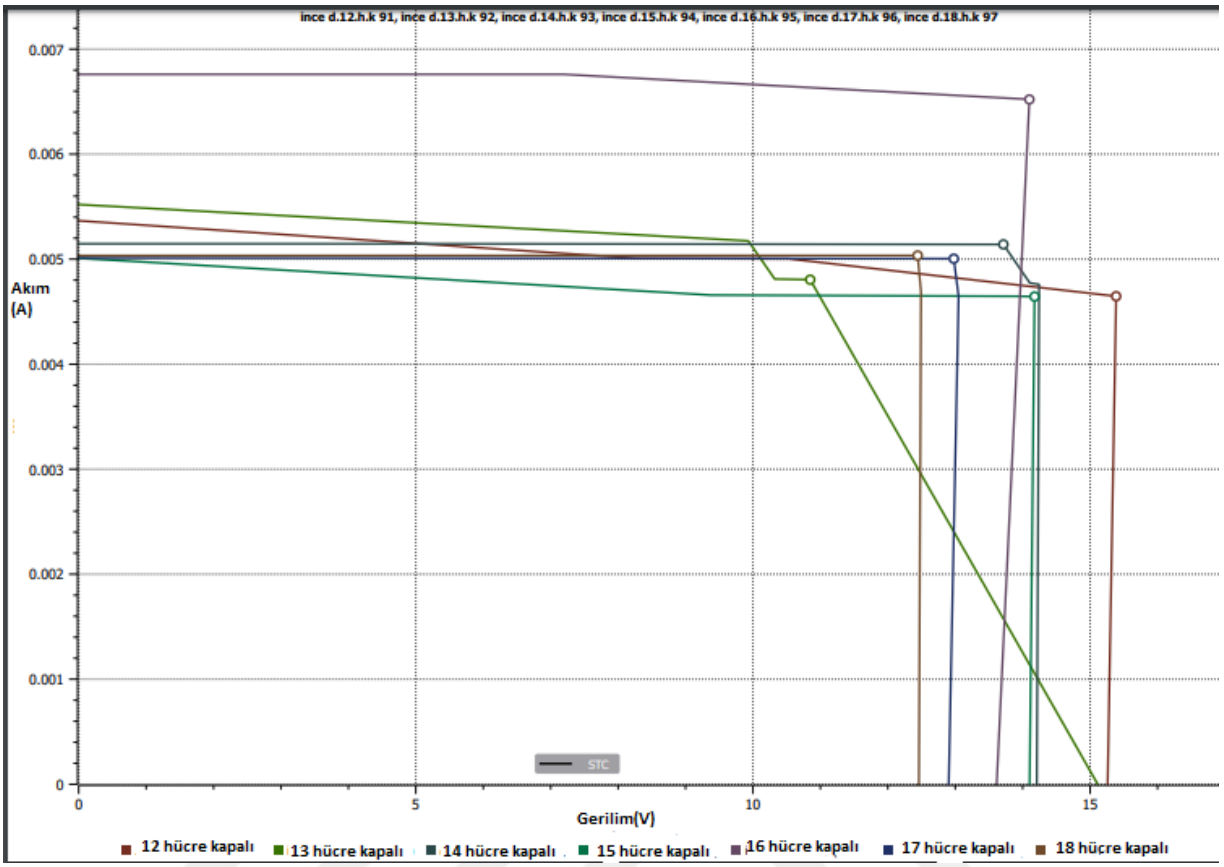
Şekil 4.8: İnce film panelin dikey doğrultuda sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 tane hücresinin kapatılması.

Şekil 4.8 ‘de ince film panelin dikey doğrultuda 1, 2, 3, 4 tane hücresinin kapatılması durumundaki akım gerilim eğrisi verilmiştir. Kapatılan hücre sayısı arttıkça akım gerilim eğrisinde akım giderek azalmış ve MPP noktalarının şekildeki yuvarlaklarla gösterildiği üzere giderek kaydığı ve azaldığı ölçülüp hesaplanmıştır.



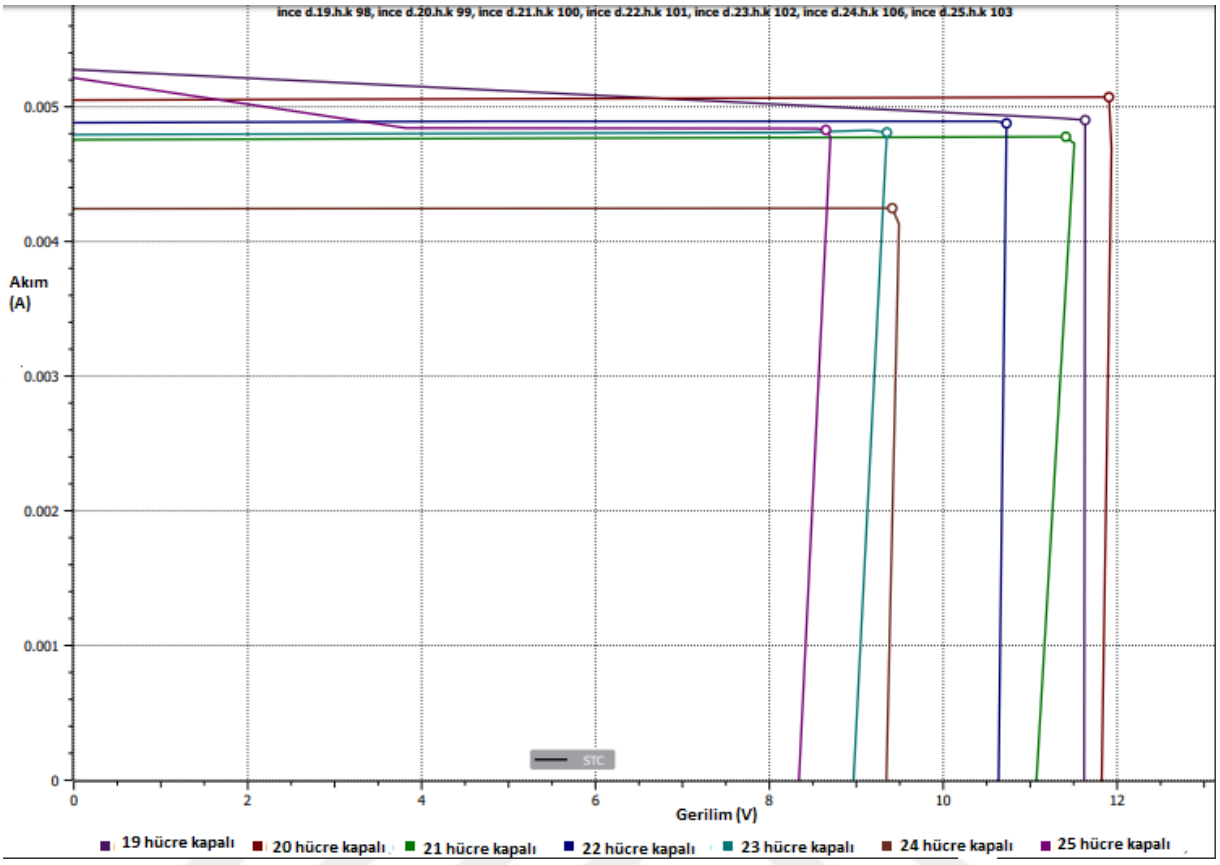
Şekil 4.9:İnce film panelin dikey doğrultuda sırasıyla 5, 6, 7, 8, 9, 10 ve 11 tane hücresinin kapatılması.

Şekil 4.9 ‘da ince film panelin dikey doğrultuda 5, 6, 7, 8, 9, 10 ve 11 tane hücresinin kapatılması durumundaki akım gerilim eğrisi verilmiştir. Mukavvalarla kapatılan hücre sayısı arttıkça akım gerilim eğrisinde akım giderek azalmıştır. MPP noktalarının şekildeki yuvarlaklarla gösterildiği üzere giderek kaydığı gözlenmiştir.



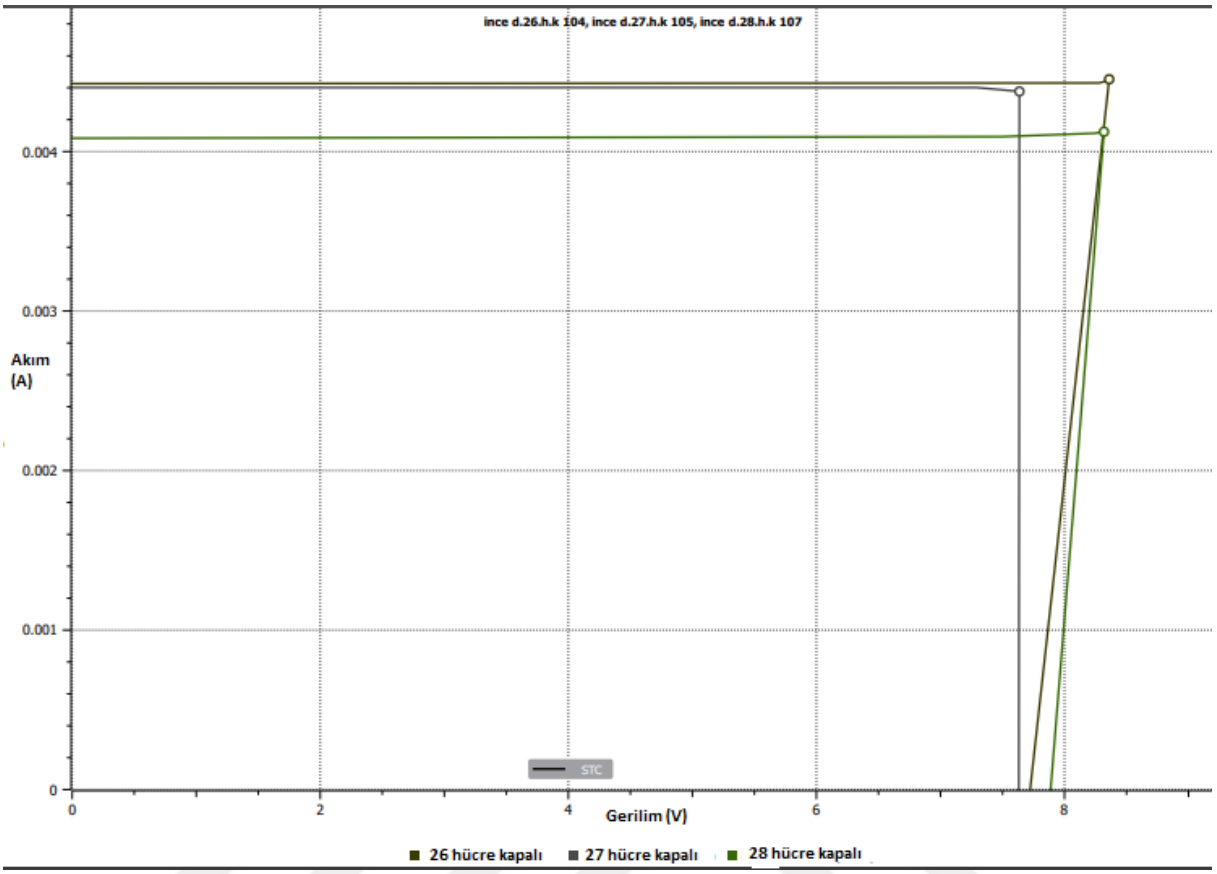
Şekil 4.10:İnce film panelin dikey doğrultuda sırasıyla 12, 13, 14, 15, 16, 17 ve 18 tane hücresinin kapatılması.

Şekil 4.10' da ince film panelin dikey doğrultuda 12, 13, 14, 15, 16, 17 ve 18 tane hücresinin kapatılması durumundaki akım gerilim eğrisi verilmiştir. MPP noktalarının şekildeki yuvarlaklarla gösterildiği üzere giderek kaydığı ve azaldığı ölçülüp hesaplanmıştır.



Şekil 4.11: İnce film panelin dikey doğrultuda sırasıyla 19, 20, 21, 22, 23, 24 ve 25 tane hücresinin kapatılması.

Şekil 4.11' de ince film panelin dikey doğrultuda 19, 20, 21, 22, 23, 24 ve 25 tane hücresinin kapatılması durumundaki akım gerilim eğrisi verilmiştir. Kapatılan hücre sayısı arttıkça akım gerilim eğrisinde akım giderek azalmış ve MPP noktalarının şekildeki yuvarlaklarla gösterildiği üzere giderek kaydığı ve azaldığı ölçülüp hesaplanmıştır.

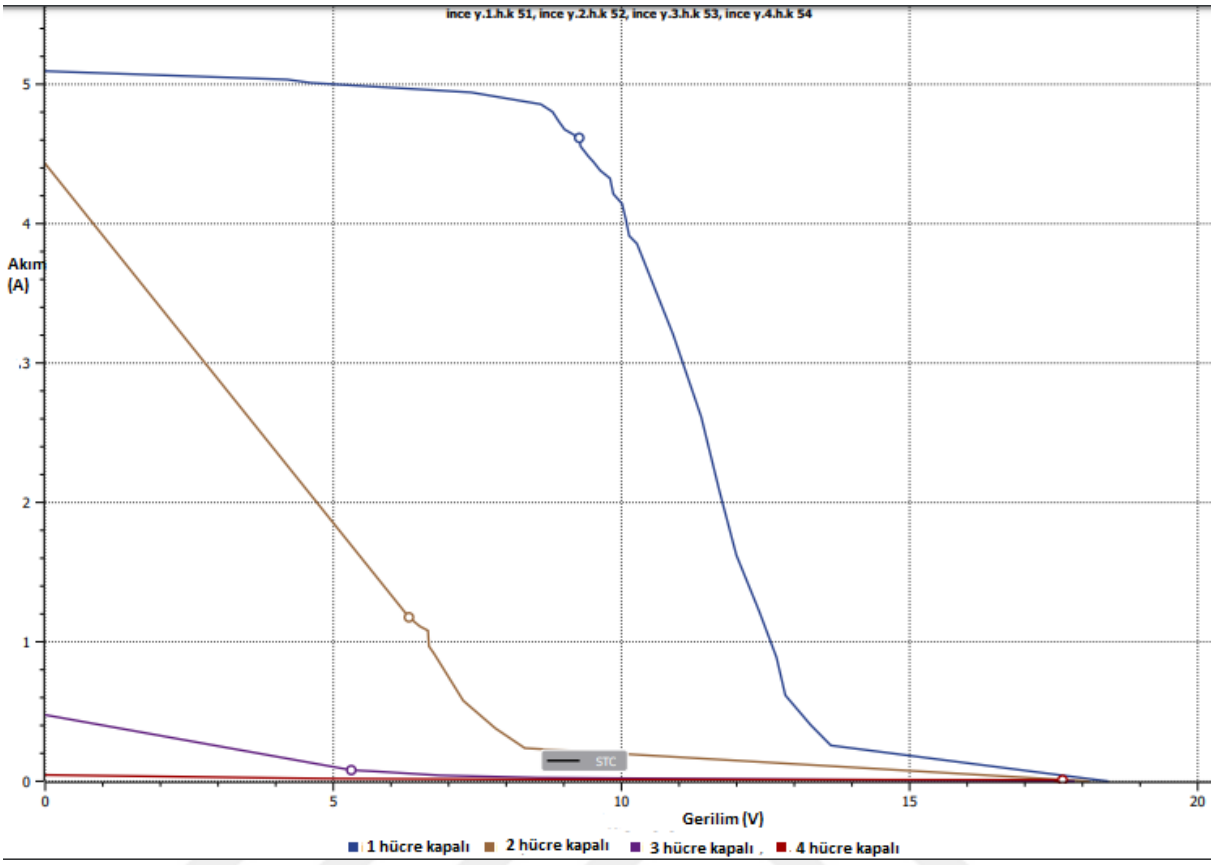


Şekil 4.12: İnce film panelin dikey doğrultuda sırasıyla 26, 27 ve 28 tane hücresinin kapatılması.

Şekil 4.12' de ince film panelin dikey doğrultuda 26, 27 ve 28 tane hücresinin kapatılması durumunda ki akım gerilim eğrisi verilmiştir. Kapatılan hücre sayısı arttıkça akım gerilim eğrisinde akım giderek azalmış ve MPP noktalarının şekildeki yuvarlaklarla gösterildiği üzere giderek kaydığı, azaldığı ölçülüp hesaplanmıştır.

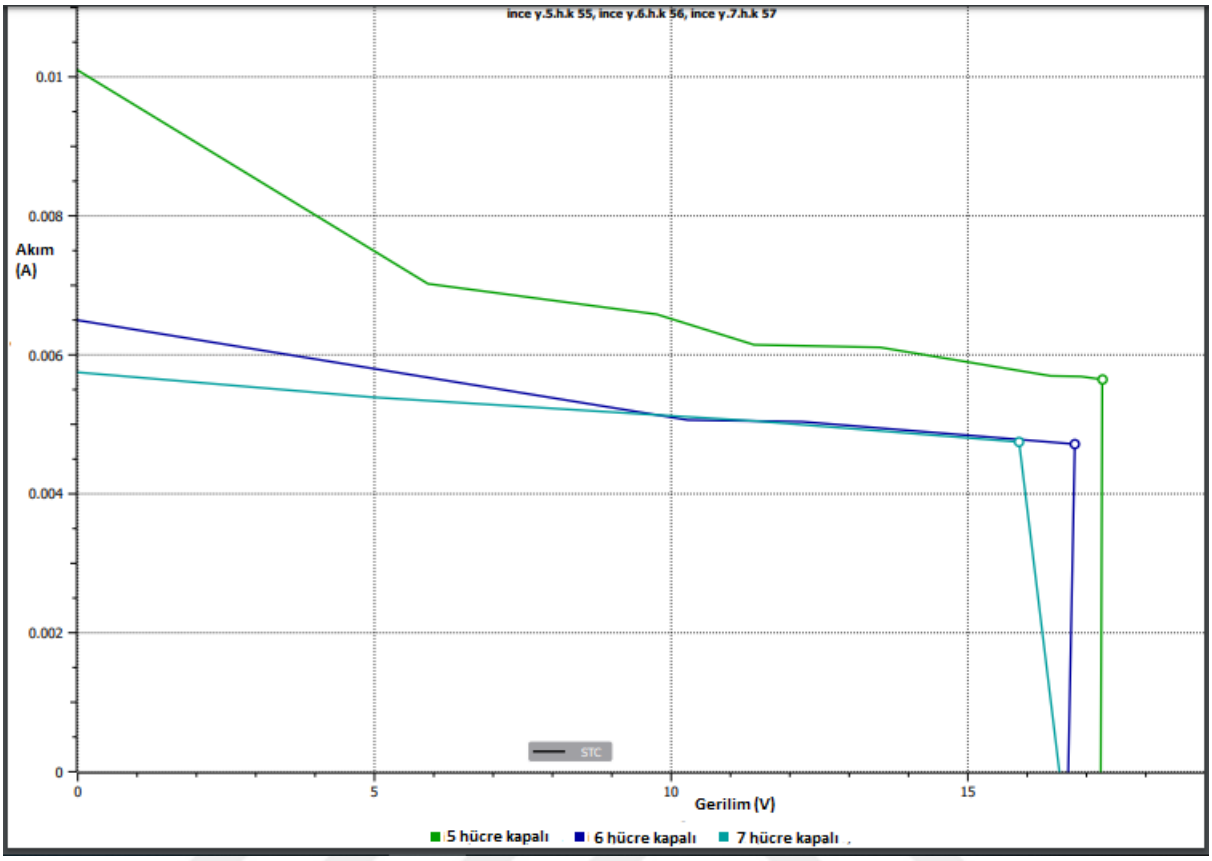
4.2.2 Hücrelerin Yatay Doğrultuda Kapatılması

Aşağıda ince film panelin hücrelerinin yatay doğrultuda sırasıyla kapatılması sonucu elde edilen akım gerilim grafikleri verilmiştir. MPP noktaları grafikler üzerinde içi boş yuvarlaklar olarak gösterilmiştir.



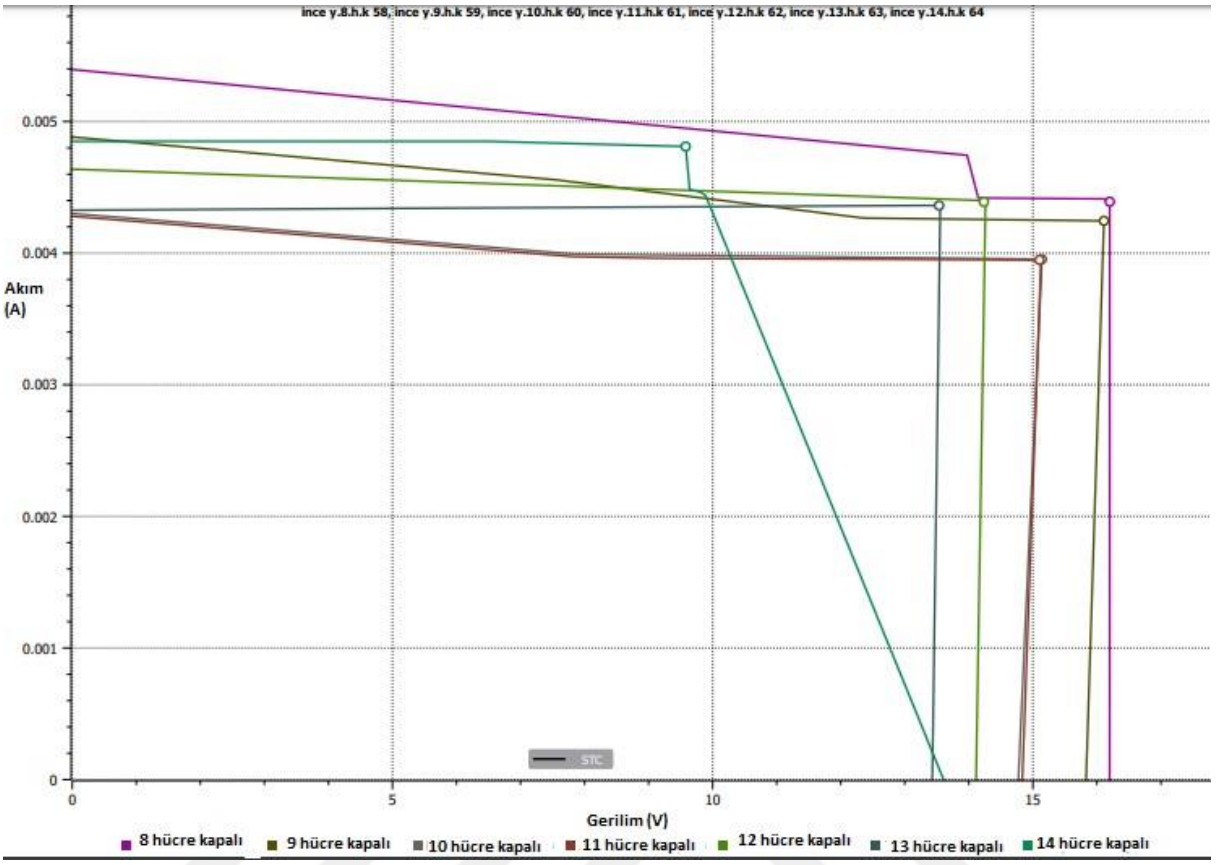
Şekil 4.13: İnce film panelin yatay doğrultuda sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 tane hücresinin kapatılması.

Şekil 4.13' de ince film panelin yatay doğrultuda 1, 2, 3 ve 4 tane hücresinin kapatılması durumundaki akım gerilim eğrisi verilmiştir. Kapatılan hücre sayısı arttıkça akım gerilim eğrisinde akım giderek azalmış ve MPP noktalarının şekildeki yuvarlaklarla gösterildiği üzere giderek kaydığı, azaldığı ölçülüp hesaplanmıştır.



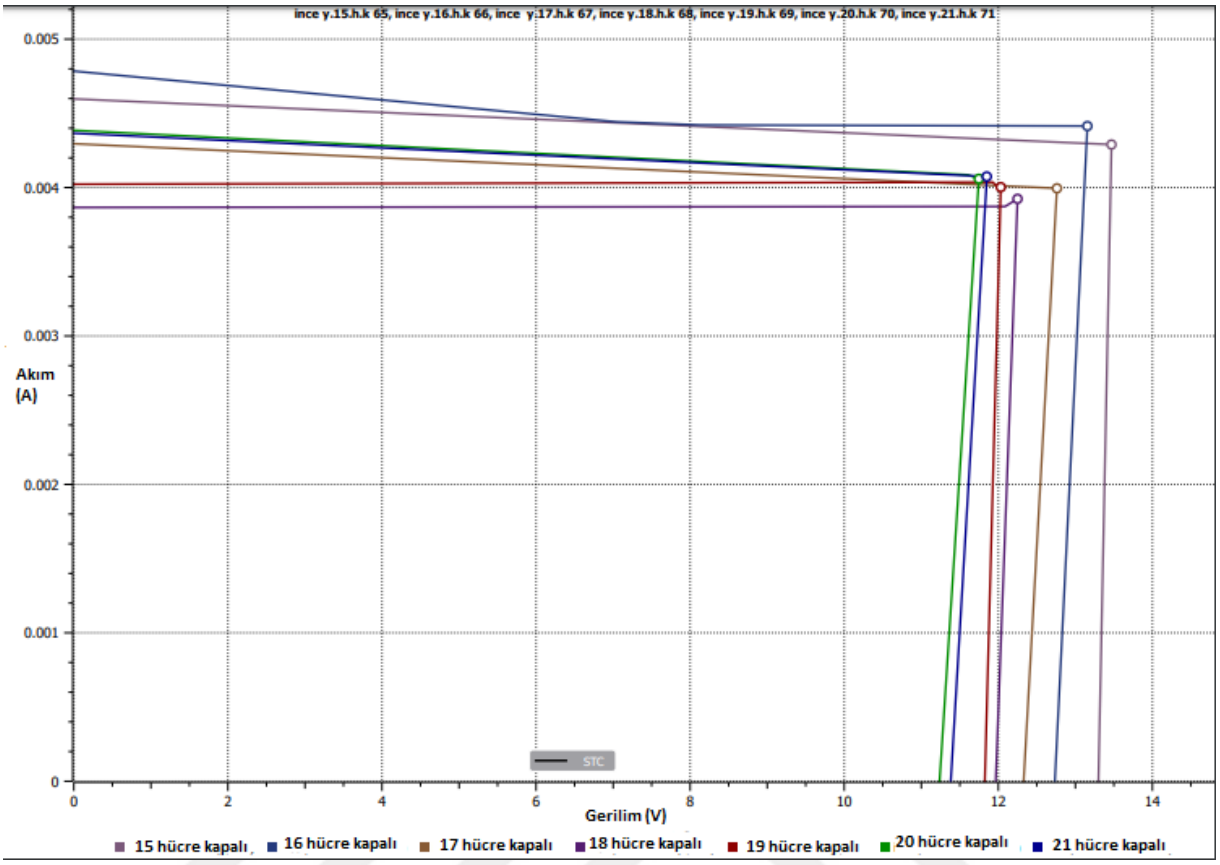
Şekil 4.14: İnce film panelin yatay doğrultuda sırasıyla 5, 6 ve 7 tane hücresinin kapatılması.

Şekil 4.14' de ince film panelin yatay doğrultuda 5, 6 ve 7 tane hücresinin kapatılması durumunda ki akım gerilim eğrisi verilmiştir. Kapatılan hücre sayısı arttıkça akım gerilim eğrisinde akım giderek azalmış ve MPP noktalarının şekildeki yuvarlaklarla gösterildiği üzere giderek kaydığı, azaldığı ölçülüp hesaplanmıştır.



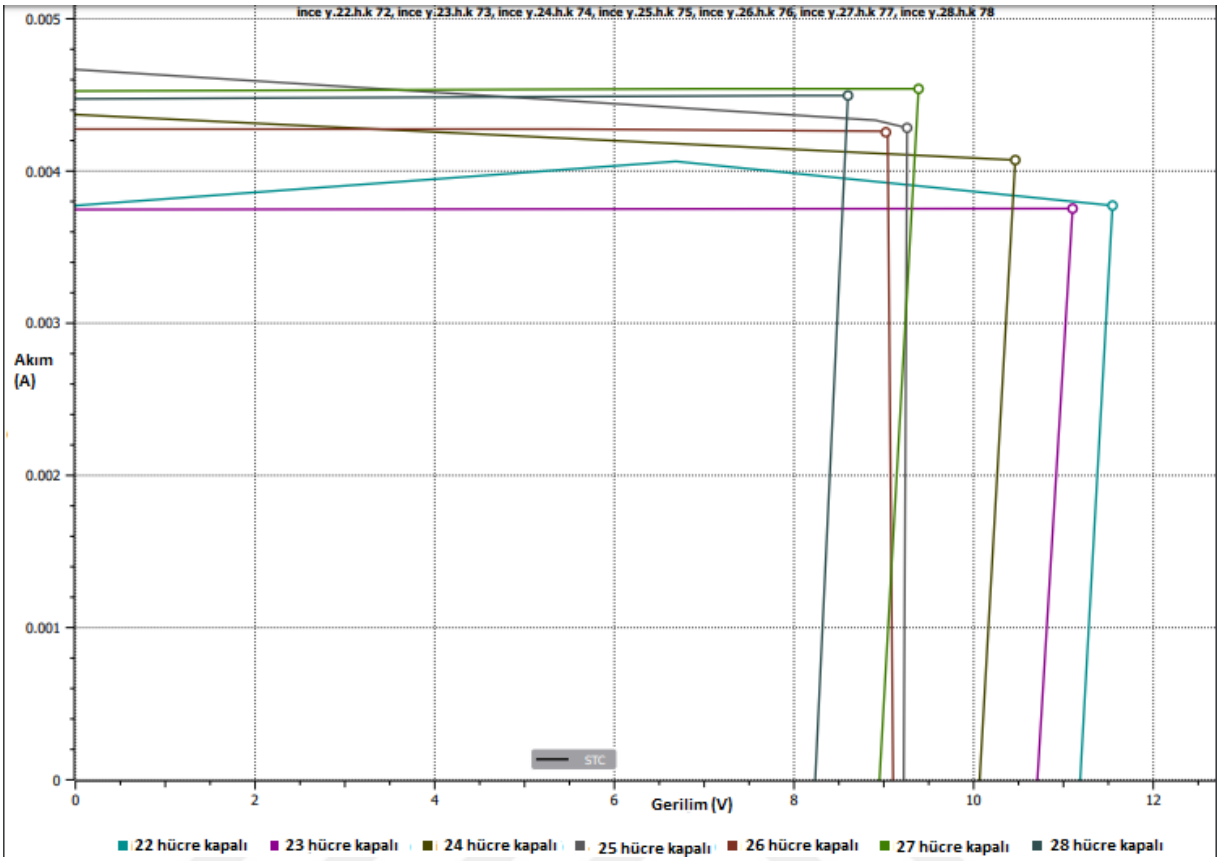
Şekil 4.15: İnce film panelin yatay doğrultuda sırasıyla 8, 9, 10, 11, 12, 13 ve 14 tane hücresinin kapatılması.

Şekil 4.15' de ince film panelin yatay doğrultuda 8, 9, 10, 11, 12, 13 ve 14 tane hücresinin kapatılması durumundaki akım gerilim eğrisi verilmiştir. Kapatılan hücre sayısı arttıkça akım gerilim eğrisinde akım giderek azalmış ve MPP noktalarının şekildeki yuvarlaklarla gösterildiği üzere giderek kaydığı, azaldığı ölçülüp hesaplanmıştır.



Şekil 4.16: İnce film panelin yatay doğrultuda sırasıyla 15, 16, 17, 18, 19, 20 ve 21 tane hücresinin kapatılması.

Şekil 4.16' da ince film panelin yatay doğrultuda 15, 16, 17, 18, 19, 20 ve 21 tane hücresinin kapatılması durumundaki akım gerilim eğrisi verilmiştir. Kapatılan hücre sayısı arttıkça akım gerilim eğrisinde akım giderek azalmış ve MPP noktalarının şekildeki yuvarlaklarla gösterildiği üzere giderek kaydığı, azaldığı ölçülüp hesaplanmıştır.



Şekil 4.17: İnce film panelin yatay doğrultuda sırasıyla 22, 23, 24, 25, 26, 27 ve 28 tane hücresinin kapatılması.

Şekil 4.17 ‘de ince film panelin yatay doğrultuda 22, 23, 24, 25, 26, 27 ve 28 tane hücresinin kapatılması durumundaki akım gerilim eğrisi verilmiştir. Kapatılan hücre sayısı arttıkça akım gerilim eğrisinde akım giderek azalmış ve MPP noktalarının şekildeki yuvarlaklarla gösterildiği üzere giderek kaydığı, azaldığı not alınmıştır.

4.3 GÜVENİLİRLİK ANALİZİ

Bu deneysel çalışmada panellerden elde edilen gerilim seviyeleri 0 ‘dan farklı olduğu için gerilim değerleri üzerinden analizler yapılmıştır. Yani her bir kapanan hücreye göre çıkan 4 farklı durumun önce Weibull uyumluluk analizleri yapılmış sonrasında ise güvenirlikleri hesaplanmıştır. Weibull parametrelerinin tahmini için Grafik Metot ve Maksimum Likelihood Metotları kullanılmıştır. İncelemeler 4 farklı durum üzerinden yapılmıştır. Bunlar ;

Durum 1: Monokristal yatay hücre kapamaları sonrası elde edilen akım gerilim ölçümlerinin değerlendirilmesi,

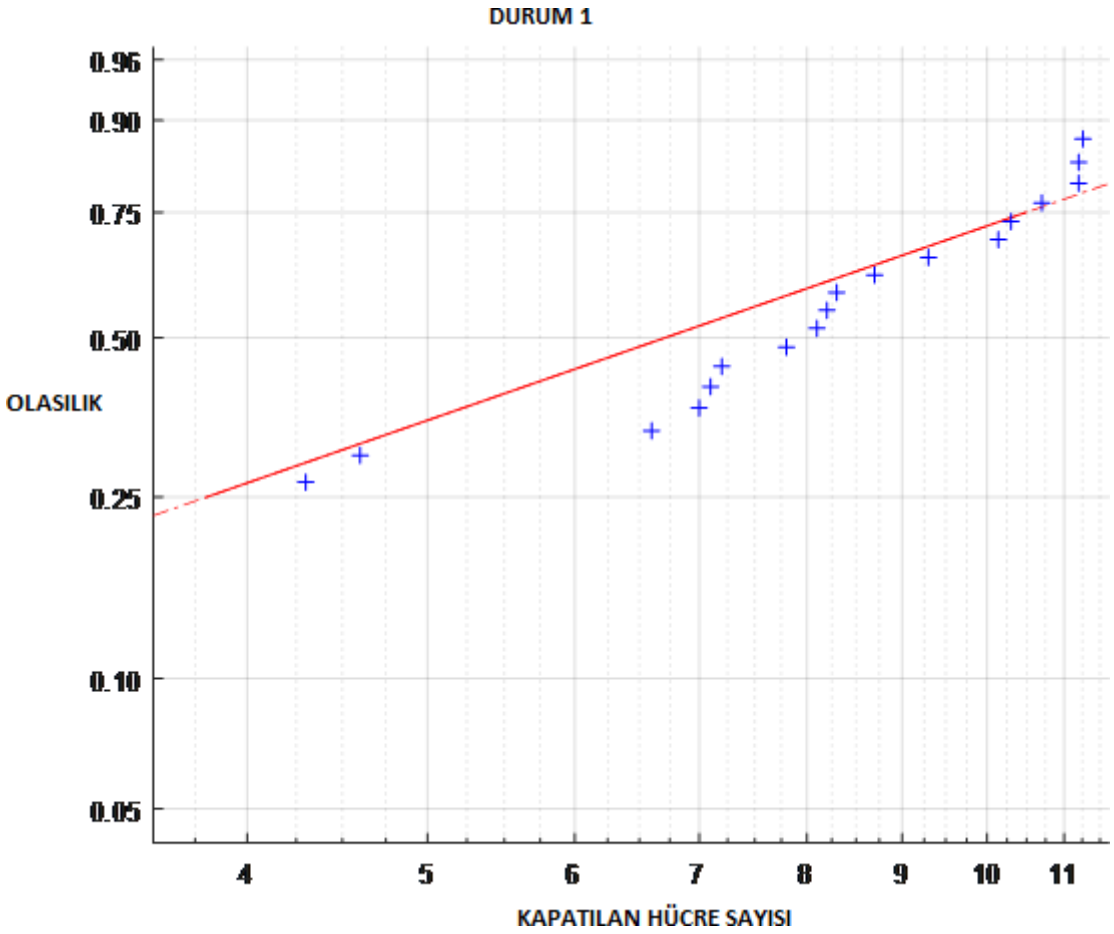
Durum 2: Monokristal dikey,

Durum 3: İnce-film yatay,

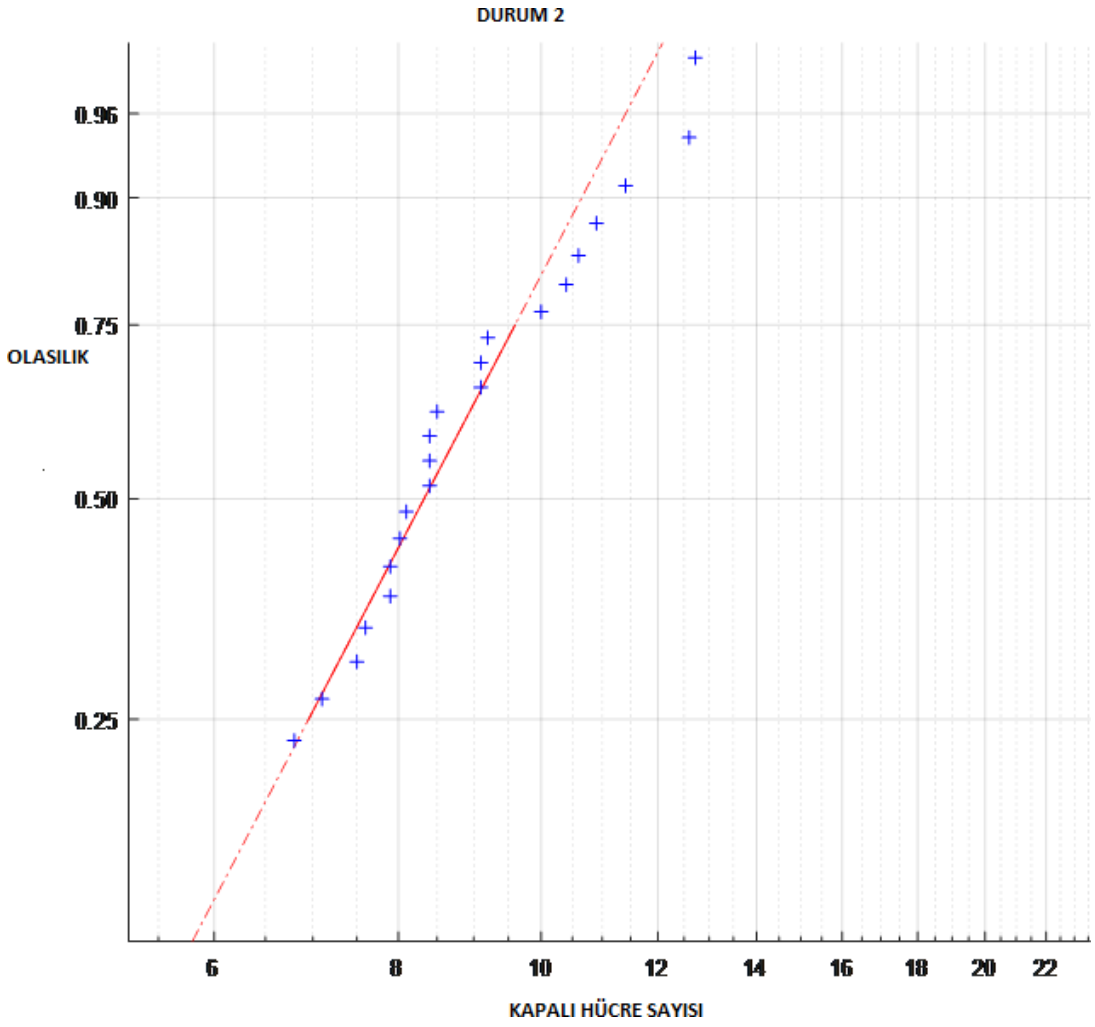
Durum 4: İnce-film dikey, olarak seçilmiştir.

Her bir durum için hesaplanan şekil ve ölçek parametreler

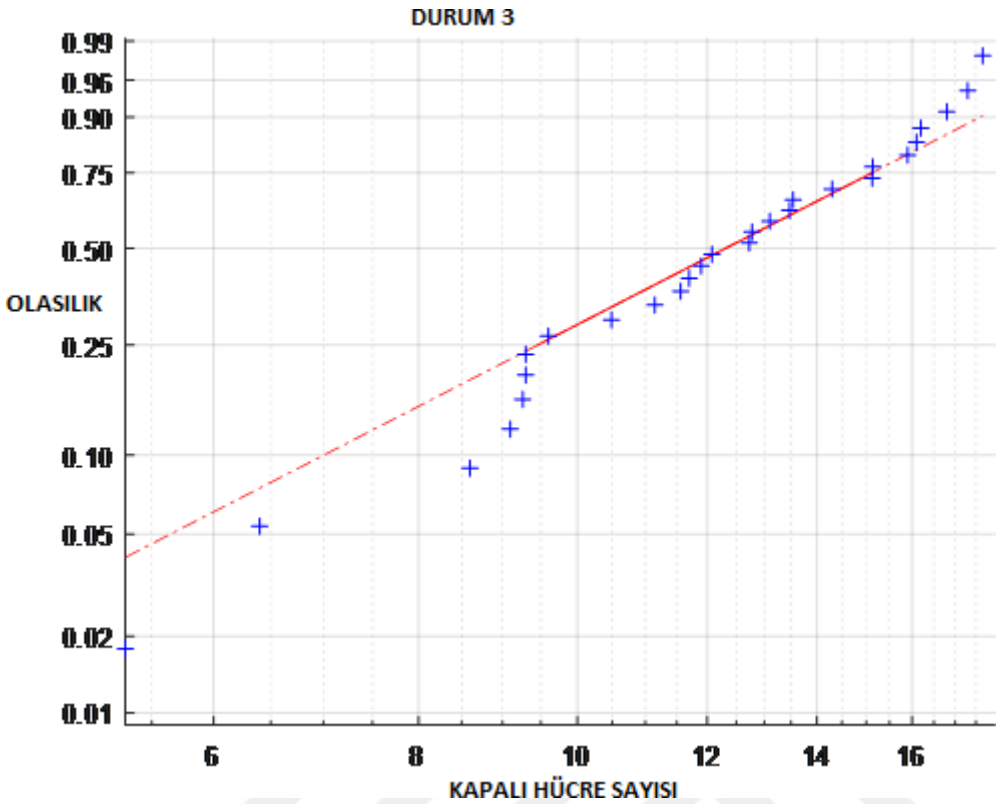
Ölçüm sonuçlarımızın güvenilirlik analizi yöntemine uyumluluğunu kontrol etmek için ilk olarak her bir durum için Weibull uyumlulukları değerlendirilmiştir. Elde edilen grafikler sırası ile Durum 1, Şekil 4.18'de; Durum 2, Şekil 4.19'da Durum 3, Şekil 4.20'de Durum 4, Şekil 4.21'de verilmiştir.



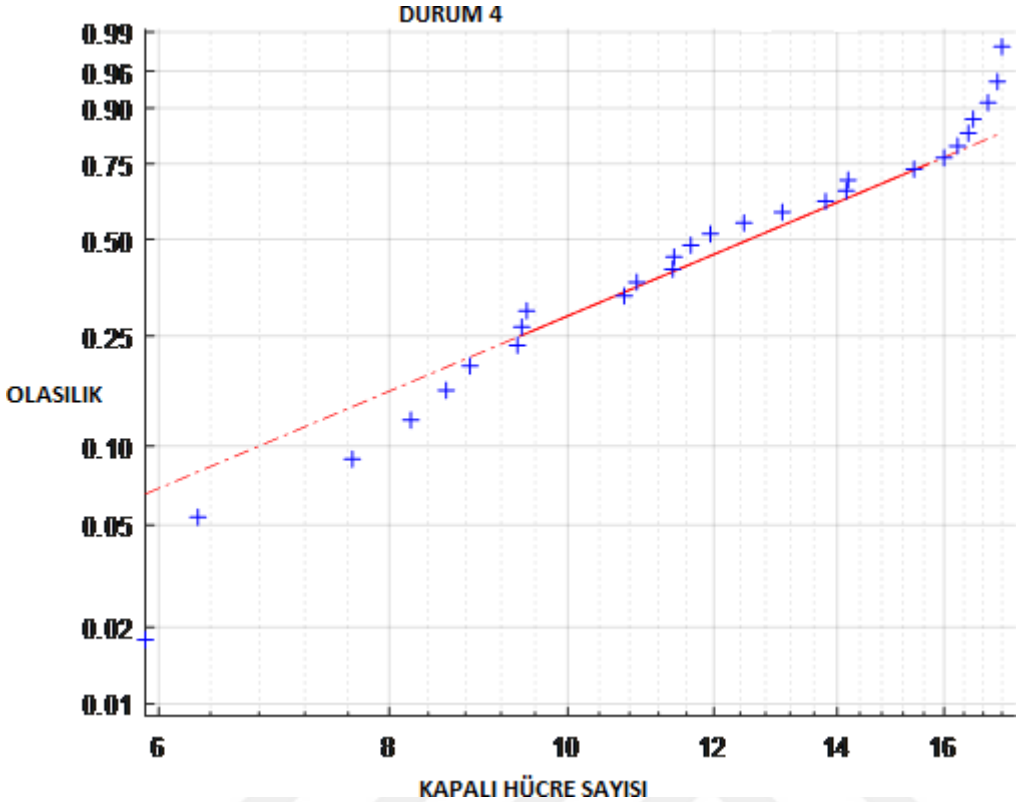
Şekil 4.18: Durum 1 için Weibull uyumluluk grafiği.



Şekil 4.19: Durum 2 için Weibull uyumluluk grafiği.



Şekil 4.20: Durum 3 için Weibull uyumluluk grafiği.



Şekil 4.21: Durum 4 için Weibull uyumluluk grafiği.

İkinci aşamada her bir durum için ayrı ayrı Weibull fonksiyonun parametreleri veriler için iki farklı metot kullanılarak tahmin edilmiştir.

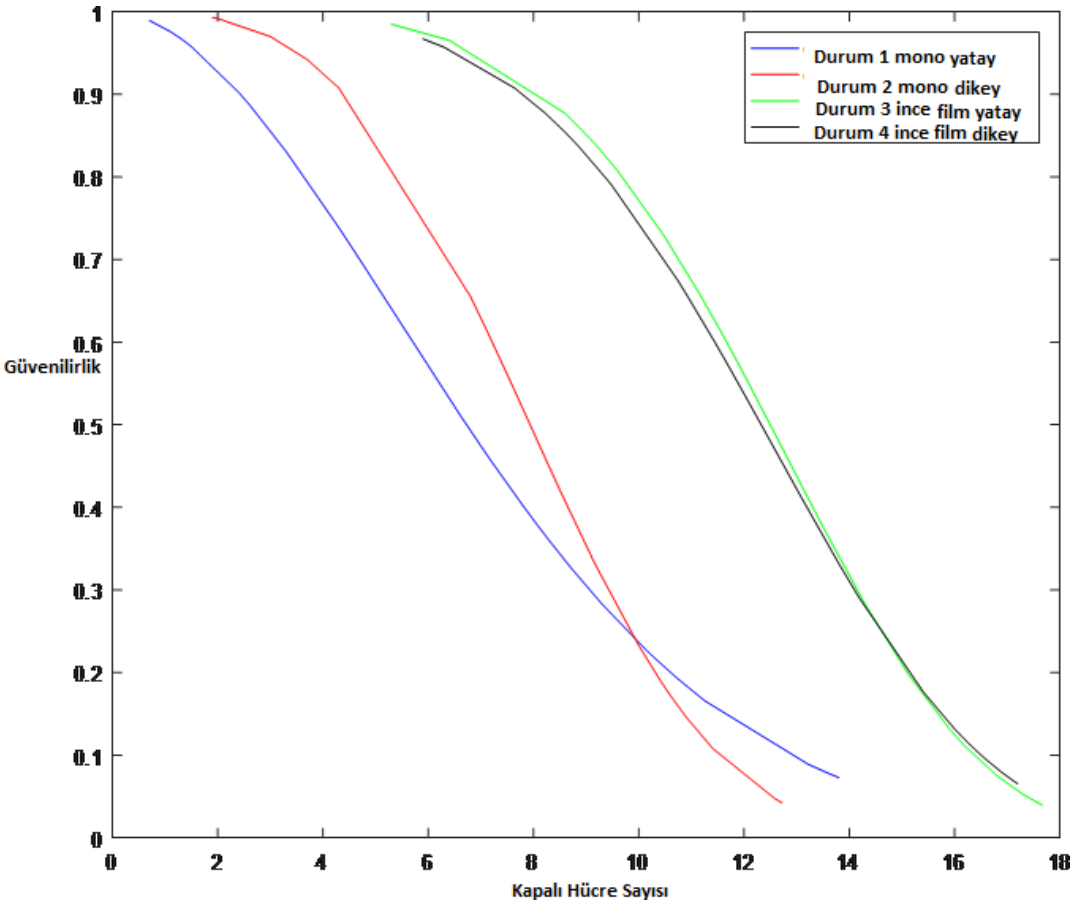
$$f(\mathrm{v}) = \frac{k}{c}\left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^{k}}$$

$$\mathrm{F(v)} = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^{k}}$$

Tablo 4.5: Elde edilen şekil ve ölçek parametrelerinin GM ve MLM yöntemleri ile elde edilen değerlerinin karşılaştırılması.

Method	***Case 1***		***Case 2***		***Case 3***		***Case 4***	
	K	**C**	**K**	**C**	**K**	**C**	**K**	**C**
GM	1.4522	7.5102	1.9014	8.0744	4.2473	13.0179	4.0611	12.8508
MLM	1.8508	8.1999	2.7614	8.6369	4.4530	13.5702	4.1133	12.8508

Tablo 4.5 ‘den görüleceği üzere elde ettiğimiz veriler ile en uyumlu güvenilirlik analizi yöntemimize daha iyi sonuç verdiğinden dolayı sıklıkla kullanılan MLM yöntemi tercih edilmiştir.



Şekil 4.22: Gölgeleme etkisi altında karşılaştırmalı Weibull grafikleri.

Şekil 4.22'de bu çalışmada kullanılan monokristal panel hücrelerinin ve ince film panel hücrelerinin hem yatay hem dikey doğrultuda kapatılması ile oluşturulan gölgeleme etkisi ile güvenilirlik ilişkisi karşılaştırmalı grafiklerle gösterilmiştir. Kapalı hücre sayısı ve güvenilirlik arasındaki ilişki için Weibull grafiklerinden yararlanılmıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Fotovoltaik paneller üzerinde bulutlar, binalar, binalar arasındaki mesafe, bacalar, ağaçlar vb. etkenler gölgelenme etkisi oluşturur. Gölgelenme etkisi panellerin verimini ciddi oranlarda etkiler. Bu çalışmada gölgelenmenin panelin verimi üzerindeki etkisi incelenmiş olup ölçümlerde verimde ciddi düşüşler tespit edilmiştir. Açık havada yapılan deneysel çalışmada hücrelerin yatay ve dikey doğrultuda kapatılarak gölgelenme etkisi yaratılmış ve ölçümler yapılmıştır. Alınan ölçümlere göre özellikle 3 ve 4 adet hücrenin kapatılmasından sonra hem monokristal panel de hem ince film panel optimum güç değerleri 0,1 W değerine kadar düşmektedir. İnce film panelin verimindeki düşüşün monokristal panele göre daha az olduğu gözlenmiştir. Monokristal paneldeki verimin düşüşü hücrelerin hem yatay hem dikey doğrultuda kapatılmasında yaklaşık eşit olarak ölçülmüştür. İnce film panellerde de hücrelerin hem yatay olarak gölgelenmesinde hem dikey olarak gölgelenmesinde verim değerleri yaklaşık olarak aynı değerde ölçülmüştür. Hücrelerin yatay veya dikeyde gölgelenmesinin verim üzerinde önemli bir etkisinin olmayıp her iki gölgeleme biçiminde de verimin çok fazla düştüğü saptanmıştır. Bu iki panel çeşidi arasında gölgelenme faktörü açısından ince film panelin daha avantajlı olduğu görülmüştür.

Gölgelenmenin panelin verimini olumsuz anlamda etkileyen ciddi bir etken olduğu yapılan ölçümler ve güvenilirlik analizleri ile de tespit edilmiştir. Kapatılan hücre sayısı arttıkça akım gerilim grafiklerinde akım değerlerinde azalma meydana gelmiştir. MPP noktalarının azaldığı ve kaydığı gözlenmiştir. Bu deneysel çalışmada panellerden elde edilen gerilim seviyeleri 0 ‘dan farklı olduğu için gerilim değerleri üzerinden analizler yapılmıştır. Kapalı hücre sayısı ve güvenilirlik arasındaki ilişki için Weibull grafiklerinden yararlanılmıştır. Weibull parametreleri yapmış olduğum deneyin sonuçlarını ifade etme açısından uygun değerler olmuştur. Yani her bir kapanan hücreye göre çıkan 4 farklı durumun önce Weibull uyumluluk analizleri yapılmış sonrasında ise güvenirlikleri hesaplanmıştır. Güvenilirlik analizinde ince film panelin yatay ve dikey olarak gölgelenmesi durumunda eğrileri neredeyse çakışık olarak saptanmıştır. Monokristal panelin ise eğrileri arasındaki fark ince film panele göre daha fazladır ve hem dikeyde hem yatayda on hücre kapalı iken güvenilirlik değeri aynı ve 0,2 ile 0,3 değerleri arasında çıkmıştır. Gölgelenme etkisinin panellerin verimi üzerinde önemli ölçüde negatif etkisi ölçülmüştür. Bu çalışmada fotovoltaik panellerin verimi için sert gölgeleme etkisine karşı tedbir alınması gerektiği ve bu amaç doğrultusunda seçilen panel bölgesinin önemi kadar bu

olumsuzlukların önüne geçmek için sıkı temizlik faaliyetlerinde de bulunulması gerektiği doğrulanmıştır.

KAYNAKLAR

[1]. T.C.Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Güneş Enerjisi, https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes

[2]. Öztürk H. Hüseyin, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Birsen Yayınevi,442 sayfa,2018.

[3]. yesil.ekonomi.com https://yesilekonomi.com/turkiyenin-kurulu-gucu-90-gwi-asti/

[4]. Tanas Karagöl E., KAVAS İ., Dünyada ve Türkiyede Yenilenebilir Enerji Nisan 2017 Sayı:197 Analiz

[5]. Solanki C.S. , Solar Photovoltaics : Fundamentals, Technologies and Applications, 540 sayfa, 3. Baskı, 2015.

[6]. Genç, Gözde. "Fotovoltaik Panellerde Gölge Ve Toz Etkisinin Analizi." Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.

[7]. Adigüzel E. "Farklı Boyutlardaki Toz Partiküllerinin Fotovoltaik Panellerin Verimliliği Üzerine Etkisi. " Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.

[8]. Öztürk H. Hüseyin, Güneş Enerjisini Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler

[9]. Özgün H., Fotovoltaik Enerji Sistemleri, Günder Yayınları, 180 sayfa. 2016.

[10]. R. A. Diantari and I. Pujotomo, "Calculation of electrical energy with solar power plant design," *2016 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, Lombok, 2016, pp. 443-446.

[11]. M. Oliver, T. Jackson, "Energy and economic evaluation of building-integrated photovoltaics", *Energy*, vol. 26, no. 4, pp. 431-439, 2001.

[12]. TRIPATHI, Abhishek Kumar; MURTHY, Ch SN. Effect of shading on PV panel technology. In: *2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)*. IEEE, 2017. p. 2075-2078.

[13]. Genç, Gözde. "Fotovoltaik Panellerde Gölge Ve Toz Etkisinin Analizi." Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.

[14]. GAO, Lijun, et al. Parallel-connected solar PV system to address partial and rapidly fluctuating shadow conditions. *IEEE Transactions on industrial Electronics*, 2009, 56.5: 1548-1556.

[15]. DI PIAZZA, Maria Carmela; VITALE, Gianpaolo. Photovoltaic field emulation including dynamic and partial shadow conditions. *Applied Energy*, 2010, 87.3: 814-823.

[16]. Zegaoui, Abdallah, P. Petit, M. Aillerie, J. P. Sawicki, A. W. Belarbi, M. D. Krachai, and J. P. Charles. "Photovoltaic cell/panel/array characterizations and modeling considering both reverse and direct modes." Energy Procedia 6 (2011): 695-703.

[17]. Andò, Bruno, Salvatore Baglio, Antonio Pistorio, Giuseppe Marco Tina, and Cristina Ventura. "Sentinella: Smart monitoring of photovoltaic systems at panel level." IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 64, no. 8 (2015): 2188-2199.

[18]. Rashel, Masud Rana, Andre Albino, Mouhaydine Tlemcani, Teresa CF Gonçalves, and Jannatul Rifath. "MATLAB Simulink modeling of photovoltaic cells for understanding shadow effect." In 2016 IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), pp. 747-750. IEEE, 2016.

[19]. Chen, Cheng-Chuan, Hong-Chan Chang, Cheng-Chien Kuo, and Chien-Chin Lin. "Programmable energy source emulator for photovoltaic panels considering partial shadow effect." Energy 54 (2013): 174-183.

[20]. dos Santos, Paula, Eduardo M. Vicente, and Enio R. Ribeiro. "Relationship between the shading position and the output power of a photovoltaic panel." In XI Brazilian Power Electronics Conference, pp. 676-681. IEEE, 2011.

[21]. Tripathy, M., H. Joshi, and S. K. Panda. "Energy payback time and life-cycle cost analysis of building integrated photovoltaic thermal system influenced by adverse effect of shadow." Applied energy 208 (2017): 376-389.

[22]. Díaz-Dorado, Eloy, Andrés Suárez-García, Camilo J. Carrillo, and José Cidrás. "Optimal distribution for photovoltaic solar trackers to minimize power losses caused by shadows." Renewable energy 36, no. 6 (2011): 1826-1835.

[23]. Dongaonkar, Sourabh, Muhammad A. Alam, Y. Karthik, Souvik Mahapatra, Dapeng Wang, and Michel Frei. "Identification, characterization, and implications of shadow degradation in thin film solar cells." In 2011 International Reliability Physics Symposium, pp. 5E-4. IEEE, 2011.

[24]. Du, Jin, Rui Xu, Xi Chen, Yingshuang Li, and Jiande Wu. "A novel solar panel optimizer with self-compensation for partial shadow condition." In 2013 Twenty-Eighth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), pp. 92-96. IEEE, 2013.

[25]. Monedero, J., F. Dobon, A. Lugo, P. Valera, R. Osuna, L. Acosta, and G. N. Marichal. "Minimizing energy shadow losses for large PV plants." In 3rd World Conference onPhotovoltaic Energy Conversion, 2003. Proceedings of, vol. 2, pp. 2043-2045. IEEE, 2003.

[26]. Deline, Chris. "Partially shaded operation of a grid-tied PV system." In 2009 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), pp. 001268-001273. IEEE, 2009.

[27]. Nguyen, Dzung, and Brad Lehman. "A reconfigurable solar photovoltaic array under shadow conditions." In 2008 Twenty-Third Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, pp. 980-986. IEEE, 2008.

[28]. Kaushika, Narendra D., and Nalin K. Gautam. "Energy yield simulations of interconnected solar PV arrays." IEEE Transactions on Energy Conversion 18, no. 1 (2003): 127-134.

[29]. Tripathy, M., S. Yadav, P. K. Sadhu, and S. K. Panda. "Determination of optimum tilt angle and accurate insolation of BIPV panel influenced by adverse effect of shadow." Renewable Energy 104 (2017): 211-223.

[30]. Ibrahim, A. "Effect of shadow and dust on the performance of silicon solar cell." Journal of Basic and applied scientific research 1, no. 3 (2011): 222-230.

[31]. Ünlü, Murat, Sabri Çamur, and Birol Arifoğlu. "Fotovoltaik Enerji Dönüşüm Sistemlerinde Parçalı Gölgelenme Durum Analizi." Elektrik Enerji, Elektrik, Aydınlatma, Elektronik ve Otomasyon Mühendisliği Dergisi 314 (2015): 83-87.

[32]. Turhan, S., and İ. Çetiner. "Fotovoltaik sistemlerde performans değerlendirmesi, 6." Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu (2012): 12-13.

[33]. Kurban, Mehmet, Yeliz MERT KANTA, and Fatih Onur HOCAOGLU. "Weibull Dagılımı Kullanılarak Rüzgar Hız ve Güç Yogunluklarının İstatistiksel Analizi." Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 7, no. 2 (2007): 205-218.

[34]. Mehmet, Burak BİRGÖREN, and Süleyman ERSÖZ. "WEIBULL PARAMETRELERİ VE YÜZDELİKLERİ İÇİN GÜVEN ARALIĞI TAHMİN ALGORİTMALARI DANACI." Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 24, no. 1 (2009).

[35]. UGUR, Mukden, Ayten KUNTMAN, and Aysel ERSOY. "GELİŞTİRİLMİŞ WEİBULL İSTATİSTİĞİ İLE POLİMERİK YALITKANLARIN YAŞLANMA SÜRECİNİN İNCELENMESİ."

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Ezgi ÖZTÜRK
Doğum Yeri	İstanbul
Doğum Tarihi	23.07.1995
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	0554 834 59 85
E-Posta Adresi	ezgibecit3@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Elektrik Elektronik Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2018

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Elektrik Elektronik Mühendisliği

Makale ve Bildiriler