

**T.C.**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YARI KESİK VE TAM HÜCRELİ FOTOVOLTAİK  
MODÜLLERİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ATILLA KARADAVUT**

**DENİZLİ, TEMMUZ – 2019**

**T.C.**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**YARI KESİK VE TAM HÜCRELİ FOTOVOLTAİK  
MODÜLLERİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ATILLA KARADAVUT**

**DENİZLİ, TEMMUZ – 2019**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Atilla KARADAVUT tarafından hazırlanan “YARI KESİK VE TAM HÜCRELİ FOTOVOLTAİK MODÜLLERİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 12.07.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman  
Prof.Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK  
Pamukkale Üniversitesi



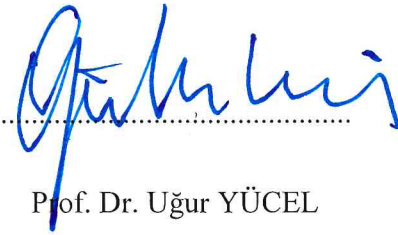
Üye  
Prof.Dr.Ö.Altan DOMBAYCI  
Pamukkale Üniversitesi



Üye  
Doç.Dr.Hakan ÇALIŞKAN  
Uşak Üniversitesi



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
31/07/2019 tarih ve 31/1622 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

✓

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**



**ATILLA KARADAVUT**



## ÖZET

### YARI KESİK VE TAM HÜCRELİ FOTOVOLTAİK MODÜLLERİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ATILLA KARADAVUT  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
DANIŞMANI: PROF. DR. HARUN KEMAL ÖZTÜRK  
DENİZLİ, HAZİRAN-2019

Son yıllarda üretilen elektrik enerjisi, fosil yakıtlardan üretilmekte ve fosil yakıtlar üretim sırasında CO<sub>2</sub> salınımı yaparak çevre kirliliğine sebebiyet vermektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları maliyet ve çevre kirliliği açısından tercih sebebi olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden biri güneş enerjisidir.

Geleneksel fotovoltaik modüller, full cell (tam hücre) ile modellenmektedir. Günümüzde ise half cut cell (yarı kesik hücre) modülü kullanımı hızla artmaktadır. Yarı kesik hücre, tam hücrenin yarıya kesilmesi metoduyla üretilir. Yarı kesik hücrenin avantajları, tam hücreye göre daha az iç direnç kaybı bulundurması ve tam hücreye göre daha fazla güç elde etmemizi sağlamasıdır.

Fotovoltaik sistemde on-grid sistem, şebekeye güneş tarafından üretilen enerjiyi geri göndermektedir. Off-grid sistemde, elektrik sadece PV modüller ile üretilen enerji ile gelmektedir ve sistemde üretilen fazla enerji akülerde depolanmaktadır.

Bu tezde tam hücre ve yarı kesik hücrenin, Matlab/Simulink ile matematiksel modellenmesi yapılarak benzetimleri yapılmıştır. Yapılan benzetimler, modellemeler ve çalışmalar, güneş enerjisinden yararlanılması ve güneş hücresinden alınan veriminin arttırılması üzerine amaçlanmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER:** Güneş Enerji, Güneş Pili, On Grid-Off Grid, Güneş Hücre Modellemesi, Yarı Kesik Hücreler

## **ABSTRACT**

### **MATHEMATICAL SIMULATION OF HALF CUT AND FULL CELL PHOTOVOLTAIC MODULES**

**MSC THESIS  
ATILLA KARADAVUT  
PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
CHEMICAL ENGINEERING  
SUPERVISOR: PROF. DR. HARUN KEMAL ÖZTÜRK  
DENİZLİ, JUNE - 2019**

The electrical energy produced in recent years is produced from fossil fuels, and fossil fuels emitting CO<sub>2</sub> during production, causes environmental pollution. Renewable energy sources are preferred in terms of cost and environmental pollution. One of the most important renewable energy sources is solar energy.

Conventional photovoltaic modules are modeled with full cell. Today, the use of half-cut cell module is rapidly going up. The half-cut cell is produced by the method of cutting the whole cell in half. The advantages of the half-cut cell are that it has less internal resistance loss than the whole cell and allows us to obtain more power than the whole cell.

In the photovoltaic system, the on-grid system returns the energy generated by the sun to the grid. In the off-grid system, electricity comes only from the energy generated by the PV modules and the excess energy generated in the system is stored in the batteries.

In this thesis, whole and half-cut cells are simulated by mathematical modeling with Matlab / Simulink. The simulations, modeling and studies are aimed to make use of solar energy and increase the efficiency of solar cells.

**KEYWORDS:** Solar Energy, Solar Cell, On Grid-Off Grid, Solar Cell Modeling, Half Cut Cells

|                                                                                     |             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>ÖZET.....</b>                                                                    | <b>i</b>    |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                               | <b>ii</b>   |
| <b>İÇİNDEKİLER .....</b>                                                            | <b>iii</b>  |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ.....</b>                                                           | <b>viii</b> |
| <b>TABLO LİSTESİ .....</b>                                                          | <b>xiii</b> |
| <b>SEMBOL LİSTESİ .....</b>                                                         | <b>xvii</b> |
| <b>ÖNSÖZ.....</b>                                                                   | <b>xix</b>  |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                                               | <b>1</b>    |
| 1.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları .....                                           | 3           |
| 1.2 Güneş.....                                                                      | 7           |
| 1.2.1 Güneş Hücrelerinin Tarihte İlerleyişi .....                                   | 7           |
| 1.2.2 Güneş Enerjisinin Kaynağı .....                                               | 9           |
| 1.2.3 Güneş Enerjisinin Önemi.....                                                  | 10          |
| 1.2.4 Güneş Işınlığının Kullanımı.....                                              | 10          |
| 1.3 Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli.....                                      | 11          |
| 1.3.1 Türkiye’de Güneş Enerjisi Kullanımının Tarihçesi.....                         | 11          |
| 1.3.2 Türkiye’nin Yararlanılabilir Güneş Enerjisi Potansiyeli .....                 | 14          |
| 1.3.3 Bazı İllerin Güneş Işınımı Değerleri.....                                     | 16          |
| <b>2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI .....</b>                                               | <b>18</b>   |
| 2.1 Fotovoltaik Etki Ve Güneş Hücresi Tanımı .....                                  | 18          |
| 2.2 Fotovoltaik Etki .....                                                          | 18          |
| 2.2.1 Güneş Spektrumu.....                                                          | 23          |
| 2.2.2 Güneş Hücrelerinin Kullanım Alanları.....                                     | 26          |
| 2.3 Yarı İletkenlerin Yapısı Ve Özellikleri .....                                   | 28          |
| 2.3.1 Bant Teorisi Açıklaması .....                                                 | 29          |
| 2.3.2 İletken Maddeler .....                                                        | 36          |
| 2.3.4 Yarı İletken Maddeler.....                                                    | 36          |
| 2.4 Silisyum Kristalini Katkılama (Dopingleme).....                                 | 39          |
| 2.4.1 Silisyum (Si) Atomunu İndiyum (In) Atomu İle Katkılaması<br>(Dopingleme)..... | 40          |
| 2.4.2 Silisyum Atomunu Fosfor (P) Atomu ile Katkılaması (Dopingleme)..<             | 40          |
| 2.4.3 Silisyum Atomunu Bor (B) Atomu ile Katkılaması (Dopingleme).....              | 41          |
| 2.5 p-n Ekleme ( Yüzey Birleşmesi).....                                             | 42          |

|                                                                                                      |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ HÜCRE (CELL) ÇEŞİTLERİ VE ÖZELLİKLERİ .....</b>                              | <b>45</b> |
| 3.1 Alternatif Elektrik Enerji Kaynağı Olarak Güneş Enerjisi.....                                    | 45        |
| 3.2 Güneş Hücrelerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler.....                                          | 46        |
| 3.2.1. Kristal Silisyum (c-Si) .....                                                                 | 46        |
| 3.2.2 Tek Kristal Silisyum Güneş Hücreleri.....                                                      | 48        |
| 3.2.3 Yarıkristal Silisyum Güneş Hücreleri.....                                                      | 48        |
| 3.2.4 Polikristal Silisyum Güneş Hücreleri .....                                                     | 48        |
| 3.2.5 Galyum Arsenit (GaAs).....                                                                     | 49        |
| 3.2.6 Amorf Silisyum (a-Si) .....                                                                    | 49        |
| 3.2.7 Kadmiyum Tellür (CdTe).....                                                                    | 50        |
| 3.2.8 Bakır İndiyum Diseleneid (CuInSe <sub>2</sub> ) .....                                          | 52        |
| 3.2.9 Organik Güneş Hücreleri .....                                                                  | 52        |
| 3.2.10 Perc Güneş Hücresi.....                                                                       | 53        |
| 3.3 Çoklu Eklem Güneş Hücreleri .....                                                                | 56        |
| 3.4 Güneş Hücresinin Elde Edilmesi ve Güneş Paneli Yapımı.....                                       | 57        |
| 3.5 Güneş Hücrelerinin Birleştirilmesi Ve Kapsüllenmesi .....                                        | 57        |
| 3.6 Güneş Hücresinde Enerji Kayıpları.....                                                           | 59        |
| 3.7 Fotovoltaik Sistem Tasarımında On-Grid Ve Off-Grid Sistem .....                                  | 60        |
| 3.7.1 Şebekeye Bağlı (On-Grid) Fotovoltaik Sistemler.....                                            | 61        |
| 3.7.2 Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Sistemler .....                                                 | 62        |
| 3.8 Fotovoltaik Sistemlerde Kullanılan Akümülatörler .....                                           | 62        |
| 3.8.1 Fotovoltaik Sistem İçin Jel Tipi Ve Deep-Cycle Akümülatör.....                                 | 64        |
| 3.8.2 Fotovoltaik Sistem Akümülatörlerinin Bakımı.....                                               | 65        |
| 3.8.3 Fotovoltaik Sistem Akümülatörlerinin Ömrü .....                                                | 65        |
| 3.9 MPPT Kontrol Cihazı.....                                                                         | 66        |
| <b>4. FULL CELL (TAM HÜCRE) VE HALF CUT CELL (YARI KESİK HÜCRE) İÇİN YÖNTEM VE MODELLENMESİ.....</b> | <b>67</b> |
| 4.1 Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) Model Tanımlaması .....                                         | 67        |
| 4.1.1 Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) Avantajları .....                                             | 69        |
| 4.1.2 Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) Dezavantajları.....                                           | 70        |
| 4.2 Güneş Hücrelerinin Matematiksel Modeli .....                                                     | 71        |
| 4.3 Tek Diyot İçin R <sub>s</sub> Modeli .....                                                       | 74        |
| 4.4 Fotovoltaik Modülde Full Cell (Tam Hücre) İçin Matematiksel Modelleme .....                      | 78        |
| 4.4.1 Full Cell (Tam Hücre) İçin Ia Newton Raphson Method Yöntemi .....                              | 80        |

|                                                                                                          |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.5 Fotovoltaik Modülde Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) İçin Matematiksel Modelleme.....                | 81         |
| 4.5.1 Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) İçin Ia Newton Raphson.....                                       | 84         |
| Method Yöntemi.....                                                                                      | 84         |
| <b>5. BENZETİM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE KARŞILAŞTIRILMASI .....</b>                             | <b>85</b>  |
| 5.1 Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) Ve Full Cell (Tam Hücre) Matlab Programında Benzetim Sonuçları..... | 85         |
| 5.1.1 Jinko-Cheetah Solar Full Cell (Tam Hücre) Similasyonu (Pmax=390W).....                             | 86         |
| 5.1.2 Jinko-Cheetah Solar Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) Similasyonu (Pmax=390W).....                  | 92         |
| 5.1.3 Jinko-Cheetah Solar Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) Similasyonu (Pmax=400 W).....                 | 98         |
| 5.1.4 Jinko-Eagle Solar Full Cell (Tam Hücre) Similasyonu (Pmax=370W).....                               | 102        |
| 5.1.5 Jinko-Eagle Solar Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) Similasyonu (Pmax=375 W).....                   | 107        |
| 5.1.6 Longi Solar Full Cell (Tam Hücre) Similasyonu (Pmax=370 W).....                                    | 112        |
| 5.1.7 Longi Solar Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) Similasyonu (Pmax=375 W).....                         | 117        |
| 5.1.8 Longi Solar Full Cell (Tam Hücre) Similasyonu (Pmax=310 W).....                                    | 122        |
| 5.1.9 Longi Solar Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) Similasyonu (Pmax=310 W).....                         | 127        |
| 5.1.10 Bereket Enerji-Parla Solar Full Cell (Tam Hücre) Similasyonu (Pmax=345 W).....                    | 131        |
| 5.1.11 Bereket Enerji-Parla Solar Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) Similasyonu .....                     | 136        |
| 5.1.12 Bereket Enerji-Parla Solar Full Cell (Tam Hücre) Similasyonu (72 Hücre Verisi).....               | 141        |
| 5.1.13 Bereket Enerji-Parla Solar Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) Similasyonu (72 Hücre Verisi) .....   | 145        |
| 5.1.14 Bereket Enerji-Parla Solar Full Cell (Tam Hücre) Similasyonu (19 Hücre Verisi).....               | 149        |
| 5.1.15 Bereket Enerji-Parla Solar Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) Similasyonu (19 Hücre Verisi) .....   | 154        |
| <b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>                                                                         | <b>160</b> |
| <b>7. KAYNAKLAR .....</b>                                                                                | <b>163</b> |

|                                                                                                |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>8. EKLER.....</b>                                                                           | <b>170</b> |
| EK A Jinko-CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-EN Panel Kataloğu .....                               | 170        |
| EK A.1 Jinko-CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-EN (Pmax=390W)<br>Matlab Kodları .....              | 172        |
| EK B Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Panel<br>Kataloğu .....                 | 179        |
| EK B.1 Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN<br>(Pmax=390W) Matlab Kodları.....    | 181        |
| EK B.2 Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN<br>(Pmax=400W) Matlab Kodları.....    | 188        |
| EK C Jinko- EaglePerc JKM360-380M-72-A1-EN Panel Kataloğu .....                                | 193        |
| EK C.1 Jinko- EaglePerc JKM360-380M-72-A1-EN (Pmax=370 W)<br>Matlab Kodları .....              | 195        |
| EK D Jinko-EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-EN Panel<br>Kataloğu .....               | 202        |
| EK D.1 Jinko-EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-EN<br>(Pmax=375 W) Matlab Kodları..... | 204        |
| EK E Longi Solar- LR6-72PH full mono360-380M Panel Kataloğu .....                              | 211        |
| EK E.1 Longi Solar- LR6-72PH full mono360-380M (Pmax=370 W)<br>Matlab Kodları .....            | 212        |
| EK F Longi Solar- LR6-72HPH half mono365-385M Panel Kataloğu.....                              | 218        |
| EK F.1 Longi Solar- LR6-72HPH half mono365-385M (Pmax=375 W)<br>Matlab Kodları .....           | 219        |
| EK G Longi Solar- Longi Mono Perc 310W Panel Kataloğu .....                                    | 225        |
| EK G.1 Longi Solar- Longi Mono Perc (Pmax=310 W) Matlab Kodu .....                             | 226        |
| EK H Longi Solar Longi Mono Perc Half Cut 310W Panel Kataloğu .....                            | 232        |
| EK H.1 Longi Solar Longi Mono Perc Half Cut (Pmax=310 W) Matlab<br>Kodu .....                  | 233        |
| EK I Bereket Enerji-Parla Solar (5-Mono-72) 345W Panel Kataloğu .....                          | 239        |
| EK I.1 Bereket Enerji-Parla Solar (5-Mono-72) (Pmax=345W) Matlab<br>Kodları.....               | 240        |
| EK I.2 Bereket Enerji-Parla Solar (5-Mono-72) Half Cut Cell Matlab<br>Kodları.....             | 245        |
| EK J Bereket Enerji-Parla Solar Full Cell (72 Hücre Verisi) Matlab<br>Kodları.....             | 250        |
| EK J.1 Bereket Enerji-Parla Solar Half Cut Cell (72 Hücre Verisi) Matlab<br>Kodları.....       | 255        |
| EK K Bereket Enerji-Parla Solar Full Cell (19 Hücre Verisi) Matlab<br>Kodları.....             | 260        |

|                                                                                       |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| EK K.1 Bereket Enerji-Parla Solar Half Cut Cell (19 Hücre Verisi) Matlab Kodları..... | 266        |
| EK L Longi Solar Hücre Kataloğu.....                                                  | 272        |
| <b>9.ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                                | <b>273</b> |



|                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 1.1:</b> Türüne Göre Küresel Ortalama Yıllık Net Kapasite Ekleri .....                                                                     | 3  |
| <b>Şekil 1.2:</b> 2018 Yılı Toplam PV Kurulumlarının Ülkelere ve Bileşenlere Göre Maliyetleri .....                                                 | 3  |
| <b>Şekil 1.3:</b> Küresel Yenilenebilir Enerji Kapasitesi 2007-2017.....                                                                            | 4  |
| <b>Şekil 1.4:</b> Türkiye 2019 Yılı Kurulu Gücü (MW) .....                                                                                          | 5  |
| <b>Şekil 1.5:</b> Güneş Işınlrının Elektromanyetik Spektrumdaki Yeri .....                                                                          | 10 |
| <b>Şekil 1.6:</b> Türkiye'nin İllere Göre Yıllık Güneş Radyasyonu Ve Güneş Işınımı Haritası .....                                                   | 14 |
| <b>Şekil 1.7:</b> Türkiye Global Radyasyon Değerleri (KWh/m <sup>2</sup> -Gün).....                                                                 | 15 |
| <b>Şekil 1.8:</b> Türkiye Güneşlenme Süreleri (Saat) .....                                                                                          | 15 |
| <b>Şekil 1.9:</b> Türkiye PV Tipi-Alan-Üretebileceği Enerji (KWh/Yıl) .....                                                                         | 15 |
| <b>Şekil 2.1:</b> Silikon Yapılı Güneş Hücrelerinin Çalışması Noktası.....                                                                          | 21 |
| <b>Şekil 2.2:</b> AM 1.5 şartlarındaki güneş spektrumu .....                                                                                        | 21 |
| <b>Şekil 2.3:</b> Dünya dışı spektrumu ile 5800K de bir kara cisim spektrumu .....                                                                  | 24 |
| <b>Şekil 2.4:</b> Yarıiletken Enerji Bant Diyagramı (a) n-Tipi (b) p-Tipi .....                                                                     | 31 |
| <b>Şekil 2.5:</b> Yarıiletkenlerin Enerji Bant Diyagramı (a) $h\nu < E_g$ , (b) $h\nu > E_g$ , (c) $h\nu = E_g$ .....                               | 33 |
| <b>Şekil 2.6:</b> Güneş Hücresinin Çalışmasını Temsil Eden Bant Diyagramı (A) Denge Durumda, (B) Işık Altında .....                                 | 34 |
| <b>Şekil 2.7:</b> Silisyum (Si) Atomunun Elektron Yapısı .....                                                                                      | 37 |
| <b>Şekil 2.8:</b> Enerji Bantların Yapısı.....                                                                                                      | 37 |
| <b>Şekil 2.9:</b> Oda Sıcaklığındaki Saf Silisyum Kristali.....                                                                                     | 37 |
| <b>Şekil 2.10:</b> Si Atomunun Kovalent Bağ Yapısı .....                                                                                            | 40 |
| <b>Şekil 2.11:</b> Silisyum Atomunu Fosfor ile Katkılanma .....                                                                                     | 40 |
| <b>Şekil 2.12:</b> p-Tipi Katkılama .....                                                                                                           | 42 |
| <b>Şekil 2.13:</b> p-n Eklem Şematik Gösterimi .....                                                                                                | 43 |
| <b>Şekil 2.14:</b> p-n Eklemi Boşaltılmış Bölge .....                                                                                               | 43 |
| <b>Şekil 3.1:</b> Güneş Hücresinin Çalışma Prensipleri.....                                                                                         | 45 |
| <b>Şekil 3.2:</b> Kristal Silisyum PV Modül İçin Geri Kazanım Süreleri.....                                                                         | 47 |
| <b>Şekil 3.3:</b> Kristal Silisyum PV Hücre Yapısı .....                                                                                            | 47 |
| <b>Şekil 3.4:</b> Amorf Silisyum PV Hücre .....                                                                                                     | 50 |
| <b>Şekil 3.5:</b> Kadmiyum Tellur PV Hücre Yapısı .....                                                                                             | 51 |
| <b>Şekil 3.6:</b> Organik PV Hücre Yapısı.....                                                                                                      | 53 |
| <b>Şekil 3.7:</b> Perc Cell Hücre Yapısı.....                                                                                                       | 55 |
| <b>Şekil 3.8:</b> Çoklu eklem güneş hücreleri a) Tabakalar üzerine özel ışın bölücü, b) elektriksel veya mekanik olarak istiflenmiş tabakalar ..... | 56 |
| <b>Şekil 3.9:</b> Güneş Paneli Yapımı.....                                                                                                          | 57 |
| <b>Şekil 3.10:</b> Seri Bağlı Güneş Hücreleri .....                                                                                                 | 58 |
| <b>Şekil 3.11:</b> a) OFF GRID Sistem b) ON GRID Sistem .....                                                                                       | 61 |
| <b>Şekil 3.12:</b> Şebekeye Bağlı (On-Grid) PV Sistem Şematik Gösterimi .....                                                                       | 61 |

|                                                                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 3.13:</b> Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) Sistem Şematik Gösterimi .....                                                               | 62  |
| <b>Şekil 3.14:</b> Jel Tipi Akü .....                                                                                                         | 64  |
| <b>Şekil 3.15:</b> Deep-Cycle Akü .....                                                                                                       | 65  |
| <b>Şekil 3.16:</b> Mppt Solar Şarj Kontrol Cihazı .....                                                                                       | 66  |
| <b>Şekil 4.1:</b> (a) Bir Tam Güneş Hücresi (b) Seri Bağlanmış İki Yarı Kesik Güneş Hücresi .....                                             | 67  |
| <b>Şekil 4.2:</b> (a) Tam Bir Hücreden Oluşan Hücre Modeli (b) Seri Bağlı İki Yarı Kesik Hücreden Oluşan Hücre Modeli.....                    | 68  |
| <b>Şekil 4.3:</b> (a) 72 Tam Hücreli Referans Modül (b) 144 Yarı Kesik Hücreli Modül .....                                                    | 68  |
| <b>Şekil 4.4:</b> Güneş Hücresinin Her 2 Tarafında Bulunan Ribbon-Akım (I) Bağlantısı.....                                                    | 69  |
| <b>Şekil 4.5:</b> (a) Güneş Hücresi Eşdeğer Devre Modeli (b) Basitleştirilmiş Eşdeğer Devre Modeli .....                                      | 72  |
| <b>Şekil 4.6:</b> Güneş Hücresinin Tipik Akım-Gerilim (I-V).....                                                                              | 73  |
| <b>Şekil 4.7:</b> (I-V) Grafiği Net Akım Eğrisi .....                                                                                         | 75  |
| <b>Şekil 4.8:</b> (I-V) Grafiği Kısa Devre Akımı Açık Devre Gerilim Eğrisi .....                                                              | 76  |
| <b>Şekil 4.9:</b> Açık Devre Noktasında Eğimin Hesaplanması.....                                                                              | 77  |
| <b>Şekil 5.1:</b> Jinko-Cheetah Solar Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri.....                                                                    | 86  |
| <b>Şekil 5.2:</b> Jinko-Cheetah Solar Panel (P-V) Grafiği (T=25 °C) .....                                                                     | 87  |
| <b>Şekil 5.3:</b> Jinko-Cheetah Solar Panel (I-V) Grafiği (T=25 °C) .....                                                                     | 88  |
| <b>Şekil 5.4:</b> Jinko-Cheetah Solar Panel (I-V) Grafiği (G=1000 W/m <sup>2</sup> ) .....                                                    | 88  |
| <b>Şekil 5.5:</b> Jinko-CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-En Panel %Sapma Verileri .....                                                          | 91  |
| <b>Şekil 5.6:</b> Jinko-Cheetah Solar CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri .....                       | 92  |
| <b>Şekil 5.7:</b> Jinko-Cheetah Solar Cheetahperc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Panel (P-V) Grafiği (T=25 °C).....                          | 93  |
| <b>Şekil 5.8:</b> Jinko-Cheetah Solar Cheetahperc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Panel (I-V) Grafiği (T=25 °C) .....                         | 94  |
| <b>Şekil 5.9:</b> Jinko-Cheetah Solar Cheetahperc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Panel (I-V) Grafiği (G=1000 W/m <sup>2</sup> ) .....        | 94  |
| <b>Şekil 5.10:</b> Jinko-Cheetah Solar CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Panel %Sapma Verileri .....                                | 97  |
| <b>Şekil 5.11:</b> Jinko-Cheetah Solar (Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN) Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri.....               | 98  |
| <b>Şekil 5.12:</b> Jinko-Cheetah Solar Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Panel (P-V) Grafiği (T=25 °C).....                   | 99  |
| <b>Şekil 5.13:</b> Jinko-Cheetah Solar Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Panel (I-V) Grafiği (T=25 °C) .....                  | 99  |
| <b>Şekil 5.14:</b> Jinko-Cheetah Solar Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Panel (I-V) Grafiği (G=1000 W/m <sup>2</sup> ) ..... | 100 |

|                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 5.15:</b> Jinko-Eagle Solar EaglePerc JKM360-380M-72-A1-EN           |     |
| Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri .....                                         | 102 |
| <b>Şekil 5.16:</b> Jinko-Eagle Solar EaglePerc JKM360-380M-72-A1-EN           |     |
| Panel (P-V) Grafiği (T=25 °C).....                                            | 103 |
| <b>Şekil 5.17:</b> Jinko-Eagle Solar EaglePerc JKM360-380M-72-A1-EN           |     |
| Panel (I-V) Grafiği (T=25 °C) .....                                           | 103 |
| <b>Şekil 5.18:</b> Jinko-Eagle Solar EaglePerc JKM360-380M-72-A1-EN           |     |
| Panel (I-V) Grafiği (G=1000 W/m2) .....                                       | 104 |
| <b>Şekil 5.19:</b> EaglePerc JKM360-380M-72-A1-En Panel %Sapma Verileri ..... | 106 |
| <b>Şekil 5.20:</b> Jinko- EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-En       |     |
| Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri .....                                         | 107 |
| <b>Şekil 5.21:</b> Jinko- EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-En       |     |
| Panel (P-V) Grafiği (T=25 °C).....                                            | 107 |
| <b>Şekil 5.22:</b> Jinko- EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-En       |     |
| Panel (I-V) Grafiği (T=25 °C) .....                                           | 108 |
| <b>Şekil 5.23:</b> Jinko- EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-En       |     |
| Panel (I-V) Grafiği (G=1000 W/m2) .....                                       | 108 |
| <b>Şekil 5.24:</b> EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-En              |     |
| Panel %Sapma Verileri .....                                                   | 111 |
| <b>Şekil 5.25:</b> Longi Solar LR6-72PH Full Mono360-380M                     |     |
| Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri .....                                         | 112 |
| <b>Şekil 5.26:</b> Longi Solar LR6-72PH Full Mono360-380M                     |     |
| Panel (P-V) Grafiği (T=25 °C).....                                            | 112 |
| <b>Şekil 5.27:</b> Longi Solar LR6-72PH Full Mono360-380M                     |     |
| Panel (I-V) Grafiği (T=25 °C) .....                                           | 113 |
| <b>Şekil 5.28:</b> Longi Solar LR6-72PH Full Mono360-380M                     |     |
| Panel (I-V) Grafiği (G=1000 W/m2) .....                                       | 113 |
| <b>Şekil 5.29:</b> Longi Solar LR6-72PH Full Mono360-380M                     |     |
| Panel %Sapma Verileri .....                                                   | 116 |
| <b>Şekil 5.30:</b> Longi Solar LR6-72HPH Perc Half Mono365-385M               |     |
| Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri .....                                         | 117 |
| <b>Şekil 5.31:</b> Longi Solar LR6-72HPH Perc Half Mono365-385M               |     |
| Panel (P-V) Grafiği (T=25 °C).....                                            | 117 |
| <b>Şekil 5.32:</b> Longi Solar LR6-72HPH Perc Half Mono365-385M               |     |
| Panel (I-V) Grafiği (T=25 °C) .....                                           | 118 |
| <b>Şekil 5.33:</b> Longi Solar LR6-72HPH Perc Half Mono365-385M               |     |
| Panel (I-V) Grafiği (G=1000 W/m2) .....                                       | 118 |
| <b>Şekil 5.34:</b> LR6-72HPH Half Mono365-385M                                |     |
| Panel %Sapma Verileri .....                                                   | 121 |
| <b>Şekil 5.35:</b> Longi Solar Longi Mono Perc 310W                           |     |
| Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri .....                                         | 122 |
| <b>Şekil 5.36:</b> Longi Solar Longi Mono Perc 310W                           |     |
| Panel (P-V) Grafiği (T=25 °C).....                                            | 122 |

|                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 5.37:</b> Longi Solar Longi Mono Perc 310W                                                 |     |
| Panel (I-V) Grafiği (T=25 °C) .....                                                                 | 123 |
| <b>Şekil 5.38:</b> Longi Solar Longi Mono Perc 310W                                                 |     |
| Panel (I-V) Grafiği (G=1000 W/m <sup>2</sup> ) .....                                                | 123 |
| <b>Şekil 5.39:</b> Longi Solar Longi Mono Perc 310W                                                 |     |
| Panel %Sapma Verileri .....                                                                         | 126 |
| <b>Şekil 5.40:</b> Longi Solar Longi Mono Perc Half Cut 310W                                        |     |
| Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafiği .....                                                                  | 127 |
| <b>Şekil 5.41:</b> Longi Solar Longi Mono Perc Half Cut 310W                                        |     |
| Panel (P-V) Grafiği (T=25 °C).....                                                                  | 127 |
| <b>Şekil 5.42:</b> Longi Solar Longi Mono Perc Half Cut 310W                                        |     |
| Panel (I-V) Grafiği (T=25 °C) .....                                                                 | 128 |
| <b>Şekil 5.43:</b> Longi Solar Longi Mono Perc Half Cut 310W                                        |     |
| Panel (I-V) Grafiği (G=1000 W/m <sup>2</sup> ) .....                                                | 128 |
| <b>Şekil 5.44:</b> Longi Solar Longi Mono Perc Half Cut 310W                                        |     |
| Panel % Sapma Verileri .....                                                                        | 131 |
| <b>Şekil 5.45:</b> Parla Solar (5-Mono-72) Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri.....                     | 132 |
| <b>Şekil 5.46:</b> Parla Solar (5-Mono-72) Panel (P-V) Grafiği (T=25 °C) .....                      | 132 |
| <b>Şekil 5.47:</b> Parla Solar (5-Mono-72) Panel (I-V) Grafiği (T=25 °C) .....                      | 133 |
| <b>Şekil 5.48:</b> Parla Solar (5-Mono-72) Panel (I-V) Grafiği (G=1000 W/m <sup>2</sup> ).....      | 133 |
| <b>Şekil 5.49:</b> Parla Solar (5-Mono-72) Half Cut Cell Hücre (I-V) Ve (P-V)                       |     |
| Grafikleri.....                                                                                     | 136 |
| <b>Şekil 5.50:</b> Parla Solar (5-Mono-72) Half Cut Cell Panel                                      |     |
| (P-V) Grafiği (T=25 °C) .....                                                                       | 137 |
| <b>Şekil 5.51:</b> Parla Solar (5-Mono-72) Half Cut Cell Panel                                      |     |
| (I-V) Grafiği (T=25 °C) .....                                                                       | 137 |
| <b>Şekil 5.52:</b> Parla Solar (5-Mono-72) Half Cut Cell Panel                                      |     |
| (I-V) Grafiği (G=1000 W/m <sup>2</sup> ) .....                                                      | 138 |
| <b>Şekil 5.53:</b> Parla Solar 1 Full Cell Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri.....                     | 141 |
| <b>Şekil 5.54:</b> Parla Solar 1 Full Cell Panel (P-V) Grafiği (T=25 °C) .....                      | 142 |
| <b>Şekil 5.55:</b> Parla Solar 1 Full Cell Panel (I-V) Grafiği (T=25 °C).....                       | 142 |
| <b>Şekil 5.56:</b> Parla Solar 1 Full Cell Panel (I-V) (G=1000 W/m <sup>2</sup> ) .....             | 143 |
| <b>Şekil 5.57:</b> Parla Solar 1 Half Cut Cell Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri .....                | 145 |
| <b>Şekil 5.58:</b> Parla Solar 1 Half Cut Cell Panel (P-V) Grafiği (T=25 °C).....                   | 146 |
| <b>Şekil 5.59:</b> Parla Solar 1 Half Cut Cell Panel (I-V) Grafiği (T=25 °C) .....                  | 146 |
| <b>Şekil 5.60:</b> Parla Solar 1 Half Cut Cell Panel (I-V) Grafiği (G=1000 W/m <sup>2</sup> ) ..... | 147 |
| <b>Şekil 5.61:</b> Parla Solar 2 Full Cell Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri.....                     | 150 |
| <b>Şekil 5.62:</b> Parla Solar 2 Full Panel (P-V) Grafiği (T=25 °C).....                            | 150 |
| <b>Şekil 5.63:</b> Parla Solar 2 Full Cell Panel (I-V) Grafiği (T=25 °C).....                       | 151 |

|                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 5.64:</b> Parla Solar 2 Full Cell Panel (I-V) Grafiği ( $G=1000 \text{ W/m}^2$ ).....               | 151 |
| <b>Şekil 5.65:</b> Parla Solar 2 Half Cut Cell Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri .....                         | 154 |
| <b>Şekil 5.66:</b> Parla Solar 2 Half Cut Cell Panel (P-V) Grafiği ( $T=25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ).....  | 155 |
| <b>Şekil 5.67:</b> Parla Solar 2 Half Cut Cell Panel (I-V) Grafiği ( $T=25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ..... | 155 |
| <b>Şekil 5.68:</b> Parla Solar 2 Half Cut Cell Panel (I-V) ( $G=1000 \text{ W/m}^2$ ).....                   | 156 |



|                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tablo 1.1:</b> Türkiye 2019 Yılı Kurulu Gücü (MW)<br>(31 Ocak 2019 Sonu İtibariyle) .....                                        | 6   |
| <b>Tablo 1.2:</b> Türkiye 2018-2019 Aralık, Ocak, Şubat Ayları<br>Üretimin Kaynaklarına Göre Dağılımı .....                         | 6   |
| <b>Tablo 1.3:</b> Fotovoltaik Teknolojinin Gelişmesiyle İlgili Önemli Tarihler.....                                                 | 9   |
| <b>Tablo 1.4:</b> Türkiye'nin Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Aylara Göre<br>Dağılımı .....                                    | 13  |
| <b>Tablo 1.5:</b> Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere<br>Göre Dağılımı.....                           | 14  |
| <b>Tablo 1.6:</b> Türkiye Güneş Işınımı Ve Güneşlenme Süreleri.....                                                                 | 16  |
| <b>Tablo 1.7:</b> Bazı İllerin Aylara Göre m <sup>2</sup> 'ye Düşen Güneş Enerjisi Miktarı .....                                    | 17  |
| <b>Tablo 2.1:</b> Farklı Bant Aralığı Ve Dalga Boylarına Sahip Olan Güneş<br>Hücreleri.....                                         | 22  |
| <b>Tablo 2.2:</b> Periyodik Cetvelde Bazı Elementlerin Özellikleri.....                                                             | 36  |
| <b>Tablo 2.3:</b> Belirli Maddelerin Oda Sıcaklığındaki Direnç Değerleri.....                                                       | 38  |
| <b>Tablo 4.1:</b> Longi Solar Full Cell (Tam Hücre) Verileri.....                                                                   | 67  |
| <b>Tablo 4.2:</b> Full Cell (Tam Hücre) Bara Ve Ribbon Parametreleri.....                                                           | 79  |
| <b>Tablo 4.3:</b> Hücre İçin Gerekli Sabit Parametreler.....                                                                        | 79  |
| <b>Tablo 4.4:</b> Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) Bara Ve Ribbon Parametreleri.....                                                | 82  |
| <b>Tablo 5.1:</b> Jinko-CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-En<br>Hücre Verileri (T=25 °C).....                                           | 89  |
| <b>Tablo 5.2:</b> Jinko-CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-En<br>Hücre Veriler (G=1000 W/m <sup>2</sup> ).....                           | 89  |
| <b>Tablo 5.3:</b> Jinko-CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-En<br>Panel Verileri (T=25 °C).....                                           | 90  |
| <b>Tablo 5.4:</b> Jinko-CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-En<br>Panel Verileri (G=1000 W/m <sup>2</sup> ).....                          | 90  |
| <b>Tablo 5.5:</b> Jinko-CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-En Panel Verileri.....                                                        | 91  |
| <b>Tablo 5.6:</b> Jinko-Cheetah Solar CheetahPerc Half Cell<br>JKM380-400M-72H-A1-EN Hücre Verileri (T=25 °C).....                  | 95  |
| <b>Tablo 5.7:</b> Jinko-Cheetah Solar CheetahPerc Half Cell<br>JKM380-400M-72H-A1-EN Hücre Verileri (G=1000 W/m <sup>2</sup> )..... | 95  |
| <b>Tablo 5.8:</b> Jinko-Cheetah Solar CheetahPerc Half Cell<br>JKM380-400M-72H-A1-EN Panel Verileri (T=25 °C).....                  | 96  |
| <b>Tablo 5.9:</b> Jinko-Cheetah Solar CheetahPerc Half Cell<br>JKM380-400M-72H-A1-EN Panel Verileri (G=1000 W/m <sup>2</sup> )..... | 96  |
| <b>Tablo 5.10:</b> Jinko-Cheetah Solar CheetahPerc Half Cell<br>JKM380-400M-72H-A1-EN Panel Verileri .....                          | 97  |
| <b>Tablo 5.11:</b> Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN<br>Hücre Verileri (T=25 °C).....                               | 100 |

|                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tablo 5.12: Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN</b>                                      |     |
| Hücre Verileri ( $G=1000 \text{ W/m}^2$ ).....                                                            | 101 |
| <b>Tablo 5.13: Jinko-CheetahPercHalf Cell JKM380-400M72H-A1-EN</b>                                        |     |
| Panel Verileri ( $T=25^\circ\text{C}$ ).....                                                              | 101 |
| <b>Tablo 5.14: Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN</b>                                      |     |
| Panel Verileri .....                                                                                      | 101 |
| <b>Tablo 5.15: Jinko-EaglePerc JKM360-380M-72-A1-En</b>                                                   |     |
| Hücre Verileri ( $T=25^\circ\text{C}$ ).....                                                              | 104 |
| <b>Tablo 5.16: Jinko-EaglePerc JKM360-380M-72-A1-En</b>                                                   |     |
| Hücre Verileri ( $G=1000 \text{ W/m}^2$ ).....                                                            | 105 |
| <b>Tablo 5.17: Jinko-EaglePerc JKM360-380M-72-A1-En</b>                                                   |     |
| Panel Verileri ( $T=25^\circ\text{C}$ ).....                                                              | 105 |
| <b>Tablo 5.18: Jinko-EaglePerc JKM360-380M-72-A1-En</b>                                                   |     |
| Panel Verileri ( $G=1000 \text{ W/m}^2$ ).....                                                            | 106 |
| <b>Tablo 5.19: Jinko-EaglePerc JKM360-380M-72-A1-En Panel Verileri.....</b>                               | 106 |
| <b>Tablo 5.20: Jinko- EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-En</b>                                   |     |
| Hücre Verileri ( $T=25^\circ\text{C}$ ).....                                                              | 109 |
| <b>Tablo 5.21: Jinko- EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-En</b>                                   |     |
| Hücre Verileri ( $G=1000 \text{ W/m}^2$ ).....                                                            | 109 |
| <b>Tablo 5.22: Jinko- EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-En</b>                                   |     |
| Panel Verileri ( $T=25^\circ\text{C}$ ).....                                                              | 110 |
| <b>Tablo 5.23: Jinko-EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-En</b>                                    |     |
| Panel Verileri ( $G=1000 \text{ W/m}^2$ ).....                                                            | 110 |
| <b>Tablo 5.24: Jinko-EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-En</b>                                    |     |
| Panel Verileri .....                                                                                      | 111 |
| <b>Tablo 5.25: Longi Solar LR6-72PH Full Mono360-380M</b>                                                 |     |
| Hücre Verileri ( $T=25^\circ\text{C}$ ).....                                                              | 114 |
| <b>Tablo 5.26: Longi Solar LR6-72PH Full Mono 360-380M</b>                                                |     |
| Hücre Verileri ( $G=1000\text{W/m}^2$ ).....                                                              | 114 |
| <b>Tablo 5.27: Longi Solar LR6-72PH Full Mono 360-380 M</b>                                               |     |
| Panel Verileri ( $T=25^\circ\text{C}$ ).....                                                              | 115 |
| <b>Tablo 5.28: Longi Solar LR6-72PH Full Mono 360-380M</b>                                                |     |
| Panel Verileri ( $G=1000 \text{ W/m}^2$ ).....                                                            | 115 |
| <b>Tablo 5.29: Longi Solar LR6-72PH Full Mono360-380M Panel Verileri.....</b>                             | 116 |
| <b>Tablo 5.30: Longi Solar LR6-72HPH Perc Half Mono365-385M</b>                                           |     |
| Hücre Verileri ( $T=25^\circ\text{C}$ ).....                                                              | 119 |
| <b>Tablo 5.31: Longi Solar LR6-72HPH Perc Half Mono365-385M</b>                                           |     |
| Hücre Verileri( $G=1000 \text{ W/m}^2$ ).....                                                             | 119 |
| <b>Tablo 5.32: Longi Solar LR6-72HPH Perc Half Mono365-385M</b>                                           |     |
| Panel Verileri ( $T=25^\circ\text{C}$ ).....                                                              | 120 |
| <b>Tablo 5.33: LR6-72HPH Half Mono365-385M</b>                                                            |     |
| Panel Verileri ( $G=1000 \text{ W/m}^2$ ).....                                                            | 120 |
| <b>Tablo 5.34: LR6-72HPH Half Mono365-385M Panel Verileri .....</b>                                       | 121 |
| <b>Tablo 5.35: Longi Solar Longi Mono Perc 310W Hücre Verileri (<math>T=25^\circ\text{C}</math>).....</b> | 124 |

|                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tablo 5.36:</b> Longi Solar Longi Mono Perc 310W                                                            |     |
| Hücre Verileri (G=1000 W/m <sup>2</sup> ).....                                                                 | 124 |
| <b>Tablo 5.37:</b> Longi Solar Longi Mono Perc 310W                                                            |     |
| Panel Verileri (T=25 °C).....                                                                                  | 125 |
| <b>Tablo 5.38:</b> Longi Solar Longi Mono Perc 310W                                                            |     |
| Panel Verileri (G=1000 W/m <sup>2</sup> ).....                                                                 | 125 |
| <b>Tablo 5.39:</b> Longi Solar Longi Mono Perc 310W Panel Verileri .....                                       | 126 |
| <b>Tablo 5.40:</b> Longi Solar Longi Mono Perc Half Cut 310W                                                   |     |
| Hücre Verileri (T=25 °C).....                                                                                  | 129 |
| <b>Tablo 5.41:</b> Longi Solar Longi Mono Perc Half Cut 310W Hücre Verileri<br>(G=1000 W/m <sup>2</sup> )..... | 129 |
| <b>Tablo 5.42:</b> Longi Solar Longi Mono Perc Half Cut 310W                                                   |     |
| Panel Verileri (T=25 °C).....                                                                                  | 130 |
| <b>Tablo 5.43:</b> Longi Solar Longi Mono Perc Half Cut 310W                                                   |     |
| Panel Verileri (G=1000 W/m <sup>2</sup> ).....                                                                 | 130 |
| <b>Tablo 5.44:</b> Longi Solar Longi Mono Perc Half Cut 310W Panel Verileri .....                              | 131 |
| <b>Tablo 5.45:</b> Parla Solar (5-Mono-72) Hücre Verileri (T=25 °C) .....                                      | 134 |
| <b>Tablo 5.46:</b> Parla Solar (5-Mono-72) Hücre Verileri (G=1000 W/m <sup>2</sup> ).....                      | 134 |
| <b>Tablo 5.47:</b> Parla Solar (5-Mono-72) Panel Verileri (T=25 °C).....                                       | 135 |
| <b>Tablo 5.48:</b> Parla Solar (5-Mono-72) Panel Verileri (G=1000 W/m <sup>2</sup> ).....                      | 135 |
| <b>Tablo 5.49:</b> Parla Solar (5-Mono-72) Panel Verileri.....                                                 | 136 |
| <b>Tablo 5.50:</b> Parla Solar (5-Mono-72) Half Cut Cell Hücre Verileri (T=25 °C) ..                           | 138 |
| <b>Tablo 5.51:</b> Parla Solar (5-Mono-72) Half Cut Cell                                                       |     |
| Hücre Verileri (G=1000 W/m <sup>2</sup> ).....                                                                 | 139 |
| <b>Tablo 5.52:</b> Parla Solar (5-Mono-72) Half Cut Cell Panel Verileri (T=25 °C) ...                          | 139 |
| <b>Tablo 5.53:</b> Parla Solar (5-Mono-72) Half Cut Cell                                                       |     |
| Panel Verileri (G=1000 W/m <sup>2</sup> ).....                                                                 | 140 |
| <b>Tablo 5.54:</b> Parla Solar (5-Mono-72) Half Cut Cell Panel Verileri .....                                  | 140 |
| <b>Tablo 5.55:</b> Bereket Enerji-Parla Solar 72 Adet Hücre Verileri .....                                     | 141 |
| <b>Tablo 5.56:</b> Parla Solar 1 Full Cell Hücre Verileri (T=25 °C).....                                       | 143 |
| <b>Tablo 5.57:</b> Parla Solar 1 Full Cell Hücre Verileri (G=1000 W/m <sup>2</sup> ).....                      | 144 |
| <b>Tablo 5.58:</b> Parla Solar 1 Full Cell Panel Verileri (T=25 °C).....                                       | 144 |
| <b>Tablo 5. 59:</b> Parla Solar 1 Full Cell Panel Verileri (G=1000 W/m <sup>2</sup> ) .....                    | 145 |
| <b>Tablo 5.60:</b> Parla Solar 1 Full Cell Panel Verileri .....                                                | 145 |
| <b>Tablo 5. 61:</b> Parla Solar 1 Half Cut Cell Hücre Verileri (T=25 °C) .....                                 | 147 |
| <b>Tablo 5.62:</b> Parla Solar 1 Half Cut Cell Hücre Verileri (G=1000 W/m <sup>2</sup> ) .....                 | 148 |
| <b>Tablo 5.63:</b> Parla Solar 1 Half Cut Cell Panel Verileri (T=25 °C) .....                                  | 148 |

|                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tablo 5.64:</b> Parla Solar 1 Half Cut Cell Panel Verileri (G=1000 W/m <sup>2</sup> ) ..... | 149 |
| <b>Tablo 5. 65:</b> Parla Solar 1 Half Cut Cell Panel Verileri.....                            | 149 |
| <b>Tablo 5.66:</b> Bereket Enerji-Parla Solar 19 Adet Hücre Verileri .....                     | 150 |
| <b>Tablo 5.67:</b> Parla Solar 2 Full Cell Panel Verileri (T=25 °C).....                       | 152 |
| <b>Tablo 5.68:</b> Parla Solar 2 Full Cell Panel Verileri (G=1000 W/m <sup>2</sup> ) .....     | 152 |
| <b>Tablo 5.69:</b> Parla Solar 2 Full Cell Panel Verileri (T=25 °C).....                       | 153 |
| <b>Tablo 5.70:</b> Parla Solar 2 Full Cell Panel Verileri (G=1000 W/m <sup>2</sup> ) .....     | 153 |
| <b>Tablo 5.71:</b> Parla Solar 2 Full Cell Panel Verileri .....                                | 153 |
| <b>Tablo 5.72:</b> Parla Solar 2 Half Cut Cell Panel Verileri (T=25 °C) .....                  | 156 |
| <b>Tablo 5.73:</b> Parla Solar 2 Half Cut Cell Panel Verileri (G=1000 W/m <sup>2</sup> ) ..... | 157 |
| <b>Tablo 5.74:</b> Parla Solar 2 Half Cut Cell Panel Verileri (T=25 °C) .....                  | 157 |
| <b>Tablo 5.75:</b> Parla Solar 2 Half Cut Cell Panel Verileri (G=1000 W/m <sup>2</sup> ) ..... | 158 |
| <b>Tablo 5.76:</b> Parla Solar 2 Half Cut Cell Panel Verileri.....                             | 158 |

## SEMBOL LİSTESİ

|                                                        |                                                                  |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| <b>PV</b>                                              | : Fotovoltaik Enerji                                             |
| <b>TEP</b>                                             | : Ton Eşdeğer Petrol                                             |
| <b>TET</b>                                             | : Ton Eşdeğer Taş Kömürü                                         |
| <b>c-Si</b>                                            | : Kristal Silisyum Hücre Yapısı                                  |
| <b>a-Si</b>                                            | : Amorf Silisyum Hücre Yapısı                                    |
| $\lambda$                                              | : Foton Dalga Boyu ( $\mu\text{m}$ )                             |
| <b>E</b>                                               | : Maddenin Birim Alana Yayıdığı Enerji ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) |
| $\sigma$                                               | : Stefan-Boltzmann Sabiti ( $\text{W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$ )  |
| <b>h</b>                                               | : Planck Sabiti ( $\text{J.s}$ )                                 |
| <b>b</b>                                               | : Wien Yer Değiştirme Sabiti ( $\text{m.K}$ )                    |
| <b>k</b>                                               | : Boltzmann Sabiti ( $\text{JK}^{-1}$ )                          |
| <b>v</b>                                               | : Foton Frekansı ( $\text{Hz}$ )                                 |
| <b>MPPT</b>                                            | : Maksimum Güç Noktası İzleyicisi                                |
| <b>eV</b>                                              | : Elektronun Sahip Olduğu Enerji ( $\text{J}$ )                  |
| <b>q</b>                                               | : Elektron Yüğü ( $\text{C}$ )                                   |
| $V_g = E_g$                                            | : Malzemenin Bant Aralığındaki Gerilimi ( $\text{eV}$ )          |
| <b>V<sub>oc</sub></b>                                  | : Açık Devre Gerilimi ( $\text{V}$ )                             |
| <b>I<sub>sc</sub></b>                                  | : Kısa Devre Akımı ( $\text{A}$ )                                |
| <b>I<sub>sh</sub></b>                                  | : Paralel Direnç Üzerinden Geçen Kaçak Akım ( $\text{A}$ )       |
| <b>I<sub>d</sub></b>                                   | : Diyot Akımı ( $\text{A}$ )                                     |
| <b>T</b>                                               | : Mutlak Hücre Sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C} - \text{K}$ )       |
| <b>I<sub>F</sub></b>                                   | : Hücrenin Foton Akımı ( $\text{A}$ )                            |
| <b>I</b>                                               | : Net Akım ( $\text{A}$ )                                        |
| <b>I<sub>0</sub></b>                                   | : Satürasyon Akımı ( $\text{A}$ )                                |
| <b>R<sub>s</sub></b>                                   | : Seri Direnç ( $\Omega$ )                                       |
| <b>R<sub>p</sub></b>                                   | : Paralel Direnç ( $\Omega$ )                                    |
| <b>I<sub>mp</sub>=I<sub>Max</sub>=I<sub>opt</sub></b>  | : Maksimum Güçteki Akım ( $\text{A}$ )                           |
| <b>V<sub>mp</sub> =V<sub>Max</sub>=V<sub>opt</sub></b> | : Maksimum Güçteki Voltaj ( $\text{V}$ )                         |
| <b>P<sub>Max</sub></b>                                 | : Maksimum Güç ( $\text{W}$ )                                    |

|                        |                                                            |
|------------------------|------------------------------------------------------------|
| <b>FF</b>              | : Doldurma Faktörü                                         |
| <b>G</b>               | : Radyasyon Enerji Miktarı (W)                             |
| <b>G<sub>nom</sub></b> | : Sabit Radyasyon Enerji Miktarı (1000 W/m <sup>2</sup> )  |
| <b>STC</b>             | : Standart Test Koşulu (25°C Ve G=1000 W/m <sup>2</sup> )  |
| <b>NOCT</b>            | : Nominal Test Koşulları (20°C Ve G=800 W/m <sup>2</sup> ) |
| <b>K<sub>0</sub></b>   | : Kısa Devre Akımına Bağlı Sıcaklık Katsayısı (%/K-°C)     |
| <b>η</b>               | : Modül Verimliliği                                        |
| <b>V<sub>t</sub></b>   | : Termal Voltaj (V)                                        |
| <b>n</b>               | : Diyot İdealite Katsayısı                                 |
| <b>l</b>               | : Her Uzunluk Başına Ribbon Direnci (Ω.m)                  |
| <b>A</b>               | : Ribbon Alanı (mm <sup>2</sup> )                          |
| <b>L<sub>bb</sub></b>  | : Hücredeki Bara Uzunluğu (mm)                             |
| <b>N<sub>bb</sub></b>  | : Hücredeki Bara Sayısı                                    |

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında bana bütün imkânlarını sunan, engin başarı, bilgi ve deneyimleriyle yön gösteren, değerli vaktini ayıran, yardımlarını hiçbir zaman esirgmeden beni destekleyen, araştırma ve çalışmalarımda azimle ilerlememi sağlayan, gelecekte yapmayı planladığım çalışmalarda bilgilerinin bana yön göstereceğine inandığım Sayın Danışmanım Prof. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK'e teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Bu tezle ilgili çalışmalarına destek olan, başarılarını ve çalışmalarını her zaman yakından takip ettiğim ve beni hiçbir zaman geri çevirmeyen, Sayın Prof. Dr. Necip ATAR'a teşekkür ederim

Yaptığım çalışmalarda gerekli olan bütün verileri paylaştıkları için Bereket Enerji Grubuna ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Araştırma sürecimde sürekli iletişimde olduğum, benim kadar çalışmalarımın sonucunu büyük bir heyecan ve sabırla bekleyen, bilgilerini benimle paylaşmaktan kaçınmayan, Singapur National Üniversitesi bünyesine bağlı, Singapur Güneş Enerjisi Araştırma Enstitüsü- Gelişmiş PV Modülü Teknoloji Ekibi Başkanı Dr. Jai Prakash SINGH'e teşekkür ederim.

Eğitim öğretim hayatımın tümünde bana maddi ve manevi olarak hiçbir desteği esirgmeden sağlayan, çıktığım her yolda yanımda olan aileme, özellikle bana sonuna kadar güvenen ve başaracağıma her zaman inanan abim Muammer KARADAVUT'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Ayrıca beni destekleyen arkadaşım Koray ŞENAYDIN'a ve diğer tüm dostlarıma çok teşekkür ederim.

## 1. GİRİŞ

Çağımızda teknoloji sürekli ilerleme göstermektedir. Bu ilerleme ile birlikte günlük yaşamda ve evlerde ve sanayileşmede çok fazla enerji tüketilmektedir. Bu durumun getirilerinden biri de fazla salınım ve atık üretilmesidir. Genel bir değerlendirme yapılacak olursa dünya genelinde harcanan toplam enerjinin üçte biri, elektrik enerjisinin ise üçte ikisi evlerde kullanılmaktadır. Bu yüzden konutların kullandığı enerji kaynakları ise hava ve çevre kirliliğinin sebeplerinden biri olmaktadır. Araştırmalara göre; sülfür dioksit (SO<sub>2</sub>) salınımının %49'u ve nitröz oksit (N<sub>2</sub>O) salınımının %25'i parçacık salınımının %10'u konutlarda üretilmektedir. Hava kirliliğinin genel sebebinin karbondioksit (CO<sub>2</sub>) olduğu bilinmektedir. Bu karbondioksit salınımının %35'lik kısmı ise direk veya dolaylı bir şekilde konutlardan çıkmaktadır. Konutların ortaya çıkardığı bu zararlı durumu ortadan kaldırmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının gücüne başvurulması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması gerekmektedir. Bulunan enerjinin yararlı ve bilinçli kullanılması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının konutlarda kullanılabilen kısmı ise; güneş, rüzgâr ve yakıt hücreleri olarak sıralanır. Bu sıraladığımız enerji kaynaklarından kendine önemli bir yer oluşturan enerji kaynağı “güneş enerjisi” olmaktadır. Güneş enerjisi fosil enerji kaynaklarının en büyük alternatifleri arasındadır ve fosil yakıtlara oranla daha az salınım üretir. Güneş enerjisinin kullanım alanlarının genişletilmesiyle birlikte çevre kirliliğine neden olan birçok neden ortadan kalkabilir. Konutlarda kullanılan güneş enerjisi, araçlarda kullanılan güneş enerjisi ve ısınma da kullanılan güneş enerjisi çevre kirliliğinde büyük bir azalmaya götürebilir. Konutlarda ısınmanın güneş enerjisi ile sağlanması CO<sub>2</sub> salınımının azalmasına katkıda bulunacaktır. (Alkan 2016; Adulazez 2011; Şentürk 2018).

Yenilenebilir enerji kaynakları ülkemizde yalnızca çevre kirliliğinin azalması için değil ayrıca dışa bağımlı olduğumuz enerji kaynaklarının da dışa bağımlılığını azaltmak için büyük bir fırsat olmaktadır. Dışa bağımlılığı azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına teşvik edilmesi ve artırılması gerekmektedir. Ülkemiz bölgeden bölgeye farklılık göstermekle birlikte güneş ve rüzgâr enerjisi bakımından önemli güce sahiptir (Şentürk 2018).

Dünya nüfusuna ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak elektrik enerjisi tüketimi gün geçtikçe artmaktadır. Bu artışla birlikte elektrik enerjisi üretiminde kullanılan fosil yakıt (kömür, doğalgaz vs.) rezervlerinin tükenmeye başlaması dünyanın dikkatini çekmiş ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmaya başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli iki kaynağı güneş ve rüzgârdır (Alkan 2016; Url-1).

Bu iki önemli kaynaktan biri olan güneş enerjisinden elektrik üretimi iki yöntemle olmaktadır (Url-1).

- Güneşin ısısından yararlanarak üretilen elektrik
- Fotovoltaik enerji (PV) sistemlerinden üretilen elektrik

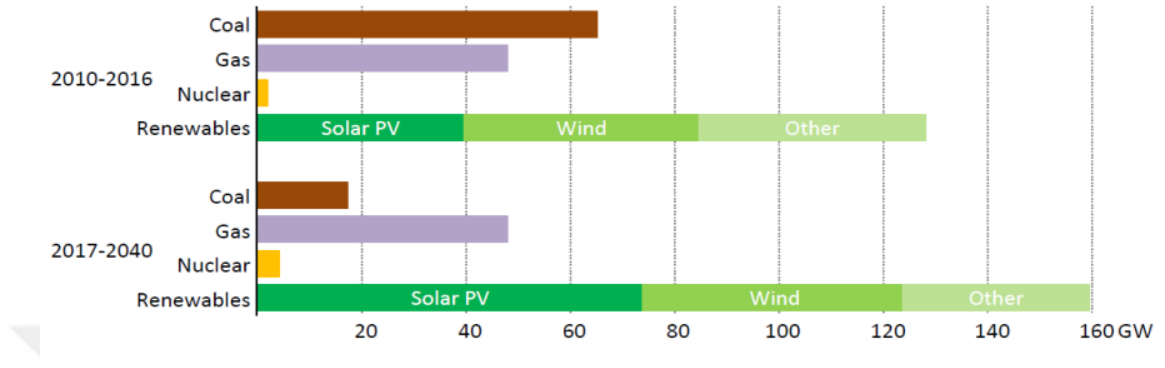
PV hücreler, güneş ışığından aldığı enerjiyi direk elektrik enerjisine çeviren yarıiletken maddelerdir. İstenilen güce göre PV hücreler seri veya paralel bağlanır ve PV panel oluşturulur. PV paneller de seri veya paralel bağlanarak PV dizileri oluşturur. PV hücreler, PV paneller ve PV diziler ile birçok alanda tasarım yapılabilir.

PV sistemler güvenilir, yakıt ve bakım maliyeti az ve çevre kirliliğine sebep olmaması bakımından çok avantajlıdır. Fakat PV sistemlerin ilk kurulum maliyetleri yüksek ve elektrik enerjisini depolama gücü azdır. Bu yüzden PV sistemlerde hatanın az olması ve yapılan işlemlerden maksimum gücün elde edilmesi gerekmektedir (Url-1, 2019; Şentürk, 2018).

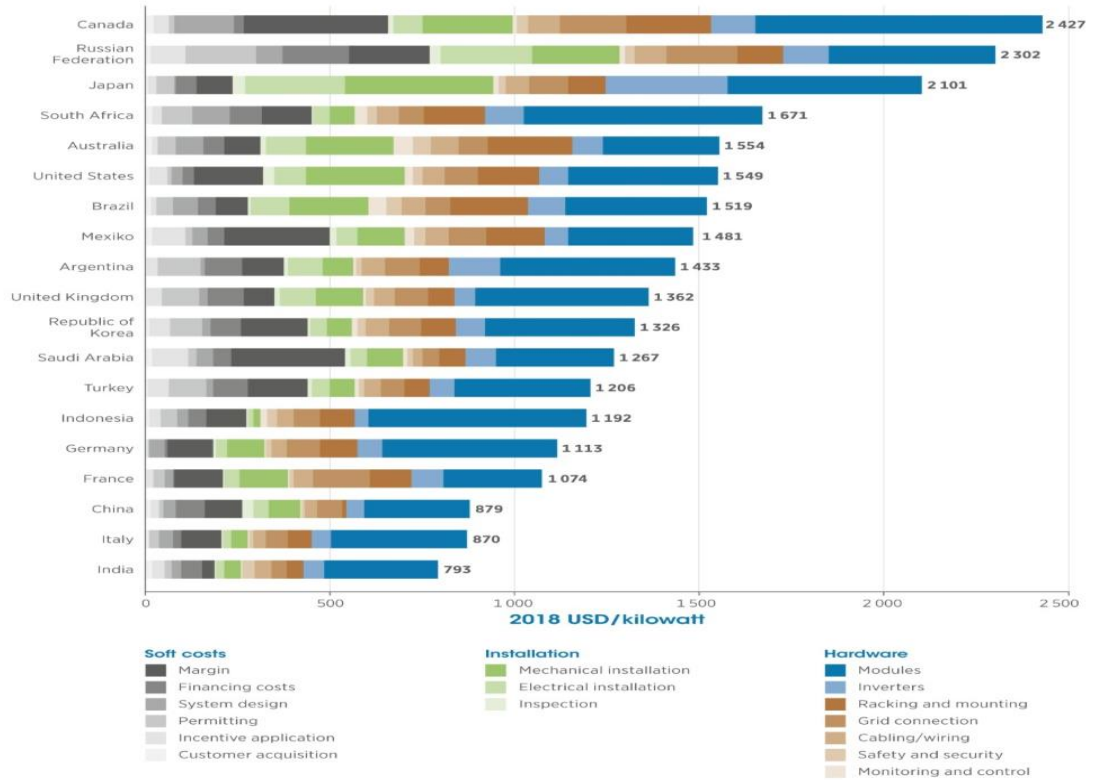
PV hücrelerin yapımında yarıiletken malzemeler kullanılır. Sistem analizinde ve sistem tasarımında karakteristiği iyi bilinmelidir. Bu yüzden PV hücrenin modellenmesinde birçok model bulunmaktadır. Bu modellerden tek diyot, uygulamalarında daha gerçekçi sonuçlar elde edildiğinden en çok kullanılan modeldir.

## 1.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji, sürekli devam eden doğal süreçlerdeki var olan enerji akışından elde edilen enerjidir. Bu kaynaklar güneş, rüzgâr, jeotermal, biyolojik süreçler ve akan su (hidrolik güç) olarak sıralanabilir (Alkan,2016). Şekil 1.1’de Zorlu Enerji Solar Grubunun kaynaklarından alınan veriler mevcuttur.



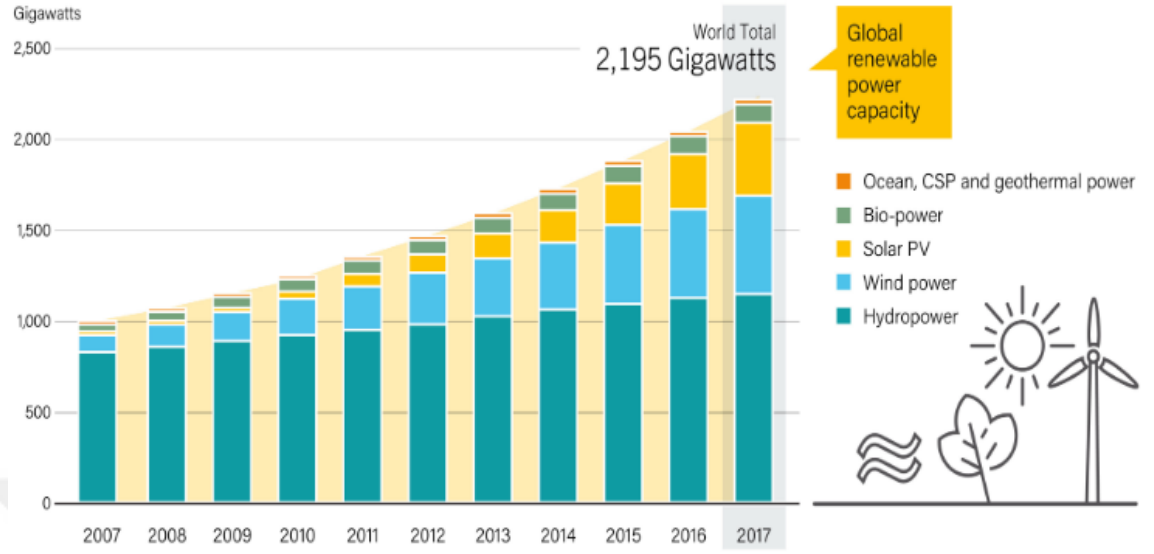
Şekil 1.1: Türene Göre Küresel Ortalama Yıllık Net Kapasite Ekleri (Url-2, 2018)



Şekil 1.2: 2018 Yılı Toplam PV Kurulumlarının Ükelere ve Bileşenlere Göre Maliyetleri (Url-3, 2019)

Yenilenebilir enerji, enerji üretim ihtiyaçlarını karşılamak için giderek daha rekabetçi hale gelmektedir. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA)

verileri, 2018 Yılı Yenilenebilir Enerji Üretim Maliyetleri Şekil 1.2 'de görülmektedir.



Şekil 1.3: Küresel Yenilenebilir Enerji Kapasitesi 2007-2017 (Url-2,2018)

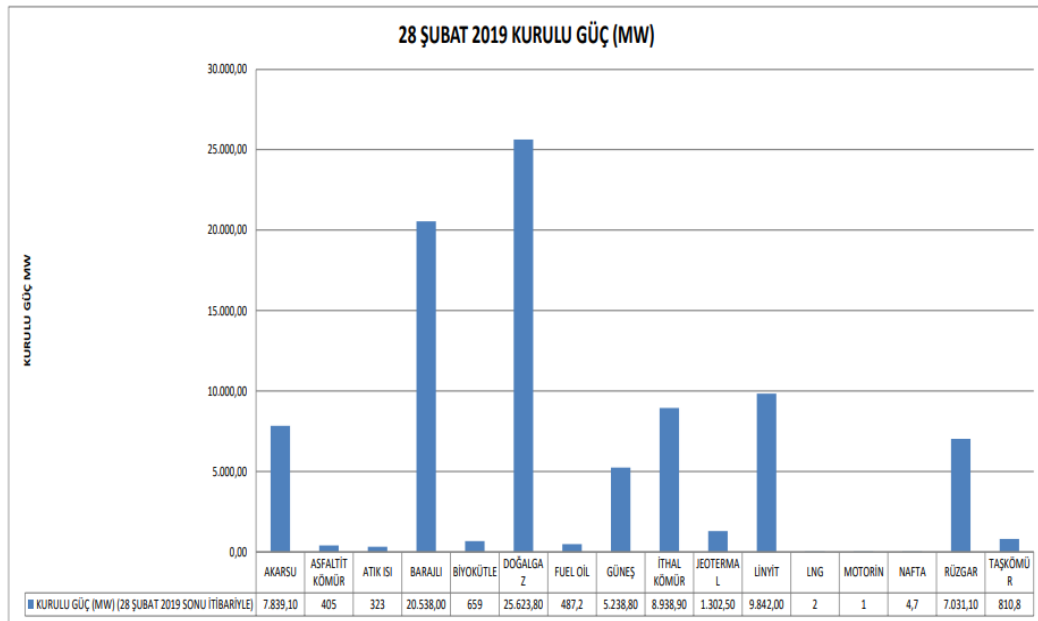
Yenilenebilir enerji kullanımına ve depolama faaliyetlerine öncülük eden ülkeler arasında, Danimarka, Uruguay, Almanya, İrlanda, Portekiz ve İspanya ilk sıralarda bulunmaktadır. 2017 yılında 17 ülke, elektriğinin yüzde 90'dan fazlasını yenilenebilir kaynaklardan sağlarken kısa vadeli toplam elektrik talebine yüksek oranlarda yenilenebilir enerjiden elde edilen elektrik entegre edilmiştir. Yüzde 100'den fazla rüzgardan ve yüzde 44 oranında güneşten yük sağlayan Güney Avustralya ilk sıralarda bulunmaktadır. Şekil 1.3'te 2007-2017 yıllarındaki küresel yenilenebilir enerji kapasitesi verilmiştir.

Dünyanın yüzey sıcaklığını güneşten gelen enerji belirler. Dünya yüzeyini ısıtan enerji, güneşten gelen kızılötesi dalga boyundaki enerjidir. Bu enerjinin bir kısmı, atmosfer tarafından geçirilerek yer yüzeyine ulaşır ve oradan yansarak uzaya geri döner. Karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ), Metan ( $\text{CH}_4$ ) ve  $\text{NO}_x$  gibi gazlar, atmosferin üst tabakalarına yerleşerek, yerden yansıyan enerjiyi tekrar yüzeye yönlendirir. Böylece yüzey sıcaklığı artmış olur. Bu olay, Sera Etkisi (Green House Effect) olarak adlandırılır. Sera etkisini oluşturan gazların başında  $\text{CO}_2$  gelmektedir. Atmosferdeki  $\text{CO}_2$  miktarı, son yüzyıl içinde yaklaşık 1,3 kat artmıştır. Önümüzdeki 50 yıl içinde, bu miktarın bugüne oranla 1,4 kat daha artma olasılığı vardır. Bunun başlıca sebebi, fosil kökenli yakıtların kullanılması ve ekvator bölgesinde bulunan yağmur ormanlarının kapladıkları alanın hızla azaltılmasıdır. O

halde, bu durumda enerji kullanımından vazgeçilemeyeceğine göre güneş gibi doğal ve alternatif olabilecek kaynaklara yönelmesi gerekecektir.

Doğrudan dönüşümün günümüzde en yaygın teknolojisi fotovoltaik dönüşüm veya Türkçe adıyla güneş hücresi olup gelecek için ümit veren diğer bir teknoloji ise ısıdan dönüşümle doğrudan mekanik enerji elde edilen Stirling motorudur. Yine aynı gruba giren termoelektrik ve termoiyonik dönüştürücüler henüz ticari kullanım düzeyine erişmemişlerdir.

Dolaylı dönüşüm, Güneş Termik Santrallerinde güneş ışınımından yararlanılarak üretilen buhar ile buhar-güç çevrimi ya da güneş enerjisiyle elde edilen hidrojen ve bunun kullanıldığı yakıt pilidir. Güneş hücrelerini kullanan fotovoltaik elektrik üreteçleri akümülatör yedekli, dizel ve/veya rüzgar enerjisi jeneratörü yedekli olarak şebekeden bağımsız veya kendi başlarına şebekeye bağlı olarak çalıştırılırlar. Fotovoltaik sistemler ile bulutlu veya açık her türlü hava şartlarında elektrik üretilebilirken, yoğunlaştırıcı sistemlerde (termik ve mekanik dönüşüm) direk ışınım, yani açık hava gerekli olmaktadır. Bu nedenle, termik ve mekanik dönüşümlü üreteçler için Güney Doğu Anadolu ve Akdeniz bölgelerinin tercih edilmesi gerekirken fotovoltaik üreteçler için Doğu Karadeniz Bölgesi dışındaki tüm bölgeler uygun olmaktadır (Abdulazez, 2011).



**Şekil 1.4:** Türkiye 2019 Yılı Kurulu Gücü (MW) (Url-4, 2019)

**Tablo 1.1:** Türkiye 2019 Yılı Kurulu Gücü (MW) (31 Ocak 2019 Sonu İtibariyle) (Url-4, 2019)

| KURULU GÜÇ                                |                                                 |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| YAKIT CİNSLERİ                            | KURULU GÜÇ (MW) (31 OCAK 2019 SONU İTİBARI İLE) |
| FUEL-OİL+NAFTA+MOTORİN                    | 294                                             |
| YERLİ KÖMÜR (TAŞ KÖMÜR+LİNYİT+ASFALTİT)   | 10403,5                                         |
| İTHAL KÖMÜR                               | 8793,9                                          |
| DOĞAL GAZ+LNG                             | 22437,8                                         |
| YENİLENEBİLİR+ATIK+ATIKISI+PİR OLİTİK YAĞ | 738,8                                           |
| ÇOK YAKITLILAR KATI+SIVI                  | 697,1                                           |
| ÇOK YAKITLILAR SIVI+ DOĞAL GAZ            | 3358,3                                          |
| JEOTERMAL                                 | 1302,5                                          |
| HİDROLİK BARAJLI                          | 20567,5                                         |
| HİDROLİK AKARSU                           | 7783,7                                          |
| RÜZGAR                                    | 6946,8                                          |
| GÜNEŞ                                     | 81,7                                            |
| TERMİK (LİSANSSIZ)                        | 319,3                                           |
| RÜZGAR (LİSANSSIZ)                        | 63,1                                            |
| HİDROLİK (LİSANSSIZ)                      | 7,6                                             |
| GÜNEŞ (LİSANSSIZ)                         | 5098,5                                          |
| TOPLAM                                    | 88894,1                                         |

**Tablo 1.2:** Türkiye 2018-2019 Aralık, Ocak, Şubat Ayları Üretimin Kaynaklarına Göre Dağılımı (Url-4, 2019)

| ÜRETİMİN KAYNAKLARA GÖRE DAĞILIMI |                      |                     |                       |                     |
|-----------------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
|                                   | 28 ŞUBAT 2019 VERİSİ | 31 OCAK 2019 VERİSİ | 31 ARALIK 2018 VERİSİ | 31 OCAK 2018 VERİSİ |
| DOĞAL GAZ                         | 3564381,6            | 5402001,9           | 6909485,4             | 8997292,2           |
| LNG                               | 0                    | 0                   | 0                     | 529,83              |
| LİNYİT                            | 3403311,2            | 3561409,1           | 3792708,6             | 3611222,9           |
| TAŞ KÖMÜR                         | 220416               | 224075              | 247290,5              | 222256              |
| ASFALTİT KÖMÜR                    | 159951,98            | 168206,64           | 257973,14             | 179589,81           |
| İTHAL KÖMÜR                       | 5325844,5            | 5119743,8           | 5601499,5             | 5711090,9           |
| FUEL OİL                          | 116343,3             | 136501,9            | 142883,7              | 128344,61           |
| MOTORİN                           | 0                    | 0                   | 0                     | 0                   |
| NAFTA                             | 0                    | 0                   | 0                     | 0                   |
| LPG                               | 0                    | 0                   | 0                     | 0                   |
| ATIK ISI                          | 50452,18             | 56436,33            | 50430,62              | 62065               |
| BİYOKÜTLE                         | 232037,45            | 254118,11           | 231020,01             | 181776,12           |
| JEOTERMAL                         | 659529,49            | 715160,39           | 691690,55             | 597977,68           |
| AKARSU                            | 2135045,2            | 2186761,8           | 1833281,5             | 1440038,6           |
| BARAJLI                           | 5030812,9            | 5457724             | 3989790,5             | 3081555             |
| GÜNEŞ                             | 9807,58              | 7007,02             | 5425,9                | 1643,24             |
| RÜZGAR                            | 1868266,6            | 2188996,5           | 1662118,6             | 1803266,5           |
| TOPLAM- MWh                       | 22776200             | 25478143            | 25415598              | 26018648            |

Türkiyenin 2018-2019 yılları arasında, elektrik şebekesinin taşıyabileceği, bir tesisatın kaldırabileceği maksimum kapasiteyi belirten kurulu güçlerin verileri, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odasının 2019 yılında yayınlamış olduğu “Enerji İstatistikleri” verilerinde bulunmaktadır. (Şekil 1.4),(Tablo 1.1),(Tablo 1.2)

## 1.2 Güneş

Güneş, hidrojen (H) ve helyum (He) gazlarından oluşan orta büyüklükte bir yıldızdır. Sıcaklığı merkez de yaklaşık  $(8-40) \times 10^6$  K olur. Yüzey sıcaklığı ise 600 K civarındadır. Bu yüksek sıcaklık nedeniyle elektronlar, atom çekirdeklerinden ayrılırlar. Bu sebeple, güneşte atom ve molekül yerine elektronlar ve atom çekirdekleri bulunur. Bu karışıma plazma adı verilir. 4 hidrojen çekirdeği 1 helyum çekirdeği yapar. Füzyon adı verilen bu olay yüksek sıcaklıkta ve atom çekirdeği yardımıyla olduğundan termonükleer reaksiyon adını alır. Güneş çok yoğun sıcak gazlarla meydana gelmiş olan çapı  $1,39 \times 10^9$  m, kütlesi  $1,99 \times 10^{30}$  kg civarında olan bir yıldızdır.

Güneşte oluşan helyum miktarı, harcanan hidrojen miktarından daha azdır. 4 hidrojen atomunun ağırlığı 4,032 birim ağırlık, bir helyum atomu ise 4,003 birim ağırlıktadır. Bu dönüşüm esnasında oluşan yaklaşık 0,029 birim ağırlık kütle farkı ise Einstein’ın enerji-madde bağıntısına ( $E=mc^2$ ) göre enerjiye dönüşmektedir. Yani aradaki fark, güneşten ışın olarak çıkan enerjiyi (güneş radyasyonu) vermektedir. Güneşin merkezinde 1 saniyede 564 milyon ton hidrojen, 560 milyon ton helyuma dönüşmektedir. Aradaki 4 milyon ton fark karşılığı ısı ve ışık enerjisi halinde uzaya 386 milyon EJ (eksa joule) enerji yaydığı tahmin edilmektedir. Bu enerji çeşitli dalga boylarında ışınlar halinde dünyaya ulaşır (Alkan, 2016).

### 1.2.1 Güneş Hücrelerinin Tarihte İlerleyişi

Güneş enerjisinden yararlanabilmek için yapılan çalışmalar çok eski tarihlere dayanmaktadır. Kaynaklara göre ilk defa Sokrates (M.Ö. 400) evlerin güney yönüne fazla pencere konularak güneş ışıınının içeri alınmasını önermiştir. Arşimet (M.Ö. 250) içbükey aynalarla güneş ışıınınını odaklayarak Sirakuza’yı kuşatan gemileri yakmıştır. Çalışmalar 1600’lü yıllarda Galileo’nun merceği bulmasıyla gelişme göstermiştir.

İlk olarak 1725 yılında Belidor tarafından güneş enerjisi ile çalışan bir su pompası geliştirilmiştir. Fransız bilim adamı Mohuchok 1860'da parabolik aynalar yardımı ile güneş ışınımını odaklayarak küçük bir buhar makinesi üzerinde çalışmış, güneş pompaları ve güneş ocakları üzerinde deney yapmıştır. Eski saraylarda (örneğin Dolmabahçe Sarayı) oldukça fazla ayna vardır ve bu güneş enerjisinin kullanımı açısından iyi bir örnek oluşturmaktadır.

I. Dünya Savaşı sırasında petrolün önem kazanması ile güneş enerjisine yönelik çalışmalar gerilemiştir. 1930 yılından itibaren güneş enerjisi ile ilgili çalışmalar azalmıştır. Bu yıllarda güneş enerjisi ile ilgili çalışmalar artmışsa da fazla uygulama alanı bulamamıştır, çalışmalar araştırma kurumlarının dışına çıkmamıştır. Ancak 1960'lı yıllarda petrol krizinin ortaya çıkması insanları alternatif enerji kaynakları konusunda çalışma yapmaya itmiştir (Alkan, 2016).

PV tarihi, fizikçi Alexandra-Edmund Becquerel'in "elektrik akımlarının kimyasal tepkilemelerin indüklediği ışıklardan meydana geldiğini" ve benzer etkilerin diğer bilim adamları tarafından birkaç çeyrek yüzyıl sonra selenyum gibi katılarda gözlemlenmeleri ile başlamaktadır. Bununla birlikte, gerçek önemli gelişme, 1940'lı yılların sonlarına doğru, ilk silikon güneş hücrelerinin geliştirilerek, %6 verimle endüstride kullanımını kolaylaştıran ilk cihazların tasarlanmasıyla başlamıştır.

1839 yılında Becquerel, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğunu gözlemleyerek fotovoltaiik etkiyi bulmuştur.

PV güneş enerji teknolojisinin gelişimiyle ilgili önemli tarihler Tablo 1.3'te verilmiştir. İlk olarak tasarımılanan Si hücreleri bağımsız olarak kullanılmışlar, modüller bir tasarım olarak geliştirilmişlerdir

Günümüzde, birçok tip güneş hücresi endüstriyel tasarımla üretilmekte olup, güneş hücresi uygulamalarının yaygınlaştırılması ve geliştirilmesi için araştırma ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Bu tip teknolojilerin gelişimi malzeme çeşidi ve yapı tasarımına bağlıdır (Öztürk, 2013).

**Tablo 1.3:** Fotovoltaik Teknolojinin Gelişmesiyle İlgili Önemli Tarihler (Öztürk, 2013)

| <i>Bilimsel Gelişme</i>                                                    | <i>Yıl</i> |
|----------------------------------------------------------------------------|------------|
| <i>Becquerel</i> Tarafından Fotovoltaik Etkinin Keşfedilmesi               | 1839       |
| <i>Adams Ve Day</i> Tarafından Selenyumda Fotovoltaik Etkinin Bildirilmesi | 1876       |
| <i>Planck</i> Tarafından Işığın Kuantum Yapısının İleri Sürülmesi          | 1900       |
| <i>Wilson</i> Tarafından Katıların Kuantum Teorisinin Öngörülmesi          | 1930       |
| <i>Mott Ve Schocttky</i> Tarafından Katı Durum Teorisinin Geliştirilmesi   | 1940       |
| <i>Barden, Brattain Ve Shockley</i> Tarafından Transistörün Keşfedilmesi   | 1949       |
| <i>Charpin, Puller Ve Pearson</i> Si Hücre Veriminin (%6) Belirlenmesi     | 1954       |
| <i>Reynols Ve Ark.</i> Tarafından Kadmiyum Sülfür (CdS) Hücre Tasarımı     | 1954       |
| <i>Vanguard 1</i> İsimli Yörüngeli Uyduda Hücrelerin İlk Kez Kullanımı     | 1958       |

PV teknolojisindeki gelişmelerin temel amacı, her zaman en az maliyetle en fazla güç elde etmektir. Herhangi bir yapıda, gerilim ve akım seviyelerini istenen duruma getirebilmek için, seri veya paralel bağlı güneş hücreleri bir PV panelinin ana yarıiletken bileşenini oluştururlar. Yüksek verim sağlayan güneş hücrelerinden kazanılabilecek güç miktarını arttırabilmek için güneş ışınımını soğurma özelliklerinin arttırılması gerekir (Öztürk, 2013).

### 1.2.2 Güneş Enerjisinin Kaynağı

Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, yaklaşık olarak 1370 W/m<sup>2</sup> değerindedir. Ancak yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferden dolayı 0-1100 W/m<sup>2</sup> değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat ve kat fazladır.

Dünya ile güneş arasındaki mesafe 150 milyon km'dir. Dünyaya güneşten gelen enerji dünyada 1 yılda kullanılan enerjinin 20 bin katıdır. Güneş ışınımının tamamı yer yüzeyine ulaşamaz %30'u atmosfer tarafından geri yansıtılır. Güneş ışınımının %50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Bu enerji ile dünyanın sıcaklığı yükselir ve yeryüzünde yaşam mümkün olur. Rüzgâr hareketlerine ve okyanus dalgalanmalarına da bu ısınma neden olur. Güneşten gelen ışınımının %20'si atmosfer ve bulutlarda tutulur. Yer yüzeyine gelen güneş ışınımının %1'den azı bitkiler tarafından fotosentez olayında kullanılır. Bitkiler fotosentez sırasında güneş ışığıyla birlikte karbondioksit ve su kullanarak, oksijen ve şeker üretirler.

Fotosentez yeryüzünde bitkisel yaşamın kaynağıdır. Güneş nükleer enerji dışındaki bütün enerjilerin dolaylı veya direkt kaynağıdır (Alkan, 2016).

### 1.2.3 Güneş Enerjisinin Önemi

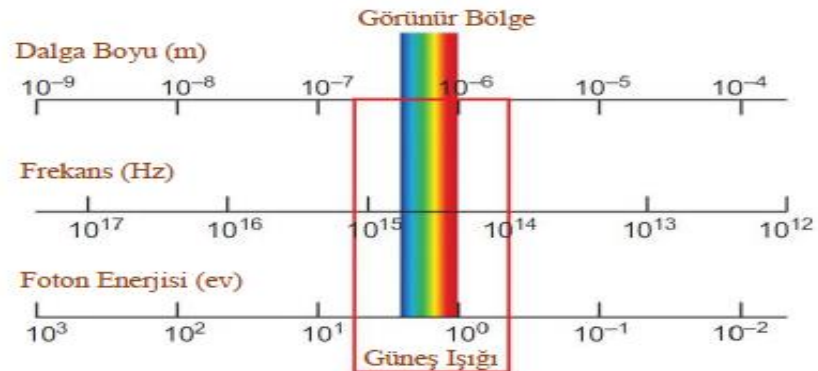
Dünya'nın yüzeyine 1 yılda düşen güneş enerjisi  $0,709 \times 10^{14}$  TEP (ton eşdeğer petrol) veya  $1,22 \times 10^{14}$  TET (ton eşdeğer taş kömürü) kadardır. Bu değer dünyanın bilinen petrol rezervinin 516, kömür rezervinin 157 katıdır.

Güneşin 1 saniyede ürettiği enerji miktarı insanlığın şimdiye kadar kullandığı enerji miktarından fazladır. Dünya, güneşten gelen enerjinin milyarda birini alır. Bu enerji 15 dakika depo edilebilse toplam dünya nüfusunun yıllık enerji ihtiyacı karşılanır.

Güneş enerjisi ısı ve ışık olarak yayıldığı için iletim ve dağıtım sorununun olmaması üstünlük sağlar. Güneş enerjisinin doğal kullanımının yanı sıra doğrudan kontrollü olarak da kullanılabilir. Doğrudan kontrollü kullanımının bir maliyeti vardır ancak fosil yakıtların çevreye verdiği zararın düzeltilmesinde yapılacak iyileştirme çalışmaları düşünüldüğünde güneş enerjisi cazip gelmektedir (Alkan, 2016).

### 1.2.4 Güneş Işıklarının Kullanımı

Güneşten yayınlanan ışınlar, parlak ışık yayan bir lambanın yayınladığı termal ışınlarla aynıdır. Güneş ideal ve kusursuz 5780 K sıcaklığında bir siyah cisim gibi düşünülebilir. Şekil 1.5'te görüldüğü gibi güneşten dünyamıza ulaşan ışınlar elektromanyetik spektrumun çok küçük ancak çok önemli bir bölgesini oluştururlar (Aydın, 2013).



Şekil 1.5: Güneş Işıklarının Elektromanyetik Spektrumdaki Yeri (Aydın, 2013)

### **1.3 Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli**

Türkiye, 36-42 °N enlemleri arasında yer alan coğrafi konumuyla, güneş kuşağı ( $\pm 40^\circ$ ) içerisinde bulunuyor. Türkiye’nin sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Güneşten dünyaya saniyede yaklaşık olarak 170 milyon MW enerji gelmektedir. Türkiye’nin yıllık enerji üretiminin 100 milyon MW olduğu düşünülürse bir saniyede dünyaya gelen güneş enerjisi, Türkiye’nin enerji üretiminin 1.700 katıdır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ısınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE (Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü) tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye’nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ısınım şiddeti 1,311 kWh/m<sup>2</sup>-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m<sup>2</sup>) olduğu tespit edilmiştir.

Türkiye, 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve gerekli yatırımların yapılması halinde Türkiye yılda birim metre karesinden ortalama olarak 1.100 kWh’lik güneş enerjisi üretebilir (Abdulazez, 2011).

#### **1.3.1 Türkiye’de Güneş Enerjisi Kullanımının Tarihçesi**

Güneş enerjisi; zirai ürünlerin kurutulması, mahal ve su ısıtması, evlerde havalandırma amacıyla kullanılmaktadır ve özellikle gelişmiş ülkelerde geniş uygulama alanlarına sahiptir. Ülkemizde güneş enerjisi ilk defa alternatif enerji kaynağı olarak 1960’ların başlarında düşünülmüştür. Bazı yatırımcı girişimlerinin yanı sıra üniversitelerde verilen tezler ile bu konuda çalışmalar başlamıştır.

1970’lerin ortalarında, Dünya’daki güneş enerjisi teknolojisindeki gelişmelerle beraber, ülkemizde de bilhassa güneş enerjisinin ısı uygulamaları konusu üniversiteler, devlet ve endüstri açısından önem kazanmış ve güneş enerjisi çalışmaları bu tarihten itibaren artan bir hızla gelişmiştir.

Güneş enerjisi konusundaki ilk ulusal kongre 1975 yılında İzmir’de gerçekleştirilmiştir. Yine ilk pasif güneş enerjisi uygulaması 1975 yılında ODTÜ bünyesinde tesis edilmiştir.

Güneş enerjisi konusundaki ilk çalışmalar ağırlıklı olarak ODTÜ, Yıldız Teknik Üniversitesi, Ege Üniversitesi ve İstanbul Teknik Üniversitesi tarafından yürütülmüştür. Türkiye’deki ilk Güneş Enerjisi Enstitüsü Ege Üniversitesi bünyesinde 1978 yılında kurulmuş ve faaliyetlerine devam etmektedir. 1980’lerin sonunda bu konudaki çalışmaları TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu) bünyesindeki MBEAE (Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Kurumu) bünyesindeki MBEAE, güneş enerjisi düşük sıcaklık uygulamaları ve Türk endüstrisinin ısı enerji ihtiyacının modellenmesi konusundaki projeleri 1977-1985 yılları arasında ağırlıklı olarak desteklenmiştir. TÜBİTAK bünyesinde 1986 yılında kurulan Ankara Elektronik Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü, güneş hücrelerinin tasarımı ve üretimi çalışmalarını desteklemektedir.

UGET-TB (Uluslararası Güneş Enerjisi Topluluğu Türkiye Bölümü) 1992 yılında itibaren Türkiye’nin izniyle aktif olarak çalışmalarını sürdürmektedir. DME (Devlet Meteoroloji Enstitüsü) artan sayıdaki istasyonlarda iklimsel verilerin kayıt edilmesi, değerlendirilmesi ve bilginin dağıtılması konusunda aktif olarak çalışmaktadır (Alkan, 2016).

EİE (Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü) güneş enerjisi ile su ısıtma, aktif ve pasif mahal ısıtması, yoğunşturan toplayıcılar ve güneş hücreleri konusundaki çalışmalara imkân sağlamaktadır. EİE, Enerji Kaynakları Etüt Dairesi Başkanlığı, Güneş Enerjisi Şubesi’nin 1982 yılında başladığı güneş enerjisi konusunda araştırma, geliştirme, bilgilendirme ve demonstrasyon çalışmaları 2 Kasım 2011 tarihinden itibaren yeni kurulan Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından yürütmektedir. Bu kuruluşun geçmişte bu konudaki çalışmaları daha ziyade araştırma ve geliştirme ile projelerin tanıtılması konusunda olmakla beraber son yıllardaki çalışmalarda kaynakların tespiti ile potansiyel tayini ve bazı uygulamalar ağırlık kazanmıştır.

Türkiye’deki güneş enerjisi araştırmalarını 2 temel grupta toplamak mümkündür;

1. Güneş enerjisi potansiyelinin tespiti ve tayini hakkındaki çalışmalar
2. Güneş enerjisi uygulamaları ve teknolojisi ile ilgili çalışmalar

YEGM'nin güneş enerjisi çalışmalarından bazıları;

- 16 kWp gücünde tek kristalli PV sistem işletilerek yapısal özellikleri incelenerek verimi ve enerji üretimini etkileyen parametreler araştırılmıştır.
- YEGM yerleşkesinde bulunan örnek bina bahçesine 2 kWp gücünde su pompaj sistemi tanıtım ve bilinçlendirme amacıyla kurulmuştur.
- Güneşi takip eden bir sistemde 16 ay boyunca alınan ölçümler sonucunda gelen güneş enerjisinden faydalanma %23 civarında olmuştur.
- Şebeke bağlantılı sistemlerin gösterimi amacıyla şebekeye bağlı 1,2 kWp gücünde bir PV sistem Yenilenebilir Enerji Kaynakları Parkı'nda işletilmiştir
- Şebekeye bağlı güneş hücresi uygulamaları kapsamında YEGM Yerleşkesinde inşa edilen ve enerjisini yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlayan (pasif güneş mimarisi, ısı pompası ile ısıtma, güneş hücrelerinden elektrik üretme, güneş kolektörlerinden sıcak su eldesi) örnek binanın çatısında 5,08 kWp gücünde şebeke bağlantılı güneş hücresi sistemi kurulmuş ve işletilmektedir. Sistemin günlük enerji üretimi 16 kWh civarındadır (Alkan, 2016).

**Tablo 1.4:** Türkiye'nin Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Aylara Göre Dağılımı (Alkan,2016)

| AYLAR    | AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ    |                             | GÜNEŞLENME SÜRESİ |
|----------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------|
|          | (Kcal/cm <sup>3</sup> -ay)     | (kWh/m <sup>2</sup> -ay)    | (saat/ay)         |
| OCAK     | 4,45                           | 51,75                       | 103,0             |
| ŞUBAT    | 5,44                           | 63,27                       | 115,0             |
| MART     | 8,31                           | 96,65                       | 165,0             |
| NİSAN    | 10,51                          | 122,23                      | 197,0             |
| MAYIS    | 13,23                          | 153,86                      | 273,0             |
| HAZİRAN  | 14,51                          | 168,75                      | 325,0             |
| TEMMUZ   | 15,08                          | 175,38                      | 365,0             |
| AĞUSTOS  | 13,62                          | 158,40                      | 343,0             |
| EYLÜL    | 10,60                          | 123,28                      | 280,0             |
| EKİM     | 7,73                           | 89,90                       | 214,0             |
| KASIM    | 5,23                           | 60,82                       | 157,0             |
| ARALIK   | 4,03                           | 46,87                       | 103,0             |
| TOPLAM   | 112,74                         | 1311                        | 2640              |
| ORTALAMA | 308,0 cal/cm <sup>2</sup> -gün | 3,6 kWh/m <sup>2</sup> -gün | 7,2 saat/gün      |

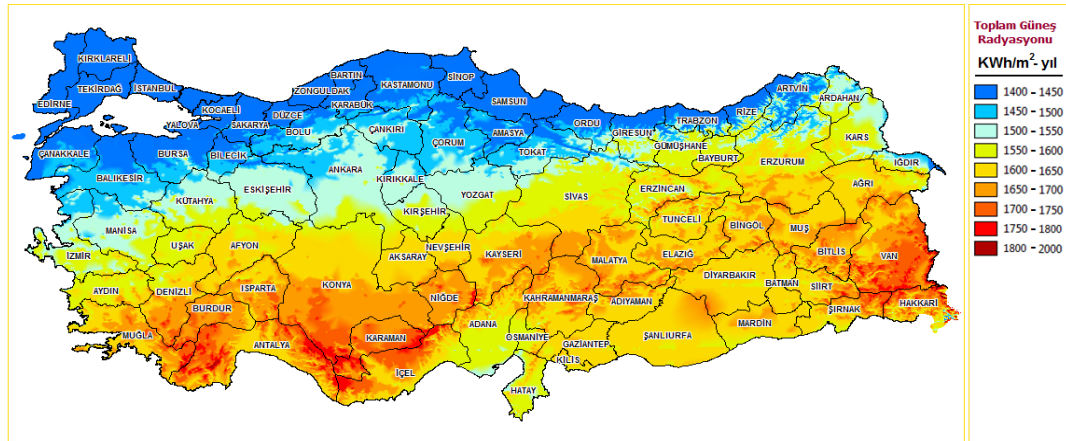
Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Tablo 1.5'te Türkiye güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı verilmiştir.

**Tablo 1.5:** Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı (Abdulazez, 2011)

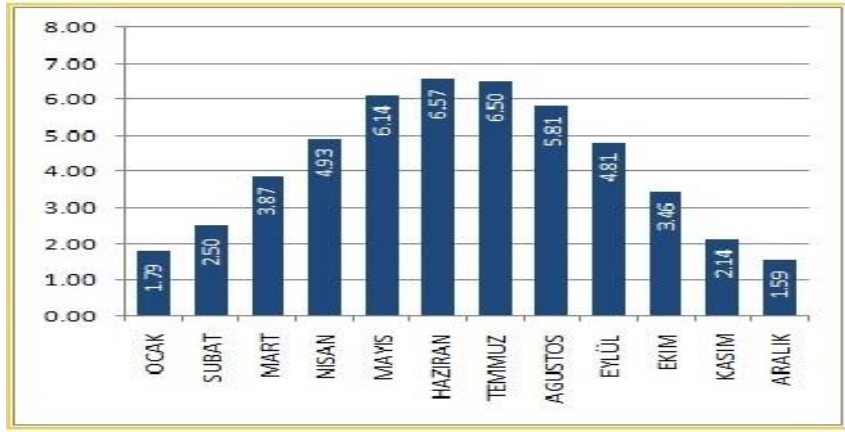
| BÖLGE          | TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ<br>(kWh/m <sup>2</sup> -yıl) | GÜNEŞLENME SÜRESİ<br>(saat/yıl) |
|----------------|----------------------------------------------------|---------------------------------|
| G.DOĞU ANADOLU | 1460                                               | 2993                            |
| AKDENİZ        | 1390                                               | 2956                            |
| DOĞU ANADOLU   | 1365                                               | 2664                            |
| İÇ ANADOLU     | 1314                                               | 2628                            |
| EGE            | 1304                                               | 2738                            |
| MARMARA        | 1168                                               | 2409                            |
| KARADENİZ      | 1120                                               | 1971                            |

### 1.3.2 Türkiye'nin Yararlanılabilir Güneş Enerjisi Potansiyeli

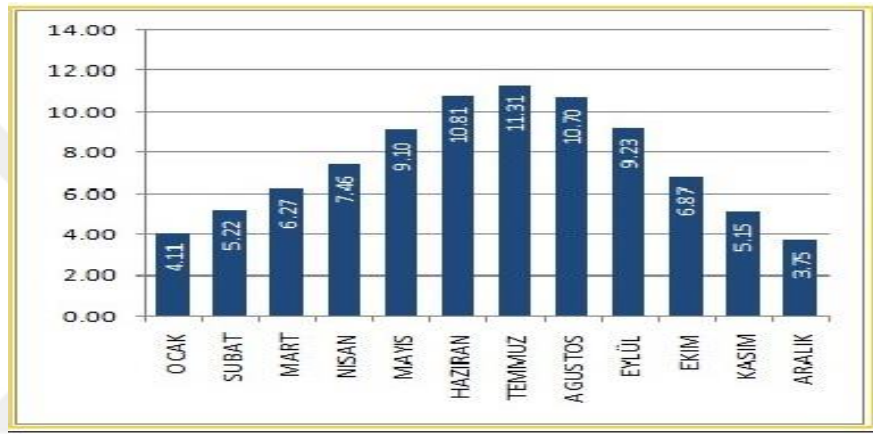
Türkiye güneş enerjisi potansiyeli açısından oldukça iyi bir konumdadır. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nce 2019 yılına ait veriler ile hazırlanan, Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) Şekil 1.6, Şekil 1.7, Şekil 1.8 ve Şekil 1.9'da gösterilmiştir.



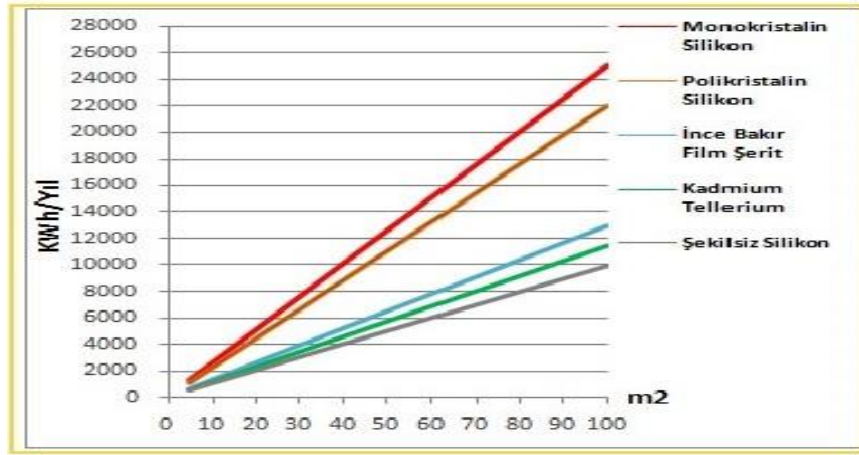
**Şekil 1.6:** Türkiye'nin illere göre yıllık güneş radyasyonu ve güneş ışınlamı Haritası (Url-5, 2019)



Şekil 1.7: Türkiye Global Radyasyon Değerleri (KWh/m2-Gün) (Url-5, 2019)



Şekil 1.8: Türkiye Güneşlenme Süreleri (Saat) (Url-5, 2019)



Şekil 1.9: Türkiye PV Tipi-Alan-Üretebileceği Enerji (KWh/Yıl) (Url-5, 2019)

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün verilerinden derlenen Türkiye güneş ışınımı değerleri ve güneşlenme süreleri ise Tablo 1.6.'da verilmiştir.

**Tablo 1.6:** Türkiye Güneş Işınımı Ve Güneşlenme Süreleri (Alkan, 2016)

| AYLAR         | Günlük Güneş Işınımı<br>Değerleri (kWh/m <sup>2</sup> -gün) | Güneşlenme Süresi<br>(saat/ay) |
|---------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| OCAK          | 1,79                                                        | 127,41                         |
| ŞUBAT         | 2,5                                                         | 146,16                         |
| MART          | 3,87                                                        | 194,37                         |
| NİSAN         | 4,93                                                        | 223,8                          |
| MAYIS         | 6,14                                                        | 282,1                          |
| HAZİRAN       | 6,57                                                        | 324,3                          |
| TEMMUZ        | 6,5                                                         | 350,61                         |
| AĞUSTOS       | 5,81                                                        | 331,7                          |
| EYLÜL         | 4,81                                                        | 276,9                          |
| EKİM          | 3,46                                                        | 212,97                         |
| KASIM         | 2,14                                                        | 154,5                          |
| ARALIK        | 1,59                                                        | 116,25                         |
| TOPLAM YILLIK | 1528                                                        | 2741                           |
| ORTALAMA      | 4,18 kWh/m <sup>2</sup> -gün                                | 7,5 saat/gün                   |

Tablo 1.6’da verilen Türkiye güneş ışıınımlı değlerleri ve güneşlenme sürelerine göre yıllık toplam güneşlenme süresi 2741 saattir (günlük yaklaşık  $2741/365=7,5$  saat) ve bu toplamda 114 günlük güneşlenme süresine denk gelmektedir. Yıllık toplam güneş ışıınımlı  $1528 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$  (ortalama günlük  $4.18 \text{ kWh/m}^2$ ) olarak tespit edilmiştir (Alkan, 2016).

### 1.3.3 Bazı İllerin Güneş Işınımı Değerleri

Güneş enerjisi potansiyeli güneş ışıınımlı (güneşlenme) değışkeniyle ifade edilir. Bu değışkenin birimi  $\text{kWh/m}^2\text{-gün}$  şeklinde verilir. Bunun anlamı  $1 \text{ m}^2$  alana düşen günlük ortalama güneş enerjisi miktarıdır. Güneş ışıınımlı miktarı, hem günlerin daha uzun olmasından hem de güneş ışııklarının daha dik olmasından dolayı yaz aylarında en yüksek değgerine ulaşır.

Paneller yere eğimli bir şekilde monte edilirse, birim yüzeye düşen güneş ışıınımlı artmaktadır. Solar PV paneller ve yüzey arasındaki eğim için en uygun açılar, İstanbul ve Ankara’da  $30^\circ$ , Muğla’da  $33^\circ$  derece olarak belirlenmiştir. Bu 3

ilimiz için belirlenen en uygun açılardaki güneş ışıınım değerleri Tablo 1.7’de verilmiştir (Alkan, 2016).

**Tablo 1.7:** Bazı İllerin Aylara Göre m<sup>2</sup>’ye Düşen Güneş Enerjisi Miktarı (Alkan,2016)

| AYLAR    | İSTANBUL                                 | ANKARA                                   | MUĞLA                                    |
|----------|------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|
|          | 30° ışıınım<br>(kWh/m <sup>2</sup> -gün) | 30° ışıınım<br>(kWh/m <sup>2</sup> -gün) | 33° ışıınım<br>(kWh/m <sup>2</sup> -gün) |
| Ocak     | 2.53                                     | 3.23                                     | 3.64                                     |
| Şubat    | 3.27                                     | 3.91                                     | 4.29                                     |
| Mart     | 4.31                                     | 4.86                                     | 5.21                                     |
| Nisan    | 5.1                                      | 5.10                                     | 5.55                                     |
| Mayıs    | 6.12                                     | 5.86                                     | 6.32                                     |
| Haziran  | 6.76                                     | 6.43                                     | 7.01                                     |
| Temmuz   | 6.97                                     | 6.8                                      | 7.12                                     |
| Ağustos  | 6.61                                     | 6.4                                      | 6.94                                     |
| Eylül    | 5.82                                     | 5.84                                     | 6.5                                      |
| Ekim     | 4.07                                     | 4.51                                     | 5.28                                     |
| Kasım    | 2.81                                     | 3.53                                     | 3.94                                     |
| Aralık   | 2.09                                     | 2.7                                      | 3.16                                     |
| ORTALAMA | 4.71                                     | 4.94                                     | 5.42                                     |

## 2. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

### 2.1 Fotovoltaik Etki Ve Güneş Hücresi Tanımı

Fotovoltaik dayalı elektrik üretim sistemini incelemeye başlamadan önce, güneşten gelen enerji miktarı ve değişiminin bağlı olduğu etkenler hakkında bilgi sahibi olmak gereklidir. Güneş ışıınının büyük çoğunluğu dünya okyanusları üzerine düşmektedir. Bazıları bulutlar tarafından engellenmektedir ve çok daha fazlası uygun olmayan zamanlarda ve uygun olmayan yerlere ulaşmaktadır (Abdulazez, 2011).

Güneş hem termal hem de elektrik üretiminde değerli bir kaynaktır. Bu değerli kaynaktan elektrik elde edilmesi ise güneş hücrelerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulan güneş panelleri vesilesiyle olmaktadır. Bu bölümde güneş hücrelerinin yapısı ve çeşitleri hakkında bilgi verilecektir (Alkan, 2016).

### 2.2 Fotovoltaik Etki

Fotovoltaik (PV) sistemler, ışık enerjisini elektrik enerjisine çevirmektedir. Burada “Foto” Yunanca’daki karşılığı olan “phos” ışık anlamındayken, “volt” ise 1745-1827 yılları arasında yaşamış ve elektrik alanında öncü bir bilim adamı olan Alessandro Volta’dan gelir. “Foto-voltaik” kelimesi ise “ışık-elektriği” anlamına gelmektedir.

1839 yılında Becquerel, elektrolit işleminde kullanılan elektrotların birine direkt ışık düşürüldüğünde gerilim oluşturduğunu keşfetmiştir. Diğer birçok bilim adamı aynı etkiyi diğer materyalleri kullanarak gözlemlemiştir. 1954 yılında Ruslar, 1959 yılında Amerikalılar, iletişim cihazlarına enerji sağlamak için uydu fırlatmışlardır. Fotovoltaik hücrelerin keşfi ve gelişimi uzay araştırma yarışının sonucudur.

Güneş hücresi, hiçbir hareketli parça olmadan gün ışığını doğru akıma dönüştüren bir sistemdir. Bu yolla elde edilen enerji temizdir ve herhangi bir zararlı atığa sahip değildir. Güneş hücreleri çoğunlukla dünyada en fazla bulunan elementlerden biri olan silisyumdan yapılır ve 20 yılın üstünde bir ömre sahiptir.

1973 yılında alternatif enerji ihtiyacı da fotovoltaik endüstrisi üzerine büyük bir ilgi geliştirmiştir. Toplam kurulu güç 1978'de 1 MW, 1988'de 40 MW iken 2015 yılında yaklaşık 238 GW kapasiteye ulaşmıştır. Üretim maliyetleri keskin bir şekilde azalırken verimlilik arttırılmaktadır. Güneş hücreleri yardımıyla güneş ışığının direkt olarak elektriğe dönüşümü günümüzde, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en çok umut veren seçenek olarak ortaya çıkmaktadır (Alkan, 2016).

Güneş hücrelerinin temel prensibi olan fotovoltaik etki, güneş ışığını oluşturan fotonların silisyum gibi bir yarıiletken malzemenin yüzeyine çarparak atomlarından elektronları serbest bırakmalarıyla ortaya çıkar. Malzemeye küçük miktarlarda katılan bileşenler ile bu reaksiyonlar kolaylaştırılır ve hızlandırılır. Bu fiziksel olgu sayesinde 10-15 cm çapında güneş hücresi ile yaklaşık 1 Watt'lık güç üretilir.

Kristalin güneş hücresindeki alt tabaka kısmı, p tipi materyallerden (Ör; alüminyum, galyum, indiyum) bir tanesi ile kaplanarak boşlukları oluşturmaları sağlanır. n tipi üst tabaka ise fosfor (P), arsenik(As) yada sulu arsenik asidi ( $H_3AsO_4$ ) veya antimon (Sb) gibi gezgin elektronlar yaratan kimyasallarla kaplanır. Buradaki amaç, elektronların üzerine düşen ışığın bu elektronları p bölgesi olan alt tabakaya doğru harekete geçirmeleridir. Bu elektronlar, güneş hücresindeki çizilen yollardan veya kısa devrelerle bu iki tabakayı birbirinden ayıran bariyer üzerinden hareket edebilirler. Fotovoltaik devre doğru ve düzgün olarak yapılandırılmış ise bu elektronlar devreyi çizilen yollardan tekrar n bölgesine doğru tamamlar ve elektriği bu sayede üretirler (Alkan, 2016).

Fotovoltaik etki, fotovoltaik bir hücre tarafından güneş ışınımının elektriğe dönüştürüldüğü temel bir fiziksel işlemdir. Güneş ışınımındaki fotonların, silikon gibi yarıiletken malzemelerin yüzeyine çarparak, atomlardan elektronları serbest bırakmaları ile ortaya çıkar. Güneşten gelen ışınım, enerji taşıyan fotonların birleşiminden oluşur. Bu fotonlar, güneş ışınım spektrumundaki farklı dalga boylarına bağlı olarak farklı miktarlarda enerji içerirler. Fotonlar, fotovoltaik bir hücre üzerine geldiğinde; bir kısmı hücre tarafından soğurulur, bir kısmı yansıtılır, kalan kısmı da hücre içerisinden geçer. Fotovoltaik hücre tarafından soğurulan elektrik üretir. Fotonun enerjisi yarı iletken bir malzemenin atomundaki elektrona

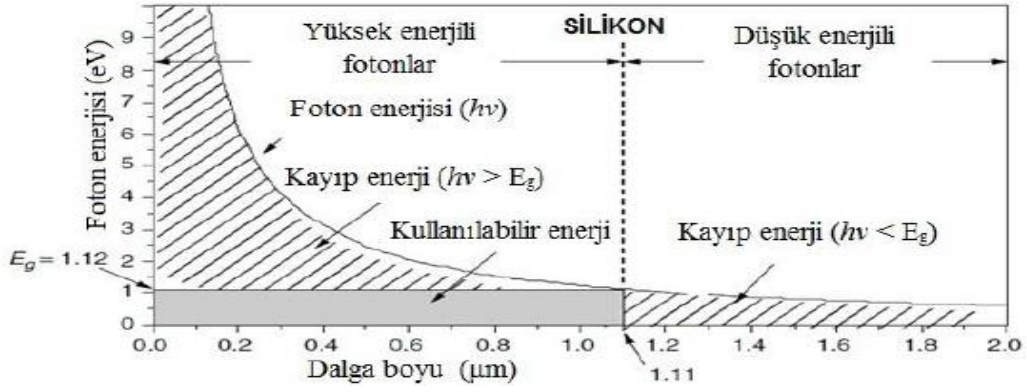
transfer edilir. Elektron, yeni kazandığı bu enerji sayesinde, bir elektrik devresindeki akımın bir parçası olabilmek için yarıiletken malzemedeki bir ek atomun normal durumundan kurtulma yeteneği kazanır. Bir elektrik alanındaki PV hücrenin belirli elektriksel özellikleri, dış bir yükten gelen akımı karşılamak için gerekli gerilimi sağlar. PV hücrenin özel elektriksel niteliği, “yerleşik elektrik alanı” olarak adlandırılan, ampül gibi harici bir yük üzerinde, akım çekmek için gerekli kuvvet veya gerilim sağlar (Öztürk, 2013).

Güç üretimi amacıyla kullanılan güneş hücreleri fotovoltaiik ilkeye bağlı olarak çalışırlar. Diğer bir deyişle, üzerlerine ışıık düştüğü zaman uçlarında elektriksel gerilim oluşur. Hücrenin verdiği elektriğin kaynağı yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Fotovoltaiik etki, güneş ışıınıındaki fotonların, silikon gibi yarıiletken malzemelerin yüzeyine çarparak, atomlardan elektronları serbest bırakmaları ile oluşur.

Fotovoltaiik sistemlerde yer alan elemanlar; PV panel (güneş hücresi), DC/AC dönüştürücü, DC-DC dönüştürücü, depolama elemanı (batarya), şarj regülatörü, solar kablo ve konnektörler, fotovoltaiik ölçüm cihazı, uzaktan izleme modülü, montaj malzemeleri şeklinde sayılabilir.

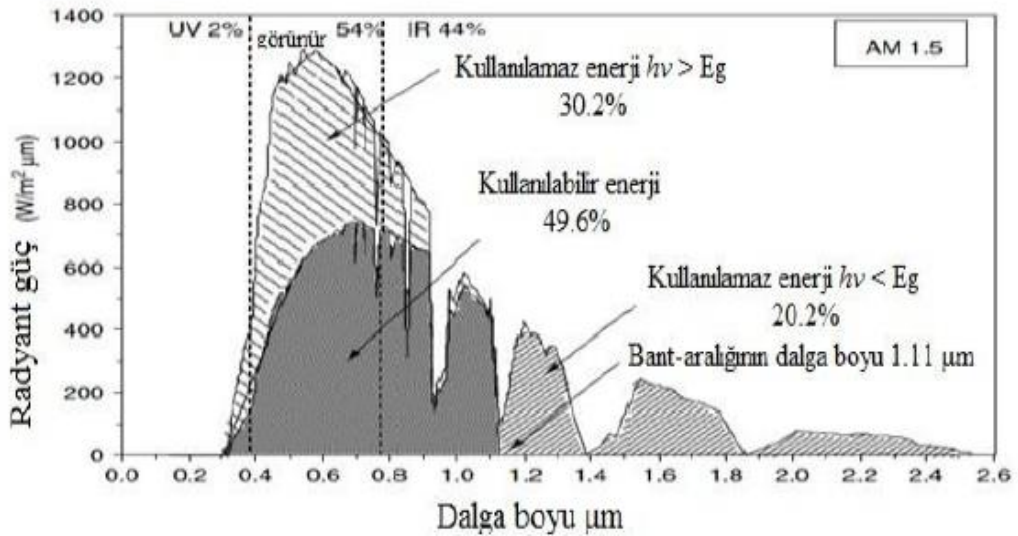
PV sistemler, orta ve uzun vadede ekonomik olarak avantajlıdır. PV sistemler, diğer elektrik üretim sistemleri ile karşılaştırıldığında çok daha az bakıma ihtiyaç duymaktadır. PV sistemler arttırılmış güç ihtiyaçları için var olan sisteme daha çok modül eklenerek genişletilebilir. PV sistemler sahip olduğu çok düşük CO<sub>2</sub> salınımı ile çevre dostu ve gürültüsüz olarak elektrik üretilir (Alkan, 2016).

Panel üzerine düşen fotonlar panel yüzeyinden yansıtılır, emilir veya direkt panelin içinden geçebilir. Elektron enerjisi, foton enerjisi ile orantılı olarak artmaktadır. Fotonların enerjisi, yarı iletkenin bant aralığına eşit ya da ondan büyük ise bir elektrona enerjisini aktararak onu iletkenlik bandına çıkarır. Dolayısıyla elektron-boşluk çifti yaratılmış olur. Ancak yarı iletkenin bant aralığından daha küçük enerjiye sahip olan foton enerjiler elektron-boşluk çifti yaratmaya yetmez ve fotovoltaiik dönüşüme katkıları yoktur, ancak hücrenin ısınmasına neden olur.



Şekil 2.1: Silikon Yapılı Güneş Hücrelerinin Çalışması Noktası (Abdulazez, 2011)

Şekil 2.1’de gösterildiği gibi silikon yapıları güneş hücrelerinin, 1.11 µm dalga boyundan büyük fotonlara maruz kaldıklarında bir elektronu uyarmak için gerekli olan 1.12-eV band aralığından daha az bir enerjiye sahiptirler. Dolayısıyla bu fotonların hiçbirisi akımı iletilmesini sağlayan elektron-boşluk çifti üretemezler. Böylelikle tüm enerji boşa gitmiş olur ve yalnızca hücrenin ısınmasına neden olur. Diğer yandan 1.11 µm daha kısa olan dalga boyları bir elektronun uyarılması için gerekli olan enerjiden daha fazlasına sahiptir. Bir foton yalnızca bir elektronu uyarabildiği için, ihtiyaç duyulan 1.12 eV fazla olan foton enerjisi hücre içerisinde kayıp enerji olarak hücrenin ısınmasına neden olur. Şekil 2.2’de gösterildiği gibi güneş enerjisinin %20.2 fotonların dalga boylarının çok uzun olduğundan, %30.2 dalga boyunu çok kısa olduğu için kayıp enerji olarak gözükür. Geri kalan %49.6 enerji miktarı ise verimli enerji olarak elektrik enerjisine dönüşür. Farklı bant aralığı sahip olan güneş hücreleri Tablo 2.1’de verilmiştir (Abdulazez, 2011).



Şekil 2.2: AM 1.5 şartlarındaki güneş spektrumu (Abdulazez, 2011)

**Tablo 2.1:** Farklı Bant Aralığı Ve Dalga Boylarına Sahip Olan Güneş Hücreleri (Abdulazez,2011)

| PV Malzemeler                      | Si   | GaAs | CdTe | Inp  |
|------------------------------------|------|------|------|------|
| Bant Aralığı (eV)                  | 1,12 | 1,42 | 1,50 | 1,35 |
| Kesim Dalga Boyu ( $\mu\text{m}$ ) | 1,11 | 0,87 | 0,83 | 0,92 |

Malzemenin bant aralığı  $E_g$  veya  $V_g$ , hücrenin açık devre gerilimi  $V_{oc}$  ile doğru orantılıdır. Yani yüksek  $V_{oc}$  değerleri için büyük  $E_g$  gerekmektedir. Kısa devre akımı  $I_{sc}$  ise hücre yüzeyine gelen radyasyonla yaratılan elektron-boşluk çifti sayısı ile orantılıdır.  $E_g$ 'den daha büyük enerjiye sahip olan bu fotonlar elektron-boşluk çiftleri yaratırlar. Radyasyon kaynağı olarak güneş kullanıldığı zaman küçük  $E_g$  ve büyük  $I_{sc}$  elde edilir ve hücre yüzeyine gelen radyasyonla yaratılan elektron-boşluk çifti sayısı ile orantılıdır (Abdulazez, 2011).

Güç çıkışı arttırmak amacıyla çok sayıda güneş hücresi birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş hücresi modülü ya da fotovoltaiik modül adı verilir. Güç ihtiyacına göre modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak birkaç Watt'tan Mega Watt'lara kadar sistem düzenlenebilir. Güneş hücresinin üzerine ışık düştüğünde iki uç arasında potansiyel fark (gerilim) ortaya çıkar. Ancak, bir güneş hücresinden elde edilebilecek gerilim çok az (0,5-1V) olduğundan, istenilen gerilime uygun olacak sayıda güneş hücresi seri olarak bağlanır. Seri bağlı hücrelerin oluşturduğu birime PV modül adı verilir.

PV modüller, genellikle güneş hücrelerinin ön yüzeyinde yüksek optiksel geçirgenliğe sahip cam ve arka yüzeylerinde ise EVA (etilen vinil asetat) kullanılarak geçirgenleştirilir. Ayrıca camı korumak ve sistemi daha kullanılabilir, sağlam bir yapıya sokmak için modül, metal çerçeve ile çerçevelenir. Modüler yapının kullanım kolaylığı yanında, büyük bir üstünlüğü de güç gereksinimine uygun olarak değişik boyutlarda PV panelin kurulmasına uygun olmalarıdır (Alkan, 2016).

### 2.2.1 Güneş Spektrumu

Güneş  $1.39 \times 10^9$  m çapında yoğun sıcak gazlar içeren bir küredir ve dünyadan ortalama  $1,5 \times 10^{11}$  m uzaklıktadır. Yüzeyin ortalama sıcaklığı ise 5000-6000 K'dir. Güneş helyum ve hidrojenden ibarettir. Kütle olarak yaklaşık %80 hidrojen ve %20 helyumdur. Güneş çekirdeğinde hidrojen ile helyum atomları birleşir. Bu reaksiyon sonucunda açığa çıkan enerji, güneşin boyutlarını kararlı bir halde tutarak, uzaya yayılmaktadır. Bir cisimden yayılan ışıının miktarının ne kadar olduğunu belirlemenin genel bir yolu onu siyah cisim diye adlandırılan bir teorik soyutlamayla karşılaştırmaktır. Bir siyah cisim mükemmel bir soğurucu olmasının yanı sıra mükemmel bir emilatör olarak da tanımlanır.

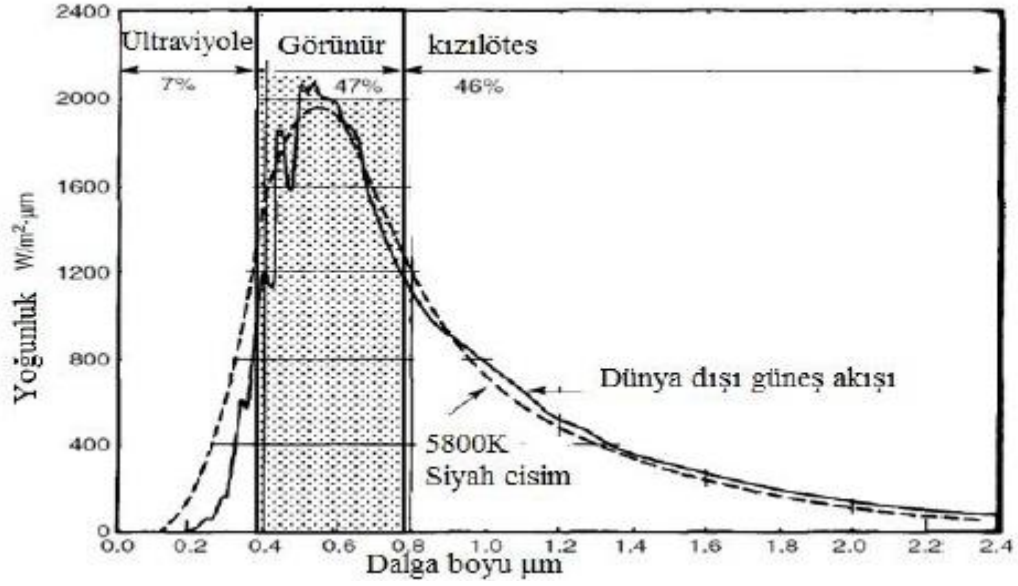
Siyah bir cisim tarafından yayınlanan dalga boyları Planck's kuralında ifade edildiği gibi cismin sıcaklığına bağlıdır (Abdulazez, 2011).

$$E_{\lambda} = \frac{3.74 \times 10^8}{\lambda^5 \left[ \exp\left(\frac{14.400}{\lambda T}\right) - 1 \right]} \quad (2.1)$$

$E_{\lambda}$  siyah cismin birim alanına yaydığı güçtür ( $\text{W/m}^2 \mu\text{m}$ ), T cismin mutlak sıcaklığıdır (K) ve  $\lambda$  dalga boyudur ( $\mu\text{m}$ ). Mutlak sıcaklığında bir kara cisim tarafından yayılan toplam ışıının gücü T(K) Stefan-Boltzman ışıının kuralıyla uygun olarak ifade edilir (Abdulazez, 2011).

$$E = A \sigma T^4 \quad (2.2)$$

E toplam siyah cisim yüzeyden yayılan ışıının oranı,  $\sigma$  Stefan-Boltzman sabiti  $= 5.6 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{K}^4$ , T siyah cismin mutlak sıcaklığı (K), ve A siyah cismin yüzey alanıdır ( $\text{m}^2$ ). Şekil 2.3'te gösterildiği gibi siyah cismin 5800 K'deki spektral dağılımı ile güneş ölçülen spektral dağılım yaklaşık olarak aynıdır (Abdulazez, 2011).



Şekil 2.3: Dünya dışı spektrumu ile 5800K de bir kara cisim spektrumu (Abdulazez, 2011)

Güneş, çevresine ısı ve ışık şeklinde çok büyük miktarda enerji yayar. Güneş, hidrojen ve helyum atomlarından oluşan bir yıldız olarak tanımlanır. Yaklaşık olarak Güneş, Dünya çapının 109 katına ( $1,5 \times 10^6$  km), hacminin  $1,3 \times 10^6$  katına ( $1,41 \times 10^{27}$ ) kütlelerinin 333 bin katına ( $1,98 \times 10^{30}$ kg) ve yoğunluğunun  $\frac{1}{4}$ 'üne eşittir. Güneşin iç kısmının sıcaklığı  $2 \times 10^7$ K olup, yüzey sıcaklığı 6000 K'dir. Güneş yüzeyini, kütlelerinin %74'ünü ve hacminin %92'sini oluşturan hidrojen, kütlelerinin %24-25'ini ve hacminin %7'sini oluşturan helyum ve geriye kalan kısımlarını da Ni, O, C, Si ve Fe gibi elementler oluşturur (Ataşer, 2017).

Güneş enerjisinin kaynağı güneşin iç kısımlarında meydana gelen füzyon reaksiyonlarından oluşturmaktadır. Füzyon süresi boyunca, dört hidrojen atomu birleşerek, termal enerji olarak yayılan bir helyum atomu oluşturur. Güneşte her bir saniyede 564 milyon ton hidrojen, 560 milyon ton helyuma dönüşür ve buradaki 4 milyon tonluk kütle kaybından açığa çıkan enerji, UV bölgeden IR bölgeye kadar elektromanyetik radyasyon olarak yayılır. Füzyon reaksiyonları tarafından üretilen bu enerji, herhangi bir kirlenici gaz veya diğer yan reaksiyon ürünlerini içermediği için, güneş enerjisi temiz ve yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Güneşten gelen ışınım, enerji taşıyan fotonlardan meydana gelir. Bu fotonlar güneş ışınım spektrumundaki farklı dalga boylarına bağlı olarak, farklı enerjilere sahiptir. Bir fotonun enerjisi, (Ataşer, 2017)

$$E(\text{eV}) = \frac{1,24}{\lambda(\mu\text{m})} \quad (2.3)$$

Eşitliği ile ifade elde edilir. Eşitlikteki  $\lambda$  mikrometre cinsinden foton dalga boyudur. Güneş hücresi üzerine ışık düşürüldüğünde, hücreyi oluşturan malzemelerin yasak enerji aralığından daha büyük enerjiye sahip olan fotonlar elektrik üretme yeteneğine sahiptirler. Bu yüzden yüksek kaliteli güneş hücre tasarımında güneş ışığının spektral doğası önemli etkindir.

Güneş ışığı, yaklaşık 6000 K sıcaklığa sahip olan kara cisim ışımasına benzer radyasyon spektrumu içeren bir ışık kaynağıdır. Bundan dolayı güneş ışığının özelliklerini tanımlamak için güneş radyasyonu kara cisim ışıması olarak modellenmektedir. Kara cisim, tüm elektromanyetik ışınları soğurarak, sıcaklığa bağlı ışık spektrumu yayan bir cisim olarak tanımlanır. Güneş radyasyonun yaydığı spektral parlaklık, kara cismin uyduğu yasalarla belirlenebilir:

**1- Planck Yasası:** Belirli bir sıcaklıktaki termal denge durumunda kara cisim ışımasının yaydığı elektromanyetik radyasyon olarak ifade edilir. Yayılan enerjinin dalgaboyuna göre değişimi, (Ataşer, 2017)

$$E_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 [e^{hc/\lambda kT} - 1]} \quad (2.4)$$

eşitliği ile ifade edilir. Eşitlikteki  $h$  Planck sabiti ( $6,626 \times 10^{-34}$  J.s),  $c$  boşluktaki ışık hızı ( $3 \times 10^8$  m/s),  $\lambda$  dalga boyu,  $k$  Boltzmann sabiti ( $1,38 \times 10^{-23}$  JK<sup>-1</sup>),  $T$  kara cisim sıcaklığı (6000K)' dir.

**2- Stefan-Boltzmann Yasası:** İdeal bir kara cisim,  $T(K)$  sıcaklığında birim yüzeyden birim zamanda (Ataşer, 2017)

$$\int_0^{\infty} E_{\lambda} d\lambda = \sigma T^4 = 5,66 \times 10^{-8} T^4 \quad (2.5)$$

Eşitliği ile verilen enerji yayınlar. Eşitlikteki  $\sigma$  Stefan-Boltzmann sabitidir.

**3- Wien Yer Değiştirme Yasası:** Eşitlik (2.5)'teki yayınlanan maksimum enerjiye karşılık gelen dalga boyu, (Ataşer, 2017)

$$\lambda_{\text{mak}} = \frac{b}{T} \quad (2.6)$$

eşitliği ile ifade edilir. Eşitlikteki b Wien yer değiştirme sabiti olup,  $2,898 \times 10^{-3}$  mK'dir.

Güneş radyasyonunun yaydığı spektral parlaklık, (Ataşer, 2017)

$$I_{\lambda} = E_{\lambda} \frac{G}{\int_0^{\infty} E_{\lambda} d\lambda} \quad (2.7)$$

eşitliği ile ifade edilir. Eşitlikteki G güneş radyasyonu yoğunluğu olup,  $1353 \text{ W/m}^2$ 'dir. Eşitlik (2.5)'de Eşitlik (2.2) ve (2.3) yerine yazılıp düzenlenirse (Ataşer, 2017),

$$I_{\lambda} = \frac{8,925.10^{-6}}{\lambda^5 \left( e^{\frac{0,0143}{\lambda T}} - 1 \right)} T^4 \quad (2.8)$$

eşitliği elde edilir. Eşitlikteki  $\lambda$  güneşten gelen fotonların dalga boyu, T kara cisim sıcaklığı olup yaklaşık  $6000\text{K}$ 'dir (Ataşer, 2017).

Amerikan Test ve Malzeme Kurumu (ASTM) tarafından geliştirilen spektral parlaklık dağılımı Şekil 2.3'te verilmiştir. Dalga boyunun bir fonksiyonu olarak verilen bu dağılım, ışığın farklı doğal ve yapay kaynakları altında ölçülen performansı ile ilgili olarak spektral anlamda güneş hücrelerini değerlendirmek için kullanılan tek ve ortak referanstır. Atmosfer dışındaki güneş radyasyonu kara cisim radyasyonuna benzer şekilde farklı dalga boylarında dağılmaktadır. (Şekil 2.3). Güneş enerjisi yeryüzüne elektromanyetik ısıma yoluyla ulaşırken yaklaşık olarak %30'u saçılmalardan dolayı azalır. Bundan dolayı yeryüzüne ulaşan güneş spektrumu, atmosfer dışındaki spektrumdan farklılık gösterir. Bu azalmanın nedeni,

- 1- Atmosferdeki moleküllerin Rayleigh saçılmasından,
- 2- Atmosferdeki yabancı maddelerce saçılmasından
- 3- Atmosferde oluşan su buharı ve kirlilik gibi yabancı maddelerce soğrulma süreçlerinden kaynaklanmaktadır. Güneş hücresinin verimi, ışığın hücreye geldiği açıya, havanın nem oranına, hücrenin kurulduğu coğrafi alana ve hücrenin alanı gibi birçok faktöre göre değişiklik gösterir. Bundan dolayı güneş spektrumu güneş hücrelerin karakterizasyonunda kullanılmaktadır (Ataşer, 2017).

## 2.2.2 Güneş Hücrelerinin Kullanım Alanları

PV sistemler, özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımanın zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırlar. Bunun dışında, dizel jeneratörler veya başka güç sistemleri ile birlikte karma olarak

kullanılmaları da mümkündür. Güneş hücreleri, elektrik gerekli olan her uygulamada kullanılabilir.

Güneş hücresi sistemlerinin şebekeden bağımsız olarak kullanıldığı başlıca uygulama alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri
- Petrol boru hatlarının katodik koruması
- Metal yapıların (köprüler, kuleler vb.) korozyondan koruması
- Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümler
- Meteorolojik gözlem istasyonları
- İç veya dış aydınlatma uygulamaları
- Orman gözetleme kuleleri
- Deniz fenerleri
- İlk yardım, alarm ve güvenlik sistemleri
- Deprem ve hava gözlem istasyonları
- Konutlarda elektrikli aygıtların çalıştırılması
- Tarımsal sulama veya evsel kullanım amacıyla su pompası

Şebeke bağlantılı sistemler, dağıtık PV güç sistemleri olabileceği gibi, PV santralleri biçiminde de olabilir. Şebeke bağlantılı güneş hücresi sistemleri, yüksek güçte-santral boyutunda sistemler şeklinde olabilir. Bu tip sistemler, binalarda küçük güçlü uygulamalar için yaygın kullanılır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı için yeni teknikler geliştirilmesine olan gereksinim artmaktadır. Toplumda enerji tüketiminin ve çevre koruma bilincinin giderek artması ve fosil yakıtların uzun süren oluşma özellikleri, araştırma/geliştirme çalışmalarının, alternatif/yenilenebilir enerji kaynakları konusuna yönlendirilmesine neden olmaktadır. Rüzgâr türbinleri, fotovoltaiik (PV) sistemler, mikro türbinler ve yakıt hücreleri gibi küçük ölçekli güç üretim sistemleri, dağıtık güç üretimi (DGÜ) kavramından yararlanılarak tüketici taleplerinin karşılanması için önemli rol oynarlar. Dağıtık güç üretimi terimi, merkezi veya uzak yerleşimlerden çok, tüketicilerin yakınına kurulmuş olan, küçük-ölçekli güç üretim anlamına gelir. Enerji iletimi, dağıtımı ve dönüşümü işlemlerinde önemli miktarda enerji kaybı gerçekleşir. Dağıtık güç sistemlerinin başlıca yararları şunlardır:

- Uzun mesafelere iletim ve dağıtım sırasında gerçekleşen kayıplar azalır.
- Tasarım giderleri azalır.
- Bölgesel voltaj düzenlemesi gereken ve aşırı yük oluşan koşullarda, büyük bir ünite yerine, küçük bir ünite eklenmesine olanak sağlar.

Elektrikli taşıtların temel gereksinimlerinden biri, aracın hareket edebilmesi için elektrik motorunda mekanik enerjiye dönüşen, taşınabilir elektrik kaynağıdır. Elektrik genel olarak, batarya ve yakıt hücresi gibi, aletlerin içindeki kimyasal enerjiden dönüştürülerek elde edilir. Elektrikle çalışan araçlar için yüksek enerji yoğunluğundan, uygun enerji kaynağı eksikliğinden kaynaklanan çevre kirliliği problemlerine, yakın gelecekte, elektrikli motorlar ve mazotlu motorları birleştiren hibrit elektrikli araçların üretiminin artması beklenilmektedir (Öztürk, 2013).

### **2.3 Yarı İletkenlerin Yapısı Ve Özellikleri**

Çevremizde gördüğümüz maddeleri meydana getiren tüm elementler kendilerine özgü bir yapıya sahiptir. Elementler, atom adı verilen ve elementin tüm özelliklerini taşıyan parçalardan oluşmaktadır. Atom, merkezinde bulunan çekirdek ve çekirdek etrafındaki yörüngelerde dönen negatif yüklü elektronlardan oluşur. Çekirdek içinde pozitif yüklü protonlar ve yüksüz nötronlar bulunur. Çekirdekteki pozitif yüklü protonların, negatif yüklü elektronları çekirdeğe doğru çekme kuvveti ile elektronların çekirdek ve kendi etrafında dönmesi (spin) sonucunda oluşan merkezkaç kuvveti birbirine eşittir. Bu nedenle elektronlar, bir dış etki olmadığı sürece ait oldukları yörünge üzerinde çekirdek etrafında dönmeye devam ederler. Her elementin atomlarında bulunan elektron, proton ve nötron sayıları bir diğer elementlerinkinden farklıdır. Bunun sonucu olarak da her element bir diğer elemente göre farklı özelliklere sahip olur. Burada önemli olan, bir elementin ve bu elementten yapılan maddenin elektriksel özelliğidir (Ercan, 2008).

Maddeler atomlardan oluşur. Atomlarda elektronlar, protonlar ve nötronlar vardır. Elektronlar atomun yörüngesinde belirli enerji düzeylerinde (orbital) bulunur. Atomların birbirleriyle olan tüm bağlantılar elektronları tarafından gerçekleştirilir.

Atomlar arasındaki bu bağlantıları gerçekleştiren elektronlar atomun son yörüngesinde bulunan bu elektronlara “valans (denge) elektronları” denir. Bu bağlantı elektron alıp verme ya da elektron ortaklaşması sonucu kurulabilir.

Dışarıdan herhangi bir etki olmadığı sürece atomlar kararlı durumlarını korumak ister. Fakat dışarıdan yapılacak uyarma ile elektronlar bulundukları enerji seviyesinden bir üst enerji seviyesine çıkarılabilirler. Bir üst enerji seviyesine çıkan elektronun hem kinetik hem de potansiyel enerjisi artmıştır. Bu özellik aynı zamanda o maddeye iletkenlik özelliği de kazandırır. Elektron geri dönüşte, yani bir alt enerji seviyesine geçişte fazla olan enerjiyi vererek iner. Bu enerji ısı veya ışık şeklinde olmaktadır. Valans (denge) elektronu bir alt enerji seviyesine inmeyip, başka bir atomun yörüngesine katılarak da kovalent bağ oluşturabilir. Diğer bir olasılık ise elektronun başka bir atoma geçerek ayrıldığı atomu pozitif iyon haline getirmesidir (Alkan, 2016).

Fotonlar sahip oldukları enerjilerini, azalma veya yarı-nötr bölgelerde elektronlara verirler. Bunlar, iletim bandından valans bandına doğru hareket ederler. Yerleşimlerine bağlı olarak elektron ve boşluklar, ışık akımı ile oluşturulan enerji ( $E_{\text{drift}}$ ) veya ısı akımını dağıtan enerji ( $E_{\text{scat}}$ ) ile hızlandırılırlar.

Güneş hücreleri, güneşten gelen foton enerjisini, elektrik gücüne dönüştürebilen ve bir yüke iletebilen p-n tabanlı cihazlardır. Bundan dolayı, bir güneş hücresinin çalışma prensibi bir p-n eklemine dayanmaktadır (Ataşer, 2017).

Geleneksel PV hücreler, genellikle katkılı silikondan ve alt/üst katmanlardaki metal kontaklara çöktürme işlemi uygulanarak tasarlanırlar. Katkılama işlemi, normal olarak hücrenin en üstteki ince katmanına uygulanır. Böylece, belirli bant boşluk enerjisine ( $E_g$ ) sahip p-n eklem oluşturulur (Öztürk, 2013).

### **2.3.1 Bant Teorisi Açıklaması**

Bir katıdaki elektronların davranışı bant teorisi olarak tanımlanır. Bu teoriye göre, katı durumdaki bir materyalde, elektronlar tarafından doldurulacak sürekli enerji bantları ve elektronların bulunamayacağı enerji aralıkları bulunur. Bu teori, elektriksel direnç ve optik soğurma gibi birçok olayın açıklanmasında büyük yarar sağlar.

Belirli sayıda atomdan oluşmuş bir katı oluştuğunda, genel olarak her bir atom tek başına düşünülür. Bunun yerine katının tüm yapısının düşünmek gerekir. Bu durum, metallerin ve diğer katıların kimyasal ve fiziksel özelliklerinin

kendilerine özgü olarak ele alınmasını gerekli kılar. Bu özelliklerin tam olarak anlaşılabilmesi için, moleküler orbital teorisi ile başlanması gerekir. Elektronun bulunma olasılığının en fazla olduğu hacimsel bölgelere orbital denir.

Moleküler orbital teorisi atomik orbitallerin birbirleri ile etkileşimlerini ve bunun sonucu olarak, molekül orbitallerin oluşumu üzerine kurulan ve özellikle kovalent bağları açıklamada oldukça başarılı olan bir teoridir. Kuantum fiziğinden yararlanarak, orbitallerin hangi durumlarda bağ oluşturacaklarını veya oluşturamayacaklarını açıklamaya çalışır. Bu teoriye göre, eğer iki atom bir araya gelirse, farklı enerjilerdeki bağ, bağlanmama ve anti-bağ orbitalleri oluşur. Bu moleküler orbitaller dalga fonksiyonları ile tanımlanır. Bu teorideki en önemli nokta; moleküldeki  $n$  atomik orbitalden dolayı,  $n$  tane moleküler orbital oluşacağıdır. Örneğin, iki atomik orbital içeren bir molekülü düşünelim. Sonuç olarak, bu atomik orbitallerden dolayı iki moleküler orbital oluşur. Bunların biri bağ, diğeri ise anti-bağ olan farklı enerjideki orbitallerdir. Eğer bu olay 3 atomdan oluşan bir molekül için incelenirse, her atomik orbital için; bir bağ, bir bağlanmama ve bir anti-bağ olmak üzere 3 adet moleküler orbital oluşur.

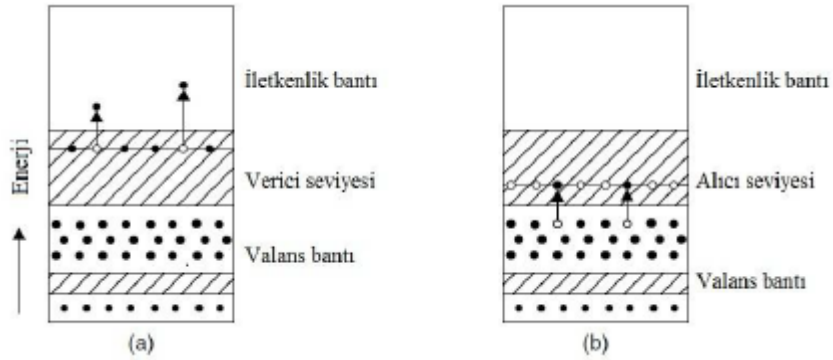
Örneğin, 10 atomdan oluşan bir molekül, 5 bağ ve 5 anti-bağ olmak üzere 10 moleküler orbital meydana getirir. Her bir orbital kümesi arasındaki dağılım incelendiğinde, moleküler orbital sayısı yükselirken, en düşük bağlanma ile en yüksek bağlanma arasındaki enerji farkı artar ve her bir orbital arasındaki boşluk azalır. Moleküler orbital sayısı moleküldeki atom sayısı ile artacağından, en düşük bağlanma ile en düşük bağlanmama arasındaki boşluk artarak maksimuma ulaşacaktır.

Sonlu sayıda atomdan oluşmuş bir metali örnek olarak verelim. Sonuç olarak, sonlu sayıda moleküler orbital oluşacak ve bunlar birbirine o kadar yakın olacak ki bir bant oluşturacaklardır. Maddelerin moleküler orbitallerini daha rahat anlayabiliriz. Yalıtkanlar, yarıiletkenler gibi diğer maddelerin özellikleri bant teorisine bağlı olarak tanımlanan valans bandı, iletkenlik bandı ve fermi düzeyi gibi kavramlarla açıklanır.

Güneş ışınımı foton adı verilen ışık enerjisi paketlerinden oluşur. Yeterli enerjiye sahip bir foton, güneş hücresine çarptığında, elektronlarını dıştaki değerlik

elektron orbitalinden ayırır ve bu elektronları iletim bandına doğru enerjilendirir. Bu işlem sonucunda değerlik bandında bir boşluk oluşturur.

Yarıiletkenler, bir yasak enerji aralığı tarafından ayrılan iki enerji bandından oluşur. Bu bantlar Valans bandı ve iletkenlik bandı adını alırlar. Bu yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük enerjili bir foton, yarıiletken tarafından soğurulduğu zaman, enerjisini valans bandındaki bir elektrona vererek elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Bir elektronun valans banttı iletkenlik bandına geçebilmesi için elde etmesi gereken enerji bant-aralık enerjisi ile tanımlanır.  $E_g$  ( $E_g$  birimi elektron-volt,  $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ ). Silikonun bant-aralığı  $1.12 \text{ eV}$ , bu da şu anlama gelir ki bir elektron kendi çekirdeğinden serbest kalabilmesi için o miktarda bir enerjiye sahip olması gerekir.



**Şekil 2.4:** Yarıiletken Enerji Bant Diyagramı (a) n-Tipi (b) p-Tipi (Abdulazez, 2011)

Gelen ışığın foton enerjisi frekansa ve dalga boyuna bağlıdır (Abdulazez, 2011).

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \quad (2.9)$$

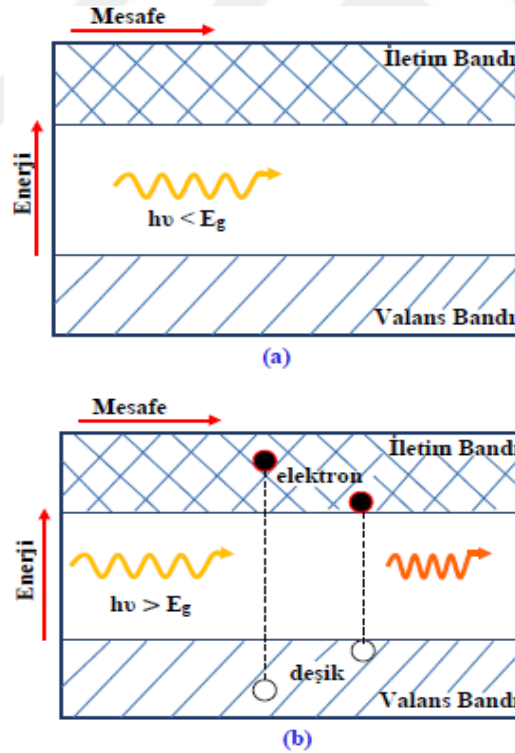
$h$  planck sabiti ( $6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ ),  $\nu$  foton frekansı (Hz),  $\lambda$  dalga boyu (m) ve  $c$  Işık hızı ( $2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$ ).

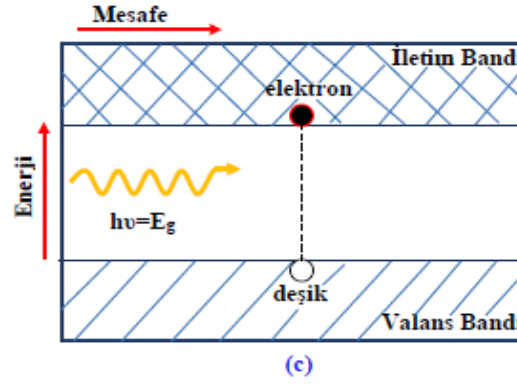
$$c = \nu\lambda \quad (2.10)$$

Metal bir malzemede, dolu banttaki elektronlar, serbest bir şekilde iletim bandına sıçrayabilen değerlik elektronlarını oluştururlar. Bununla birlikte bir yarıiletken veya yalıtkan malzemede, elektronların dolu bant içerisinde kaldığı, yasak bir bant vardır. Yasak bandın merkezindeki düzey, elektronların doldurabileceği en yüksek enerji düzeyi olan fermi düzeyi olarak bilinir. Örneğin, silikonda yasak bant genişliği  $1.12 \text{ eV}$  düzeyindedir ( $1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$ ).

Silikonun Fermi düzeyi safsızlıklar ile katkılanarak değiştirilebilir. Katkılama işlemiyle, p ve n-tipi yarıiletkenler oluşur. p ve n tipi yarıiletkenler, birleştirilir ve gerilim uygulanırsa, elektronlar, elektron boşlukları ile yeniden birleşirler. Bu ilkedен, yarıiletken elementler oluşturmak için yararlanılır (Öztürk, 2013).

Malzemenin yasak enerji aralığından daha az enerjiye sahip olan fotonlar ( $h\nu < E_g$ ) elektron geçişi için yeterli enerjiye sahip olmadıklarından, güneş hücresi tarafından soğrulamazlar (Şekil 2.5 (a)). Bundan dolayı, düşük enerjiye sahip bu fotonlar elektrik üretimine katkıda bulunamazlar. Malzemenin yasak enerji aralığından daha büyük enerjiye sahip olan fotonlar ( $h\nu < E_g$ ) değerlik bandındaki elektronlara yeterli enerjiyi aktararak iletim bandına geçmesini sağlar ve güneş hücresinde elektron-deşik çifti oluşturur (Şekil 2.5(b)). Ancak, buradaki enerji farkı ( $h\nu - E_g$ ), yarıiletken malzemenin örgü titreşimlerini artırarak, ısı enerjisine dönüşür. Bu durum güneş hücrelerinde termalizasyon kayıplarına yol açar. Bu yüzden, yarıiletken malzemenin yasak enerji aralığına en yakın enerjiye sahip olan fotonlar güneş hücre performansına katkı sağlamaktadır (Şekil 2.5(c)) (Ataşer, 2017).





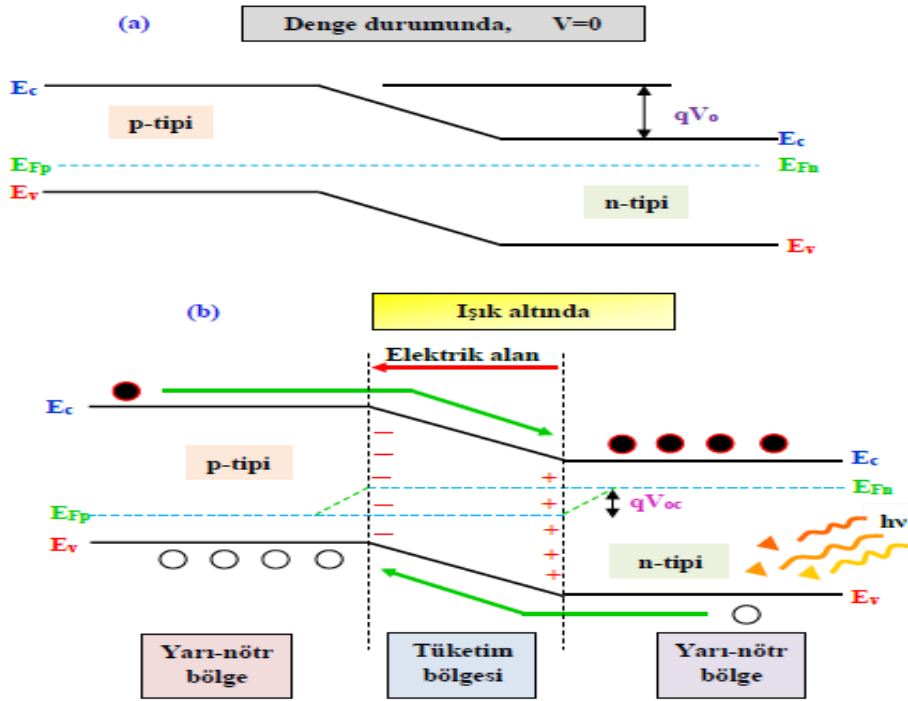
**Şekil 2.5:** Yarıiletkenlerin Enerji Bant Diyagramı (a)  $h\nu < E_g$ , (b)  $h\nu > E_g$ , (c)  $h\nu = E_g$  (Ataşer, 2017)

Yarıiletken devre elemanlarının yapımında, saflaştırılmış ve gerektiği şekilde kristalleştirilmiş silisyum (Si) veya germanyum (Ge) kullanılır. Düzgün kristal yapıdaki böyle bir yarıiletken malzemeye yabancı atomlar (örneğin P, As,... vs.) katılırsa, “serbest elektronlar” çoğaltılabilir. Bunlarla birlikte, ısı uyarma sonucunda, yarıiletken malzeme atomlarından kopan elektronlar da vardır. Bu şekilde gerçekleşen kopmalarla oluşan elektron noksanlığı, çoğu zaman o yerlerde pozitif yüklerin kaldığı şeklinde yorumlanır ve bu pozitif yüke boşluk denir. Boşluklar da, komşu atomlardan çalınan elektronlarla doldurulmaları nedeniyle rastgele hareket ederler. Bir elektrik alan uygulandığında, boşluklar da elektronlar gibi alanın belirlediği yönde sürüklenerek bir akıma neden olurlar. Boşluklar ile elektronların, alanın etkisi ile hareket yönleri ters olmasına rağmen taşıdıkları yükler de zıt işaretli olduğundan, oluşturdukları akımlar aynı yönde olup, pozitiften negatife doğrudur.

Yabancı atomlarla katkılanmış bir yarıiletkenin cinsine göre ya çok sayıda elektron ve az sayıda boşluk ya da çok fazla boşluk ve az sayıda elektron bulundurur. Fazla sayıdaki taşıyıcılar, çoğu zaman çoğunluk taşıyıcıları, diğerleri ise azınlık taşıyıcıları olarak adlandırılırlar. Çoğunluk taşıyıcıları, negatif yükler, diğer bir deyişle elektronları olan bir yarıiletken n-tip olarak isimlendirilir. Diğer türe ise p-tip denir. Katkı atomları katılmış bir yarıiletkende belirli bir sıcaklıkta, bu taşıyıcı yoğunlukları çarpımının sabit olduğu söylenebilir. Ancak, bunların taşıyıcı yoğunluğu, saf yarıiletkenlere göre daha büyüktür. Diğer bir deyişle, katkılanmış yarıiletkenin iletkenliği daha fazladır (Öztürk, 2013).

Bir güneş hücresi ışığa maruz kaldığında, p-n eklemine tüketim bölgesinde oluşan konsantrasyon gradyenti nedeniyle, oluşan elektron-deşik çifti, çoğunluk

taşıyıcıların konsantrasyonunda herhangi bir değişim oluşturmamaktadır. Ancak bu olay azınlık taşıyıcılarının konsantrasyon değerindeki artışa yol açar. Böylece difüzyon akım yoğunluğu baskın hale gelir. Üretilen azınlık taşıyıcılar, güneş hücresinde n-tipi bölgeden p-tipi bölgeye akan akım yoğunluğunu ( $J_{ph}$ ) belirler. n-tipi bölgeye tüm negatif yüklerin ve p-tipi bölgeye tüm pozitif yüklerin toplanması, güneş hücresinde ışık ile uyarılmış ileri beslenmeye sebep olur. Harici yüklerin bulunduğu bu ileri beslenme sonucunda, akım yoğunluğuna ters yönde bir akım yoğunluğu oluşur. Bu akım yoğunluğu, karanlık akım yoğunluğu olarak tanımlanır. Karanlık akım yoğunluğu, güneş hücresinin toplam akım yoğunluğuna ters yönde olmasından dolayı minimize edilmesi gerekir (Ataşer, 2017).



**Şekil 2.6:** Güneş Hücresinin Çalışmasını Temsil Eden Bant Diyagramı (A) Denge Durumunda, (B) Işık Altında (Ataşer, 2017)

Bir güneş hücresinin elektriksel performansı ve kalitesi, hücrede kullanılan yarıiletken malzemelere yani malzemenin yasak enerji aralığına bağlı olarak belirlenir. Güneş hücre yapıları yasak enerji aralığının kısıtlı değeri nedeniyle güneş spektrumunun sadece belirli bir bölgesini soğurabildiğinden dolayı verim değerleri düşüktür. Verim değerinin düşük olmasında iki faktör öne çıkmaktadır (Ataşer, 2017)

1- Güneş hücresine gelen yasak enerji aralığından büyük enerjiye sahip fotonlardır. Bu fotonların fazla olan enerjileri ısı enerjisine dönüşerek termal kayıplara neden olur.

2- Yasak enerji aralığından küçük enerjiye sahip fotonlardır. Bu fotonlar, elektrik üretimine katkı sağlayamazlar.

Bu kayıplar, güneş spektrumunun daha etkin bir şekilde kullanılmasına olanak sağlayan çok eklemli güneş hücrelerinin geliştirilmesine sebep olmuştur. Çok eklemli güneş hücre tasarımları ile fotonların iletim ve ısı kayıpları azaltılabilir (Ataşer, 2017).

Çok eklemli güneş hücreleri farklı yarıiletken malzemelerin üst üste büyütülmesi ile oluşur. Üst hücrede yasak enerji aralığı en büyük malzeme bulunurken, alt hücrelerde yasak enerji aralığı küçük malzemeler kullanılmaktadır. Yani bu güneş hücrelerine güneş ışığı geldiğinde, yüksek enerjiye sahip fotonlar, üst hücrede soğrulurken, alt hücrelere daha düşük enerjili fotonlar geçiş yapar. Bu güneş hücrelerinin tasarımında, yüksek verim elde edebilmek için geniş yasak enerji aralıklarına ve yüksek kaliteye sahip olan, III-V tabanlı yarıiletken malzemeler tercih edilmektedir. Bu yarıiletkenler, 0,3 ile 2,3 eV arasında değişen yasak enerji aralığına sahiptirler. Farklı yasak enerji aralığına sahip olan çok eklemli güneş hücreleri, güneş spektrumunun ultraviyole bölgeden yakın kızılötesi bölgeye kadar olan fotonları soğurur. Böylece yüksek verime sahip güneş hücre aygıtları çok eklemli güneş hücre teknolojisi ile elde edilir. (Ataşer 2017; Url-20 2019).

Yalıtkan, iletken ve yarı iletken maddelerin özellikleri, maddelerin bant yapılarına bağlıdır. Günümüzde elektronik ürünlerinde kullanılan transistörler, doğrultucu diyotlar gibi güneş hücreleri de yarıiletken maddelerden yapılırlar. Yarı iletkenlik gösteren birçok madde arasında güneş hücresi yapmak için en elverişli olanlar, Silisyum, Kadmiyum Tellür, Galyum Arsenit gibi maddelerdir. Tablo 2,2’de periyodik cetvelin bir kısmından bu maddeler gösterilmektedir (Abdulazez, 2011).

**Tablo 2.2:** Periyodik Cetvelde Bazı Elementlerin Özellikleri (Abdulazez, 2011)

| I     | II    | III   | IV    | V     | VI    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       |       | 5 B   | 6 C   | 7 N   | 8 O   |
|       |       | 13 Al | 14 Si | 15 P  | 16 S  |
| 29 Cu | 30 Zn | 31 Ga | 32 Ge | 33 As | 34 Se |
| 47 Ag | 48 Cd | 49 In | 50 Sn | 51 Sb | 52 Te |

### 2.3.2 İletken Maddeler

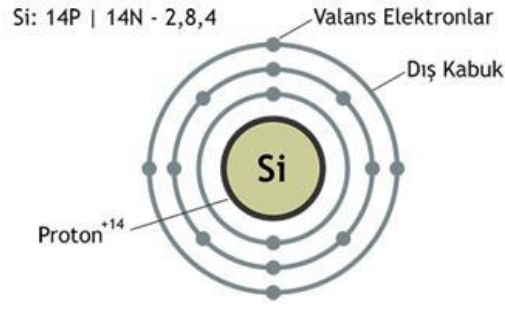
Elektrik akımına karşı zorluk göstermeyen maddelerdir. Dirençleri çok küçük olduğu için elektrik akımının taşınmasında kullanılırlar. Bakır (Cu), gümüş (Ag), nikel (Ni), altın (Au) vb. tüm metaller iletken grubuna girerler. Bu maddelerin valans elektronlarının sayısı 4'ten azdır (Ercan, 2008).

### 2.3.3 Yalıtkan Maddeler

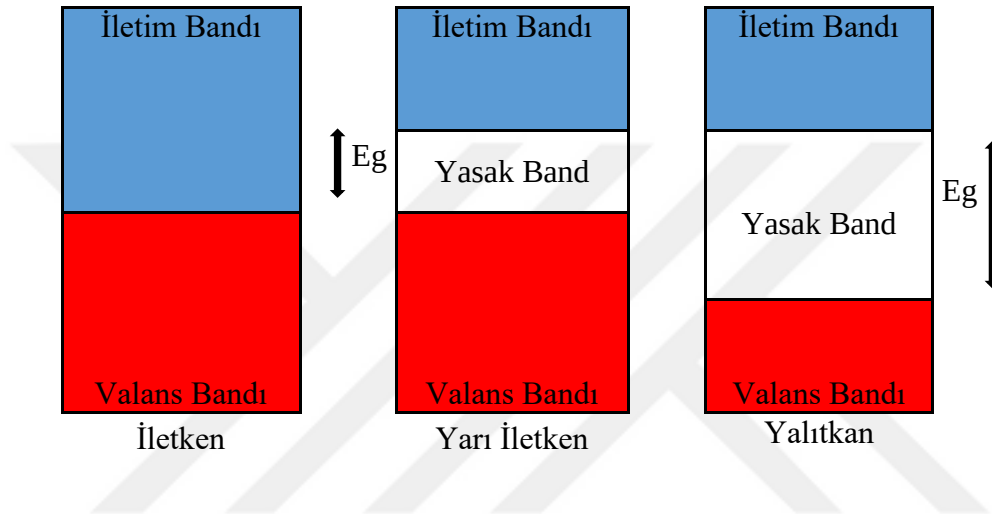
Elektrik akımının geçişine büyük zorluk gösteren maddelerdir. Dirençleri çok büyük olduğundan elektrik akımının izolasyonu için kullanılırlar. Plastik, tahta, cam, hava, mika vb. maddeler yalıtkan kategorisindedir. Yalıtkan maddelerin valans elektronlarının sayısı 4'ten fazladır (Ercan, 2008).

### 2.3.4 Yarı İletken Maddeler

İletken ile yalıtkan arasında bir özelliğe sahiptirler. Dirençleri, ne iyi bir iletken kadar küçük ne de iyi bir yalıtkan kadar büyüktür. Silisyum ve germanyum, bu kategoriye giren ve yarı iletken devre elemanlarının yapımında kullanılan maddelerdir. Yarı iletken grubundaki maddelerin valans elektronlarının sayısı ise 4'tür. Günümüzde yarı iletken devre elemanı yapımında en çok tercih edilen silisyumun her atomu 14 elektrona sahip olup son yörüngesinde ise 4 elektronu vardır. Şekil 2.7'de silisyum atomunun yapısı ve bu atomun basitleştirilmiş modeli görülmektedir (Ercan, 2008).



Şekil 2.7: Silisyum (Si) Atomunun Elektron Yapısı (Url-6, 2019)



Şekil 2.8: Enerji Bantların Yapısı

Şekil 2.8’de ise maddenin özelliğine bağlı enerji bant aralıkları verilmiştir.

Silisyum ve germanyum içlerindeki yabancı atomlardan arıtılıp saflaştırıldıklarında oldukça düzgün bir kristal yapıya sahip olurlar (Ercan, 2008).



Şekil 2.9: Oda Sıcaklığındaki Saf Silisyum Kristali (Url-6, 2019)

Saf silisyum kristalinde, dörder tane olan valans elektronların her biri iki silisyum atomu tarafından ortaklaşa kullanılmaktadır. Elektronların bu şekilde ortaklaşa kullanımı neticesinde kovalent bağ yapısı ortaya çıkmaktadır. Kristal yapı içerisindeki kovalent bağlar sayesinde her atom, 8 valans elektrona sahipmiş gibi davranır. Valans elektronu sayısı 4' ün üzerinde olan maddeler yalıtkan kategorisine girmektedir. 8 valans elektronlu bu kristal yapı ise çok iyi bir yalıtkan özelliği gösterir. Ancak bu durum sadece 0 °K (-273 °C) sıcaklıkta geçerlidir. Herhangi bir maddenin iletken olarak davranabilmesi için, atom yapısında yörüngesini terk etmiş serbest elektronların bulunması gerekir. Buna benzer bir durum saf germanyum kristali için de söz konusudur. Foton şeklindeki ışık ve oda sıcaklığındaki ısı nedeniyle, kristal içerisinde yeterince enerji alan bazı valans elektronlar yörüngelerini terk ederek yapı içerisinde serbest olarak dolaşırlar. Bu elektronlara serbest elektron adı verilip, elektrik akımının taşınmasını sağlarlar. Yörünge üzerinde serbest elektronun terk ettiği yerde ise delik (veya oyuk) adı verilen yeni bir taşıyıcı türü ortaya çıkar. Serbest elektronlar negatif yüklü, delikler ise pozitif yüklü taşıyıcılardır. Delikler de aynen serbest elektronlar gibi elektrik akımının taşınmasını sağlarlar. Zira bir delik, komşu elektronların biri tarafından kolayca doldurulabilir ve burayı dolduran elektronun yerinde yeni bir delik oluşur. Böylece elektron hareketine benzer şekilde ve tersi yönde bir delik hareketi meydana gelir (Ercan, 2008).

Oda sıcaklığında, içerisindeki serbest akım taşıyıcılarının sayısı artan saf silisyum (veya germanyum) kristali, direnci düşmesine rağmen halen ne iyi bir iletken ne de iyi bir yalıtkan özelliğine sahip değildir. Bu durum Tablo 2.3'te görülmektedir (Ercan, 2008).

**Tablo 2.3:** Belirli Maddelerin Oda Sıcaklığındaki Direnç Değerleri (Ercan, 2008).

| Madde                   | Oda Sıcaklığındaki Direnci<br>(1 cm <sup>3</sup> 'ün) |
|-------------------------|-------------------------------------------------------|
| Bakır (İletken)         | $10^{-6} \Omega$                                      |
| Silisyum (Yarı İletken) | $5.10^3 \Omega$                                       |
| Mika (Yalıtkan)         | $10^{12} \Omega$                                      |

Burada belirtilmesi gereken diğer önemli bir özellik de, yarı iletken maddelerin sıcaklığa olan duyarlılıklarıdır. Sıcaklık artışı neticesinde, yarı iletken

madde içindeki serbest elektronların sayısı artar ve yarı iletkenin direncinde göz ardı edilemeyecek bir azalma meydana gelir. Bu maddenin iyi bir iletken gibi davranmasını sağlamak için ısı veya ışık gibi enerjileri çok fazla artırmak yeterli olmaz. Tablo 2.3'te de görüleceği üzere eşit şartlarda, silisyumun direnci, sıkça kullanılan bir iletken olan bakırın direncinden  $5.10^9$  (5 milyar) kez daha büyüktür (Ercan, 2008).

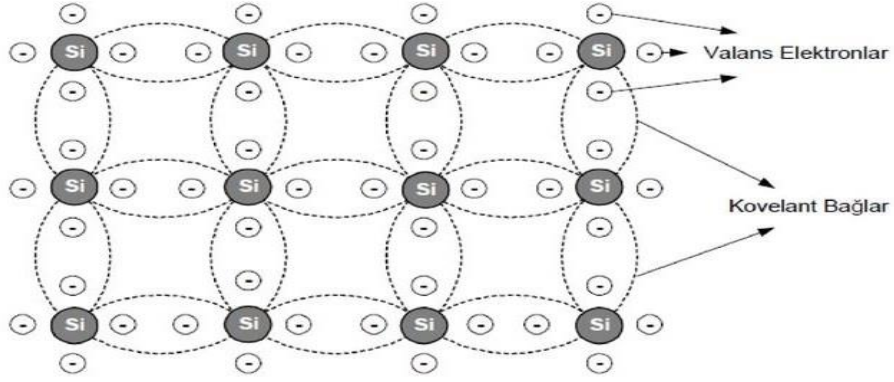
Güneş enerjisinden elektrik üretiminde, yarıiletkenlerden azami ölçüde yararlanılır. Çünkü güneşten gelen foton tanecikleri, yarıiletkenin atomik yapısındaki zayıf moleküler bağlar sayesinde elektronların serbest kalmalarını sağlarlar. Bu durum, diğer bir yarıiletken yapıya elektron akışına olanak sağlar. Yarıiletkenler germanyum, silisyum, selenyum gibi elementler olabildiği gibi; bakır oksit (CuO), galyum arsenit (GaAs), indiyum fosfür (InP), kurşun sülfür (PbS) gibi bileşikler de olabilir (Öztürk, 2013).

#### **2.4 Silisyum Kristalini Katkılama (Dopingleme)**

Saf silisyum (veya germanyum) kristalinin iletkenliğini artırmak için katkılama (dopingleme) adı verilen özel bir işlem gerçekleştirilmektedir. Katkılama işleminde, saf kristal yapı içerisinde 3 veya 5 valans elektronlu katkı atomları enjekte edilir. Bu işlem sonucunda, yarı iletken maddenin iletkenliği çok büyük bir oranda artış gösterir (Ercan, 2008).

Yarıiletken malzeme olarak ilk önceleri germanyum elementi kullanılmıştır. Günümüzde ise başlıca yarıiletken malzeme olarak silisyum (Si) kullanılmaktadır. Genel olarak, yarıiletken bir cihaz, yapımında kullanılan yarıiletken malzemeye bağlı olarak tanımlanır. Örneğin, saf silikon elektriği çok zor iletir. Bununla birlikte, saf silikon, yüksek sıcaklıkta difüzyon işlemiyle iyon yerleştirme (katkılama) işlemiyle, diğer bir element ile karşılaşırsa oluşan karışım elektriği iletir. Silikon, değişik özellikteki elementlerle katkılanarak değişik işlemler gerçekleştirilir (Öztürk, 2013).

Silikon (Si) atomu, dış yörüngesinde 4 elektrona (negatif yük) sahiptir. Silikon atomunun dış yörüngesinde 8 elektrona sahip olması durumunda, atom kararlı duruma gelir. Eğer, her bir silikon atomu, diğer 4 silikon atomuna kovalent olarak bağlanırsa (Şekil 2.10), kararlı özelliklerde bir silikon kristal meydana gelir. Oluşan bu kristal silikon elektriği iletmez (Öztürk, 2013).



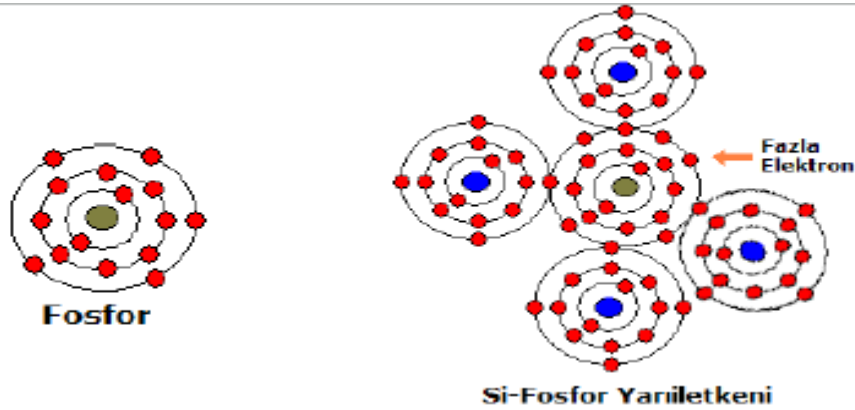
**Şekil 2.10:** Si Atomunun Kovalent Bağ Yapısı (Url-7, 2019)

#### 2.4.1 Silisyum (Si) Atomunu İndiyum (In) Atomu İle Katkılanması (Dopingleme)

Dış yörüngesinde 4 adet elektrona sahip olan silisyum atomu, 3 elektrona sahip indiyum (In) atomu ile katkılanırsa, indiyum silikona bağlanır. Sonuç olarak, 1 elektron eksik olarak çalışır. Bu elektron eksikliği durumu, boşluk olarak adlandırılır. Bu boşluğa, diğer bir atomdan kolay bir şekilde elektron yerleşir. Elektronlar, bu serbest elektronlar gibi, boşluklar arasında hareket edebilir. Bu durum, pozitif (p) tip özellik olarak adlandırılır.

#### 2.4.2 Silisyum Atomunu Fosfor (P) Atomu ile Katkılanması (Dopingleme)

Değerlik bandında fazladan elektronu olan fosfor gibi bir atom yapının içine enjekte edilirse, serbest elektronların miktarı değişir. Fosfor atomuna yapışık fazladan elektron oda sıcaklığındaki ısı enerjisi sayesinde serbest kalır ve kristal ağ yapıda başıboş dolaşabilir (Şekil 2.11). Bu malzemeye artık n-tipi silikon denebilir.



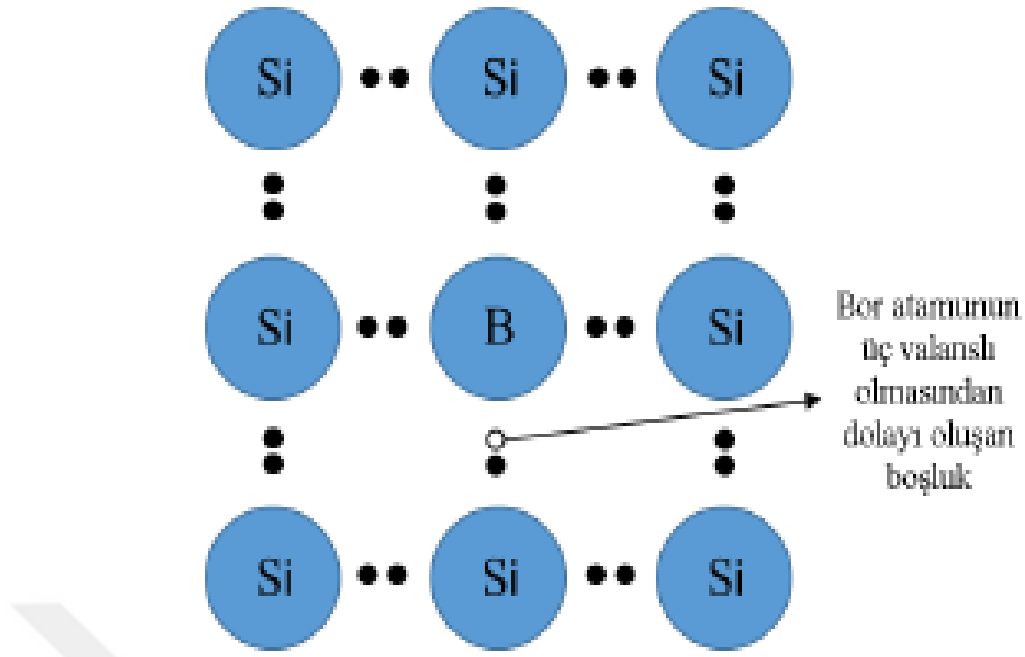
**Şekil 2.11:** Silisyum Atomunu Fosfor ile Katkılanma (Url-8, 2019)

Silisyumdan n tipi silisyum elde etmek için silisyum eriyiğine periyodik cetvelin V. grubundan fosfor(P) elementi eklendiğinde, silisyumun dış yörüngesinde 4, fosforun dış yörüngesinde 5 (valans bandı) elektron olduğu için toplam 9 elektron Valans bandında dolaşmaya başlar ve fosforun fazla olan tek elektronu olan bir voltaj (potansiyel fark) kristal yapıya bir elektron verir. Böylece Si-P n-tipi (negatif yüklü) yarıiletken haline dönüşmüş olur Bu nedenle V. Gruptaki elementlere “verici” ya da “n tipi” katkı maddesi adı verilir. Yarıiletken bir cihaz, p ve n-tip yarıiletkenlerden oluşur. Serbest elektronlar (negatif yük), boşluklar (pozitif yük) ise taşıyıcılar olarak tanımlanırlar.(Öztürk 2013; Abdulazez 2011).

Gerçek tasarımlar için p-n eklem tasarım yöntemi, bu iki tipi bir araya getirerek yapılmaz. Başlıca yöntem gerçek silikon kristalleşirken karışıma bir miktar bor atomu eklemektir. Böylece, p-tip silikon elde edilir. Daha sonra üst yüzeyi p-tip özellik kazandırmak için, yüksek sıcaklıklarda gaz birikimiyle katmanlar arasına fosfor yüklenir. Böylece eklem oluşturulur (Öztürk, 2013).

#### **2.4.3 Silisyum Atomunu Bor (B) Atomu ile Katkılama (Dopingleme)**

Saf silisyum kristali içerisinde katılan 3 valans elektronlu bor (B) atomu katkılı olduğunda, 3 valans elektronu komşu silisyum atomları ile kovalent bağ oluşturur. Ancak, kovalent bağlardan birinde olması gereken elektronun yeri boş kalmış durumdadır. Dolayısıyla burada bir boşluk vardır. Yapı içindeki serbest elektronlardan birinin bu boşluğu doldurması neticesinde elektron alan bor atomu negatif iyon durumuna geçer. Katkılı kristal içerisinde, oda sıcaklığının etkisi ile ortaya çıkmış az sayıda boşluk ve yine oda sıcaklığının etkisi ile ortaya çıkmış ve boşluklarla eşit sayıda serbest elektron bulunmaktadır. Bunlara, katkı atomlarının ilavesi ile ortaya çıkan çok sayıda boşluk eklenmiş durumdadır. Elde edilen bu yeni yapı içerisinde, sayıları az olan elektronlar “azınlık akım taşıyıcısı” ve sayılar çok daha fazla olan boşluklar “çoğunluk akım taşıyıcısı” durumundadır. Çoğunluk akım taşıyıcılarının boşluk ve bunların yüklerinin pozitif olması nedeniyle bu tip yarı iletken p tipi yarı iletken adı verilir. P tipi yarı iletken yapımında katkı malzemesi olarak bor, galyum ve indiyum gibi 3 valans elektronlu maddeler kullanılır (Şekil 2.12 ) (Öztürk 2013; Abdulazez 2011; Ercan 2008).

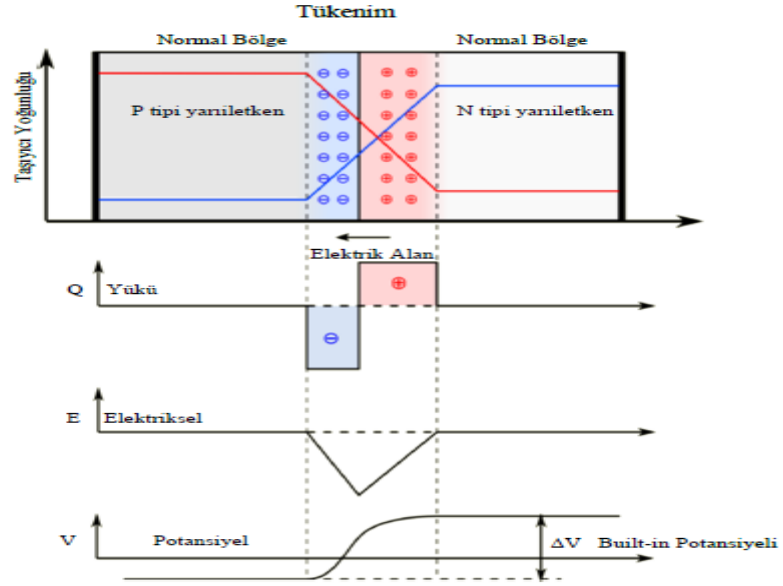


Şekil 2.12: p-Tipi Katkılama (Dalkılıç, 2019)

### 2.5 p-n Eklemi ( Yüzey Birleşmesi)

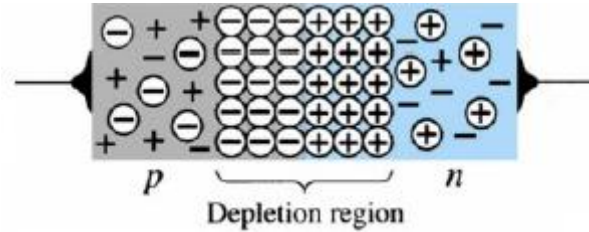
Saf silisyumdan oluşan bir yarı iletken parçasının bir bölgesi p tipi, diğer bölgesi n tipi olacak şekilde katkılanarak p-n eklemi diyot mantığıyla çalışan bir sistem elde edilir. İmalat esnasında, n ve p tipi yarı iletken bölgelerinin birleşme yüzeyine yakın kısımlarımdaki çoğunluk akım taşıyıcıları (boşluklar ve elektronlar) birleşerek yüksüz hale gelirler. Bunun sonucu olarak eklemi etrafında, taşıyıcılardan ( elektronlar ve boşluklar) yoksun bir bölge meydana gelir. Akım taşıyıcısı bulunmadığı için yalıtkan özelliği gösteren bu bölgeye boşaltılmış bölge veya gerilim setti adı verilir. Boşaltılmış bölge içindeki iyonların (elektron almış veya kaybetmiş olan katkı atomları) elektrik akımının geçişine bir etkisi yoktur (Ercan, 2008).

Silisyum ya da germanyum kristalinin bir kısmı p-tipi madde ile diğer kısmı ise n-tipi madde ile katkılandırılır. Sonuçta elde edilen durum p-n eklemidir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13: p-n Eklem Şematik Gösterimi (Aydın, 2013)

p-n eklemünde, n-tipi katmanın negatif yüklü atomları, p-tipi katmanın pozitif yüklü atomları tarafından hareketlendirilir. n-tipi maddedeki elektronlar, eklem bölgesini geçerek p-tipi maddeye doğru akarlar (elektron akışı). Şekil 2.14'te görüldüğü gibi, eklem bölgesinin etrafında bir boşaltılmış bölge oluşur (Ercan, 2008).



Şekil 2.14: p-n Eklemi Boşaltılmış Bölge (Url-9, 2013)

Bir p-n eklemünde, p-tip bölgeye negatif, n-tip bölgeye ise pozitif gerilim uygulanırsa; oluşan elektrik alanı, yüklerin hareketini önemli düzeyde engeller. Diğer bir deyişle, eklemde hemen hemen hiç akım akmaz. Böyle bir gerilim uygulanması, “tıkama yönünde kutuplama” olarak adlandırılır. Bunu tersi durumunda, diğer bir deyişle büyük akım akar. Bu durum “geçirme yönünde kutuplama” olarak adlandırılır. Sonuç olarak geçirme yönünde kutuplanan bir p-n eklemünün kutuplanmasında ise çok küçük bir akım akıttığı söylenebilir (Öztürk, 2013)

p-n eklem, her iki tip silikon arasındaki bağlantının adıdır. Bu p-n eklemi, akımın tek yönde geçişine izin veren bir diyot gibi işlev yapar. Ancak, elektrik alanı elektron ve boşlukları ters yönlerde çeker. Elektronlar, p-tipi silikondan n-tipe doğru harekete zorlanırlar (Öztürk, 2013).

Elektriğe dönüştürülecek uygun enerji olmaması durumunda, hücre tarafından her zaman aşırı ısı üretilir. Eğer, bu elektron boşluk çiftleri, güneş hücresinde doğru alanlarda oluşturulursa (p-n eklemine yakın), elektronlar pozitif n-tipi silikona doğru, boşluklar negatif p-tipi silikona doğru çekileceklerdir. Bazı fotonlar, elektron-boşluk çiftleri oluşturacak kadar yeterli enerji taşımazlar. Güneşten gelen fotonların yaklaşık üçte ikisi, silikondan tasarımı yapılan güneş hücreleri tarafından kullanılmaz (Öztürk, 2013).

Borla bağlı p-tipi silikon, ışıyım yayan kısım (emitör, fosforla bağlı n-tipi silikon) karşılaştırıldığında, güneş hücresinin daha kalın bir parçasını oluşturur. Güneş hücresi kalınlığının 500 mikrona kadar ulaştığı durumlarda, yayıcının kalınlığı 1 mikron veya daha azdır. Kristal silikon hücresi oluşturmak için, bor bağlı p-tipi silikon iletken, arka kontak malzemeye katmanlaştırılır. Arka kontak malzemesi olarak, alüminyum veya başka alaşımlar kullanılır. Yayıcı üzerindeki güneş ışıyımının yansımalarını azaltmak için eva veya optik malzemelerdeki gibi, yansıtmayan kaplama malzemeleri kullanılır (Öztürk, 2013).

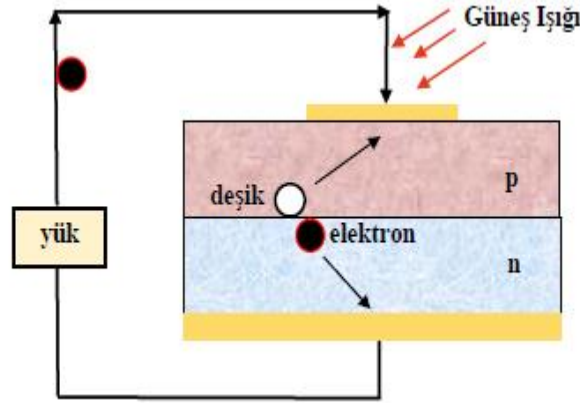
### 3. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ HÜCRE (CELL) ÇEŞİTLERİ VE ÖZELLİKLERİ

#### 3.1 Alternatif Elektrik Enerji Kaynağı Olarak Güneş Enerjisi

Güneş hücreleri, güneşten gelen ışınlamaları soğurup, doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmek için tasarlanır ve üretilir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan güneş hücreleri, ileri teknoloji cihazların (transistör, ışık yayan diyot ve fotodedektör) yapısı gibi, yarıiletken tabanlı p-n eklemlerden oluşmaktadır. Güneş hücresindeki p-n eklemnin çalışması için fotovoltaik etkinin sağlanması gerekir. Bu etki, Şekil 3.1’de gösterildiği gibi, iki adımda gerçekleşir (Ataşer, 2017):

- i-) Güneşten gelen fotonların soğurularak, elektron-deşik çifti oluşturması,
- ii-) Üretilen elektron-deşik çiftlerinin p-n eklemnin tüketim bölgesinde meydana gelen elektrik alan tarafından birbirinden ayrılmasıdır.

Uyarılmış elektronlar taban durumlarına dönmeye önce elektrik enerjisi oluşturmak üzere dış devreyi besler.



Şekil 3.1: Güneş Hücresinin Çalışma Prensibi (Ataşer, 2017)

Güneş hücreleri;

1. Tek kristal (monokristal) ve polikristal silisyum gibi silisyum tabanlı güneş hücreleri
2. Amorf silisyum, kadminyum tellür ve kadminyum sülfür gibi ince film güneş hücreleri
3. Yığın (bulk) heteroeklem ve hibrit peroskite gibi organik/inorganik tabanlı güneş hücreleri
4. Güneş ışığının yoğunlaştırıldığı teknolojiye ve uzay uygulamalarında kullanılan GaAs, GaInAs ve GaInP gibi III-V tabanlı güneş hücreleri olmak üzere

dört grupta toplanır. III-V tabanlı güneş hücreleri tek eklemli, iki eklemli ve üç eklemli gibi farklı yapılarda tasarlanabilmektedir (Ataşer, 2017).

### **3.2 Güneş Hücrelerinin Yapımında Kullanılan Malzemeler**

Güneş hücreleri pek çok farklı maddeden yararlanarak üretilebilir. Günümüzde en çok kullanılan maddeler şunlardır (Abdulazez, 2011).

#### **3.2.1. Kristal Silisyum (c-Si)**

Silisyum yarı iletken özellikleri tipik olarak gösteren ve güneş hücresi yapımında en çok kullanılan maddelerden biridir. Fotovoltaik özellikleri daha üstün olan başka maddeler de olmakla birlikte, silisyum hem teknolojinin üstünlüğü nedeniyle hem de ekonomik nedenlerle tercih edilmektedir (Aydın, 2013).

Kristal silisyum fotovoltaik hücreleri yani tekli silisyum kristal ya da çoklu silisyum kristal güneş hücreleri, günümüz güneş hücresi piyasasında 2011 yılı itibarıyla satışların %87'sini oluşturmaktadır. Kristal silisyum fotovoltaik hücreleri laboratuvar ortamındaki enerji dönüşüm verimleri tekli kristal hücreler için %25 civarında iken çoklu kristal hücreler için ise %20,4 civarındadır. Endüstriyel üretimde ise güneş modüllerinin verimleri günümüzde %14 ile %24 arasında değişmektedir.

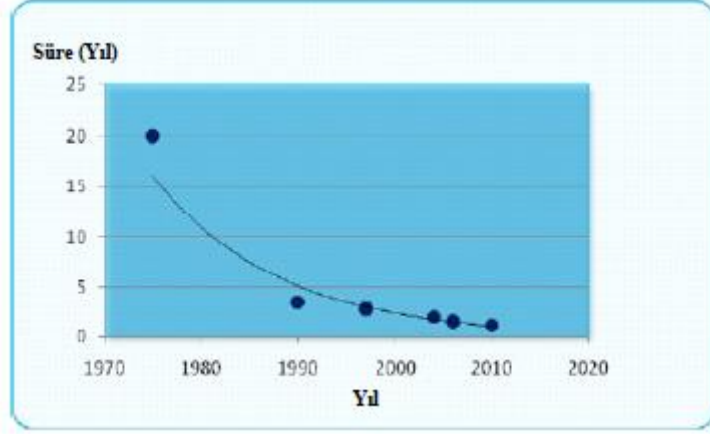
Kristal paneller yaklaşık olarak 30-35 yıllık bir ömre sahiptir. Bu teknik ömürlerinin yaklaşık %95'in de yani 28,5-32 yılında temiz sorunsuz elektrik üretirler. Kristal paneller 2 ayrı grupta incelenebilir.

Tekli (mono) kristal güneş hücreleri kristal hücre çeşitlerinin en verimlisi ve en kalitelisidir. Tekli kristal hücreler diğer tiplere göre %2 oranında daha az yer kaplar. Bu da verimlerinin artmasını sağlar. Ancak tekli kristal panel sistemlerinde üretim süreci uzun sürmektedir. Uzun vadeli kullanım için tekli kristal paneller tercih edilir (Alkan, 2016).

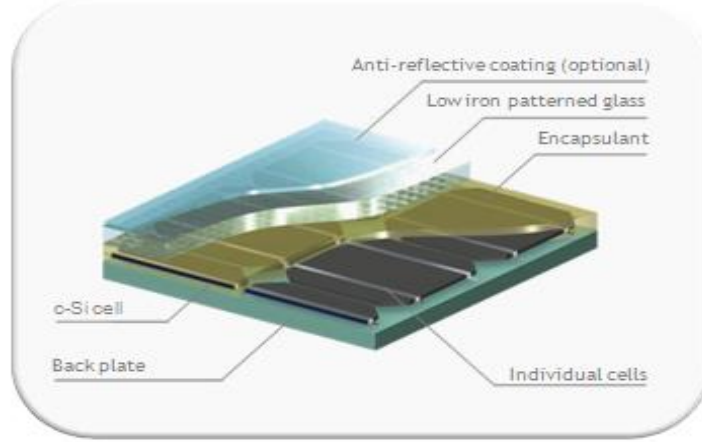
Diğer kristal hücre tipi olan çoklu (poli) kristal hücreler, tekli kristal hücrelere göre daha az verim sağlar. Ancak kullanım alanı çok daha yaygındır.

Özellikle kolay üretilebilmesi, kolay ulaşılabilmesi ve bunun yanında sağladığı uygun maliyet kullanımı yaygınlaştırmaktadır (Alkan, 2016).

Wafer olarak adlandırılan ince silisyum dilimlerin kalınlıkları hücre yapısına uygun olacak ölçüye kadar düşürülmüştür. Kristal silisyum PV modül için yıllara göre geri kazanım sürelerine ait grafik Şekil 3.2’de verilmiştir (Alkan, 2016).



Şekil 3.2: Kristal Silisyum PV Modül İçin Geri Kazanım Süreleri (Alkan, 2016)



Şekil 3.3: Kristal Silisyum PV Hücre Yapısı (Url-10)

Silisyum elementinin hücre yapımında kullanılmasının nedeni hem teknolojik üstünlüğü, hem de ekonomik nedenlerle tercih edilmektedir. Önce büyütülüp daha sonra 200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlenen tek kristal silisyum bloklardan üretilen güneş hücrelerinde laboratuvar şartlarında %24, ticari modüllerde ise %15’in üzerinde verim elde edilmektedir. Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen çok kristal silisyum güneş hücreleri ise daha

ucuza üretilmekte, ancak verim de daha düşük olmaktadır. Verim, laboratuvar şartlarında %18, ticari modüllerde ise %14 civarındadır (Abdulazez, 2011).

### **3.2.2 Tek Kristal Silisyum Güneş Hücreleri**

İlk ticari güneş hücrelerinde, tek kristal silisyum kullanılmıştır. Güneş hücresi endüstrisinde hala daha sıklıkla kullanılmaktadır. Avantajı ise tek kristalde atomların iyi bir düzende olmasından dolayı elektronların kristal içerisinde atomlar ile pek fazla etkileşmeyip enerji kaybetmemesidir. Verimleri %15 civarındadır. Yapım sırasında malzeme kaybının çok fazla olması bu hücrelerin dezavantajıdır (Aydın, 2013).

Silisyum atomları homojen kristal yapıya sahip olup bütün atomlar aynı yönde sıralıdır. Tekli kristal yapıdaki silisyum hücresi “Czochralski geliştirme teknolojisi” adı verilen yöntemle eriyik saf silisyumun saatte birkaç santimetre çekilmesiyle oluşturulur. Tekli kristal silisyum güneş hücrelerinin üretimleri teknik açısından daha zor olduğundan ve daha çok zaman aldığından dolayı bu tip güneş hücrelerinin fiyatları da verimlilik kapasiteleri gibi diğer güneş hücresi çeşitlerinden daha yüksektir. Ancak uzun süreli kullanımlar için düşünüldüğünde dayanıklılık ve verim açısından daha iyi bir seçenek olacaktır (Alkan, 2016).

### **3.2.3 Yarıkristal Silisyum Güneş Hücreleri**

Bu tip hücreler, sıvı silisyumun soğutulmasıyla elde edilen kümelenmiş küçük silisyum kristallerinden oluşur. Bu hücrelerin verimleri %14 civarında olup, kümelenmiş silisyum taneciklerinin sınırlarındaki kayıplara bağlıdır (Aydın, 2013).

### **3.2.4 Polikristal Silisyum Güneş Hücreleri**

Polikristal Si yapılardan oluşurlar. Çok kristalli malzemede kristal tane yapılarının birbirlerine göre yönelmeleri dışında elektriksel, optiksel ve yapısal özellikleri özdeştir. Kristal tanelerinin büyüklükleri kristalin kalitesi ile doğru orantılıdır. Taneler arasındaki süreksizlik, özellikle elektriksel yük taşıyıcılarının aktarılmasında önemli ölçüde engelleyici rol oynar. Ancak çok kristalli silisyum üretim teknolojileri daha az enerji kullanımı ve daha kolaydır, sonuç olarak çok kristalli silisyumun maliyeti önemli ölçüde düşüktür (Aydın, 2013).

Erimiş silisyumun yüzeye dökülerek yapılır. Rengi koyu lacivettir. Çoklu kristal yapıdaki güneş hücrelerinde malzeme birçok tekli kristalden oluşur ve atomik yapı homojen değildir. Çoklu kristal yapıdaki güneş hücrelerinin verimlilik kapasitesi yaklaşık %16 civarındadır. Poli kristal güneş hücrelerinin maliyeti mono kristal güneş hücrelerinden daha düşük olduğu ve verimlilik kapasitelerinin maliyete oranı yüksek olduğu için en sık üretilen güneş hücreleridir (Alkan, 2016).

### **3.2.5 Galyum Arsenit (GaAs)**

Bu malzemeyle laboratuvar şartlarında %25 ve %28 (optik yoğunlaştırıcı) verim elde edilmektedir. Diğer yarıiletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemlili GaAs hücrelerde %30 verim elde edilmiştir. GaAs güneş hücreleri uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılmaktadır (Abdulazez, 2011).

### **3.2.6 Amorf Silisyum (a-Si)**

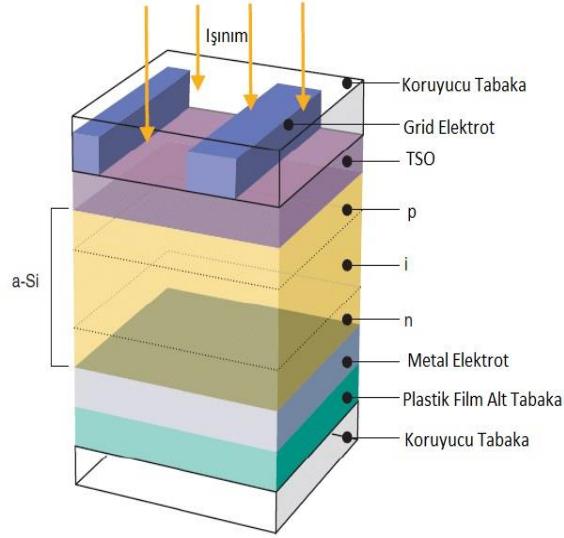
Amorf silisyum güneş hücreleri (a-Si), ince film güneş hücresi teknolojisinin en önde gelen örneğidir. A-Si hücreler Schottky bariyer yapısında iken, daha sonraları p-i-n yapıları geliştirilmiştir. P-i-n yapısındaki hücrelerin fabrikasyonu amfoter özelliği gösteren kalay oksitle ( $\text{SnO}_2$ ) kaplı iletken bir yüzeyin üzerine çöktürme yöntemi ile üretilir ve bu yüzeyin arkası daha sonra metalle kaplanır. Verimleri yaklaşık %5-8 arasındadır (Aydın, 2013).

İnce-film silisyum güneş hücreleri hidrojene edilmiş amorf silisyum, a-Si olarak bilinir. Amorf, kristal olmayan anlamına gelmektedir. Laboratuvar ölçümlerinde hücrelerin dönüşüm verimi %12,5 iken yüksek seviyeli işlemlerle endüstriyel kullanım için üretilmiş amorf silisyum güneş hücrelerinin verimi %6-9 arasındadır. Amorf silisyum, kristal silisyum güneş hücrelerine oranla daha düşük verime sahiptir ama ışığı daha iyi tutar esnektir ve daha az maliyetle üretilir. Amorf silisyum güneş hücreleri 2011 Dünya güneş hücresi piyasasında %3'lük paya sahiptir.

Amorf silisyum güneş hücrelerinin avantajları şunlardır;

- Daha az malzeme: Bant boşluğu bulunmasından dolayı daha az silisyum kullanılır.

- Daha ucuz yüzeyler: Amorf silisyum güneş hücrelerinde cam, paslanmaz çelik ya da plastik gibi düşük maliyetli destek malzemesi kullanılmaktadır (Alkan, 2016).



**Şekil 3.4:** Amorf Silisyum PV Hücre(Url-11, 2011)

Kristal yapı özelliği göstermeyen bu Si hücrelerden elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5-7 mertebesinde. Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılan amorf silisyum güneş hücresinin bir başka önemli uygulama sahasının, binalara entegre yarısaydam cam yüzeyler olarak, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabilir.(Abdulazez, 2011).

### 3.2.7 Kadmiyum Tellür (CdTe)

Çok kristal yapıda bir malzeme olan CdTe ile güneş hücresi laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir (Abdulazez, 2011).

Periyodik tablonun, II. grubunda bulunan kadmiyum elementinin ve VI. grubunda bulunan tellür elementinin bir araya gelmesiyle oluşan II-VI birleşik yarıiletkeni kadmiyum tellürün, CdTe, oda sıcaklığında yasak enerji aralığı,  $E_g=1,47$  eV değeri ile güneş spektrumundan maksimum dönüşümü elde etmek için gerekli olan değere oldukça yakındır. Yüksek soğurma katsayısı yanında, ince film büyütme teknolojisinin birçoğu ile kolayca üretime olanak tanınması, geniş yüzey

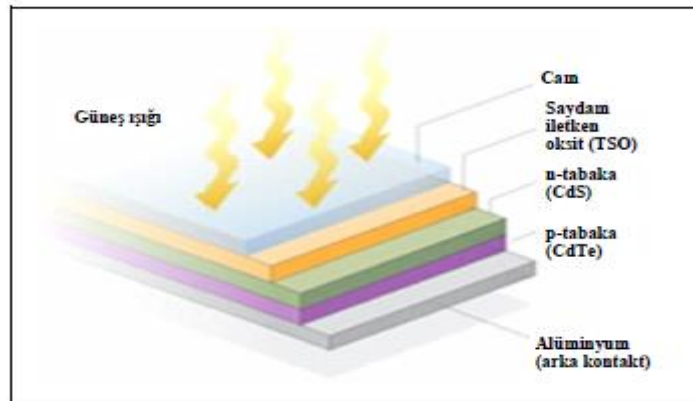
alanlı güneş hücresi üretiminde CdTe birleşik yarıiletkeninin öne çıkmasını sağlamıştır. CdTe çoğunlukla kadmiyum sülfür, CdS ile bir araya getirilerek heteroeklem diyot üretilir. Yasak enerji aralığı yaklaşık 2,4 eV olan CdS yarıiletkeni çok ince bir tabaka olarak uygulanır (Aydın, 2013).

CdTe güneş hücreleri, dünya piyasasında kristal silisyum güneş hücrelerinden sonra en çok bulunan PV teknolojisidir. CdTe ince-film güneş hücrelerinin üretimi kolay ve ucuzdur. Bu özellikleriyle de geleneksel silisyum temelli teknolojilere daha düşük maliyetli bir alternatiftir. CdTe güneş hücreleri için rekor laboratuvar verimi %19,6'dır. Fakat ticari ürünlerde verim %10-15 arasında değişmektedir.

CdTe ince-film güneş hücrelerini avantajları şunlardır;

- Yüksek emilim: Bant aralığı enerjisi yaklaşık 1,45 (eV) olan doğrudan bant aralıklı yapıya sahip malzemedir ki bu güneş ışığını elektriğe dönüştürmek için kullanılan en uygun jonksiyondur.
- Düşük üretim maliyeti: Üretimde düşük üretim maliyetli teknolojiler kullanılmaktadır. Fakat Si hücreleri kadar uygun maliyette değildir.

En yaygın CdTe güneş hücresinin temeli p-n heterojonksiyon yapısıdır. Bu yapıda p katkılı CdTe katmanı ile eşleştirilmiş n katkılı kadmiyum sülfür (CdS) katmanı vardır ve bu katmanlar pencere gibi davranır. Bu yapıyı diğer bir heterojonksiyon olan CIGS [bakır indiyum galyum (di)selenid] güneş hücrelerine benzer (Alkan, 2016).



Şekil 3.5: Kadmiyum Tellur PV Hücresi Yapısı (Alkan, 2016)

### 3.2.8 Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe<sub>2</sub>)

Poli kristal hücrede laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde %10,2 verim elde edilmektedir. Optik Yoğunlaştırıcılı Hücreler: Gelen ışığı 10-500 kat oranlarda yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla modül verimi %17'nin, hücre verimi ise %30'un üzerine çıkabilmektedir. Yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemeden yapılmaktadır (Abdulazez, 2011).

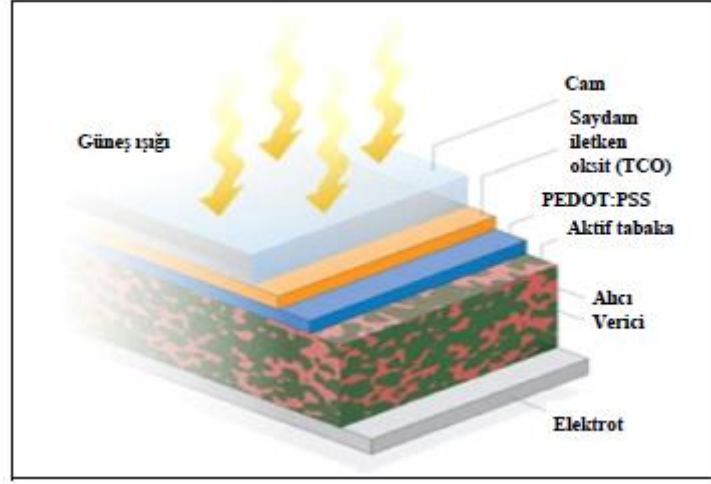
Periyodik tablonun I., III. ve VI. Gruptan elementlerin üçüncünün ya da daha fazlasının bir araya gelmesi ile oluşan bu bileşik yarıiletkenlerin soğurma katsayıları oldukça yüksek olup, yasak enerji aralıkları güneşin spektrumu ile ideal bir şekilde uyuşacak biçimde ayarlanabilir. Bakır indiyum ve selenyumdan yapılan üçlü bileşik yarıiletkenle başlayan bu grup (CIS) güneş hücreleri olarak anılır. Bu gün CIS ince film güneş hücrelerinin çoğunluğu içerisinde Ga elementinin katılması ile daha yüksek verimlilikler elde edilir. Ancak yarıiletkeni oluşturan element sayısı arttıkça gereken teknoloji ve malzemenin özelliklerinin denetimi de bir o kadar karmaşık duruma gelmektedir. Laboratuvardaki küçük alan hücrelerin verimliliği yaklaşık %18'dir (Aydın, 2013).

### 3.2.9 Organik Güneş Hücreleri

Yeni bir güneş hücresi sınıfı olarak organik güneş hücrelerinde, soğurucu tabaka organik (moleküler veya polimerik) maddelerden oluşur. Yüksek soğurma katsayıları, organik çözeltilerden oluşturulup büyütülebildikleri ve yapısal olarak esnek olabilmeleri güneş hücresi üretiminde bu maddeleri cazip hale getirmektedir. Bu güneş hücrelerinin çalışması diğer güneş hücrelerinden farklı olduğu için verimli hücre tasarımı biraz daha farklıdır.

Organik maddelerin dielektrik katsayıları silisyuma göre 4-5 kat daha düşüktür. Bunun sonucu olarak bir fotonun soğurulması doğrudan serbest elektron oluşumuna neden olmaz. Foton soğurulması sonucu elektron-boşluk çiftleri oluşur. Bu çiftlerin bağlanma enerjileri normal elektron boşluk çiftlerinden 15-20 kat daha düşüktür. Bağlı olan bu çiftler kolaylıkla serbest elektron ve boşluklara dönüşebilir bu taşıyıcılar toplandığında elektrik akımı meydana gelir. Organik güneş hücrelerinde bu çiftlerin birbirinden ayrılma işlemi soğurucu tabakanın ve ikincil

maddenin etkileşimiyle olur. İkincil tabaka akseptör ve donör maddeler ihtiva eden bir karışım olarak tercih edilir. Elektron boşluk çiftleri bu tabakaya geldiklerinde birbirlerinden ayrılırlar ve serbest elektron veya boşluklara dönüşürler. Böylelikle elektrik akımı meydana gelir (Aydın, 2013).



Şekil 3.6: Organik PV Hücre Yapısı (Alkan, 2016)

### 3.2.10 Perc Güneş Hücresi

Perc, pasif verici ve arka hücre olarak tanımlanabilir. Bir perc güneş hücresi, çekirdeğinde daha verimli bir güneş hücredir. Perc hücreleri ile üretilen güneş panelleri, güneş ışığını kullanılabilir elektriğe daha rahat bir şekilde dönüştürülebilir. Perc güneş hücrelerinden üretilen güneş panelleri, hem düşük ışık koşullarında hem de yüksek sıcaklıklarda genel olarak geleneksel panellerden daha yüksek performans gösterir. Perc teknolojisi, hücrenin üretimine birçok fayda sağlayan geleneksel bir güneş hücresinin arkasına bir katman eklenmesiyle verimliliği artırır.

Perc güneş hücreleri, standart güneş hücreleri üzerinden sağladıkları verimlilik kazançları nedeniyle gelişmekte olan bir teknolojidir. Perc üretimi, geleneksel hücre üretimine oranla çok fazla değişiklik gerektirmez. Üreticilerin düşük maliyetle daha yüksek verimli perc hücreleri üretmeye başlaması nispeten kolay bir değişimdir. (Wang 2014; Tahir ve diğ. 2018).

### **3.2.10.1 Perc Güneş Hücrelerinin Standart Güneş Hücrelerinden**

#### **Farkı**

Bir Perc güneş hücresinin yapımında tipik bir fotovoltaik güneş hücresinden çok farklı değildir. Her iki güneş enerjisi türü de gelen güneş ışınımını kullanan bir elektron akışı oluşturmak için silikon wafer kullanır ve hücre tiplerinin genel yapısı benzerdir. Perc hücreleri ve tipik monokristal fotovoltaik hücreler arasındaki temel fark, hücre verimliliğini artıran üç ana fayda sağlayan hücrelerin arka kısmındaki bir malzeme tabakası olan bir arka yüzey pasivasyon tabakasının bir araya getirilip bütün haline getirilmesi işlemidir. Bir perc güneş hücresindeki pasivasyon katmanının toplam verimliliği artırmasının üç yöntemi vardır.

Birinci yöntem hücre içinden ışığın geri yansımadır. Bir arka yüzey pasivasyon tabakası, silikon hücresinden tekrar silikona alınmadan geçen ve güneş hücresine ikinci bir emme girişi veren ışığı yansıtır. Işığın bu yansıması, daha fazla gelen güneş ışığının silikon hücresi tarafından absorbe edileceği ve böylece hücrenin daha verimli hale geleceği anlamına gelir.

İkinci yöntem azaltılmış elektron rekombinasyonu yöntemidir. Bir arka yüzey pasivasyon tabakasının eklenmesi, güneş hücresindeki “elektron rekombinasyonunu” azaltır. Basitçe söylemek gerekirse, elektron rekombinasyonu, elektronların solar hücre boyunca serbest hareketinde bir tıkanmaya neden olan rekombinasyon eğilimidir. Serbest elektron hareketinin bu inhibisyonu, optimal hücresinde, verimliliği artırmak için elektron rekombinasyonu azaltılır.

Üçüncü yöntem ise azaltılmış ısı emilimi ve belli ışık dalga boylarının yansımadır. Bir güneş hücresindeki silikon bir wafer, sadece 1180 nanometreye ( $\mu\text{m}$ ) kadar dalga boylarında ışığı emebilir ve daha yüksek dalga boylu ışık dalgaları silikondan geçer ve güneş panelinin metal arka levhası tarafından emilerek ısı oluşturur. Güneş hücreleri ısıtıldığında, daha düşük verimle çalışırlar. Perc güneş hücrelerindeki arka yüzey pasivasyon tabakası, 1180  $\mu\text{m}$ 'nin üzerindeki bir dalga boyuna sahip ışığı yansıtmak üzere özel olarak tasarlanmıştır, güneş hücresindeki ısı enerjisini azaltır ve sonuç olarak verimliliği artırır (Tahir ve diğ. 2018).

### **3.2.10.2 Perc Solar Hücre Üretimi**

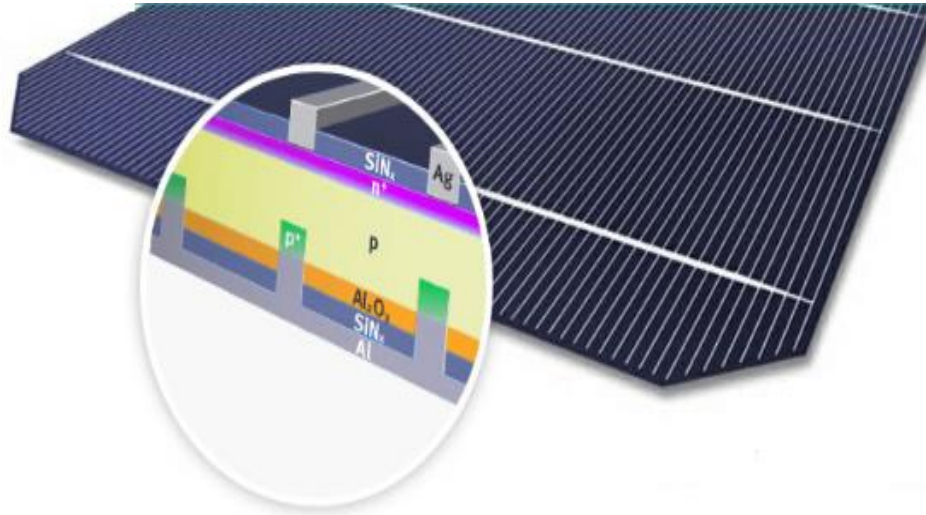
Perc hücrelerinin ayrıntılı üretim süreci, endüstriyel standart hücrelerinden biraz farklıdır. Fosfor (P) difüzyonundan önce, güneş hücresinin arka tarafında

$\text{SiN}_x$  gibi bir dielektrik koruma tabakası biriktirilir. Dielektrik katman, sıkı dokuya ve fosfor difüzyonuna karşı bir engel görevi görür. Bu nedenle, güneş hücresinin sadece ön tarafı dokulu fosfor katkıyla arka taraf düzlemsel ve bor katkılı kalıyor. Difüzyon aşamasından sonraki HF (Hidroflorik Asit) aşısı, öndeki fosfor silikat camına (PSG) ek olarak arkadaki dielektrik tabakayı çıkarmak için hafifçe ayarlanır. Daha sonra, biriktirilmiş bir  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tabakası çökeltir veya kuru bir termal oksidasyon gerçekleştirilir, hem arka yüzeyde hem de ön yüzeyde bir  $\text{SiO}_2$  tabakası ortaya çıkar. Bu  $\text{SiO}_2$  katmanı, ön yüzeyde takip eden biriktirilmiş bir  $\text{SiN}_x$  katmanı ile kapatılan tek  $\text{SiN}_x$  katmanından daha iyi pasivasyon performansı sağlayabilir.

Arka yüzeyde bulunan  $\text{SiN}_x$  kapatma tabakası birkaç rolde hizmet eder:

- (1) Hem  $\text{Al}_2\text{O}_3$  hem de arka pasivasyon tabakasının fırınlama işleminden sonra yüzey rekombinasyon hızını azaltır.
- (2) Ateşleme işlemi sırasında 10 nm'lik ince arka yüzey pasivasyon tabakasının Al yoğunluğundan dolayı oluşacak oyulmayı önler
- (3) Arka tarafın dâhili optik yansıtmasını iyileştirir.

Ön taraf daha sonra bir  $\text{SiN}_x$  tabakası ile kaplanır. Bununla birlikte,  $\text{SiO}_2$  pasivasyonlu Perc hücresi için,  $\text{SiN}_x$  kalınlığı hafifçe azaltılır ve perc hücresi sonlandırılır (Wang, 2014).



**Şekil 3.7:** Perc Cell Hücre Yapısı (Url-12, 2019)

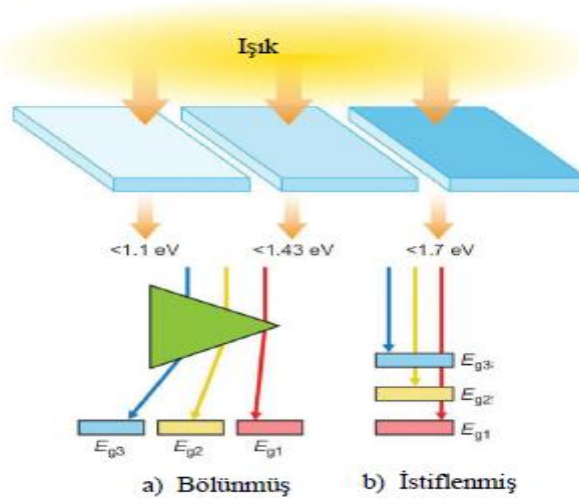
### 3.2.10.3 Perc Teknolojisinin Faydaları

Perc güneş hücrelerinden yaklaşık % 19,6-%20'ye varan yüksek verimler elde edilmektedir. Gölgeleme kaybı azaltıldığında, kısa devre akımı yoğunluğunun artmasına neden olur. Buda yüksek verimli güç elde etmemizi sağlamaktadır.

Perc teknolojisi ile inşa edilen paneller, daha fazla enerji yoğun güneş enerjisi kurulumları için izin verir. Bu, standart güneş panellerine göre daha az perc güneş paneli kullanarak aynı miktarda enerji üretebileceğiniz anlamına gelir. Sonuç olarak, kurulum için daha az güneş paneline gereksinim duyulduğunda maliyetler düşebilir. Ek olarak, ihtiyaç duyulan panel sayısı azalır, panelleri konumlandırmak için panel kurulacak alanda daha fazla esneklik elde edilir. Uygun tavan alanı sınırlıysa, perc güneş panelleri veya herhangi bir yüksek verimli panel ürününün kullanılması, güneş enerjisi tesisatını gerçekliğe ihtiyaç duyabileceğiniz güçte yapabilir. İhtiyaç olan güneş paneli sayısını azaltmak, güneş paneli kurulumunuz için sistem dengesi, maliyetleri düşürme avantajına sahiptir (Tahir ve diğ., 2016).

### 3.3 Çoklu Eklem Güneş Hücreleri

Kademeli ya da art arda dizilmiş tabakalı hücreler olarak adlandırılırlar. Her bir tabakanın yasak enerji aralığı farklıdır, böylelikle bu tabakalar güneş ışığı spektrumunu bölerek önemli bir bölümünü soğururlar. Şekil 3.8'de çoklu eklem güneş hücreleri gösterilmiştir (Aydın, 2013).

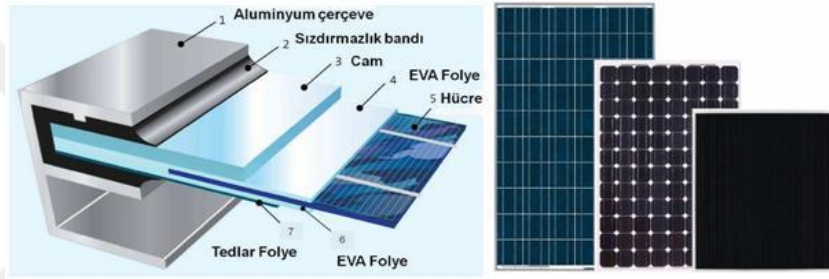


**Şekil 3.8:** Çoklu eklem güneş hücreleri a) Tabakalar üzerine özel ışın bölücü, b) elektriksel veya mekanik olarak istiflenmiş tabakalar (Aydın, 2013).

### 3.4 Güneş Hücresinin Elde Edilmesi ve Güneş Paneli Yapımı

Günümüzde üretilen güneş panellerinin çoğu dünyada 2.sırada bulunan ve aynı zamanda plaj kumunun temel bileşeni olan silisyum maddesinden yapılmaktadır.

1 güneş paneli yapmak için solar hücrelerden 48, 60 veya 72 adedi bir araya getirilir ve 2 tabaka EVA arasına yerleştirilir. Daha sonra, arka tarafına 1 tabaka katmanı yerleştirilir ve tüm gövdeyi solar hücrenin etrafından sıkı bir koruyucu olacak şekilde ısıtılır. Ardından, yapısal stabilite ve koruma amacıyla birbirine su geçirmez bir yapışkanla bağlanacak şekilde, ön yüzeye cam ve çevresinin etrafına alüminyum çerçeveler yerleştirilir. Son olarak güneş panelinin arkasına elektrik için bir “çık” terminali olarak sigorta kutusu yerleştirilir. (Alkan, 2016).



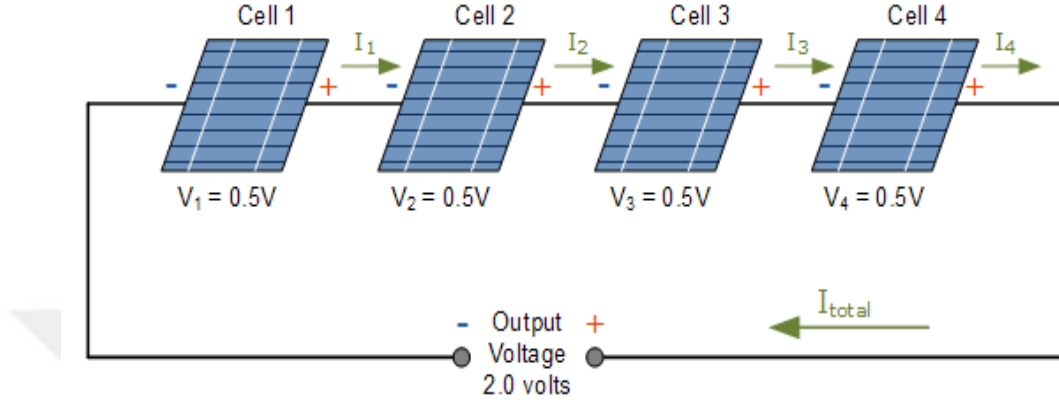
Şekil 3.9: Güneş Paneli Yapımı (Url-13, 2016)

### 3.5 Güneş Hücrelerinin Birleştirilmesi Ve Kapsüllenmesi

Güneş hücrelerinin voltajı üzerlerine düşen güneş ışınımına bağlı olarak 0.5 ile 0.7 V arasında değiştiği söylenebilir. Boyutu ne olursa olsun söz konusu gerilim değişmemektedir. Güneş hücrelerinin yüzey alanına bağlı olarak akımı yani amperi değişkenlik göstermektedir. Güneş hücreleri bir güneş paneli içerisinde genel olarak seri bağlanmaktadır. 18-21 V çıkışlı bir panel 36 hücrenin birbirlerine seri bağlanması ile oluşturulmaktadır. Seri bağlamakta amaç uygun çıkış voltajının yakalanması olup bu durumda akım sabit kalmaktadır (Ceylan, 2017).

Güneş hücrelerinin birbirlerine lehimlemek için “ribbon” telleri, birbirine bağlı hücrelerin kendi aralarındaki bağlantısında ise biraz daha kalın olan “busbar” telleri kullanılmaktadır. Ribbon tellerini hücre üzerine lehimlemek için yüksek sıcaklık gerekmektedir. Bu yüzden lehim tabancası ve lehimini kolaylaştırmak için çam reçineli “flux” tercih edilmelidir.

Şekil 3.10’da birbirine seri bağlı olan dört adet hücre görülmektedir. Hücrelerin her birinin 2 amper olduğunu varsayarak 0.5 V gerilim değerinden dört hücre için 2 volt gerilim ve 2 amper akım olacaktır. Böyle bir panel 4 W gücündedir ve çıkışı 2 voltluktur. Hücrelerin arka kısmı (+) ön kısmı (-) kutupludur (Ceylan, 2017).



**Şekil 3.10:** Seri Bağlı Güneş Hücreleri (Url-14, 2014)

Bu hücrelerin seri olarak birleştirilmeleri ile 12/24/36/48 volt çıkışlı güneş panelleri elde edilmektedir. Hücreler birleştirilirken arka kısımları diğer panelin ön kısmına gelecek şekilde ribbon telleri kullanılarak birleştirilir (Ceylan, 2017).

Hücrelerin arkasından çıkan (+) kutuplu ribbon telleri diğer hücrenin (-) kutuplu ön tarafı ile Şekil 3.10’da görüldüğü gibi lehimle birleştirilir. Lehimleme işleminde çam reçineli flux kullanılması durumunda lehim teline ihtiyaç duyulmaz. Lehimleme işlemi için yüksek sıcaklıkta ve güçte bir lehim tabancası kullanılması hatta tabanca ucunun pirinç başlıklı olması tavsiye edilir (Ceylan, 2017).

Şekil 3.10’da görüldüğü üzere lehimleme işleminin çift sıralı ve seri olarak yapılması durumunda artı ve eksi kutbunun arkasından diğer hücrenin eksi kutbu gelecek şekilde tüm hücreler birleştirilir. Nominal 12 V çıkış için şarj regülatörü kullanılacak ise 36 hücre yeterlidir. Hücreler büyüklüğüne bakılmaksızın 0.5 V gerilim sağlarlar. 36 hücreli bir panelden 18 V (0.5V x36 Hücre) gerilim elde edilir.

Birleştirmeleri biten hücrelere fabrikasyon üretimlerde ön ve arka kısımları önce EVA (etilen vilanül asetat) ile ve ardından cam ve sızdırmazlık bandı ile kaplama uygulanır(Şekil 3.9). Panellerin ön kısmı polikarbon levha ile kapatılmakta ve alüminyum çerçeve ile üretim işlemi bitirilmektedir. Bu işlemin ardından paneller, katmanların arasında oluşabilecek havayı absorbe eden sistem içerisinde

fırınlanır. Panellerin çatı ya da düzlem üzerinde birbirlerine bağlanması ile diziler oluşturulmaktadır (Ceylan, 2017).

### 3.6 Güneş Hücresinde Enerji Kayıpları

Görünür ışınım, elektromanyetik spektrumundaki ışınım değerleri, farklı dalga boyu aralığında olduğundan dolayı, farklı enerji düzeyleri elde edilir. Işınım, geniş enerji aralığındaki fotonlara sahip olan hücreye çarptığında, bazılarının bir elektron-boşluk çifti oluşturabilmek için, yeterli enerjiye sahip olmadıkları ortaya çıkar. Bununla birlikte, diğer fotonların hala çok fazla enerjisi vardır. Elektro volt (eV) olarak ölçülen ve hücre malzemesi tarafından tanımlanan (kristal silisyum için yaklaşık 1.12 eV) enerji, sadece belirli bir miktardaki serbest elektronu çarpmak için gereklidir. Bu özellik malzemenin bant aralık enerjisi olarak adlandırılır. Bir foton, gereken miktardan daha fazla enerjiye sahip ise ekstra enerjisi kaybolur. Bir foton, gerekli olan enerjiye iki kez sahip olmadıkça, birden fazla elektron-boşluk çifti oluşturabilir. Fakat bu etki çok önemli değildir. Sadece bu iki etki, hücrenin üzerinde ışınım enerjisinin %70 civarında kaybına neden olur (Öztürk, 2013).

PV hücre tasarımında, daha fazla foton kullanılmasına olanak sağlayan, düşük bant aralıklı bir malzeme tercih edilmez. Bant aralığı aynı zamanda elektrik alanı gücünü belirler. Bant aralığı çok düşükse, sonrasında ekstra akım yaratmak için sahip olunan düşük gerilimi de kaybeder. Burada; güç (P)=gerilim (V) x akım (I) ilişkisi geçerlidir (Öztürk, 2013).

Elektronlar, dış devre aracılığıyla hücrenin bir tarafından diğer tarafına akmak zorundadırlar. İyi bir iletken olan metal ile hücrenin alt kısmı kaplanabilir. Fakat üst kısmı tamamen kaplanırsa, sonrasında fotonlar opak iletken üzerinden atlayamazlar ve mevcut olan tüm devre kaybedilir. Bazı hücrelerde, üst yüzey üzerinde saydam iletkenler kullanılır. Kontaklar, sadece hücrenin kenarlarına yerleştirilirse, elektronlar kontaklara ulaşmak için çok uzun bir mesafe (bir elektron için) kat etmek zorunda kalırlar. Silisyumun iç direnci (seri direnç) oldukça yüksektir. Yüksek direnç, yüksek kayıp demektir. Bu kayıpları en aza indirmek için hücre, hücre yüzeyinin sadece küçük bir bölümünü kapsayan ve elektronların hareket edebileceği mesafeyi kısaltan bir metal kontak ızgara ile kaplıdır. Bununla

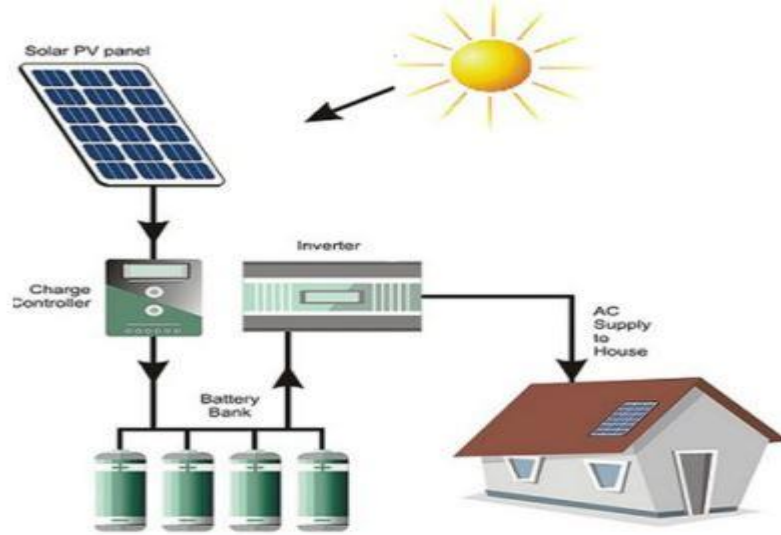
birlikte, bazı fotonlar çok küçük olmayan veya kendi direnci yüksek olan şebeke tarafından engellenir (Öztürk, 2013).

### 3.7 Fotovoltaik Sistem Tasarımında On-Grid Ve Off-Grid Sistem

Fotovoltaik (PV) sistemin seçimi ve uygun olarak yerleştirilmesi; güvenilirliğini, kullanım süresini ve yatırım maliyetini doğrudan etkiler. PV sistemler tasarım/yerleşimlerine bağlı olarak 2 grupta incelenebilir:

1. Bağımsız (Off-Grid) sistemler: Sadece PV teknolojisinden yararlanır. Şebekeye bağlı değildir.
2. Şebekeye bağlı (On-Grid) sistemler: Bu sistemler şebeke elektriğine bağlı olarak tasarlanır.

Güneş hücresi sistemleri, şebekeden bağımsız ve şebeke bağlantılı olabilirler. (Şekil 3.11). Şebekeden bağımsız sistemlerde, belirli bir birimin elektrik gereksinimini sağlayan güneş hücresi veya PV modüller kullanılır. Güneş hücresi modüllerinden üretilen DC elektrik akımı ile tüketici beslenir. Sistemde akü ünitesi bulunur. Akımla beslenen özel bir makine/tesis olabileceği gibi, bir yapı da olabilmektedir (Öztürk, 2013).



b) OFF-GRID (Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Sistem) (Url-15)

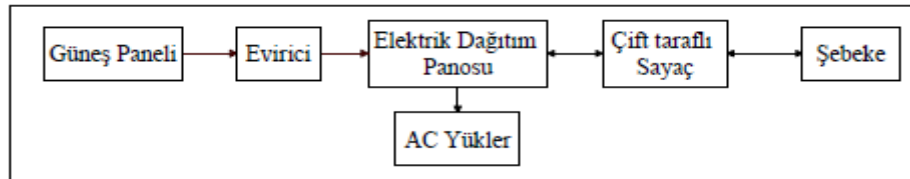


b) ON-GRİD (Şebekeye Bağımlı Fotovoltaik Sistem) (Url-16)

Şekil 3.11: a) OFF GRID Sistem b) ON GRID Sistem

### 3.7.1 Şebekeye Bağlı (On-Grid) Fotovoltaik Sistemler

Şebeke bağlantılı PV sistemler, mevcut elektrik şebekesinden faydalanan en yaygın tiplerdir. Tasarımları basit ve şebeke sistemlerine sığdırmak daha kolaydır. Gün boyunca üretilen elektrik mülk sahibi tarafından kullanılır veya elektrik bir elektrik şebekesine geri yöneltilir (Şekil 3.12). Geceleri panellerin yeterli güç üretemediği dönemlerde, elektrik şebekeden sağlanır (Öztürk, 2013).



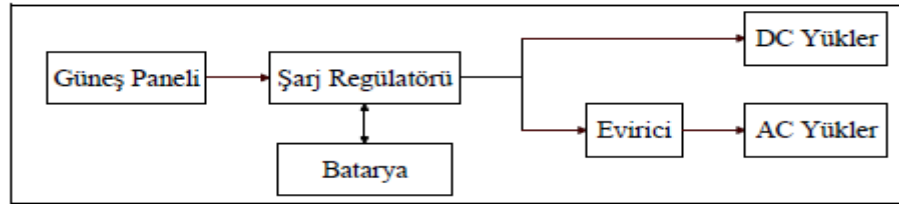
Şekil 3.12: Şebekeye Bağlı (On-Grid) PV Sistem Şematik Gösterimi (Alkan, 2016).

Şebekeden alınan ve verilen elektrik çift taraflı sayaç ile belirlenir. PV sistemde doğabilecek arızaların şebekenin diğer abonelerini etkilememesi için gerilim/frekans değerlerinin bozulması durumunda, sistemi izole eden emniyet ve kontrol cihazları gereklidir. Şebekeye bağlı PV sistemlerin en gelişmiş PV elektrik santralleridir (Öztürk, 2013).

### 3.7.2 Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Sistemler

Ülkemizde, güneş ısı uygulamaları artmasına karşın, güneş hücresi (PV) sistemleri ile elektrik üretimi konusunda ancak son yıllarda önemli gelişmeler sağlanmıştır. Bu durumun en önemli nedeni, PV sistemlerin ileri teknoloji gerektirmesi ve maliyetlerinin yüksek olmasıdır (Öztürk, 2013).

Bu tip PV sistemler, çok daha az yaygın olan, şebekeden bağımsız olarak güç depolayan ve üreten “bağımsız” veya “kapalı şebeke”lerdir. Bu sistemler, en yakın güç hatlarından daha uzak alanlarda olan, özellikle uzak yerler için uygundur. Genellikle, kapalı şebeke bir PV sisteminin kurulumu, güç hatlarını genişletmekten daha uygun maliyetle tasarlanabilir. PV paneller tarafından üretilen elektrik, DC olarak tekrar doldurulabilen akülerde depolanır. Diğer taraftan, birçok ev aletlerinin çalışabilmesi için aküde olan depolanmış DC özellikteki elektriği, AC akıma dönüştürmek bir dönüştürücü gereklidir. Tekrar doldurulabilen bu aküler, tek kullanımlık akülerde bulunmayan, özel parçalar ve kimyasal maddeler içerirler. Bu nedenle, satın alma ve koruma maliyetleri daha yüksektir (Öztürk, 2013).



Şekil 3.13: Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) Sistem Şematik Gösterimi (Alkan, 2016)

### 3.8 Fotovoltaik Sistemlerde Kullanılan Akümülatörler

PV sistemlerde genellikle, gerilim değeri 12 V,(100-200A) olan ve genellikle deep cycle ve jel akümülatörler kullanır. Daha pahalı, yeniden doldurulabilir nikel kadmiyum akümülatörler, çoğu kez yeniden doldurulabilirler. Nikel kadmiyum akümülatörler, çoğu kez yeniden şarj edilebilir lambalar gibi küçük uygulamalarda kullanılır.

Standart oto akümülatörleri (aküleri), çok sık kullanılmaktadır. Oto akülerinin dezavantajı, PV ışınımından elektrik üreten PV sistemlerde kullanılmalarına uygun olarak tasarlanmamış olmalarıdır. Bu aküler, bir araçta normal kullanımda marşa basıldığı zaman akü az miktarda elektrik akımı boşaltır

ve motor çalıştıktan sonra akünün dolumu hızlı bir şekilde boşalmaya maruz kalırsa, onun ömrü büyük ölçüde azalır. Düzenli boşalma oranının %75 olması durumunda ömür yaklaşık 1/5 olup, periyodik boşalma olduğu zaman %10'dur.

Güneş aküleri, oto akülerinden daha fazla miktarda bir asit çözeltisini bir arada bulundurur ve ayrıca daha fazla miktarda aktif madde içerirler. Bu özellik güneş akülerinin normal PV uygulamalarının dolma ve boşalma devrelerinde daha dayanıklı olmalarını sağlar. Eğer, bu aküler yavaş yavaş boşaltılırsa, önemli miktarda ekstra kapasite yaratırlar.

PV sistemlerde, yeterli sayıda güneş hücresi modülü enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda veya özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör grubu bulundurulur. Güneş hücresi modülleri, gün boyunca elektrik üretirler, üretilen elektrik akümülatör grubunda depolanır. Gerekli olan elektrik, akümülatörden alınır.

Gündüz sürelerinde, PV modüller tarafından üretilen elektriğin, gece/gündüz kesintisiz olarak kullanılabilmesi için uygun akü grubunun belirlenmesi gerekir. Aküler, seri veya paralel bağlanarak 12-24-48 veya 120 V gerilimde çalışabilirler (Öztürk, 2013).

Şebekeden bağımsız PV sistemlerde akümülatör, üretilen elektriğin depolanmasını ve sonradan kullanılmasını sağlayan ünedir. PV sistemler için, kurşun oksit (PbO) kuru akülerde tercih edilebilir. Islak akülerin maliyeti düşük olmasına karşın, bakım gereksinimleri fazladır. PV sistemler için uzun ömürlü akülerin kullanılması daha uygundur. Uzun ömürlü akülerde, kurşun plakalar daha kalın, fakat yüzeyleri daha küçüktür. Bu özellik yüksek akım üretmesini engeller. Bu tip aküler, %80 verimle yükleme ve boşaltma yapabilirler. Uzun ömürlü aküler, sistemin çektiği akımı uzun süre verebilir.

Akünün yükleme ve boşalma hızları, çekilen veya gönderilen akım miktarına ve ortam sıcaklığına bağlı olarak değişir. Aküdeki kimyasal tepkimelerin hızı, soğuk havalarda düşer, sıcak havalarda ise yükselir. Akülerin çalışması için en uygun sıcaklık aralığı 16-26 °C'dir. Bu aralığın dışındaki yüksek ve düşük sıcaklıklar akü ömrünü önemli düzeyde azaltır. Ortam sıcaklığı akünün çalışma verimini de etkiler. Ortam sıcaklığı azaldıkça, akü verimi de azalır (Öztürk, 2013).

### 3.8.1 Fotovoltaik Sistem İçin Jel Tipi Ve Deep-Cycle Akümülatör

Yeni kuşak jel tipi aküler; güneş rüzgar ve hibrit sistemler için uygun özelliklere sahip akülerdir. Bu tip akülere, saf su veya elektrolit ekleme gerekli değildir. Uzun ömürlü ve dolma/boşalma kinetik çok verimlidir. Farklı konumlarda kullanılabilen bu tür aküler, aynı zamanda yüksek verim gerektiren uygulamalar için ideal çözümlerdir. Sıcaklığın  $-20^{\circ}\text{C}$  ile  $60^{\circ}\text{C}$  aralığında olması durumunda, sorunsuz bir şekilde çalışan bu aküler, aynı zamanda çok düşük kendiliğinde boşalma özelliği sayesinde ilgi çekmektedirler. Konutlar ve endüstriyel tesislerde güvenli ve sorunsuz olarak kullanılabilir.

Akü seçimi yapılırken, kurulacak olan sisteme yönelik olmalıdır. Örneğin, bahçe ve sokak aydınlatması için kullanılan güneş enerjili lambalarda jel akü seçilmelidir. Çünkü asit bazlı akülere 4-6 ayda bir bakım yapmak (saf su ilavesi) gerektiği için, uygun bir seçim olmayacaktır. Tek başına güneş paneli uygulaması varsa ve bakım yapılabilecekse sıvı kurşun asit aküler kullanılabilir (Öztürk, 2013).



Şekil 3.14: Jel Tipi Akü (Url-18, 2013)

Deep-Cycle (derin döngülü akü), sürekli olarak doldur-boşalt (charge-discharge) yapılabilen aküdür. Yapısı itibarıyla kullanıma uygun olduğundan her gün şarj ve deşarj altında çalışırlar. Bu akülerde bulunması gereken bazı önemli özellikler; plakların ızgaraları daha kalın ve sağlam olmasıdır. Izgara figürleri homojen, bağlantı köprüleri sürekli akım geçişine uygun kalınlıkta olması, plakların fiziksel ve kimyasal yapısı dökülmeye (shedding) karşı dayanıklı olmalıdır. Sulu derin döngülü akülerde omurga genişlikleri plak şişmelerine karşı yeterli derinlikte olmalıdır. Aksi halde elektrolit sirkülasyonu sağlıklı bir şekilde oluşmaz.

Günümüzde yanlış bilinen konu, yalnız jel akülerin derin döngülü olabildiği düşüncesidir. Sulu ve AGM (kuru akü) derin döngülü olabildiği gibi her jel akü de derin döngülü değildir. Gerçek derin döngülü AGM aküleri, derin döngülü jel akülerle aynı performansı verebilmektedir. Ancak her AGM akü derin döngülü

değildir. Bu noktada imalatçının kullandığı teknoloji ve güvenilirliği çok önemlidir. Sulu derin döngülü aküler bazı bakımlardan bakımsız akülere göre daha dayanıklıdır. Örneğin aşırı şarja karşı mukavemeti daha yüksektir.



Şekil 3.15: Deep-Cycle Akü (Url-17, 2018)

### 3.8.2 Fotovoltaik Sistem Akümülatörlerinin Bakımı

Akülerin bakım işlemleri, çok güç değildir. Fakat bakım mutlaka yapılmalıdır. Akü, mutlaka damıtık (saf) su ile dolu tutulmalıdır. Saflığı bozan maddeler, aküye zarar verebilir. Gelişmekte olan dünyanın uzak kırsal alanlarında damıtık/saf su bulma güçlüğü küçümsenmemelidir.

Nem oranı düşük olan sıcak alanlarda kurulan PV tesisatlarında, akü bakımı özel önem taşır. Akünün kutup başları temiz tutulmalıdır. Sıcaklığın 30°C’den daha yüksek olması durumunda, akünün ömrü ve veriminin önemli ölçüde düşmesi nedeniyle, akü her zaman serin ve çok iyi havalandırılmış bir yere yerleştirilmelidir (Öztürk, 2013).

Akü şişmesinin nedeni, aküler aşırı şarj edildiği zaman veya çok sıcak ortamda (25 °C’nin üzeri) çalıştığı zaman akünün içerisinde aşırı reaksiyon meydana gelmesinden kaynaklanır. Bu durum iç basıncı aşırı derecede yükseltir ve sonunda deformasyon(kutu ve kapak kısmında şişmeler) meydana gelir. Ve akü içerisinde bulunan kimyasalların yol açtığı aşınmalardan korunmamız gerekmektedir.

### 3.8.3 Fotovoltaik Sistem Akümülatörlerinin Ömrü

Akülerin ömürleri büyük ölçüde bakım durumlarına bağlı olarak değişir. Bir sistem için tasarlanan ve çok iyi bakılan bir durumda, bir oto aküsü 4-5 yıl dayanabilir. Bakım işlemlerinin özenli bir şekilde yapılması ve boşalma seviyeleri yaklaşık %15’i geçirilmemesi durumunda, güneş aküleri için 8-10 yıllık bir

dayanma ömrü beklentisi gerçekleşebilir. Fakat gelişmekte olan dünyada, normal çalışma koşullarında yaklaşık beş yıllık bir ortalama ömür daha gerçekçidir (Öztürk, 2013).

Akülerin, PV sistem içerisinde kullanım ömrü, sistemin ne kadar iyi tasarlandığı ile doğru orantılıdır. Tasarım sırasında, sistemin kullanılacağı yerin, yük profiline, güneş enerjisi tahmininin kalitesi ilk olarak düşünülmesi gereken önemli etmenlerdir.

### 3.9 MPPT Kontrol Cihazı

Maksimum güç noktası izleyicisi (MPPT), kurulacak PV gücüne bağlı olarak, bir PV dizi tarafından üretilen elektriksel gücü, optimum elektrik yükü olarak, tasarımı yapılan sistemin çalışmasına uygun olan akım veya gerilim seviyesine çevirir. PV kontrol denetiminde gerilim belirli bir seviyeye yükseldiğinde, sadece akü gerilimini izler ve akımı açar depolamayı durdurur.

MPPT, temelde aşırı gerilimi, akıma dönüştürebilme yeteneğine sahiptir. Bu özellik, farklı alanda bazı üstünlükler sağlar. Çoğu güneş enerjisi sisteminde, gerilimi 12V-24V mppt cihazı kullanılır. PV hücreleri doldurmak için gerekli olandan çok daha fazla gerilim iletebilir. Hücreleri doldurmak için gerekli süre azalırken dolum gerilimi optimal düzeyde tutulabilir. Bu özellik PV sistemin her zaman etkin olarak çalışmasına olanak sağlar (Öztürk, 2013).



Şekil 3.16: Mppt Solar Şarj Kontrol Cihazı (Url-19, 2018)

## 4. FULL CELL (TAM HÜCRE) VE HALF CUT CELL (YARI KESİK HÜCRE) İÇİN YÖNTEM VE MODELLENMESİ

### 4.1 Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) Model Tanımlaması

Half cut cell (yarı kesik hücre), fabrikasal olarak silikon wafer tabanlı bir hücrenin tam olarak ortadan kesilmesiyle, birbirleri arasında bağlantı yapılması sonucu PV modül haline getirilmesidir.

Hücreler, bir lazer kesici tarafından yarıya bölünmesiyle, parametreleri kesik hücrelerin kalitesi ve yarım hücre bazlı modüllerin performansı ile güçlü bir şekilde ilişkilidir (Zhang ve diğ., 2017).

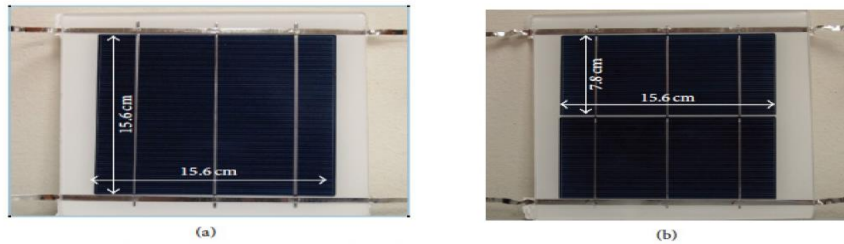
Kesilme işleminde önemli konulardan biri hücrenin horizontal ya da vertical olarak kesilmesidir. Bara sayısının hücrede çok önemli bir yeri olduğu için, baralara dik bir şekilde horizontal olarak kesilmesi, bara sayısını etkilemeyeceği için bu şekilde kesimin yapılması uygundur. Bundan sonra, yarıya bölünmüş hücreler bağlanır ve bir PV modülüne paketlenir.

Full cell (tam hücre) fabrikasal üretiminde genellikle şu fiziksel özelliklere sahiptir;

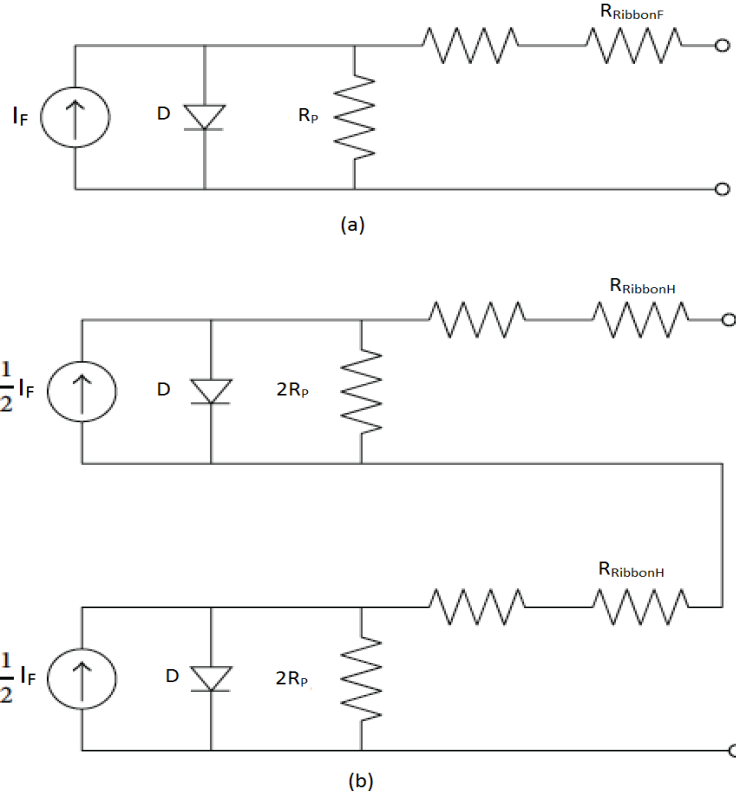
**Tablo 4.1:** Longi Solar Full Cell (Tam Hücre) Verileri [EK L]

| <i>Full Cell Parametre (STC)</i> | <i>Değer</i>                         |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Boyut</b>                     | 156x156 (mm <sup>2</sup> )           |
| <b>Kalınlık</b>                  | 200 $\mu\text{m} \pm 20 \mu\text{m}$ |

Full cell (tam hücre), lazer yardımıyla tam yarıya kesilmesiyle half cut cell (yarı kesik hücre) boyutu, 78x156 (mm<sup>2</sup>) olacaktır.

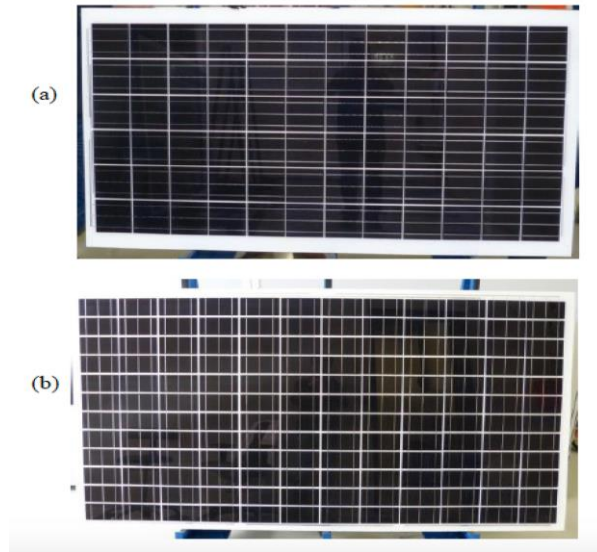


**Şekil 4.1:** (a) Bir Tam Güneş Hücresi (b) Seri Bağlanmış İki Yarı Kesik Güneş Hücresi (Guo ve diğ., 2013).



**Şekil 4.2:** (a) Tam Bir Hücreden Oluşan Hücre Modeli (b) Seri Bağlı İki Yarı Kesik Hücreden Oluşan Hücre Modeli (Guo ve diğ., 2013).

Şekil 4.2’de (a-b)’de full cell (tam hücre) ve birbirine seri bağlı iki half cut cell (yarı kesik) için devre modelleri verilmiştir (Guo ve diğ., 2013).



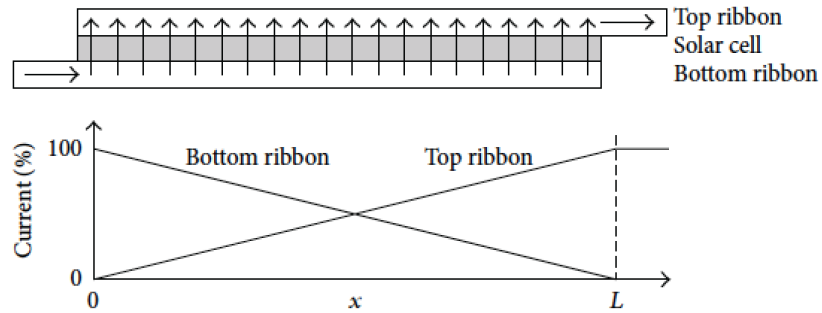
**Şekil 4.3:** (a) 72 Tam Hücreli Referans Modülü (b) 144 Yarı Kesik Hücreli Modül (Hanifi, 2015).

#### 4.1.1 Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) Avantajları

PV elektriğinin maliyeti son on yılda oldukça fazla azalmıştır ve bu da PV endüstrisinin rekabetçiliğini arttırmaktadır. PV elektriğinin maliyetini daha da azaltmak için, güneş hücresi ve modül verimi daha da artırılmalı ve üretim maliyeti düşürülmelidir.

PV modüllerinde yarıya bölünmüş hücrelerin kullanılması, dirençsel güç kaybını azaltmak için etkili bir yöntemdir. Burada hücre dizilerindeki net akım seviyesi ( $I_{net}$ ) düşmesi nedeniyle, hücreden modüle direnç kaybını azaltmanın önemli bir yolu olarak önerilmiştir.

Lazer tipi, kesim hücrelerinin kalitesi ve yarım hücre bazlı modüllerin performansı, birbirleri arasında güçlü bir şekilde ilişkilidir. Modül kapsülleme için yarıya kesilmiş hücreler kullanılarak ekstra güç kazanımı elde edilebilir. Kesilmiş hücre modülleri için hücre direnç kaybının aynı kaldığı ve güç kaybındaki azalmanın, şerit (ribbon) direnç kaybının azalmasından kaynaklandığı görülmektedir (Zhanf ve diğ., 2017).



**Şekil 4.4:** Güneş Hücresinin Her 2 Tarafında Bulunan Ribbon-Akım (I) Bağlantısı (Guo ve diğ., 2013).

Şekil 4.4’de L, ribbonun uzunluğu (mm), x ise ribbon boyundaki geçerli konumu olarak tanımlanmaktadır.

Yarıya bölünmüş hücre modülü için, şerit (ribbon) direncinin güç kaybına katkısı, güç kaybının azalması olacaktır. Bununla birlikte, güç kaybının azaltılmasının yararı hücrenin kesilme sayısı büyüdükçe azalır (Hanifi, 2016).

Düşük direnç kaybından dolayı, doldurma faktörü (FF) ve sonuç olarak, yarıya bölünmüş hücre modülünün çıkış gücü (W), tam boyutlu hücre

modülünkünden daha yüksek olmaktadır. Parametrelerle açıklanan hücre için simülasyon sonuçları, modülün FF (Dolgu Faktörü)'nde değişiklik gösterir. Bu sonuçlar, tam boyutlu hücreler yerine yarıya bölünmüş hücrelerin kullanılmasının modül performansını önemli ölçüde artırabileceğini göstermektedir (Guo ve diğ., 2013).

#### **4.1.2 Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) Dezavantajları**

Hücre-modül kayıpları her silikon wafer tabanlı PV modülü üreticisi için bir endişe kaynağıdır. Güneş hücreleri bir modüle aktarıldığında, hücre bağlantısından kaynaklanan seri direnç ve kapsüllemenin neden olduğu optik kayıplar, genellikle hücreden modüle güç oranı olarak değerlendirilen modül çıkış gücüne ek kayıplar getirebilir (Zhang ve diğ., 2017).

Hücre-modül kaybı, esas olarak iki grupta sınıflandırılabilir: optik kayıp ve dirençsel kayıp.

Optik kayıplarda hücrelerin daha fazla parçaya kesilmesi daha fazla sorun yaratabilir. Örneğin; uyumsuzluk etkisi ve hücreler arasındaki ek boşluklar hücrelerin birbirine bağlantısında sorunlar yaşatması büyük ihtimaller arasında mevcuttur. Yarıya bölünmüş hücrelerin ilavesi ile yanlış eşleşme kayıpları ortaya çıkabilir. Bu, teorik tahmin ve ölçüm sonuçları arasındaki farkın olası bir başka nedeni olabilir.

Modül kapsülleme sürecinde ise artan yansıtma kaybı, kapak camı ve ön kapsülleme tabakasındaki emilim kaybı sorunları yaşanılabilir. Ayrıca yarım hücre modülleri için ek bir lazer kesim adımı gerekir, bu da ek maliyet getirir.

Hücrelerin kısa devre akım yoğunluğundaki artışla dirençsel kayıpların arttığı bilinen bir gerçektir. Günümüzde bazı yüksek verimli güneş hücreleri için kısa devre akımı değişken yüksek değerlere sahiptir. Bu yüksek verimli güneş hücreleri için, şerit üzerindeki direnç kaybı nedeniyle hücreden modüle kayıp artmaktadır. Direnç kaybı, esas olarak hücre ve ara bağlantı şeridi arasındaki temas direncinden, kaynak şeridinin direncinden, vb. kaynaklanmaktadır. Kısacası ribbondan kaynaklanan dirençsel kayıplardır. Bir olası sebep ise paralelleme direncinde bir azalma olabilir.

Lazer kesim işleminde ise hücrenin kesimden sonra iyi kalitede olması için hiçbir mikro çatlak veya akım kaçağına sebep olmaması gerekir (Zhang ve diğ., 2017).

Bir diğer önemli konu ise hücreyi yarıdan fazla sayıya böldüğümüzde direnç kaybın artması sonucu modülden elde edeceğimiz gücün artacağı düşünülse de, bu işlem dezavantaj olarak görülmektedir. Bunun sebebi hücre alanının azalmasından ve güneş ışınımının ve çıkış gücünün hücre alanıyla orantılı olmasından dolayıdır. Bununla birlikte kesilmiş hücre sayısı fazla olacağından dolayı hücreleri birbirine bağlayan şerit (ribbon) maliyeti de artmakta ve hücreler arası yanlış eşleşme sorunları oluşacaktır.

Ribbon direnci için

$$R_{\text{ribbon}} = \left( \frac{\left( 2 \cdot \left( \frac{1}{A} \right) \cdot L_{bb} \right)}{(3 \cdot N_{bb})} \right) \quad (4.1)$$

modellemesi kullanılır. Burada;

$l$  = Her Uzunluk Başına Ribbon Direnci ( $\Omega \cdot m$ )

$A$  = Ribbon Alanı ( $mm^2$ )

$L_{bb}$  = Hücredeki Bara Uzunluğu (mm)

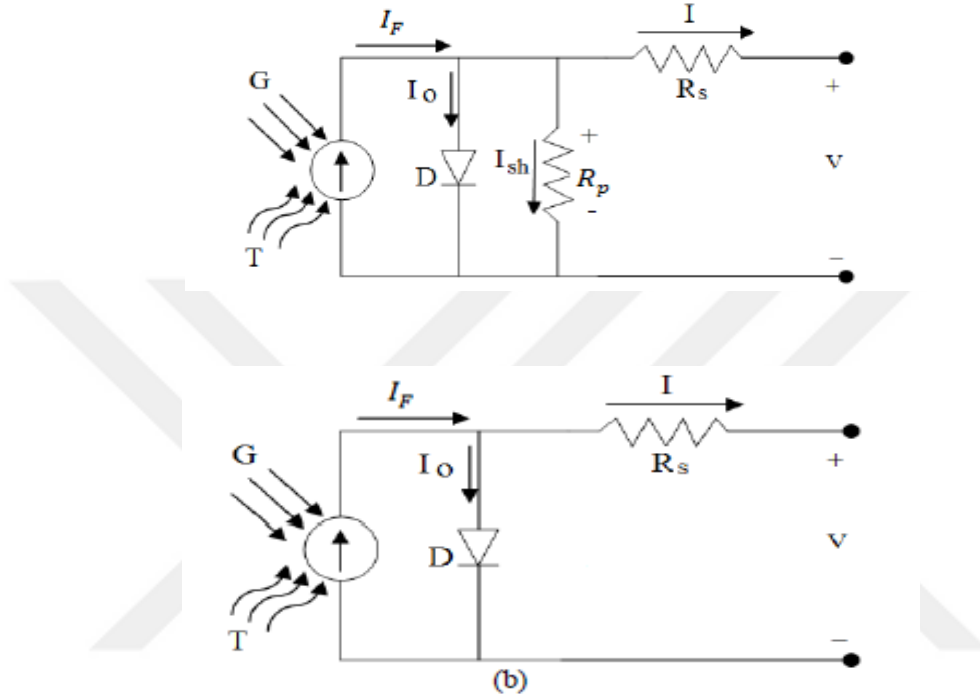
$N_{bb}$  = Hücredeki Bara Sayısı olarak tanımlanır.

#### 4.2 Güneş Hücrelerinin Matematiksel Modeli

Güneş hücreleri p-n ekleminden oluşan ve p-n eklemi ışığa maruz kalan bir yarıiletken devre elemanıdır. Güneş hücresinin bütün karakteristiklerini ortaya koyan bir matematiksel model oldukça önemlidir.

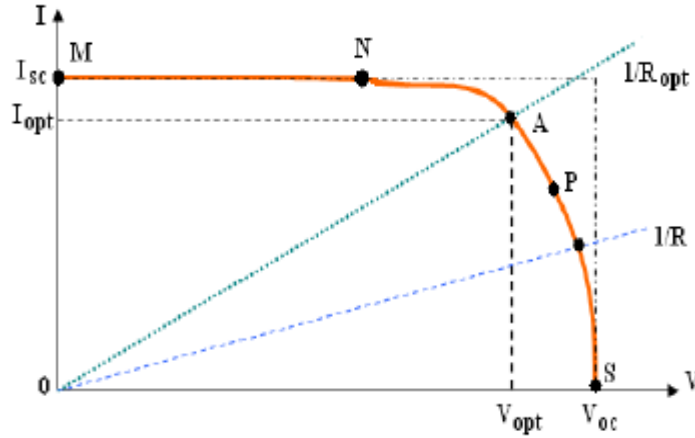
Güneş hücrelerinin akım gerilim karakteristiğini matematiksel olarak modellenerek ve elektriksel davranışlarını yansıtacak farklı güneş hücresi modelleri geliştirmekle birlikte, simülasyon çalışmalarında elektriksel eşdeğer devresi sıklıkla kullanılan uygun bir yöntemdir. Güneş hücresinin modellenmesi için birden çok güneş hücresi modeli mevcuttur. Ancak en sık kullanılan model tek diyot elektriksel eşdeğer devre modelidir.

Güneş hücresinin eşdeğer devre modeli bir akım kaynağı ve buna bağlı paralel bir diyottan oluşmaktadır. Burada seri direnç ( $R_s$ ) akım akışından kaynaklanan güneş hücresinin iç kayıplarını ifade etmektedir ve maksimum güç üretimi için küçük olması istenir. Diyota paralel bağlı ( $R_p$ ) direnç ise, paralel direnci temsil eder. Güneş hücresinin eşdeğer devre modeli Şekil 4.5(a)'da, basitleştirilmiş eşdeğer devre modeli ise Şekil 4.5(b)'de verilmiştir.



**Şekil 4.5:** (a) Güneş Hücresi Eşdeğer Devre Modeli (b) Basitleştirilmiş Eşdeğer Devre Modeli (Şahin ve Okumuş, 2013).

Güneş hücresinin I-V karakteristiği için, sabit sıcaklık ( $T$ ) ve belirli bir ışık şiddetinde ( $G$ ) Şekil 4.6'daki gibi grafik eğrisi oluşmaktadır. Yük karakteristiği doğrusal olarak  $I/V=I/R$ 'nin eğimi olarak bulunabilir. Yüke aktarılan gücün sadece dirence bağlı olduğu söylenebilir. Buna bağlı olarak  $R$  yükü çok küçük bir değerde ise güneş hücresi Şekil 4.6'daki M-N aralığında bir akım kaynağı olarak kısa devre akımına yakın bir akım değerinde olacaktır. Eğer  $R$  yükü oldukça büyük değerde ise, güneş hücresi eğrinin P-S aralığında sabit bir gerilim kaynağı olarak açık devre gerilimine yakın bir gerilim değerinde çalışacaktır.



**Şekil 4.6:** Güneş Hücresinin Tipik Akım-Gerilim (I-V) (Şahin ve Okumuş, 2013)

Yüke aktarılan gücün maksimum olduğu noktaya maksimum güç noktası denir ve bu nokta Şekil 4.6’da A ( $I_{opt}$ ,  $V_{opt}$ ) veya A ( $I_{Max}$ ,  $V_{Max}$ ) noktası olarak adlandırılır. Bu nokta için yükün aldığı uygun değer  $R_{opt}$  veya  $R_{Max}$  olarak söylenebilir. Maksimum güç  $P_{max}$  ise Eşitlik 4.2’deki gibi yazılabilir (Şahin ve Okumuş, 2013).

$$P_{max} = V_{max} \cdot I_{max} \quad (4.2)$$

Maksimum gücün ( $P_{max}$ ), kısa devre akımı ( $I_{sc}$ ) ile açık devre gerilimi ( $V_{oc}$ )’nin çarpımına bölümünden elde edilen ve Eşitlik 4.3’te gösterilen doldurma faktörüdür. Bu değer üretilen güneş hücreleri için hesaplanabilir ve ideal bir güneş hücresi için yaklaşık olarak 0,7 değerinden büyük olması istenir (Şahin ve Okumuş 2013).

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} = \frac{V_{opt} \cdot I_{opt}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (4.3)$$

Güneş hücresinin akımının hücresel çalışma sıcaklığı ( $T$ ) ve güneş ışığı soğrulması ( $G$ )’ye bağlı ifadesi Eşitlik 4.4’deki gibi gösterilebilir. Burada  $G$ , güneş ışığı enerjisi soğrulma miktarı olup ışık şiddetine göre değişmektedir.  $K_I$  ise kısa devre akımına bağlı sıcaklık katsayısıdır. Burada bir diğer parametre de rüzgâr hızıdır ancak literatürde genel olarak 1-3m/s aralığında verilmiş olup genellikle modellemelerde ihmal edilir (Şahin ve Okumuş, 2013).

$$I_F = [I_{sc} + K_I(T - T_{ref})] \cdot G \quad (4.4)$$

Eşdeğer devre modelinde seri hücre sayıları  $N_s$ , paralel hücre sayıları ise  $N_p$  olarak alınıp modüler eşdeğer devre modeli oluşturulabilir. Ohm kanunu eşdeğer

direnç kavramına göre seri hücre sayısı arttıkça hücre gerilimi artarken paralel hücre sayısı arttıkça hücrenin akımı artmaktadır (Şahin ve Okumuş, 2013).

#### 4.3 Tek Diyot İçin $R_s$ Modeli

Gerçekte silikon ve elektrot yüzeyi arasındaki kontak direncinden dolayı oluşan kayıplar nedeniyle silikon ya da hücrenin ana malzeme direnci ve elektrot direncinin dikkate alınması önem kazanır. Bu kayıplar ideal diyot modeline seri bir direnç ( $R_s$ ) bağlanarak gösterilir. Tek diyot için  $R_s$  modeli bir akım kaynağı, bir diyot ve bir dirençten meydana gelir (Toprak ve diğ., 2016).

$I_F$  ışıqla üreyen akım (fotovoltaik akım),  $I_d$  diyot akımı,  $R_s$  seri direnç,  $R_p$  paralel (şönt) direnç,  $I_0$  satürasyon (karanlık doyma) akımı ve  $n$  diyot idealite veya kalite faktöründen oluşan tek-diyot eşdeğer devresi gösterilmektedir. Böyle bir devreden geçen akımı tespit edilebilmesi için bu önemli parametrenin bilinmesi gerekmektedir (Abdulazez, 2011).

Kirchhoff'un akım kuralına göre seçilen herhangi bir noktada devreden geçen akım için;  $I_F$  fotovoltaik akım,  $I_{sh}$  kaçak akım olmak üzere devreden geçen akım için (Abdulazez, 2011).

$$I = I_F - I_d - I_{sh} \quad (4.5)$$

$$I_{sh} = \frac{V}{R_p} = \frac{V + I R_s}{R_p} \quad (4.6)$$

yazılabilir.  $I_d$  diyot akımı ve  $I_{sh}$  paralel direnç üzerinden geçen kaçak akım Eş. 4.7'de yerine koyarak akım-gerilim arasındaki ilişki (Abdulazez, 2011)

$$I = I_F - I_0 \left[ \exp \left( q \frac{V + I R_s}{n k T} \right) - 1 \right] - \frac{V + I R_s}{R_p} \quad (4.7)$$

ile ifadesi elde edilir.  $I_{sh}$  değeri çok küçük olduğundan ihmal edilebilir. Çıkış akımı Eş. 4.8 ile ifade edilmektedir (Abdulazez, 2011).

$$I = I_F - I_0 \left[ \exp \left( q \frac{V + I R_s}{n k T} \right) - 1 \right] \quad (4.8)$$

$R_s$  seri direnci temelde  $p$  yarı iletken tabaka ile metal tabakanın temasıyla oluşan eklem direncine göre değişir.

Dört parametre modeli olarak da adlandırılan bu modeldeki bilinmeyen parametreler fotoakım ( $I_F$ ), satürasyon akım ( $I_0$ ), seri direnç ( $R_s$ ) ve diyot idealite (kalite) katsayısı ( $n$ ) olarak tanımlanmaktadır (Toprak ve diğ., 2016).

Shockley eşdeğer formülüne göre diyot akımı (Toprak ve diğ., 2016);

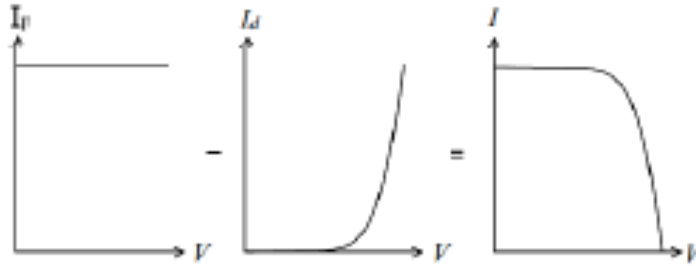
$$I_d = I_o \left( \exp \left( \frac{qV}{nkT} \right) - 1 \right) \quad (4.9)$$

Eşitlik 4.9'da  $V$  hücre gerilimi (V),  $q$  elektron yükü ( $1,60 \times 10^{-19} \text{C}$ ),  $k$  Boltzmann sabiti ( $1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ) ve  $T$  p-n eklem sıcaklığıdır (K).

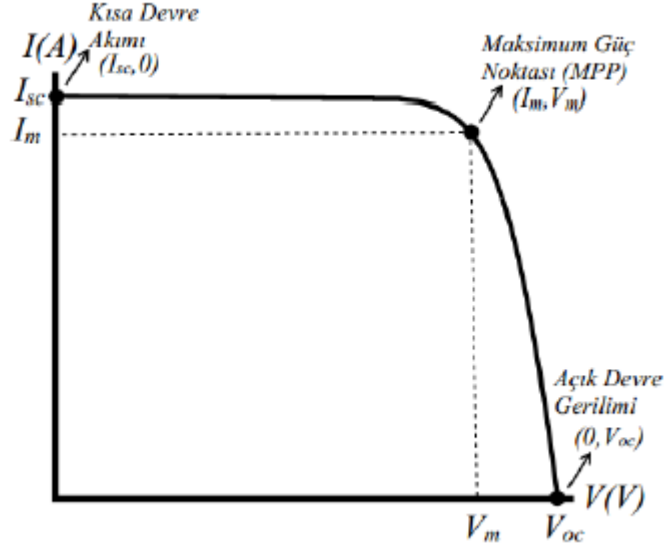
Diyot idealite katsayısı  $n$ 'nin sınır koşulları  $1 \leq n \leq 2$  aralığındadır. Üretilen fotoakım ( $I_F$ ) ve diyot akımı ( $I_d$ ) arasındaki fark net akım " $I$ " ya eşittir ve

$$I = I_F - I_d \quad (4.10)$$

denklemleri ile ifade edilmektedir.



**Şekil 4.7:** (I-V) Grafiği Net Akım Eğrisi (Toprak ve diğ., 2016)



**Şekil 4.8:** (I-V) Grafiği Kısa Devre Akımı Açık Devre Gerilim Eğrisi (Toprak ve diğ., 2016)

Açık devre durumunda  $V_{oc} = V$  ve  $I=0$ , kısa devre durumunda  $I_{sc}=I$  ve  $V=0$ , maksimum güç durumunda olacağından akım denklemi sırasıyla şu şekilde yazılabilir.

Kısa Devre noktasında bir hücre tarafından üretilen akımın en büyük değeridir. Kısa devre koşulları tarafından üretilir:  $I=I_{sc}$ ,  $V=0$  (Toprak ve diğ., 2016)

$$I = I_F - I_0 \left( \frac{q(V+IR_S)}{nkT} - 1 \right) \quad (4.11)$$

Açık Devre Noktasında  $I=0$ ,  $V=V_{oc}$

$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln \left( \frac{I_F}{I_0} \right) = V_t \ln \left( \frac{I_F}{I_0} \right) \quad (4.12)$$

$V_t = \frac{nkT_c}{q}$  termal voltaj olarak bilinir ve T mutlak hücre sıcaklığıdır.

Dolayısıyla;

$$0 = I_F - I_0 \left[ \exp \left( q \frac{V_{oc}}{nkT} \right) - 1 \right] \quad (4.13)$$

Maksimum Güç Noktasında  $I=I_{Max}$ ,  $V=V_{Max}$  (Toprak ve diğ., 2016)

$$I_M = I_F - I_0 \left[ \exp \left( q \frac{V_{Max}+I_{Max}R_S}{nkT} \right) - 1 \right] \quad (4.14)$$

olarak ifade edilmektedir. İdeal bir hücrede  $R_{s0} = R_s = R_{sh} = 0$  için;

$$I = I_F - I_0 \left( \frac{q(V + IR_s)}{nkT} - 1 \right) \quad (4.15)$$

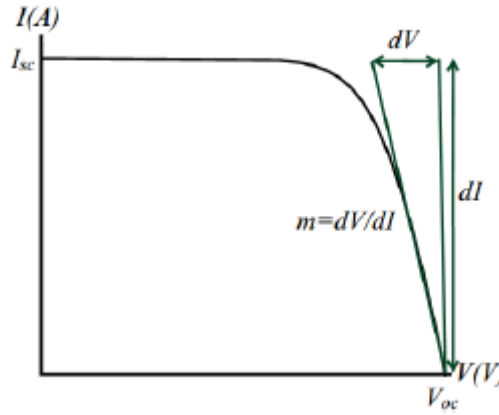
Model, foto-akım  $I_F$ 'nin sıcaklıkla değiştiğini ve diyotun  $I_0$  satürasyon (doyma akımı)'nı içermektedir.

$$I_F = I_{F_{T_1}} + K_0(T - T_1) \quad (4.16)$$

Seri direnç  $R_s$ 'nin modellenmesi ise şu şekildedir (Toprak ve diğ., 2016);

$$R_s = - \frac{dV}{dI} \bigg|_{V_{oc}} - \frac{1}{\frac{I_0 q}{nkT} \exp\left(\frac{qV_{oc}}{nkT}\right)} \quad (4.17)$$

Açık devre noktasında ( $V_{oc}, 0$ ) eğim Şekil 4.9'da olduğu gibi  $m = \frac{dV}{dI_{Voc}}$  deneysel verilerden (reel veriler) geometrik olarak çıkarılır. Eğim  $0 \leq m \leq 1$  arasında kabul edilmektedir.



**Şekil 4.9:** Açık Devre Noktasında Eğimin Hesaplanması (Toprak ve diğ., 2016)

$$X_v = \frac{I_{0T_1} \cdot q}{n \cdot k \cdot T_1} \cdot \exp\left(q \cdot \frac{V_{ocT_1}}{n \cdot k \cdot T_1}\right) \quad (4.18)$$

Bu denklemden sadeleştirme ile  $R_s$  direnci;

$$R_s = - \frac{dV}{dI_{Voc}} - \frac{1}{X_v} \quad (4.19)$$

Olarak hesaplanabilir.

$G_{nom}$  değeri standart güneş ışıınım değeri olarak  $1000 \text{ W/m}^2$  olarak kabul edilirse;

$$I_{F_{T1}} = I_{sc(T1,nom)} \frac{G}{G_{(nom)}} \quad (4.20)$$

$I_{SC}$  'nin sıcaklık katsayısı;

$$K0 = \frac{I_{sc(T2)} - I_{sc(T1)}}{(T2 - T1)} \quad (4.21)$$

olarak hesaplanabilmektedir.  $I_0$  (Satürasyon akımı) ise;

$$I_0 = I_{0T1} \cdot \left(\frac{T}{T1}\right)^{\frac{3}{n}} e^{\frac{qVq(T1)}{nk\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T1}\right)}} \quad (4.22)$$

$$I_{0(T1)} = \frac{I_{sc(T1)}}{\left[ e^{\frac{qV_{oc}(T1)}{nkT1}} - 1 \right]} \quad (4.23)$$

olarak hesaplanır (Şahin ve Okumuş 2013; Toprak ve diğ. 2016).

#### 4.4 Fotovoltaik Modülde Full Cell (Tam Hücre) İçin Matematiksel Modelleme

Standart panel verileri firmaların ürettiği panel kataloglarında mevcut olup her bir panel veya modül için ayrı ayrı parametrelere göre değişken değerleri verirler. Her bir panel kataloğunda sistemde ne kadar hücre kullanıldığı ayrı ayrı açıklanmaktadır.

Standart panel kataloglarında full cell (tam hücre) kullanıldığı ve ne kadar hücre kullanıldığını belirten parametreler mevcuttur. Standart panel kataloglarını incelediğimizde genellikle 60 ila 72 hücre kullanıldığını görebiliriz.

Matematik modellemesi için daha önceden verdiğimiz modeller kullanarak bir model geliştirilmiştir. Fakat burada değişken olarak ribbon direnci eklenerek daha diferansiyel sonuçlar elde edilebilir. Çünkü ribbon direnci ihmal edilemeyecek kadar sisteme direkt etki eden değişkenlerden biridir. Hücre direnç kaybının azaltılmasında oldukça önemli bir faktördür.

Full cell (tam hücre) modelinde panel verileri mevcut olan modellemelerde, n (diyot kalite faktörü) 1 olarak kabul edilmiş ve buna bağlı olarak modelleme yapılmıştır.

Ribbon direnci için;

$$R_{\text{ribbonF}} = \left( \frac{\left( 2 \cdot \left( \frac{1}{A} \right) \cdot L_{bb} \right)}{(3 \cdot N_{bb})} \right) \times 72 \quad (4.24)$$

formülü kullanılabilir (Gonzalez-Longatt,2006). Burada ;

l= Her Uzunluk Başına Ribbon Direnci( $\Omega$  x mm)

A= Ribbon Alanı ( $\text{mm}^2$ )

Lbb = Hücredeki Bara Uzunluğu (mm)

Nbb = Hücredeki Bara Sayısı

olarak ifade edilir. Full cell (tam hücre) için bu parametreler literatür taramasında mevcut olup;

**Tablo 4.2:** Full Cell (Tam Hücre) Bara Ve Ribbon Parametreleri (Guo ve diğ., 2013)

|     |                        |
|-----|------------------------|
| l   | $1,728 \times 10^{-8}$ |
| A   | 0,22x0,8               |
| Lbb | 155                    |
| Nbb | 5                      |

olarak alınır. 72 ile çarpmamızın nedeni ise, panel kataloglarına bağlı olarak 60 ya da 72 adet hücrenin kullanılmasıdır.

Ayrıca literatürde mevcut olan diğer sabit parametreler ise;

k = Boltzmann Sabiti [J/K]

q = Elektron Yüğü [C]

Vg = Kristal Silikonun Gerilimi [eV]

**Tablo 4.3:** Hücre İçin Gerekli Sabit Parametreler (Guo ve diğ., 2013)

|    |          |
|----|----------|
| k  | 1,38e-23 |
| q  | 1,60e-19 |
| Vg | 1,12     |

$$Ta_K = 273 + Ta_C; \text{ Hücrenin sıcaklığını Santigrat'tan Kelvin'e Dönüşümü } (4.25)$$

$$I_{FT_1} = (I_{scT_1} \cdot G); \text{ } T_1 \text{'deki güneşe bağlı olarak } I_F \text{ foton akımı hesaplama } (4.26)$$

$$I_F = I_{FT_1} + K_0 \cdot (Ta_K - T_1) ; \text{ Foton akımının sıcaklık ile değişimi } (4.27)$$

$$I_{0T_1} = \left( \frac{I_{scT_1}}{\exp\left(\frac{q \cdot V_{ocT_1}}{(n \cdot k \cdot T_1)}\right)} - 1 \right) (4.28)$$

$$I_0 = \left( I_{0T_1} \cdot \left( \frac{Ta_K}{T_1} \right)^{\frac{3}{n}} \cdot \exp\left( \frac{-q \cdot V_g}{n \cdot k} \cdot \left( \frac{1}{Ta_K} \right) - \left( \frac{1}{T_1} \right) \right) \right) (4.29)$$

$$X_v = \frac{I_{0T_1} \cdot q}{n \cdot k \cdot T_1} \cdot \exp\left( q \cdot \frac{V_{ocT_1}}{n \cdot k \cdot T_1} \right) (4.30)$$

$m = -\frac{dV}{dI_{Voc}}$  değeri için belirli bir parametrede alınan eğim sonucu alınmaktadır (Abdul Kareem ve diğ., 2016).

$$R_s = \left( \frac{-dV}{dI_{Voc}} - \frac{1}{X_v} \right) - R_{RibbonF} (4.31)$$

modellemesi uygulanabilir (Gonzalez-Longatt, 2006).

#### 4.4.1 Full Cell (Tam Hücre) İçin Ia Newton Raphson Method Yöntemi

Güneş hücresinin akım ve gerilimi arasındaki ilişki hem kapalı hem de doğrusal olmayan bir matematiksel ifade ile tanımlanır. Bu tür denklemler, Eş. 4.7'deki gibi kolay bir şekilde çözülmez, dolayısıyla nümerik yöntemlere ihtiyaç duyulur.

Güneş hücresinin STC( Standart Test Koşulları), özgül sıcaklık ve güneş ışınımı koşullarındaki I-V eğrisini simüle etmek için verilen her gerilim için karşılık gelen bir akım değerinin hesaplanması gerekir. Bu denklemin çözümü için yaygın olarak bilinen kök bulma yöntemlerinden bir olan Newton-Raphson Yöntemi kullanılmıştır.

$$X_{n+1} = X_n - \frac{f(X_n)}{f'(X_n)} \longrightarrow f(V, I) = 0 (4.32)$$

Güneş hücresinin (I-V) karakteristiği kapalı bir biçimde verildiğinden aşağıdaki iterasyon işlemi bu çözümü bulmak için uygundur.

$$I_{a+1} = I_a - \frac{f(V_a, I_a)}{\frac{df(V_a, I_a)}{dI}} \quad (4.33)$$

Eş. 4.33 kullanarak, verilen hücre gerilimine karşılık gelen akım değerini bulmak için aşağıdaki iterasyon işlemi ile

$$I_{a+1} = I_a - \frac{I_F - I_a - I_0 \left[ \exp\left(\frac{V_a + I_a R_s}{V_{tT_a}}\right) - 1 \right]}{-\frac{I_0 R_s}{V_{tT_a}} \exp\left(\frac{V_a + I_a R_s}{V_{tT_a}}\right) - 1} \quad (4.34)$$

Düzenlenmiş haliyle;

$$I_a = I_a - \frac{\left( I_F - I_a - I_0 \left( \exp\left(\frac{V_a + I_a R_s}{V_{tT_a}}\right) - 1 \right) \right)}{-1 - \left( I_0 \left( \frac{\exp(V_a + I_a R_s)}{V_{tT_a}} - 1 \right) \right) \cdot \frac{R_s}{V_{tT_a}}} \quad (4.35)$$

modeli uygulanmıştır (Gonzalez-Longatt, 2006).

#### 4.5 Fotovoltaik Modülde Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) İçin Matematiksel Modelleme

Tezimizde tam boyutlu hücreler için bahsedilen matematiksel modellemeden yola çıkarak, yarım boyutlu hücre modellemesi oluşturulmuştur. n (diyot kalite katsayısı) literatürde çeşitli modellerle tanımlanmıştır.

Literatürde (Gontean ve diğ., 2017) ;

Phang ve arkadaşlarına göre;

$$n_1 = \frac{q(V_{mp} + I_{mp}R_s - V_{oc})}{kT_{ref} \left[ \ln \left( \frac{I_{sc} - \frac{V_{mp}}{R_{p0}} - I_{mp}}{I_{sc} - \frac{V_{oc}}{R_p}} \right) + \frac{I_{mp}}{I_{sc} - \frac{V_{oc}}{R_p}} \right]} \quad (4.36)$$

De Blas ve arkadaşlarına göre (Gontean ve diğ., 2017) ;

$$n_1 = \frac{q(V_{mp} + I_{mp}R_s - V_{oc})}{kT_{ref} \ln \left[ \frac{I_{sc} - I_{mp} \left( 1 + \frac{R_s}{R_p} \right) - \frac{V_{mp}}{R_p}}{I_{sc} \left( 1 + \frac{R_s}{R_p} \right) - \frac{V_{oc}}{R_p}} \right]} \quad (4.37)$$

E. Saloux ve arkadaşlarına göre (Gontean ve diğ., 2017) ;

$$n_1 = \frac{q(V_{mp}-V_{oc})}{kT_{ref} \ln\left(1-\frac{I_{mp}}{I_{sc}}\right)} \quad (4.38)$$

Villalva'ya göre (Gontean ve diğ., 2017);

$$n_1 = \frac{q\left(k_V - \frac{V_{oc}}{n_{s=1}T_{ref}}\right)}{kT_{ref}\left(\frac{k_I}{I_{ph}} - \frac{3}{T_{ref}} - \frac{V_g}{kT_{ref}^2}\right)} \quad (4.39)$$

Half cut cell (yarı kesik hücre) modelinde n (diyot kalite faktörü) E. Saloux ve arkadaşlarının modellemesi kabul edilmiş ve buna bağlı olarak modelleme yapılmıştır (Gontean ve diğ., 2017). Burada önemli olan parametreler, hücre modelinde  $I_F$ (foton akımı) ve  $I_0$  (satürasyon akımı) hücre kesilme sayısına bağlı olmasıdır. Half cut cell'de ise yarıya düşmektedir (Guo ve diğ., 2013).

Ribbon direnci için (Guo ve diğ., 2013) ;

$$R_{ribbonH} = \left( \frac{\left(2 \cdot \left(\frac{1}{A}\right) \cdot L_{bb}\right)}{(3 \cdot N_{bb})} \right) \times 144 \text{ formülü kullanılabilir} \quad (4.40)$$

Burada;

$l$ = Her Uzunluk Başına Ribbon Direnci( $\Omega \times mm$ )

$A$ = Ribbon Alanı ( $mm^2$ )

$L_{bb}$  = Hücredeki Bara Uzunluğu (mm)

$N_{bb}$  = Hücredeki Bara Sayısı

olarak ifade edilir (Abdul Kareem ve diğ., 2016).

Full cell (tam hücre) için bu parametreler literatür taramasında mevcut olup;

**Tablo 4.4:** Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) Bara Ve Ribbon Parametreleri (Guo ve diğ., 2013)

|          |                        |
|----------|------------------------|
| $l$      | $1,728 \times 10^{-8}$ |
| $A$      | $0,22 \times 0,8$      |
| $L_{bb}$ | 78                     |
| $N_{bb}$ | 5                      |

olarak alınır. 144 ile çarpmamızın nedeni ise, panel kataloglarına veya simülasyona bağlı olarak 120 ya da 144 adet hücrenin kullanılmasıdır. Cut olarak tanımladığımız parametre ise hücrenin kesilme sayısıdır.

Ayrıca literatürde mevcut olan diğer parametreler ise Tablo 4.3'te mevcuttur.

O halde;

$$Ta_K = 273 + Ta_c; \text{ Hücrenin sıcaklığını Santigrat'tan Kelvin'e Dönüşümü} \quad (4.41)$$

$$I_{FT_1} = (I_{scT_1} \cdot G) / Cut; T_1 \text{'deki güneşe bağlı olarak } I_F \text{ foton akımı hesaplama} \quad (4.42)$$

$$I_F = I_{FT_1} + K_0 \cdot (Ta_K - T_1) ; \text{ Foton akımının sıcaklık ile değişimi} \quad (4.43)$$

$$I_{0T_1} = \left( \frac{I_{scT_1}}{\left( \exp\left( \frac{q \cdot V_{ocT_1}}{n \cdot k \cdot T_1} \right) - 1 \right)} - 1 \right) \cdot Cut \quad (4.44)$$

$$I_0 = \left( I_{0T_1} \cdot \left( \frac{Ta_K}{T_1} \right)^{\frac{3}{n}} \cdot \exp\left( \frac{-q \cdot V_g}{n \cdot k} \cdot \left( \frac{1}{Ta_K} \right) - \left( \frac{1}{T_1} \right) \right) \right) \quad (4.45)$$

$$X_v = \frac{I_{0T_1} \cdot q}{n \cdot k \cdot T_1} \cdot \exp\left( q \cdot \frac{V_{ocT_1}}{n \cdot k \cdot T_1} \right) \quad (4.46)$$

$m = -\frac{dV}{dI_{Voc}}$  değeri için belirli bir parametrede alınan eğim sonucu alınmaktadır (Abdul Kareem ve diğ., 2016).

$$R_s = \left( \frac{-dV}{dI_{Voc}} - \frac{1}{X_v} \right) - R_{RibbonH} \quad (4.47)$$

#### 4.5.1 Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) İçin Ia Newton Raphson

##### Method Yöntemi

Yukarıda belittiğimiz yarı hücre modeli için geçerli denklemin çözümü içinde kök bulma yöntemlerinden bir olan Newton-Raphson Yöntemi kullanılmıştır.

$$X_{n+1} = X_n - \frac{f(X_n)}{f'(X_n)} \longrightarrow f(V, I) = 0 \quad (4.48)$$

Güneş hücresinin I-V karakteristiği kapalı bir biçimde verildiğinden aşağıdaki iterasyon işlemi bu çözümü bulmak için uygundur.

$$I_{a+1} = I_a - \frac{f(V_a, I_a)}{\frac{df(V_a, I_a)}{dI}} \quad (4.49)$$

$$I_{a+1} = I_a - \frac{I_F - I_a - I_0 \left[ \exp\left(\frac{V_a + I_a \cdot R_s}{V_{tTa}}\right) - 1 \right]}{-\frac{I_0 \cdot R_s}{V_{tTa}} \exp\left(\frac{V_a + I_a \cdot R_s}{V_{tTa}}\right) - 1} \quad (4.50)$$

$$I_a = I_a - \frac{\left( I_F - I_a - I_0 \left( \exp\left(\frac{V_a + I_a \cdot R_s}{V_{tTa}}\right) - 1 \right) \right)}{-1 - \left( I_0 \left( \frac{\exp(V_a + I_a \cdot R_s)}{V_{tTa}} - 1 \right) \right) \cdot \frac{R_s}{V_{tTa}}} \quad (4.51)$$

modeli uygulanabilir (Gonzalez-Longatt, 2006).

## 5. BENZETİM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE KARŞILAŞTIRILMASI

### 5.1 Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) Ve Full Cell (Tam Hücre) Matlab Programında Benzetim Sonuçları

Half cut cell (yarı kesik hücre) ve full cell (tam hücre) modelinde belirli parametrelere sahip farklı firmaların fabrikasyon verilere dayanan sonuçları kullanılarak MATLAB programında simülasyon edilip geliştirilmiştir (Url-21, 2011). Her bir firmanın üretim verilerinden STC-Standart Test Koşulları ( $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $G=1000\text{W/m}^2$ )’da bulunan parametreler kullanılmıştır.

Güneş hücresi modülüne ait benzetimler ve firmaların panel kataloğunda bulunan ( $V_{oc}$ ,  $I_{sc}$ ,  $V_{mp}$ ,  $I_{mp}$ , panel en, panel boy) parametreleri kullanılarak STC’de bulunan güneş hücresine ait akım-gerilim (I-V) ve güç gerilim (P-V) karakteristik eğrisi elde edilmiştir. Akım gerilim (I-V) eğrisine ait eğim  $(\frac{dV}{dI_{voc}})$  tekrar modellemede yerine koyularak birbirine eşit olana kadar iterasyon yapılmıştır.

Her bir firma için gerekli  $\frac{dV}{dI_{voc}}$  değeri, genellikle 2 ya da 3 iterasyon sonucunda birbirine çok yakın değerler elde edilmiştir. Bu eğim değerini bir excel dosyasında tanımlayabiliriz. (I-V) eğrisi için maksimum güç noktası belirlenmiştir. % sapma oranı için formül (5.1) uygulanmıştır.

$$\%Sapma = \frac{(Deneyisel\ Veri - Teorik\ Veri)}{Teorik\ Veri} \times 100 \quad (5.1)$$

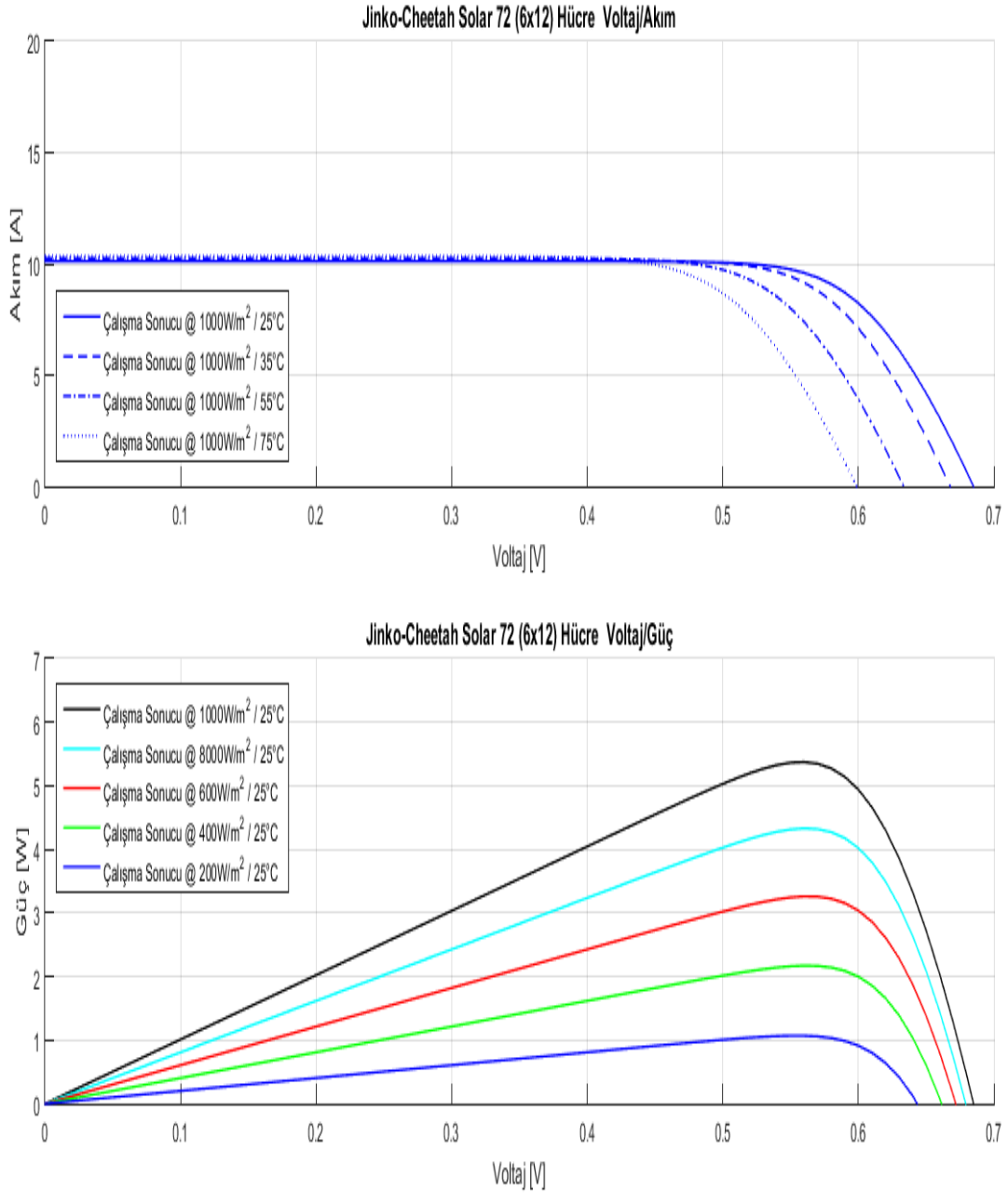
Modüle efficiency (modül verimliliği) için;

$$Module\ Efficiency\ (\eta) = \frac{P_{max}}{(Panel\ En \times Panel\ Boy \times 10)} \quad (5.2)$$

modellemesi uygulanmıştır. Panel en ve panel boy değerleri birimi (m) olup, panel kataloglarında mevcuttur.

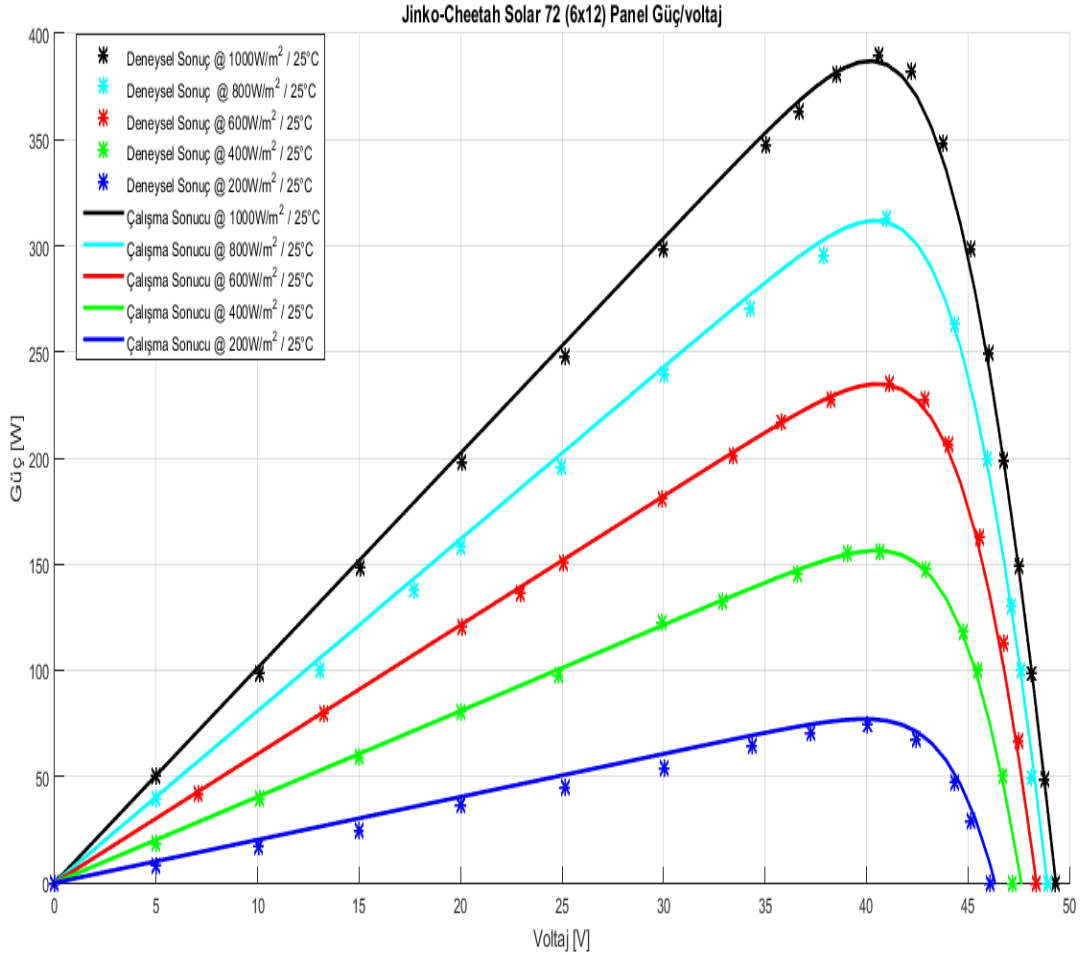
### 5.1.1 Jinko-Cheetah Solar Full Cell (Tam Hücre) Similasyonu (Pmax=390W)

Jinko-Cheetah Solar firmasının EK A'da bulunan CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-EN panel katalog verisinden  $P_{max}=390W$  verisi kullanılarak, bu parametrelere bağlı EK A.1'de Matlab kodları verilmiştir.



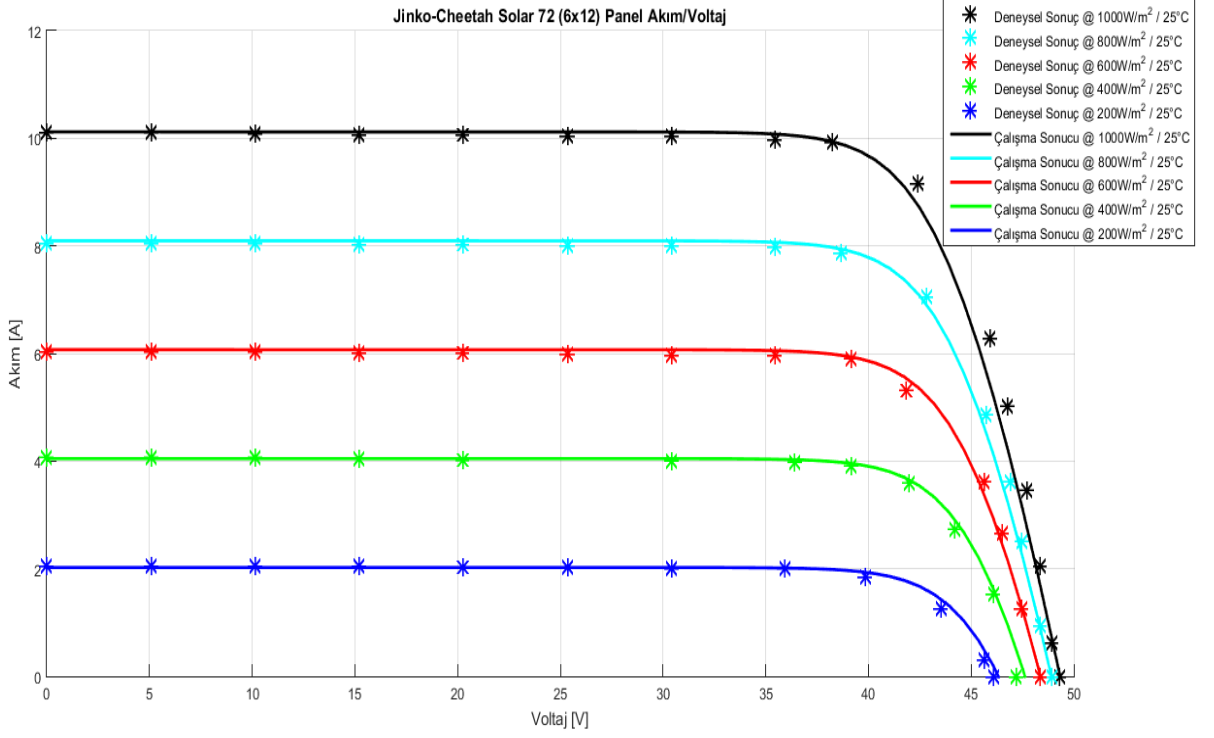
Şekil 5.1: Jinko-Cheetah Solar Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri

Şekil 5.1’ de ilk grafikte hücre için geçerli (I-V) eğri grafiği mevcut olup ( $G=1000 \text{ W/m}^2$ )’de  $T=25^\circ\text{C}$ ,  $35^\circ\text{C}$ ,  $55^\circ\text{C}$ ,  $75^\circ\text{C}$  ‘de simülasyon sonuçları verilmiştir. İkinci grafikte ise hücre için geçerli ( $T=25^\circ\text{C}$ ) ‘de  $G=1000 \text{ W/m}^2$ ,  $800 \text{ W/m}^2$ ,  $600 \text{ W/m}^2$ ,  $400 \text{ W/m}^2$ ,  $200 \text{ W/m}^2$  güneş ışınım altında güç-gerilim (P-V) eğrisi simülasyon sonucu oluşturulmuştur.



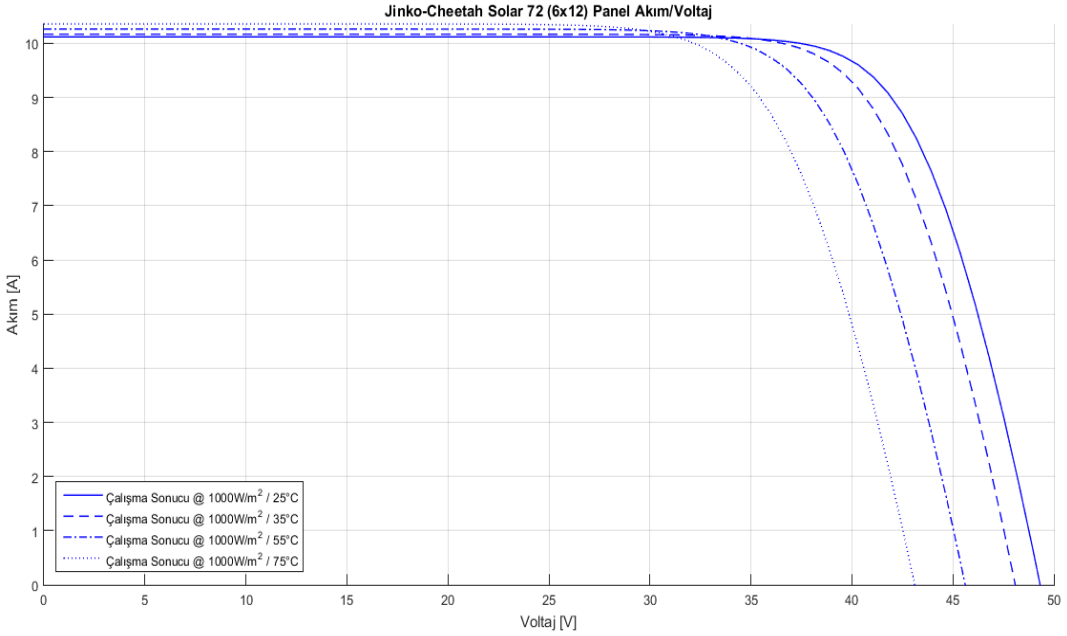
**Şekil 5.2:** Jinko-Cheetah Solar Panel (P-V) Grafiği ( $T=25^\circ\text{C}$ )

Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de belirtilen parametrelerde ‘Çalışma Sonucu’ isimli çalışmalar simülasyon çalışması ve ‘Deneysel Sonuç’ isimli çalışmalar ise gerçek grafik sonuçlarından elde edilen verilerdir.



**Şekil 5.3:** Jinko-Cheetah Solar Panel (I-V) Grafiği (T=25 °C)

Şekil 5.3'te güneş hücresi modelinin, panel yada modül için akım-gerilim (I-V) karakteristiklerinin nasıl değiştiği gözükmemektedir.



**Şekil 5.4:** Jinko-Cheetah Solar Panel (I-V) Grafiği (G=1000 W/m²)

Şekil 5.4'te ise sabit ışınım ortamı altında (G=1000 W/m²) değişken sıcaklık verilerine dayanan I-V eğri grafiği oluşturulmuştur.

**Tablo 5.1:** Jinko-CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-En Hücre Verileri (T=25 °C)

| <i>Radyasyon (W/m2)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|-------------------------|---------------------|----------------------|
| 1000                    | Pmax                | 5,44                 |
|                         | Voc                 | 0,68                 |
|                         | Isc                 | 10,12                |
| 800                     | Pmax                | 4,37                 |
|                         | Voc                 | 0,68                 |
|                         | Isc                 | 8,10                 |
| 600                     | Pmax                | 3,28                 |
|                         | Voc                 | 0,67                 |
|                         | Isc                 | 6,07                 |
| 400                     | Pmax                | 2,18                 |
|                         | Voc                 | 0,66                 |
|                         | Isc                 | 4,05                 |
| 200                     | Pmax                | 1,07                 |
|                         | Voc                 | 0,64                 |
|                         | Isc                 | 2,02                 |

Tablo 5.1’de CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-En panel verileri kullanılarak, simülasyon sonucu değişken güneş ışınlamı altında elde edilen hücre verileri mevcuttur.

**Tablo 5.2:** Jinko-CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-En Hücre Veriler (G=1000 W/m2)

| <i>Sıcaklık (°C)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|----------------------|---------------------|----------------------|
| 25                   | Pmax                | 5,44                 |
|                      | Voc                 | 0,68                 |
|                      | Isc                 | 10,12                |
| 35                   | Pmax                | 5,27                 |
|                      | Voc                 | 0,67                 |
|                      | Isc                 | 10,17                |
| 55                   | Pmax                | 4,93                 |
|                      | Voc                 | 0,63                 |
|                      | Isc                 | 10,26                |
| 75                   | Pmax                | 4,59                 |
|                      | Voc                 | 0,60                 |
|                      | Isc                 | 10,36                |

Tablo 5.2’de CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-En panel verileri kullanılarak, simülasyon sonucu, değişken sıcaklıklarda elde edilen hücre verileri mevcuttur.

**Tablo 5.3:** Jinko-CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-En Panel Verileri (T=25 °C)

| <i>Radyasyon<br/>(W/m<sup>2</sup>)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> | <i>Cheetah<br/>Perc Half<br/>Değeri</i> | <i>%Sapma</i> |
|----------------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------------------|---------------|
| 1000                                   | Pmax                | 391,39               | 390,00                                  | -0,36         |
|                                        | Voc (P-V)           | 49,34                | 49,30                                   | -0,07         |
|                                        | Voc (I-V)           | 49,34                | 49,30                                   | -0,07         |
|                                        | Isc                 | 10,12                | 10,12                                   | 0,00          |
| 800                                    | Pmax                | 314,64               | 313,20                                  | -0,46         |
|                                        | Voc (P-V)           | 48,91                | 48,92                                   | 0,03          |
|                                        | Voc (I-V)           | 48,91                | 48,92                                   | 0,03          |
|                                        | Isc                 | 8,10                 | 8,05                                    | -0,63         |
| 600                                    | Pmax                | 236,48               | 234,90                                  | -0,67         |
|                                        | Voc (P-V)           | 48,37                | 48,38                                   | 0,02          |
|                                        | Voc (I-V)           | 48,37                | 48,38                                   | 0,02          |
|                                        | Isc                 | 6,08                 | 6,04                                    | -0,65         |
| 400                                    | Pmax                | 157,07               | 155,85                                  | -0,78         |
|                                        | Voc (P-V)           | 47,62                | 47,20                                   | -0,89         |
|                                        | Voc (I-V)           | 47,62                | 47,20                                   | -0,89         |
|                                        | Isc                 | 4,05                 | 4,06                                    | 0,34          |
| 200                                    | Pmax                | 77,23                | 74,54                                   | -3,62         |
|                                        | Voc (P-V)           | 46,32                | 46,10                                   | -0,49         |
|                                        | Voc (I-V)           | 46,32                | 46,10                                   | -0,49         |
|                                        | Isc                 | 2,03                 | 2,04                                    | 0,48          |

Tablo 5.3'te Jinko-CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-En panel verilerinden değişken güneş ışınlamı altında elde edilen (P-V) ve (I-V) eğrisi modül verileri ve karşılaştırma olarak kullanılan gerçek grafik sonuçlarındaki hata oranları mevcuttur.

**Tablo 5.4:** Jinko-CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-En Panel Verileri (G=1000 W/m<sup>2</sup>)

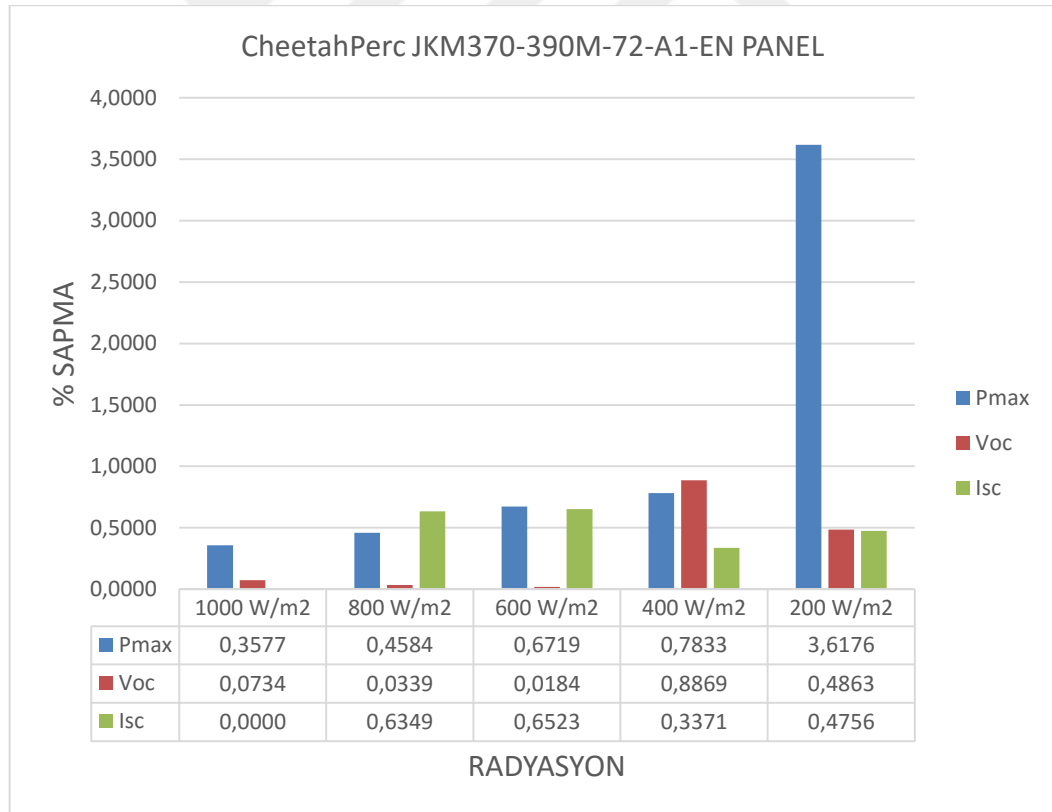
| <i>Sıcaklık (°C)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|----------------------|---------------------|----------------------|
| 25                   | Voc                 | 49,32                |
|                      | Isc                 | 10,12                |
| 35                   | Voc                 | 48,09                |
|                      | Isc                 | 10,17                |
| 55                   | Voc                 | 45,61                |
|                      | Isc                 | 10,26                |
| 75                   | Voc                 | 43,11                |
|                      | Isc                 | 10,36                |

Tablo 5.4'te Jinko-CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-En panel verilerinden sabit ışınlm altında ( $G=1000 \text{ W/m}^2$ ), değişken sıcaklıklarda elde edilen modül verileri mevcuttur.

**Tablo 5.5:** Jinko-CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-En Panel Verileri

| Modül Parametre   | Ölçülen Değer |
|-------------------|---------------|
| Module Efficiency | 19,74         |
| FF                | 78,39         |
| IO                | 2,70e-11      |
| Rs                | 0,032         |

Tablo 5.5'te Jinko-CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-En panel verileri kullanılarak elde edilen modül verileri mevcuttur. Sonuç olarak simülasyon çalışmamız gerçek grafik sonuçlarına uygun durumdadır.

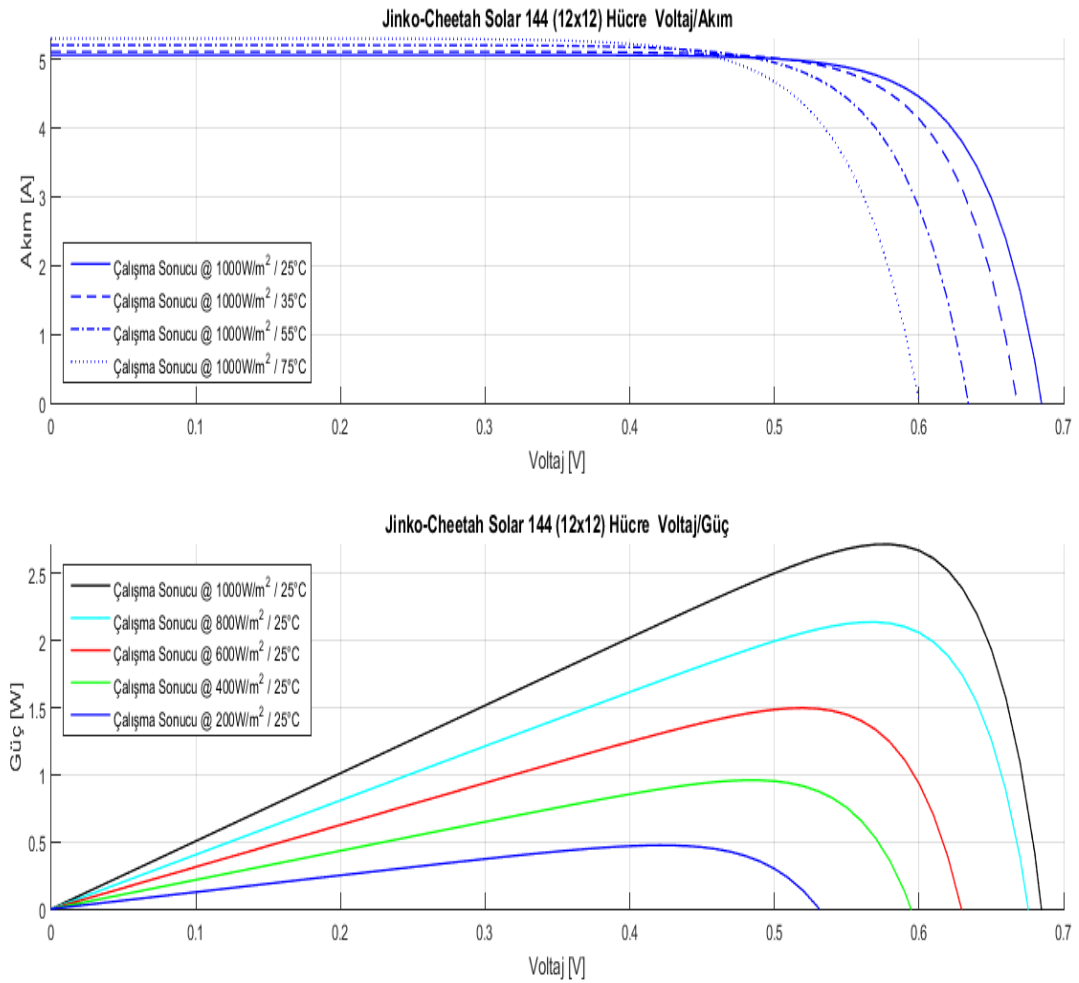


**Şekil 5.5:** Jinko-CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-En Panel %Sapma Verileri

Şekil 5.5'te Jinko-CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-En panel verileri kullanılarak oluşturulan simülasyon sonucu ile gerçek grafik sonucu karşılaştırması ile % sapma oranları bulunmaktadır.  $200 \text{ W/m}^2$  sonucunda sapma, diğer sapmalara oranla yüksek çıkmaktadır. Bunun sebebi ise simülasyon ile yapılan çalışmada, iç dirence bağlı kayıpları sabit almamızdan, dolayısıyla kayıp değerini reel olarak bilmememizden kaynaklanmaktadır.

### 5.1.2 Jinko-Cheetah Solar Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) Similasyonu (Pmax=390W)

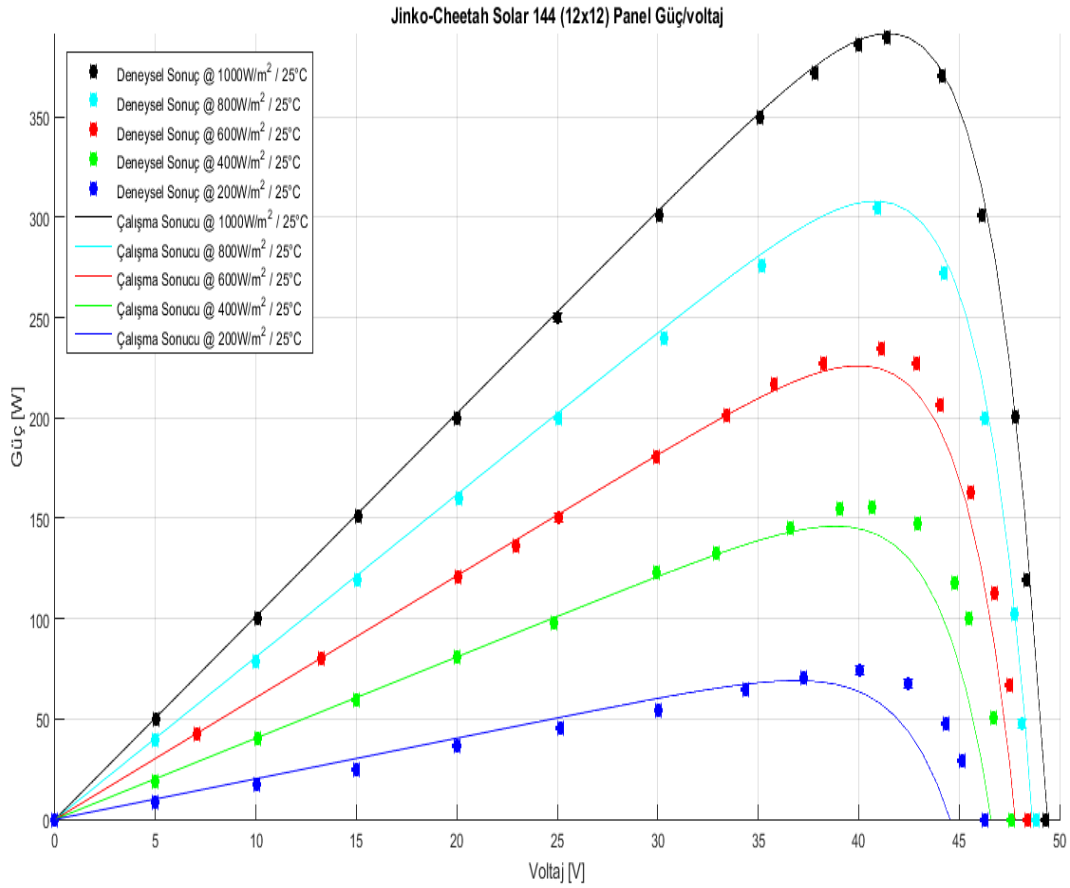
Jinko-Cheetah Solar firmasının EK B'de bulunan CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN panel katalog verilerinden  $P_{max}=390\text{W}$  verisi kullanılarak, bu parametrelere bağlı EK B.1'de Matlab kodları verilmiştir.



**Şekil 5.6:** Jinko-Cheetah Solar CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri

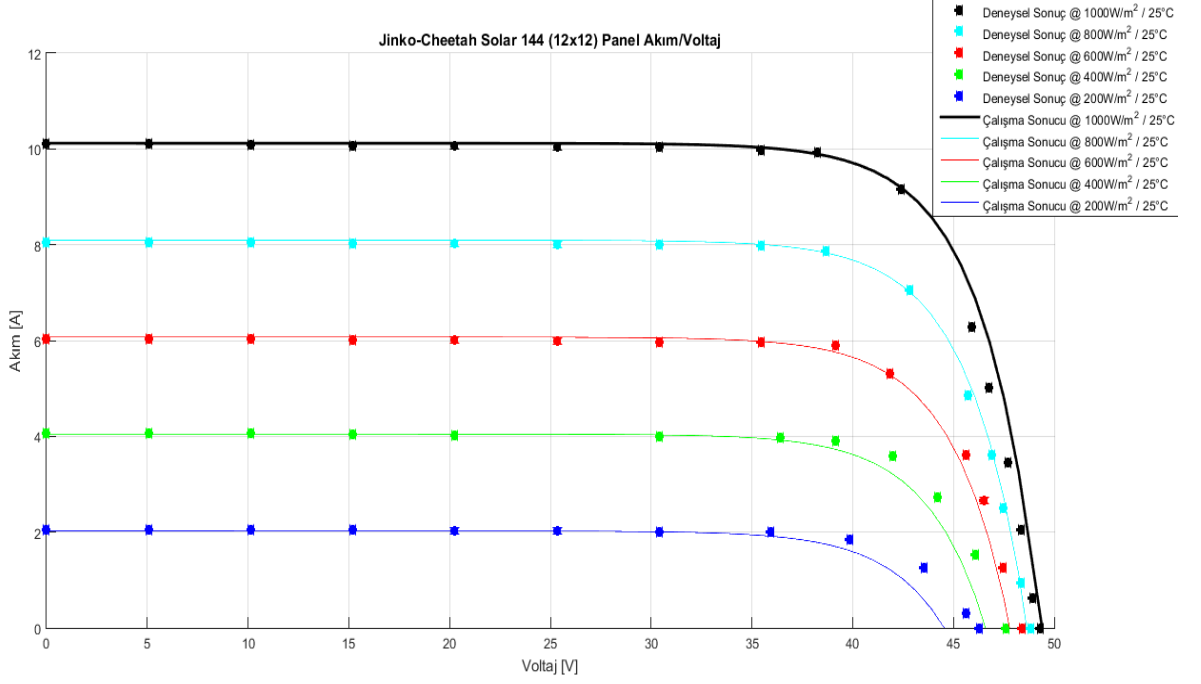
Şekil 5.6’da Jinko-Cheetah firmasının half cell katalog verileri kullanılarak, simülasyon sonucunda hücre için geçerli (P-V) ve (I-V) eğrisi oluşturulmuştur.

Burada yarı kesilmiş hücrelerde (I-V) eğrisinde, full cell (tam hücre)’deki kısa devre akımının yaklaşık yarısı kadar olduğu gözlenmektedir. Hücre için geçerli (P-V) eğrisinde ise buna bağlı olarak full cell hücresindeki gücün yaklaşık yarısı kadar olduğu gözlenmektedir.

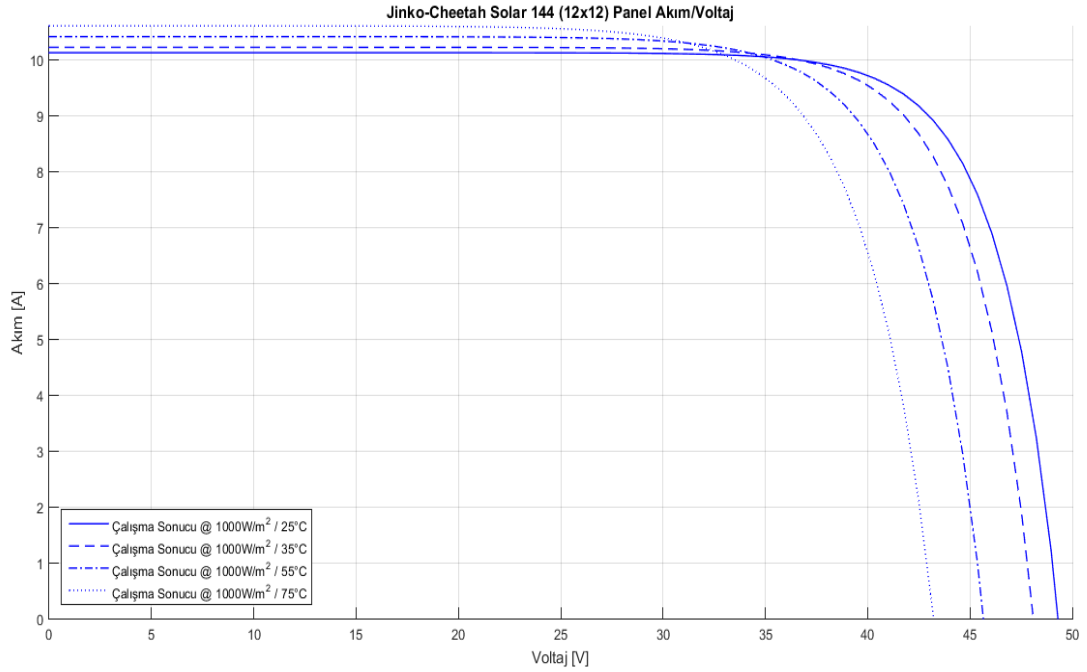


**Şekil 5.7:** Jinko-Cheetah Solar Cheetahperc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Panel (P-V) Grafiği (T=25 °C)

Şekil 5.7’de Jinko-Cheetah half cut cell (yarı kesik hücre) panel kataloglarındaki veriler kullanılarak, reel grafik verilerine karşılık simülasyon verilerinin çalışması bulunmaktadır.



**Şekil 5.8:** Jinko-Cheetah Solar Cheetahperc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Panel (I-V) Grafiği (T=25 °C)



**Şekil 5.9:** Jinko-Cheetah Solar Cheetahperc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Panel (I-V) Grafiği (G=1000 W/m<sup>2</sup>)

Şekil 5.9’da ise sabit ışınlım ortamı altında ( $G=1000 \text{ W/m}^2$ ) değişken sıcaklık verilerine dayanan I-V eğri grafiği oluşturulmuştur.

**Tablo 5.6:** Jinko-Cheetah Solar CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Hücresinin Verileri (T=25 °C)

| <i>Radyasyon (W/m<sup>2</sup>)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|------------------------------------|---------------------|----------------------|
| 1000                               | Pmax                | 2,72                 |
|                                    | Voc                 | 0,68                 |
|                                    | Isc                 | 5,06                 |
| 800                                | Pmax                | 2,14                 |
|                                    | Voc                 | 0,68                 |
|                                    | Isc                 | 4,05                 |
| 600                                | Pmax                | 1,57                 |
|                                    | Voc                 | 0,63                 |
|                                    | Isc                 | 3,04                 |
| 400                                | Pmax                | 1,01                 |
|                                    | Voc                 | 0,59                 |
|                                    | Isc                 | 2,02                 |
| 200                                | Pmax                | 0,48                 |
|                                    | Voc                 | 0,53                 |
|                                    | Isc                 | 1,01                 |

Tablo 5.6’da Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN panel verilerinden değişken güneş ışınlamı altında elde edilen hücre verileri mevcuttur.

**Tablo 5.7:** Jinko-Cheetah Solar CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Hücresinin Verileri (G=1000 W/m<sup>2</sup>)

| <i>Sıcaklık (°C )</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|-----------------------|---------------------|----------------------|
| 25                    | Pmax                | 2,72                 |
|                       | Voc                 | 0,68                 |
|                       | Isc                 | 5,06                 |
| 35                    | Pmax                | 2,65                 |
|                       | Voc                 | 0,67                 |
|                       | Isc                 | 5,11                 |
| 55                    | Pmax                | 2,50                 |
|                       | Voc                 | 0,63                 |
|                       | Isc                 | 5,20                 |
| 75                    | Pmax                | 2,35                 |
|                       | Voc                 | 0,60                 |
|                       | Isc                 | 5,30                 |

Tablo 5.7’de Jinko-CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-En panel verilerinden değişken sıcaklıklarda elde edilen hücre verileri mevcuttur.

**Tablo 5.8:** Jinko-Cheetah Solar CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Panel Verileri (T=25 °C)

| <i>Radyasyon<br/>(W/m2)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> | <i>Longi<br/>Mono<br/>Perc Half<br/>Değeri</i> | <i>%Sapma</i> |
|-----------------------------|---------------------|----------------------|------------------------------------------------|---------------|
| 1000                        | Pmax                | 391,62               | 390,00                                         | -0,42         |
|                             | Voc (P-V)           | 49,40                | 49,30                                          | -0,20         |
|                             | Voc (I-V)           | 49,40                | 49,30                                          | -0,20         |
|                             | Isc                 | 10,12                | 10,12                                          | 0,00          |
| 800                         | Pmax                | 308,09               | 305,06                                         | -1,00         |
|                             | Voc (P-V)           | 48,64                | 48,84                                          | 0,42          |
|                             | Voc (I-V)           | 48,64                | 48,84                                          | 0,42          |
|                             | Isc                 | 8,10                 | 8,05                                           | -0,63         |
| 600                         | Pmax                | 225,99               | 234,90                                         | 3,79          |
|                             | Voc (P-V)           | 47,79                | 48,40                                          | 1,27          |
|                             | Voc (I-V)           | 47,79                | 48,40                                          | 1,27          |
|                             | Isc                 | 6,08                 | 6,04                                           | -0,65         |
| 400                         | Pmax                | 146,08               | 155,85                                         | 6,27          |
|                             | Voc (P-V)           | 46,59                | 47,60                                          | 2,12          |
|                             | Voc (I-V)           | 46,59                | 47,60                                          | 2,12          |
|                             | Isc                 | 4,05                 | 4,06                                           | 0,34          |
| 200                         | Pmax                | 69,11                | 74,54                                          | 7,27          |
|                             | Voc (P-V)           | 44,55                | 46,27                                          | 3,74          |
|                             | Voc (I-V)           | 44,55                | 46,27                                          | 3,74          |
|                             | Isc                 | 2,03                 | 2,04                                           | 0,48          |

Tablo 5.8’de Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM370-390M-72-A1-En panel verilerinden değişken güneş ışınlam altında elde edilen modül verileri ve gerçek grafik sonuçları karşılaştırması sonucundaki hata oranları mevcuttur.

**Tablo 5.9:** Jinko-Cheetah Solar CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Panel Verileri (G=1000 W/m2)

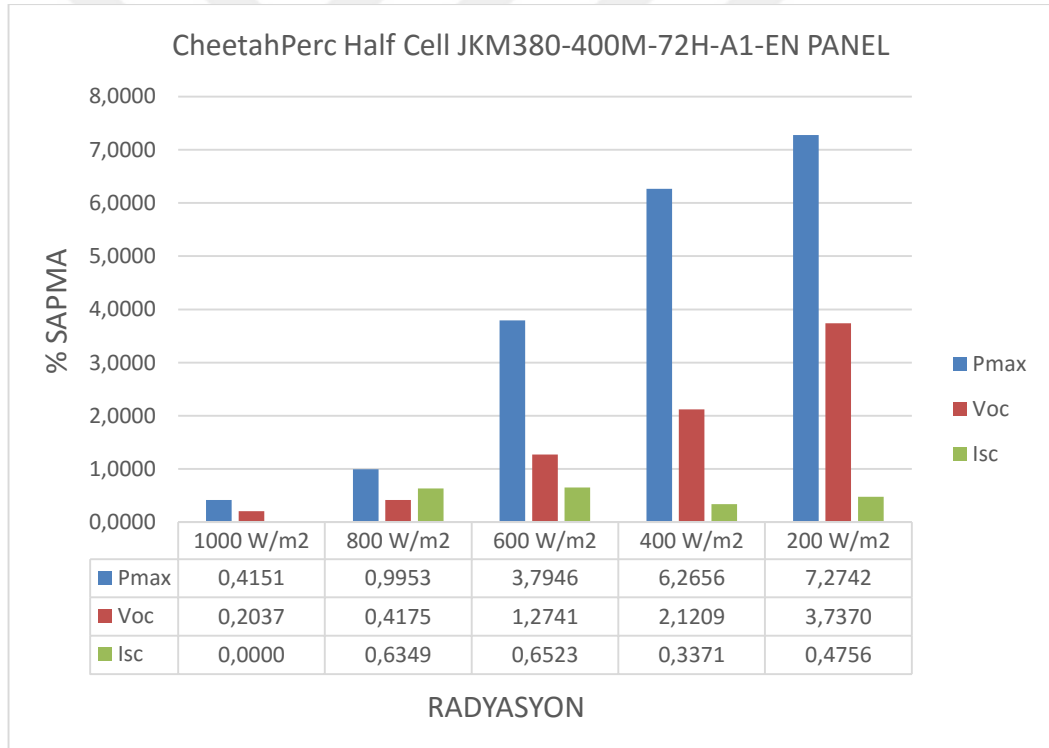
| <i>Sıcaklık (°C)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|----------------------|---------------------|----------------------|
| 25                   | Voc                 | 49,30                |
|                      | Isc                 | 10,12                |
| 35                   | Voc                 | 48,09                |
|                      | Isc                 | 10,22                |
| 55                   | Voc                 | 45,65                |
|                      | Isc                 | 10,41                |
| 75                   | Voc                 | 43,22                |
|                      | Isc                 | 10,60                |

Tablo 5.9’da Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN panel verilerinden değişken sıcaklıklarda elde edilen modül verileri mevcuttur.

**Tablo 5.10:** Jinko-Cheetah Solar CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Panel Verileri

| Modül Parametre   | Ölçülen Değer |
|-------------------|---------------|
| Module Efficiency | 19,46         |
| FF                | 78,26         |
| IO                | 2,95e-07      |
| Rs                | 0,035         |

Tablo 5.10’da Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN panel verileri kullanılarak elde edilen modül verileri bulunmaktadır.



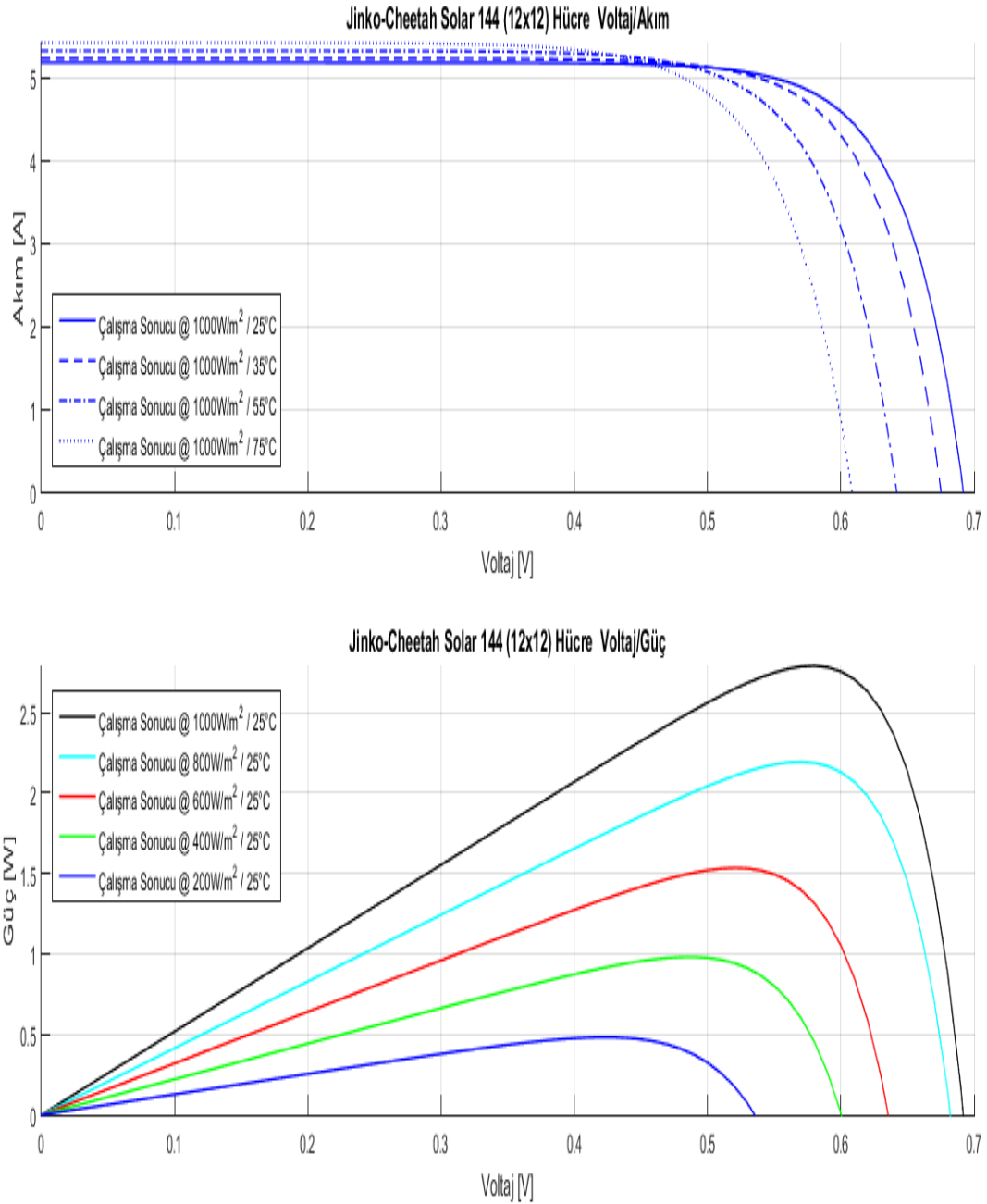
**Şekil 5.10:** Jinko-Cheetah Solar CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Panel %Sapma Verileri

Şekil 5.10’da Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN panel verileri kullanılarak oluşturulan simülasyon sonucu ile gerçek grafik sonucu karşılaştırması ile % sapma oranları bulunmaktadır.

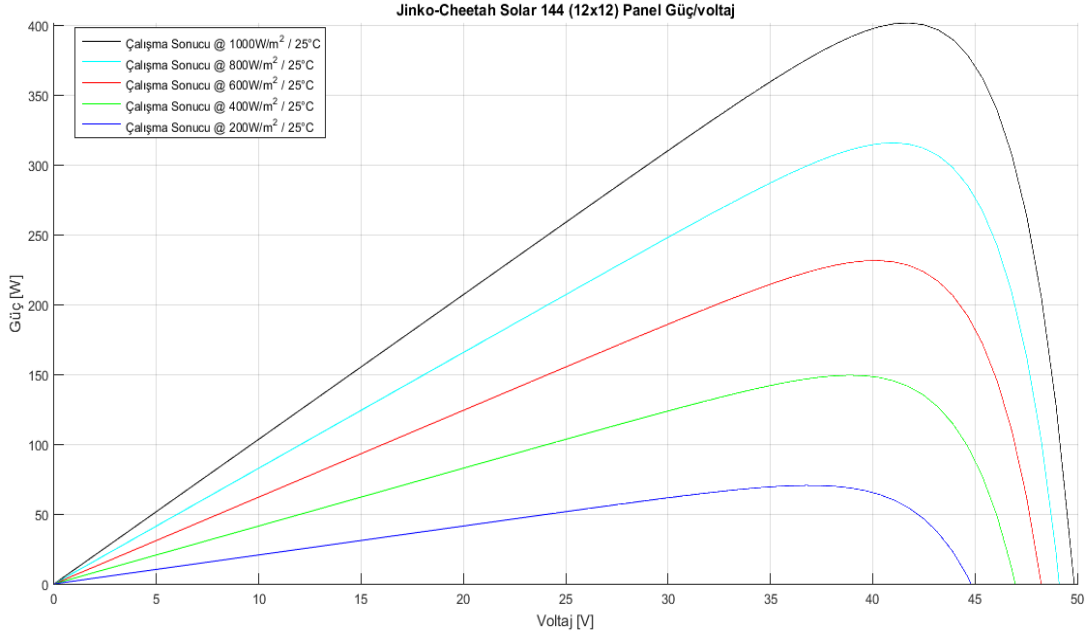
### 5.1.3 Jinko-Cheetah Solar Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre)

#### Similasyonu (Pmax=400 W)

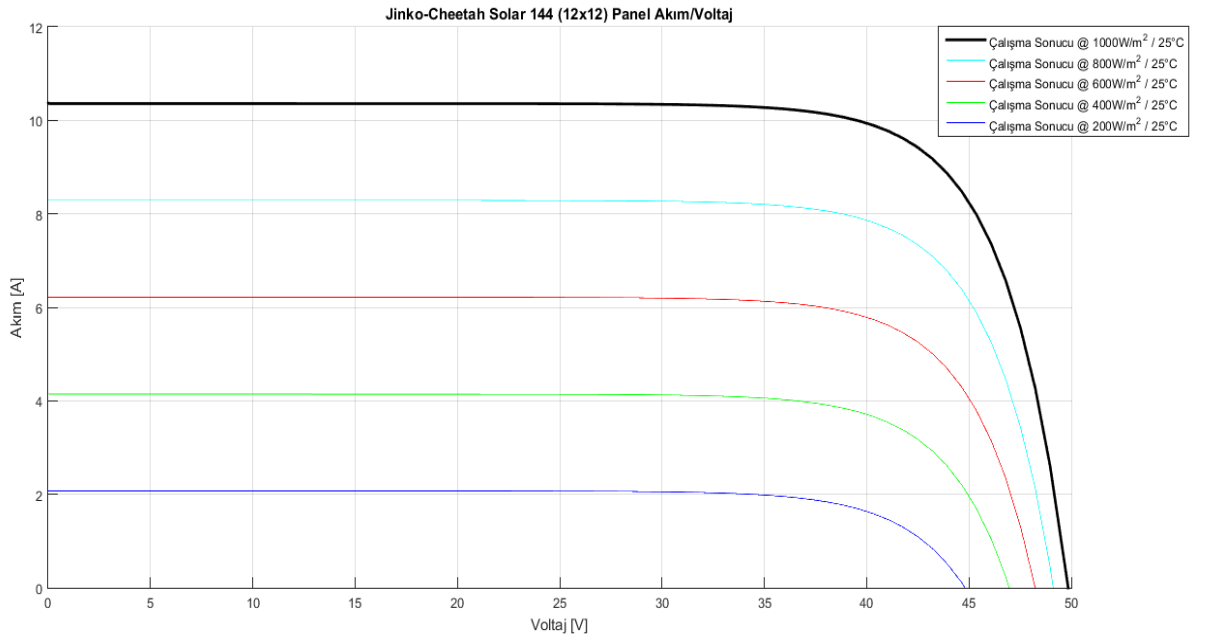
Jinko-Cheetah Solar firmasının EK B’de bulunan CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN panel katalog verilerinden Pmax=400W verisi kullanılarak EK B.2’de Matlab kodları verilmiştir.



**Şekil 5.11:** Jinko-Cheetah Solar (Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN) Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri

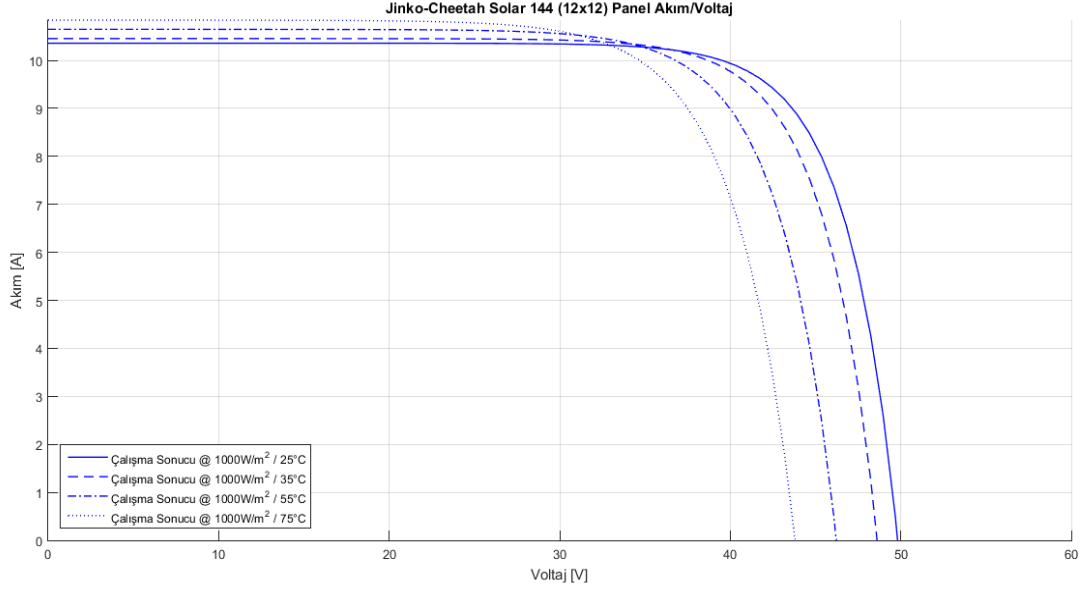


**Şekil 5.12:** Jinko-Cheetah Solar Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Panel (P-V) Grafiği (T=25 °C)



**Şekil 5.13:** Jinko-Cheetah Solar Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Panel (I-V) Grafiği (T=25 °C)

Şekil 5.12 ve Şekil 5.13’de (I-V) ve (P-V) panel eğrileri simülasyon sonucu grafik sonuçları bulunmaktadır. Burada  $P_{max}=400 \text{ W/m}^2$  için geçerli gerçek grafik verileri bulunmadığından sadece panel kataloğunda bulunan parametreler kullanılarak simüle edilmiştir.



**Şekil 5.14:** Jinko-Cheetah Solar Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Panel (I-V) Grafiği ( $G=1000 \text{ W/m}^2$ )

Şekil 5.14’de ise sabit ışınlım ortamı altında ( $G=1000 \text{ W/m}^2$ ) değişken sıcaklık verilerine dayanan I-V eğri grafiği oluşturulmuştur.

**Tablo 5.11:** Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Hücre Verileri ( $T=25^\circ\text{C}$ )

| Radyasyon ( $\text{W/m}^2$ ) | Parametreler | Ölçülen Değer |
|------------------------------|--------------|---------------|
| 1000                         | Pmax         | 2,79          |
|                              | Voc          | 0,69          |
|                              | Isc          | 5,18          |
| 800                          | Pmax         | 2,19          |
|                              | Voc          | 0,68          |
|                              | Isc          | 4,14          |
| 600                          | Pmax         | 1,61          |
|                              | Voc          | 0,67          |
|                              | Isc          | 3,11          |
| 400                          | Pmax         | 1,04          |
|                              | Voc          | 0,65          |
|                              | Isc          | 2,07          |
| 200                          | Pmax         | 0,49          |
|                              | Voc          | 0,62          |
|                              | Isc          | 1,04          |

Tablo 5.11’de Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN panel verilerinden değişken güneş ışınlım altında elde edilen hücre verileri mevcuttur.

**Tablo 5.12:** Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN HÜCRE Verileri (G=1000 W/m<sup>2</sup>)

| Sıcaklık (°C) | Parametreler | Ölçülen Değer |
|---------------|--------------|---------------|
| 25            | Voc          | 49,81         |
|               | Isc          | 10,36         |
| 35            | Voc          | 48,61         |
|               | Isc          | 10,46         |
| 55            | Voc          | 46,22         |
|               | Isc          | 10,65         |
| 75            | Voc          | 43,80         |
|               | Isc          | 10,84         |

**Tablo 5.13:** Jinko-CheetahPercHalf Cell JKM380-400M72H-A1-EN Panel Verileri (T=25°C)

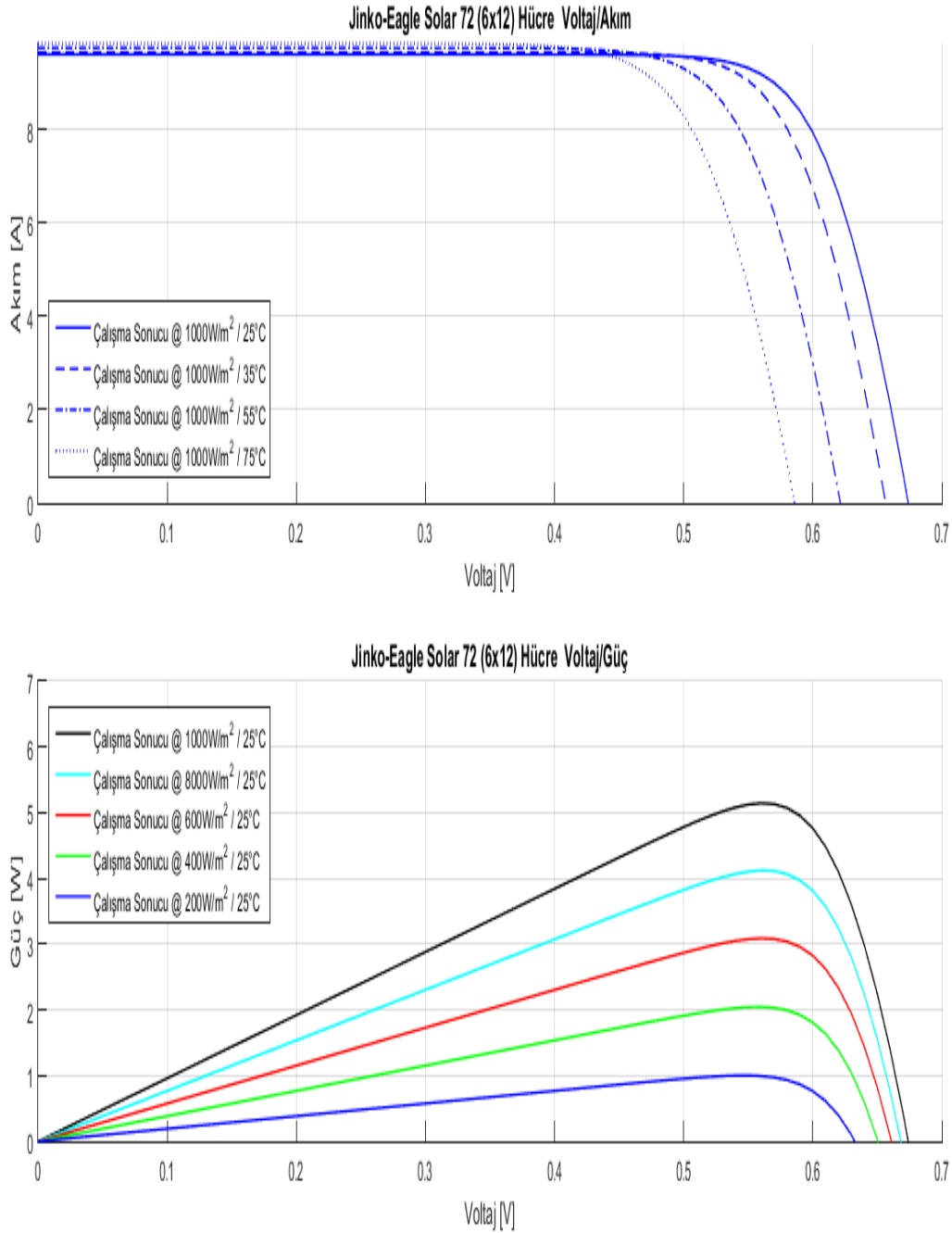
| Radyasyon (W/m <sup>2</sup> ) | Parametreler | Ölçülen Değer |
|-------------------------------|--------------|---------------|
| 1000                          | Pmax         | 401,76        |
|                               | Voc (P-V)    | 49,8          |
|                               | Voc (I-V)    | 49,8          |
|                               | Isc          | 10,36         |
| 800                           | Pmax         | 315,84        |
|                               | Voc (P-V)    | 49,11         |
|                               | Voc (I-V)    | 49,11         |
|                               | Isc          | 8,29          |
| 600                           | Pmax         | 231,51        |
|                               | Voc (P-V)    | 48,23         |
|                               | Voc (I-V)    | 48,23         |
|                               | Isc          | 6,22          |
| 400                           | Pmax         | 149,41        |
|                               | Voc (P-V)    | 46,96         |
|                               | Voc (I-V)    | 46,96         |
|                               | Isc          | 4,15          |
| 200                           | Pmax         | 70,51         |
|                               | Voc (P-V)    | 44,80         |
|                               | Voc (I-V)    | 44,80         |
|                               | Isc          | 2,08          |

**Tablo 5.14:** Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Panel Verileri

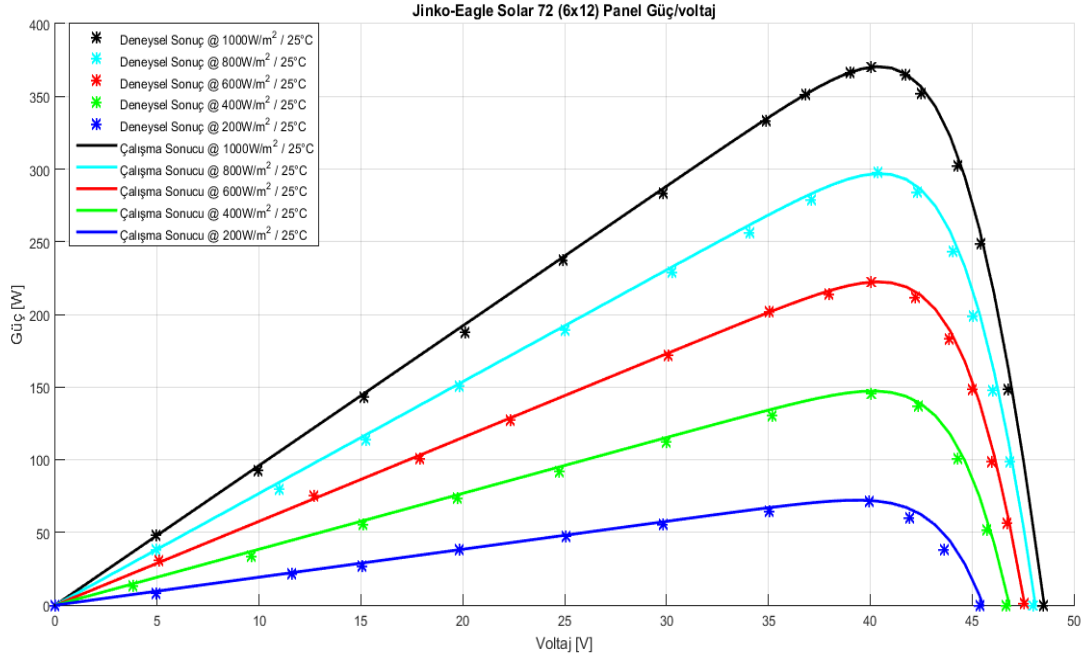
| Modül Parametre   | Ölçülen Değer |
|-------------------|---------------|
| Module Efficiency | 19,97         |
| FF                | 77,98         |
| IO                | 5,70e-07      |
| Rs                | 0,03          |

#### 5.1.4 Jinko-Eagle Solar Full Cell (Tam Hücre) Similasyonu (Pmax=370W)

Jinko-Eagle Solar firmasının EK C’de bulunan EaglePerc JKM360-380M-72-A1-EN panel katalog verilerinden Pmax=370W verisi kullanılarak, bu parametrelere bağlı EK C.1’de Matlab kodları verilmiştir.

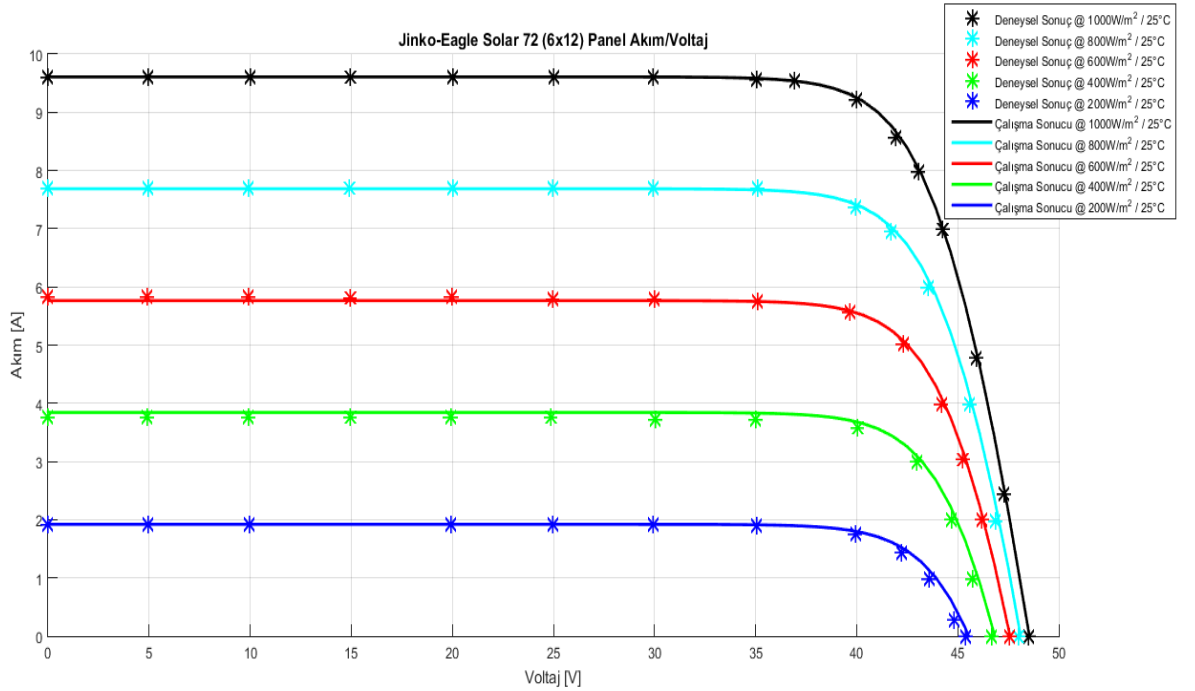


Şekil 5.15: Jinko-Eagle Solar EaglePerc JKM360-380M-72-A1-EN Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri

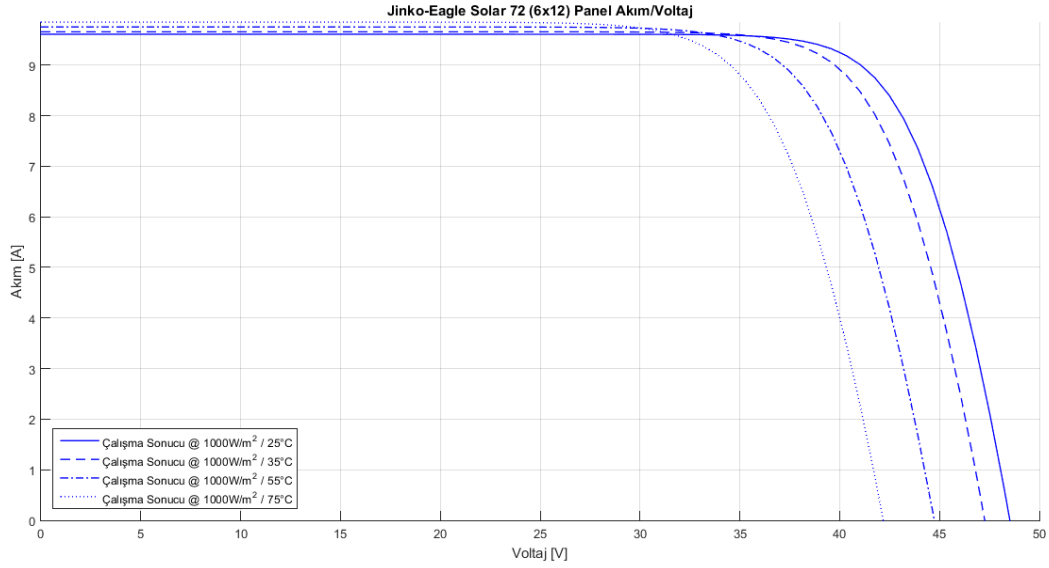


**Şekil 5.16:** Jinko-Eagle Solar EaglePerc JKM360-380M-72-A1-EN Panel (P-V) Grafiği (T=25 °C)

Şekil 5.15, Şekil 5.16 ve Şekil 5.17’de belirtilen parametrelerde “Çalışma Sonucu” isimli çalışma simülasyon çalışması ve “Deneysel Sonuç” isimli çalışma ise gerçek grafik sonuçlarından elde edilen verilerdir.



**Şekil 5.17:** Jinko-Eagle Solar EaglePerc JKM360-380M-72-A1-EN Panel (I-V) Grafiği (T=25 °C)



**Şekil 5.18:** Jinko-Eagle Solar EaglePerc JKM360-380M-72-A1-EN Panel (I-V) Grafiği (G=1000 W/m<sup>2</sup>)

Şekil 5.18’de ise sabit ışınlım ortamı altında (G=1000 W/m<sup>2</sup>) değişken sıcaklık verilerine dayanan I-V eğri grafiği oluşturulmuştur.

**Tablo 5.15:** Jinko-EaglePerc JKM360-380M-72-A1-En Hücre Verileri (T=25 °C)

| <i>Radyasyon<br/>(W/m<sup>2</sup>)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|----------------------------------------|---------------------|----------------------|
| 1000                                   | Pmax                | 5,15                 |
|                                        | Voc                 | 0,67                 |
|                                        | Isc                 | 9,61                 |
| 800                                    | Pmax                | 4,12                 |
|                                        | Voc                 | 0,67                 |
|                                        | Isc                 | 7,67                 |
| 600                                    | Pmax                | 3,09                 |
|                                        | Voc                 | 0,66                 |
|                                        | Isc                 | 5,77                 |
| 400                                    | Pmax                | 2,05                 |
|                                        | Voc                 | 0,65                 |
|                                        | Isc                 | 3,84                 |
| 200                                    | Pmax                | 1,00                 |
|                                        | Voc                 | 0,63                 |
|                                        | Isc                 | 1,92                 |

Tablo 5.15’de Jinko-Eagle Perc JKM360-380M-72-A1-En panel verilerinden değişken güneş ışınlım altında elde edilen hücre verileri mevcuttur.

**Tablo 5.16:** Jinko-EaglePerc JKM360-380M-72-A1-En Hücre Verileri (G=1000 W/m2)

| Sıcaklık (°C) | Parametreler | Ölçülen Değer |
|---------------|--------------|---------------|
| 25            | Pmax         | 5,15          |
|               | Voc          | 0,67          |
|               | Isc          | 9,61          |
| 35            | Pmax         | 4,98          |
|               | Voc          | 0,66          |
|               | Isc          | 9,66          |
| 55            | Pmax         | 4,66          |
|               | Voc          | 0,62          |
|               | Isc          | 9,75          |
| 75            | Pmax         | 4,33          |
|               | Voc          | 0,59          |
|               | Isc          | 9,85          |

Tablo 5.16’da Jinko-EaglePerc JKM360-380M-72-A1-En panel verilerinden değişken sıcaklıklarda elde edilen hücre verileri mevcuttur.

**Tablo 5.17:** Jinko-EaglePerc JKM360-380M-72-A1-En Panel Verileri (T=25 °C)

| Radyasyon (W/m2) | Parametreler | Ölçülen Değer | Eagle Perc Değeri | %Sapma |
|------------------|--------------|---------------|-------------------|--------|
| 1000             | Pmax         | 370,52        | 370,00            | -0,14  |
|                  | Voc (P-V)    | 48,54         | 48,50             | -0,09  |
|                  | Voc (I-V)    | 48,54         | 48,50             | -0,09  |
|                  | Isc          | 9,61          | 9,61              | 0,00   |
| 800              | Pmax         | 296,90        | 297,97            | 0,36   |
|                  | Voc (P-V)    | 48,11         | 47,98             | -0,27  |
|                  | Voc (I-V)    | 48,11         | 47,98             | -0,27  |
|                  | Isc          | 7,69          | 7,71              | 0,22   |
| 600              | Pmax         | 222,43        | 222,15            | -0,12  |
|                  | Voc (P-V)    | 47,58         | 47,56             | -0,05  |
|                  | Voc (I-V)    | 47,58         | 47,56             | -0,05  |
|                  | Isc          | 5,77          | 5,82              | 0,90   |
| 400              | Pmax         | 147,27        | 145,57            | -1,17  |
|                  | Voc (P-V)    | 46,83         | 46,66             | -0,36  |
|                  | Voc (I-V)    | 46,83         | 46,66             | -0,36  |
|                  | Isc          | 3,85          | 3,77              | -2,16  |
| 200              | Pmax         | 72,15         | 71,27             | -1,24  |
|                  | Voc (P-V)    | 45,53         | 45,39             | -0,32  |
|                  | Voc (I-V)    | 45,53         | 45,39             | -0,32  |
|                  | Isc          | 1,93          | 1,92              | -0,42  |

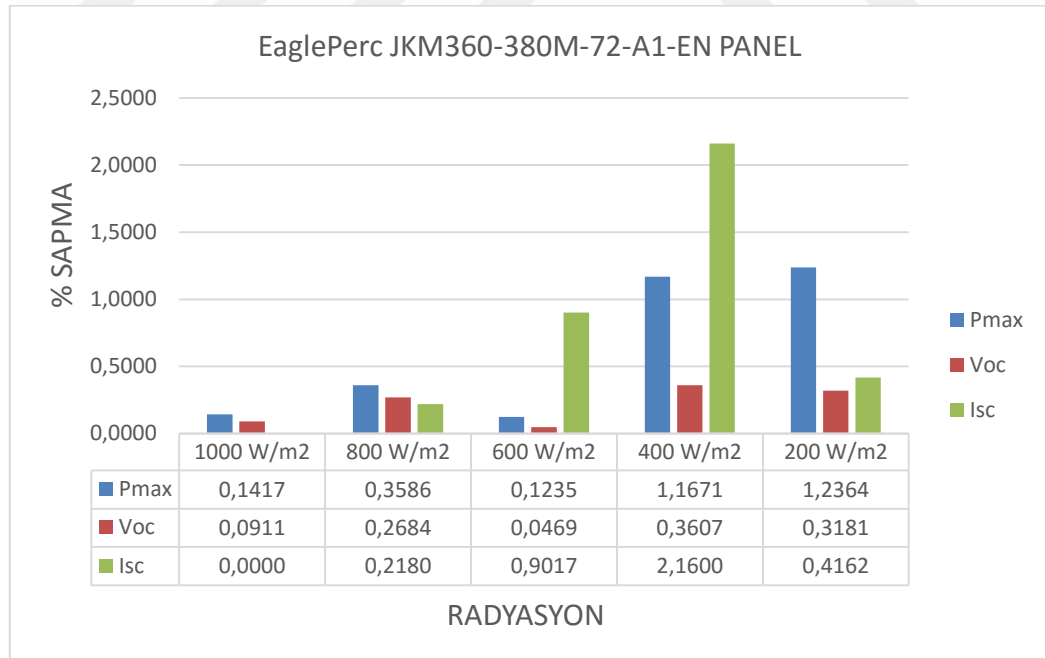
**Tablo 5.18:** Jinko-EaglePerc JKM360-380M-72-A1-En Panel Verileri (G=1000 W/m2)

| Sıcaklık (°C) | Parametreler | Ölçülen Değer |
|---------------|--------------|---------------|
| 25            | Voc          | 48,52         |
|               | Isc          | 9,61          |
| 35            | Voc          | 47,26         |
|               | Isc          | 9,66          |
| 55            | Voc          | 44,74         |
|               | Isc          | 9,75          |
| 75            | Voc          | 42,18         |
|               | Isc          | 9,85          |

**Tablo 5.19:** Jinko-EaglePerc JKM360-380M-72-A1-En Panel Verileri

| Modül Parametre   | Ölçülen Değer |
|-------------------|---------------|
| Module Efficiency | 19,10         |
| FF                | 79,42         |
| IO                | 3,93e-11      |
| Rs                | 0,26          |

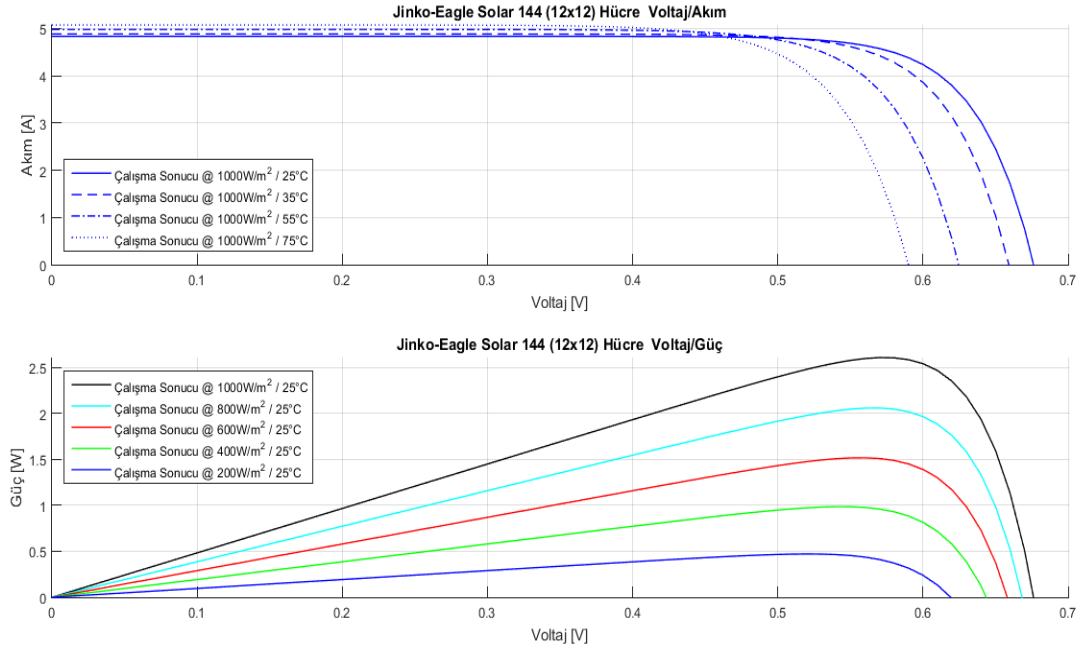
Tablo 5.19’da Jinko-EaglePerc JKM360-380M-72-A1-En panel verileri kullanılarak elde edilen modül verileri mevcuttur.

**Şekil 5.19:** EaglePerc JKM360-380M-72-A1-En Panel %Sapma Verileri

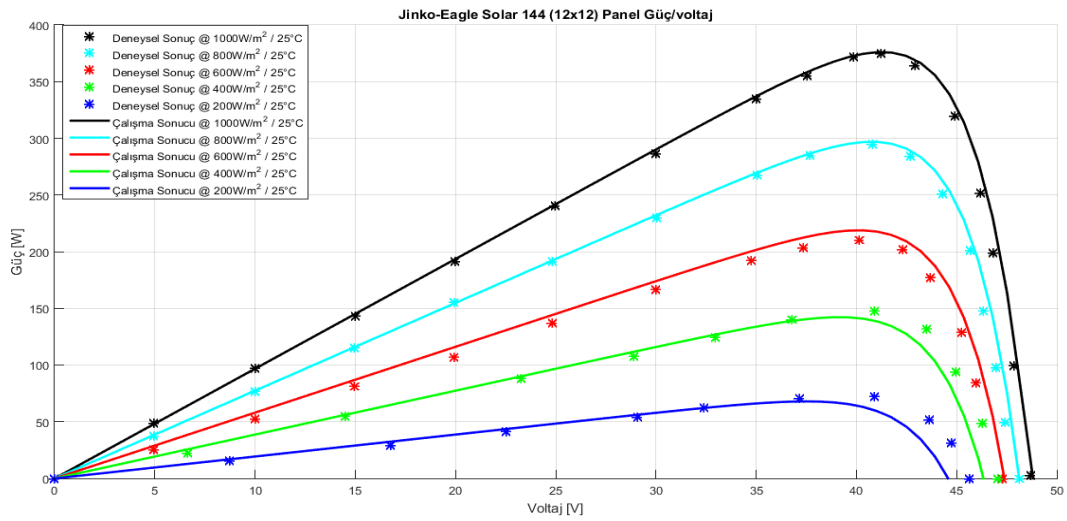
Şekil 5.19’de Jinko-EaglePerc JKM360-380M-72-A1-En panel verileri kullanılarak oluşturulan simülasyon sonucu ile gerçek grafik sonucu karşılaştırması ile % sapma oranları bulunmaktadır.

### 5.1.5 Jinko-Eagle Solar Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) Similasyonu (Pmax=375 W)

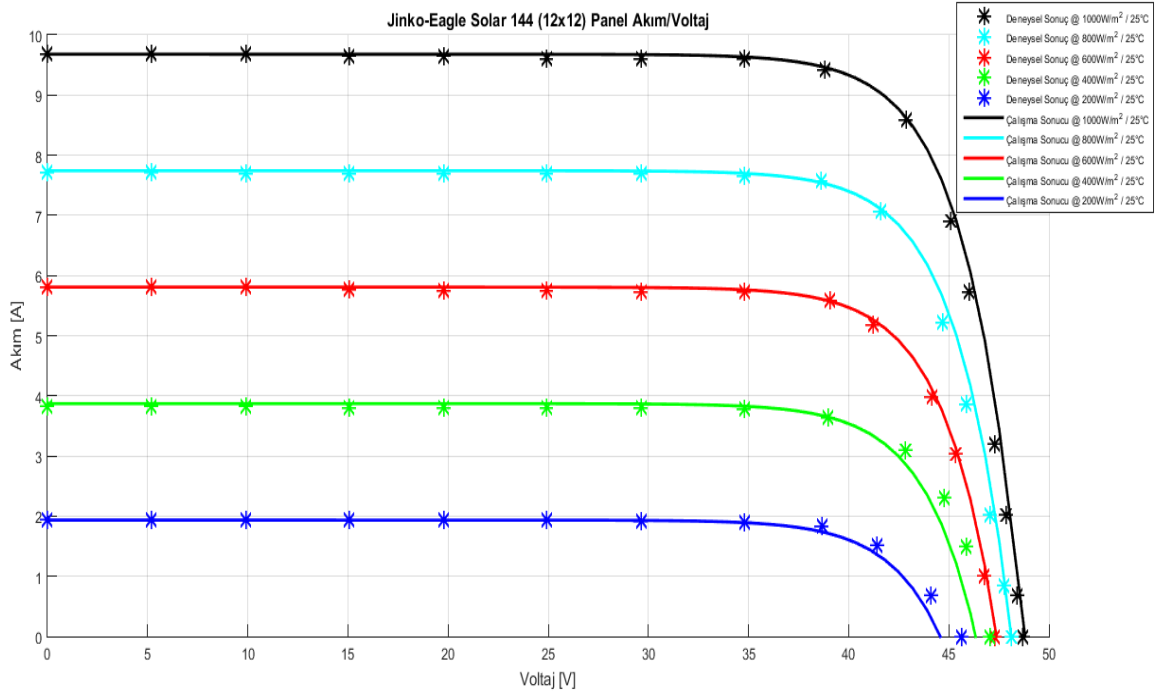
Jinko-Eagle Solar firmasının EK D’de bulunan EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-EN panel katalog verisinden Pmax=375W verisi kullanılarak EK D.1’de Matlab kodları verilmiştir.



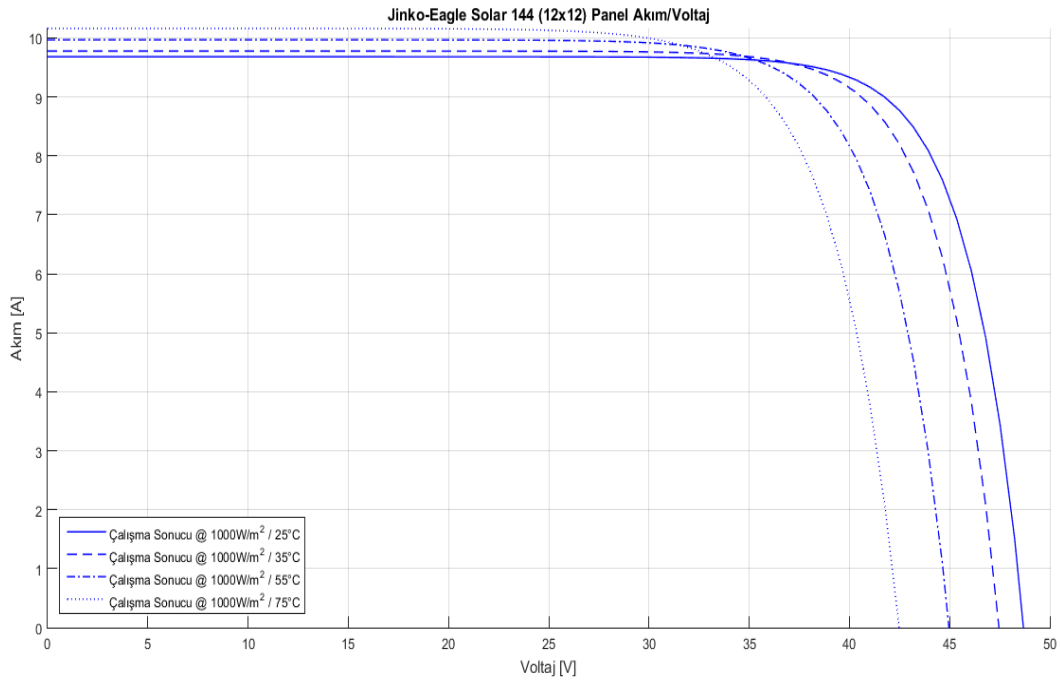
**Şekil 5.20:** Jinko- EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-En Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri



**Şekil 5.21:** Jinko- EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-En Panel (P-V) Grafiği (T=25 °C)



**Şekil 5.22:** Jinko- EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-En Panel (I-V) Grafiği (T=25 °C)



**Şekil 5.23:** Jinko- EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-En Panel (I-V) Grafiği (G=1000 W/m²)

Şekil 5.23'te ise sabit ışınlam ortamı altında ( $G=1000 \text{ W/m}^2$ ) değişken sıcaklık verilerine dayanan I-V eğri grafiği oluşturulmuştur.

**Tablo 5.20:** Jinko- EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-En Hücre Verileri (T=25 °C)

| <i>Radyasyon<br/>(W/m2)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|-----------------------------|---------------------|----------------------|
| 1000                        | Pmax                | 2,61                 |
|                             | Voc                 | 0,68                 |
|                             | Isc                 | 4,84                 |
| 800                         | Pmax                | 2,06                 |
|                             | Voc                 | 0,67                 |
|                             | Isc                 | 3,87                 |
| 600                         | Pmax                | 1,52                 |
|                             | Voc                 | 0,66                 |
|                             | Isc                 | 2,90                 |
| 400                         | Pmax                | 0,99                 |
|                             | Voc                 | 0,64                 |
|                             | Isc                 | 1,94                 |
| 200                         | Pmax                | 0,47                 |
|                             | Voc                 | 0,62                 |
|                             | Isc                 | 0,97                 |

Tablo 5.20’de (Jinko-EaglePercMono Half CellJKM370-390M-72H-A1-EN ) panel verilerinden değişken güneş ışınlm altında elde edilen hücre verileri mevcuttur.

**Tablo 5.21:** Jinko- EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-En Hücre Verileri (G=1000 W/m2)

| <i>Sıcaklık (°C )</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|-----------------------|---------------------|----------------------|
| 25                    | Pmax                | 2,61                 |
|                       | Voc                 | 0,68                 |
|                       | Isc                 | 4,84                 |
| 35                    | Pmax                | 2,54                 |
|                       | Voc                 | 0,66                 |
|                       | Isc                 | 4,89                 |
| 55                    | Pmax                | 2,40                 |
|                       | Voc                 | 0,62                 |
|                       | Isc                 | 4,98                 |
| 75                    | Pmax                | 2,26                 |
|                       | Voc                 | 0,59                 |
|                       | Isc                 | 5,08                 |

Tablo 5.21’de Jinko- EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-En panel verilerinden değişken sıcaklıklarda elde edilen hücre verileri mevcuttur.

**Tablo 5.22:** Jinko- EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-En Panel Verileri (T=25 °C)

| <i>Radyasyon (W/m2)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> | <i>Eagle Mono Perc Half Değeri</i> | <i>%Sapma</i> |
|-------------------------|---------------------|----------------------|------------------------------------|---------------|
| 1000                    | Pmax                | 376,02               | 375,00                             | -0,27         |
|                         | Voc (P-V)           | 48,81                | 48,70                              | -0,22         |
|                         | Voc (I-V)           | 48,81                | 48,70                              | -0,22         |
|                         | Isc                 | 9,68                 | 9,68                               | 0,00          |
| 800                     | Pmax                | 296,85               | 294,70                             | -0,73         |
|                         | Voc (P-V)           | 48,12                | 48,13                              | 0,03          |
|                         | Voc (I-V)           | 48,12                | 48,13                              | 0,03          |
|                         | Isc                 | 7,75                 | 7,73                               | -0,30         |
| 600                     | Pmax                | 218,82               | 209,85                             | -4,28         |
|                         | Voc (P-V)           | 47,38                | 47,31                              | -0,16         |
|                         | Voc (I-V)           | 47,38                | 47,31                              | -0,16         |
|                         | Isc                 | 5,81                 | 5,81                               | -0,03         |
| 400                     | Pmax                | 142,21               | 147,46                             | 3,56          |
|                         | Voc (P-V)           | 46,33                | 47,04                              | 1,50          |
|                         | Voc (I-V)           | 46,33                | 47,04                              | 1,50          |
|                         | Isc                 | 3,88                 | 3,83                               | -1,31         |
| 200                     | Pmax                | 67,97                | 72,27                              | 5,95          |
|                         | Voc (P-V)           | 44,57                | 45,64                              | 2,34          |
|                         | Voc (I-V)           | 44,57                | 45,64                              | 2,34          |
|                         | Isc                 | 1,94                 | 1,94                               | -0,21         |

Tablo 5.22’de Jinko-EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-EN panel verilerinden değişken güneş ışınlm altında elde edilen modül verileri ve gerçek grafik sonuçları karşılaştırması sonucundaki sapma oranları mevcuttur.

**Tablo 5.23:** Jinko-EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-En Panel Verileri (G=1000 W/m2)

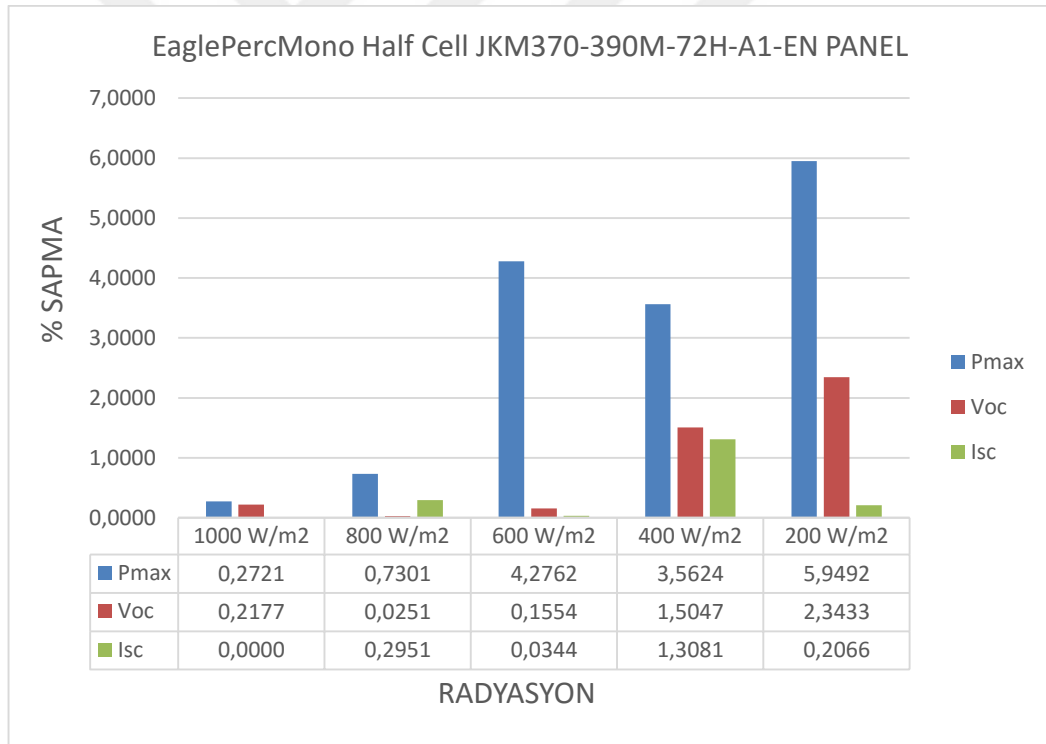
| <i>Sıcaklık (°C)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|----------------------|---------------------|----------------------|
| 25                   | Voc                 | 48,68                |
|                      | Isc                 | 9,68                 |
| 35                   | Voc                 | 47,46                |
|                      | Isc                 | 9,78                 |
| 55                   | Voc                 | 44,96                |
|                      | Isc                 | 9,97                 |
| 75                   | Voc                 | 42,48                |
|                      | Isc                 | 10,16                |

Tablo 5.23’de Jinko-EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-EN panel verilerinden değişken sıcaklıklarda elde edilen modül verileri mevcuttur.

**Tablo 5.24:** Jinko-EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-En Panel Verileri

| Modül Parametre   | Ölçülen Değer |
|-------------------|---------------|
| Module Efficiency | 19,08         |
| FF                | 79,59         |
| IO                | 2,66e-08      |
| Rs                | 0,035         |

Tablo 5.24’de Jinko-EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-EN panel verileri kullanarak elde edilen modül verileri mevcuttur.

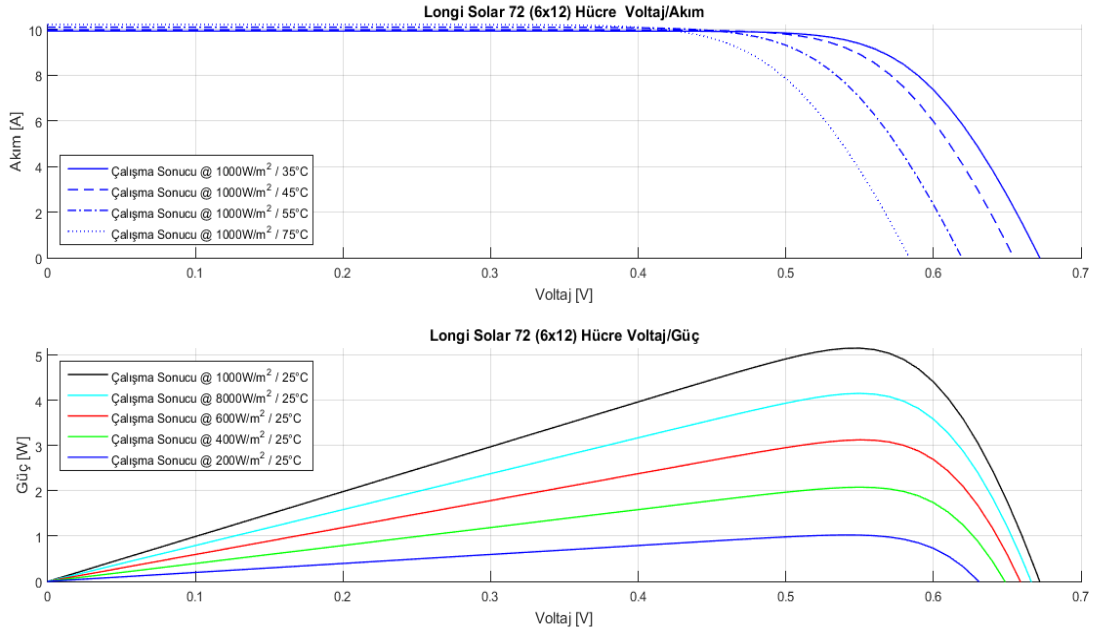


**Şekil 5.24:** EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-En Panel %Sapma Verileri

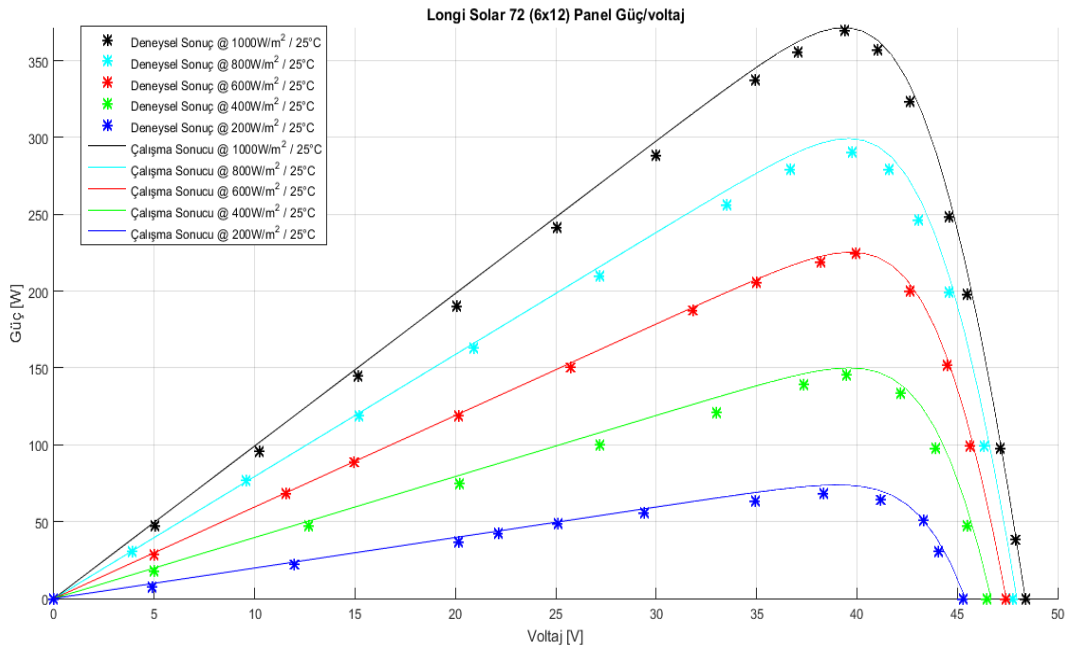
Şekil 5.24’te Jinko-EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-EN panel verileri kullanarak oluşturulan simülasyon sonucu ile gerçek grafik sonucu karşılaştırması ile % sapma oranları bulunmaktadır.

### 5.1.6 Longi Solar Full Cell (Tam Hücre) Similasyonu (Pmax=370 W)

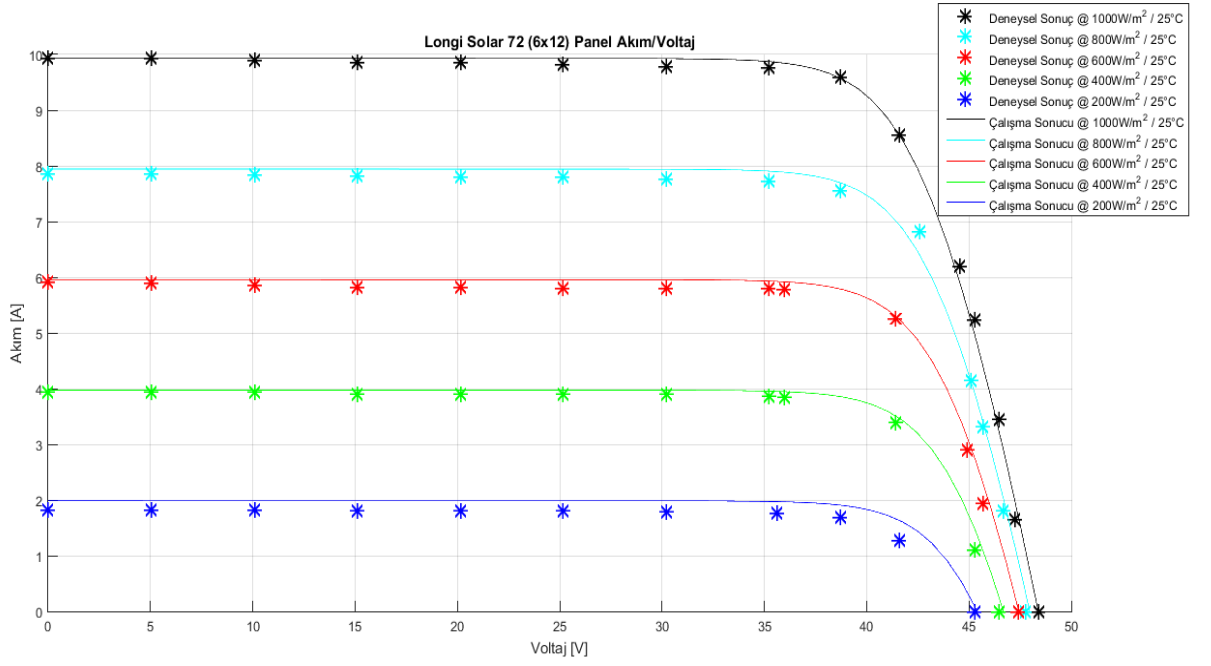
Longi Solar firmasının EK E’de bulunan LR6-72PH Full Mono360-380M panel katalog verisinden Pmax=370W verisi kullanılarak EK E.1’de Matlab kodları verilmiştir.



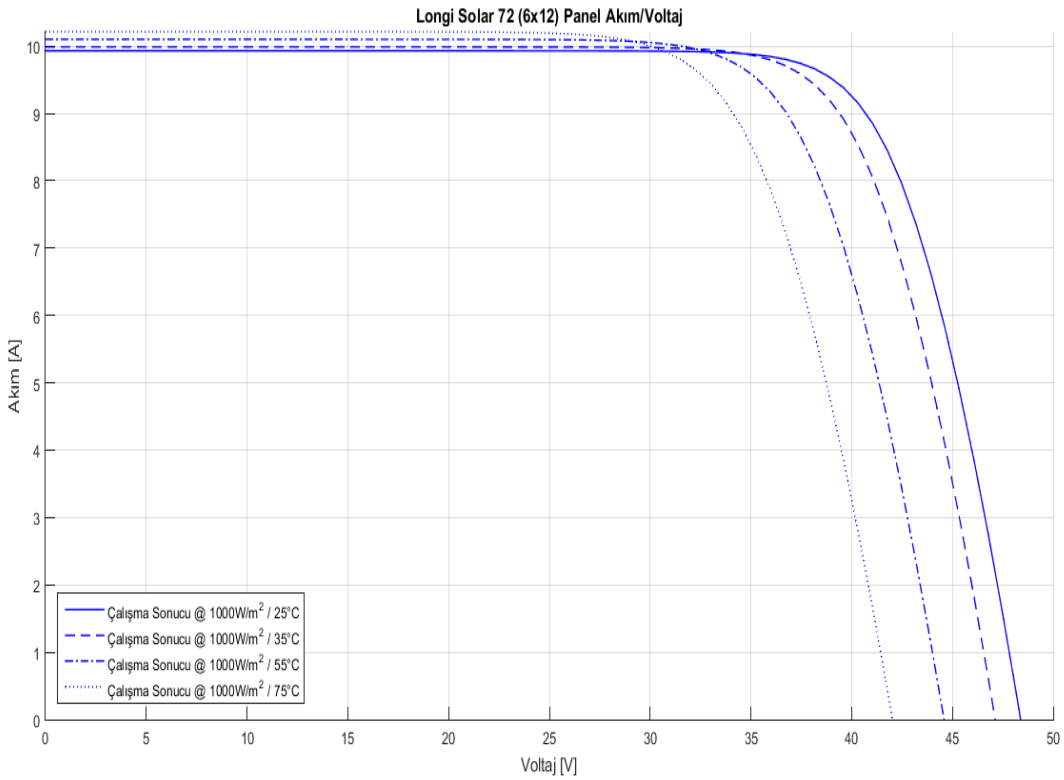
Şekil 5.25: Longi Solar LR6-72PH Full Mono360-380M Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri



Şekil 5.26: Longi Solar LR6-72PH Full Mono360-380M Panel (P-V) Grafiği (T=25 °C)



Şekil 5.27: Longi Solar LR6-72PH Full Mono360-380M Panel (I-V) Grafiği (T=25 °C)



Şekil 5.28: Longi Solar LR6-72PH Full Mono360-380M Panel (I-V) Grafiği (G=1000 W/m<sup>2</sup>)

Şekil 5.28'de ise sabit ışınlım ortamı altında (G=1000 W/m<sup>2</sup>) değişken sıcaklık verilerine dayanan I-V eğri grafiği oluşturulmuştur.

**Tablo 5.25:** Longi Solar LR6-72PH Full Mono360-380M Hücre Verileri (T=25 °C)

| <i>Radyasyon<br/>(W/m2)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|-----------------------------|---------------------|----------------------|
| 1000                        | Pmax                | 5,16                 |
|                             | Voc                 | 0,67                 |
|                             | Isc                 | 9,93                 |
| 800                         | Pmax                | 4,16                 |
|                             | Voc                 | 0,67                 |
|                             | Isc                 | 7,94                 |
| 600                         | Pmax                | 3,13                 |
|                             | Voc                 | 0,66                 |
|                             | Isc                 | 5,96                 |
| 400                         | Pmax                | 2,08                 |
|                             | Voc                 | 0,65                 |
|                             | Isc                 | 3,97                 |
| 200                         | Pmax                | 1,03                 |
|                             | Voc                 | 0,63                 |
|                             | Isc                 | 1,99                 |

Tablo 5.25’de Longi Solar LR6-72PH Full Mono 360-380M panel verilerinden değişken güneş ışınım altında elde edilen hücre verileri mevcuttur.

**Tablo 5.26:** Longi Solar LR6-72PH Full Mono 360-380M Hücre Verileri (G=1000W/m2)

| <i>Sıcaklık (°C)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|----------------------|---------------------|----------------------|
| 25                   | Pmax                | 5,16                 |
|                      | Voc                 | 0,67                 |
|                      | Isc                 | 9,93                 |
| 35                   | Pmax                | 5,00                 |
|                      | Voc                 | 0,65                 |
|                      | Isc                 | 9,99                 |
| 55                   | Pmax                | 4,67                 |
|                      | Voc                 | 0,62                 |
|                      | Isc                 | 10,10                |
| 75                   | Pmax                | 4,33                 |
|                      | Voc                 | 0,58                 |
|                      | Isc                 | 10,22                |

Tablo 5.26’da Longi Solar LR6-72PH Full Mono 360-380M panel verilerinden değişken sıcaklıklarda elde edilen hücre verileri mevcuttur.

**Tablo 5.27:** Longi Solar LR6-72PH Full Mono 360-380 M Panel Verileri (T=25 °C)

| <i>Radyasyon (W/m2)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> | <i>Longi Mono Değeri</i> | <i>%Sapma</i> |
|-------------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|---------------|
| 1000                    | Pmax                | 371,45               | 370,00                   | -0,39         |
|                         | Voc (P-V)           | 48,39                | 48,40                    | 0,02          |
|                         | Voc (I-V)           | 48,39                | 48,40                    | 0,02          |
|                         | Isc                 | 9,93                 | 9,93                     | 0,00          |
| 800                     | Pmax                | 299,38               | 290,81                   | -2,95         |
|                         | Voc (P-V)           | 47,97                | 47,74                    | -0,48         |
|                         | Voc (I-V)           | 47,97                | 47,74                    | -0,48         |
|                         | Isc                 | 7,95                 | 7,86                     | -1,13         |
| 600                     | Pmax                | 225,42               | 224,94                   | -0,22         |
|                         | Voc (P-V)           | 47,44                | 47,41                    | -0,06         |
|                         | Voc (I-V)           | 47,44                | 47,41                    | -0,06         |
|                         | Isc                 | 5,96                 | 5,92                     | -0,73         |
| 400                     | Pmax                | 150,07               | 145,76                   | -2,96         |
|                         | Voc (P-V)           | 46,68                | 46,46                    | -0,47         |
|                         | Voc (I-V)           | 46,68                | 46,46                    | -0,47         |
|                         | Isc                 | 3,98                 | 3,93                     | -1,25         |
| 200                     | Pmax                | 73,91                | 68,67                    | -7,62         |
|                         | Voc (P-V)           | 45,40                | 45,28                    | -0,26         |
|                         | Voc (I-V)           | 45,40                | 45,28                    | -0,26         |
|                         | Isc                 | 1,99                 | 1,82                     | -9,31         |

Tablo 5.27’de Longi Solar LR6-72PH Full Mono360-380M panel verilerinden değişken güneş ışınlam altında elde edilen modül verileri ve gerçek grafik sonuçları karşılaştırması sonucundaki sapma oranları mevcuttur.

**Tablo 5.28:** Longi Solar LR6-72PH Full Mono 360-380M Panel Verileri (G=1000 W/m2)

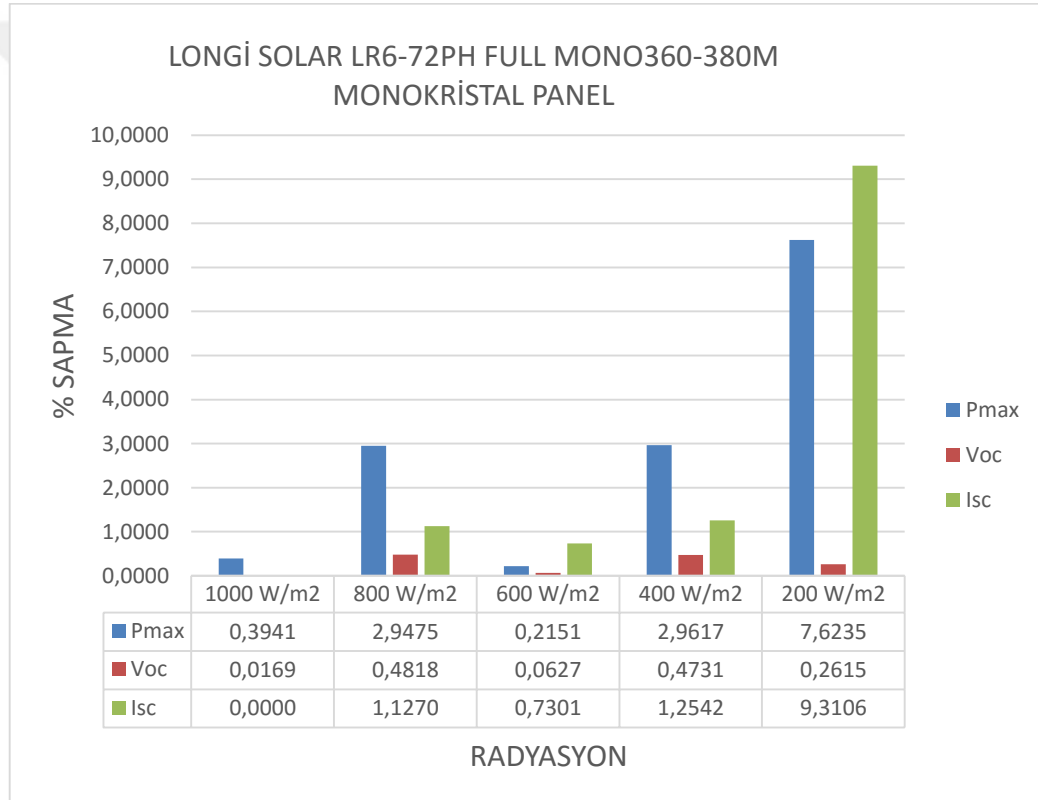
| <i>Sıcaklık (°C)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|----------------------|---------------------|----------------------|
| 25                   | Voc                 | 48,38                |
|                      | Isc                 | 9,93                 |
| 35                   | Voc                 | 47,12                |
|                      | Isc                 | 9,99                 |
| 55                   | Voc                 | 44,58                |
|                      | Isc                 | 10,10                |
| 75                   | Voc                 | 42,02                |
|                      | Isc                 | 10,22                |

Tablo 5.28’de Longi Solar LR6-72PH Full Mono360-380M panel verilerinden değişken sıcaklıklarda elde edilen modül verileri mevcuttur.

**Tablo 5.29:** Longi Solar LR6-72PH Full Mono360-380M Panel Verileri

| Modül Parametre   | Ölçülen Değer |
|-------------------|---------------|
| Module Efficiency | 19,16         |
| FF                | 77,54         |
| IO                | 4,39e-11      |
| Rs                | 0,037         |

Tablo 5.29’da Longi Solar LR6-72PH Full Mono360-380M panel verileri kullanılarak elde edilen modül verileri mevcuttur.

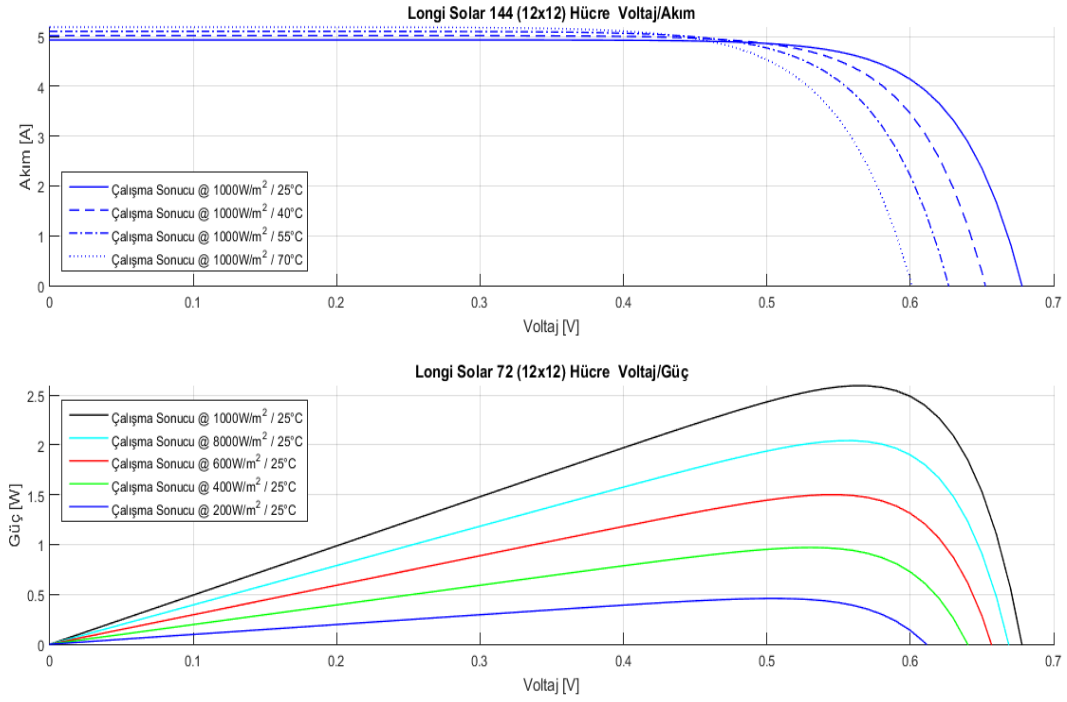


**Şekil 5.29:** Longi Solar LR6-72PH Full Mono360-380M Panel %Sapma Verileri

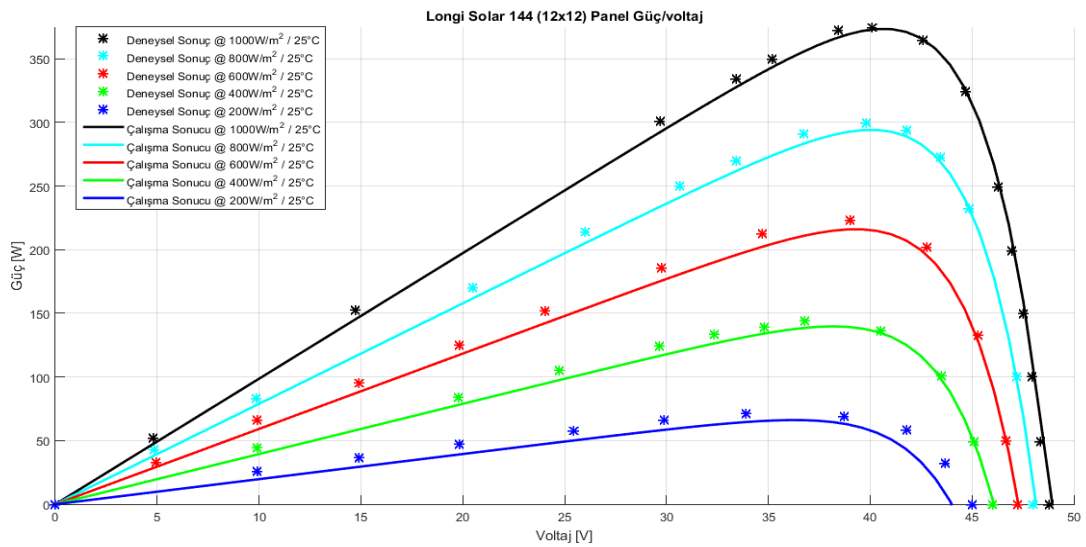
Şekil 5.29’da Longi Solar LR6-72PH Full Mono360-380M panel verileri kullanılarak oluşturulan simülasyon sonucu ile gerçek grafik sonucu karşılaştırması ile % sapma oranları bulunmaktadır.

### 5.1.7 Longi Solar Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) Similasyonu (P<sub>max</sub>=375 W)

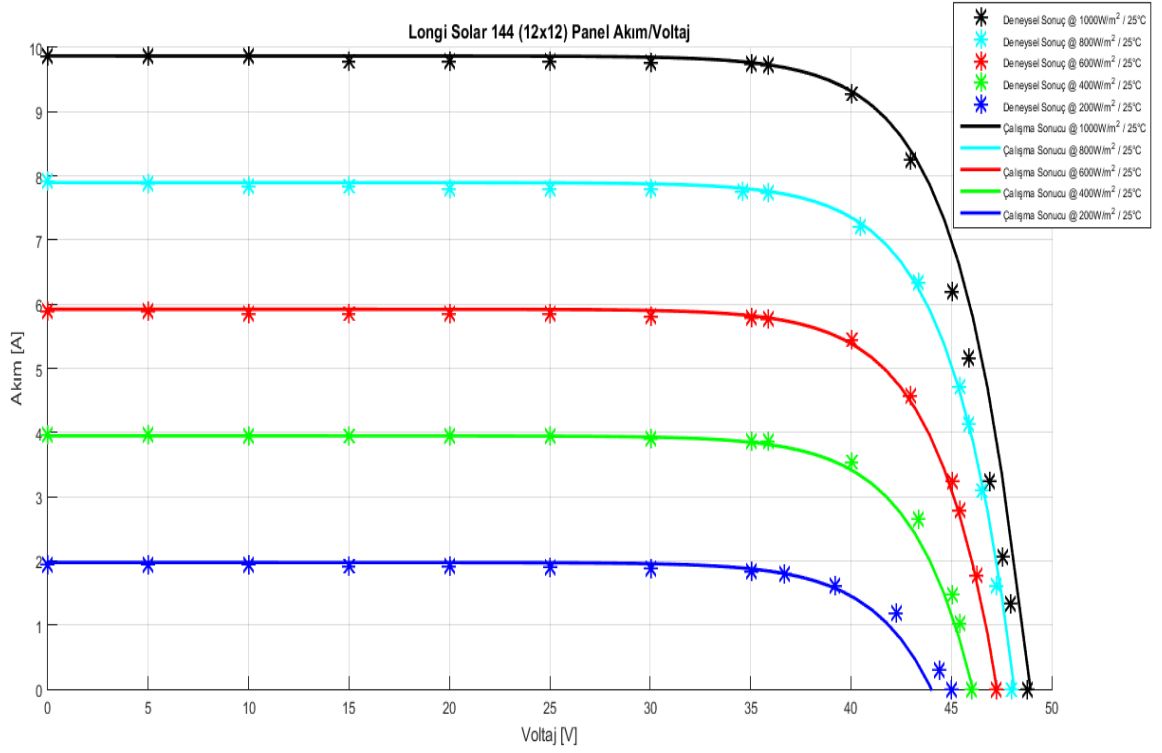
Longi Solar firmasının EK F’de bulunan LR6-72HPH Perc Half Mono365-385M panel katalog verisinden P<sub>max</sub>=375W verisi kullanılarak EK F.1’de Matlab kodları verilmiştir.



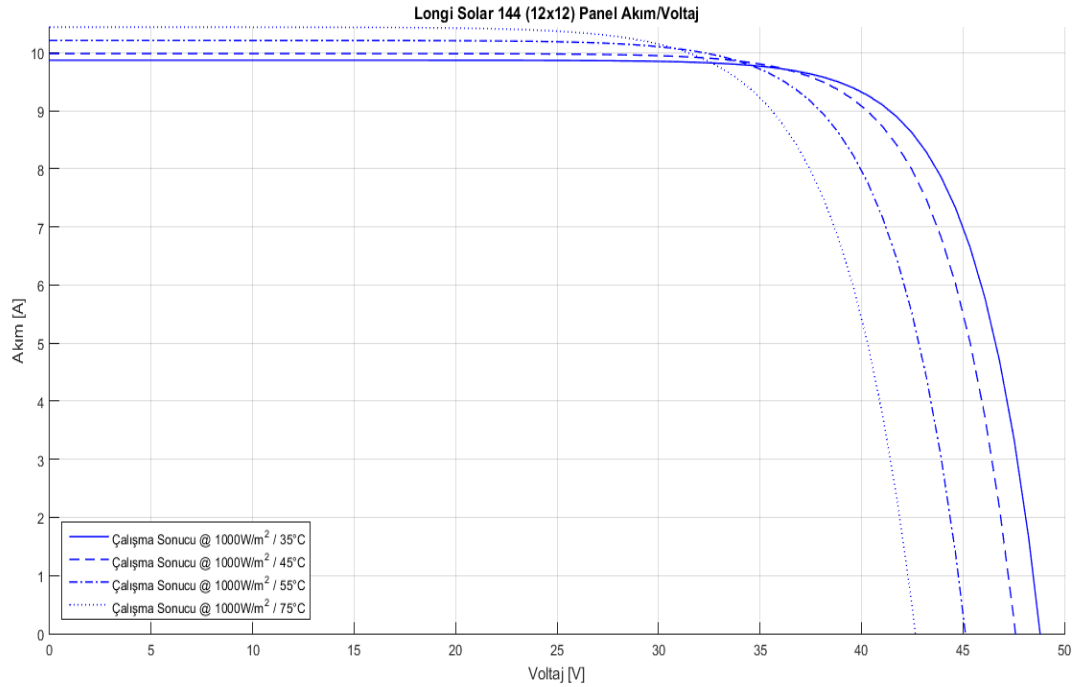
**Şekil 5.30:** Longi Solar LR6-72HPH Perc Half Mono365-385M Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri



**Şekil 5.31:** Longi Solar LR6-72HPH Perc Half Mono365-385M Panel (P-V) Grafiği  
(T=25 °C)



**Şekil 5.32:** Longi Solar LR6-72HPH Perc Half Mono365-385M Panel (I-V) Grafiği  
(T=25 °C)



**Şekil 5.33:** Longi Solar LR6-72HPH Perc Half Mono365-385M Panel (I-V) Grafiği  
(G=1000 W/m²)

Şekil 5.33'te ise sabit ışınlm ortamı altında ( $G=1000 \text{ W/m}^2$ ) değişken sıcaklık verilerine dayanan I-V eğri grafiği oluşturulmuştur.

**Tablo 5.30:** Longi Solar LR6-72HPH Perc Half Mono365-385M Hücre Verileri ( $T=25^\circ\text{C}$ )

| <i>Radyasyon (W/m2)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>llen Değer</i> |
|-------------------------|---------------------|----------------------|
| 1000                    | Pmax                | 2,59                 |
|                         | Voc                 | 0,68                 |
|                         | Isc                 | 4,94                 |
| 800                     | Pmax                | 2,04                 |
|                         | Voc                 | 0,67                 |
|                         | Isc                 | 3,95                 |
| 600                     | Pmax                | 1,50                 |
|                         | Voc                 | 0,66                 |
|                         | Isc                 | 2,96                 |
| 400                     | Pmax                | 0,97                 |
|                         | Voc                 | 0,64                 |
|                         | Isc                 | 1,97                 |
| 200                     | Pmax                | 0,46                 |
|                         | Voc                 | 0,61                 |
|                         | Isc                 | 0,99                 |

Tablo 5.30'da Longi Solar LR6-72HPH Perc Half Mono365-385M panel verilerinden değişken güneş ışınlm altında elde edilen hücre verileri mevcuttur.

**Tablo 5.31:** Longi Solar LR6-72HPH Perc Half Mono365-385M Hücre Verileri( $G=1000 \text{ W/m}^2$ )

| <i>Sıcaklık (°C )</i> | <i>Parametreler</i> | <i>llen Değer</i> |
|-----------------------|---------------------|----------------------|
| 25                    | Pmax                | 2,59                 |
|                       | Voc                 | 0,68                 |
|                       | Isc                 | 4,94                 |
| 35                    | Pmax                | 2,53                 |
|                       | Voc                 | 0,66                 |
|                       | Isc                 | 5,02                 |
| 55                    | Pmax                | 2,39                 |
|                       | Voc                 | 0,63                 |
|                       | Isc                 | 5,11                 |
| 75                    | Pmax                | 2,25                 |
|                       | Voc                 | 0,60                 |
|                       | Isc                 | 5,19                 |

**Tablo 5.32:** Longi Solar LR6-72HPH Perc Half Mono365-385M Panel Verileri (T=25 °C)

| <i>Radyasyon<br/>(W/m2)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen<br/>Değer</i> | <i>Longi Mono Perc<br/>Half Değeri</i> | <i>%Sapma</i> |
|-----------------------------|---------------------|--------------------------|----------------------------------------|---------------|
| 1000                        | Pmax                | 373,52                   | 375,00                                 | 0,39          |
|                             | Voc (P-V)           | 48,94                    | 48,80                                  | -0,29         |
|                             | Voc (I-V)           | 48,94                    | 48,80                                  | -0,29         |
|                             | Isc                 | 9,87                     | 9,87                                   | 0,00          |
| 800                         | Pmax                | 294,20                   | 299,72                                 | 1,84          |
|                             | Voc (P-V)           | 48,14                    | 48,00                                  | -0,29         |
|                             | Voc (I-V)           | 48,14                    | 48,00                                  | -0,29         |
|                             | Isc                 | 7,90                     | 7,92                                   | 0,23          |
| 600                         | Pmax                | 216,06                   | 223,03                                 | 3,12          |
|                             | Voc (P-V)           | 47,27                    | 47,25                                  | -0,04         |
|                             | Voc (I-V)           | 47,27                    | 47,25                                  | -0,04         |
|                             | Isc                 | 5,93                     | 5,89                                   | -0,64         |
| 400                         | Pmax                | 139,79                   | 144,23                                 | 3,08          |
|                             | Voc (P-V)           | 46,08                    | 45,99                                  | -0,20         |
|                             | Voc (I-V)           | 46,08                    | 45,99                                  | -0,20         |
|                             | Isc                 | 3,95                     | 3,96                                   | 0,32          |
| 200                         | Pmax                | 66,14                    | 71,06                                  | 6,92          |
|                             | Voc (P-V)           | 44,00                    | 45,00                                  | 2,23          |
|                             | Voc (I-V)           | 44,00                    | 45,00                                  | 2,23          |
|                             | Isc                 | 1,98                     | 1,94                                   | -2,21         |

Tablo 5.32’de Longi Solar LR6-72HPH Perc Half Mono365-385M panel verilerinden değişken güneş ışınlam altında elde edilen modül verileri ve gerçek grafik sonuçları karşılaştırması sonucundaki sapma oranları mevcuttur.

**Tablo 5.33:** LR6-72HPH Half Mono365-385M Panel Verileri (G=1000 W/m2)

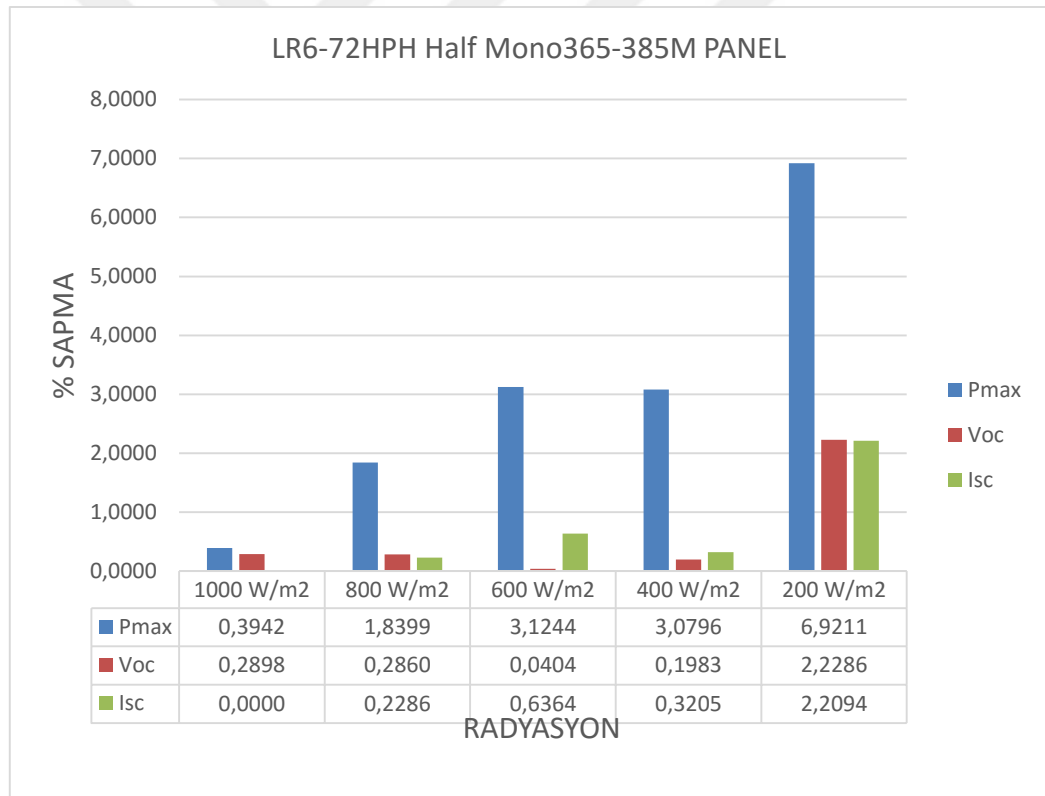
| <i>Sıcaklık (°C )</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|-----------------------|---------------------|----------------------|
| 25                    | Voc                 | 48,80                |
|                       | Isc                 | 9,87                 |
| 35                    | Voc                 | 47,59                |
|                       | Isc                 | 9,98                 |
| 55                    | Voc                 | 45,12                |
|                       | Isc                 | 10,21                |
| 75                    | Voc                 | 42,65                |
|                       | Isc                 | 10,44                |

Tablo 5.33'te Longi Solar (LR6-72HPH Perc Half Mono365-385M) panel verilerinden değişken sıcaklıklarda elde edilen modül verileri mevcuttur.

**Tablo 5.34:** LR6-72HPH Half Mono365-385M Panel Verileri

| Modül Parametre   | Ölçülen Değer |
|-------------------|---------------|
| Module Efficiency | 18,88         |
| FF                | 77,33         |
| IO                | 3,95e-07      |
| Rs                | 0,035         |

Tablo 5.34'te Longi Solar LR6-72HPH Perc Half Mono365-385M panel verileri kullanılarak elde edilen modül verileri mevcuttur.

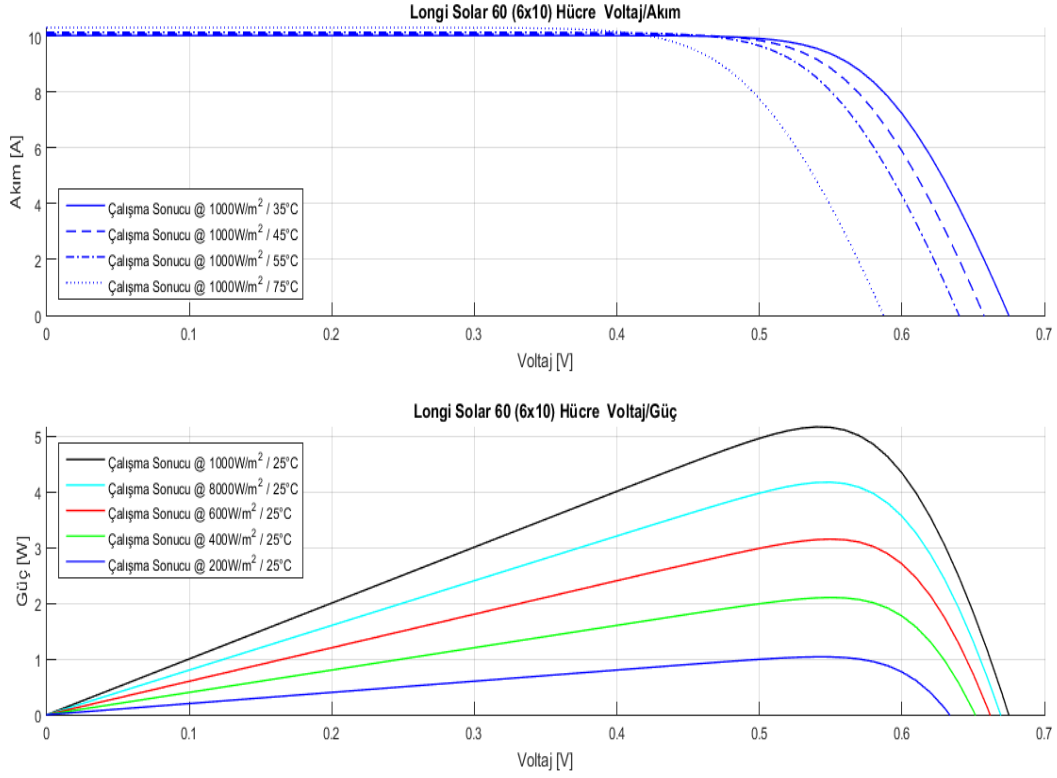


**Şekil 5.34:** LR6-72HPH Half Mono365-385M Panel %Sapma Verileri

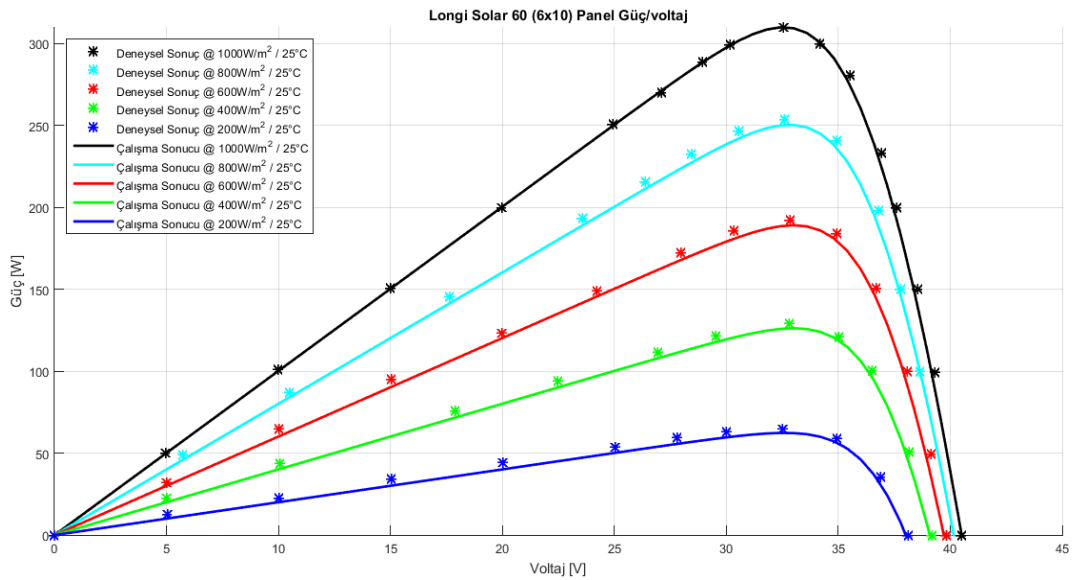
Şekil 5.34'te Longi Solar LR6-72HPH Perc Half Mono365-385M panel verileri kullanılarak oluşturulan simülasyon sonucu ile gerçek grafik sonucu karşılaştırması ile % sapma oranları bulunmaktadır.

### 5.1.8 Longi Solar Full Cell (Tam Hücre) Similasyonu (Pmax=310 W)

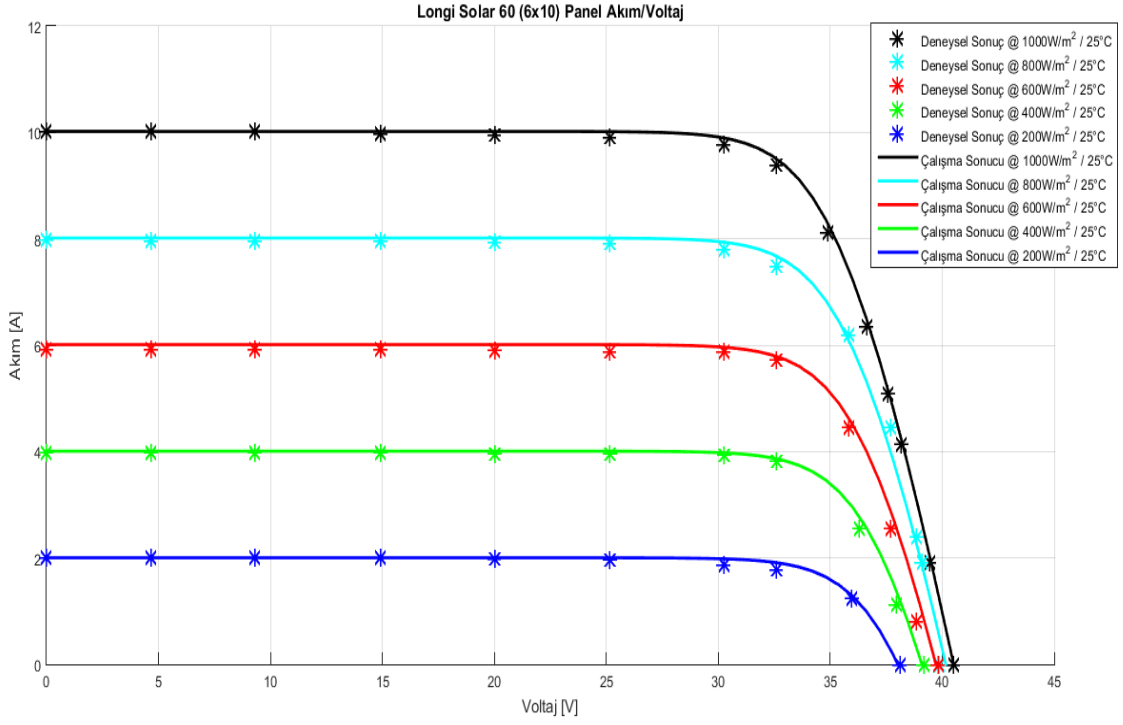
Longi Solar firmasının EK G’de bulunan Longi Mono Perc 310W panel katalog verisinden Pmax=310W verisi kullanılarak EK G.1’de Matlab kodları verilmiştir.



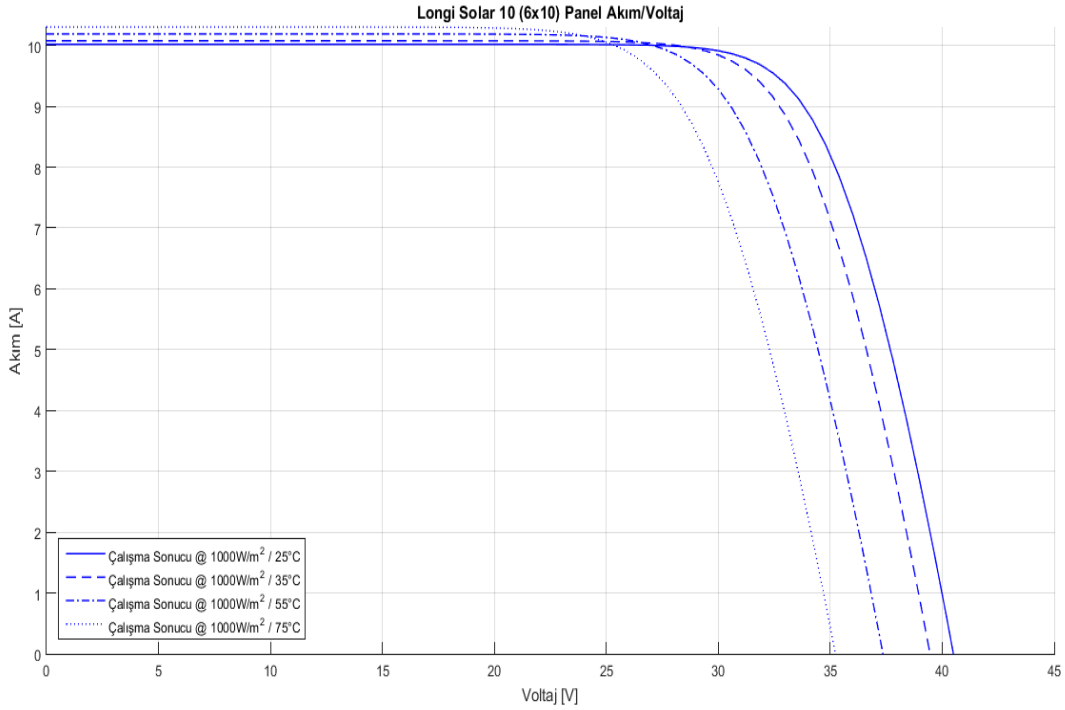
Şekil 5.35: Longi Solar Longi Mono Perc 310W Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri



Şekil 5.36: Longi Solar Longi Mono Perc 310W Panel (P-V) Grafiği (T=25 °C)



Şekil 5.37: Longi Solar Longi Mono Perc 310W Panel (I-V) Grafiği (T=25 °C)



Şekil 5.38: Longi Solar Longi Mono Perc 310W Panel (I-V) Grafiği (G=1000 W/m²)

Şekil 5.38’de ise sabit ışınlım ortamı altında ( $G=1000 \text{ W/m}^2$ ) değişken sıcaklık verilerine dayanan I-V eğri grafiği oluşturulmuştur

**Tablo 5.35:** Longi Solar Longi Mono Perc 310W Hücre Verileri (T=25 °C)

| <i>Radyasyon<br/>(W/m<sup>2</sup>)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|----------------------------------------|---------------------|----------------------|
| 1000                                   | Pmax                | 5,16                 |
|                                        | Voc                 | 0,68                 |
|                                        | Isc                 | 10,02                |
| 800                                    | Pmax                | 4,17                 |
|                                        | Voc                 | 0,67                 |
|                                        | Isc                 | 8,02                 |
| 600                                    | Pmax                | 3,15                 |
|                                        | Voc                 | 0,66                 |
|                                        | Isc                 | 6,01                 |
| 400                                    | Pmax                | 2,10                 |
|                                        | Voc                 | 0,65                 |
|                                        | Isc                 | 4,01                 |
| 200                                    | Pmax                | 1,04                 |
|                                        | Voc                 | 0,63                 |
|                                        | Isc                 | 2,00                 |

Tablo 5.35'te Longi solar Longi Mono Perc 310W panel verilerinden değişken güneş ışınlam altında elde edilen hücre verileri mevcuttur.

**Tablo 5.36:** Longi Solar Longi Mono Perc 310W Hücre Verileri (G=1000 W/m<sup>2</sup>)

| <i>Sıcaklık (°C)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|----------------------|---------------------|----------------------|
| 25                   | Pmax                | 5,16                 |
|                      | Voc                 | 0,68                 |
|                      | Isc                 | 10,02                |
| 35                   | Pmax                | 5,00                 |
|                      | Voc                 | 0,66                 |
|                      | Isc                 | 10,08                |
| 55                   | Pmax                | 4,67                 |
|                      | Voc                 | 0,64                 |
|                      | Isc                 | 10,19                |
| 75                   | Pmax                | 4,33                 |
|                      | Voc                 | 0,59                 |
|                      | Isc                 | 10,31                |

Tablo 5.36'da Longi solar Longi Mono Perc 310W panel verilerinden değişken sıcaklıklarda elde edilen hücre verileri mevcuttur.

**Tablo 5.37:** Longi Solar Longi Mono Perc 310W Panel Verileri (T=25 °C)

| <i>Radyasyon (W/m2)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> | <i>Longi Mono Perc Half Değeri</i> | <i>%Sapma</i> |
|-------------------------|---------------------|----------------------|------------------------------------|---------------|
| 1000                    | Pmax                | 309,77               | 310,00                             | 0,07          |
|                         | Voc (P-V)           | 40,51                | 40,50                              | -0,02         |
|                         | Voc (I-V)           | 40,51                | 40,50                              | -0,02         |
|                         | Isc                 | 10,02                | 10,02                              | 0,00          |
| 800                     | Pmax                | 250,25               | 253,74                             | 1,37          |
|                         | Voc (P-V)           | 40,15                | 39,89                              | -0,66         |
|                         | Voc (I-V)           | 40,15                | 39,89                              | -0,66         |
|                         | Isc                 | 8,02                 | 7,98                               | -0,55         |
| 600                     | Pmax                | 189,03               | 192,21                             | 1,66          |
|                         | Voc (P-V)           | 39,71                | 39,83                              | 0,30          |
|                         | Voc (I-V)           | 39,71                | 39,83                              | 0,30          |
|                         | Isc                 | 6,02                 | 5,92                               | -1,61         |
| 400                     | Pmax                | 126,18               | 128,92                             | 2,13          |
|                         | Voc (P-V)           | 39,08                | 39,18                              | 0,26          |
|                         | Voc (I-V)           | 39,08                | 39,18                              | 0,26          |
|                         | Isc                 | 4,01                 | 3,98                               | -0,85         |
| 200                     | Pmax                | 62,30                | 64,46                              | 3,35          |
|                         | Voc (P-V)           | 38,01                | 38,12                              | 0,31          |
|                         | Voc (I-V)           | 38,01                | 38,12                              | 0,31          |
|                         | Isc                 | 2,01                 | 2,00                               | -0,57         |

Tablo 5.37’de Longi solar Longi Mono Perc 310W panel verilerinden değişken güneş ışınlam altında elde edilen modül verileri ve gerçek grafik sonuçları karşılaştırması sonucundaki sapma oranları mevcuttur.

**Tablo 5.38:** Longi Solar Longi Mono Perc 310W Panel Verileri (G=1000 W/m2)

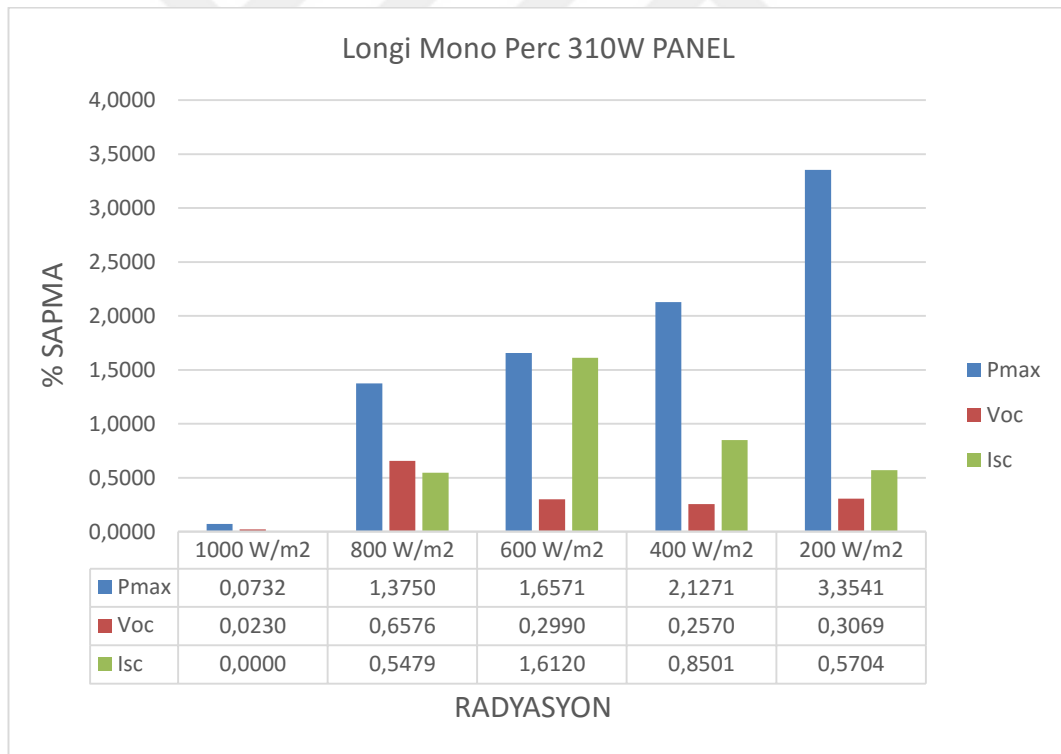
| <i>Sıcaklık (°C)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|----------------------|---------------------|----------------------|
| 25                   | Voc                 | 40,49                |
|                      | Isc                 | 10,02                |
| 35                   | Voc                 | 39,45                |
|                      | Isc                 | 10,08                |
| 55                   | Voc                 | 37,35                |
|                      | Isc                 | 10,19                |
| 75                   | Voc                 | 35,23                |
|                      | Isc                 | 10,31                |

Tablo 5.38’de Longi solar Longi Mono Perc 310W panel verilerinden değişken sıcaklıklarda elde edilen modül verileri mevcuttur.

**Tablo 5.39:** Longi Solar Longi Mono Perc 310W Panel Verileri

| Modül Parametre   | Ölçülen Değer |
|-------------------|---------------|
| Module Efficiency | 18,94         |
| FF                | 76,32         |
| IO                | 3,94e-11      |
| Rs                | 0,42          |

Tablo 5.39’da Longi solar Longi Mono Perc 310W panel verileri kullanılarak elde edilen modül verileri mevcuttur.

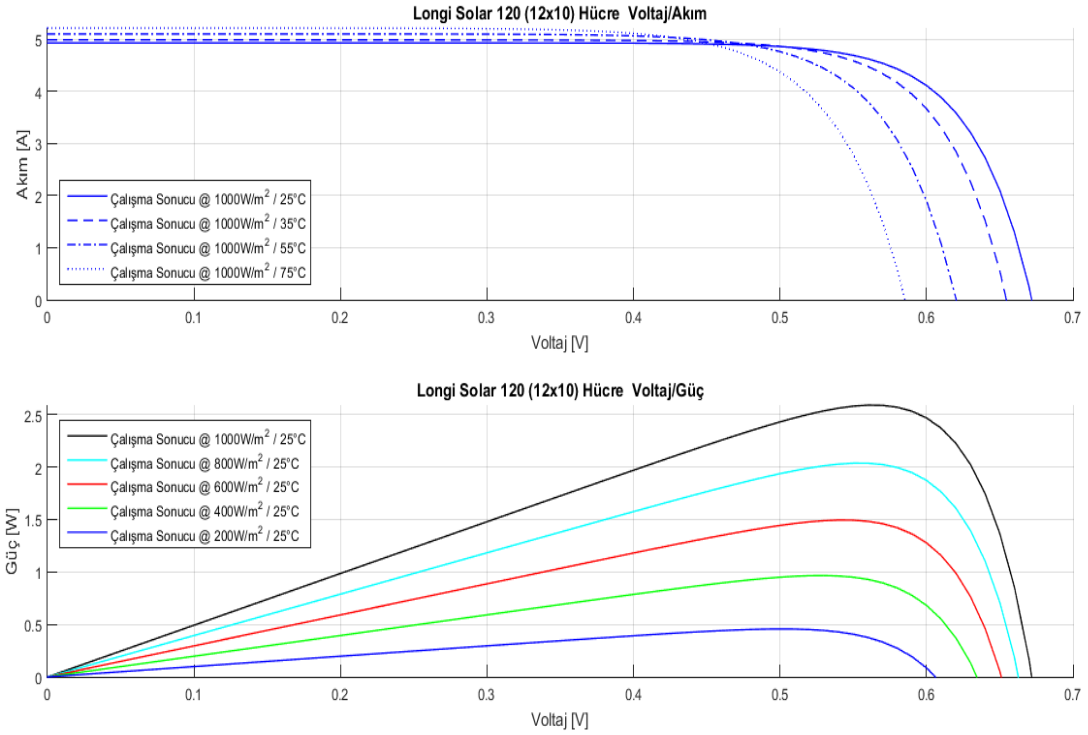


**Şekil 5.39:** Longi Solar Longi Mono Perc 310W Panel %Sapma Verileri

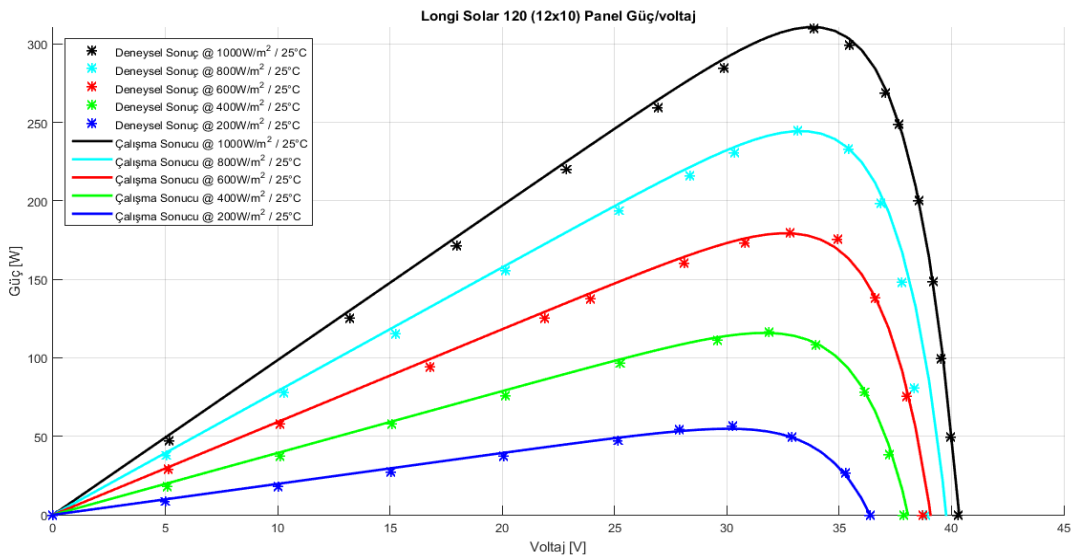
Şekil 5.39’da Longi solar Longi Mono Perc 310W panel verileri kullanılarak oluşturulan simülasyon sonucu ile gerçek grafik sonucu karşılaştırması ile % sapma oranları bulunmaktadır.

### 5.1.9 Longi Solar Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) Similasyonu (Pmax=310 W)

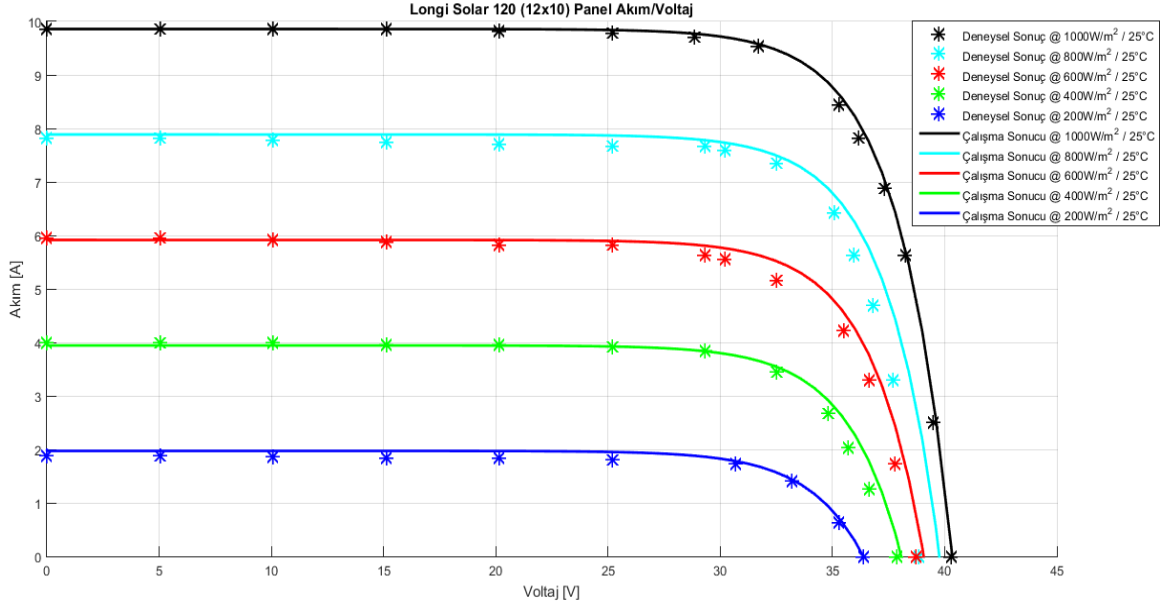
Longi Solar firmasının EK H’da bulunan Longi Mono Perc Half Cut 310W panel katalog verisinden Pmax=310W verisi kullanılarak EK H.1’de Matlab kodları verilmiştir.



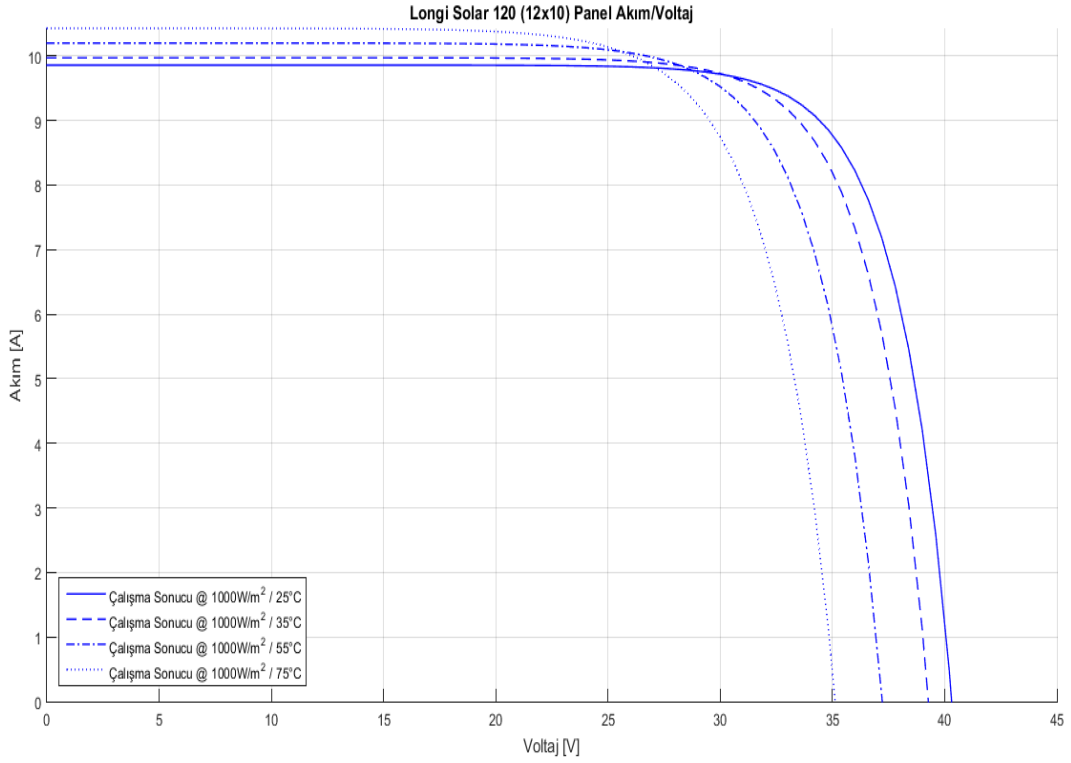
Şekil 5.40: Longi Solar Longi Mono Perc Half Cut 310W Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafiği



Şekil 5.41: Longi Solar Longi Mono Perc Half Cut 310W Panel (P-V) Grafiği (T=25 °C)



**Şekil 5.42:** Longi Solar Longi Mono Perc Half Cut 310W Panel (I-V) Grafiği (T=25 °C)



**Şekil 5.43:** Longi Solar Longi Mono Perc Half Cut 310W Panel (I-V) Grafiği (G=1000 W/m²)

Şekil 5.43'te ise sabit ışınlım ortamı altında ( $G=1000 \text{ W/m}^2$ ) değişken sıcaklık verilerine dayanan I-V eğri grafiği oluşturulmuştur.

**Tablo 5.40:** Longi Solar Longi Mono Perc Half Cut 310W Hücre Verileri (T=25 °C)

| <i>Radyasyon (W/m2)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|-------------------------|---------------------|----------------------|
| 1000                    | Pmax                | 2,59                 |
|                         | Voc                 | 0,67                 |
|                         | Isc                 | 4,93                 |
| 800                     | Pmax                | 2,04                 |
|                         | Voc                 | 0,66                 |
|                         | Isc                 | 3,94                 |
| 600                     | Pmax                | 1,49                 |
|                         | Voc                 | 0,65                 |
|                         | Isc                 | 2,96                 |
| 400                     | Pmax                | 0,97                 |
|                         | Voc                 | 0,63                 |
|                         | Isc                 | 1,97                 |
| 200                     | Pmax                | 0,46                 |
|                         | Voc                 | 0,61                 |
|                         | Isc                 | 0,99                 |

Tablo 5.40’da Longi solar Longi Mono Perc Half Cut 310W panel verilerinden değişken güneş ışınlam altında elde edilen hücre verileri mevcuttur.

**Tablo 5.41:** Longi Solar Longi Mono Perc Half Cut 310W Hücre Verileri (G=1000 W/m2)

| <i>Sıcaklık (°C )</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|-----------------------|---------------------|----------------------|
| 25                    | Pmax                | 2,59                 |
|                       | Voc                 | 0,67                 |
|                       | Isc                 | 4,93                 |
| 35                    | Pmax                | 2,52                 |
|                       | Voc                 | 0,65                 |
|                       | Isc                 | 4,99                 |
| 55                    | Pmax                | 2,39                 |
|                       | Voc                 | 0,62                 |
|                       | Isc                 | 5,10                 |
| 75                    | Pmax                | 2,24                 |
|                       | Voc                 | 0,59                 |
|                       | Isc                 | 5,22                 |

Tablo 5.41’de Longi solar Longi Mono Perc Half Cut 310W panel verilerinden değişken sıcaklıklarda elde edilen hücre verileri mevcuttur.

**Tablo 5.42:** Longi Solar Longi Mono Perc Half Cut 310W Panel Verileri (T=25 °C)

| <i>Radyasyon<br/>(W/m2)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen<br/>Değer</i> | <i>Longi Mono Perc Half<br/>Değeri</i> | <i>%Sapma</i> |
|-----------------------------|---------------------|--------------------------|----------------------------------------|---------------|
| 1000                        | Pmax                | 310,78                   | 310,00                                 | -0,25         |
|                             | Voc (P-V)           | 40,34                    | 40,30                                  | -0,10         |
|                             | Voc (I-V)           | 40,34                    | 40,30                                  | -0,10         |
|                             | Isc                 | 9,86                     | 9,86                                   | 0,00          |
| 800                         | Pmax                | 244,42                   | 244,61                                 | 0,08          |
|                             | Voc (P-V)           | 39,76                    | 38,87                                  | -2,28         |
|                             | Voc (I-V)           | 39,76                    | 38,87                                  | -2,28         |
|                             | Isc                 | 7,89                     | 7,83                                   | -0,83         |
| 600                         | Pmax                | 179,39                   | 179,81                                 | 0,24          |
|                             | Voc (P-V)           | 39,06                    | 38,73                                  | -0,86         |
|                             | Voc (I-V)           | 39,06                    | 38,73                                  | -0,86         |
|                             | Isc                 | 5,92                     | 5,95                                   | 0,46          |
| 400                         | Pmax                | 115,91                   | 116,18                                 | 0,23          |
|                             | Voc (P-V)           | 38,06                    | 37,86                                  | -0,52         |
|                             | Voc (I-V)           | 38,06                    | 37,86                                  | -0,52         |
|                             | Isc                 | 3,95                     | 3,99                                   | 1,03          |
| 200                         | Pmax                | 54,83                    | 56,63                                  | 3,18          |
|                             | Voc (P-V)           | 36,36                    | 36,41                                  | 0,12          |
|                             | Voc (I-V)           | 36,36                    | 36,41                                  | 0,12          |
|                             | Isc                 | 1,98                     | 1,88                                   | -5,43         |

Tablo 5.42’de Longi solar Longi Mono Perc Half Cut 310W panel verilerinden değişken güneş ışınlam altında elde edilen modül verileri ve gerçek grafik sonuçları karşılaştırması sonucundaki sapma oranları mevcuttur.

**Tablo 5.43:** Longi Solar Longi Mono Perc Half Cut 310W Panel Verileri (G=1000 W/m2)

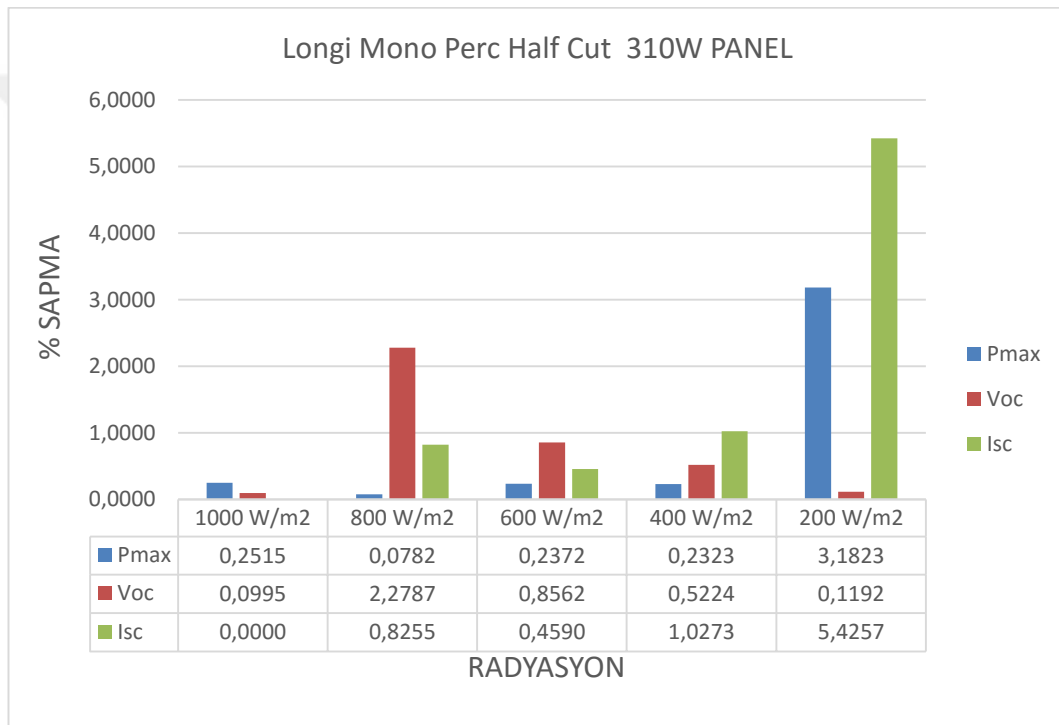
| <i>Sıcaklık (°C)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|----------------------|---------------------|----------------------|
| 25                   | Voc                 | 40,31                |
|                      | Isc                 | 9,86                 |
| 35                   | Voc                 | 39,27                |
|                      | Isc                 | 9,97                 |
| 55                   | Voc                 | 37,22                |
|                      | Isc                 | 10,20                |
| 75                   | Voc                 | 35,12                |
|                      | Isc                 | 10,43                |

Tablo 5.43’te Longi solar Longi Mono Perc Half Cut 310W panel verilerinden değişken sıcaklıklarda elde edilen modül verileri mevcuttur.

**Tablo 5.44:** Longi Solar Longi Mono Perc Half Cut 310W Panel Verileri

| Modül Parametre   | Ölçülen Değer |
|-------------------|---------------|
| Module Efficiency | 18,76         |
| FF                | 78,33         |
| IO                | 3,45e-07      |
| Rs                | 0,025         |

Tablo 5.44'te Longi solar Longi Mono Perc Half Cut 310W panel verileri kullanılarak elde edilen modül verileri mevcuttur.

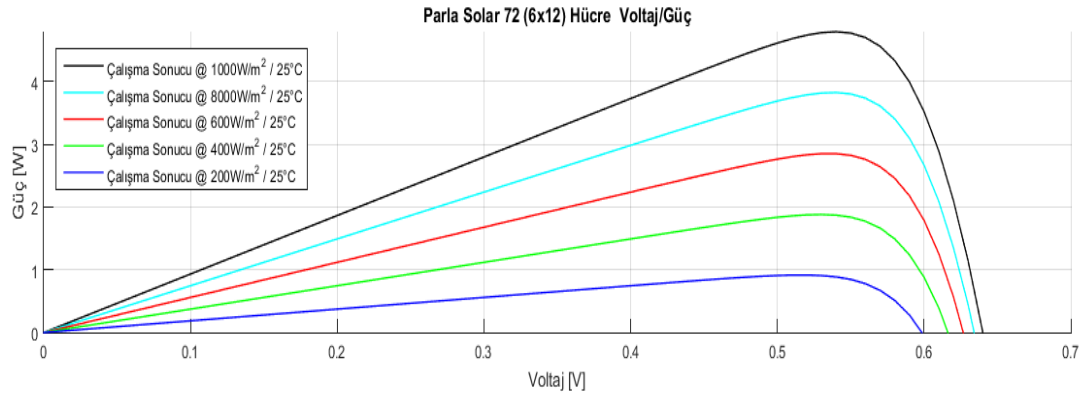
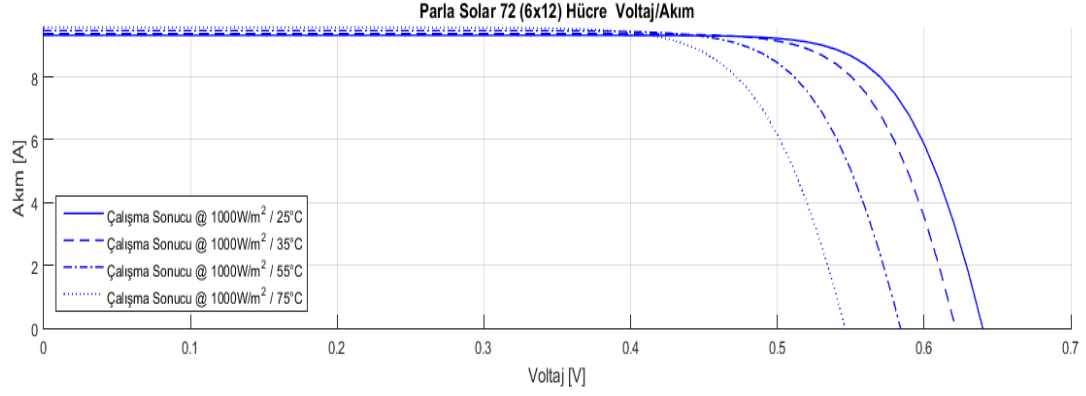


**Şekil 5.44:** Longi Solar Longi Mono Perc Half Cut 310W Panel % Sapma Verileri

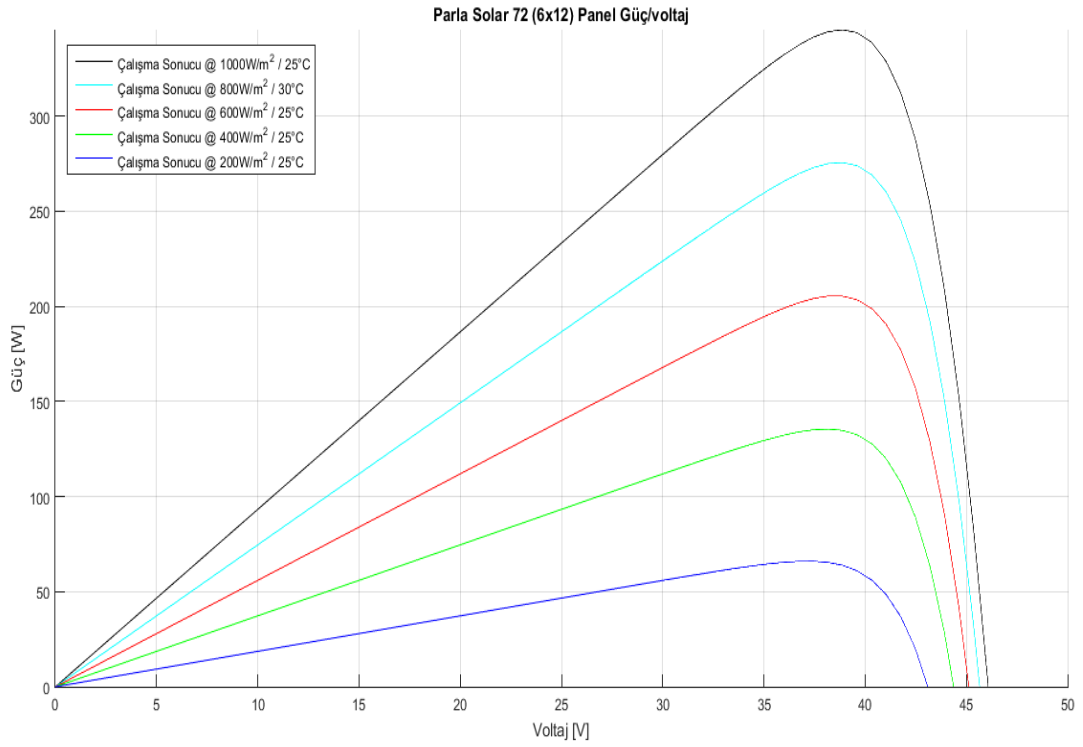
Şekil 5.44'de Longi solar Longi Mono Perc Half Cut 310W panel verileri kullanılarak oluşturulan simülasyon sonucu ile gerçek grafik sonucu karşılaştırması ile % sapma oranları bulunmaktadır.

#### 5.1.10 Bereket Enerji-Parla Solar Full Cell (Tam Hücre) Similasyonu (Pmax=345 W)

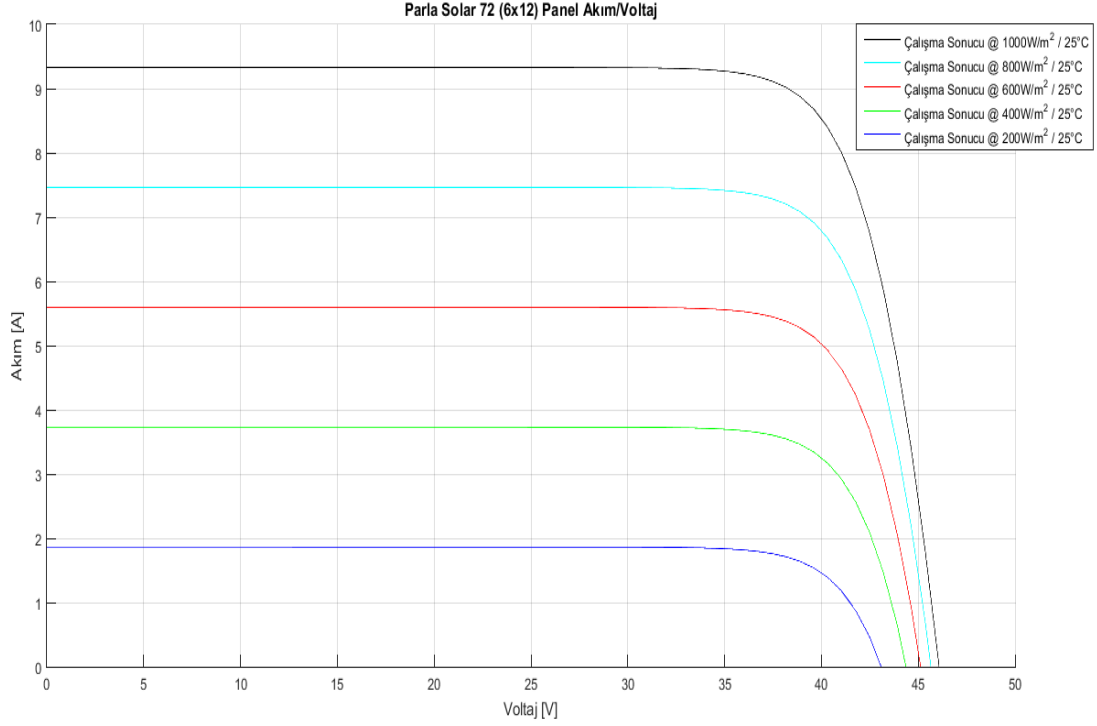
Bereket Enerji-Parla Solar firmasının EK I'da bulunan (5-Mono-72) panel katalog verisinden Pmax=345W verisi kullanılarak EK I.1'de Matlab kodları verilmiştir.



**Şekil 5.45:** Parla Solar (5-Mono-72) Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri

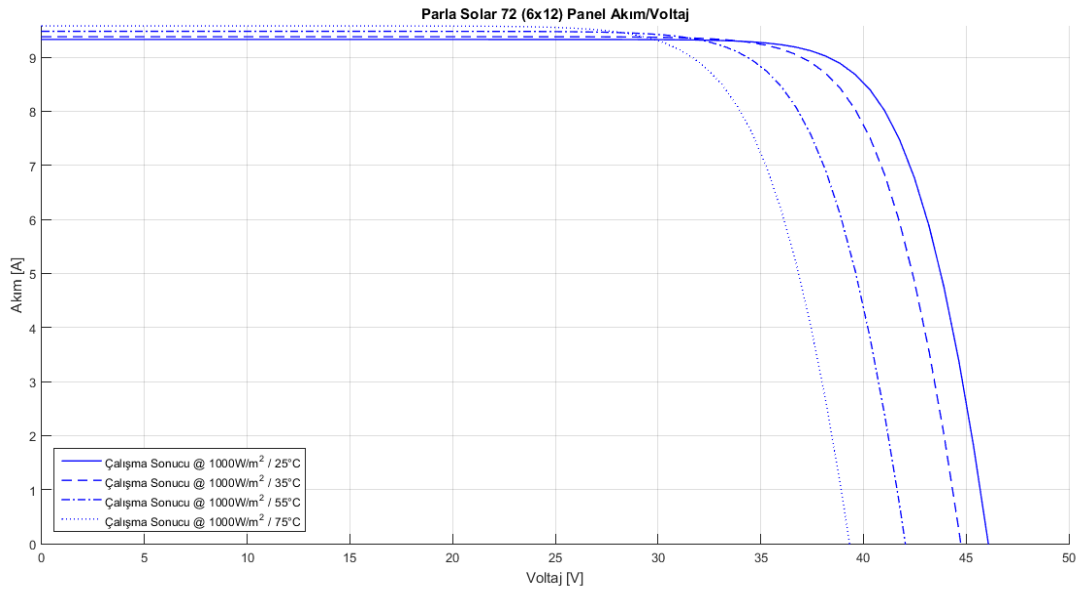


**Şekil 5.46:** Parla Solar (5-Mono-72) Panel (P-V) Grafiği (T=25 °C)



**Şekil 5.47:** Parla Solar (5-Mono-72) Panel (I-V) Grafiği (T=25 °C)

Şekil 5.46 ve Şekil 5.47’de (I-V) ve (P-V) panel eğrileri simülasyon sonucu grafik sonuçları bulunmaktadır. Burada  $P_{max}=345 \text{ W/m}^2$  için geçerli gerçek grafik verileri bulunmadığından sadece panel kataloğunda bulunan parametreler kullanılarak simüle edilmiştir.



**Şekil 5.48:** Parla Solar (5-Mono-72) Panel (I-V) Grafiği (G=1000 W/m²)

**Tablo 5.45:** Parla Solar (5-Mono-72) Hücre Verileri (T=25 °C)

| <i>Radyasyon (W/m2)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|-------------------------|---------------------|----------------------|
| 1000                    | Pmax                | 4,80                 |
|                         | Voc                 | 0,64                 |
|                         | Isc                 | 9,33                 |
| 800                     | Pmax                | 3,83                 |
|                         | Voc                 | 0,63                 |
|                         | Isc                 | 7,46                 |
| 600                     | Pmax                | 2,85                 |
|                         | Voc                 | 0,63                 |
|                         | Isc                 | 5,60                 |
| 400                     | Pmax                | 1,88                 |
|                         | Voc                 | 0,62                 |
|                         | Isc                 | 3,73                 |
| 200                     | Pmax                | 0,92                 |
|                         | Voc                 | 0,60                 |
|                         | Isc                 | 1,87                 |

Tablo 5.45'te Parla Solar (5-Mono-72) panel verilerinden değişken güneş ışınım altında elde edilen hücre verileri mevcuttur.

**Tablo 5.46:** Parla Solar (5-Mono-72) Hücre Verileri (G=1000 W/m2)

| <i>Sıcaklık (°C)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|----------------------|---------------------|----------------------|
| 25                   | Pmax                | 4,80                 |
|                      | Voc                 | 0,64                 |
|                      | Isc                 | 9,33                 |
| 35                   | Pmax                | 4,63                 |
|                      | Voc                 | 0,62                 |
|                      | Isc                 | 9,38                 |
| 55                   | Pmax                | 4,30                 |
|                      | Voc                 | 0,58                 |
|                      | Isc                 | 9,48                 |
| 75                   | Pmax                | 3,96                 |
|                      | Voc                 | 0,55                 |
|                      | Isc                 | 9,58                 |

Tablo 5.46'da Parla Solar (5-Mono-72) panel verilerinden değişken sıcaklıklarda elde edilen hücre verileri mevcuttur.

**Tablo 5.47:** Parla Solar (5-Mono-72) Panel Verileri (T=25 °C)

| <i>Radyasyon (W/m2)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|-------------------------|---------------------|----------------------|
| 1000                    | Pmax                | 345,33               |
|                         | Voc (P-V)           | 46,01                |
|                         | Voc (I-V)           | 46,01                |
|                         | Isc                 | 9,33                 |
| 800                     | Pmax                | 275,54               |
|                         | Voc (P-V)           | 45,12                |
|                         | Voc (I-V)           | 45,12                |
|                         | Isc                 | 7,47                 |
| 600                     | Pmax                | 205,36               |
|                         | Voc (P-V)           | 44,37                |
|                         | Voc (I-V)           | 44,37                |
|                         | Isc                 | 5,60                 |
| 400                     | Pmax                | 135,47               |
|                         | Voc (P-V)           | 43,09                |
|                         | Voc (I-V)           | 43,09                |
|                         | Isc                 | 3,74                 |
| 200                     | Pmax                | 65,98                |
|                         | Voc (P-V)           | 44,37                |
|                         | Voc (I-V)           | 44,37                |
|                         | Isc                 | 1,87                 |

Tablo 5.47’de Parla Solar (5-Mono-72) panel verilerinden değişken güneş ışınlamı altında elde edilen modül verileri ve gerçek grafik sonuçları karşılaştırması sonucundaki sapma oranları mevcuttur.

**Tablo 5.48:** Parla Solar (5-Mono-72) Panel Verileri (G=1000 W/m2)

| <i>Sıcaklık (°C)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|----------------------|---------------------|----------------------|
| 25                   | Voc                 | 46,01                |
|                      | Isc                 | 9,33                 |
| 35                   | Voc                 | 44,74                |
|                      | Isc                 | 9,38                 |
| 55                   | Voc                 | 42,04                |
|                      | Isc                 | 9,48                 |
| 75                   | Voc                 | 39,32                |
|                      | Isc                 | 9,58                 |

Tablo 5.48’de Parla Solar (5-Mono-72) panel verilerinden değişken sıcaklıklarda elde edilen modül verileri mevcuttur.

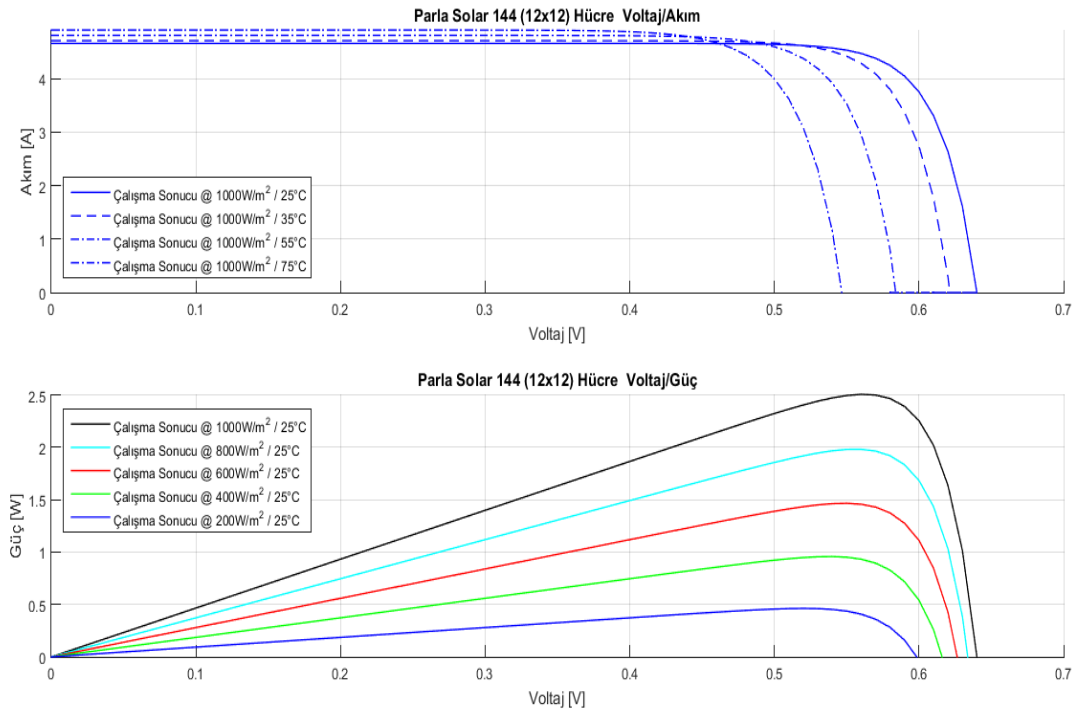
**Tablo 5.49:** Parla Solar (5-Mono-72) Panel Verileri

| Modül Parametre   | Ölçülen Değer |
|-------------------|---------------|
| Module Efficiency | 17,46         |
| FF                | 80,32         |
| IO                | 1,43e-10      |
| Rs                | 0,18          |

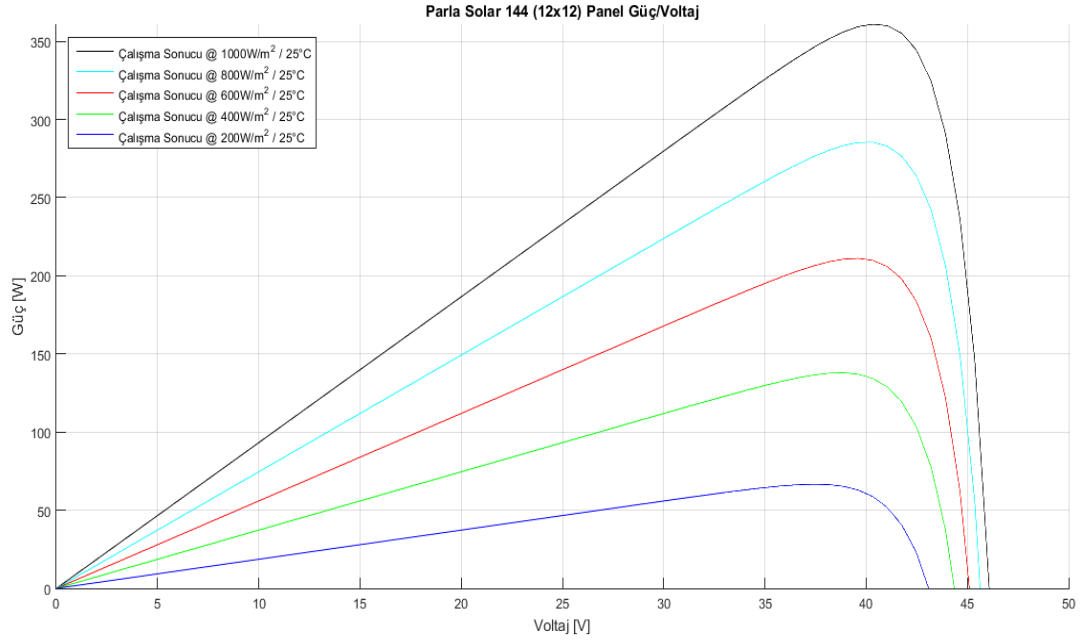
Tablo 5.49’da Parla Solar (5-Mono-72) panel verileri kullanılarak elde edilen modül verileri mevcuttur.

### 5.1.11 Bereket Enerji-Parla Solar Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) Similasyonu

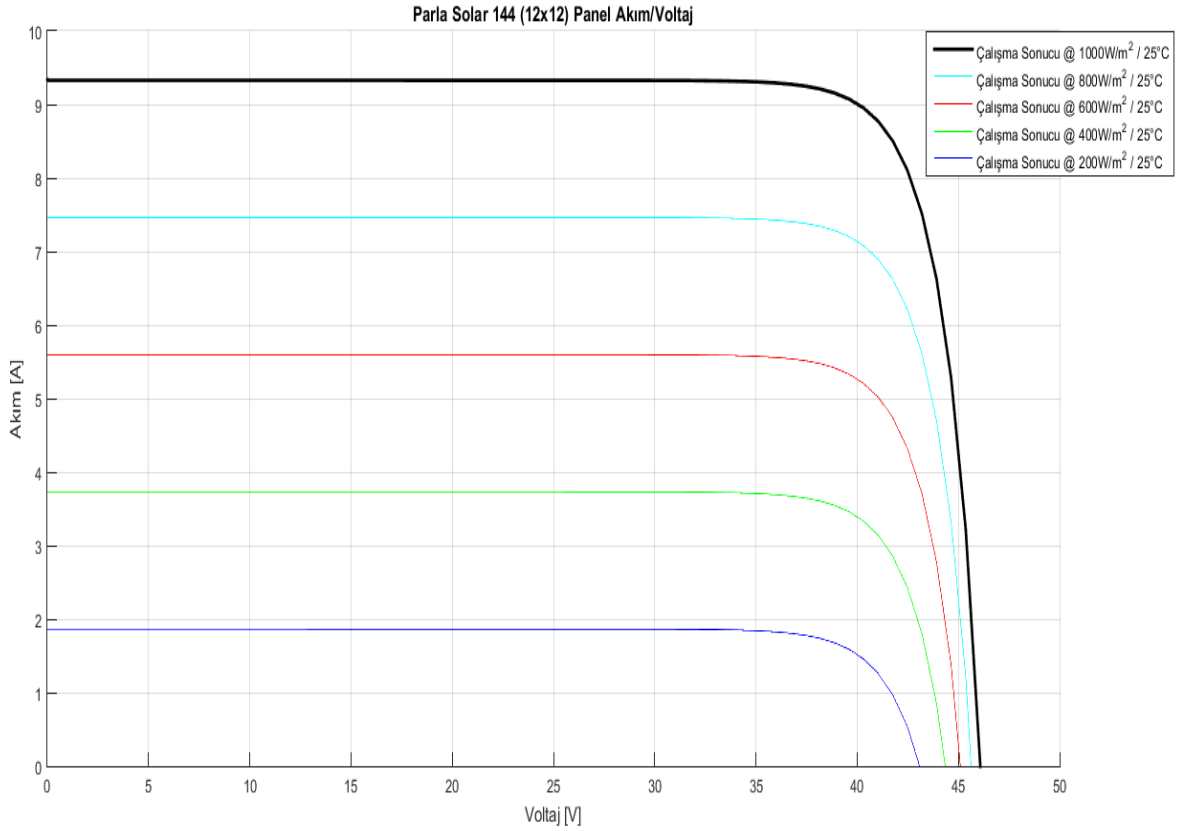
Bereket Enerji-Parla Solar firmasının (5-Mono-72) panel katalog verisinden half cut cell (yarı kesik hücre) için simülasyon sonuçları verilmiştir. Burada kullanılan veriler EK I’da tam hücre için geçerli panel katalog parametreleri kullanılarak simüle edilmiş sonuçlardır. EK I.2’de bu çalışmanın Matlab kodları bulunmaktadır.



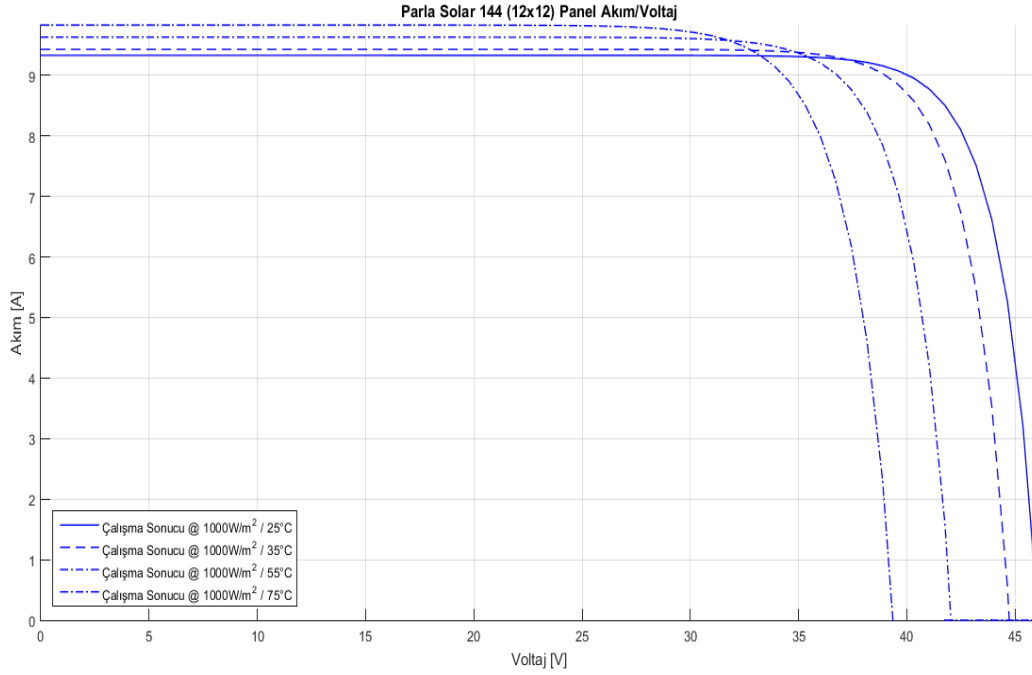
**Şekil 5.49:** Parla Solar (5-Mono-72) Half Cut Cell Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri



**Şekil 5.50:** Parla Solar (5-Mono-72) Half Cut Cell Panel (P-V) Grafiği (T=25 °C)



**Şekil 5.51:** Parla Solar (5-Mono-72) Half Cut Cell Panel (I-V) Grafiği (T=25 °C)



**Şekil 5.52:** Parla Solar (5-Mono-72) Half Cut Cell Panel (I-V) Grafiği (G=1000 W/m<sup>2</sup>)

Şekil 5.52’de ise sabit ışınlım ortamı altında (G=1000 W/m<sup>2</sup>) değişken sıcaklık verilerine dayanan I-V eğri grafiği oluşturulmuştur.

**Tablo 5.50:** Parla Solar (5-Mono-72) Half Cut Cell Hücre Verileri (T=25 °C)

| <i>Radyasyon<br/>(W/m<sup>2</sup>)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|----------------------------------------|---------------------|----------------------|
| 1000                                   | Pmax                | 2,51                 |
|                                        | Voc                 | 0,64                 |
|                                        | Isc                 | 4,67                 |
| 800                                    | Pmax                | 1,98                 |
|                                        | Voc                 | 0,63                 |
|                                        | Isc                 | 3,73                 |
| 600                                    | Pmax                | 1,47                 |
|                                        | Voc                 | 0,63                 |
|                                        | Isc                 | 2,80                 |
| 400                                    | Pmax                | 0,96                 |
|                                        | Voc                 | 0,62                 |
|                                        | Isc                 | 1,87                 |
| 200                                    | Pmax                | 0,46                 |
|                                        | Voc                 | 0,60                 |
|                                        | Isc                 | 0,93                 |

Tablo 5.50’de Parla Solar (5-Mono-72) panel verilerinden half cut cell için değişken güneş ışınlım altında elde edilen hücre verileri mevcuttur.

**Tablo 5.51:** Parla Solar (5-Mono-72) Half Cut Cell Hücre Verileri (G=1000 W/m2)

| Sıcaklık (°C) | Parametreler | Ölçülen Değer |
|---------------|--------------|---------------|
| 25            | Pmax         | 2,51          |
|               | Voc          | 0,64          |
|               | Isc          | 4,67          |
| 35            | Pmax         | 2,44          |
|               | Voc          | 0,62          |
|               | Isc          | 4,72          |
| 55            | Pmax         | 2,30          |
|               | Voc          | 0,58          |
|               | Isc          | 4,82          |
| 75            | Pmax         | 2,15          |
|               | Voc          | 0,55          |
|               | Isc          | 4,92          |

Tablo 5.51’de Parla Solar (5-Mono-72) panel verilerinden half cut cell (yarı kesik hücre) için değişken sıcaklıklarda elde edilen hücre verileri mevcuttur.

**Tablo 5.52:** Parla Solar (5-Mono-72) Half Cut Cell Panel Verileri (T=25 °C)

| Radyasyon (W/m2) | Parametreler | Ölçülen Değer |
|------------------|--------------|---------------|
| 1000             | Pmax         | 360,97        |
|                  | Voc (P-V)    | 45,63         |
|                  | Voc (I-V)    | 45,63         |
|                  | Isc          | 9,34          |
| 800              | Pmax         | 285,43        |
|                  | Voc (P-V)    | 45,10         |
|                  | Voc (I-V)    | 45,10         |
|                  | Isc          | 7,47          |
| 600              | Pmax         | 211,15        |
|                  | Voc (P-V)    | 44,35         |
|                  | Voc (I-V)    | 44,35         |
|                  | Isc          | 5,60          |
| 400              | Pmax         | 137,96        |
|                  | Voc (P-V)    | 43,08         |
|                  | Voc (I-V)    | 43,08         |
|                  | Isc          | 3,74          |
| 200              | Pmax         | 66,65         |
|                  | Voc (P-V)    | 44,35         |
|                  | Voc (I-V)    | 44,35         |
|                  | Isc          | 1,87          |

Tablo 5.52’de Parla Solar (5-Mono-72) panel verilerinden half cut cell (yarı kesik hücre) için değişken güneş ışınım altında elde edilen modül verileri mevcuttur.

**Tablo 5.53:** Parla Solar (5-Mono-72) Half Cut Cell Panel Verileri (G=1000 W/m<sup>2</sup>)

| Sıcaklık (°C) | Parametreler | Ölçülen Değer |
|---------------|--------------|---------------|
| 25            | Voc          | 46,08         |
|               | Isc          | 9,33          |
| 35            | Voc          | 44,73         |
|               | Isc          | 9,43          |
| 55            | Voc          | 42,04         |
|               | Isc          | 9,63          |
| 75            | Voc          | 42,04         |
|               | Isc          | 9,83          |

Tablo 5.53’de Parla Solar (5-Mono-72) panel verilerinden half cut cell (yarı kesik hücre) için değişken sıcaklıklarda elde edilen modül verileri mevcuttur.

**Tablo 5.54:** Parla Solar (5-Mono-72) Half Cut Cell Panel Verileri

| Modül Parametre   | Ölçülen Değer |
|-------------------|---------------|
| Module Efficiency | 18,25         |
| FF                | 83,87         |
| IO                | 7,15790e-11   |
| Rs                | 0.04          |

Tablo 5.54’te Parla Solar (5-Mono-72) half cut cell (yarı kesik hücre) için panel verileri kullanılarak elde edilen modül verileri mevcuttur.

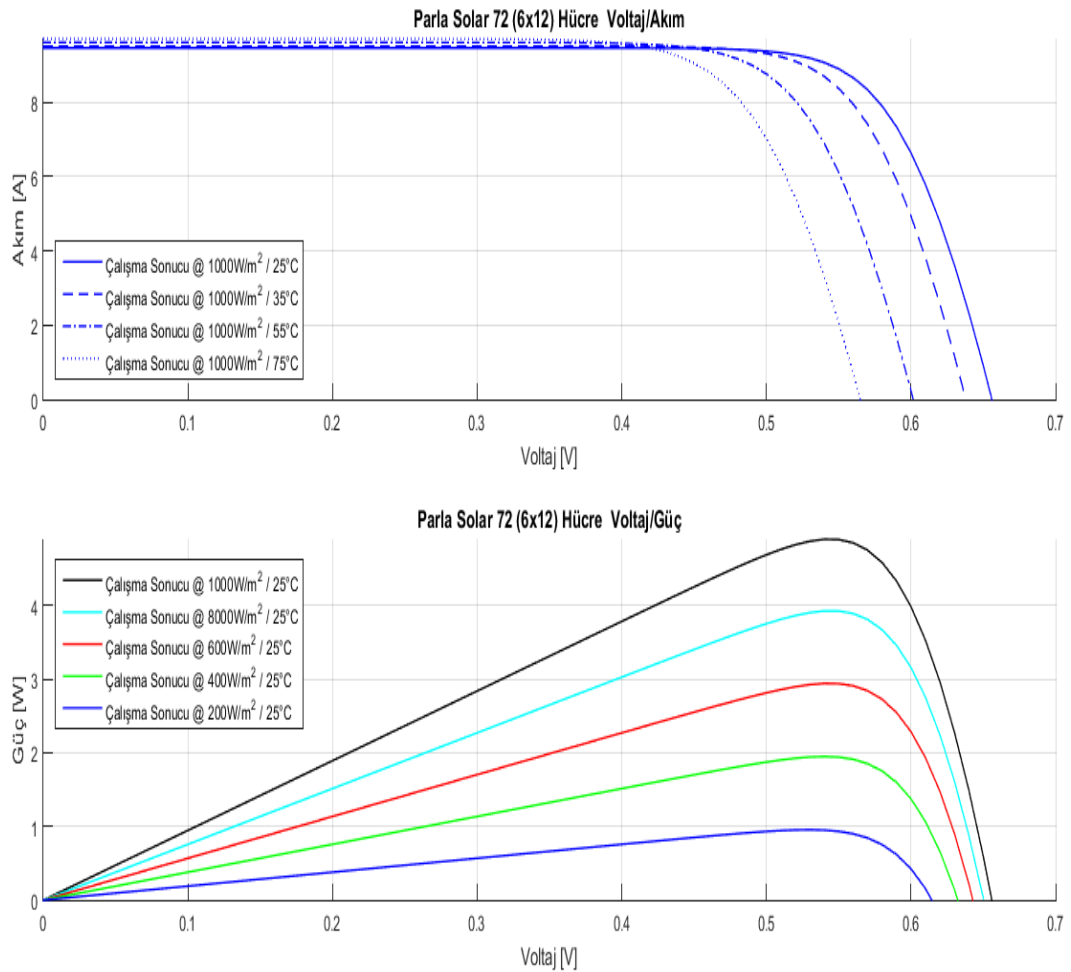
Bölüm 5.1.10’da Bereket Enerji-Parla Solar tam hücre verilerini kullanarak, hücreyi yarıya kestiğimizde elde edilen veriler Bölüm 5.1.11’de bulunmaktadır. Bu verilerden yola çıkarak hücreyi yarıya kestiğimizde, bir yarı kesik hücrenin (STC=1000 W/m<sup>2</sup>) (Tablo 5.50), bir tam hücreye göre gücü (STC=1000 W/m<sup>2</sup>) (Tablo 5.45) %47,7083 oranla azalmaktadır. Yarı kesik hücrelerden oluşan panelin gücü (STC=1000 W/m<sup>2</sup>) (Tablo 5.52), tam hücrelerden oluşan panelin gücüne (STC=1000 W/m<sup>2</sup>) (Tablo 5.47) göre % 4,529 oranla artmaktadır.

### 5.1.12 Bereket Enerji-Parla Solar Full Cell (Tam Hücre) Similasyonu (72 Hücre Verisi)

Bereket Enerji-Parla Solar firmasından alınan hücre verilerinden 72 adet hücre verileri (Tablo 5.55) ele alınıp, çıkan simülasyon sonucu verilmiştir. EK J’de bu çalışmanın Matlab kodları bulunmaktadır.

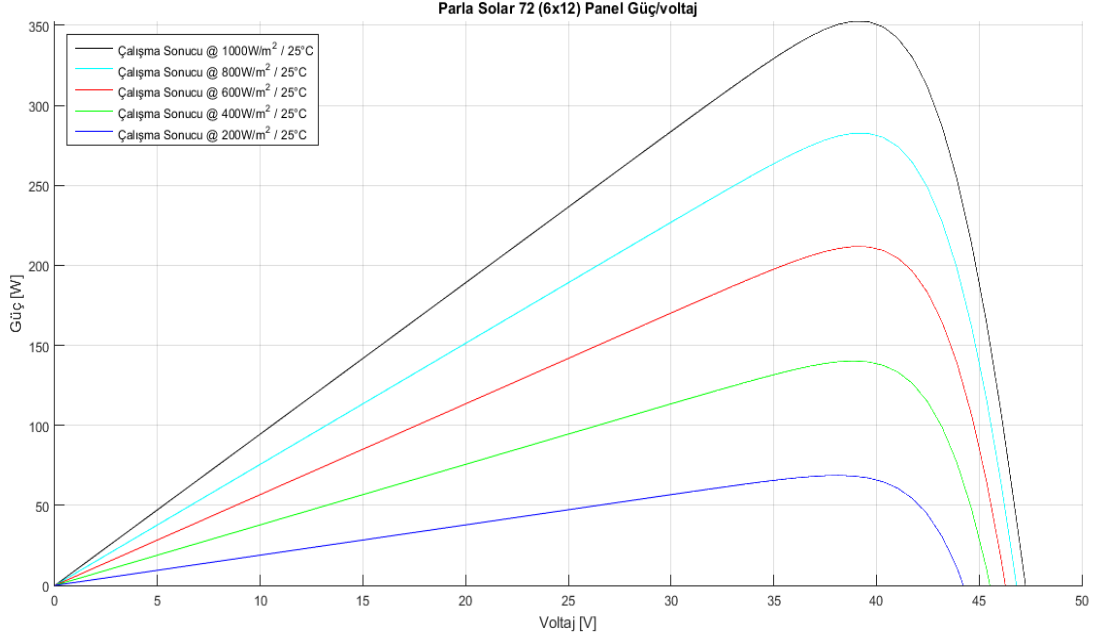
**Tablo 5.55:** Bereket Enerji-Parla Solar 72 Adet Hücre Verileri

| Modül Parametre | Değer          |
|-----------------|----------------|
| Isc (A)         | 9,456471       |
| Voc (V)         | (47,224990)/72 |
| Rs ( $\Omega$ ) | 0,002387       |
| Rp ( $\Omega$ ) | 151,118500     |
| Imp (A)         | 8,636084       |
| Vmp (V)         | 39,789350      |

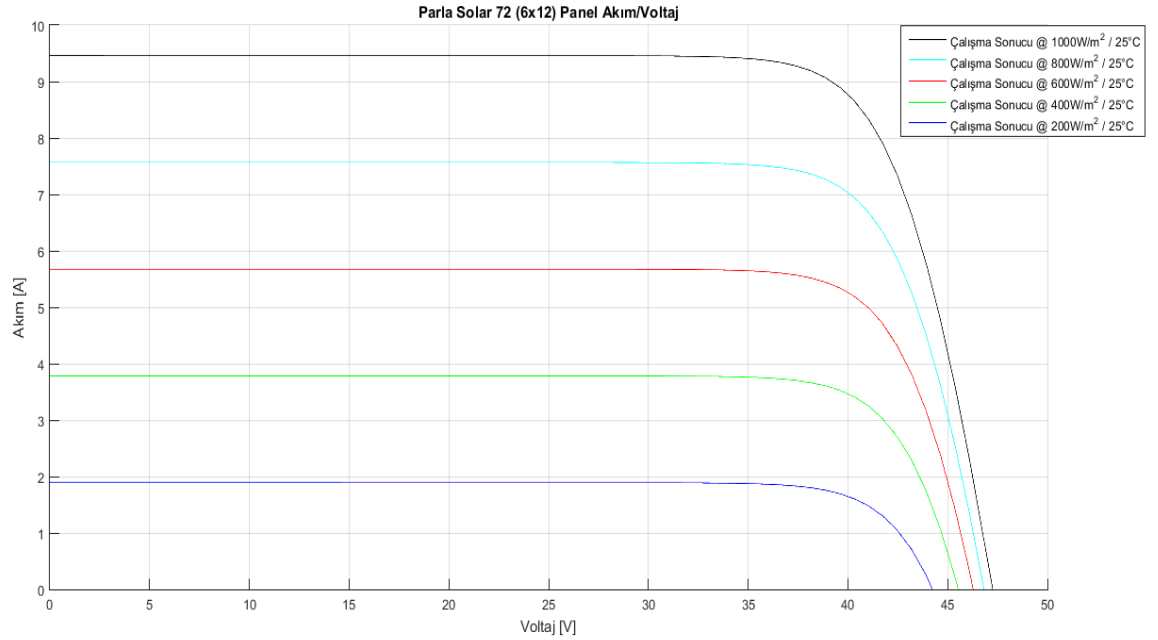


**Şekil 5.53:** Parla Solar 1 Full Cell Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri

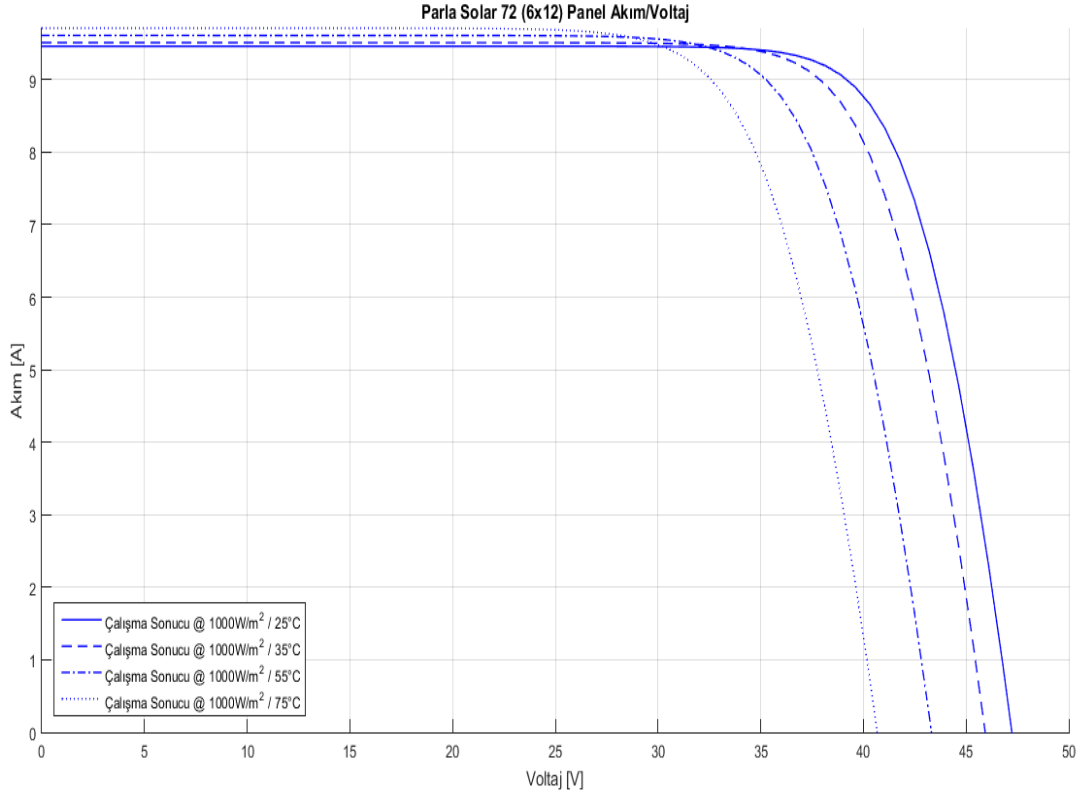
Şekil 5.53 hücre (I-V) eğim grafiğinde ışıınım miktarı  $G=1000 \text{ W/m}^2$  sabit tutulup  $T=25^\circ\text{C}$ ,  $35^\circ\text{C}$ ,  $55^\circ\text{C}$ ,  $75^\circ\text{C}$ 'de (I-V) eğimi grafiği verilmiştir. (P-V) eğim grafiğinde ise  $T=25^\circ\text{C}$ 'de sabit tutulup  $G=1000 \text{ W/m}^2$ ,  $800 \text{ W/m}^2$ ,  $600 \text{ W/m}^2$ ,  $400 \text{ W/m}^2$ ,  $200 \text{ W/m}^2$ 'de (P-V) eğim grafiği verilmiştir.



Şekil 5.54: Parla Solar 1 Full Cell Panel (P-V) Grafiği ( $T=25^\circ\text{C}$ )



Şekil 5.55: Parla Solar 1 Full Cell Panel (I-V) Grafiği ( $T=25^\circ\text{C}$ )



**Şekil 5.56:** Parla Solar 1 Full Cell Panel (I-V) (G=1000 W/m²)

**Tablo 5.56:** Parla Solar 1 Full Cell Hücre Verileri (T=25 °C)

| <i>Radyasyon (W/m²)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|-------------------------|---------------------|----------------------|
| 1000                    | Pmax                | 4,90                 |
|                         | Voc                 | 0,66                 |
|                         | Isc                 | 9,46                 |
| 800                     | Pmax                | 3,92                 |
|                         | Voc                 | 0,65                 |
|                         | Isc                 | 7,57                 |
| 600                     | Pmax                | 2,94                 |
|                         | Voc                 | 0,64                 |
|                         | Isc                 | 5,68                 |
| 400                     | Pmax                | 1,95                 |
|                         | Voc                 | 0,63                 |
|                         | Isc                 | 3,78                 |
| 200                     | Pmax                | 0,95                 |
|                         | Voc                 | 0,61                 |
|                         | Isc                 | 1,89                 |

**Tablo 5.57:** Parla Solar 1 Full Cell Hücre Verileri (G=1000 W/m<sup>2</sup>)

| Sıcaklık (°C) | Parametreler | Ölçülen Değer |
|---------------|--------------|---------------|
| 25            | Pmax         | 4,90          |
|               | Voc          | 0,66          |
|               | Isc          | 9,46          |
| 35            | Pmax         | 4,73          |
|               | Voc          | 0,64          |
|               | Isc          | 9,51          |
| 55            | Pmax         | 4,41          |
|               | Voc          | 0,60          |
|               | Isc          | 9,61          |
| 75            | Pmax         | 4,07          |
|               | Voc          | 0,56          |
|               | Isc          | 9,71          |

**Tablo 5.58:** Parla Solar 1 Full Cell Panel Verileri (T=25 °C)

| Radyasyon (W/m <sup>2</sup> ) | Parametreler | Ölçülen Değer |
|-------------------------------|--------------|---------------|
| 1000                          | Pmax         | 352,61        |
|                               | Voc (P-V)    | 47.23         |
|                               | Voc (I-V)    | 47.23         |
|                               | Isc          | 9,46          |
| 800                           | Pmax         | 282,57        |
|                               | Voc (P-V)    | 46,82         |
|                               | Voc (I-V)    | 46,82         |
|                               | Isc          | 7,57          |
| 600                           | Pmax         | 211,74        |
|                               | Voc (P-V)    | 46.28         |
|                               | Voc (I-V)    | 46,28         |
|                               | Isc          | 5,68          |
| 400                           | Pmax         | 140,29        |
|                               | Voc (P-V)    | 45.53         |
|                               | Voc (I-V)    | 45,53         |
|                               | Isc          | 3,79          |
| 200                           | Pmax         | 68,71         |
|                               | Voc (P-V)    | 44.23         |
|                               | Voc (I-V)    | 44.23         |
|                               | Isc          | 1,90          |

**Tablo 5. 59:** Parla Solar 1 Full Cell Panel Verileri (G=1000 W/m2)

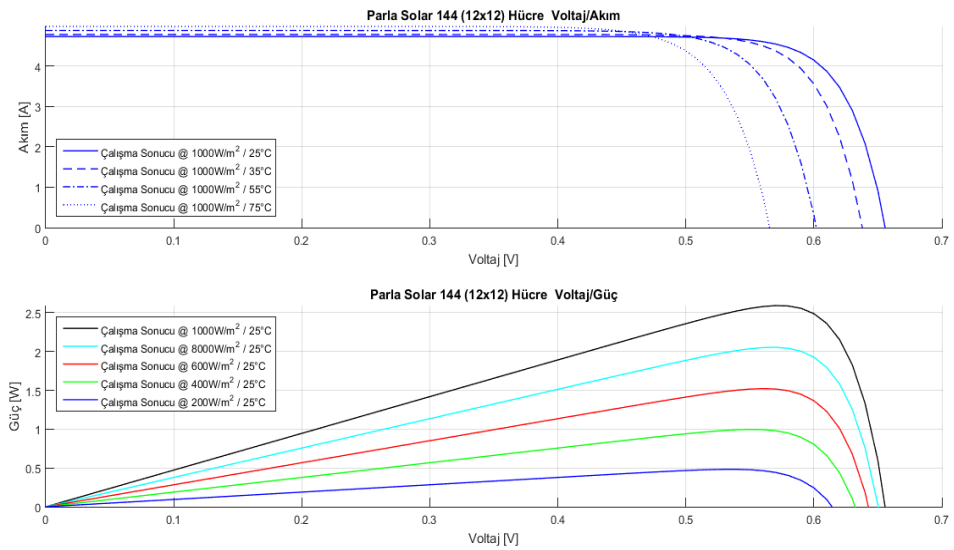
| Sıcaklık (°C) | Parametreler | Ölçülen Değer |
|---------------|--------------|---------------|
| 25            | Voc          | 47,23         |
|               | Isc          | 9,46          |
| 35            | Voc          | 45,93         |
|               | Isc          | 9,51          |
| 55            | Voc          | 43,31         |
|               | Isc          | 9,61          |
| 75            | Voc          | 40,67         |
|               | Isc          | 9,71          |

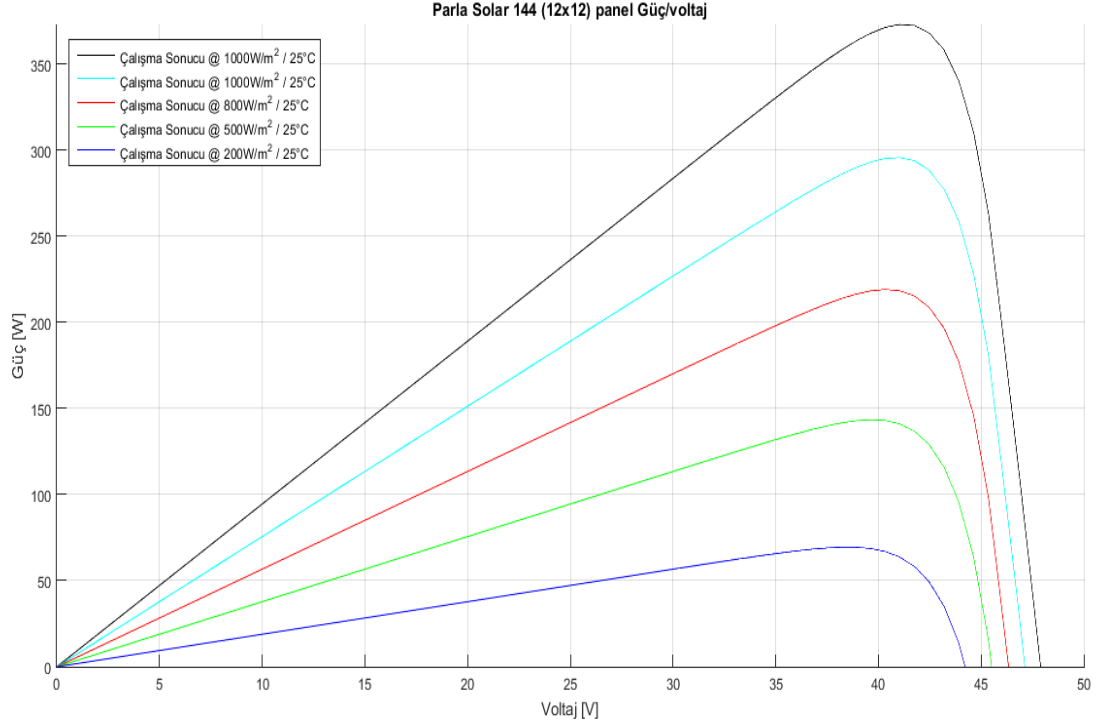
**Tablo 5.60:** Parla Solar 1 Full Cell Panel Verileri

| Modül Parametre   | Ölçülen Değer |
|-------------------|---------------|
| Module Efficiency | 17,83         |
| FF                | 78,87         |
| IO                | 7,7889e-11    |
| Rs                | 0,27          |

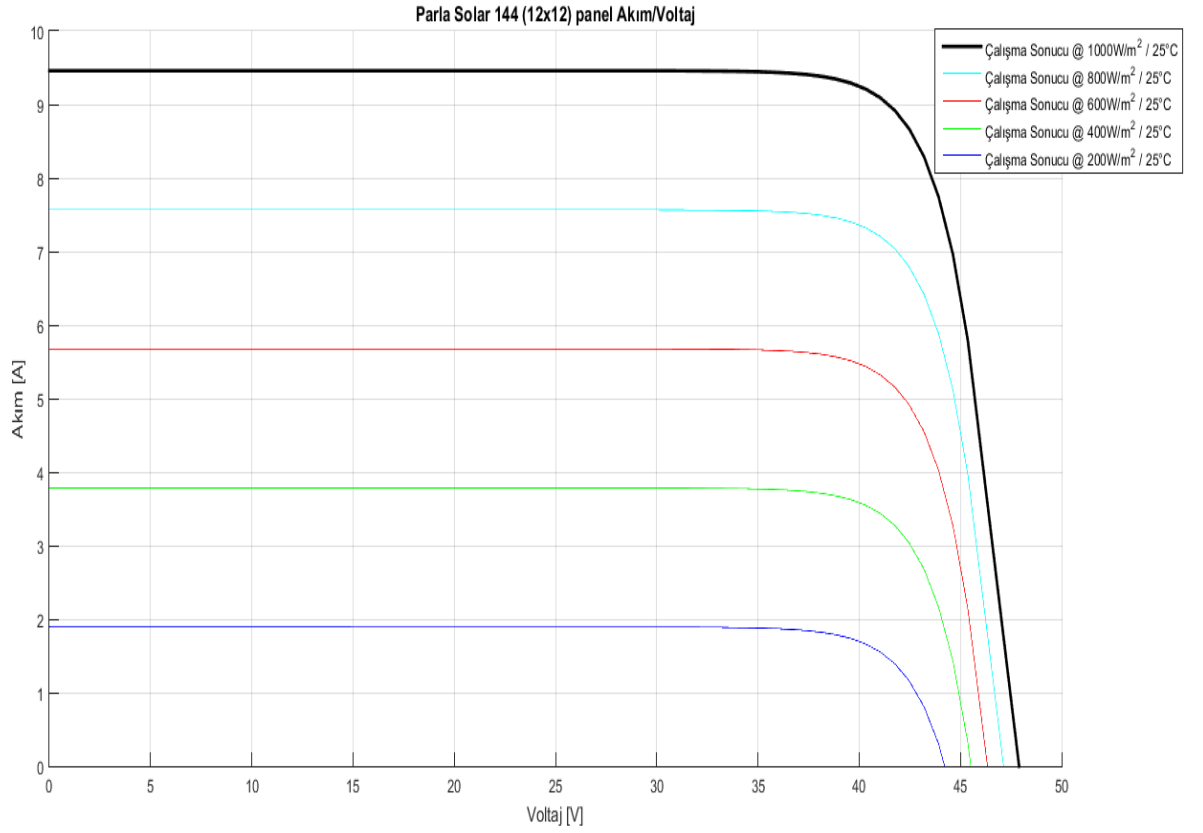
### 5.1.13 Bereket Enerji-Parla Solar Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) Similasyonu (72 Hücre Verisi)

Bereket Enerji-Parla Solar firmasından alınan hücre verilerinden 72 adet hücre verileri (Tablo 5.55) ele alınıp, half cut cell (yarı kesik hücre) için çıkan simülasyon sonucu verilmiştir. EK J.1’de bu çalışmanın Matlab kodları bulunmaktadır.

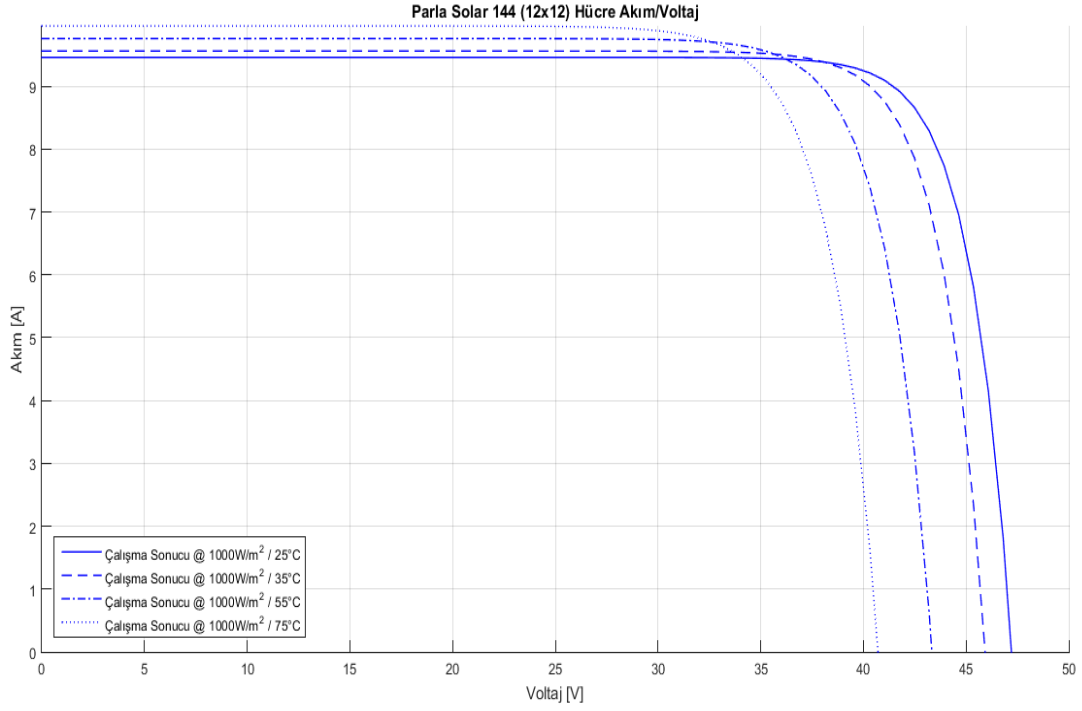
**Şekil 5.57:** Parla Solar 1 Half Cut Cell Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri



Şekil 5.58: Parla Solar 1 Half Cut Cell Panel (P-V) Grafiği ( $T=25^\circ\text{C}$ )



Şekil 5.59: Parla Solar 1 Half Cut Cell Panel (I-V) Grafiği ( $T=25^\circ\text{C}$ )



**Şekil 5.60:** Parla Solar 1 Half Cut Cell Panel (I-V) Grafiği (G=1000 W/m<sup>2</sup>)

**Tablo 5. 61:** Parla Solar 1 Half Cut Cell Hücre Verileri (T=25 °C)

| <i>Radyasyon (W/m<sup>2</sup>)</i> | <i>Parametreler</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|------------------------------------|---------------------|----------------------|
| 1000                               | Pmax                | 2,59                 |
|                                    | Voc                 | 0,66                 |
|                                    | Isc                 | 4,73                 |
| 800                                | Pmax                | 2,06                 |
|                                    | Voc                 | 0,65                 |
|                                    | Isc                 | 3,78                 |
| 600                                | Pmax                | 1,52                 |
|                                    | Voc                 | 0,64                 |
|                                    | Isc                 | 2,84                 |
| 400                                | Pmax                | 1,00                 |
|                                    | Voc                 | 0,63                 |
|                                    | Isc                 | 1,89                 |
| 200                                | Pmax                | 0,48                 |
|                                    | Voc                 | 0,61                 |
|                                    | Isc                 | 0,95                 |

**Tablo 5.62:** Parla Solar 1 Half Cut Cell Hücre Verileri (G=1000 W/m2)

| Sıcaklık (°C) | Parametreler | Ölçülen Değer |
|---------------|--------------|---------------|
| 25            | Pmax         | 2,59          |
|               | Voc          | 0,66          |
|               | Isc          | 4,73          |
| 35            | Pmax         | 2,53          |
|               | Voc          | 0,64          |
|               | Isc          | 4,78          |
| 55            | Pmax         | 2,39          |
|               | Voc          | 0,60          |
|               | Isc          | 4,88          |
| 75            | Pmax         | 2,24          |
|               | Voc          | 0,57          |
|               | Isc          | 4,98          |

**Tablo 5.63:** Parla Solar 1 Half Cut Cell Panel Verileri (T=25 °C)

| Radyasyon (W/m2) | Parametreler | Ölçülen Değer |
|------------------|--------------|---------------|
| 1000             | Pmax         | 373,18        |
|                  | Voc (P-V)    | 47,90         |
|                  | Voc (I-V)    | 47,90         |
|                  | Isc          | 9,46          |
| 800              | Pmax         | 295,83        |
|                  | Voc (P-V)    | 47,13         |
|                  | Voc (I-V)    | 47,13         |
|                  | Isc          | 7,57          |
| 600              | Pmax         | 219,21        |
|                  | Voc (P-V)    | 46,34         |
|                  | Voc (I-V)    | 46,34         |
|                  | Isc          | 5,68          |
| 400              | Pmax         | 143,55        |
|                  | Voc (P-V)    | 45,51         |
|                  | Voc (I-V)    | 45,51         |
|                  | Isc          | 3,79          |
| 200              | Pmax         | 69,47         |
|                  | Voc (P-V)    | 44,22         |
|                  | Voc (I-V)    | 44,22         |
|                  | Isc          | 1,90          |

**Tablo 5.64:** Parla Solar 1 Half Cut Cell Panel Verileri (G=1000 W/m<sup>2</sup>)

| Sıcaklık (°C) | Parametreler | Ölçülen Değer |
|---------------|--------------|---------------|
| 25            | Voc          | 47,20         |
|               | Isc          | 9,46          |
| 35            | Voc          | 45,92         |
|               | Isc          | 9,56          |
| 55            | Voc          | 43,33         |
|               | Isc          | 9,76          |
| 75            | Voc          | 40,71         |
|               | Isc          | 9,96          |

**Tablo 5. 65:** Parla Solar 1 Half Cut Cell Panel Verileri

| Modül Parametre   | Ölçülen Değer |
|-------------------|---------------|
| Module Efficiency | 18,85         |
| FF                | 85,61         |
| IO                | 3,89440e-11   |
| Rs                | 0,04          |

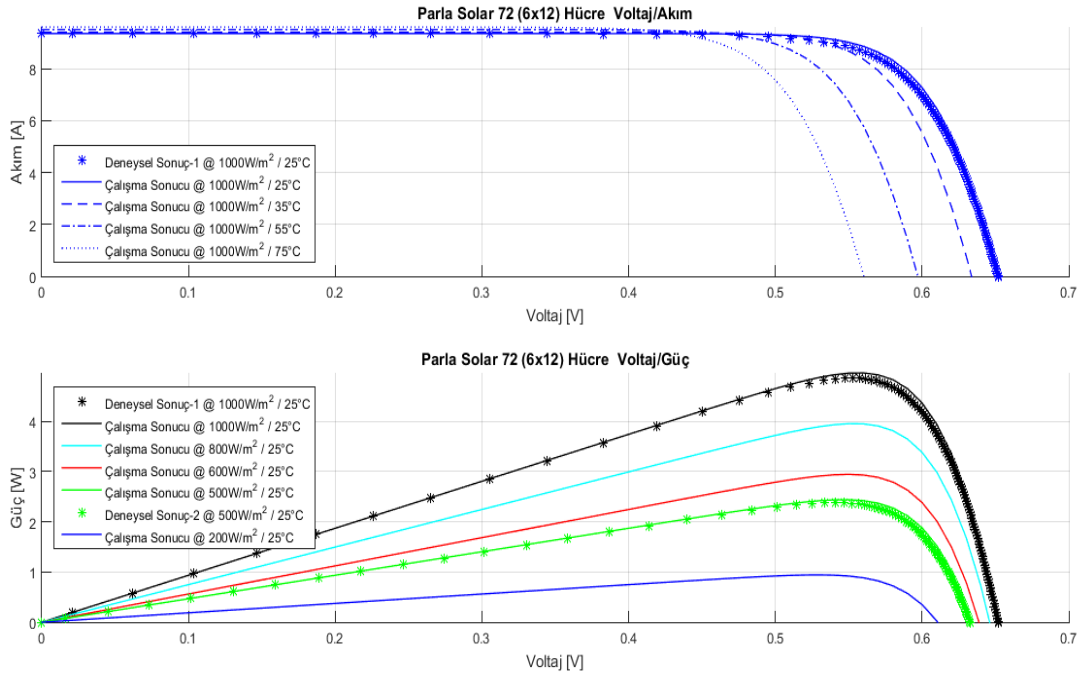
Bölüm 5.1.12’de Bereket Enerji-Parla Solar 72 tam hücre verilerini kullanarak, hücreyi yarıya kestiğimizde elde edilen veriler Bölüm 5.1.13’te bulunmaktadır. Bu verilerden yola çıkarak hücreyi yarıya kestiğimizde, bir yarı kesik hücrenin (STC=1000 W/m<sup>2</sup>) (Tablo 5.61), bir tam hücreye göre gücü (STC=1000 W/m<sup>2</sup>) (Tablo 5.56) %47,143 oranla azalmaktadır. Yarı kesik hücrelerden oluşan panelin gücü (STC=1000 W/m<sup>2</sup>) (Tablo 5.63), tam hücrelerden oluşan panelin gücüne (STC=1000 W/m<sup>2</sup>) (Tablo 5.58) göre % 5,834 oranla artmaktadır.

#### 5.1.14 Bereket Enerji-Parla Solar Full Cell (Tam Hücre) Similasyonu (19 Hücre Verisi)

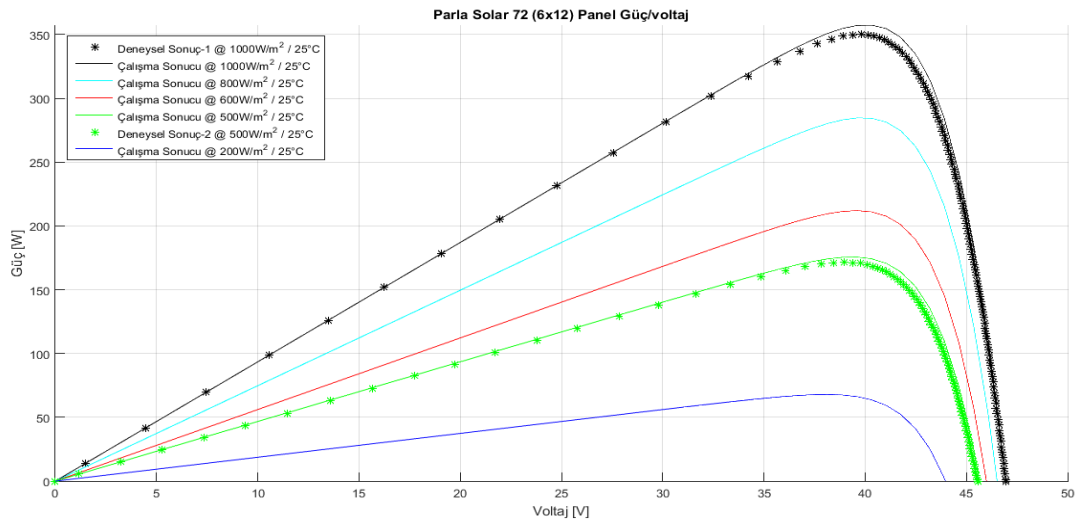
Bereket Enerji-Parla Solar firmasından alınan hücre verilerinden 19 adet hücrenin G=1000 W/m<sup>2</sup> ve G=500 W/m<sup>2</sup> alınan (I-V) eğri verileri (Tablo 5.66) ele alınıp, 72 adet full cell (tam hücre) için de aynı veriler kabul edilerek, çıkan simülasyon sonucu verilmiştir. EK K’da bu çalışmanın Matlab kodları bulunmaktadır.

**Tablo 5.66:** Bereket Enerji-Parla Solar 19 Adet Hücre Verileri

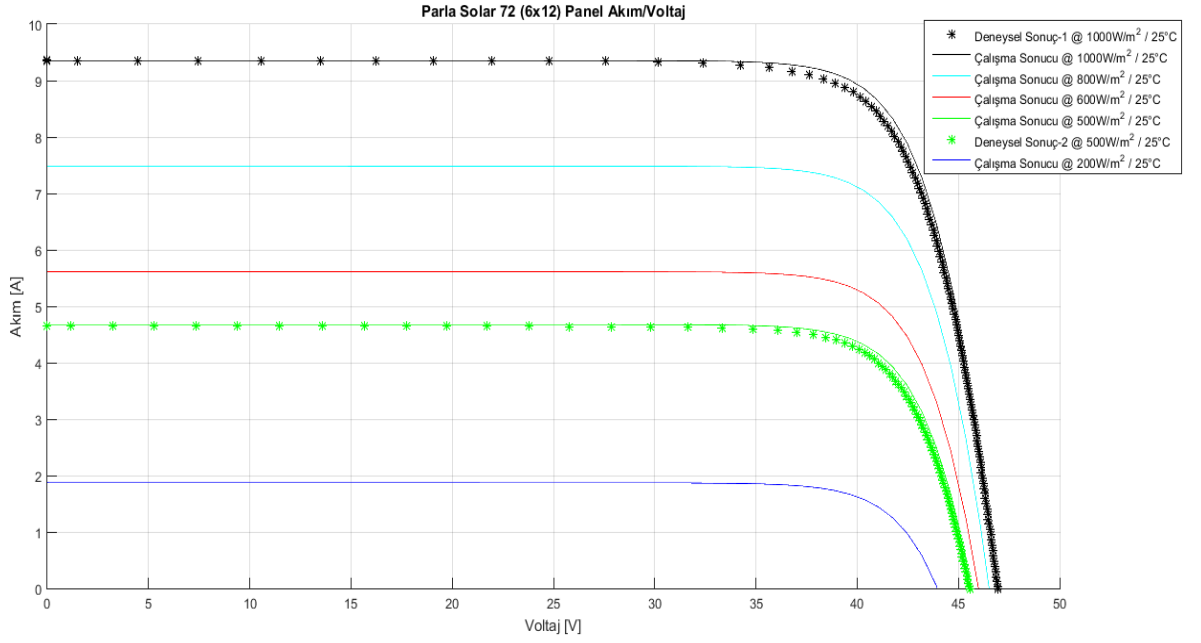
| Modül Parametre     | Değer    |
|---------------------|----------|
| Isc (A)             | 9,355336 |
| Voc (V)             | 0,652014 |
| Rs ( $\Omega$ )     | 0,00209  |
| Rp ( $\Omega$ )     | 211,6461 |
| I <sub>mp</sub> (A) | 8,871807 |
| V <sub>mp</sub> (V) | 0,55061  |



**Şekil 5.61:** Parla Solar 2 Full Cell Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri

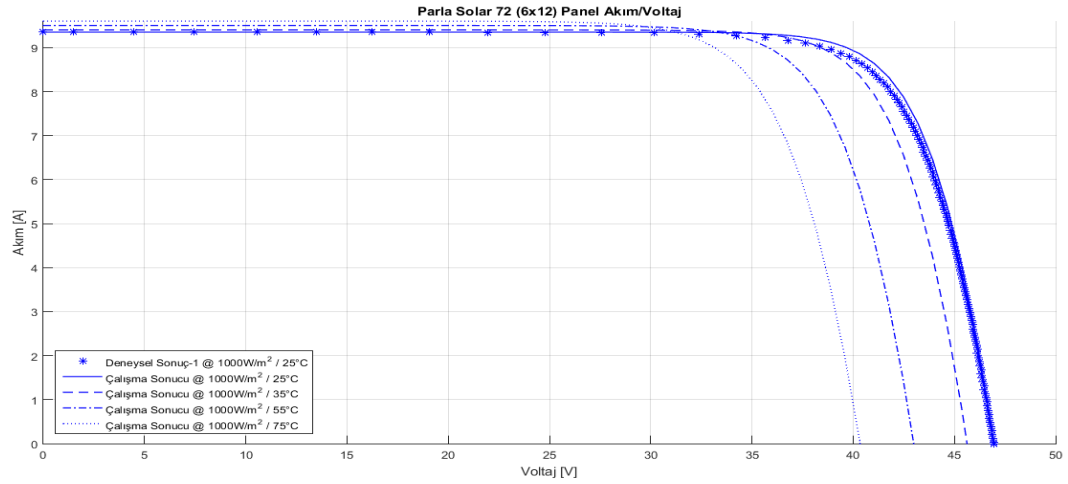


**Şekil 5.62:** Parla Solar 2 Full Panel (P-V) Grafiği (T=25 °C)



**Şekil 5.63:** Parla Solar 2 Full Cell Panel (I-V) Grafiği (T=25 °C)

Şekil 5.61, Şekil 5.62 ve Şekil 5.63'te 'Deneysel Sonuç-1' ve 'Deneysel Sonuç-2' isimli çalışma Bereket Enerji-Parla Solar firmasına ait hücre (I-V) eğrisine ait veriler olup 'Çalışma Sonucu' isimli çalışma simülasyon sonucuna ait verilerdir.



**Şekil 5.64:** Parla Solar 2 Full Cell Panel (I-V) Grafiği (G=1000 W/m²)

Şekil 5.64'de (G=1000 W/m², T=25 °C)'de Bereket Enerji-Parla Solar verisi 'Çalışma Sonucu' olarak simülasyon sonuçları ile karşılaştırma olarak kullanılmıştır.

**Tablo 5.67:** Parla Solar 2 Full Cell Panel Verileri (T=25 °C)

| <i>Radyasyon (W/m2)</i> | <i>Parametreler</i>     | <i>Ölçülen Değer</i> |
|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| 1000                    | Pmax (Deneysel Sonuç-1) | 4,86                 |
|                         | Voc (Deneysel Sonuç-1)  | 0,65                 |
|                         | Isc (Deneysel Sonuç-1)  | 9,36                 |
|                         | Pmax                    | 4,96                 |
|                         | Voc                     | 0,65                 |
|                         | Isc                     | 9,36                 |
| 800                     | Pmax                    | 3,95                 |
|                         | Voc                     | 0,65                 |
|                         | Isc                     | 7,48                 |
| 600                     | Pmax                    | 2,94                 |
|                         | Voc                     | 0,64                 |
|                         | Isc                     | 5,61                 |
| 500                     | Pmax (Deneysel Sonuç-2) | 2,38                 |
|                         | Voc (Deneysel Sonuç-2)  | 0,63                 |
|                         | Isc (Deneysel Sonuç-2)  | 4,66                 |
|                         | Pmax                    | 2,44                 |
|                         | Voc                     | 0,63                 |
|                         | Isc                     | 4,68                 |
| 200                     | Pmax                    | 0,94                 |
|                         | Voc                     | 0,61                 |
|                         | Isc                     | 1,87                 |

Tablo 5.67’ de ise sabit T=25 °C değerinde hücre (P-V) ve (I-V) grafiğinden elde edilen simülasyon sonuçları bulunmaktadır.

**Tablo 5.68:** Parla Solar 2 Full Cell Panel Verileri (G=1000 W/m2)

| <i>Sıcaklık (°C)</i> | <i>Parametreler</i>     | <i>Ölçülen Değer</i> |
|----------------------|-------------------------|----------------------|
| 25                   | Pmax (Deneysel Sonuç-1) | 4,86                 |
|                      | Voc (Deneysel Sonuç-1)  | 0,65                 |
|                      | Isc (Deneysel Sonuç-1)  | 9,36                 |
|                      | Pmax                    | 4,96                 |
|                      | Voc                     | 0,65                 |
|                      | Isc                     | 9,36                 |
| 35                   | Pmax                    | 4,80                 |
|                      | Voc                     | 0,63                 |
|                      | Isc                     | 9,41                 |
| 55                   | Pmax                    | 4,48                 |
|                      | Voc                     | 0,60                 |
|                      | Isc                     | 9,51                 |
| 75                   | Pmax                    | 4,15                 |
|                      | Voc                     | 0,56                 |
|                      | Isc                     | 9,61                 |

**Tablo 5.69:** Parla Solar 2 Full Cell Panel Verileri (T=25 °C)

| <i>Radyasyon<br/>(W/m<sup>2</sup>)</i> | <i>Parametreler</i>     | <i>Ölçülen Değer</i> |
|----------------------------------------|-------------------------|----------------------|
| 1000                                   | Pmax (Deneysel Sonuç-1) | 350,16               |
|                                        | Voc (Deneysel Sonuç-1)  | 46,97                |
|                                        | Isc (Deneysel Sonuç-1)  | 9,36                 |
|                                        | Pmax                    | 357,41               |
|                                        | Voc                     | 46,96                |
|                                        | Isc                     | 9,36                 |
| 800                                    | Pmax                    | 284,68               |
|                                        | Voc                     | 46,52                |
|                                        | Isc                     | 7,49                 |
| 600                                    | Pmax                    | 212,02               |
|                                        | Voc                     | 45,99                |
|                                        | Isc                     | 5,62                 |
| 500                                    | Pmax (Deneysel Sonuç-2) | 171,46               |
|                                        | Voc (Deneysel Sonuç-2)  | 45,57                |
|                                        | Isc (Deneysel Sonuç-2)  | 4,66                 |
|                                        | Pmax                    | 175,62               |
|                                        | Voc                     | 45,64                |
|                                        | Isc                     | 4,68                 |
| 200                                    | Pmax                    | 67,88                |
|                                        | Voc                     | 43,96                |
|                                        | Isc                     | 1,88                 |

**Tablo 5.70:** Parla Solar 2 Full Cell Panel Verileri (G=1000 W/m<sup>2</sup>)

| <i>Sıcaklık (°C)</i> | <i>Parametreler</i>    | <i>Ölçülen Değer</i> |
|----------------------|------------------------|----------------------|
| 25                   | Voc (Deneysel Sonuç-1) | 46,97                |
|                      | Isc (Deneysel Sonuç-1) | 9,36                 |
|                      | Voc                    | 46,94                |
|                      | Isc                    | 9,36                 |
| 35                   | Voc                    | 45,62                |
|                      | Isc                    | 9,41                 |
| 55                   | Voc                    | 42,99                |
|                      | Isc                    | 9,51                 |
| 75                   | Voc                    | 40,34                |
|                      | Isc                    | 9,61                 |

**Tablo 5.71:** Parla Solar 2 Full Cell Panel Verileri

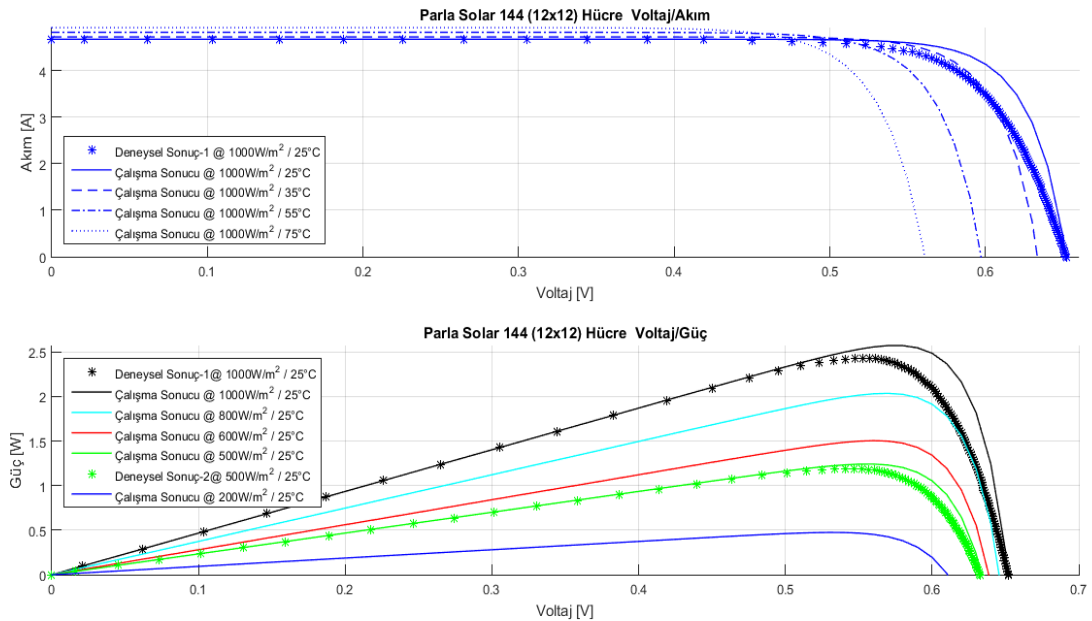
| <i>Modül Parametre</i> | <i>Ölçülen Değer</i> |
|------------------------|----------------------|
| Module Efficiency      | 18,07                |
| FF                     | 81,32                |
| IO                     | 8,9995e-11           |
| Rs                     | 0,13                 |

Bölüm 5.1.14'te Bereket Enerji-Parla Solar 19 tam hücre simülasyon sonucunun ( $STC=1000 \text{ W/m}^2$ ) (Tablo 5.67) , 19 tam hücre Deneysel Sonuç-1 ( $STC=1000 \text{ W/m}^2$ ) (Tablo 5.67)'e göre, bir hücrede güç artışı %2.058 olarak hesaplanmaktadır. 19 Tam Hücre simülasyon sonucunun ( $STC=500 \text{ W/m}^2$ ) (Tablo 5.67) , 19 tam hücre Deneysel Sonuç-2 ( $STC=500 \text{ W/m}^2$ ) (Tablo 5.67)'ye göre, bir hücrede güç artışı %2,521 olarak hesaplanmaktadır.

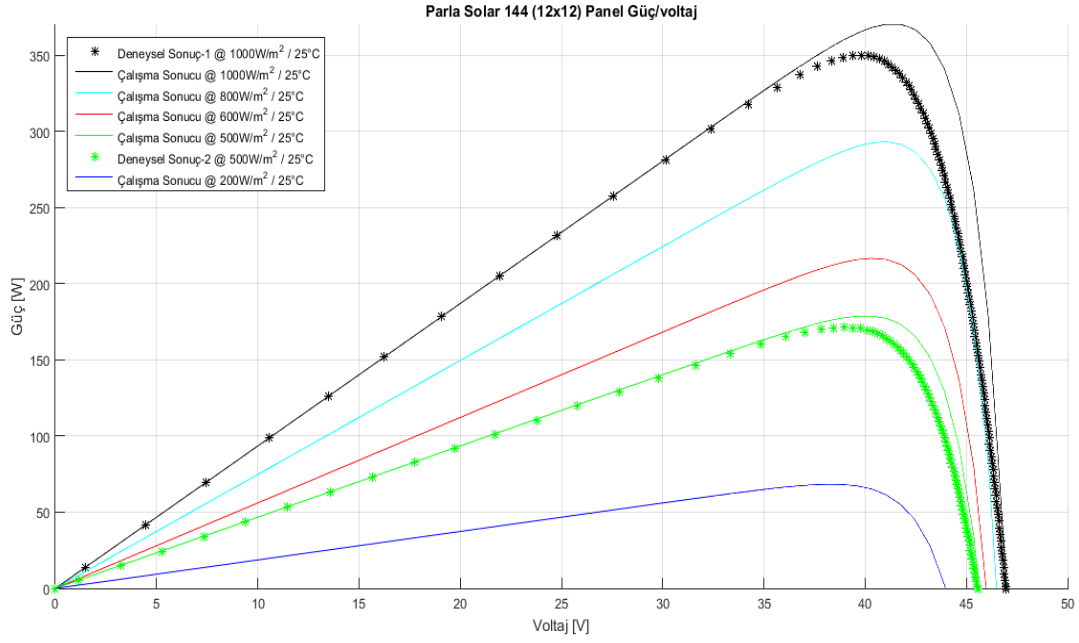
Bereket Enerji-Parla Solar 19 tam hücreden oluşan panel simülasyon sonucunun ( $STC=1000 \text{ W/m}^2$ ) (Tablo 5.69), 19 tam hücreden oluşan panelde Deneysel Sonuç-1 ( $STC=1000 \text{ W/m}^2$ ) (Tablo 5.69)'e göre güç artışı %2.070 olarak hesaplanmaktadır. 19 tam hücreden oluşan panel simülasyon sonucunun ( $STC=500 \text{ W/m}^2$ ) (Tablo 5.69), 19 tam hücreden oluşan panelde Deneysel Sonuç-2 ( $STC=500 \text{ W/m}^2$ ) (Tablo 5.69)'ye göre, panelde güç artışı %2,426 olarak hesaplanmaktadır.

#### 5.1.15 Bereket Enerji-Parla Solar Half Cut Cell (Yarı Kesik Hücre) Similasyonu (19 Hücre Verisi)

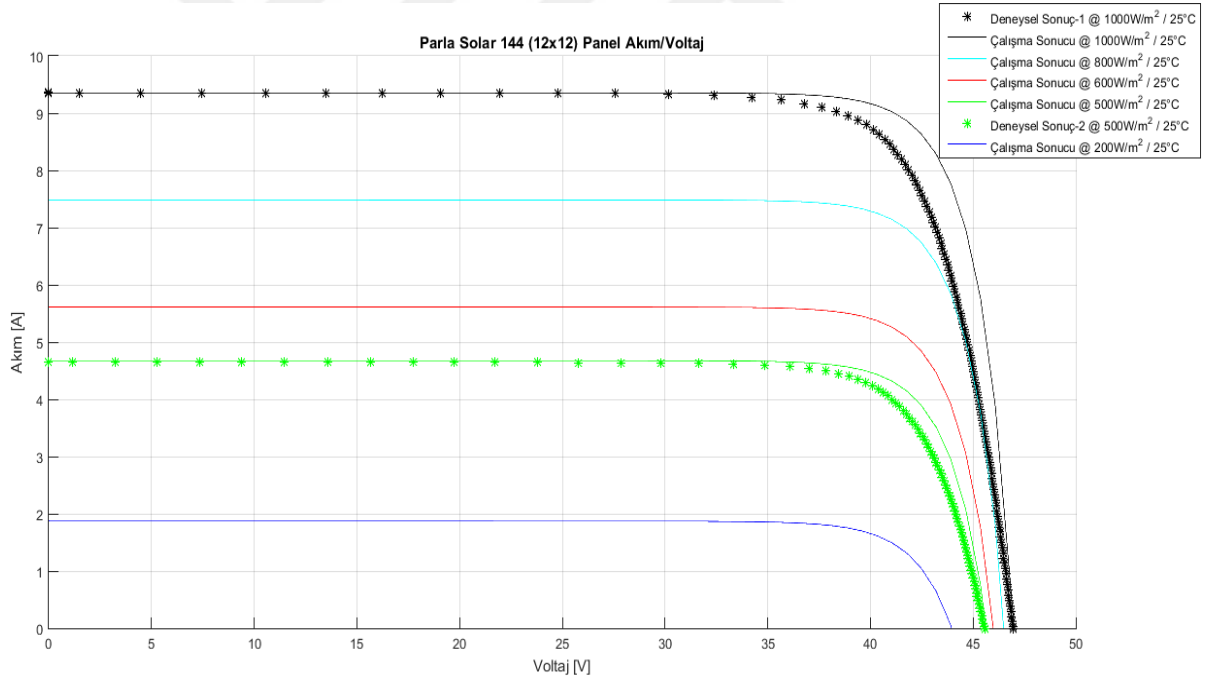
Bereket Enerji-Parla Solar firmasına ait hücre verilerinden 19 adet hücre  $G=1000 \text{ W/m}^2$  ve  $G=500 \text{ W/m}^2$  için (I-V) eğri verileri ele alınıp, 72 adet full cell (tam hücre) için de aynı veriler kabul edilmiştir. Bu veriler kullanılarak yarı kesik 144 adet hücre için çıkan simülasyon sonucu verilmiştir. EK K.1'de bu çalışmanın Matlab kodları bulunmaktadır.



Şekil 5.65: Parla Solar 2 Half Cut Cell Hücre (I-V) Ve (P-V) Grafikleri

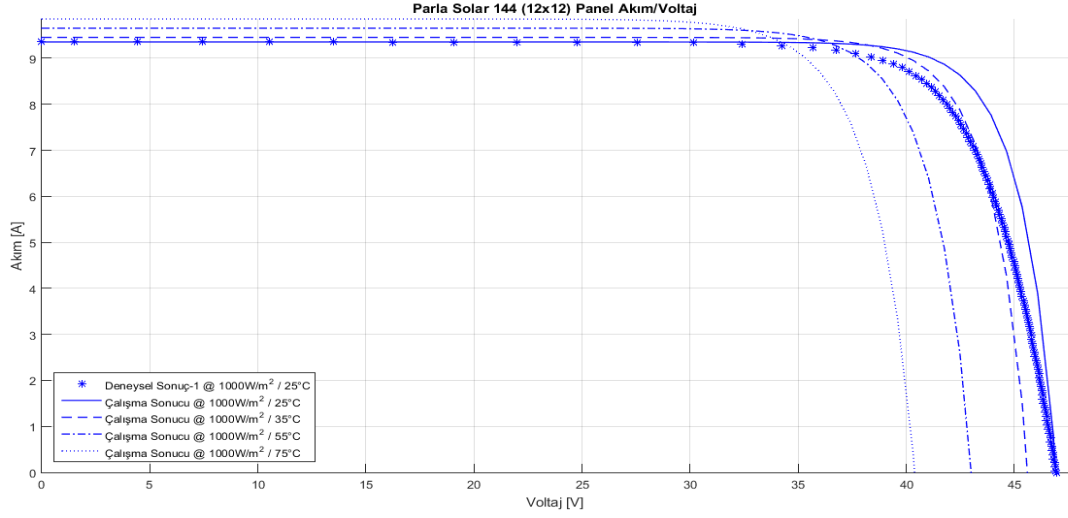


Şekil 5.66: Parla Solar 2 Half Cut Cell Panel (P-V) Grafiği (T=25 °C)



Şekil 5.67: Parla Solar 2 Half Cut Cell Panel (I-V) Grafiği (T=25 °C)

Şekil 5.65, Şekil 5.66 ve Şekil 5.67’de ‘Deneysel Sonuç-1’ ve ‘Deneysel Sonuç-2’ isimli çalışma Bereket Enerji-Parla Solar firmasına ait hücre (I-V) eğrisine ait veriler olup ‘Çalışma Sonucu’ isimli çalışmalar simülasyon sonucuna ait verilerdir.



**Şekil 5.68:** Parla Solar 2 Half Cut Cell Panel (I-V) ( $G=1000 \text{ W/m}^2$ )

Şekil 5.68’de ‘Deneysel Sonuç-1’ isimli çalışma Bereket Enerji-Parla Solar firmasına ait hücre ( $G=1000 \text{ W/m}^2$ ,  $T=25 \text{ }^\circ\text{C}$ )’ de (I-V) eğrisine ait veri olup ‘Çalışma Sonucu’ isimli çalışmalar simülasyon sonucuna ait verilerdir.

**Tablo 5.72:** Parla Solar 2 Half Cut Cell Panel Verileri ( $T=25 \text{ }^\circ\text{C}$ )

| <i>Radyasyon (<math>\text{W/m}^2</math>)</i> | <i>Parametreler</i>     | <i>Ölçülen Değer</i> |
|----------------------------------------------|-------------------------|----------------------|
| 1000                                         | Pmax (Deneysel Sonuç-1) | 2,43                 |
|                                              | Voc (Deneysel Sonuç-1)  | 0,65                 |
|                                              | Isc (Deneysel Sonuç-1)  | 4,68                 |
|                                              | Pmax                    | 2,57                 |
|                                              | Voc                     | 0,65                 |
|                                              | Isc                     | 4,68                 |
| 800                                          | Pmax                    | 2,04                 |
|                                              | Voc                     | 0,65                 |
|                                              | Isc                     | 3,74                 |
| 600                                          | Pmax                    | 1,51                 |
|                                              | Voc                     | 0,64                 |
|                                              | Isc                     | 2,81                 |
| 500                                          | Pmax (Deneysel Sonuç-2) | 1,19                 |
|                                              | Voc (Deneysel Sonuç-2)  | 0,63                 |
|                                              | Isc (Deneysel Sonuç-2)  | 2,33                 |
|                                              | Pmax                    | 1,24                 |
|                                              | Voc                     | 0,63                 |
|                                              | Isc                     | 4,68                 |
| 200                                          | Pmax                    | 0,48                 |
|                                              | Voc                     | 0,61                 |
|                                              | Isc                     | 1,88                 |

**Tablo 5.73:** Parla Solar 2 Half Cut Cell Panel Verileri (G=1000 W/m<sup>2</sup>)

| Sıcaklık (°C) | Parametreler             | Ölçülen Değer |
|---------------|--------------------------|---------------|
| 25            | Pmax (Deneyisel Sonuç-1) | 2,43          |
|               | Voc (Deneyisel Sonuç-1)  | 0,65          |
|               | Isc (Deneyisel Sonuç-1)  | 4,68          |
|               | Pmax                     | 2,57          |
|               | Voc                      | 0,65          |
|               | Isc                      | 4,68          |
| 35            | Pmax                     | 2,51          |
|               | Voc                      | 0,63          |
|               | Isc                      | 4,73          |
| 55            | Pmax                     | 2,37          |
|               | Voc                      | 0,60          |
|               | Isc                      | 4,83          |
| 75            | Pmax                     | 3,20          |
|               | Voc                      | 0,61          |
|               | Isc                      | 4,93          |

**Tablo 5.74:** Parla Solar 2 Half Cut Cell Panel Verileri (T=25 °C)

| Radyasyon (W/m <sup>2</sup> ) | Parametreler             | Ölçülen Değer |
|-------------------------------|--------------------------|---------------|
| 1000                          | Pmax (Deneyisel Sonuç-1) | 350,16        |
|                               | Voc (Deneyisel Sonuç-1)  | 46,97         |
|                               | Isc (Deneyisel Sonuç-1)  | 9,36          |
|                               | Pmax                     | 370,48        |
|                               | Voc                      | 46,99         |
|                               | Isc                      | 9,36          |
| 800                           | Pmax                     | 293,23        |
|                               | Voc                      | 46,49         |
|                               | Isc                      | 7,49          |
| 600                           | Pmax                     | 216,76        |
|                               | Voc                      | 45,98         |
|                               | Isc                      | 5,62          |
| 500                           | Pmax (Deneyisel Sonuç-2) | 171,46        |
|                               | Voc (Deneyisel Sonuç-2)  | 45,57         |
|                               | Isc (Deneyisel Sonuç-2)  | 4,68          |
|                               | Pmax                     | 178,88        |
|                               | Voc                      | 45,62         |
|                               | Isc                      | 4,68          |
| 200                           | Pmax                     | 68,39         |
|                               | Voc                      | 43,96         |
|                               | Isc                      | 1,88          |

**Tablo 5.75:** Parla Solar 2 Half Cut Cell Panel Verileri (G=1000 W/m<sup>2</sup>)

| Sıcaklık (°C) | Parametreler           | Ölçülen Değer |
|---------------|------------------------|---------------|
| 25            | Voc (Deneysel Sonuç-1) | 46,97         |
|               | Isc (Deneysel Sonuç-1) | 9,36          |
|               | Voc                    | 46,8          |
|               | Isc                    | 9,36          |
| 35            | Voc                    | 45,6          |
|               | Isc                    | 9,46          |
| 55            | Voc                    | 43            |
|               | Isc                    | 9,66          |
| 75            | Voc                    | 40,38         |
|               | Isc                    | 9,86          |

**Tablo 5.76:** Parla Solar 2 Half Cut Cell Panel Verileri

| Modül Parametre   | Ölçülen Değer |
|-------------------|---------------|
| Module Efficiency | 18,67         |
| FF                | 84,58         |
| IO                | 4,50e-11      |
| Rs                | 0,065         |

Bölüm 5.1.15'te Bereket Enerji-Parla Solar 19 tam hücrenin yarı kesik hücre için simülasyon sonucunun (STC=1000 W/m<sup>2</sup>) (Tablo 5.72) , Deneysel Sonuç-1 (STC=1000 W/m<sup>2</sup>) (Tablo 5.72)'e göre, bir yarı kesik hücrede güç artışı %5,76 olarak hesaplanmaktadır. 19 tam hücrenin yarı kesik hücre için simülasyon sonucunun (STC=500 W/m<sup>2</sup>) (Tablo 5.72) , Deneysel Sonuç-2 (STC=500 W/m<sup>2</sup>) (Tablo 5.72)'ye göre, bir yarı kesik hücrede güç artışı %4,20 olarak hesaplanmaktadır.

Bununla birlikte Bereket Enerji-Parla Solar 19 tam hücrenin yarı kesik hücrelerden oluşan panel simülasyon sonucunun (STC=1000 W/m<sup>2</sup>) (Tablo 5.74), panelde Deneysel Sonuç-1 (STC=1000 W/m<sup>2</sup>) (Tablo 5.74)'e göre güç artışı %5,80 olarak hesaplanmaktadır. 19 tam hücrenin yarı kesik hücrelerden oluşan panel simülasyon sonucunun (STC=500 W/m<sup>2</sup>) (Tablo 5.74), Deneysel Sonuç-2 (STC=500 W/m<sup>2</sup>) (Tablo 5.74)'ye göre, panelde güç artışı %4,33 olarak hesaplanmaktadır.

Bölüm 5.1.14'te Bereket Enerji-Parla Solar 19 tam hücre verilerini kullanarak, hücreyi yarıya kestiğimizde elde edilen veriler Bölüm 5.1.15'te bulunmaktadır. Bu verilerden yola çıkarak hücreyi yarıya kestiğimizde, bir yarı kesik hücrenin ( $STC=1000 \text{ W/m}^2$ ) (Tablo 5.72), bir tam hücreye göre gücü ( $STC=1000 \text{ W/m}^2$ ) (Tablo 5.67) %48,185 oranla azalmaktadır. Yarı kesik hücrelerden oluşan panelin gücü ( $STC=1000 \text{ W/m}^2$ ) (Tablo 5.74), tam hücrelerden oluşan panelin gücüne ( $STC=1000 \text{ W/m}^2$ ) (Tablo 5.69) göre % 3,657 oranla artmaktadır.



## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde, dünya üzerinde artan enerji taleplerinden dolayı ortaya çıkan çevreye olumsuz etkileri olan atık ve salınımlara karşı en etkin çözümleri arasında yer alan güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmasıyla bir çözüm oluşturulmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından daha verimli ve etkin şekilde yararlanabilmek için akıllı enerji sistemi kullanılmalıdır. Bu tezde full cell (tam hücre) ve half cut cell (yarı kesik hücre) modellemesi ve yaklaşımları yapılmıştır.

Son günlerde dünya üzerinde enerji piyasasını etkileyen çalışmaların başında gelen fotovoltaik enerji, gün geçtikçe daha çok gelişmekte ve değer kazanmaktadır. Fotovoltaik enerjinin daha etkili kullanılması için birçok firma çeşitli yöntemler denemekte, kullanıcıya hem tasarruf hem de daha etkili verim ile bu enerjiyi kullanmalarını sağlamaktadır. Bu yöntemlerden birisi olan ve en etkili yöntemden birisi ise half cut cell (yarı kesik hücre) modelidir. Fabrikasyon ortamda üretilen bu hücreler full cell (tam hücre) modeline göre hem daha fazla güç üretmekte, hem de güç üreten hücrelerin sayısı, tam hücre sayısından oluşturulan panel boyutunu çok fazla aşmamaktadır.

Bu tezde yapılan tasarım gereği, yarı kesik hücreleri (half cut cell) birbirine seri olarak bağlarsak; yarıya bölünmüş hücre modülünün  $V_{oc}$  değerinin tam boyutlu hücre modülünün iki katı olması beklenirken yarıya bölünmüş hücre modülünün  $I_{sc}$  değerinin tam boyutlu hücrenin yarısı olması beklenir. Dolayısıyla  $I_{sc}$  değeri düşük olacağından dolayı, half cut cells (yarı kesik hücreler) tamamını birbirine seri olarak bağlamamız sonucunda full cell (tam hücre)'e göre güç artışı gözlenmeyecektir (Guo ve diğ., 2013).

Fotovoltaik bir panelde hücre bağlantıları aynı olduğu için simülasyon sonucu elde edeceğimiz  $V_{oc}$  değeri, panel kataloğunda bulunan  $V_{oc}$  değeri ile aynı değere sahip olacaktır. Ve bundan dolayı hücreyi ikiye bölmek (half cut cell), jonsiyonu etkilemeyecektir. Güneş panelini pek çok hücrenin birleştiği paralel bir kombinasyonu olarak göz önüne alabiliriz. Paralel bir bağlantıda tüm panellerin  $V_{oc}$ 'si aynı değeri almaktadır. Bu yüzden, dolu, yarım ve herhangi bir sayıda kesilmiş hücre için  $V_{oc}$  aynı kalacaktır. Ancak  $I_{sc}$  panel alanına ve paralel hücre sayısına bağlı olarak bir değer alacaktır.

Tezimizde tam hücreler ve yarı kesilmiş hücrelerde, tek diyot modeli kabul edilmiştir. Full cell (Tam hücre) modelinde kullanılacak hücrelerin birbirine seri olarak bağlandığı varsayılmıştır. Half cut cells (yarı kesik hücreler) ise modülde bulunan full cells (tam hücreler) sayısının iki katı kadar olduğu varsayılmıştır. İki blok halinde full cell bağlantı sayısı kadar seri bağlantı olduğu ve bu seri bağlantıları birbirlerine paralel olarak bağlantı yapıldığı varsayılmıştır. MATLAB/SIMULINK programı ortamında her iki hücre çeşidi için modelleme yapıp sonuçlar elde edilmiştir.

PV modülleri için full cells (tam boyutlu hücreler) yerine half cut cell (yarı kesik hücreler) kullanıldığında güç çıkışı açısından faydaların ne olduğunu bu tezde tanımlanmıştır.

Bu tezde birçok firmanın çeşitli panel kataloglarındaki ( $STC=G=1000\text{ W/m}^2$ ,  $T=25^\circ\text{C}$ ) parametreler kullanılarak MATLAB programı ortamında simülasyon edilmiş ve sonuçları Bölüm 5'te verilmiştir. Bu panel kataloglarında hem full cell (tam hücre) için hem de half cut cell (yarı kesik hücre) için verilen panel katalog verilerinde grafik verileri bulunan güç verileri, MATLAB programı ile simülasyon edilip, parametreler hem grafiksel olarak hemde tablo olarak karşılaştırmış ve birbirine çok yakın değerler elde edilmiştir.

Bölüm 5'te, şekillerde mevcut olan 'Çalışma Sonucu' isimli çalışmalar simülasyon çalışması ve 'Deneysel Sonuç' isimli çalışmalar ise gerçek grafik sonuçlarından elde edilen (I-V) ve (P-V) grafik verileridir.

Yapılan çalışma sonucunda genellikle güneş ışıını  $G=200\text{ W/m}^2$  değerinde iken, diğer güneş ışıını değerlerine nazaran daha fazla hata oranı çıktığı görülmüştür. Bunun sebebi iç direnç değerindeki kayıpların, simülasyonda sabit alınmasından dolayı, gerçek verilerle azda olsa bir farklılık göstermektedir.

Tezimizde tam hücreler ve yarı kesilmiş hücrelerde, tek diyot modeli kabul edilmiştir. Bölüm 5.1.8'de Longi solar firmasına ait panel katalog parametreler kullanılarak full cell (Tam hücre) modelinde 60 hücre birbirine seri olarak bağlandığı görülmektedir. Bölüm 5.1.9'da Longi solar Firmasına ait parametreler kullanılarak half cut cells (yarı kesik hücreler) sayısı 120 hücre kullanılmıştır. MATLAB/SIMULINK programında modelleme yapıp sonuçlar elde edilmiştir.

Bölüm 5.1.12 ve 5.1.13’de, Bereket Enerji-Parla Solar firmasının verilerinden 72 adet full cell (tam hücre) seçilmiş ve bu hücre parametreleri kullanılmıştır. Bereket Enerji-Parla Solar firmasının verilerinden yararlanılarak yapılan ilk simülasyon çalışmasında 72 hücreye ait  $V_{oc}$ ,  $I_{sc}$ ,  $V_{mp}$ ,  $I_{mp}$ ,  $R_s$  ve  $R_p$  değerleri kullanılmıştır. Parametrelerden  $V_{oc}$ ,  $V_{mp}$ ,  $R_s$  ve  $R_p$  değerleri için 72 adet hücreye ait bu değerlerin ortalaması alınmıştır.  $I_{sc}$  ve  $I_{mp}$  değerleri için 72 adet hücreye ait  $I_{sc}$  ve  $I_{mp}$  değerlerinden en küçük değerleri kabul edilmiş, benzetim sonucu bir (I-V) eğrisi oluşturulup full cell (tam hücre) ve half cut cell (yarı kesik hücre) için simülasyon sonuçlarına ulaşılmıştır.

Bereket Enerji-Parla Solar firmasına ait ikinci çalışma olarak seçilen 19 hücrenin ( $STC=G=1000 \text{ W/m}^2$ ,  $T=25^\circ\text{C}$ ) ve ( $G=500 \text{ W/m}^2$ ,  $T=25^\circ\text{C}$ )’deki (I-V) eğri parametrelerin reel değerleri (I-V) 72 adet hücre olarak varsayım yapılmış olup, bu hücrelere ait  $V_{oc}$ ,  $I_{sc}$ ,  $V_{mp}$ ,  $I_{mp}$ ,  $R_s$  ve  $R_p$  değerleri kullanılarak full cell (tam hücre) ve half cut cell (yarı kesik hücre) için simülasyon yapılmıştır. Yine aynı şekilde 19 adet hücrenin ( $STC=G=1000 \text{ W/m}^2$ ,  $T=25^\circ\text{C}$ )’deki  $V_{oc}$ ,  $V_{mp}$ ,  $R_s$  ve  $R_p$  değerlerinin ortalaması alınmıştır. 19 adet hücreye ait  $I_{sc}$  ve  $I_{mp}$  değerlerinden en küçük değerleri kabul edilmiş, benzetim sonucu bir (I-V) eğrisi oluşturulup, full cell (tam hücre) ve half cut cell (yarı kesik hücre) için simülasyona ait veriler ile reel verilerin ( $G=1000 \text{ W/m}^2$ ,  $T=25^\circ\text{C}$ ) ve ( $G=500 \text{ W/m}^2$ ,  $T=25^\circ\text{C}$ )’deki parametre değerleri karşılaştırma olarak kullanılmıştır.

Sonuç olarak half cut cell (yarı kesik hücre) modüllerinin güç çıkışı, full cell (tam hücre) modüllerine kıyasla daha fazla olmakla birlikte, hem panel kurulum alanı hem de ekonomik yönden tasarruf elde edebileceğimiz söylenebilir.

İleriki çalışmalarda modül güç çıkışının artırılması için, çeşitli hücreler üzerinde çalışılarak yöntem ve modellemeler yapılması planlanmaktadır.

## 7. KAYNAKLAR

- Alkan, A., “Yenilenebilir Hibrit Enerji Kaynakları İle Beslenen Konutlar Akıllı Enerji Depolama Ve Yönetim Sistemi”, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, (2016).
- Ataşer, T., “İki Eklemlili  $Ga_xIn_{1-x}P/GaAs$  Güneş Hücrelerinin Tasarımı, Epitaksiyel Büyütülmeleri Ve Hücre Fabrikasyonu”, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Balıkesir, (2017).
- Öztürk, H. H., Kaya, D., “Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi: Fotovoltaik Teknoloji”, Kocaeli: Umuttepe Yayınları, (2013).
- Abdulazez, M. “Tek Diyot Modeline Dayanarak Gölgelemenin Güneş Pillerinin Çalışma Performansı Üzerindeki Etkinin Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2011).
- Ercan, Ö., “Analog Elektronik (Diyod, Bjt, Fet, Mosfet)”, İstanbul: Altaş Yayıncılık, (2008).
- Hanifi, H., “Optimized Tab Width In Half-Cell Modules”, (eds: Dassler, D., Schneider, J., Turek, M., Schindler, S., Bagdahn, J.), *6th International Conference on Silicon Photovoltaics (Silicon PV 2016)*, Germany ,Energy Procedia, 52-59, (2016).
- Aydın, S., “Elektrokimyasal Yolla CdS/CdTe Güneş Gözesinin Fabrikasyonu Ve Karakterizasyonu”, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nanobilim Ve Nanomühendislik Ana Bilim Dalı, Erzurum, (2013).
- Ceylan, İ., Gürel, A., E., “Güneş Enerjisi Sistemleri Ve Tasarımı”, Bursa: Dora Basım Yayın Dağıtım, (2017).
- Wang, X., Wang, Z.M., “High-Efficiency Solar Cells”, Switzerland: Springer International Publishing, 978-3-319-01988-8, 24-30, (2014).
- Zhang, H., Zhuang, H., Gou, X., Huang, Q., Jiang, L., Chen, Z., “Study On The Benefit Of Half-Cut Cells Towards Higher Cell-To-Module Power Ratio”, *Power and Electrical Engineering (EPEE 2017)*, 978-1-60595-514-8, (2017).
- Hanifi, H., “Reduced Shading Effect On Half-Cell Modules-Measurement And Similation”, (eds: Hanifi, H., Schneider, J., Bagdahn, J.), *Conference: 31th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, At Hamburg, Germany*, (2015).
- Guo, S., Singh, J. P., Peters I. M., Aberle A. G., “Quantative Analysis Of Photovoltaic Modules Using Halved Cells”, *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy*, 739374, 8, (2013).

Abdul Kareem, M., Saravanan, M., “A New Method For Accurate Estimation Of PV Module Parameters And Extraction Of Maximum Power Point Under Varying Environmental Conditions”, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 10.3906/elk-1312-268,(2016).

Şahin, M. E., Okumuş, H. İ., “Güneş Pili Modülünün Matlab/Simulink İle Modellenmesi Ve Simülasyonu”, *EMO Bilimsel Dergi*, Cilt 3, 17-25, (2013).

Gontean, A., Lice, S., Bularka, S., Szabo, R., Lascu, D., “A Novel HighAccuracy PV Cell Model Including Self Heating and Parameter Variation”, *Energies*, 11010036,(2017).

Toprak, A., Kılıç, H.Ş., Toprak, A., Kepceoğlu, A., “ Güneş Pili Tek Diyot Rs Model Parametrelerinin Hesaplanması Ve I-V İle P-V Karakteristiklerinin İncelenmesi”, *Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi*, 12, 13-22, (2016).

Gonzalez-Longatt, F., “ Model Of PhotovoltaicModule İn Matlab”, *2do Congreso Iberoamericano De Estudiantes De Ingeniería Eléctrica, Electrónica Y Computación*, II Cibelec, (2006).

Lu, F., “Improved PV Module Performance Under Partial Shading Conditions”, (eds: Guo, S., Walsh, T.M., Aberle, A. G.), *Asian Photovoltaic Industry Association (APVIA) At Singapore*, 10.1016, 248-255, (2013)

Tahir,S., Ali, A., Amin N. And Arshad, M., “ The Effect Of Nonuniform Emitter Sheet Resistance On Perc Solar Cell Performance”, *Springer Science+Business Media B.V.*, 10.1007-s12633, (2018).

Vika, H., “Modelling Of Photovoltaic Modules With Battery Energy Storage İn Simulink/Matlab”, Master Of Energy And Environmental Engineering, *Norwegian University Of science And Technology Department Of Electric Power Engineering*, Norway, (2014).

Müller, J., Hinken, D., Blankemeyer, S., Kohlenberg, H., Sonntag, U., Bothe, K., Dullweber, T., Köntges, M., Brendel, R., “Resistive Power Loss Analysis of PV Modules Made From Halved 15.6 x 15.6 cm<sup>2</sup> Silicon PERC Solar Cells With Efficiencies up to 20.0%”, *IEE Journal Of Fotovoltaics*, Vol.5 (No.1), (2015).

Neupane, S., Kumar, A., “Modeling and Simulation of PV array in Matlab/Simulink for comparison of perturb and observe & incremental conductance algorithms using buck converter”, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Vol.04 (07), (2017).

Saraiva, S., “Simulation and Experimental Results for a Photovoltaic System Formed by Monocrystalline Solar Modules”, (eds: Melicio, R., Matias, J.C.O., Cabrita, C.M.P., Catalao, J.P.S.), *3rd Doctoral Conference on Computing*,

*Electrical And Industrial Systems (DoCEIS), Costa de Caparica, Portugal*, 10.1007, 329-336, (2012).

Boz, O.H., “Günümüzün Alternatif Enerji Kaynağı:Fotovoltaik Güneş Pilleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı*, Balıkesir, (2011).

Erol, A., Balkan, N., “ *Yarıiletkenler Ve Optoelektronik Uygulamaları*”, Ankara: Seçkin Yayıncılık, (2015).

Öztürk, A., Dursun, M., “ 2,10 ve 20 KVA’lık Fotovoltaik SistemTasarımı”, 6<sup>th</sup> *International Advanced Technologies Symposium (IATS’11)*, Elazığ- Turkey, (16-18 Mayıs 2011)

Guo, S. et al, “Investigation of the short-circuit current increase for PV modules using halved silicon wafer solar cells”, *Solar Energy Materials and Solar Cells(SOL ENERG MAT SOL C) Elsevier*, 240-247, (2014)

Calle, E., “ Long-term Stability of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Passivated Black Silicon”, (eds: Ortega, P., Gastrow, V., G., Martin, Isidro, Savin, H., Alcubilla, R.), 6<sup>th</sup> *International Conference on Silicon Photovoltaics, SiliconPV, Chambéry-France*, 341-346, 2016

Moon, I.S., Kim, D. S., Lee, S.H., “New Method For Patterning The Rear Passivation Layers Of High-Efficiency Solar Cells”, *Journal Of Materials Science: Materials In Electronics, Suwon-Korea*, 605-607, (2001)

Boukourt, N., Patane S., Hadri, B., “Development Of High- Efficiency Perc Solar Cells Using Atlas Silvaco”, *Springer Science+Business Media B.V*, s12633-018-9838-8, (2018)

Repo, P. et al, “ N-type Black Silicon Solar Cells”, *Energy Procedia, Hamelin-Germany*, 866 – 871, (2013)

Tahir, S. et al, “ The effect Of Nonuniform Emitter Sheet Resistance On Perc Solar Cell Performance”, *Springer Science+Business Media B.V*, s12633-018-9899-8, (2018)

Boukourt, N. E. I., Hadri, B., “Similation of Electrical Characteristics of Perc Solar Cells”, *Journal of Electronic Materials*, 47, 10, (2018)

Boukourt, N. E. I., Hadri, B., “ Bifacial n-Perc Solar Cell Characterization”, *Indian Journal Phys*, s12648-018-1274-5, (2018)

Rasool, B., “Power System Stability Impacts Of 400 kW Grid-Connected Photovoltaic System” M.Sc.Thesis, *Yüzüncü Yıl University, Institute Of Natural And Applied Sciences Electrical Electronics Engineering Department*, Van, (2017)

Bahçeci, S., Daldaban, F., “Dağıtım Şebekelerinde Güneş Panelleri ve Enerji Depolama Sistemi Uygulaması”, *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4, 3, ,308-313, (2017)

- Humada, A. M. et al, “ Modeling And Characterization of a Grid-Connected Photovoltaic System Under Tropical Climate Conditions”, *Renewable And Sustainable Energy Reviews Journal Elsevier*, doi:10.1016/j.rser.2017.08.053, (2017)
- Hamrouni, N. et al, “Design of a Command Scheme For Grid Connected PV Systems Using Classical Controllers”, *Electric Power Systems Research Journal Elsevier*, doi:10.1016/j.epsr.2016.10.064, (2016)
- Cao, X. et all, “ The Similation Study of The Modulation Method for PV Grid-Connected System”, *Applied Energy Symposium and Forum, Renewable Energy Integration with Mini/Microgrids 2017*, (2017)
- Saravia, S. et al, “Similation and experimental Results for a Photovoltaic System Formed by Monocrysralline Solar Modules”, *IFIP International Federation for Information Processing 2012*, IFIP AICT 372, 329-336, (2012)
- Şimşek, K. G., “ Elektrik Enerjisi Üreten Fotovoltaik Güneş Paneli Sistemi Fonksiyonel Modellemesi”, *Y.Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı*, Ankara, (2010)
- Xu, Y. et all, “ Global Status Of Recycling Waste Solar Panels: A Review”, *Waste Management Elseiver*, doi:10.1016/j.wasman.2018.01.036, (450-458),(2018)
- Banguero, E. “A Verification Study For Grid-Connected 20 kW Solar PV System Operation İn Choco,Colombia”, (eds: Aristizabal A., Murillo, W.), *4<sup>th</sup> International Conference On Power And Energy Dysystems Engineering Berlin-Germany 2017*, 96-101,(2017)
- Messenger, R., Ventre, R.A., “*Photovoltaic Systems Engineering Second Edition*”,Florida, Crc Press, 335-411, (2004)
- Soga, T., *Güneş Enerjisi Dönüşümü İçin Nanoyapıdaki Materyaller*, (Çev:Kılıç, B.),Ankara, Nobel Akademik Yayıncılık, 1-105, (2013)
- Khatib, T., Elmenreich, W., “ *Modeling of Photovoltaic Systems Using Matlab:Simplified Green Codes*”,Canada, John Wiley & Sons Press, 39-125, (2016)
- Castaner, L., Silvestre, S., “*Modelling Photovoltaic Systems Using PSpice*”, Spain, John Wiley & Sons Press ,22-103, (2002)
- Gevorkian, P., “ *Large-Scale Solar Power System Design*”, America, McGraw-Hill Press, 39-62, (2011)
- Rashid, M., *Güç Elektroniği, Yarı İletken Elemanlar,Devreler ve Uygulamaları* ,(Çev:Sünter, S., Aydemir, T.), Ankara, 840-900, (2016)
- Boylestad, R. L., Nashelsky, L., *Elektronik Cihazlar ve Devre Teorisi*, (Çev:Selçuk, A., Özdemir, S., Yıldız, Ş., Bulu, G.),Ankara, Palme Yayıncılık, 1-35, (2015)

Dalkılıç, M., “Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemiyle Üretilen Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> İnce Filminin Özelliklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı*, Denizli, (2019)

Şentürk, A., “Fotovoltaik Modüllerin Akım-Gerilim Eğrilerinin Simülasyonunda Kullanılacak Olan Yöntemin Seçimi”, *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, DOI: 10.25092/baunfbed.411779, 20(1), 341-354, (2018).

**Url-1**, Kırıcıoğlu, O., Yıldız, A.B., “Fotovoltaik Panelin Tek Diyotlu Eşdeğer Devresine Ait Büyük Sinyal Analizi [online]”, (10 Nisan 2019), [http://www.emo.org.tr/ekler/4a7cb508ff0809f\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/4a7cb508ff0809f_ek.pdf), (2019)

**Url-2**, 14. RLC Enerji Günleri, “Türkiye’de Solar Enerji Sistemleri [online]”, (15 Mayıs 2019), <http://www.guyad.org/Eklenti/11,rlc-gunleri-zorlu-solar-sunumu-22022018pdf.pdf>, (2018).

**Url-3**, GÜNDER, “Yenilenebilir Enerji Üretim Maliyetleri [online]”, (3 Haziran 2019), <https://www.solar.ist/yenilenebilir-enerji-uretim-maliyetleri-rekor-seviyelere-geriledi/>, (2019).

**Url-4**, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, “Enerji İstatistikleri [online]”, (20 Mayıs 2019), [http://www.emo.org.tr/ekler/c5aa4d5e03b92df\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/c5aa4d5e03b92df_ek.pdf), (2019).

**Url-5**, “Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (Gepa) [online]”, (10 Haziran 2019) <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/>, (2019).

**Url-6**, Elektrik Elektronik Robotik Biyomedikal, “Silisyum Özellikleri [online]”, (21 Mayıs 2019 ), <http://diyot.net/siliyum/>, (2019)

**Url-7**, Demirtürk, T., “Elektronik [online]”, (20 Mayıs 2019), <http://yucelkocyigit.cbu.edu.tr/elektronik2.pdf> , (2019)

**Url-8**, Berkmen, H., “Yarıiletkenler [online]”, (23 Mayıs 2019), <http://www.halukberkmen.net/pdf/333.pdf>, (2019)

**Url-9**, Kabalcı, E., “1. Bölüm:Diyotlar [online]”, (10 Mayıs 2019), [https://ekblc.files.wordpress.com/2013/09/0\\_pp1\\_tr.pdf](https://ekblc.files.wordpress.com/2013/09/0_pp1_tr.pdf), (2013).

**Url-10**, NSG Group, “Crystalline Silicon Photovoltaics [online]”, (2 Haziran 2019), <https://www.pilkington.com/en/my/commercial-applications/types-of-glass/solar-energy/solar-technologies/crystalline-silicon-photovoltaics>, (2019)

**Url-11**, Ravindran, P., “Introduction to Solar Cell Materials-II [online]” (22 Şubat 2011), [http://folk.uio.no/ravi/FME2011/lectures/Lecture1-5-ravi\\_introduction\\_solMaterials.pdf](http://folk.uio.no/ravi/FME2011/lectures/Lecture1-5-ravi_introduction_solMaterials.pdf), (2019)

**Url-12**, Power Enerji, “Perc Hücre Nedir? Perc Güneş Paneli Fiyatı [online]”, (25 Mayıs 2019), <https://www.powerenerji.com/perc-hucre-nedir-perc-gunes-paneli-fiyati.html>, (2019).

**Url-13**, Alçı, M., Çarkıt, T., “PV Panellerde Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi [online]”,(5 Haziran 2019),<http://www.yegm.gov.tr/verimlilik/sunum2017/8.Bildiriler/PV%20panellerde%20s%C4%B1cakl%C4%B1k%20etkisinin%20incelenmesi.pdf>, (2016).

**Url-14**, Alternative Energy Tutorials, “Solar Photovoltaic Panel [online]”, (2 Haziran 2019),<http://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/pv-panel.html>, (2014).

**Url-15**, Indiamart, “Solar Off Grid System”, (25 Mayıs 2019),<https://www.indiamart.com/proddetail/solar-hybrid-system-19805601697.html>

**Url-16**, Savior Solar, “5000 W Grid Solar Sistem [online]”, (18 Mayıs 2019),<http://www.saviorsolar.com.tr/cozumler/5000-w-grid-solar-sistem/>

**Url-17**, Turan, A., “Neden Jel Akü? [online]”, (25 Mayıs 2019)  
<http://blog.inciaku.com/neden-jel-aku/>, (2013).

**Url-18**, Crown, B., “What Is A Deep Cycle Battery? [online]”, (25 Mayıs 2018),<https://www.crownbattery.com/news/what-is-a-deep-cycle-battery>, (2018).

**Url-19**, Energy, P., “Güneş Paneli Şarj Kontrol Cihazı [online]”, (25 Mayıs 2019),<https://www.powerenerji.com/gunes-paneli-sarj-kontrol-cihazı.html>, (2018).

**Url-20**, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (Kampüs), “Güneş Enerjisi Ve Teknolojileri (Yegm) [online]”, (01 Haziran 2019),  
[http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g\\_enj\\_tekno.aspx](http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx), (2019).

**Url-21**, Leroy, T., “Simple function for I/V and P/V calculation for a Sunpower solar cell, frequently used in solar cars [online]”,(03 Ocak 2019),  
<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/31305-simple-solar-cell-and-panel-model>, (2019)



# EKLER

## 8. EKLER

### EK A Jinko-CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-EN Panel Kataloğu

www.jinkosolar.com



## Cheetah 72M 370-390 Watt

MONO PERC MODULE

Positive power tolerance of 0~+3%

ISO9001:2008, ISO14001:2004, OHSAS18001  
certified factory

IEC61215, IEC61730, UL1703 certified product



### KEY FEATURES



#### 5 Busbar Solar Cell

5 busbar solar cell adopts new technology to improve the efficiency of modules, offers a better aesthetic appearance, making it perfect for rooftop installation.



#### High Efficiency

Higher module conversion efficiency (up to 19.67%) benefit from Passivated Emitter Rear Contact (PERC) technology.



#### PID Resistance

Excellent Anti-PID performance guarantee limited power degradation from mass production.



#### Low-light Performance:

Advanced glass and surface texturing allow for excellent performance in low-light environment.



#### Severe Weather Resilience

Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).



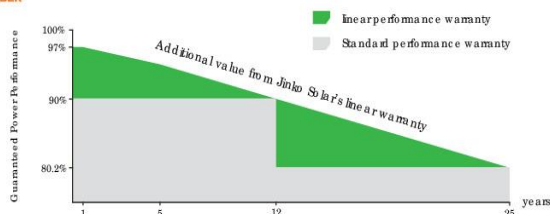
#### Durability Against Extreme Environmental Conditions

High salt mist and ammonia resistance certified by TUV NORD.

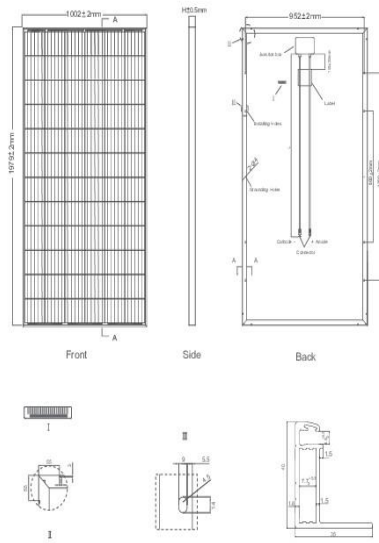


### LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

10 Year Product Warranty • 25 Year Linear Power Warranty



## Engineering Drawings

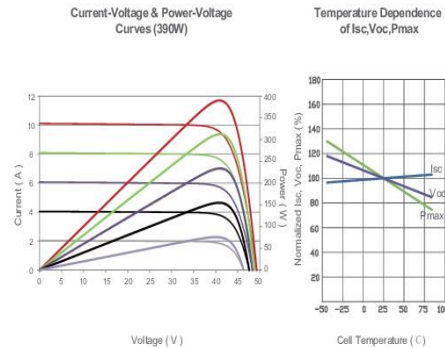


## Packaging Configuration

(Two pallets=One stack)

26pcs/pallet, 52pcs/stack, 572pcs/40'HQ Container

## Electrical Performance & Temperature Dependence



## Mechanical Characteristics

|               |                                                                             |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Cell Type     | Mono PERC 158.75×158.75mm                                                   |
| No. of cells  | 72 (6×12)                                                                   |
| Dimensions    | 1979×1002×40mm (77.91×39.45×1.57 inch)                                      |
| Weight        | 22.5 kg (49.6 lbs)                                                          |
| Front Glass   | 3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass |
| Frame         | Anodized Aluminium Alloy                                                    |
| Junction Box  | IP67 Rated                                                                  |
| Output Cables | TUV 1×4.0mm <sup>2</sup> , Length 1200mm or Customized Length               |

## SPECIFICATIONS

| Module Type                               | JKM370M-72 |       | JKM375M-72 |       | JKM380M-72    |       | JKM385M-72 |       | JKM390M-72 |       |
|-------------------------------------------|------------|-------|------------|-------|---------------|-------|------------|-------|------------|-------|
|                                           | STC        | NOCT  | STC        | NOCT  | STC           | NOCT  | STC        | NOCT  | STC        | NOCT  |
| Maximum Power (Pmax)                      | 370Wp      | 278Wp | 375Wp      | 282Wp | 380Wp         | 286Wp | 385Wp      | 290Wp | 390Wp      | 294Wp |
| Maximum Power Voltage (Vmp)               | 39.9V      | 38.1V | 40.2V      | 38.3V | 40.5V         | 38.6V | 40.8V      | 38.8V | 41.1V      | 39.1V |
| Maximum Power Current (Imp)               | 9.28A      | 7.30A | 9.33A      | 7.36A | 9.39A         | 7.42A | 9.44A      | 7.48A | 9.49A      | 7.54A |
| Open-circuit Voltage (Voc)                | 48.5V      | 47.0V | 48.7V      | 47.2V | 48.9V         | 47.5V | 49.1V      | 47.7V | 49.3V      | 48.0V |
| Short-circuit Current (Isc)               | 9.61A      | 7.75A | 9.68A      | 7.82A | 9.75A         | 7.88A | 9.92A      | 7.95A | 10.12A     | 8.02A |
| Module Efficiency STC (%)                 | 18.66%     |       | 18.91%     |       | 19.16%        |       | 19.42%     |       | 19.67%     |       |
| Operating Temperature (°C)                |            |       |            |       | -40°C~+85°C   |       |            |       |            |       |
| Maximum System Voltage                    |            |       |            |       | 1000VDC (IEC) |       |            |       |            |       |
| Maximum Series Fuse Rating                |            |       |            |       | 20A           |       |            |       |            |       |
| Power Tolerance                           |            |       |            |       | 0~+3%         |       |            |       |            |       |
| Temperature Coefficients of Pmax          |            |       |            |       | -0.37%/°C     |       |            |       |            |       |
| Temperature Coefficients of Voc           |            |       |            |       | -0.28%/°C     |       |            |       |            |       |
| Temperature Coefficients of Isc           |            |       |            |       | 0.048%/°C     |       |            |       |            |       |
| Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) |            |       |            |       | 45±2°C        |       |            |       |            |       |

STC: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup> Cell Temperature 25°C AM=1.5

NOCT: Irradiance 800W/m<sup>2</sup> Ambient Temperature 20°C AM=1.5 Wind Speed 1m/s

\* Power measurement tolerance: ± 3%

The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. JKM370-390M-72-A1-EN

## EK A.1 Jinko-CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-EN (Pmax=390W) Matlab Kodları

```
function Ia = solarCHEF(Va,Suns,TaC)
% Ia,Va = Akım ve Voltaj Vektorleri [A] ve [V]
% G = Radyasyon [W/m^2] (1 Sun = 1000 W/m^2)
% T = Hücre Sıcaklığı [°C]
k = 1.38e-23; % Boltzmann Sabiti [J/K]
q = 1.60e-19; % Elementary charge [C]
Vg = 1.12; % Kristal Silikonun Gerilimi [eV]
T1 = 273 + 25; % Ortam Sıcaklığı [K]
Vmp=41.1/72;% CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-EN Datasheet.pdf
Imp=9.49; % CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-EN Datasheet.pdf
PanelEn= 1.002; %CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-EN Datasheet.pdf
PanelBoy=1.979;%CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-EN Datasheet.pdf
% Jinko-Cheetah Solar Full (6*12) Değerleri
Voc_T1 = 0.685; % (49.3/72) T1'de Açık Devre Gerilimi [V].
CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-EN Datasheet.pdf
Isc_T1 = 10.12; %T1'de kısa devre akımı [A].CheetahPerc JKM370-
390M-72-A1-EN Datasheet.pdf
K0 = 4.8/1000; % Akım/Sıcaklık Katsayısı [A/K].CheetahPerc JKM370-
390M-72-A1-EN Datasheet.pdf
dVdI_Voc = -0.007755; %dV/dIVoc Katsayısı [A/V].
CheetahSolarMonoFullCurves.xlsx
l=1.728*10^-8 ; %Her Uzunluk Başına Ribbon Direnci(ohm*m)
A=0.22*0.8 ; %Ribbon Alanı (mm^2)
Lbb=155 ; %Hücredeki Bara Uzunluğu (mm)
Nbb=5 ; %Hücredeki Bara Sayısı
RribbonF=((2*(1/A)*Lbb)/(3*Nbb))*72; Denklem (4.24)
n=1; %Diyot Kalite faktörü
Cut=1;
TaK = 273 + TaC; % Hücrenin sıcaklığını Santigrat'tan Kelvin'e
Dönüşümü [K]
IF_T1 = Isc_T1 * Suns./Cut; % T1'deki güneşe bağlı olarak Foton
Akımı hesaplama. Denklem (4.26)
IF = IF_T1 + K0*(TaK - T1); % Foton Akımın Sıcaklık ile Değişimi.
Denklem (4.27)
I0_T1 = (Isc_T1/(exp(q*Voc_T1/(n*k*T1))-1))./Cut; % Denklem(4.28)
I0 = (I0_T1*(TaK/T1).^(3/n).*exp(-q*Vg/(n*k).*((1./TaK)-(1/T1))));
% Denklem (4.29)
Xv = I0_T1*q / (n*k*T1) * exp(q*Voc_T1/(n*k*T1)); % Denklem (4.30)
```

```

Rs = ((- dVdI_Voc -1/Xv -RribbonF)); % Rs Resistance Değerini
Hesaplama. Denklem (4.31)
Vt_Ta = n * k * TaK / q;
Ia = zeros(size(Va)); % Ia vector Başlangıcı
% Ia Newton Method Yöntemi
for j=1:5;
Ia = Ia - (IF - Ia - I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1))./(-1 -
(I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1)).*Rs./Vt_Ta); % Denklem (4.35)
end
end

```

```

function FullGunesPiliVePanelModeliCheetahMonoFull
Va11 = 0:0.01:0.690;
% Hücre hesaplamaları (model VS verileri, farklı sıcaklık ve
güneşler için güç ve akım)
data = xlsread('CheetahSolarMonoFullCurves.xlsx','A:B'); % Excel
dosyasından eğrinin noktaları
dataU = data(:,1); % Voltaj Değeri
dataI = data(:,2); % Akım Değeri
Veri1= xlsread('CHEETAHSOLARFULL I-V(390W)Veriler. xlsx','A:B'); %
Excel dosyasından eğrinin noktaları
Veri2= xlsread('CHEETAHSOLARFULL P-V(390W)Veriler. xlsx','A:B'); %
Excel dosyasından eğrinin noktaları
VeriV11=xlsread('CHEETAHSOLARFULLI-V(390W)Veriler.
xlsx','A3:A200');
VeriV12=xlsread('CHEETAHSOLARFULL I-V(390W)Veriler.
xlsx','C3:C200');
VeriV13=xlsread('CHEETAHSOLARFULL I-V(390W)Veriler.
xlsx','E3:E200');
VeriV14=xlsread('CHEETAHSOLARFULL I-V(390W)Veriler.
xlsx','G3:G200');
VeriV15=xlsread('CHEETAHSOLARFULL I-V(390W)Veriler.
xlsx','I3:I200');
VeriI11=xlsread('CHEETAHSOLARFULL I-V(390W)Veriler.
xlsx','B3:B200');
VeriI12=xlsread('CHEETAHSOLARFULL I-V(390W)Veriler.
xlsx','D3:D200');
VeriI13=xlsread('CHEETAHSOLARFULL I-V(390W)Veriler.
xlsx','F3:F200');

```

```

VeriI14=xlsread('CHEETAHSOLARFULL I-V(390W)Veriler.
xlsx','H3:H200');
VeriI15=xlsread('CHEETAHSOLARFULL I-V(390W)Veriler.
xlsx','J3:J200');
VeriV21=xlsread('CHEETAHSOLARFULL P-V(390W)Veriler.
xlsx','A3:A200');
VeriV22=xlsread('CHEETAHSOLARFULL P-V(390W)Veriler.
xlsx','C3:C200');
VeriV23=xlsread('CHEETAHSOLARFULL P-V(390W)Veriler.
xlsx','E3:E200');
VeriV24=xlsread('CHEETAHSOLARFULL P-V(390W)Veriler.
xlsx','G3:G200');
VeriV25=xlsread('CHEETAHSOLARFULL P-V(390W)Veriler.
xlsx','I3:I200');
VeriP21=xlsread('CHEETAHSOLARFULL P-V(390W)Veriler.
xlsx','B3:B200');
VeriP22=xlsread('CHEETAHSOLARFULL P-V(390W)Veriler.
xlsx','D3:D200');
VeriP23=xlsread('CHEETAHSOLARFULL P-V(390W)Veriler.
xlsx','F3:F200');
VeriP24=xlsread('CHEETAHSOLARFULL P-V(390W)Veriler.
xlsx','H3:H200');
VeriP25=xlsread('CHEETAHSOLARFULL P-V(390W)Veriler.
xlsx','J3:J200');
clear data
%Voltaaj Tanımlama
Va = 0:0.01:0.685;
figure('Color', 'w')
subplot(2,1,1);
title('Jinko-Cheetah Solar 72 (6x12) Hücre Voltaaj/Akım')
hold on
plot(Va11,solarCHEF(Va11,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va, solarCHEF(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va, solarCHEF(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va, solarCHEF(Va,1,75), 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,20]);
xlabel('Voltaaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...

```

```

'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');

grid on
subplot(2,1,2);
title('Jinko-Cheetah Solar 72 (6x12) Hücre Voltaj/Güç')
hold on
% plot(dataU, dataU.*dataI, '- k', 'LineWidth', 1);
plot(Va11, Va11.*solarCHEF(Va11,1,25), 'k', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarCHEF(Va,0.8,25), 'c', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarCHEF(Va,0.6,25), 'r', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarCHEF(Va,0.4,25), 'g', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarCHEF(Va,0.2,25), 'b', 'LineWidth', 1)
ylim([0,7]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 8000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
% Panel Hesaplamaları
Ns=72;%Panele seri olarak bağlanmış hücre sayısı[]
Va0 = 0:0.01:0.685; % Bir Hücresinin Voltaj Vektörü [V]
Ia1 = solarCHEF(Va0,1,25); % Voltaj vektöründen gelen akım
[A](STC) %Ns hücreleri için yeni voltajı (ters X ve Y hücresinin
grafiği) hesaplama
Va1 = max(Ns*interp1(Ia1, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia2 = solarCHEF(Va0,0.8,25);
Va2 = max(Ns*interp1(Ia2, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia3 = solarCHEF(Va0,0.6,25);
Va3 = max(Ns*interp1(Ia3, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia4 = solarCHEF(Va0,0.4,25);
Va4 = max(Ns*interp1(Ia4, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia5 = solarCHEF(Va0,0.2,25);

```

```

Va5 = max(Ns*interp1(Ia5, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
figure('Color', 'w')
title('Jinko-Cheetah Solar 72 (6x12) Panel Akım/Voltaj')
hold on
plot(VeriV11,VeriI11,'* k','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV12,VeriI12,' * c','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV13,VeriI13,' * r','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV14,VeriI14,'* g','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV15,VeriI15,'* b','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100, 'k','LineWidth',2)
plot(Va2,0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100, 'c','LineWidth',2)
plot(Va3,0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100, 'r','LineWidth',2)
plot(Va4,0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100, 'g','LineWidth',2)
plot(Va5,0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100, 'b','LineWidth',2)
xlabel('Voltaaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Deneyisel Sonuç @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Deneyisel Sonuç @ 800W/m^2 / 25°C' ...
'Deneyisel Sonuç @ 600W/m^2 / 25°C' ...
'Deneyisel Sonuç @ 400W/m^2 / 25°C' ...
'Deneyisel Sonuç @ 200W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
figure('Color', 'w')
title('Jinko-Cheetah Solar 72 (6x12) Panel Güç/voltaaj')
hold on
plot(VeriV21,VeriP21,'* k','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV22,VeriP22,' * c','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV23,VeriP23,' * r','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV24,VeriP24,' * g','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV25,VeriP25,' * b','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(Va1,Va1.*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100), 'k','LineWidth',2)
plot(Va2,Va2.*(0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100), 'c','LineWidth',2)
plot(Va3,Va3.*(0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100), 'r','LineWidth',2)
plot(Va4,Va4.*(0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100), 'g','LineWidth',2)

```

```

plot(Va5,Va5.*(0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100), 'b','LineWidth',2)
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
ylim([0,400]);
legend({'Deneysel Sonuç @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 800W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 600W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 400W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 200W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
hold on
grid on
figure('Color', 'w')
title('Jinko-Cheetah Solar 72 (6x12) Panel Akım/Voltaj')
hold on
plot(Va11.*Ns, solarCHEF(Va11,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarCHEF(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarCHEF(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarCHEF(Va,1,75), 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on
PanelEn= 1.002; %metre (m) CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-EN
Datasheet.pdf
PanelBoy=1.979; %metre (m) CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-EN
Datasheet.pdf
PmaxFullSTC1000WCHEFPV= max((max(Ns*interp1(Ia1, Va0,
0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100).*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
));
Vamax1000WPVIV=max(max(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))

```

```

Iamax1000WIV=max((0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
PmaxFull=PmaxFullSTC1000WCHEFPV
ModuleEfficiency=PmaxFullSTC1000WCHEFPV/(PanelEn*PanelBoy*10)
FFfull=(PmaxFullSTC1000WCHEFPV./(Vamax1000WPVIV.*Iamax1000WIV)).
*100
end

```



## EK B Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Panel Kataloĝu

[www.jinkosolar.com](http://www.jinkosolar.com)

**Jinko** Solar  
Building Your Trust in Solar

### Cheetah HC 72M 380-400 Watt

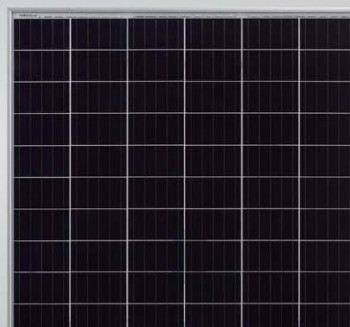
MONO PERC HALFCELL MODULE

Positive power tolerance of 0~+3%

- Half Cell
- Mono PERC 72 Cell



PERC



#### KEY FEATURES



##### 5 Busbar Solar Cell

5 busbar solar cell adopts new technology to improve the efficiency of modules, offers a better aesthetic appearance, making it perfect for rooftop installation.



##### High Efficiency

Higher module conversion efficiency (up to 19.88%) benefit from half cell structure (low resistance characteristic).



##### PID Resistance

Excellent Anti-PID performance guarantee limited power degradation for mass production.



##### Low-light Performance

Advanced glass and cell surface textured design ensure excellent performance in low-light environment.



##### Severe Weather Resilience

Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).



##### Durability Against Extreme Environmental Conditions

High salt mist and ammonia resistance certified by TUV NORD.

#### LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

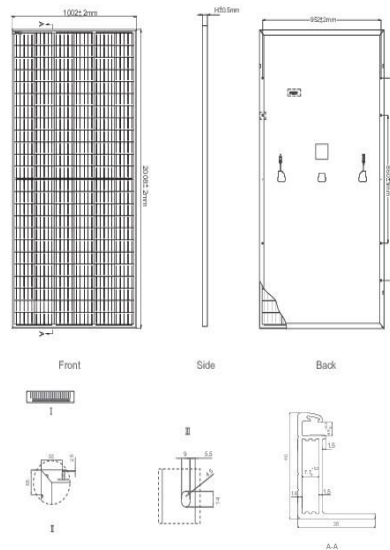
10 Year Product Warranty • 25 Year Linear Power Warranty



- ISO9001:2008, ISO14001:2004, OHSAS18001 certified factory
- IEC61215, IEC61730, UL1703 certified product



## Engineering Drawings

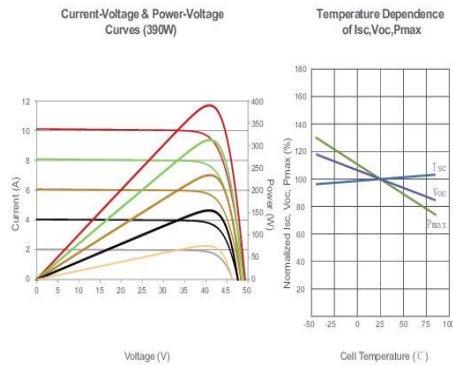


## Packaging Configuration

( Two pallets = One stack )

26pcs/pallet , 52pcs/stack, 572pcs/40'HQ Container

## Electrical Performance & Temperature Dependence



## Mechanical Characteristics

|                   |                                                                             |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Cell Type         | Mono PERC 158.75×158.75mm                                                   |
| No. of Half-cells | 144 (6×24)                                                                  |
| Dimensions        | 2008×1002×40mm (79.06×39.45×1.57 inch)                                      |
| Weight            | 22.5 kg (49.6 lbs)                                                          |
| Front Glass       | 3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass |
| Frame             | Anodized Aluminium Alloy                                                    |
| Junction Box      | IP67 Rated                                                                  |
| Output Cables     | TUV 1x4.0mm <sup>2</sup> , Anode 290mm, Cathode 145mm or Customized Length  |

## SPECIFICATIONS

| Module Type                               | JKM380M-72H |       | JKM385M-72H |       | JKM390M-72H   |       | JKM395M-72H |       | JKM400M-72H |       |
|-------------------------------------------|-------------|-------|-------------|-------|---------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|
|                                           | STC         | NOCT  | STC         | NOCT  | STC           | NOCT  | STC         | NOCT  | STC         | NOCT  |
| Maximum Power (Pmax)                      | 380Wp       | 286Wp | 385Wp       | 290Wp | 390Wp         | 294Wp | 395Wp       | 298Wp | 400Wp       | 302Wp |
| Maximum Power Voltage (Vmp)               | 40.5V       | 38.6V | 40.8V       | 38.8V | 41.1V         | 39.1V | 41.4V       | 39.3V | 41.7V       | 39.6V |
| Maximum Power Current (Imp)               | 9.39A       | 7.42A | 9.44A       | 7.48A | 9.49A         | 7.54A | 9.55A       | 7.60A | 9.60A       | 7.66A |
| Open-circuit Voltage (Voc)                | 48.9V       | 47.5V | 49.1V       | 47.7V | 49.3V         | 48.0V | 49.5V       | 48.2V | 49.8V       | 48.5V |
| Short-circuit Current (Isc)               | 9.75A       | 7.88A | 9.92A       | 7.95A | 10.12A        | 8.02A | 10.23A      | 8.09A | 10.36A      | 8.16A |
| Module Efficiency STC (%)                 | 18.89%      |       | 19.14%      |       | 19.38%        |       | 19.63%      |       | 19.88%      |       |
| Operating Temperature (°C)                |             |       |             |       | -40°C→+85°C   |       |             |       |             |       |
| Maximum System Voltage                    |             |       |             |       | 1000VDC (IEG) |       |             |       |             |       |
| Maximum Series Fuse Rating                |             |       |             |       | 20A           |       |             |       |             |       |
| Power Tolerance                           |             |       |             |       | 0→+3%         |       |             |       |             |       |
| Temperature Coefficients of Pmax          |             |       |             |       | -0.36%/°C     |       |             |       |             |       |
| Temperature Coefficients of Voc           |             |       |             |       | -0.28%/°C     |       |             |       |             |       |
| Temperature Coefficients of Isc           |             |       |             |       | 0.048%/°C     |       |             |       |             |       |
| Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) |             |       |             |       | 45±2°C        |       |             |       |             |       |

STC: ☀ Irradiance 1000W/m<sup>2</sup> 📱 Cell Temperature 25°C ☁ AM=1.5

NOCT: ☀ Irradiance 800W/m<sup>2</sup> 📱 Ambient Temperature 20°C ☁ AM=1.5 🌀 Wind Speed 1m/s

\* Power measurement tolerance: ± 3%

The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. JKM380-400M-72H-A1-EN

## EK B.1 Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN (Pmax=390W) Matlab Kodları

```
function Ia = solarCHEH2(Va,Suns,TaC)
% Ia,Va = Akım ve Voltaj Vektorleri [A] ve [V]
% G = Radyasyon [W/m^2] (1 Sun = 1000 W/m^2)
% T = Hücre Sıcaklığı [°C]
k = 1.38e-23; % Boltzmann Sabiti [J/K]
q = 1.60e-19; % Elementary charge [C]
Vg = 1.12; % Kristal Silikonun Gerilimi [eV]
T1 = 273 + 25; % Ortam Sıcaklığı [K]
Vmp=41.10/72; % CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN
Datasheet. pdf
Imp=9.49; % CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN
Datasheet. pdf
PanelEn= 1.002; % CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-EN Datasheet. pdf
PanelBoy=1.979; % CheetahPerc JKM370-390M-72-A1-EN Datasheet. pdf
% Jinko-Cheetah Solar Half 144(12*12) Değerleri
Cut=2; % Hücre Kesilme Sayısı
Ns=1;
Voc_T1 = 0.685; (49.3/72) % T1'de Açık Devre Gerilimi [V].
CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Datasheet. pdf
Isc_T1 = 10.12; %T1'de kısa devre akımı [A]. CheetahPerc Half
Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Datasheet. pdf
K0 = 4.8/1000; % Akım/Sıcaklık Katsayısı[A/K]. CheetahPerc Half
Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Datasheet. pdf
dVdI_Voc = -0.007755; % dV/dI Voc Katsayısı [A/V].
CheetahSolarMonoHalfCurves. xlsx
l=1.728*10^-8 ; %Her Uzunluk Başına Ribbon Direnci(ohm*m)
A=0.22*0.8 ; %Ribbon Alanı (mm^2)
Lbb=78 ; %Hücredeki Bara Uzunluğu (mm) (Half)
Lbb2=155 ; %Hücredeki Bara Uzunluğu (mm) (Full)
Nbb=5 ; %Hücredeki Bara Sayısı
RribbonH= ((2*(1/A)*Lbb)/(3*Nbb))*144; %Denklem (4.40)
RribbonF= ((2*(1/A)*Lbb2)/(3*Nbb))*72; %Denklem (4.24)
n = (q*(Vmp-Voc_T1))/(k*T1*log(1-(Imp/Isc_T1)));%Diyot Kalite
faktörü. Denklem (4.38)
TaK = 273 + TaC; % Hücrenin sıcaklığını Santigrat'tan Kelvin'e
Dönüşümü [K]
```

```

IF_T1 = Isc_T1 * Suns./Cut; % T1'deki güneşe bağlı olarak Foton
Akımı hesaplama. Denklem (4.42)
IF = IF_T1 + K0*(TaK - T1); % Foton Akımın Sıcaklık İle Değişimi.
Denklem (4.43)
IO_T1 = (Isc_T1/(exp(q*Voc_T1/(n*k*T1))-1))./Cut; % Denklem (4.44)
IO = (IO_T1*(TaK/T1).^(3/n).*exp(-q*Vg/(n*k).*((1./TaK)-(1/T1))));
% Denklem (4.45)
Xv = IO_T1*q/(n*k*T1) * exp(q*Voc_T1/(n*k*T1)); % Denklem (4.46)
Rs = (- dVdI_Voc - 1/Xv -RribbonH); % Rs Resistance Değerini
Hesaplama. Denklem (4.47)
Vt-Ta = n * k * TaK / q;
Ia = zeros(size(Va)); % Ia vector Başlangıcı

% Ia Newton Method Yöntemi
for j=1:5;
Ia = Ia - (IF - Ia - IO.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt-Ta) -1))./(-1 -
(IO.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt-Ta) -1)).*Rs./Vt-Ta); % Denklem (4.51)
end
end

function HalfCutGunesPiliVePanelModeliCheetahMonoHalf
Va11 = 0:0.01:0.690;
% Hücre hesaplamaları (model VS verileri, farklı sıcaklık ve
güneşler için güç ve akım)
data = xlsread('CheetahSolarMonoHalfCurves.xlsx','A:B'); % Excel
dosyasından eğrinin noktaları
dataU = data(:,1); % Voltaj Değeri
dataI = data(:,2); % Akım Değeri
Veri1= xlsread('CHEETAHSOLARHALF I-V(390W)Veriler.xlsx','A:B'); %
Excel dosyasından eğrinin noktaları
Veri2= xlsread('CHEETAHSOLARHALF P-V(390W)Veriler.xlsx','A:B'); %
Excel dosyasından eğrinin noktaları
VeriV11=xlsread('CHEETAHSOLARHALF I-V(390W)Veriler.
xlsx','A3:A200');
VeriV12=xlsread('CHEETAHSOLARHALF I-V(390W)Veriler.
xlsx','C3:C200');
VeriV13=xlsread('CHEETAHSOLARHALF I-V(390W)Veriler.
xlsx','E3:E200');
VeriV14=xlsread('CHEETAHSOLARHALF I-V(390W)Veriler.
xlsx','G3:G200');

```

```

VeriV15=xlsread('CHEETAHSOLARHALF I-V(390W)Veriler.
xlsx','I3:I200');
VeriI11=xlsread('CHEETAHSOLARHALF I-V(390W)Veriler.
xlsx','B3:B200');
VeriI12=xlsread('CHEETAHSOLARHALF I-V(390W)Veriler.
xlsx','D3:D200');
VeriI13=xlsread('CHEETAHSOLARHALF I-V(390W)Veriler.
xlsx','F3:F200');
VeriI14=xlsread('CHEETAHSOLARHALF I-V(390W)Veriler.
xlsx','H3:H200');
VeriI15=xlsread('CHEETAHSOLARHALF I-V(390W)Veriler.
xlsx','J3:J200');
VeriV21=xlsread('CHEETAHSOLARHALF P-V(390W)Veriler.
xlsx','A3:A200');
VeriV22=xlsread('CHEETAHSOLARHALF P-V(390W)Veriler.
xlsx','C3:C200');
VeriV23=xlsread('CHEETAHSOLARHALF P-V(390W)Veriler.
xlsx','E3:E200');
VeriV24=xlsread('CHEETAHSOLARHALF P-V(390W)Veriler.
xlsx','G3:G200');
VeriV25=xlsread('CHEETAHSOLARHALF P-V(390W)Veriler.
xlsx','I3:I200');
VeriP21=xlsread('CHEETAHSOLARHALF P-V(390W)Veriler.
xlsx','B3:B200');
VeriP22=xlsread('CHEETAHSOLARHALF P-V(390W)Veriler.
xlsx','D3:D200');
VeriP23=xlsread('CHEETAHSOLARHALF P-V(390W)Veriler.
xlsx','F3:F200');
VeriP24=xlsread('CHEETAHSOLARHALF P-V(390W)Veriler.
xlsx','H3:H200');
VeriP25=xlsread('CHEETAHSOLARHALF P-V(390W)Veriler.
xlsx','J3:J200');
clear data
Cut=2;
Ns=1;
%Voltaj Tanımlama
Va = 0:0.01:0.685;
figure('Color', 'w')
subplot(2,1,1);
title('Jinko-Cheetah Solar 144 (12x12) Hücre Voltaj/Akım')
hold on

```

```

plot(Va11.*Ns, solarCHEH2(Va11,1,25),'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarCHEH2(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarCHEH2(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarCHEH2(Va,1,75), 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on
subplot(2,1,2);
title('Jinko-Cheetah Solar 144 (12x12) Hücre Voltaaj/Güç')
hold on
plot(Va11.*Ns,Va11.*Ns.*solarCHEH2(Va11,1,25),'k','LineWidth',1)
plot(Va.*Ns, Va.*Ns.*solarCHEH2(Va,0.8,25),'c','LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Va.*Ns.*solarCHEH2(Va,0.6,45),'r','LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Va.*Ns.*solarCHEH2(Va,0.4,55),'g','LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Va.*Ns.*solarCHEH2(Va,0.2,75),'b','LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
% Panel Hesaplamaları
Ns = 72; % Panele seri olarak bağlanmış hücre sayısı[]
Va0 = 0:0.01:0.685; % Bir Hücrenin Voltaaj Vektörü [V]
Np=2;% Bir panele bağlı paralel hücre sayısı[]
Ia1 = Np.*solarCHEH2(Va0,1,25); % Voltaaj vektöründen gelen akım
[A](STC)%Ns hücreleri için yeni voltaajı (ters X ve Y hücrelerinin
grafiği) hesaplama
Va1 = max(Ns*interp1(Ia1, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia2 = Np.*solarCHEH2(Va0,0.8,25);

```

```

Va2 = max(Ns*interp1(Ia2, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia3 = Np.*solarCHEH2(Va0,0.6,25);
Va3 = max(Ns*interp1(Ia3, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia4 = Np.*solarCHEH2(Va0,0.4,25);
Va4 = max(Ns*interp1(Ia4, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia5 = Np.*solarCHEH2(Va0,0.2,25);
Va5 = max(Ns*interp1(Ia5, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
figure('Color', 'w')
title('Jinko-Cheetah Solar 144 (12x12) Panel Akım/Voltaj')
hold on
plot(VeriV11,VeriI11,'* k','LineWidth',2)
plot(VeriV12,VeriI12,'* c','LineWidth',2)
plot(VeriV13,VeriI13,'* r','LineWidth',2)
plot(VeriV14,VeriI14,'* g','LineWidth',2)
plot(VeriV15,VeriI15,'* b','LineWidth',2)
plot(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100, 'k','LineWidth',2)
plot(Va2,0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100, 'c')
plot(Va3,0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100, 'r')
plot(Va4,0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100, 'g')
plot(Va5,0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100, 'b')
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Deneyisel Sonuç @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Deneyisel Sonuç @ 800W/m^2 / 25°C' ...
'Deneyisel Sonuç @ 600W/m^2 / 25°C' ...
'Deneyisel Sonuç @ 400W/m^2 / 25°C' ...
'Deneyisel Sonuç @ 200W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
figure('Color', 'w')
title('Jinko-Cheetah Solar 144 (12x12) Panel Güç/voltaj')
hold on

```

```

plot(VeriV21,VeriP21,' * k','LineWidth',2)
plot(VeriV22,VeriP22,' * c','LineWidth',2)
plot(VeriV23,VeriP23,' * r','LineWidth',2)
plot(VeriV24,VeriP24,' * g','LineWidth',2)
plot(VeriV25,VeriP25,' * b','LineWidth',2)
plot(Va1,Va1.*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100), 'k')
plot(Va2,Va2.*(0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100), 'c')
plot(Va3,Va3.*(0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100), 'r')
plot(Va4,Va4.*(0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100), 'g')
plot(Va5,Va5.*(0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100), 'b')
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
ylim([0,Inf]);
legend({'Deneysel Sonuç @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 800W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 600W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 400W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 200W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
hold on
grid on
figure('Color', 'w')
title('Jinko-Cheetah Solar 144 (12x12) Panel Akım/Voltaj')
hold on
plot(Va11.*Ns, Np.*solarCHEH2(Va11,1,25),'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Np.*solarCHEH2(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Np.*solarCHEH2(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Np.*solarCHEH2(Va,1,75), 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');

```

```

grid on
PanelEn= 1.002; %metre CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN
Datasheet. pdf
PanelBoy=2.008; %metre CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN
Datasheet. pdf

PmaxHalfSTC1000WCHEHPV= max((max(Ns*interp1(Ia1, Va0,
0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100).*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
));
Vamax1000WPVIV=max(max(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100));
Iamax1000WIV=max((0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100));
PmaxHalf=PmaxHalfSTC1000WCHEHPV;
ModuleEfficiency=PmaxHalfSTC1000WCHEHPV/(PanelEn*PanelBoy*10);
FFHalf=(PmaxHalfSTC1000WCHEHPV./(Vamax1000WPVIV.*Iamax1000WIV)).*1
00
end

```

## EK B.2 Jinko-CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN (Pmax=400W) Matlab Kodları

```
function Ia = solarCHEH(Va,Suns,TaC)
% Ia,Va = Akım ve Voltaj Vektorleri [A] Ve [V]
% G = Radyasyon [W/m^2] (1 Sun = 1000 W/m^2)
% T = Hücre Sicakligi [ C]
k = 1.38e-23; % Boltzmann Sabiti [J/K]
q = 1.60e-19; % Elementary charge [C]
Vg = 1.12; % Kristal Silikonun Gerilimi [eV]
T1 = 273 + 25; % Ortam Sicakligi [K]
Vmp=41.7/72; % CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN
    Datasheet.pdf
Imp=9.60; % CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN
    Datasheet.pdf
% Jinko-Cheetah Solar Half 144(12*12) Değeri
Cut=2;
Ns=1;
Voc_T1 = 0.692; % (49.8/72) T1'de Açık Devre Gerilimi [V].
    CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Datasheet.pdf
Isc_T1 = 10.36; %T1'de kısa devre akımı [A]. CheetahPerc Half
    Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Datasheet.pdf
K0 = 4.8/1000; % Akim/Sicaklik Katsayısı[A/K]. CheetahPerc Half
    Cell JKM380-400M-72H-A1-EN Datasheet.pdf
dVdI_Voc = -0.008064516; % dV/dI Voc Katsayısı [A/V].
    CheetahSolarMonoHalfCurves.xlsx
l=1.728*10^-8 ; %Her Uzunluk Başına Ribbon Direnci(ohm*m)
A=0.22*0.8 ; %Ribbon Alanı (mm^2)
Lbb=78 ; %H credeki Bara Uzunluğu (mm) (Half)
Lbb2=155 ; %H credeki Bara Uzunluğu (mm) (Full)
Nbb=5 ; %H credeki Bara Sayısı
RribbonH=((2*(1/A)*Lbb)/(3*Nbb))*144; %Denklem (4.40)
RribbonF=((2*(1/A)*Lbb2)/(3*Nbb))*72; %Denklem (4.24)
n =(q*(Vmp-Voc_T1))/(k*T1*log(1-(Imp/Isc_T1)));%Diyot Kalite
    faktörü. Denklem (4.38)
TaK = 273 + TaC; % Hücrenin sıcaklığını Santigrat'tan Kelvin'e
    Dönüşümü [K]
IF_T1 = Isc_T1 * Suns./Cut; % T1'deki güneşe bağlı olarak IL(Foton
    AKIMI)'yi hesaplama. Denklem (4.42)
```

```

IF = IF_T1 + K0*(TaK - T1); % Foton Akımın Sıcaklık ile Değişimi.
Denklem (4.43)
I0_T1 = (Isc_T1/(exp(q*Voc_T1/(n*k*T1))-1))./Cut; % Denklem (4.44)
I0 = (I0_T1*(TaK/T1).^(3/n).*exp(-q*Vg/(n*k).*((1./TaK)-(1/T1))));
% Denklem (4.45)
Xv = I0_T1*q/(n*k*T1) * exp(q*Voc_T1/(n*k*T1)); % Denklem (4.46)
Rs = ((- dVdI_Voc - 1/Xv -RribbonH));% Rs Resistance Değerini
Hesaplama. Denklem (4.47)
Vt_Ta = n * k * TaK / q;
Ia = zeros(size(Va));% Ia vector Başlangıcı
% Ia Newton method Yöntemi
for j=1:5;
Ia = Ia - (IF - Ia - I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1))./(-1 -
(I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1)).*Rs./Vt_Ta);
% Denklem (4.51)
end
end

function HalfCutGunesPiliVePanelModeliCheetahMonoHalf
Va11 = 0:0.01:0.700;
% Hücree hesaplamaları (model VS verileri, farklı sıcaklık ve
güneşler için güç ve akım)
data = xlsread('CheetahSolarMonoHalfCurves.xlsx','A:B'); % Excel
dosyasından eğrinin noktaları
dataU = data(:,1); % Voltaj Değeri
dataI = data(:,2); % Akım Değeri
clear data
Cut=2;
Ns=1;
%Voltaj Tanımlama
Va = 0:0.01:0.692;
figure('Color', 'w')
subplot(2,1,1);
title('Jinko-Cheetah Solar 144 (12x12) Hücree Voltaj/Akım')
hold on
plot(Va11.*Ns, solarCHEH(Va11,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarCHEH(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarCHEH(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarCHEH(Va,1,75), 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');

```

```

ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on
subplot(2,1,2);
title('Jinko-Cheetah Solar 144 (12x12) Hücre Voltaj/Güç')
hold on
plot(Va11.*Ns,Va11.*Ns.*solarCHEH(Va11,1,25),'k','LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns,Va.*Ns.*solarCHEH(Va,0.8,25), 'c', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns,Va.*Ns.*solarCHEH(Va,0.6,45), 'r', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns,Va.*Ns.*solarCHEH(Va,0.4,55), 'g', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns,Va.*Ns.*solarCHEH(Va,0.2,75), 'b', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
% Panel Hesaplamaları
Ns = 72; % Panele seri olarak bağlanmış hücre sayısı[]
Va0 = 0:0.01:0.692; % Bir Hücresinin Voltaj vektörü [V]
Np=2;% Bir panele bağlı paralel hücre sayısı[]
Ia1 = Np.*solarCHEH(Va0,1,25); % Voltaj vektöründen gelen akım
[A](STC)%Ns hücreleri için yeni voltajı (ters X ve Y hücrelerinin
grafiği) hesaplama
Va1 = max(Ns*interp1(Ia1, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia2 = Np.*solarCHEH(Va0,0.8,25);
Va2 = max(Ns*interp1(Ia2, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia3 = Np.*solarCHEH(Va0,0.6,25);
Va3 = max(Ns*interp1(Ia3, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia4 = Np.*solarCHEH(Va0,0.4,25);

```

```

Va4 = max(Ns*interp1(Ia4, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia5 = Np.*solarCHEH(Va0,0.2,25);
Va5 = max(Ns*interp1(Ia5, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
figure('Color', 'w')
title('Jinko-Cheetah Solar 144 (12x12) Panel Akım/Voltaj')
hold on
plot(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100, 'k','LineWidth',2)
plot(Va2,0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100, 'c')
plot(Va3,0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100, 'r')
plot(Va4,0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100, 'g')
plot(Va5,0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100, 'b')
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
figure('Color', 'w')
title('Jinko-Cheetah Solar 144 (12x12) Panel Güç/voltaj')
hold on
plot(Va1,Va1.*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100), 'k')
plot(Va2,Va2.*(0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100), 'c')
plot(Va3,Va3.*(0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100), 'r')
plot(Va4,Va4.*(0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100), 'g')
plot(Va5,Va5.*(0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100), 'b')
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
ylim([0,Inf]);
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
hold on
grid on

```

```

figure('Color', 'w')
title('Jinko-Cheetah Solar 144 (12x12) Panel Akım/Voltaj')
hold on
plot(Va11.*Ns, Np.*solarCHEH(Va11,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Np.*solarCHEH(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Np.*solarCHEH(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Np.*solarCHEH(Va,1,75), 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on
PanelEn= 1.002; %metre CheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H- A1-
EN Datasheet. pdf
PanelBoy=2.008; %metreCheetahPerc Half Cell JKM380-400M-72H-
A1-EN Datasheet. pdf
PmaxHalfSTC1000WCHEHPV= max((max(Ns*interp1(Ia1, Va0,
0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100)).*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
))
PmaxHalf=PmaxHalfSTC1000WCHEHPV
Vamax1000WPVIV=max((max(Ns*interp1(Ia1, Va0,
0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))))
Iamax1000WIV=max((0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
ModuleEfficiency=PmaxHalfSTC1000WCHEHPV/(PanelEn*PanelBoy*10)
FFHalf=(PmaxHalfSTC1000WCHEHPV./(Vamax1000WPVIV.*Iamax1000WIV)).*1
00

end

```

## EK C Jinko- EaglePerc JKM360-380M-72-A1-EN Panel Katalogu

www.jinkosolar.com



### Eagle PERC 72M

**360-380 Watt**

MONO CRYSTALLINE MODULE

Positive power tolerance of 0~+3%

ISO9001:2008, ISO 14001:2004, OHSAS18001  
certified factory.  
IEC61215, IEC61730 certified products.



PERC

(5 BB)



### KEY FEATURES



#### 5 Busbar Solar Cell

5 busbar cell design improves module efficiency and offers better aesthetic appearance for rooftop installation.



#### High Efficiency:

Higher module conversion efficiency (up to 19.58%) benefit from Passivated Emitter Rear Contact (PERC) technology.



#### PID RESISTANT

Excellent Anti-PID performance guarantee limited power degradation for mass production.



#### Low-light Performance:

Advanced glass and cell surface texture design ensure excellent performance in low-light environment.



#### Severe Weather Resilience:

Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).

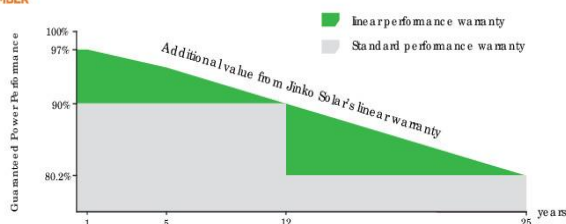


#### Durability against extreme environmental conditions:

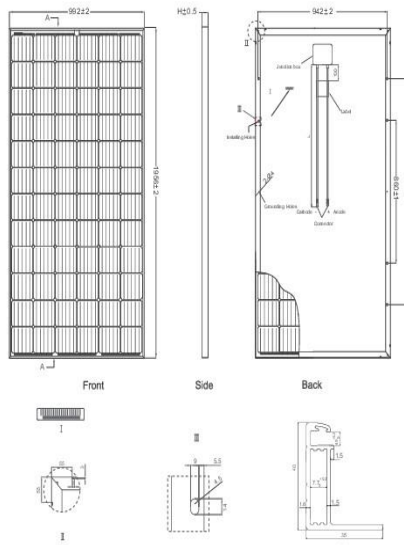
High salt mist and ammonia resistance certified by TUV NORD.

### LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

10 Year Product Warranty • 25 Year Linear Power Warranty



## Engineering Drawings



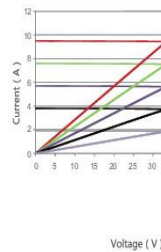
## Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)

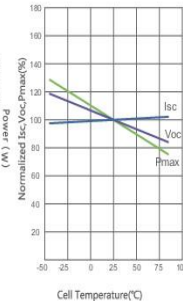
26pcs/pallet, 52pcs/stack, 624 pcs/40'HQ Container

## Electrical Performance & Temperature Dependence

Current-Voltage & Power-Voltage Curves (370W)



Temperature Dependence of Isc, Voc, Pmax



## Mechanical Characteristics

|               |                                                    |                    |
|---------------|----------------------------------------------------|--------------------|
| Cell Type     | Mono-crystalline PERC                              | 156×156mm (6 inch) |
| No. of cells  | 72 (6×12)                                          |                    |
| Dimensions    | 1956×992×40mm (77.01×39.05×1.57 inch)              |                    |
| Weight        | 22.5 kg (49.6 lbs)                                 |                    |
| Front Glass   | 3.2mm, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass |                    |
| Frame         | Anodized Aluminium Alloy                           |                    |
| Junction Box  | IP67 Rated                                         |                    |
| Output Cables | TÜV 1×4.0mm², Length: 900mm or Customized Length   |                    |

## SPECIFICATIONS

| Module Type                               | JKM360M-72    |       | JKM365M-72 |       | JKM370M-72 |       | JKM375M-72 |       | JKM380M-72 |       |
|-------------------------------------------|---------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|
|                                           | STC           | NOCT  | STC        | NOCT  | STC        | NOCT  | STC        | NOCT  | STC        | NOCT  |
| Maximum Power (Pmax)                      | 360Wp         | 270Wp | 365Wp      | 274Wp | 370Wp      | 278Wp | 375Wp      | 282Wp | 380Wp      | 286Wp |
| Maximum Power Voltage (Vmp)               | 39.5V         | 37.7V | 39.7V      | 37.9V | 39.9V      | 38.1V | 40.2V      | 38.3V | 40.5V      | 38.6V |
| Maximum Power Current (Imp)               | 9.12A         | 7.17A | 9.20A      | 7.24A | 9.28A      | 7.30A | 9.33A      | 7.36A | 9.39A      | 7.42A |
| Open-circuit Voltage (Voc)                | 48.0V         | 46.5V | 48.2V      | 46.8V | 48.5V      | 47.0V | 48.7V      | 47.2V | 48.9V      | 47.5V |
| Short-circuit Current (Isc)               | 9.51A         | 7.61A | 9.57A      | 7.68A | 9.61A      | 7.75A | 9.68A      | 7.82A | 9.75A      | 7.88A |
| Module Efficiency STC (%)                 | 18.55%        |       | 18.81%     |       | 19.07%     |       | 19.33%     |       | 19.58%     |       |
| Operating Temperature(°C)                 | -40°C~+85°C   |       |            |       |            |       |            |       |            |       |
| Maximum system voltage                    | 1000VDC (IEC) |       |            |       |            |       |            |       |            |       |
| Maximum series fuse rating                | 20A           |       |            |       |            |       |            |       |            |       |
| Power tolerance                           | 0~+3%         |       |            |       |            |       |            |       |            |       |
| Temperature coefficients of Pmax          | -0.37%/°C     |       |            |       |            |       |            |       |            |       |
| Temperature coefficients of Voc           | -0.28%/°C     |       |            |       |            |       |            |       |            |       |
| Temperature coefficients of Isc           | 0.048%/°C     |       |            |       |            |       |            |       |            |       |
| Nominal operating cell temperature (NOCT) | 45±2°C        |       |            |       |            |       |            |       |            |       |

STC: Irradiance 1000W/m² Cell Temperature 25°C AM=1.5

NOCT: Irradiance 800W/m² Ambient Temperature 20°C AM=1.5 Wind Speed 1m/s

\* Power measurement tolerance: ± 3%

The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. JKM360-380M-72-A1-EN

## EK C.1 Jinko- EaglePerc JKM360-380M-72-A1-EN (Pmax=370 W) Matlab

### Kodları

```
function Ia = solarEAGF(Va,Suns,TaC)
% Ia,Va = Akım ve Voltaj Vektorleri [A] Ve [V]
% G = Radyasyon [W/m^2] (1 Sun = 1000 W/m^2)
% T = Hücre Sıcaklığı [°C]
k = 1.38e-23; % Boltzmann Sabiti [J/K]
q = 1.60e-19; % Elementary charge [C]
Vg = 1.12; % Kristal Silikonun Gerilimi [eV]
T1 = 273 + 25; % Ortam Sıcaklığı [K]
Vmp=39.9/72; % EaglePerc JKM360-380M-72-A1-EN Datasheet.pdf
Imp=9.28; % EaglePerc JKM360-380M-72-A1-EN Datasheet.pdf
PanelEn= 0.992; % EaglePerc JKM360-380M-72-A1-EN Datasheet.pdf
PanelBoy=1.956; % EaglePerc JKM360-380M-72-A1-EN Datasheet.pdf
% Jinko-Eagle Solar (6*12) values
Voc_T1 = 0.674; % (48.5/72) T1'de Açık Devre Gerilimi [V].
EaglePerc JKM360-380M-72-A1-EN Datasheet. pdf
Isc_T1 = 9.61; %T1'de kısa devre akımı [A]. EaglePerc JKM360-
380M-72-A1-EN Datasheet. pdf
K0 = 4.8/1000; % Akım/Sıcaklık Katsayısı[A/K]. EaglePerc JKM360-
380M-72-A1-EN Datasheet. pdf
dVdI_Voc = -0.00647309; % dV/dI Voc Katsayısı [A/V].
EagleSolarPercFullCurves. xls
l=1.728*10^-8 ; %Her Uzunluk Başına Ribbon Direnci(ohm*m)
A=0.22*0.8 ; %Ribbon Alanı (mm^2)
Lbb=155 ; %Hücredeki Bara Uzunluğu (mm)
Nbb=5 ; %Hücredeki Bara Sayısı
RribbonF=((2*(1/A)*Lbb)/(3*Nbb))*72; %Denklem (4.24)
n=1; %Diyot Kalite faktörü

% Jinko-Eagle Solar Full (6*12) Değeri
Cut=1;
TaK = 273 + TaC; % Hücrenin sıcaklığını Santigrat'tan Kelvin'e
Dönüşümü [K]
IF_T1 = Isc_T1 * Suns./Cut; % T1'deki güneşe bağlı olarak Foton
Akımı hesaplama. Denklem (4.26)
IF = IF_T1 + K0*(TaK - T1); % Foton Akımın Sıcaklık ile Değişimi.
Denklem (4.27)
I0_T1 = (Isc_T1/(exp(q*Voc_T1/(n*k*T1))-1))./Cut; % Denklem(4.28)
```

```

I0 = (I0_T1*(TaK/T1).^(3/n).*exp(-q*Vg/(n*k).*((1./TaK)-(1/T1))));
%Denklem (4.29)
Xv = I0_T1*q / (n*k*T1) * exp(q*Voc_T1/(n*k*T1)); % Denklem (4.30)
Rs = ((- dVdI_Voc -1/Xv -RribbonF)); % Rs Resistance Değerini
Hesaplama. Denklem (4.31)
Vt_Ta = n * k * TaK / q;
Ia = zeros(size(Va));% Ia vector Başlangıcı

% Ia Newton Method Yöntemi
for j=1:5;
Ia = Ia - (IF - Ia - I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1))./(-1 -
(I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1)).*Rs./Vt_Ta);
% Denklem (4.35)
end
end

function FullGunesPiliVePanelModeliEaglePercFull
Va11 = 0:0.01:0.680;
% Hücre hesaplamaları (model VS verileri, farklı sıcaklık ve
güneşler için güç ve akım)
data = xlsread('EagleSolarPercFullCurves.xlsx','A:B'); % Excel
dosyasından eğrinin noktaları
dataU = data(:,1); % Voltaaj Değeri
dataI = data(:,2); % Akım Değeri
Veri1= xlsread('EAGLESOLARFULL (I-V) (370W)Veriler.xlsx','A:B'); %
Excel dosyasından eğrinin noktaları
Veri2= xlsread('EAGLESOLARFULL P-V(370W)Veriler.xlsx','A:B'); %
Excel dosyasından eğrinin noktaları
VeriV11=xlsread('EAGLESOLARFULL (I-V) (370W)Veriler.
xlsx','A3:A200');
VeriV12=xlsread('EAGLESOLARFULL (I-V) (370W)Veriler.
xlsx','C3:C200');
VeriV13=xlsread('EAGLESOLARFULL (I-V) (370W)Veriler.
xlsx','E3:E200');
VeriV14=xlsread('EAGLESOLARFULL (I-V) (370W)Veriler.
xlsx','G3:G200');
VeriV15=xlsread('EAGLESOLARFULL (I-V) (370W)Veriler.
xlsx','I3:I200');
VeriI11=xlsread('EAGLESOLARFULL (I-V) (370W)Veriler.
xlsx','B3:B200');

```

```

VeriI12=xlsread('EAGLESOLARFULL (I-V) (370W)Veriler.
xlsx','D3:D200');
VeriI13=xlsread('EAGLESOLARFULL (I-V) (370W)Veriler.
xlsx','F3:F200');
VeriI14=xlsread('EAGLESOLARFULL (I-V) (370W)Veriler.
xlsx','H3:H200');
VeriI15=xlsread('EAGLESOLARFULL (I-V) (370W)Veriler.
xlsx','J3:J200');
VeriV21=xlsread('EAGLESOLARFULL P-V(370W)Veriler.
xlsx','A3:A200');
VeriV22=xlsread('EAGLESOLARFULL P-V(370W)Veriler.
xlsx','C3:C200');
VeriV23=xlsread('EAGLESOLARFULL P-V(370W)Veriler.
xlsx','E3:E200');
VeriV24=xlsread('EAGLESOLARFULL P-V(370W)Veriler.
xlsx','G3:G200');
VeriV25=xlsread('EAGLESOLARFULL P-V(370W)Veriler.
xlsx','I3:I200');
VeriP21=xlsread('EAGLESOLARFULL P-V(370W)Veriler.
xlsx','B3:B200');
VeriP22=xlsread('EAGLESOLARFULL P-V(370W)Veriler.
xlsx','D3:D200');
VeriP23=xlsread('EAGLESOLARFULL P-V(370W)Veriler.
xlsx','F3:F200');
VeriP24=xlsread('EAGLESOLARFULL P-V(370W)Veriler.
xlsx','H3:H200');
VeriP25=xlsread('EAGLESOLARFULL P-V(370W)Veriler.
xlsx','J3:J200');
clear data
%Voltaj Tanımlama
Va = 0:0.01:0.674;
figure('Color', 'w')
subplot(2,1,1);
title('Jinko-Eagle Solar 72 (6x12) Hücre Voltaj/Akım')
hold on
plot(Va11, solarEAGF(Va11,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va, solarEAGF(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va, solarEAGF(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va, solarEAGF(Va,1,75), 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');

```

```

ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on
subplot(2,1,2);
title('Jinko-Eagle Solar 72 (6x12) Hücre Voltaj/Güç')
hold on
plot(Va11, Va11.*solarEAGF(Va11,1,25), 'k', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarEAGF(Va,0.8,25), 'c', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarEAGF(Va,0.6,25), 'r', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarEAGF(Va,0.4,25), 'g', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarEAGF(Va,0.2,25), 'b', 'LineWidth', 1)
ylim([0,7]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 8000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on

% Panel Hesaplamaları
Ns = 72; % Panele seri olarak bağlanmış hücre sayısı[]
Va0 = 0:0.01:0.674; % Bir Hücresinin Voltaj Vektörü [V]
Ia1 = solarEAGF(Va0,1,25); % Voltaj vektöründen gelen akım
[A](STC)%Ns hücreleri için yeni voltajı (ters X ve Y hücresinin
grafiği) hesaplama
Va1 = max(Ns*interp1(Ia1, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia2 = solarEAGF(Va0,0.8,25);
Va2 = max(Ns*interp1(Ia2, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia3 = solarEAGF(Va0,0.6,25);
Va3 = max(Ns*interp1(Ia3, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia4 = solarEAGF(Va0,0.4,25);

```

```

Va4 = max(Ns*interp1(Ia4, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia5 = solarEAGF(Va0,0.2,25);
Va5 = max(Ns*interp1(Ia5, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
figure('Color', 'w')
title('Jinko-Eagle Solar 72 (6x12) Panel Akım/Voltaj')
hold on
plot(VeriV11,VeriI11,'* k','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV12,VeriI12,' * c','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV13,VeriI13,' * r','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV14,VeriI14,'* g','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV15,VeriI15,'* b','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100, 'k','LineWidth',2)
plot(Va2,0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100, 'c','LineWidth',2)
plot(Va3,0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100, 'r','LineWidth',2)
plot(Va4,0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100, 'g','LineWidth',2)
plot(Va5,0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100, 'b','LineWidth',2)
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'DeneySEL Sonuç @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'DeneySEL Sonuç @ 800W/m^2 / 25°C' ...
'DeneySEL Sonuç @ 600W/m^2 / 25°C' ...
'DeneySEL Sonuç @ 400W/m^2 / 25°C' ...
'DeneySEL Sonuç @ 200W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
figure('Color', 'w')
title('Jinko-Eagle Solar 72 (6x12) Panel Güç/voltaj')
hold on
plot(VeriV21,VeriP21,'* k','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV22,VeriP22,' * c','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV23,VeriP23,' * r','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV24,VeriP24,' * g','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV25,VeriP25,' * b','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(Va1,Va1.*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100), 'k','LineWidth',2)

```

```

plot(Va2,Va2.*(0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100), 'c','LineWidth',2)
plot(Va3,Va3.*(0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100), 'r','LineWidth',2)
plot(Va4,Va4.*(0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100), 'g','LineWidth',2)
plot(Va5,Va5.*(0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100), 'b','LineWidth',2)
xlabel('Voltaaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
ylim([0,400]);
legend({'Deneyisel Sonuç @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Deneyisel Sonuç @ 800W/m^2 / 25°C' ...
'Deneyisel Sonuç @ 600W/m^2 / 25°C' ...
'Deneyisel Sonuç @ 400W/m^2 / 25°C' ...
'Deneyisel Sonuç @ 200W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
hold on
grid on
figure('Color', 'w')
title('Jinko-Eagle Solar 72 (6x12) Panel Akım/Voltaaj')
hold on
plot(Va11.*Ns, solarEAGF(Va11,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarEAGF(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarEAGF(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarEAGF(Va,1,75), 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on
PanelEn= 0.992; %metre EaglePerc JKM360-380M-72-A1-EN Datasheet.
pdf
PanelBoy=1.956; %metre EaglePercJKM360-380M-72-A1-EN Datasheet. pdf

```

```

PmaxFullSTC1000WCHEFPV= max((max(Ns*interp1(Ia1, Va0,
0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100).*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
))
Vamax1000WPVIV=max(max(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
Iamax1000WIV=max((0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
PmaxFull=PmaxFullSTC1000WCHEFPV
ModuleEfficiency=PmaxFullSTC1000WCHEFPV/(PanelEn*PanelBoy*10)
FFfull=(PmaxFullSTC1000WCHEFPV./(Vamax1000WPVIV.*Iamax1000WIV)).*1
00

```

```

end

```



## EK D Jinko-EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-EN Panel Kataloğu

[www.jinkosolar.com](http://www.jinkosolar.com)

**Jinko** Solar  
Building Your Trust in Solar

### Eagle HC 72M 370-390 Watt

MONO CRYSTALLINE MODULE

Positive power tolerance of 0~+3%

- Half Cell
- Mono PERC 72 Cell



PERC



#### KEY FEATURES



##### 5 Busbar Solar Cell:

5 busbar solar cell adopts new technology to improve the efficiency of modules, offers a better aesthetic appearance, making it perfect for rooftop installation.



##### High Efficiency:

Higher module conversion efficiency (up to 19.79%) benefit from Half cells structure (low resistance characteristic).



##### PID RESISTANT:

Limited power degradation of Eagle module caused by PID effect is guaranteed under strict testing condition (85°C/85%RH, 96 hours) for mass production.



##### Low-light Performance:

Advanced glass and solar cell surface texturing allow for excellent performance in low-light environments.



##### Severe Weather Resilience:

Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).



##### Durability against extreme environmental conditions:

High salt mist and ammonia resistance certified by TUV NORD.

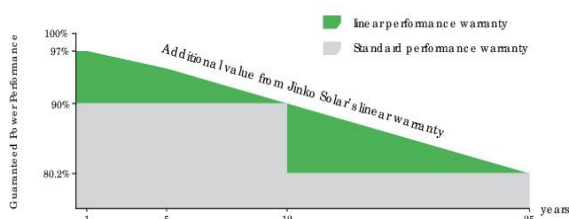


#### LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

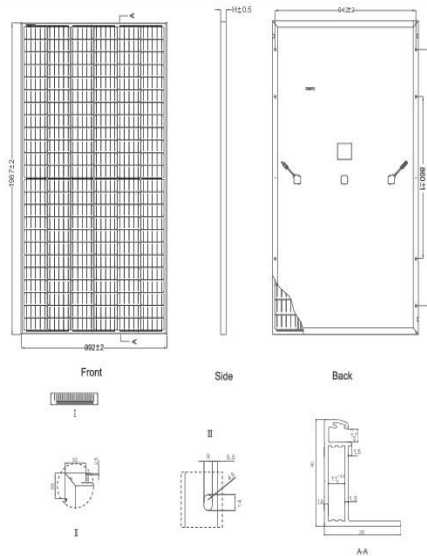
10 Year Product Warranty • 25 Year Linear Power Warranty

• ISO9001:2008, ISO14001:2004, OHSAS18001 certified factory.

• IEC61215, IEC61730 certified products



## Engineering Drawings



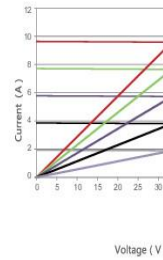
## Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)

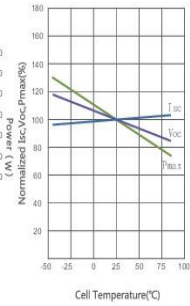
26pcs/pallet, 52pcs/stack, 572 pcs/40'HQ Container

## Electrical Performance & Temperature Dependence

Current-Voltage & Power-Voltage Curves (375W)



Temperature Dependence of Isc, Voc, Pmax



## Mechanical Characteristics

|                   |                                                                             |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Cell Type         | Mono-crystalline PERC 156×156mm (6 inch)                                    |
| No. of Half-cells | 144 (12×12)                                                                 |
| Dimensions        | 1987×992×40mm (78.23×39.05×1.57 inch)                                       |
| Weight            | 22.5 kg (49.6 lbs)                                                          |
| Front Glass       | 3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass |
| Frame             | Anodized Aluminium Alloy                                                    |
| Junction Box      | IP67 Rated                                                                  |
| Output Cables     | anode 290mm, cathode 145mm or Customized Length                             |

## SPECIFICATIONS

| Module Type                               | JKM370M-72H    |       | JKM375M-72H |       | JKM380M-72H |       | JKM385M-72H |       | JKM390M-72H |       |
|-------------------------------------------|----------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|
|                                           | STC            | NOCT  | STC         | NOCT  | STC         | NOCT  | STC         | NOCT  | STC         | NOCT  |
| Maximum Power (Pmax)                      | 370Wp          | 278Wp | 375Wp       | 282Wp | 380Wp       | 286Wp | 385Wp       | 290Wp | 390Wp       | 294Wp |
| Maximum Power Voltage (Vmp)               | 39.9V          | 38.1V | 40.2V       | 38.3V | 40.5V       | 38.6V | 40.8V       | 38.8V | 41.1V       | 39.1V |
| Maximum Power Current (Imp)               | 9.28A          | 7.30A | 9.33A       | 7.36A | 9.39A       | 7.42A | 9.44A       | 7.48A | 9.49A       | 7.54A |
| Open-circuit Voltage (Voc)                | 48.5V          | 47.0V | 48.7V       | 47.2V | 48.9V       | 47.5V | 49.1V       | 47.7V | 49.3V       | 48.0V |
| Short-circuit Current (Isc)               | 9.61A          | 7.75A | 9.68A       | 7.82A | 9.75A       | 7.88A | 9.82A       | 7.95A | 10.12A      | 8.02A |
| Module Efficiency STC (%)                 | 18.77%         |       | 19.02%      |       | 19.28%      |       | 19.53%      |       | 19.79%      |       |
| Operating Temperature(°C)                 | -40°C~+85°C    |       |             |       |             |       |             |       |             |       |
| Maximum system voltage                    | 1000V DC (IEC) |       |             |       |             |       |             |       |             |       |
| Maximum series fuse rating                | 20A            |       |             |       |             |       |             |       |             |       |
| Power tolerance                           | 0~+3%          |       |             |       |             |       |             |       |             |       |
| Temperature coefficients of Pmax          | -0.36%/°C      |       |             |       |             |       |             |       |             |       |
| Temperature coefficients of Voc           | -0.28%/°C      |       |             |       |             |       |             |       |             |       |
| Temperature coefficients of Isc           | 0.048%/°C      |       |             |       |             |       |             |       |             |       |
| Nominal operating cell temperature (NOCT) | 45±2°C         |       |             |       |             |       |             |       |             |       |

STC: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup> Cell Temperature 25°C AM=1.5

NOCT: Irradiance 800W/m<sup>2</sup> Ambient Temperature 20°C AM=1.5 Wind Speed 1m/s

\* Power measurement tolerance: ± 3%

The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. JKM370-390M-72H-A1-EN

## EK D.1 Jinko-EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-EN

### (Pmax=375 W) Matlab Kodları

```
function Ia = solarEAGH(Va,Suns,TaC)
% Ia,Va = Akım ve Voltaj Vektorleri [A] Ve [V]
% G = Radyasyon [W/m^2] (1 Sun = 1000 W/m^2)
% T = Hücre Sıcaklığı [ C]
k = 1.38e-23; % Boltzmann Sabiti [J/K]
q = 1.60e-19; % Elementary charge [C]
Vg = 1.12; % Kristal Silikonun Gerilimi [eV]
T1 = 273 + 25; % Ortam Sıcaklığı [K]
Vmp=40.2/72; % EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-EN
Imp=9.33; % EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-EN
% Jinko-Eagle Solar 144(12*12) Değeri
Cut=2;
Ns=1;
Voc_T1 = 0.6764; % (48.7/72)T1'de Açık Devre Gerilimi
[V].EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-EN Datasheet. pdf
Isc_T1 = 9.68; %T1'de kısa devre akımı [A].EaglePercMono Half
Cell JKM370-390M-72H-A1-EN Datasheet.pdf
K0 = 4.8/1000; % Akım/Sıcaklık Katsayısı[A/K].EaglePercMono Half
Cell JKM370-390M-72H-A1-EN Datasheet.pdf
dVdI_Voc = -0.00798722; % dV/dI Voc Katsayısı
[A/V].EagleSolarMonoHalfCurves.xlsx
l=1.728*10^-8 ; %Her Uzunluk Başına Ribbon Direnci(ohm*m)
A=0.22*0.8 ; %Ribbon Alanı (mm^2)
Lbb=78 ; %H credeki Bara Uzunluğu (mm) (Half)
Lbb2=155 ; %H credeki Bara Uzunluğu (mm) (Full)
Nbb=5 ; %H credeki Bara Sayısı
RribbonH=((2*(1/A)*Lbb)/(3*Nbb))*144; %Denklem(4.40)
RribbonF=((2*(1/A)*Lbb2)/(3*Nbb))*72; %Denklem(4.24)
n =(q*(Vmp-Voc_T1))/(k*T1*log(1-(Imp/Isc_T1))); %Diyot Kalite
faktörü (4.38)
TaK = 273 + TaC; % Hücrenin sıcaklığını Santigrat'tan Kelvin'e
Dönüşümü [K]
IF_T1 = Isc_T1 * Suns./Cut; % T1'deki güneşe bağlı olarak Foton
Akımı hesaplama. Denklem (4.42)
IF = IF_T1 + K0*(TaK - T1); % Foton Akımın Sıcaklık İle Değişimi.
Denklem (4.43)
IO_T1 = (Isc_T1/(exp(q*Voc_T1/(n*k*T1))-1))./Cut; % Denklem (4.44)
```

```

I0 = (I0_T1*(TaK/T1).^(3/n).*exp(-q*Vg/(n*k).*((1./TaK)-(1/T1))));
% Denklem (4.45)
Xv = I0_T1*q / (n*k*T1) * exp(q*Voc_T1/(n*k*T1)); % Denklem (4.46)
Rs = ((- dVdI_Voc - 1/Xv -RribbonH)); % Rs Resistance Değerini
Hesaplama.Denklem (4.47)
Vt_Ta = n * k * TaK / q; )
Ia = zeros(size(Va));% Ia vector Başlangıcı
% Ia Newton Method Yöntemi
for j=1:5;
Ia = Ia - (IF - Ia - I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1))./(-1 -
(I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1)).*Rs./Vt_Ta);% Denklem (4.51)
end
end

```

```

function HalfCutGunesPiliVePanelModeliEagleMonoHalf
Va11 = 0:0.01:0.680;
% Hücre hesaplamaları (model VS verileri, farklı sıcaklık ve
güneşler için güç ve akım)
data = xlsread('EagleSolarMonoHalfCurves. xls','A:B'); % Excel
dosyasından eğrinin noktaları
dataU = data(:,1); % Voltaj Değeri
dataI = data(:,2); % Akım Değeri
Veri1= xlsread('EAGLESOLARHALF (I-V) (375W)Veriler. xls','A:B'); %
Excel dosyasından eğrinin noktaları
Veri2= xlsread('EAGLESOLARHALF P-V(375W)Veriler. xls','A:B'); %
Excel dosyasından eğrinin noktaları
VeriV11=xlsread('EAGLESOLARHALF (I-V) (375W)Veriler.
xls','A3:A200');
VeriV12=xlsread('EAGLESOLARHALF (I-V) (375W)Veriler.
xls','C3:C200');
VeriV13=xlsread('EAGLESOLARHALF (I-V) (375W)Veriler.
xls','E3:E200');
VeriV14=xlsread('EAGLESOLARHALF (I-V) (375W)Veriler.
xls','G3:G200');
VeriV15=xlsread('EAGLESOLARHALF (I-V) (375W)Veriler.
xls','I3:I200');
VeriI11=xlsread('EAGLESOLARHALF (I-V) (375W)Veriler.
xls','B3:B200');
VeriI12=xlsread('EAGLESOLARHALF (I-V) (375W)Veriler.
xls','D3:D200');

```

```

VeriI13=xlsread('EAGLESOLARHALF (I-V) (375W)Veriler.
xlsx','F3:F200');
VeriI14=xlsread('EAGLESOLARHALF (I-V) (375W)Veriler.
xlsx','H3:H200');
VeriI15=xlsread('EAGLESOLARHALF (I-V) (375W)Veriler.
xlsx','J3:J200');
VeriV21=xlsread('EAGLESOLARHALF P-V(375W)Veriler.xlsx','A3:A200');
VeriV22=xlsread('EAGLESOLARHALF P-V(375W)Veriler.xlsx','C3:C200');
VeriV23=xlsread('EAGLESOLARHALF P-V(375W)Veriler.
xlsx','E3:E200');
VeriV24=xlsread('EAGLESOLARHALF P-V(375W)Veriler.
xlsx','G3:G200');
VeriV25=xlsread('EAGLESOLARHALF P-V(375W)Veriler.
xlsx','I3:I200');
VeriP21=xlsread('EAGLESOLARHALF P-V(375W)Veriler.
xlsx','B3:B200');
VeriP22=xlsread('EAGLESOLARHALF P-V(375W)Veriler.
xlsx','D3:D200');
VeriP23=xlsread('EAGLESOLARHALF P-V(375W)Veriler.
xlsx','F3:F200');
VeriP24=xlsread('EAGLESOLARHALF P-V(375W)Veriler.
xlsx','H3:H200');
VeriP25=xlsread('EAGLESOLARHALF P-V(375W)Veriler.
xlsx','J3:J200');
clear data
Cut=2;
Ns=1;
%Voltaaj Tanımlama
Va = 0:0.01:0.676;
figure('Color', 'w')
subplot(2,1,1);
title('Jinko-Eagle Solar 144 (12x12) Hücre Voltaaj/Akım')
hold on
plot(Va11.*Ns, solarEAGH(Va11,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarEAGH(Va,1,35), 'b --', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarEAGH(Va,1,55), 'b -.', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarEAGH(Va,1,75), 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...

```

```

'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on
subplot(2,1,2);
title('Jinko-Eagle Solar 144 (12x12) Hücre  Voltaaj/Güç')
hold on
plot(Va11.*Ns, Va11.*Ns.*solarEAGH(Va11,1,25),'k','LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Va.*Ns.*solarEAGH(Va,0.8,25),'c','LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Va.*Ns.*solarEAGH(Va,0.6,25),'r','LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Va.*Ns.*solarEAGH(Va,0.4,25),'g','LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Va.*Ns.*solarEAGH(Va,0.2,25),'b','LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
% Panel Hesaplamaları
Ns = 72; % Panele seri olarak bağlanmış hücre sayısı[]
Va0 = 0:0.01:0.676; % Bir Hücresinin Voltaaj vektörü [V]
Np=2;% Bir panele bağlı paralel hücre sayısı
Ia1 = Np.*solarEAGH(Va0,1,25); % Voltaaj vektöründen gelen akım
[A] (STC)%Ns hücreleri için yeni voltaajı (ters X ve Y hücresinin
grafiği) hesaplama
Va1 = max(Ns*interp1(Ia1, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia2 = Np.*solarEAGH(Va0,0.8,25);
Va2 = max(Ns*interp1(Ia2, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia3 = Np.*solarEAGH(Va0,0.6,25);
Va3 = max(Ns*interp1(Ia3, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia4 = Np.*solarEAGH(Va0,0.4,25);
Va4 = max(Ns*interp1(Ia4, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);

```

```

Ia5 = Np.*solarEAGH(Va0,0.2,25);
Va5 = max(Ns*interp1(Ia5, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
figure('Color', 'w')
title('Jinko-Eagle Solar 144 (12x12) Panel Akım/Voltaj')
hold on
plot(VeriV11,VeriI11,'* k','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV12,VeriI12,' * c','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV13,VeriI13,' * r','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV14,VeriI14,'* g','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV15,VeriI15,'* b','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100, 'k','LineWidth',2)
plot(Va2,0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100, 'c','LineWidth',2)
plot(Va3,0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100, 'r','LineWidth',2)
plot(Va4,0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100, 'g','LineWidth',2)
plot(Va5,0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100, 'b','LineWidth',2)
xlabel('Voltaaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Deneyisel Sonuç @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Deneyisel Sonuç @ 800W/m^2 / 25°C' ...
'Deneyisel Sonuç @ 600W/m^2 / 25°C' ...
'Deneyisel Sonuç @ 400W/m^2 / 25°C' ...
'Deneyisel Sonuç @ 200W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
figure('Color', 'w')
title('Jinko-Eagle Solar 144 (12x12) Panel Güç/voltaaj')
hold on
plot(VeriV21,VeriP21,'* k','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV22,VeriP22,' * c','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV23,VeriP23,' * r','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV24,VeriP24,' * g','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV25,VeriP25,' * b','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(Va1,Va1.*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100), 'k','LineWidth',2)
plot(Va2,Va2.*(0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100), 'c','LineWidth',2)
plot(Va3,Va3.*(0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100), 'r','LineWidth',2)

```

```

plot(Va4,Va4.*(0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100), 'g','LineWidth',2)
plot(Va5,Va5.*(0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100), 'b','LineWidth',2)
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
ylim([0,400]);
legend({'Deneysel Sonuç @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 800W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 600W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 400W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 200W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
hold on
grid on
figure('Color', 'w')
title('Jinko-Eagle Solar 144 (12x12) Panel Akım/Voltaj')
hold on
plot(Va11.*Ns, Np.*solarEAGH(Va11,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Np.*solarEAGH(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Np.*solarEAGH(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Np.*solarEAGH(Va,1,75), 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on
PanelEn= 0.992; %metre EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-
EN Datasheet. pdf
PanelBoy=1.987; %metre EaglePercMono Half Cell JKM370-390M-72H-A1-
EN Datasheet. pdf

```

```

PmaxHalfSTC1000WEAGHPV= max((max(Ns*interp1(Ia1, Va0,
0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100).*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
))
Vamax1000WPVIV=max(max(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100));
Iamax1000WIV=max((0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100));
PmaxHalf=PmaxHalfSTC1000WEAGHPV;
ModuleEfficiency=PmaxHalfSTC1000WEAGHPV/(PanelEn*PanelBoy*10);
FFHalf=(PmaxHalfSTC1000WEAGHPV./(Vamax1000WPVIV.*Iamax1000WIV)).*1
00;
Vamax1000PV=max(max(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100));

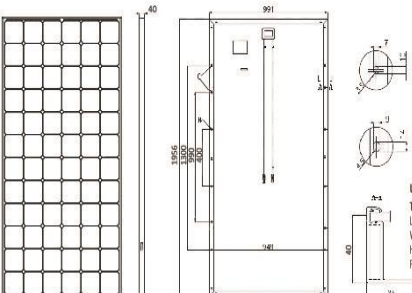
end

```



# EK E Longi Solar- LR6-72PH full mono360-380M Panel Kataloğu

## LR6-72PH 360~380M

| Design (mm)                                                                       | Mechanical Parameters                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Operating Parameters                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>Cell Orientation: 72 (6x12)</p> <p>Junction Box: IP67, three diodes</p> <p>Output Cable: 4mm<sup>2</sup>, 1200mm in length</p> <p>Glass: 3.2mm coated tempered glass</p> <p>Weight: 22.5kg</p> <p>Dimension: 1956x991x40mm</p> <p>Packaging: 26pcs per pallet</p> <p>130pcs per 20'GP</p> <p>624pcs per 40'HC</p> <p>Units: mm<br/>Tolerance:<br/>Length: ±2mm<br/>Width: ±2mm<br/>Height: ±1mm<br/>Pitch-dim: ±1mm</p> | <p>Operational Temperature: -40°C ~ +85°C</p> <p>Power Output Tolerance: 0 ~ +5 W</p> <p>Maximum System Voltage: DC1500V (IEC&amp;UL)</p> <p>Maximum Series Fuse Rating: 20A</p> <p>Nominal Operating Cell Temperature: 45±2°C</p> <p>Application Class: Class II</p> <p>Fire Rating: UL type 4</p> |

### Electrical Characteristics

Test uncertainty for Pmax: ±3%

| Model Number                                                                                                            | LR6-72PH-360M |       | LR6-72PH-365M |       | LR6-72PH-370M |       | LR6-72PH-375M |       | LR6-72PH-380M |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|
| Testing Condition                                                                                                       | STC           | NOCT  | STC           | NOCT  | STC           | NOCT  | STC           | NOCT  | STC           | NOCT  |
| Maximum Power (Pmax/W)                                                                                                  | 360           | 266.7 | 365           | 270.4 | 370           | 274.1 | 375           | 277.8 | 380           | 281.5 |
| Open Circuit Voltage (Voc/V)                                                                                            | 47.8          | 44.6  | 48.1          | 44.9  | 48.4          | 45.2  | 48.7          | 45.5  | 49.0          | 45.7  |
| Short Circuit Current (Isc/A)                                                                                           | 9.87          | 7.96  | 9.90          | 7.98  | 9.93          | 8.00  | 9.96          | 8.03  | 10.00         | 8.06  |
| Voltage at Maximum Power (Vmp/V)                                                                                        | 39.0          | 36.0  | 39.3          | 36.3  | 39.7          | 36.7  | 40.1          | 37.0  | 40.4          | 37.3  |
| Current at Maximum Power (Imp/A)                                                                                        | 9.23          | 7.40  | 9.28          | 7.44  | 9.32          | 7.47  | 9.36          | 7.51  | 9.40          | 7.54  |
| Module Efficiency(%)                                                                                                    | 18.6          |       | 18.8          |       | 19.1          |       | 19.3          |       | 19.6          |       |
| STC (Standard Testing Conditions): Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Spectra at AM1.5                         |               |       |               |       |               |       |               |       |               |       |
| NOCT (Nominal Operating Cell Temperature): Irradiance 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Spectra at AM1.5, Wind at 1m/s |               |       |               |       |               |       |               |       |               |       |

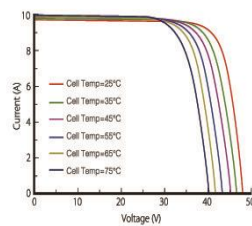
### Temperature Ratings ( STC )

### Mechanical Loading

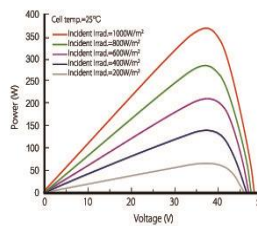
|                                 |            |                                   |                                      |
|---------------------------------|------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Temperature Coefficient of Isc  | +0.057%/°C | Front Side Maximum Static Loading | 5400Pa                               |
| Temperature Coefficient of Voc  | -0.286%/°C | Rear Side Maximum Static Loading  | 2400Pa                               |
| Temperature Coefficient of Pmax | -0.370%/°C | Hailstone Test                    | 25mm Hailstone at the speed of 23m/s |

### I-V Curve

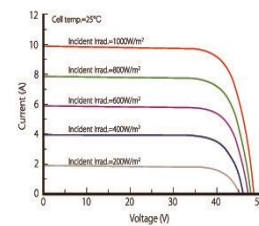
Current-Voltage Curve (LR6-72PH-370M)



Power-Voltage Curve (LR6-72PH-370M)



Current-Voltage Curve (LR6-72PH-370M)



**LONGI Solar**

Room 201, Building 8, Sandhill Plaza, Lane 2290, Zuchongzhi Road, Pudong District, Shanghai, 201203  
Tel: +86-21-61047332 Fax: +86-21-61047377 E-mail: module@longi-silicon.com  
Facebook: www.facebook.com/LONGI Solar

Note: Due to continuous technical innovation, R&D and improvement, technical data above mentioned may be of modification accordingly. LONGI Solar have the sole right to make such modification at anytime without further notice; Demanding party shall request for the latest datasheet for such as contract need, and make it a consisting and binding part of lawful documentation duly signed by both parties.

20181001

## EK E.1 Longi Solar- LR6-72PH full mono360-380M (Pmax=370 W) Matlab

### Kodları

```
function Ia = solarFL(Va,Suns,TaC)
% Ia,Va = Akım ve Voltaj Vektorleri [A] Ve [V]
% G = Radyasyon [W/m^2] (1 Sun = 1000 W/m^2)
% T = Hücre Sıcaklığı [ C]
k = 1.38e-23; % Boltzmann Sabiti [J/K]
q = 1.60e-19; % Elementary charge [C]
n = 1; % Diyot Kalite Faktörü[.
Vg = 1.12; % Kristal Silikonun Gerilimi [eV]
T1 = 273 + 25; % Ortam Sıcaklığı [K]
% Longi Solar 72(6*12) Değerleri
Voc_T1 = 0.672; % (48.4/72) T1'de Açık Devre Gerilimi [V].LR6-72PH
full mono360-380MDatasheet.pdf
Isc_T1 = 9.93;%T1'de kısa devre akımı [A].LR6-72PH full mono360-
380MDatasheet.pdf
K0 = 5.7/1000; % Akım/Sıcaklık Katsayısı[A/K].LR6-72PH full
mono360-380MDatasheet.pdf
l=1.728*10^-8 ; %Her Uzunluk Başına Ribbon Direnci(ohm*m)
A=0.22*0.8 ; %Ribbon Alanı (mm^2)
Lbb=156 ; %H credeki Bara Uzunluğu (mm)
Nbb=5 ; %H credeki Bara Sayısı
RribbonF=((2*(1/A)*Lbb)/(3*Nbb))*72;%Denklem (4.24)
dVdI_Voc = -0.0078125; % dV/dI Voc Katsayısı [A/V]. See
LongiSolarFullCurves.xlsx
TaK = 273 + TaC; % Hücrenin sıcaklığını Santigrat'tan Kelvin'e
Dönüşümü [K]
IF_T1 = Isc_T1 * Suns; % T1'deki güneşe bağlı olarak Foton Akımı
hesaplama. Denklem (4.26)
IF = IF_T1 + K0*(TaK - T1); % Foton Akımın Sıcaklık İle Değişimi.
Denklem (4.27)
I0_T1 = Isc_T1/(exp(q*Voc_T1/(n*k*T1))-1); % Denklem (4.28)
I0 = I0_T1*(TaK/T1).^(3/n).*exp(-q*Vg/(n*k).*((1./TaK)-(1/T1))); %
Denklem (4.29)
Xv = I0_T1*q/(n*k*T1) * exp(q*Voc_T1/(n*k*T1)); % Denklem (4.30)
Rs = ((- dVdI_Voc - 1/Xv-RribbonF)); % Rs Resistance Değerini
Hesaplama. Denklem(4.31)
Vt-Ta = n * k * TaK / q;
Ia = zeros(size(Va)); %Ia vector Başlangıcı
```

```

% Ia Newton Method Yöntemi
for j=1:5;
Ia = Ia - (IF - Ia - I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt-Ta) -1))./(-1 -
(I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt-Ta) -1)).*Rs./Vt-Ta); % Denklem (4.35)
end
end

function FullGunesPiliVePanelModeliLongi
Va11 = 0:0.01:0.680;
% Hücre hesaplamaları (model VS verileri, farklı sıcaklık ve
güneşler için güç ve akım)
data = xlsread('LongiSolarFullCurves.xlsx','A:B'); % Excel
dosyasından eğrinin noktaları
dataU = data(:,1); % Voltaj Değeri
dataI = data(:,2); % Akım Değeri
Veri1= xlsread('LONGİSOLARFULL (I-V) (370W)Veriler.xlsx','A:B'); %
Excel dosyasından eğrinin noktaları
Veri2= xlsread('LONGİSOLARFULL P-V(370W)Veriler.xlsx','A:B'); %
Excel dosyasından eğrinin noktaları
VeriV11=xlsread('LONGİSOLARFULL (I-V) (370W)Veriler.
xlsx','A3:A200');
VeriV12=xlsread('LONGİSOLARFULL (I-V) (370W)Veriler.
xlsx','C3:C200');
VeriV13=xlsread('LONGİSOLARFULL (I-V) (370W)Veriler.
xlsx','E3:E200');
VeriV14=xlsread('LONGİSOLARFULL (I-V) (370W)Veriler.
xlsx','G3:G200');
VeriV15=xlsread('LONGİSOLARFULL (I-V) (370W)Veriler.
xlsx','I3:I200');
VeriI11=xlsread('LONGİSOLARFULL (I-V) (370W)Veriler.
xlsx','B3:B200');
VeriI12=xlsread('LONGİSOLARFULL (I-V) (370W)Veriler.
xlsx','D3:D200');
VeriI13=xlsread('LONGİSOLARFULL (I-V) (370W)Veriler.
xlsx','F3:F200');
VeriI14=xlsread('LONGİSOLARFULL(I-V) (370W)Veriler.
xlsx','H3:H200');
VeriI15=xlsread('LONGİSOLARFULL(I-V) (370W)Veriler.
xlsx','J3:J200');
VeriV21=xlsread('LONGİSOLARFULL P-V(370W)Veriler.xlsx','A3:A200');
VeriV22=xlsread('LONGİSOLARFULL P-V(370W)Veriler.xlsx','C3:C200');

```

```

VeriV23=xlsread('LONGİSOLARFULL P-V(370W)Veriler.xlsx','E3:E200');
VeriV24=xlsread('LONGİSOLARFULL P-V(370W)Veriler.xlsx','G3:G200');
VeriV25=xlsread('LONGİSOLARFULL P-V(370W)Veriler.xlsx','I3:I200');
VeriP21=xlsread('LONGİSOLARFULL P-V(370W)Veriler.xlsx','B3:B200');
VeriP22=xlsread('LONGİSOLARFULL P-V(370W)Veriler.xlsx','D3:D200');
VeriP23=xlsread('LONGİSOLARFULL P-V(370W)Veriler.xlsx','F3:F200');
VeriP24=xlsread('LONGİSOLARFULL P-V(370W)Veriler.xlsx','H3:H200');
VeriP25=xlsread('LONGİSOLARFULL P-V(370W)Veriler.xlsx','J3:J200');

clear data

%Voltaaj Tanımlama
Va = 0:0.01:0.672;

figure('Color', 'w')
subplot(2,1,1);

title('Longi Solar 72 (6x12) Hücre Voltaaj/Akım')
hold on
plot(Va11, solarFL(Va11,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va, solarFL(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va, solarFL(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va, solarFL(Va,1,75), 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 45°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');

grid on
subplot(2,1,2);

title('Longi Solar 72 (6x12) Hücre Voltaaj/Güç')
hold on
plot(Va11, Va11.*solarFL(Va11,1,25), 'k', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarFL(Va,0.8,25), 'c', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarFL(Va,0.6,25), 'r', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarFL(Va,0.4,25), 'g', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarFL(Va,0.2,25), 'b', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 8000W/m^2 / 25°C', ...

```

```

'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
% Panel Hesaplamaları
Ns = 72; % Panele seri olarak bağlanmış hücre sayısı[]
Va0 = 0:0.01:0.672; % Bir Hücresinin Voltaj Vektörü [V]
Ia1 = solarFL(Va0,1,25); % Voltaj vektöründen gelen akım [A]
%Ns hücreleri için yeni voltajı (ters X ve Y hücresinin grafiği)
hesaplama
Va1 = max(Ns*interp1(Ia1, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia2 = solarFL(Va0,0.8,25);
Va2 = max(Ns*interp1(Ia2, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia3 = solarFL(Va0,0.6,25);
Va3 = max(Ns*interp1(Ia3, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia4 = solarFL(Va0,0.4,25);
Va4 = max(Ns*interp1(Ia4, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia5 = solarFL(Va0,0.2,25);
Va5 = max(Ns*interp1(Ia5, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
figure('Color', 'w')
title('Longi Solar 72 (6x12) Panel Akım/Voltaj')
hold on
plot(VeriV11,VeriI11,'* k','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV12,VeriI12,'* c','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV13,VeriI13,'* r','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV14,VeriI14,'* g','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV15,VeriI15,'* b','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100, 'k')
plot(Va2,0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100, 'c')
plot(Va3,0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100, 'r')
plot(Va4,0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100, 'g')
plot(Va5,0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100, 'b')
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Deneyisel Sonuç @ 1000W/m^2 / 25°C' ...

```

```

'Deneysel Sonuç @ 800W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 600W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 400W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 200W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}}, ...
'Location', 'NorthWest');

grid on
figure('Color', 'w')
title('Longi Solar 72 (6x12) Panel Güç/voltaj')
hold on
plot(VeriV21,VeriP21,'* k','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV22,VeriP22,'* c','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV23,VeriP23,'* r','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV24,VeriP24,'* g','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV25,VeriP25,'* b','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(Va1,Va1.*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100), 'k')
plot(Va2,Va2.*(0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100), 'c')
plot(Va3,Va3.*(0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100), 'r')
plot(Va4,Va4.*(0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100), 'g')
plot(Va5,Va5.*(0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100), 'b')
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
ylim([0,Inf]);
legend({'Deneysel Sonuç @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 800W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 600W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 400W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 200W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}}, ...
'Location', 'NorthWest');

hold on
grid on
figure('Color', 'w')

```

```

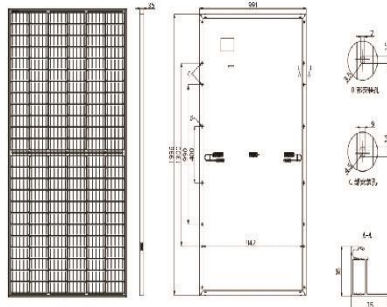
title('Longi Solar 72 (6x12) Panel Akım/Voltaj')
hold on
plot(Va11.*Ns, solarFL(Va11,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarFL(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarFL(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarFL(Va,1,75), 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on
PanelEn= 0.991; %metre LR6-72PH full mono360-380MDatasheet.pdf
PanelBoy=1.956; %metre LR6-72PH full mono360-380MDatasheet.pdf
PmaxFull=PmaxFullSTC1000WFLPV
PmaxFullSTC1000WFLPV= max((max(Ns*interp1(Ia1, Va0,
0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100).*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
))
Vamax1000WPVIV=max((max(Ns*interp1(Ia1, Va0,
0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))))
Iamax1000WIV=max((0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
ModuleEfficiency=PmaxFullSTC1000WFLPV/(PanelEn*PanelBoy*10)
FFfull=(PmaxFullSTC1000WFLPV./(Vamax1000WPVIV.*Iamax1000WIV)).*100
end

```

## EK F Longi Solar- LR6-72HPH half mono365-385M Panel Kataloğu

### LR6-72HPH 365~385M

#### Design (mm)



#### Mechanical Parameters

Cell Orientation: 144 (6x24)  
Junction Box: IP67, three diodes  
Output Cable: 4mm<sup>2</sup>, 300mm in length  
Glass: Single glass  
3.2mm coated tempered glass  
Frame: Anodized aluminum alloy frame  
Weight: 22.5kg  
Dimension: 1996x991x35mm  
Packaging: 30pcs per pallet  
150pcs per 20'GP  
660pcs per 40'HC

#### Operating Parameters

Operational Temperature: -40°C ~ +85°C  
Power Output Tolerance: 0 ~ +5 W  
Voc and Isc Tolerance: ±3%  
Maximum System Voltage: DC1500V (IEC)  
Maximum Series Fuse Rating: 20A  
Nominal Operating Cell Temperature: 45±2°C  
Safety Class: Class II

#### Electrical Characteristics

Test uncertainty for Pmax: ±3%

| Model Number                                                                                                            | LR6-72HPH-365M |       | LR6-72HPH-370M |       | LR6-72HPH-375M |       | LR6-72HPH-380M |       | LR6-72HPH-385M |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| Testing Condition                                                                                                       | STC            | NOCT  | STC            | NOCT  | STC            | NOCT  | STC            | NOCT  | STC            | NOCT  |
| Maximum Power (Pmax/W)                                                                                                  | 365            | 270.4 | 370            | 274.1 | 375            | 277.8 | 380            | 281.5 | 385            | 285.2 |
| Open Circuit Voltage (Voc/V)                                                                                            | 48.4           | 45.2  | 48.6           | 45.4  | 48.8           | 45.6  | 49.0           | 45.7  | 49.2           | 46.0  |
| Short Circuit Current (Isc/A)                                                                                           | 9.71           | 7.82  | 9.79           | 7.89  | 9.87           | 7.95  | 9.96           | 8.02  | 10.03          | 8.09  |
| Voltage at Maximum Power (Vmp/V)                                                                                        | 40.0           | 36.9  | 40.2           | 37.1  | 40.4           | 37.3  | 40.6           | 37.5  | 40.8           | 37.7  |
| Current at Maximum Power (Imp/A)                                                                                        | 9.13           | 7.32  | 9.21           | 7.38  | 9.28           | 7.44  | 9.36           | 7.50  | 9.43           | 7.57  |
| Module Efficiency(%)                                                                                                    | 18.5           |       | 18.7           |       | 19.0           |       | 19.2           |       | 19.5           |       |
| STC (Standard Testing Conditions): Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Spectra at AM1.5                         |                |       |                |       |                |       |                |       |                |       |
| NOCT (Nominal Operating Cell Temperature): Irradiance 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Spectra at AM1.5, Wind at 1m/S |                |       |                |       |                |       |                |       |                |       |

#### Temperature Ratings ( STC )

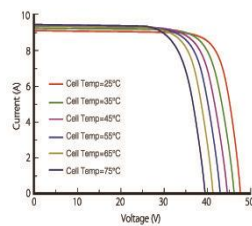
|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| Temperature Coefficient of Isc  | +0.057%/°C |
| Temperature Coefficient of Voc  | -0.286%/°C |
| Temperature Coefficient of Pmax | -0.370%/°C |

#### Mechanical Loading

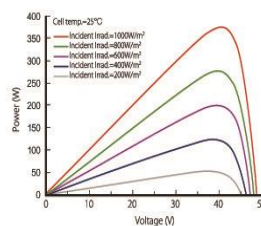
|                                   |                                      |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Front Side Maximum Static Loading | 5400Pa                               |
| Rear Side Maximum Static Loading  | 2400Pa                               |
| Hailstone Test                    | 25mm Hailstone at the speed of 23m/s |

#### I-V Curve

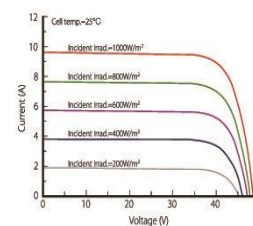
Current-Voltage Curve (LR6-72HPH-375M)



Power-Voltage Curve (LR6-72HPH-375M)



Current-Voltage Curve (LR6-72HPH-375M)



**LONGI Solar**

Room 801, Tower 3, Lujiazui Financial Plaza, No.826 Century Avenue, Pudong Shanghai, 200120, China  
Tel: +86-21-80162606 E-mail: module@longi-silicon.com Facebook: www.facebook.com/LONGI Solar

Note: Due to continuous technical innovation, R&D and improvement, technical data above mentioned may be of modification accordingly. LONGI Solar have the sole right to make such modification at anytime without further notice; Demanding party shall request for the latest datasheet for such as contract need, and make it a consisting and binding part of lawful documentation duly signed by both parties.

V09

## EK F.1 Longi Solar- LR6-72HPH half mono365-385M (Pmax=375 W)

### Matlab Kodları

```
function Ia = solarHL(Va,Suns,TaC)
% Ia,Va = Akım ve Voltaj Vektorleri [A] Ve [V]
% G = Radyasyon [W/m^2] (1 Sun = 1000 W/m^2)
% T = Hücre Sıcaklığı [°C]
k = 1.38e-23; % Boltzmann Sabiti [J/K]
q = 1.60e-19; % Elementary charge [C]
Vg = 1.12; %Vg=1.16-((7.02e-4*T^2)/(T-1108))
T1 = 273 + 25; % Ortam Sıcaklığı [K]
Vmp=40.4/72;% LR6-72HPH half mono365-385MDatasheet.pdf
Imp=9.28;% LR6-72HPH half mono365-385MDatasheet.pdf
% Longi Solar 144(12*12) Değeri
Cut=2;
Ns=1;
Voc_T1 = 0.678; % (48.8/72) T1'de Açık Devre Gerilimi [V].LR6-72HPH half mono365-385MDatasheet.pdf
Isc_T1 = 9.87; %T1'de kısa devre akımı [A].LR6-72HPH half mono365-385MDatasheet.pdf
K0 = 5.7/1000; % Akım/Sıcaklık Katsayısı[A/K].SLR6-72HPH half mono365-385MDatasheet.pdf
dVdI_Voc = -0.009036646; % dV/dI Voc Katsayısı [A/V].LongiSolarHalfCurves.xlsx
l=1.728*10^-8 ; %Her Uzunluk Başına Ribbon Direnci(ohm*m)
A=0.22*0.8 ; %Ribbon Alanı (mm^2)
Lbb=78 ; %Hücredeki Bara Uzunluğu (mm)
Lbb2=155 ; %Hücredeki Bara Uzunluğu (mm) (Full)
Nbb=5 ; %Hücredeki Bara Sayısı
RribbonH=((2*(1/A)*Lbb)/(3*Nbb))*144;%Denklem (4.40)
RribbonF=((2*(1/A)*Lbb2)/(3*Nbb))*72;%Denklem (4.24)
n =(q*(Vmp-Voc_T1))/(k*T1*log(1-(Imp/Isc_T1)));%Diyot Kalite faktörü Denklem (4.38)
TaK = 273 + TaC; % Hücrenin sıcaklığını Santigrat'tan Kelvin'e Dönüşümü [K]
IF_T1 = Isc_T1 * Suns./Cut; % T1'deki güneşe bağlı olarak Foton Akımı hesaplama. Denklem (4.42)
IF = IF_T1 + K0*(TaK - T1); % Foton Akımın Sıcaklık İle Değişimi. Denklem (4.43)
I0_T1 = (Isc_T1/(exp(q*Voc_T1/(n*k*T1))-1))./Cut; % Denklem (4.44)
```

```

I0 = (I0_T1*(TaK/T1).^(3/n).*exp(-q*Vg/(n*k).*((1./TaK)-(1/T1))));
% Denklem (4.42)
Xv = I0_T1*q / (n*k*T1) * exp(q*Voc_T1/(n*k*T1)); % Denklem (4.43)
Rs = ((- dVdI_Voc - 1/Xv -RribbonH)); % Rs Resistance Değerini
Hesaplama. Denklem (4.47)
Vt_Ta = n * k * TaK / q;
Ia = zeros(size(Va)); % Ia vector Başlangıcı
% Ia Newton method Yöntemi
for j=1:5;
Ia = Ia - (IF - Ia - I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1))./(-1 -
(I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1)).*Rs./Vt_Ta);
%Denklem (4.51)
end
end

function HalfCutGunesPiliVePanelModeliLongi
Val1 = 0:0.01:0.680;
% Hücre hesaplamaları (model VS verileri, farklı sıcaklık ve
güneşler için güç ve akım)
data = xlsread('LongiSolarHalfCurves.xlsx','A:B'); % Excel
dosyasından eğrinin noktaları
dataU = data(:,1); % Voltaj Değeri
dataI = data(:,2); % Akım Değeri
Veri1= xlsread('LONGİSOLARHALF (I-V) (375W)Veriler.xlsx','A:B'); %
Excel dosyasından eğrinin noktaları
Veri2= xlsread('LONGİSOLARHALF P-V(375W)Veriler.xlsx','A:B'); %
Excel dosyasından eğrinin noktaları
VeriV11=xlsread('LONGİSOLARHALF (I-V) (375W)Veriler.
xlsx','A3:A200');
VeriV12=xlsread('LONGİSOLARHALF (I-V) (375W)Veriler.
xlsx','C3:C200');
VeriV13=xlsread('LONGİSOLARHALF (I-V) (375W)Veriler.
xlsx','E3:E200');
VeriV14=xlsread('LONGİSOLARHALF (I-V) (375W)Veriler.
xlsx','G3:G200');
VeriV15=xlsread('LONGİSOLARHALF (I-V) (375W)Veriler.
xlsx','I3:I200');
VeriI11=xlsread('LONGİSOLARHALF (I-V) (375W)Veriler.
xlsx','B3:B200');
VeriI12=xlsread('LONGİSOLARHALF (I-V) (375W)Veriler.
xlsx','D3:D200');

```

```

VeriI13=xlsread('LONGİSOLARHALF (I-V) (375W)Veriler.
xlsx','F3:F200');
VeriI14=xlsread('LONGİSOLARHALF (I-V) (375W)Veriler.
xlsx','H3:H200');
VeriI15=xlsread('LONGİSOLARHALF (I-V) (375W)Veriler.
xlsx','J3:J200');
VeriV21=xlsread('LONGİSOLARHALF P-V(375W)Veriler.xlsx','A3:A200');
VeriV22=xlsread('LONGİSOLARHALF P-V(375W)Veriler.xlsx','C3:C200');
VeriV23=xlsread('LONGİSOLARHALF P-V(375W)Veriler.xlsx','E3:E200');
VeriV24=xlsread('LONGİSOLARHALF P-V(375W)Veriler.xlsx','G3:G200');
VeriV25=xlsread('LONGİSOLARHALF P-V(375W)Veriler.xlsx','I3:I200');
VeriP21=xlsread('LONGİSOLARHALF P-V(375W)Veriler.xlsx','B3:B200');
VeriP22=xlsread('LONGİSOLARHALF P-V(375W)Veriler.xlsx','D3:D200');
VeriP23=xlsread('LONGİSOLARHALF P-V(375W)Veriler.xlsx','F3:F200');
VeriP24=xlsread('LONGİSOLARHALF P-V(375W)Veriler.xlsx','H3:H200');
VeriP25=xlsread('LONGİSOLARHALF P-V(375W)Veriler.xlsx','J3:J200');
clear data
Cut=2;
Ns=1;
%Voltaaj Tanımlama
Va = 0:0.01:0.678;
figure('Color', 'w')
subplot(2,1,1);
title('Longi Solar 144 (12x12) Hücre Voltaaj/Akım')
hold on
plot(Va11, solarHL(Va11,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va, solarHL(Va,1,40), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va, solarHL(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va, solarHL(Va,1,70), 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 40°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 70°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on
subplot(2,1,2);
title('Longi Solar 72 (12x12) Hücre Voltaaj/Güç')
hold on

```

```

plot(Va11, Va11.*solarHL(Va11,1,25), 'k', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarHL(Va,0.8,25), 'c', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarHL(Va,0.6,25), 'r', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarHL(Va,0.4,25), 'g', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarHL(Va,0.2,25), 'b', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 8000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
% Panel Hesaplamaları
Ns = 72; % Panele seri olarak bağlanmış hücre sayısı[]
Va0 = 0:0.01:0.678; % Bir Hücresinin Voltaj Vektörü [V]
Np=2;% Bir panele bağlı paralel hücre sayısı[]
Ia1 = Np.*solarHL(Va0,1,25); % Voltaj vektöründen gelen akım [A]
%Ns hücreleri için yeni voltajı (ters X ve Y hücresinin grafiği)
hesaplama
Va1 = max(Ns*interp1(Ia1, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia2 = Np.*solarHL(Va0,0.8,25);
Va2 = max(Ns*interp1(Ia2, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia3 = Np.*solarHL(Va0,0.6,25);
Va3 = max(Ns*interp1(Ia3, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia4 = Np.*solarHL(Va0,0.4,25);
Va4 = max(Ns*interp1(Ia4, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia5 = Np.*solarHL(Va0,0.2,25);
Va5 = max(Ns*interp1(Ia5, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
figure('Color', 'w')
title('Longi Solar 144 (12x12) Panel Akım/Voltaj')
hold on
plot(VeriV11,VeriI11,'* k','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV12,VeriI12,' * c','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)

```

```

plot(VeriV13,VeriI13,' * r','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV14,VeriI14,' * g','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV15,VeriI15,' * b','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100, 'k','LineWidth',2)
plot(Va2,0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100, 'c','LineWidth',2)
plot(Va3,0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100, 'r','LineWidth',2)
plot(Va4,0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100, 'g','LineWidth',2)
plot(Va5,0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100, 'b','LineWidth',2)
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Deneyisel Sonuç @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Deneyisel Sonuç @ 800W/m^2 / 25°C' ...
'Deneyisel Sonuç @ 600W/m^2 / 25°C' ...
'Deneyisel Sonuç @ 400W/m^2 / 25°C' ...
'Deneyisel Sonuç @ 200W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
figure('Color', 'w')
title('Longi Solar 144 (12x12) Panel Güç/voltaj')
hold on
plot(VeriV21,VeriP21,' * k','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV22,VeriP22,' * c','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV23,VeriP23,' * r','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV24,VeriP24,' * g','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV25,VeriP25,' * b','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(Va1,Va1.*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100), 'k','LineWidth',2)
plot(Va2,Va2.*(0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100), 'c','LineWidth',2)
plot(Va3,Va3.*(0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100), 'r','LineWidth',2)
plot(Va4,Va4.*(0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100), 'g','LineWidth',2)
plot(Va5,Va5.*(0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100), 'b','LineWidth',2)
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
ylim([0,Inf]);
legend({'Deneyisel Sonuç @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Deneyisel Sonuç @ 800W/m^2 / 25°C' ...
'Deneyisel Sonuç @ 600W/m^2 / 25°C' ...

```

```

'Deneysel Sonuç @ 400W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 200W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');

hold on
grid on
figure('Color', 'w')
title('Longi Solar 144 (12x12) Panel Akım/Voltaj')
hold on
plot(Va11.*Ns, Np.*solarHL(Va11,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Np.*solarHL(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Np.*solarHL(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Np.*solarHL(Va,1,75), 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 45°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');

grid on
PanelEn= 0.991; %metre LR6-72HPH half mono365-385MDatasheet.pdf
PanelBoy=1.996; %metre LR6-72HPH half mono365-385MDatasheet.pdf
PmaxHalf=PmaxHalfSTC1000WHLPV
PmaxHalfSTC1000WHLPV= max((max(Ns*interp1(Ia1, Va0,
0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100)).*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
))
Vamax1000WPVIV=max(max(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
Iamax1000WIV=max((0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
ModuleEfficiency=PmaxHalfSTC1000WHLPV/(PanelEn*PanelBoy*10)
FFHalf=(PmaxHalfSTC1000WHLPV./(Vamax1000WPVIV.*Iamax1000WIV)).*100

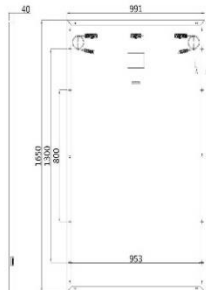
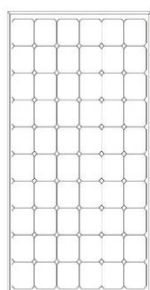
end

```

## EK G Longi Solar- Longi Mono Perc 310W Panel Kataloğu

### LR6-60PE 300~320M

#### Design (mm)



Units: mm  
Tolerance:  
Length: ±2mm  
Width: ±3mm  
Height: ±1mm  
Pitch: ±0.5mm

#### Mechanical Parameters

Cell Orientation: 60° (6×10)  
Junction Box: IP67, three diodes  
Output Cable: 4mm<sup>2</sup>, 1000mm in length  
Glass: 3.2mm coated tempered glass  
Weight: 18.2kg  
Dimension: 1650×991×40mm  
Packaging: 26pcs per pallet  
156pcs per 20'GP  
728pcs per 40'HC

#### Operating Parameters

Operational Temperature: -40°C ~ +85°C  
Power Output Tolerance: 0 ~ +5 W  
Maximum System Voltage: DC1000V (IEC)  
Maximum Series Fuse Rating: 20A  
Nominal Operating Cell Temperature: 45±2°C  
Application Class: Class A

#### Electrical Characteristics

Test uncertainty for Pmax: ±3%

| Model Number                                                                                                             | LR6-60PE-300M |       | LR6-60PE-305M |       | LR6-60PE-310M |       | LR6-60PE-315M |       | LR6-60PE-320M |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|
| Testing Condition                                                                                                        | STC           | NOCT  | STC           | NOCT  | STC           | NOCT  | STC           | NOCT  | STC           | NOCT  |
| Maximum Power (Pmax/W)                                                                                                   | 300           | 222.2 | 305           | 225.9 | 310           | 229.6 | 315           | 233.4 | 320           | 237.1 |
| Open Circuit Voltage (Voc/V)                                                                                             | 39.9          | 37.2  | 40.2          | 37.5  | 40.5          | 37.8  | 40.8          | 38.1  | 41.0          | 38.3  |
| Short Circuit Current (Isc/A)                                                                                            | 9.96          | 8.03  | 9.99          | 8.05  | 10.02         | 8.08  | 10.05         | 8.10  | 10.14         | 8.17  |
| Voltage at Maximum Power (Vmp/V)                                                                                         | 32.3          | 29.8  | 32.7          | 30.2  | 33.1          | 30.6  | 33.5          | 30.9  | 33.7          | 31.1  |
| Current at Maximum Power (Imp/A)                                                                                         | 9.28          | 7.44  | 9.33          | 7.48  | 9.36          | 7.51  | 9.41          | 7.55  | 9.50          | 7.62  |
| Module Efficiency(%)                                                                                                     | 18.3          |       | 18.7          |       | 19.0          |       | 19.3          |       | 19.6          |       |
| STC (Standard Testing Conditions): Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25 C , Spectra at AM1.5                         |               |       |               |       |               |       |               |       |               |       |
| NOCT (Nominal Operating Cell Temperature): Irradiance 800W/m², Ambient Temperature 20 C , Spectra at AM1.5, Wind at 1m/S |               |       |               |       |               |       |               |       |               |       |

#### Temperature Ratings ( STC )

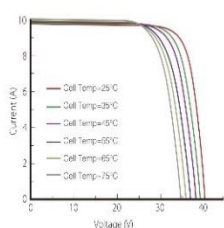
Temperature Coefficient of Isc: +0.057%/°C  
Temperature Coefficient of Voc: -0.286%/°C  
Temperature Coefficient of Pmax: -0.370%/°C

#### Mechanical Loading

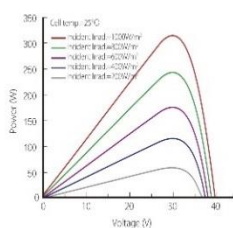
Front Side Maximum Static Loading: 5400Pa  
Rear Side Maximum Static Loading: 2400Pa  
Hailstone Test: 25mm Hailstone at the speed of 23m/s

#### I-V Curve

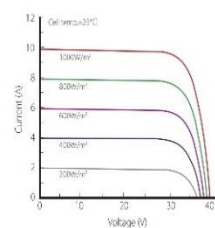
Current-Voltage Curve (LR6-60PE-310M)



Power-Voltage Curve (LR6-60PE-310M)



Current-Voltage Curve (LR6-60PE-310M)



**LONGI Solar**

Room 201, Building 8, Sandhill Plaza, Lane 2290, Zuchongzhi Road, Pudong District, Shanghai, 201203  
Tel: +86-21-61047332 Fax: +86-21-61047377 E-mail: module@longi-silicon.com  
Facebook: www.facebook.com/LONGI Solar

Note: Due to continuous technical innovation, R&D and improvement, technical data above mentioned may be of modification accordingly. LONGI Solar have the sole right to make such modification at anytime without further notice; Demanding party shall request for the latest datasheet for such as contract need, and make it a consisting and binding part of lawful documentation duly signed by both parties.

20181101

## EK G.1 Longi Solar- Longi Mono Perc (Pmax=310 W) Matlab Kodu

```
function Ia = solarFLM(Va,Suns,TaC)
% Ia,Va = Akım ve Voltaj Vektorleri [A] Ve [V]
% G = Radyasyon [W/m^2] (1 Sun = 1000 W/m^2)
% T = Hücre Sıcaklığı [°C]
k = 1.38e-23; % Boltzmann Sabiti [J/K]
q = 1.60e-19; % Elementary charge [C]
n = 1; % Diyot Kalite Faktörü[.].
Vg = 1.12; % Kristal Silikonun Gerilimi [eV]
T1 = 273 + 25; % Ortam Sıcaklığı [K]
% Longi Solar 60(6*10) Değerleri
Voc_T1 = 0.675; % (40.5/60) T1'de Açık Devre Gerilimi [V].Longi
Mono Perc 310WDatasheet.pdf
Isc_T1 = 10.02; %T1'de kısa devre akımı [A].Longi Mono Perc
310WDatasheet.pdf
K0 = 5.70/1000; % Akım/Sıcaklık Katsayısı[A/K].Longi Mono
Perc 310WDatasheet.pdf
l=1.728*10^-8 ; %Her Uzunluk Başına Ribbon Direnci(ohm*m)
A=0.22*0.8 ; %Ribbon Alanı (mm^2)
Lbb=156 ; %Hücredeki Bara Uzunluğu (mm)
Nbb=5 ; %Hücredeki Bara Sayısı
RribbonF=((2*(1/A)*Lbb)/(3*Nbb))*60; %Denklem (4.24)
dVdI_Voc = -0.008519339; % dV/dI Voc Katsayısı [A/V].
LongiSolarMonoFullCurves.xlsx
TaK = 273 + TaC; % Hücrenin sıcaklığını Santigrat'tan Kelvin'e
Dönüşümü [K]
IF_T1 = Isc_T1 * Suns; % T1'deki güneşe bağlı olarak Foton Akımı
hesaplama. Denklem (4.26)
IF = IF_T1 + K0*(TaK - T1); % Foton Akımın Sıcaklık İle Değişimi.
Denklem (4.27)
I0_T1 = Isc_T1/(exp(q*Voc_T1/(n*k*T1))-1); % Denklem (4.28)
I0 = I0_T1*(TaK/T1).^(3/n).*exp(-q*Vg/(n*k).*((1./TaK)-(1/T1))); %
Denklem (4.29)
Xv = I0_T1*q/(n*k*T1) * exp(q*Voc_T1/(n*k*T1)); % Denklem (4.30)
Rs = ((- dVdI_Voc - 1/Xv-RribbonF)); % Rs Resistance Değerini
Hesaplama. Denklem (4.31)
Vt_Ta = n * k * TaK / q;
Ia = zeros(size(Va)); %Ia vector Başlangıcı
```

```

% Ia Newton Method Yöntemi
for j=1:5;
Ia = Ia - (IF - Ia - I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1))./(-1 -
(I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1)).*Rs./Vt_Ta); % Denklem (4.35)
end
end

function FullGunesPiliVePanelModeliLongiMono
Va11 = 0:0.01:0.680;
% Hücre hesaplamaları (model VS verileri, farklı sıcaklık ve
güneşler için güç ve akım)
data = xlsread('LongiSolarMonoFullCurves.xlsx','A:B'); % Excel
dosyasından eğrinin noktaları
dataU = data(:,1); % Voltaj Değeri
dataI = data(:,2); % Akım Değeri
Veri1= xlsread('LONGISOLAR2FULL (I-V) (310W)Veriler.xlsx','A:B'); %
Excel dosyasından eğrinin noktaları
Veri2= xlsread('LONGISOLAR2FULLP-V(310W)Veriler.xlsx','A:B'); %
Excel dosyasından eğrinin noktaları
VeriV11=xlsread('LONGISOLAR2FULL (I-V) (310W)Veriler.
xlsx','A3:A200');
VeriV12=xlsread('LONGISOLAR2FULL (I-V) (310W)Veriler.
xlsx','C3:C200');
VeriV13=xlsread('LONGISOLAR2FULL (I-V) (310W)Veriler.
xlsx','E3:E200');
VeriV14=xlsread('LONGISOLAR2FULL (I-V) (310W)Veriler.
xlsx','G3:G200');
VeriV15=xlsread('LONGISOLAR2FULL (I-V) (310W)Veriler.
xlsx','I3:I200');
VeriI11=xlsread('LONGISOLAR2FULL (I-V) (310W)Veriler.
xlsx','B3:B200');
VeriI12=xlsread('LONGISOLAR2FULL (I-V) (310W)Veriler.
xlsx','D3:D200');
VeriI13=xlsread('LONGISOLAR2FULL (I-V) (310W)Veriler.
xlsx','F3:F200');
VeriI14=xlsread('LONGISOLAR2FULL (I-V) (310W)Veriler.
xlsx','H3:H200');
VeriI15=xlsread('LONGISOLAR2FULL (I-V) (310W)Veriler.
xlsx','J3:J200');

```

```

VeriV21=xlsread('LONGİSOLAR2FULLP-V(310W)Veriler.xlsx','A3:A200');
VeriV22=xlsread('LONGİSOLAR2FULLP-V(310W)Veriler.xlsx','C3:C200');
VeriV23=xlsread('LONGİSOLAR2FULLP-V(310W)Veriler.xlsx','E3:E200');
VeriV24=xlsread('LONGİSOLAR2FULLP-V(310W)Veriler.xlsx','G3:G200');
VeriV25=xlsread('LONGİSOLAR2FULLP-V(310W)Veriler.xlsx','I3:I200');
VeriP21=xlsread('LONGİSOLAR2FULLP-V(310W)Veriler.xlsx','B3:B200');
VeriP22=xlsread('LONGİSOLAR2FULLP-V(310W)Veriler.xlsx','D3:D200');
VeriP23=xlsread('LONGİSOLAR2FULLP-V(310W)Veriler.xlsx','F3:F200');
VeriP24=xlsread('LONGİSOLAR2FULLP-V(310W)Veriler.xlsx','H3:H200');
VeriP25=xlsread('LONGİSOLAR2FULLP-V(310W)Veriler.xlsx','J3:J200');

clear data

%Voltaaj Tanımlama
Va = 0:0.01:0.675;

figure('Color', 'w')
subplot(2,1,1);
title('Longi Solar 60 (6x10) H cre Voltaaj/Akım')
hold on
plot(Va11, solarFLM(Va11,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va, solarFLM(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va, solarFLM(Va,1,45), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va, solarFLM(Va,1,75), 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({' alışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35 C', ...
' alışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 45 C', ...
' alışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55 C', ...
' alışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75 C'}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on
subplot(2,1,2);
title('Longi Solar 60 (6x10) H cre Voltaaj/G  ')
hold on
plot(Va11, Va11.*solarFLM(Va11,1,25), 'k', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarFLM(Va,0.8,25), 'c', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarFLM(Va,0.6,25), 'r', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarFLM(Va,0.4,25), 'g', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarFLM(Va,0.2,25), 'b', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaaj [V]');
ylabel('G   [W]');

```

```

legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 8000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
% Panel Hesaplamaları
Ns = 60; % Panele seri olarak bağlanmış hücre sayısı[]
Va0 = 0:0.01:0.675; % Bir Hücresinin Voltaj Vektörü [V]
Ia1 = solarFLM(Va0,1,25); % Voltaj vektöründen gelen akım [A]
%Ns hücreleri için yeni voltajı (ters X ve Y hücresinin grafiği)
hesaplama
Va1 = max(Ns*interp1(Ia1, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia2 = solarFLM(Va0,0.8,25);
Va2 = max(Ns*interp1(Ia2, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia3 = solarFLM(Va0,0.6,25);
Va3 = max(Ns*interp1(Ia3, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia4 = solarFLM(Va0,0.4,25);
Va4 = max(Ns*interp1(Ia4, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia5 = solarFLM(Va0,0.2,25);
Va5 = max(Ns*interp1(Ia5, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
figure('Color', 'w')
title('Longi Solar 60 (6x10) Panel Akım/Voltaj')
hold on
plot(VeriV11,VeriI11,'* k','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV12,VeriI12,'* c','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV13,VeriI13,'* r','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV14,VeriI14,'* g','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV15,VeriI15,'* b','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100, 'k','LineWidth',2)
plot(Va2,0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100, 'c','LineWidth',2)
plot(Va3,0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100, 'r','LineWidth',2)
plot(Va4,0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100, 'g','LineWidth',2)
plot(Va5,0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100, 'b','LineWidth',2)
xlabel('Voltaj [V]');

```

```

ylabel('Akım [A]');
legend({'Deneysel Sonuç @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 800W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 600W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 400W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 200W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');

grid on

figure('Color', 'w')
title('Longi Solar 60 (6x10) Panel Güç/voltaaj')
hold on
plot(VeriV21,VeriP21,'* k','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV22,VeriP22,' * c','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV23,VeriP23,' * r','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV24,VeriP24,' * g','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV25,VeriP25,' * b','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(Va1,Va1.*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100), 'k','LineWidth',2)
plot(Va2,Va2.*(0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100), 'c','LineWidth',2)
plot(Va3,Va3.*(0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100), 'r','LineWidth',2)
plot(Va4,Va4.*(0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100), 'g','LineWidth',2)
plot(Va5,Va5.*(0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100), 'b','LineWidth',2)
xlabel('Voltaaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
ylim([0,Inf]);
legend({'Deneysel Sonuç @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 800W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 600W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 400W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 200W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');

hold on

```

```

grid on
figure('Color', 'w')
title('Longi Solar 10 (6x10) Panel Akım/Voltaj')
hold on
plot(Va11.*Ns, solarFLM(Va11,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarFLM(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarFLM(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarFLM(Va,1,75), 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on
PanelEn= 0.991;%metre Longi Mono Perc 310WDatasheet.pdf
PanelBoy=1.650;%metre Longi Mono Perc 310WDatasheet.pdf
PmaxFullSTC1000WFLMPV= max((max(Ns*interp1(Ia1, Va0,
0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100).*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
))
Vamax1000WPVIV=max(max(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
Iamax1000WIV=max((0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
PmaxFull=PmaxFullSTC1000WFLMPV
ModuleEfficiency=PmaxFullSTC1000WFLMPV/(PanelEn*PanelBoy*10)
FFfull=(PmaxFullSTC1000WFLMPV./(Vamax1000WPVIV.*Iamax1000WIV)).*10
0

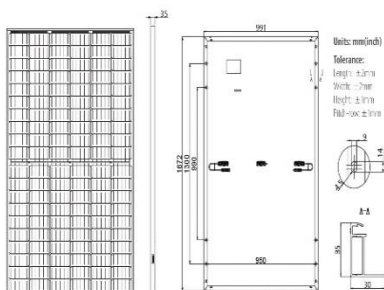
end

```

# EK H Longi Solar Longi Mono Perc Half Cut 310W Panel Katalogu

## LR6-60HPH 300~320M

### Design (mm)



### Mechanical Parameters

Cell Orientation: 120° (6x20)  
Junction Box: IP67, three diodes  
Output Cable: 4mm<sup>2</sup>, 300mm in length  
Glass: Single glass  
2.8mm coated tempered glass  
Frame: Anodized aluminum alloy frame  
Weight: 16.8kg  
Dimension: 1672x991x35mm  
Packaging: 30pcs per pallet  
180pcs per 20'GP  
780pcs per 40'HC

### Operating Parameters

Operational Temperature: -40°C ~ +85°C  
Power Output Tolerance: 0 ~ +5 W  
Voc and Isc Tolerance: ±3%  
Maximum System Voltage: DC1500V (IEC)  
Maximum Series Fuse Rating: 20A  
Nominal Operating Cell Temperature: 45±2°C  
Safety Class: Class II

### Electrical Characteristics

Test uncertainty for Pmax: ±3%

| Model Number                                                                                                            | LR6-60HPH-300M |       | LR6-60HPH-305M |       | LR6-60HPH-310M |       | LR6-60HPH-315M |       | LR6-60HPH-320M |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
| Testing Condition                                                                                                       | STC            | NOCT  | STC            | NOCT  | STC            | NOCT  | STC            | NOCT  | STC            | NOCT  |
| Maximum Power (Pmax/W)                                                                                                  | 300            | 222.2 | 305            | 225.9 | 310            | 229.6 | 315            | 233.4 | 320            | 237.1 |
| Open Circuit Voltage (Voc/V)                                                                                            | 39.8           | 37.1  | 40.1           | 37.4  | 40.3           | 37.7  | 40.6           | 37.9  | 40.9           | 38.2  |
| Short Circuit Current (Isc/A)                                                                                           | 9.70           | 7.82  | 9.78           | 7.88  | 9.86           | 7.94  | 9.94           | 8.01  | 10.02          | 8.08  |
| Voltage at Maximum Power (Vmp/V)                                                                                        | 32.9           | 30.4  | 33.1           | 30.6  | 33.3           | 30.8  | 33.7           | 31.1  | 33.9           | 31.3  |
| Current at Maximum Power (Imp/A)                                                                                        | 9.13           | 7.32  | 9.21           | 7.38  | 9.30           | 7.46  | 9.36           | 7.50  | 9.43           | 7.56  |
| Module Efficiency(%)                                                                                                    | 18.1           |       | 18.4           |       | 18.7           |       | 19.0           |       | 19.3           |       |
| STC (Standard Testing Conditions): Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Spectra at AM1.5                         |                |       |                |       |                |       |                |       |                |       |
| NOCT (Nominal Operating Cell Temperature): Irradiance 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Spectra at AM1.5, Wind at 1m/S |                |       |                |       |                |       |                |       |                |       |

### Temperature Ratings (STC)

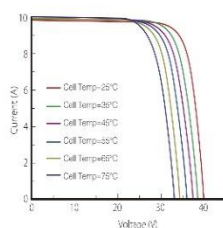
Temperature Coefficient of Isc: +0.057%/°C  
Temperature Coefficient of Voc: -0.286%/°C  
Temperature Coefficient of Pmax: -0.370%/°C

### Mechanical Loading

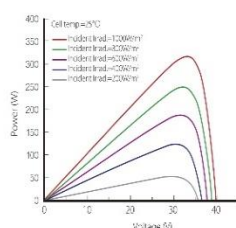
Front Side Maximum Static Loading: 5400Pa  
Rear Side Maximum Static Loading: 2400Pa  
Hailstone Test: 25mm Hailstone at the speed of 23m/s

### I-V Curve

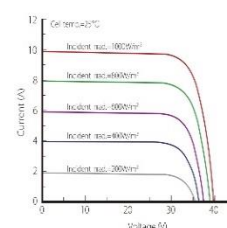
Current-Voltage Curve (LR6-60HPH-310M)



Power-Voltage Curve (LR6-60HPH-310M)



Current-Voltage Curve (LR6-60HPH-310M)



**LONGI Solar**

Room 801, Tower 3, Lujiazui Financial Plaza, No.826 Century Avenue, Pudong Shanghai, 200120, China  
Tel: +86-21-80162606 E-mail: module@longi-silicon.com Facebook: www.facebook.com/LONGI Solar

Note: Due to continuous technical innovation, R&D and improvement, technical data above mentioned may be of modification accordingly. LONGI Solar have the sole right to make such modification at anytime without further notice; Demanding party shall request for the latest datasheet for such as contract need, and make it a consisting and binding part of lawful documentation duly signed by both parties.

V09

## EK H.1 Longi Solar Longi Mono Perc Half Cut (Pmax=310 W) Matlab Kodu

```
function Ia = solarHLP(Va,Suns,TaC)
% Ia,Va = Akım ve Voltaj Vektorleri [A] Ve [V]
% G = Radyasyon [W/m^2] (1 Sun = 1000 W/m^2)
% T = Hücre Sıcaklığı [°C]
k = 1.38e-23; % Boltzmann Sabiti [J/K]
q = 1.60e-19; % Elementary charge [C]
Vg = 1.12; % Kristal Silikonun Gerilimi [eV]
T1 = 273 + 25; % Ortam Sıcaklığı [K]
Vmp=33.3/60;% Longi Mono Perc Half Cut 310WDatasheet.pdf
Imp=9.30;% Longi Mono Perc Half Cut 310WDatasheet.pdf
PanelEn= 0.991; %metre Longi Mono Perc Half Cut 310WDatasheet.pdf
PanelBoy=1.672; %metre Longi Mono Perc Half Cut 310WDatasheet.pdf
% Longi Solar 144(12*12) Değeri
Cut=2;
Ns=1;
Voc_T1 = 0.672; % (40.3/60) T1'de Açık Devre Gerilimi [V].Longi
Mono Perc Half Cut 310WDatasheet.pdf
Isc_T1 = 9.86; %T1'de kısa devre akımı [A].Longi Mono Perc Half
Cut 310WDatasheet.pdf
K0 = 5.70/1000; % Akım/Sıcaklık Katsayısı[A/K].Longi Mono Perc
Half Cut 310WDatasheet.pdf
dVdI_Voc = -0.008102891; % dV/dI Voc Katsayısı
[A/V].LongiSolarHalfCurvesPerc.xlsx
l=1.728*10^-8 ; %Her Uzunluk Başına Ribbon Direnci(ohm*m)
A=0.22*0.8 ; %Ribbon Alanı (mm^2)
Lbb=78 ; %Hücredeki Bara Uzunluğu (mm) (Half)
Lbb2=155 ; %Hücredeki Bara Uzunluğu (mm) (Full)
Nbb=5 ; %Hücredeki Bara Sayısı
RribbonH=((2*(1/A)*Lbb)/(3*Nbb))*144; %Denklem (4.40)
RribbonF=((2*(1/A)*Lbb2)/(3*Nbb))*72; %Denklem (4.24)
n =(q*(Vmp-Voc_T1))/(k*T1*log(1-(Imp/Isc_T1)));%Diyot Kalite
faktörü Denklem (4.38)
TaK = 273 + TaC; % Hücrenin sıcaklığını Santigrat'tan Kelvin'e
Dönüşümü [K]
IF_T1 = Isc_T1 * Suns./Cut; % T1'deki güneşe bağlı olarak Foton
Akımı hesaplama. Denklem (4.42)
IF = IF_T1 + K0*(TaK - T1); % Foton Akımın Sıcaklık İle Değişimi.
Denklem (4.43)
I0_T1 = (Isc_T1/(exp(q*Voc_T1/(n*k*T1))-1))./Cut; % Denklem (4.44)
```

```

I0 = (I0_T1*(TaK/T1).^(3/n).*exp(-q*Vg/(n*k).*((1./TaK)-(1/T1))));
% Denklem (4.45)
Xv = I0_T1*q / (n*k*T1) * exp(q*Voc_T1/(n*k*T1)); % Denklem (4.46)
Rs = ((- dVdI_Voc - 1/Xv -RribbonH)); % Rs Resistance Değerini
Hesaplama. Denklem (4.47)
Vt_Ta = n * k * TaK / q;
Ia = zeros(size(Va));% Ia vektor Başlangıcı

% Ia Newton method Yöntemi
for j=1:5;
Ia = Ia - (IF - Ia - I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1))./(-1 -
(I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1)).*Rs./Vt_Ta); %Denklem (4.51)
end
end

function HalfCutGunesPiliVePanelModeliLongi
Va11 = 0:0.01:0.680;
% Hücre hesaplamaları (model VS verileri, farklı sıcaklık ve
güneşler için güç ve akım)
data = xlsread('LongiSolarHalfCurvesPerc.xlsx','A:B'); % Excel
dosyasından eğrinin noktaları
dataU = data(:,1); % Voltaj Değeri
dataI = data(:,2); % Akım Değeri
Veri1= xlsread('LONGİSOLARHALF (I-V) (310W)Veriler.xlsx','A:B'); %
Excel dosyasından eğrinin noktaları
Veri2= xlsread('LONGİSOLARHALF P-V(310W)Veriler.xlsx','A:B'); %
Excel dosyasından eğrinin noktaları
VeriV11=xlsread('LONGİSOLARHALF (I-V) (310W)Veriler.
xlsx','A3:A200');
VeriV12=xlsread('LONGİSOLARHALF (I-V) (310W)Veriler.
xlsx','C3:C200');
VeriV13=xlsread('LONGİSOLARHALF (I-V) (310W)Veriler.
xlsx','E3:E200');
VeriV14=xlsread('LONGİSOLARHALF (I-V) (310W)Veriler.
xlsx','G3:G200');
VeriV15=xlsread('LONGİSOLARHALF (I-V) (310W)Veriler.
xlsx','I3:I200');
VeriI11=xlsread('LONGİSOLARHALF (I-V) (310W)Veriler.
xlsx','B3:B200');

```

```

VeriI12=xlsread('LONGİSOLARHALF (I-V) (310W)Veriler.
xlsx','D3:D200');
VeriI13=xlsread('LONGİSOLARHALF (I-V) (310W)Veriler.
xlsx','F3:F200');
VeriI14=xlsread('LONGİSOLARHALF (I-V) (310W)Veriler.
xlsx','H3:H200');
VeriI15=xlsread('LONGİSOLARHALF (I-V) (310W)Veriler.
xlsx','J3:J200');
VeriV21=xlsread('LONGİSOLARHALF P-V(310W)Veriler.xlsx','A3:A200');
VeriV22=xlsread('LONGİSOLARHALF P-V(310W)Veriler.xlsx','C3:C200');
VeriV23=xlsread('LONGİSOLARHALF P-V(310W)Veriler.xlsx','E3:E200');
VeriV24=xlsread('LONGİSOLARHALF P-V(310W)Veriler.xlsx','G3:G200');
VeriV25=xlsread('LONGİSOLARHALF P-V(310W)Veriler.xlsx','I3:I200');
VeriP21=xlsread('LONGİSOLARHALF P-V(310W)Veriler.xlsx','B3:B200');
VeriP22=xlsread('LONGİSOLARHALF P-V(310W)Veriler.xlsx','D3:D200');
VeriP23=xlsread('LONGİSOLARHALF P-V(310W)Veriler.xlsx','F3:F200');
VeriP24=xlsread('LONGİSOLARHALF P-V(310W)Veriler.xlsx','H3:H200');
VeriP25=xlsread('LONGİSOLARHALF P-V(310W)Veriler.xlsx','J3:J200');
clear data
Cut=2;
Ns=1;
%Voltaaj Tanımlama
Va = 0:0.01:0.672;
figure('Color', 'w')
subplot(2,1,1);
title('Longi Solar 120 (12x10) Hücre Voltaaj/Akım')
hold on
plot(Va11.*Ns, solarHLP(Va11,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarHLP(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarHLP(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarHLP(Va,1,75), 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on
subplot(2,1,2);

```

```

title('Longi Solar 120 (12x10) H cre Voltaj/G  ')
hold on
plot(Va11.*Ns, Va11.*Ns.*solarHLP(Va11,1,25), 'k', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Va.*Ns.*solarHLP(Va,0.8,25), 'c', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Va.*Ns.*solarHLP(Va,0.6,25), 'r', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Va.*Ns.*solarHLP(Va,0.4,25), 'g', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Va.*Ns.*solarHLP(Va,0.2,25), 'b', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('G   [W]');
legend({' alışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25 C', ...
' alışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25 C', ...
' alışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25 C', ...
' alışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25 C', ...
' alışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25 C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
% Panel Hesaplamaları
Ns = 60; % Panele seri olarak bağlanmış hücre sayısı[]
Va0 = 0:0.01:0.672; % Bir Hücrenin Voltaj Vektörü [V]
Np=2;% Bir panele bağlı paralel hücre sayısı
Ia1 = Np.*solarHLP(Va0,1,25); % Voltaj vektöründen gelen akım [A]
%Ns hücreleri i in yeni voltajı (ters X ve Y hücresinin grafiği)
hesaplama
Va1 = max(Ns*interp1(Ia1, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia2 = Np.*solarHLP(Va0,0.8,25);
Va2 = max(Ns*interp1(Ia2, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia3 = Np.*solarHLP(Va0,0.6,25);
Va3 = max(Ns*interp1(Ia3, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia4 = Np.*solarHLP(Va0,0.4,25);
Va4 = max(Ns*interp1(Ia4, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia5 = Np.*solarHLP(Va0,0.2,25);
Va5 = max(Ns*interp1(Ia5, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
figure('Color', 'w')
title('Longi Solar 120 (12x10) Panel Akım/Voltaj')
hold on

```

```

plot(VeriV11,VeriI11,'* k','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV12,VeriI12,'* c','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV13,VeriI13,'* r','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV14,VeriI14,'* g','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(VeriV15,VeriI15,'* b','LineWidth',1.5,'MarkerSize',10)
plot(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100, 'k','LineWidth',2)
plot(Va2,0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100, 'c','LineWidth',2)
plot(Va3,0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100, 'r','LineWidth',2)
plot(Va4,0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100, 'g','LineWidth',2)
plot(Va5,0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100, 'b','LineWidth',2)
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'DeneySEL Sonuç @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'DeneySEL Sonuç @ 800W/m^2 / 25°C' ...
'DeneySEL Sonuç @ 600W/m^2 / 25°C' ...
'DeneySEL Sonuç @ 400W/m^2 / 25°C' ...
'DeneySEL Sonuç @ 200W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
figure('Color', 'w')
title('Longi Solar 120 (12x10) Panel Güç/voltaj')
hold on
plot(VeriV21,VeriP21,'* k','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV22,VeriP22,'* c','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV23,VeriP23,'* r','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV24,VeriP24,'* g','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(VeriV25,VeriP25,'* b','LineWidth',1.5,'MarkerSize',8)
plot(Va1,Va1.*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100), 'k','LineWidth',2)
plot(Va2,Va2.*(0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100), 'c','LineWidth',2)
plot(Va3,Va3.*(0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100), 'r','LineWidth',2)
plot(Va4,Va4.*(0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100), 'g','LineWidth',2)
plot(Va5,Va5.*(0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100), 'b','LineWidth',2)
xlabel('Voltaj [V]');,ylabel('Güç [W]');,ylim([0,Inf]);
legend({'DeneySEL Sonuç @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'DeneySEL Sonuç @ 800W/m^2 / 25°C' ...
'DeneySEL Sonuç @ 600W/m^2 / 25°C' ...

```

```

'Deneysel Sonuç @ 400W/m^2 / 25°C' ...
'Deneysel Sonuç @ 200W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
figure('Color', 'w')
title('Longi Solar 120 (12x10) Panel Akım/Voltaj')
hold on
plot(Va11.*Ns, Np.*solarHLP(Va11,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Np.*solarHLP(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Np.*solarHLP(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Np.*solarHLP(Va,1,75), 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on
PanelEn= 0.991; %metre Longi Mono Perc Half Cut 310WDatasheet.pdf
PanelBoy=1.672; %metre Longi Mono Perc Half Cut 310WDatasheet.pdf
PmaxHalfSTC1000WHLPPV= max((max(Ns*interp1(Ia1, Va0,
0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100)).*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
))
Vamax1000WPVIV=max((max(Ns*interp1(Ia1, Va0,
0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))))
Iamax1000WIV=max((0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
ModuleEfficiency=PmaxHalfSTC1000WHLPPV/(PanelEn*PanelBoy*10)
FFHalf=(PmaxHalfSTC1000WHLPPV./(Vamax1000WPVIV.*Iamax1000WIV)).*10
0
end

```

## EK I Bereket Enerji-Parla Solar (5-Mono-72) 345W Panel Kataloğu



### MONO KRİSTAL GÜNEŞ PANELİ

# 72

#### MEKANİK ÖZELLİKLER

|                 |                                                             |
|-----------------|-------------------------------------------------------------|
| Hücre Tipi      | 156x156 mm (6") veya 156,75*156,75mm (6.17")                |
| Hücre Sayısı    | 72 (6x12)                                                   |
| Panel Boyutları | 998x1982x40 mm (39,29" x 78,03" x 1,57")                    |
| Ağırlık         | (21,9 +/-1) kg (48,3 lb)                                    |
| Ön Cam          | 3,2 mm kalınlık, Yüksek Geçirgenlik, Temperli, AR Kaplamalı |
| Çerçeve         | Anot Kaplamalı Alüminyum                                    |
| Bağlantı Kutusu | IP67 Koruma Sınıfı                                          |
| Çıkış Kabloları | 1000mm/1200 mm, MC4 uyumlu                                  |

#### ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLER

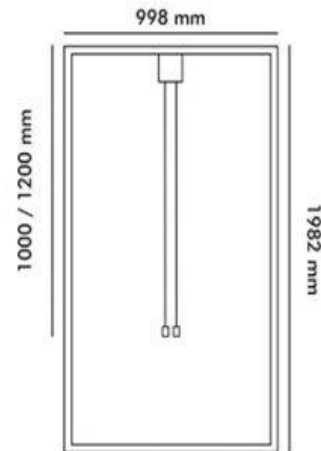
|                              | A-MO330            | A-MO335 | A-MO340 | A-MO345 | A-MO350 | A-MO355 | A-MO360 |
|------------------------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Nominal Güç (Pmax)           | 330                | 335     | 340     | 345     | 350     | 355     | 360     |
| Maksimum Güç Gerilimi (Vmp)  | 38,64              | 38,84   | 39,13   | 39,35   | 39,57   | 39,71   | 39,78   |
| Maksimum Güç Akımı (Imp)     | 8,56               | 8,66    | 8,72    | 8,77    | 8,85    | 8,95    | 9,06    |
| Açık Devre Gerilimi (Voc)    | 45,14              | 45,41   | 45,76   | 46,01   | 46,24   | 46,39   | 46,46   |
| Kısa Devre Akımı (Isc)       | 9,12               | 9,20    | 9,27    | 9,33    | 9,40    | 9,48    | 9,59    |
| Modül Verimi                 | 17,99%             | 18,81%  | 19,08%  | 18,81%  | 19,08%  | 19,36%  | 19,64%  |
| Çalışma Sıcaklığı (°C)       | -40(°C) ~ +85 (°C) |         |         |         |         |         |         |
| Maksimum Sistem Gerilimi     | 1500 VDC (IEC)     |         |         |         |         |         |         |
| Maksimum Seri Sigorta Değeri | 15A                |         |         |         |         |         |         |
| Güç Toleransı                | 0 ~ +5W            |         |         |         |         |         |         |
| Pmax Sıcaklık Katsayısı      | -0,39% (°C)        |         |         |         |         |         |         |
| Voc Sıcaklık Katsayısı       | -0,31% (°C)        |         |         |         |         |         |         |
| Isc Sıcaklık Katsayısı       | 0,04% (°C)         |         |         |         |         |         |         |

Standart test koşulları altında (STC): ışınım 1000W/ m2 , A.M 1,5, hücre sıcaklığı 25 °C

#### PAKETLEME

|                          |
|--------------------------|
| 26 adet/palet            |
| 570 kg/palet             |
| 624 adet/ 40HQ Konteyner |

#### BOYUT BİLGİLERİ



#### SERTİFİKASYON



IEC 61215-1,-2

IEC 61730-1,-2

IEC 62804-1

IEC 62716

IEC 61701

## EK I.1 Bereket Enerji-Parla Solar (5-Mono-72) (Pmax=345W) Matlab Kodları

```
function Ia = solarBMUL(Va,Suns,TaC)
% Ia,Va = Akım ve Voltaj Vektorleri [A] Ve [V]
% G = Radyasyon [W/m^2] (1 Sun = 1000 W/m^2)
% T = Hücre Sıcaklığı [°C]
k = 1.38e-23; % Boltzmann Sabiti [J/K]
q = 1.60e-19; % Elementary charge [C]
Vg = 1.12; % Kristal Silikonun Gerilimi [eV]
T1 = 273 + 25; % Ortam Sıcaklığı [K]
Vmp=39.35/72;% 5-Mono-72 Datasheet.pdf
Imp=8.77;% 5-Mono-72 Datasheet.pdf
PanelEn= 0.998;% 5-Mono-72 Datasheet.pdf
PanelBoy=1.982;% 5-Mono-72 Datasheet.pdf
% Parla Solar (6*12) Değeri
Voc_T1 = 0.640;% (46.01/72)T1'de Açık Devre Gerilimi [V].5-Mono-72
Datasheet.pdf
Isc_T1 = 9.33;%T1'de kısa devre akımı [A].5-Mono-72 Datasheet.pdf
K0 = 5/1000;%Akım/Sıcaklık Katsayısı[A/K].5-Mono-72 Datasheet.pdf
dVdI_Voc = -0.0053746; % dV/dI Voc Katsayısı
[A/V].ParlaSolarMonoFullCurves.xlsx
l=1.728*10^-8 ; %Her Uzunluk Başına Ribbon Direnci(ohm*m)
A=0.22*0.8 ; %Ribbon Alanı (mm^2)
Lbb=155 ; %Hücredeki Bara Uzunluğu (mm)
Nbb=5 ; %Hücredeki Bara Sayısı
Rribbon=((2*(l/A)*Lbb)/(3*Nbb))*72; %Denklem (4.24)
n=1; %Diyot Kalite faktörü
Cut=1;
TaK = 273 + TaC; % Hücrenin sıcaklığını Santigrat'tan Kelvin'e
Dönüşümü [K]
IF_T1 = Isc_T1 * Suns./Cut; % T1'deki güneşe bağlı olarak Foton
Akımı hesaplama. Denklem (4.26)
IF = IF_T1 + K0*(TaK - T1); % Foton Akımın Sıcaklık ile Değişimi.
Denklem (4.27)
I0_T1 = (Isc_T1/(exp(q*Voc_T1/(n*k*T1))-1))./Cut; % Denklem (4.28)
I0 = (I0_T1*(TaK/T1).^(3/n).*exp(-q*Vg/(n*k).*((1./TaK)-(1/T1))));
% Denklem (4.29)
Xv = I0_T1*q/(n*k*T1) * exp(q*Voc_T1/(n*k*T1)); % Denklem (4.30)
Rs = ((- dVdI_Voc -1/Xv -Rribbon)); % Rs Resistance Değerini
Hesaplama. Denklem (4.31)%
Vt_Ta = n * k * TaK / q; % Denklem (9)
```

```

Ia = zeros(size(Va));% Ia vector Başlangıcı

% Ia Newton method Yöntemi
for j=1:5;
Ia = Ia - (IF - Ia - I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1))./(-1 -
(I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1)).*Rs./Vt_Ta);
% Denklem (4.35)
end
end

function FullGunesPiliVePanelModeliParlaMulti
% Hücre hesaplamaları (model VS verileri, farklı sıcaklık ve
güneşler için güç ve akım)
data = xlsread('ParlaSolarMonoFullCurves.xlsx','A:B'); % Excel
dosyasından eğrinin noktaları
dataU = data(:,1); % Voltaj Değeri
dataI = data(:,2); % Akım Değeri
clear data
%Voltaj Tanımlama
Va = 0:0.01:0.640;
figure('Color', 'w')
subplot(2,1,1);
title('Parla Solar 72 (6x12) Hücre Voltaj/Akım')
hold on
plot(Va, solarBMUL(Va,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va, solarBMUL(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va, solarBMUL(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va, solarBMUL(Va,1,75), 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on
subplot(2,1,2);
title('Parla Solar 72 (6x12) Hücre Voltaj/Güç')
hold on
plot(Va, Va.*solarBMUL(Va,1,25), 'k', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarBMUL(Va,0.8,25), 'c', 'LineWidth', 1)

```

```

plot(Va, Va.*solarBMUL(Va,0.6,25), 'r', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarBMUL(Va,0.4,25), 'g', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarBMUL(Va,0.2,25), 'b', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 8000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
% Panel Hesaplamaları
Ns = 72; % Panele seri olarak bağlanmış hücre sayısı[]
Va0 = 0:0.01:0.640; % Bir Hücresinin Voltaaj Vektörü [V]
Ia1 = solarBMUL(Va0,1,25); % Voltaaj vektöründen gelen akım [A]
%Ns hücreleri için yeni voltaajı (ters X ve Y hücresinin grafiği)
hesaplama
Va1 = max(Ns*interp1(Ia1, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia2 = solarBMUL(Va0,0.8,25);
Va2 = max(Ns*interp1(Ia2, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia3 = solarBMUL(Va0,0.6,25);
Va3 = max(Ns*interp1(Ia3, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia4 = solarBMUL(Va0,0.4,25);
Va4 = max(Ns*interp1(Ia4, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia5 = solarBMUL(Va0,0.2,25);
Va5 = max(Ns*interp1(Ia5, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
figure('Color', 'w')
title('Parla Solar 72 (6x12) Panel Akım/Voltaaj')
hold on
plot(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100, 'k')
plot(Va2,0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100, 'c')
plot(Va3,0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100, 'r')
plot(Va4,0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100, 'g')
plot(Va5,0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100, 'b')

```

```

xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
figure('Color', 'w')
title('Parla Solar 72 (6x12) Panel Güç/voltaj')
hold on
plot(Va1,Va1.*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100), 'k')
plot(Va2,Va2.*(0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100), 'c')
plot(Va3,Va3.*(0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100), 'r')
plot(Va4,Va4.*(0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100), 'g')
plot(Va5,Va5.*(0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100), 'b')
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
ylim([0,Inf]);
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 30°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
hold on
grid on
figure('Color', 'w')
title('Parla Solar 72 (6x12) Panel Akım/Voltaj')
hold on
plot(Va.*Ns, solarBMUL(Va,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarBMUL(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarBMUL(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarBMUL(Va,1,75), 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...

```

```

'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on
PanelEn= 0.998; %metre 5-Mono-72 Datasheet.pdf
PanelBoy=1.982; %metre 5-Mono-72 Datasheet.pdf
PmaxFullSTC1000WBMULPV= max((max(Ns*interp1(Ia1, Va0,
0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100).* (0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
))
Vamax1000WPVIV=max(max(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
Iamax1000WIV=max((0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
PmaxFull=PmaxFullSTC1000WBMULPV
ModuleEfficiency=PmaxFullSTC1000WBMULPV/(PanelEn*PanelBoy*10)
FFfull=(PmaxFullSTC1000WBMULPV./(Vamax1000WPVIV.*Iamax1000WIV)).*1
00
end

```

## EK I.2 Bereket Enerji-Parla Solar (5-Mono-72) Half Cut Cell Matlab Kodları

```
function Ia = solarBMULH(Va,Suns,TaC)

% Ia,Va = Akım ve Voltaj Vektörleri [A] Ve [V]
% G = Radyasyon [W/m^2] (1 Sun = 1000 W/m^2)
% T = Hücre Sıcaklığı [°C]

k = 1.38e-23; % Boltzmann Sabiti [J/K]
q = 1.60e-19; % Elementary charge [C]
Vg = 1.12; % Kristal Silikonun Gerilimi [eV]
T1 = 273 + 25; % Ortam Sıcaklığı [K]
Vmp=39.35/72; % 5-Mono-72 Datasheet.pdf
Imp=8.77; % 5-Mono-72 Datasheet.pdf
PanelEn= 0.991; % 5-Mono-72 Datasheet.pdf
PanelBoy=1.996; % 5-Mono-72 Datasheet.pdf
% Parla Solar (6*12) Değeri
Voc_T1 = 0.640; % (46.01/72)T1'de Açık Devre Gerilimi [V].5-Mono-72 Datasheet.pdf
Isc_T1 = 9.33; %T1'de kısa devre akımı [A]. 5-Mono-72 Datasheet.pdf
K0 = 5/1000; % Akım/Sıcaklık Katsayısı[A/K].5-Mono-72 Datasheet.pdf
dVdI_Voc = -0.0051096; % dV/dI Voc Katsayısı [A/V].ParlaSolarMonoFullCurves.xlsx
l=1.728*10^-8 ; %Her Uzunluk Başına Ribbon Direnci(ohm*m)
A=0.22*0.8 ; %Ribbon Alanı (mm^2)
Lbb=78 ; %Hücredeki Bara Uzunluğu (mm)
Lbb2=155 ; %Hücredeki Bara Uzunluğu (mm) (Full)
Nbb=5 ; %Hücredeki Bara Sayısı
RribbonH= ((2*(1/A)*Lbb)/(3*Nbb))*144; %Denklem (4.40)
RribbonF= ((2*(1/A)*Lbb2)/(3*Nbb))*72; %Denklem (4.24)
n=1; %Diyot Kalite faktörü
Cut=2;
TaK = 273 + TaC; % Hücrenin sıcaklığını Santigrat'tan Kelvin'e Dönüşümü [K]
IF_T1 = Isc_T1 * Suns./Cut; % T1'deki güneşe bağlı olarak Foton Akımı hesaplama. Denklem (4.42)
IF = IF_T1 + K0*(TaK - T1); % Foton Akımın Sıcaklık ile Değişimi. Denklem (4.43)
I0_T1 = (Isc_T1/(exp(q*Voc_T1/(n*k*T1))-1))./Cut; % Denklem (4.44)
I0 = (I0_T1*(TaK/T1).^(3/n).*exp(-q*Vg/(n*k).*((1./TaK)-(1/T1)))); % Denklem (4.45)
```

```

Xv = I0_T1*q /(n*k*T1) * exp(q*Voc_T1/(n*k*T1)); % Denklem (4.46)
Rs = ((- dVdI_Voc - 1/Xv -RribbonH)); % Rs Resistance Değerini
Hesaplama. Denklem (4.47)
Vt_Ta = n * k * TaK / q;
Ia = zeros(size(Va));% Ia vektor Başlangıcı

% Ia Newton Method Yöntemi
for j=1:5;
Ia = Ia - (IF - Ia - I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1))./(-1 -
(I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1)).*Rs./Vt_Ta); % Denklem (4.51)
end
end

function HalfGunesPiliVePanelModeliParlaMulti
% Hücre hesaplamaları (model VS verileri, farklı sıcaklık ve
güneşler için güç ve akım)
data = xlsread('ParlaSolarMonoHalfCurves.xlsx','A:B'); % Excel
dosyasından eğrinin noktaları
Veri2= xlsread('IaCurvesHalf.xlsx','A:B'); % Excel dosyasından
eğrinin noktaları
VeriI21=xlsread('IaCurvesHalf.xlsx','A2:D66'); % (IaCurves.xlsx)
Excel dosyasında solarBMMHH(Va,1,55) Isc Değeri (A)
VeriI22=xlsread('IaCurvesHalf.xlsx','B2:D66'); % (IaCurves.xlsx)
Excel dosyasında solarBMMHH(Va,1,75) Isc Değeri (A)
dataU = data(:,1); % Voltaj Değeri
dataI = data(:,2); % Akım Değeri
clear data
%Voltaj Tanımlama
Va = 0:0.01:0.640;
Cut=2;
Ns=1;
figure('Color', 'w')
subplot(2,1,1);
title('Parla Solar 144 (12x12) Hücre Voltaj/Akım')
hold on
plot(Va.*Ns, solarBMULH(Va,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarBMULH(Va,1,35), 'b --', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, VeriI21, 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, VeriI22, 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');

```

```

ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on
subplot(2,1,2);
title('Parla Solar 144 (12x12) Hücre Voltaj/Güç')
hold on
plot(Va.*Ns, Va.*Ns.*solarBMULH(Va,1,25), 'k', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Va.*Ns.*solarBMULH(Va,0.8,25), 'c', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Va.*Ns.*solarBMULH(Va,0.6,25), 'r', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Va.*Ns.*solarBMULH(Va,0.4,25), 'g', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Va.*Ns.*solarBMULH(Va,0.2,25), 'b', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
% Panel Hesaplamaları
Ns = 72; %Panele seri olarak bağlanmış hücre sayısı[]
Np=2;% Bir panele bağlı paralel Modül sayısı[]
Va0 = 0:0.01:0.640; % Bir Hücrenin Voltaj vektörü [V]
Ia1 = Np.*solarBMULH(Va0,1,25); %Voltaj vektöründen gelen akım [A]
%Ns hücreleri için yeni voltajı (ters X ve Y hücrelerinin grafiği)
hesaplama
Va1 = max(Ns*interp1(Ia1, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia2 = Np.*solarBMULH(Va0,0.8,25);
Va2 = max(Ns*interp1(Ia2, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia3 = Np.*solarBMULH(Va0,0.6,25);
Va3 = max(Ns*interp1(Ia3, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia4 = Np.*solarBMULH(Va0,0.4,25);

```

```

Va4 = max(Ns*interp1(Ia4, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia5 = Np.*solarBMULH(Va0,0.2,25);
Va5 = max(Ns*interp1(Ia5, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
figure('Color', 'w')
title('Parla Solar 144 (12x12) panel Akım/Voltaj')
hold on
plot(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100, 'k','LineWidth',2)
plot(Va2,0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100, 'c')
plot(Va3,0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100, 'r')
plot(Va4,0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100, 'g')
plot(Va5,0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100, 'b')
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
figure('Color', 'w')
title('Parla Solar 144 (12x12) panel Güç/voltaj')
hold on
plot(Va1,Va1.*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100), 'k')
plot(Va2,Va2.*(0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100), 'c')
plot(Va3,Va3.*(0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100), 'r')
plot(Va4,Va4.*(0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100), 'g')
plot(Va5,Va5.*(0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100), 'b')
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
ylim([0,Inf]);
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
hold on
grid on

```

```

figure('Color', 'w')
title('Parla Solar 144 (12x12) H cre Akım/Voltaj')
hold on
plot(Va.*Ns, Np.*solarBMULH(Va,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Np.*solarBMULH(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Np.*VeriI21, 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Np.*VeriI22, 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({' alışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25 C', ...
' alışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35 C', ...
' alışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55 C', ...
' alışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75 C'}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on
PanelEn= 0.991; %metre 5-Mono-72 Datasheet.pdf
PanelBoy=1.996; %metre 5-Mono-72 Datasheet.pdf
PmaxHalfSTC1000WBMULHPV= max((max(Ns*interp1(Ia1, Va0,
0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100).*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
))
Vamax1000WPVIV=max(max(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
Iamax1000WIV=max((0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
PmaxHalf=PmaxHalfSTC1000WBMULHPV
ModuleEfficiency=PmaxHalfSTC1000WBMULHPV/(PanelEn*PanelBoy*10)
FFHalf=(PmaxHalfSTC1000WBMULHPV./(Vamax1000WPVIV.*Iamax1000WIV)).*
100

end

```

## EK J Bereket Enerji-Parla Solar Full Cell (72 Hücre Verisi) Matlab Kodları

```
function Ia = solarBMU(Va,Suns,TaC)
% Ia,Va = Akım ve Voltaj Vektörleri [A] Ve [V]
% G = Radyasyon [W/m^2] (1 Sun = 1000 W/m^2)
% T = Hücre Sıcaklığı [°C]
k = 1.38e-23; % Boltzmann Sabiti [J/K]
q = 1.60e-19; % Elementary charge [C]
Vg = 1.12; % Kristal Silikonun Gerilimi [eV]
T1 = 273 + 25; % Ortam Sıcaklığı [K]
Vmp=39.79/72; % Tablo 5.55
Imp=8.64; % Tablo 5.55
PanelEn= 0.998; % 5-Mono-72 Datasheet.pdf
PanelBoy=1.982; % 5-Mono-72 Datasheet.pdf
% Parla Solar (6*12) Değerleri
Voc_T1 = 0.656; % (47.2249990/72) T1'de Açık Devre Gerilimi [V].
Tablo 5.55
Isc_T1 = 9.46; % T1'de kısa devre akımı [A]. Tablo 5.55
K0 = 5/1000; % Akım/Sıcaklık Katsayısı[A/K].Tablo 5.55
Rp= 151.1185; %Paralel Direnç Değeri [ohm]. Tablo 5.55
dVdI_Voc = -0.00662252; % (-1/Rp=0.00662252) % dV/dI Voc Katsayısı
[A/V]. ParlaSolarMonoFullCurvesHücre.xlsx=(-0.0083276)
l=1.728*10^-8 ; %Her Uzunluk Başına Ribbon Direnci(ohm*m)
A=0.22*0.8 ; %Ribbon Alanı (mm^2)
Lbb=155 ; %Hücredeki Bara Uzunluğu (mm)
Nbb=5 ; %Hücredeki Bara Sayısı
RribbonF=((2*(1/A)*Lbb)/(3*Nbb))*72; %Denklem (4.24)
n=1; % Diyot Kalite Faktörü
Cut=1;
TaK = 273 + TaC; % Hücrenin sıcaklığını Santigrat'tan Kelvin'e
Dönüşümü [K]
IF_T1 = Isc_T1 * Suns./Cut; % T1'deki güneşe bağlı olarak Foton
Akımı hesaplama. Denklem (4.26)
IF = IF_T1 + K0*(TaK - T1); % Foton Akımın Sıcaklık İle Değişimi.
Denklem (4.27)
I0_T1 = (Isc_T1/(exp(q*Voc_T1/(n*k*T1))-1))./Cut; % Denklem (4.28)
I0 = (I0_T1*(TaK/T1).^(3/n).*exp(-q*Vg/(n*k).*((1./TaK)-(1/T1))));
% Denklem (4.29)
Xv = I0_T1*q/(n*k*T1) * exp(q*Voc_T1/(n*k*T1)); % Denklem (4.30)
Rs = ((- dVdI_Voc -1/Xv -RribbonF)); % Rs Resistance Değerini
Hesaplama. Denklem (4.31)
```

```

Vt_Ta = n * k * TaK / q;
Ia = zeros(size(Va)); % Ia Vektor Başlangıcı
% Ia Newton Method Yöntemi
for j=1:5;
Ia = Ia - (IF - Ia - I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1))./(-1 -
(I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1)).*Rs./Vt_Ta); % Denklem (4.35)
end
end

function FullGunesPiliVePanelModeliParlaHucre
Va11 = 0:0.01:0.660;
% Hücre hesaplamaları (model VS verileri, farklı sıcaklık ve
güneşler için güç ve akım)
data = xlsread('ParlaSolarMonoFullCurvesHucre.xlsx','A:B'); %
Excel dosyasından eğrinin noktaları
dataU = data(:,1); % Voltaj Değeri
dataI = data(:,2); % Akım Değeri
clear data
%Voltaj Tanımlama
Va = 0:0.01:0.656;
figure('Color', 'w')
subplot(2,1,1);
title('Parla Solar 72 (6x12) Hücre Voltaj/Akım')
hold on
plot(Va11, solarBMU(Va11,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va, solarBMU(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va, solarBMU(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va, solarBMU(Va,1,75), 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on
subplot(2,1,2);
title('Parla Solar 72 (6x12) Hücre Voltaj/Güç')
hold on
plot(Va11, Va11.*solarBMU(Va11,1,25), 'k', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarBMU(Va,0.8,25), 'c', 'LineWidth', 1)

```

```

plot(Va, Va.*solarBMU(Va,0.6,25), 'r', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarBMU(Va,0.4,25), 'g', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarBMU(Va,0.2,25), 'b', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
figure('Color', 'w')
title('Parla Solar 72 (6x12) Hücre Güç/Voltaaj')
hold on
plot(Va11, Va11.*solarBMU(Va11,1,25), 'k', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarBMU(Va,0.8,25), 'c', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarBMU(Va,0.6,25), 'r', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarBMU(Va,0.4,25), 'g', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarBMU(Va,0.2,25), 'b', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on

% Panel Hesaplamaları
Ns = 72; % Panele seri olarak bağlanmış hücre sayısı[]
Va0 = 0:0.01:0.656; % Bir Hücresinin Voltaaj Vektörü [V]
Ia1 = solarBMU(Va0,1,25); % Voltaaj vektöründen gelen akım [A]
%Ns hücreleri için yeni voltaajı (ters X ve Y hücresinin grafiği)
hesaplama
Va1 = max(Ns*interp1(Ia1, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia2 = solarBMU(Va0,0.8,25);

```

```

Va2 = max(Ns*interp1(Ia2, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia3 = solarBMU(Va0,0.6,25);
Va3 = max(Ns*interp1(Ia3, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia4 = solarBMU(Va0,0.4,25);
Va4 = max(Ns*interp1(Ia4, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia5 = solarBMU(Va0,0.2,25);
Va5 = max(Ns*interp1(Ia5, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
figure('Color', 'w')
title('Parla Solar 72 (6x12) Panel Akım/Voltaj')
hold on
plot(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100, 'k')
plot(Va2,0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100, 'c')
plot(Va3,0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100, 'r')
plot(Va4,0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100, 'g')
plot(Va5,0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100, 'b')
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
figure('Color', 'w')
title('Parla Solar 72 (6x12) Panel Güç/voltaj')
hold on
plot(Va1,Va1.*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100), 'k')
plot(Va2,Va2.*(0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100), 'c')
plot(Va3,Va3.*(0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100), 'r')
plot(Va4,Va4.*(0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100), 'g')
plot(Va5,Va5.*(0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100), 'b')
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
ylim([0,Inf]);
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...

```

```

'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
hold on
grid on
figure('Color', 'w')
title('Parla Solar 72 (6x12) Panel Akım/Voltaj')
hold on
plot(Va11.*Ns, solarBMU(Va11,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarBMU(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarBMU(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarBMU(Va,1,75), 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on
PanelEn= 0.998; %metre 5-Mono-72 Datasheet.pdf
PanelBoy=1.982; %metre 5-Mono-72 Datasheet.pdf
PmaxFullSTC1000WBMUPV= max((max(Ns*interp1(Ia1, Va0,
0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100).*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
))
Vamax1000WPVIV=max(max(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
Iamax1000WIV=max((0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
PmaxFull=PmaxFullSTC1000WBMUPV
ModuleEfficiency=PmaxFullSTC1000WBMUPV/(PanelEn*PanelBoy*10)
FFfull=(PmaxFullSTC1000WBMUPV./(Vamax1000WPVIV.*Iamax1000WIV)).*10
0

end

```

## EK J.1 Bereket Enerji-Parla Solar Half Cut Cell (72 Hücre Verisi) Matlab Kodları

```
function Ia = solarBMUH(Va,Suns,TaC)
% Ia,Va = Akım ve Voltaj Vektorleri [A] Ve [V]
% G = Radyasyon [W/m^2] (1 Sun = 1000 W/m^2)
% T = Hücre Sıcaklığı [°C]
k = 1.38e-23; % Boltzmann Sabiti [J/K]
q = 1.60e-19; % Elementary charge [C]
Vg = 1.12; % Kristal Silikonun Gerilimi [eV]
T1 = 273 + 25; % Ortam Sıcaklığı [K]
Vmp=39.79/72; % Tablo 5.55
Imp=8.64; % Tablo 5.55
PanelEn= 0.994; % 5-Mono-72 Datasheet.pdf
PanelBoy=1.992; % 5-Mono-72 Datasheet.pdf
% Parla Solar 144 (12*12) Değeri
Voc_T1 = 0.656; % T1'de Açık Devre Gerilimi [V]. Tablo 5.55
Isc_T1 = 9.46; %T1'de kısa devre akımı [A]. Tablo 5.55
K0 = 5/1000; % Akım/Sıcaklık Katsayısı[A/K]. Tablo 5.55
Rp= 151.1185; %Paralel Direnç Değeri [ohm]. Tablo 5.55
dVdI_Voc = -0.0061249;
l=1.728*10^-8 ; %Her Uzunluk Başına Ribbon Direnci(ohm*m)
A=0.22*0.8 ; %Ribbon Alanı (mm^2)
Lbb=78 ; %Hücredeki Bara Uzunluğu (mm) (Half)
Lbb2=155 ; %Hücredeki Bara Uzunluğu (mm) (Full)
Nbb=5 ; %Hücredeki Bara Sayısı
RribbonH=((2*(1/A)*Lbb)/(3*Nbb))*144; %Denklem (4.40)
RribbonF=((2*(1/A)*Lbb2)/(3*Nbb))*72; %Denklem (4.24)
n=1; % Diyot Kalite Faktörü
Cut=2;
TaK = 273 + TaC; % Hücrenin sıcaklığını Santigrat'tan Kelvin'e
Dönüşümü [K]
IF_T1 = Isc_T1 * Suns./Cut; % T1'deki güneşe bağlı olarak Foton
Akımı hesaplama. Denklem (4.42)
IF = IF_T1 + K0*(TaK - T1); % Foton Akımın Sıcaklık İle Değişimi.
Denklem (4.43)
I0_T1 = (Isc_T1/(exp(q*Voc_T1/(n*k*T1))-1))./Cut; % Denklem (4.44)
I0 = (I0_T1*(TaK/T1).^(3/n).*exp(-q*Vg/(n*k).*((1./TaK)-(1/T1))));
% Denklem (4.45)
Xv = I0_T1*q /(n*k*T1) * exp(q*Voc_T1/(n*k*T1)); % Denklem (4.46)
```

```

Rs = ((- dVdI_Voc - 1/Xv -RribbonH)); % Rs Resistance Değerini
Hesaplama. Denklem (4.47)
Vt_Ta = n * k * TaK / q;
Ia = zeros(size(Va)); % Ia vektör Başlangıcı
% Ia Newton Method Yöntemi
for j=1:5;
Ia = Ia - (IF - Ia - I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1))./(-1 -
(I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1)).*Rs./Vt_Ta); % Denklem (4.51)
end
end

```

```

function HalfGunesPiliVePanelModeliParlaHucre
Va11 = 0:0.01:0.660;
% Hücre hesaplamaları (model VS verileri, farklı sıcaklık ve
güneşler için güç ve akım)
data = xlsread('ParlaSolarMonoHalfCurvesHucre.xlsx','A:B'); %
Excel dosyasından eğrinin noktaları
dataU = data(:,1); % Voltaj Değeri
dataI = data(:,2); % Akım Değeri
clear data
%Voltaj Tanımlama
Va = 0:0.01:0.640;
Cut=2;
Ns=1;
figure('Color', 'w')
subplot(2,1,1);
title('Parla Solar 144 (12x12) Hücre Voltaj/Akım')
hold on
plot(Va11.*Ns,solarBMUH(Va11,1,25),'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarBMUH(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarBMUH(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarBMUH(Va,1,75), 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on

```

```

subplot(2,1,2);
title('Parla Solar 144 (12x12) H cre  Voltaj/G  ')
hold on
plot(Va11.*Ns,Va11.*Ns.*solarBMUH(Va11,1,25),'k','LineWidth', 1)
plot(Va11.*Ns,Va11.*Ns.*solarBMUH(Va11,0.8,25),'c','LineWidth', 1)
plot(Va11.*Ns,Va11.*Ns.*solarBMUH(Va11,0.6,25),'r','LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Va.*Ns.*solarBMUH(Va,0.4,25), 'g', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Va.*Ns.*solarBMUH(Va,0.2,25), 'b', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('G   [W]');
legend({' alışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25 C', ...
' alışma Sonucu @ 8000W/m^2 / 25 C', ...
' alışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25 C', ...
' alışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25 C',...
' alışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25 C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
% Panel Hesaplamaları
Ns = 72; % Panele seri olarak bağlanmış h cre sayısı[]
Np=2;% Bir panele bağlı paralel h cre sayısı[]
Va0 = 0:0.01:0.640; % Bir Hücrenin Voltaj Vektörü [V]
Ia1 = Np.*solarBMUH(Va0,1,25); % Voltaj vektöründen gelen akım [A]
%Ns hücreleri için yeni voltajı (ters X ve Y hücresinin grafiği)
hesaplama
Va1 = max(Ns*interp1(Ia1, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia2 = Np.*solarBMUH(Va0,0.8,25);
Va2 = max(Ns*interp1(Ia2, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia3 = Np.*solarBMUH(Va0,0.6,25);
Va3 = max(Ns*interp1(Ia3, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia4 = Np.*solarBMUH(Va0,0.4,25);
Va4 = max(Ns*interp1(Ia4, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia5 = Np.*solarBMUH(Va0,0.2,25);
Va5 = max(Ns*interp1(Ia5, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
figure('Color', 'w')
title('Parla Solar 144 (12x12) panel Akım/Voltaj')

```

```

hold on
plot(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100, 'k','LineWidth',2)
plot(Va2,0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100, 'c')
plot(Va3,0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100, 'r')
plot(Va4,0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100, 'g')
plot(Va5,0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100, 'b')
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 400W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
figure('Color', 'w')
title('Parla Solar 144 (12x12) panel Güç/voltaj')
hold on
plot(Va1,Va1.*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100), 'k')
plot(Va2,Va2.*(0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100), 'c')
plot(Va3,Va3.*(0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100), 'r')
plot(Va4,Va4.*(0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100), 'g')
plot(Va5,Va5.*(0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100), 'b')
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
ylim([0,Inf]);
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 500W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
hold on
grid on
figure('Color', 'w')
title('Parla Solar 144 (12x12) Hücre Akım/Voltaj')
hold on
plot(Va11.*Ns, Np.*solarBMUH(Va11,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Np.*solarBMUH(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Np.*solarBMUH(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Np.*solarBMUH(Va,1,75), 'b:', 'LineWidth', 1)

```

```

ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on
PanelEn= 0.994; %metre 5-Mono-72 Datasheet.pdf
PanelBoy=1.992; %metre 5-Mono-72 Datasheet.pdf
PmaxFullSTC1000WBMUHPV= max((max(Ns*interp1(Ia1, Va0,
0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100).* (0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
))
Vamax1000WPVIV=max((max(Ns*interp1(Ia1, Va0,
0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))))
Iamax1000WIV=max((0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
PmaxHalf=PmaxFullSTC1000WBMUHPV
ModuleEfficiency=PmaxFullSTC1000WBMUHPV/(PanelEn*PanelBoy*10)
FFHalf=(PmaxFullSTC1000WBMUHPV./(Vamax1000WPVIV.*Iamax1000WIV)).*1
00

end

```

## EK K Bereket Enerji-Parla Solar Full Cell (19 Hücre Verisi) Matlab Kodları

```
function Ia = solarBMH(Va,Suns,TaC)
% Ia,Va = Akım ve Voltaj Vektörleri [A] Ve [V]
% G = Radyasyon [W/m^2] (1 Sun = 1000 W/m^2)
% T = Hücre Sıcaklığı [°C]
k = 1.38e-23; % Boltzmann Sabiti [J/K]
q = 1.60e-19; % Elementary charge [C]
Vg = 1.12; % Kristal Silikonun Gerilimi [eV]
T1 = 273 + 25; % Ortam Sıcaklığı [K]
Vmp=39.67/72; % Tablo 5.66
Imp=8.872; % Tablo 5.66
PanelEn= 0.998; % 5-Mono-72 Datasheet.pdf
PanelBoy=1.982; %5-Mono-72 Datasheet.pdf
% Parla Solar (6*12) Değeri
Voc_T1 = 0.652; % T1'de Açık Devre Gerilimi [V].Tablo 5.66
Isc_T1 = 9.355; %T1'de kısa devre akımı [A]. Tablo 5.66
K0 = 5/1000; % Akım/Sıcaklık Katsayısı[A/K].
Rp= 211.64610; %Paralel Direnç Değeri [ohm]. Tablo 5.66
dVdI_Voc = -0.0047249;%(1/Rp=0.0047249)
l=1.728*10^-8 ; %Her Uzunluk Başına Ribbon Direnci(ohm*m)
A=0.22*0.8 ; %Ribbon Alanı (mm^2)
Lbb=155 ; %Hücredeki Bara Uzunluğu (mm)
Nbb=5 ; %Hücredeki Bara Sayısı
Rribbon=((2*(1/A)*Lbb)/(3*Nbb))*72; %Denklem (4.24)
n=1; % Diyot Kalite Faktörü
Cut=1;
TaK = 273 + TaC; % Hücrenin sıcaklığını Santigrat'tan Kelvin'e
Dönüşümü [K]
IF_T1 = Isc_T1 * Suns./Cut; % T1'deki güneşe bağlı olarak Foton
Akımı hesaplama. Denklem (4.26)
IF = IF_T1 + K0*(TaK - T1); % Foton Akımın Sıcaklık İle Değişimi.
Denklem (4.27)
I0_T1 = (Isc_T1/(exp(q*Voc_T1/(n*k*T1))-1))./Cut; % Denklem (4.28)
I0 = (I0_T1*(TaK/T1).^(3/n).*exp(-q*Vg/(n*k).*((1./TaK)-(1/T1))));
% Denklem (4.29)
Xv = I0_T1*q /(n*k*T1) * exp(q*Voc_T1/(n*k*T1)); % Denklem (4.30)
Rs = ((- dVdI_Voc -1/Xv -Rribbon)); % Rs Resistance Değerini
Hesaplama. Denklem (4.31)%
Vt_Ta = n * k * TaK / q;
Ia = zeros(size(Va));% Ia vektör Başlangıcı
```

```

% Ia Newton Method Yöntemi
for j=1:5;
Ia = Ia - (IF - Ia - I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1))./(-1 -
(I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1)).*Rs./Vt_Ta); % Denklem (4.35)
end
end
function FullGunesPiliVePanelModeliParlaHucre2
Va11 = 0:0.01:0.660;
% Hücre hesaplamaları (model VS verileri, farklı sıcaklık ve
güneşler için güç ve akım)
data = xlsread('ParlaSolarFullCurvesHucre1.xlsx','A:B'); % Excel
dosyasından eğrinin noktaları
dataU = data(:,1); % Voltaj Değeri
dataI = data(:,2); % Akım Değeri
Deneysel Sonuç-1=
xlsread('PARLASOLARFULLCURVESHUCRE2.xlsx','A:B'); % Excel
dosyasından eğrinin noktaları
VeriV11=xlsread('PARLASOLARFULLCURVESHUCRE2.xlsx','A3:A152'); %
(PARLASOLARFULLCURVESHUCRE2.xlsx) Excel dosyasından Voc Değeri
1000W/m2 (V)
VeriI11=xlsread('PARLASOLARFULLCURVESHUCRE2.xlsx','B3:B152'); %
(PARLASOLARFULLCURVESHUCRE2.xlsx) Excel dosyasından IscMax Değeri
1000W/m2 (A)
VeriV21=xlsread('PARLASOLARFULLCURVESHUCRE2.xlsx','C3:C152'); %
(PARLASOLARFULLCURVESHUCRE2.xlsx) Excel dosyasından Voc Değeri
500W/m2 (V)
VeriI21=xlsread('PARLASOLARFULLCURVESHUCRE2.xlsx','D3:D152');
%(PARLASOLARFULLCURVESHUCRE2.xlsx) Excel dosyasından IscMax Değeri
500W/m2 (A)
VeriP1=xlsread('PARLASOLARFULLCURVESHUCRE2.xlsx','J3:J152'); %
(PARLASOLARFULLCURVESHUCRE2.xlsx) Excel dosyasından Pmax Değeri
1000W/m2 (W)
VeriP2=xlsread('PARLASOLARFULLCURVESHUCRE2.xlsx','K3:K152'); %
(PARLASOLARFULLCURVESHUCRE2.xlsx) Excel dosyasından Pmax Değeri
500W/m2 (W)
clear data
%Voltaj Tanımlama
Va = 0:0.01:0.652;
figure('Color', 'w')
subplot(2,1,1);
title('Parla Solar 72 (6x12) Hücre Voltaj/Akım')

```

```

hold on
plot(VeriV11, VeriI11, ' * b', 'LineWidth', 1)
plot(Va11, solarBMH(Va11,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va, solarBMH(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va, solarBMH(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va, solarBMH(Va,1,75), 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Deneysel Sonuç-1 @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on
subplot(2,1,2);
title('Parla Solar 72 (6x12) Hücre Voltaj/Güç')
hold on
plot(VeriV11,VeriV11.*VeriI11, ' * k', 'LineWidth', 1)
plot(Va11, Va11.*solarBMH(Va11,1,25), 'k', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarBMH(Va,0.8,25), 'c', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarBMH(Va,0.6,25), 'r', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarBMH(Va,0.5,25), 'g', 'LineWidth', 1)
plot(VeriV21,VeriV21.*(VeriI21), '* g', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarBMH(Va,0.2,25), 'b', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
legend({'Deneysel Sonuç-1 @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 500W/m^2 / 25°C', ...
'Deneysel Sonuç-2 @ 500W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
figure('Color', 'w')
title('Parla Solar 72 (6x12) Hücre Güç/voltaj')
hold on

```

```

plot(VeriV11,VeriV11.*VeriI11, '* k', 'LineWidth', 1)
plot(Va11,Va11.*solarBMH(Va11,1,25),'k', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarBMH(Va,0.8,25), 'c', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarBMH(Va,0.6,25), 'r', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarBMH(Va,0.5,25), 'g', 'LineWidth', 1)
plot(VeriV21,VeriV21.*VeriI21, '* g', 'LineWidth', 1)
plot(Va, Va.*solarBMH(Va,0.2,25), 'b', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
legend({'Deneyisel Sonuç-1 @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 500W/m^2 / 25°C', ...
'Deneyisel Sonuç-2 @ 500W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
% Panel Hesaplamaları
Ns = 72; % Panele seri olarak bağlanmış hücre sayısı[]
Va0 = 0:0.01:0.652; % Bir Hücresinin Voltaj vektörü [V]
Ia1 = solarBMH(Va0,1,25); % Voltaj vektöründen gelen akım [A]
%Ns hücreleri için yeni voltajı (ters X ve Y hücresinin grafiği)
hesaplama
Va1 = max(Ns*interp1(Ia1, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia2 = solarBMH(Va0,0.8,25);
Va2 = max(Ns*interp1(Ia2, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia3 = solarBMH(Va0,0.6,25);
Va3 = max(Ns*interp1(Ia3, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia4 = solarBMH(Va0,0.5,25);
Va4 = max(Ns*interp1(Ia4, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia5 = solarBMH(Va0,0.2,25);
Va5 = max(Ns*interp1(Ia5, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
figure('Color', 'w')
title('Parla Solar 72 (6x12) panel Akım/Voltaj')

```

```

hold on
plot(Ns.*(VeriV11),VeriI11, '* k', 'LineWidth', 1)
plot(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100, 'k')
plot(Va2,0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100, 'c')
plot(Va3,0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100, 'r')
plot(Va4,0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100, 'g')
plot(Ns.*(VeriV21),VeriI21, '* g', 'LineWidth', 1)
plot(Va5,0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100, 'b')
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Deneysel Sonuç-1 @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 500W/m^2 / 25°C',...
'Deneysel Sonuç-2 @ 500W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
figure('Color', 'w')
title('Parla Solar 72 (6x12) panel Güç/voltaj')
hold on
plot(Ns.*VeriV11,Ns.*(VeriV11.*VeriI11), '* k', 'LineWidth', 1)
plot(Va1,Va1.*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100), 'k')
plot(Va2,Va2.*(0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100), 'c')
plot(Va3,Va3.*(0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100), 'r')
plot(Va4,Va4.*(0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100), 'g')
plot(Ns.*VeriV21,Ns.*(VeriV21.*VeriI21), '* g', 'LineWidth', 1)
plot(Va5,Va5.*(0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100), 'b')
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
ylim([0,Inf]);
legend({'Deneysel Sonuç-1 @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 500W/m^2 / 25°C',...
'Deneysel Sonuç-2 @ 500W/m^2 / 25°C' ...
'Çalışma Sonucu @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on

```

```

figure('Color', 'w')
title('Parla Solar 72 (6x12) Hücre Akım/Voltaj')
hold on
plot(VeriV11.*Ns,VeriI11, ' * b', 'LineWidth', 1)
plot(Va11.*Ns, solarBMH(Va11,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarBMH(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarBMH(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, solarBMH(Va,1,75), 'b:', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Deneysel Sonuç-1 @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 55°C', ...
'Çalışma Sonucu @ 1000W/m^2 / 75°C'}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on

PanelEn= 0.998; %metre 5-Mono-72 Datasheet.pdf
PanelBoy=1.982; %metre 5-Mono-72 Datasheet.pdf
PmaxFullSTC1000WBMHPV= max((max(Ns*interp1(Ia1, Va0,
0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100)).*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
))
PmaxFull=PmaxFullSTC1000WBMHPV
Vamax1000WPVIV=max(max(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
Iamax1000WIV=max((0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
ModuleEfficiency=PmaxFullSTC1000WBMHPV/(PanelEn*PanelBoy*10)
FFfull=(PmaxFullSTC1000WBMHPV./(Vamax1000WPVIV.*Iamax1000WIV)).*10
0
end

```

## EK K.1 Bereket Enerji-Parla Solar Half Cut Cell (19 Hücre Verisi) Matlab

### Kodları

```
function Ia = solarBMHH(Va,Suns,TaC)
% Ia,Va = Akım ve Voltaj Vektorleri [A] Ve [V]
% G = Radyasyon [W/m^2] (1 Sun = 1000 W/m^2)
% T = Hücre Sıcaklığı [°C]
k = 1.38e-23; % Boltzmann Sabiti [J/K]
q = 1.60e-19; % Elementary charge [C]
Vg = 1.12; % Kristal Silikonun Gerilimi [eV]
T1 = 273 + 25; % Ortam Sıcaklığı [K]
Vmp=39.67/72; % Tablo 5.66
Imp=8.64; % Tablo 5.66
PanelEn= 0.998; %See Parlasolar 5-Mono Datasheet.pdf
PanelBoy=1.982; %See Parlasolar 5-Mono Datasheet.pdf
% Parla Solar 144(12*12) Değeri
Cut=2;
Voc_T1 = 0.652; % T1'de Açık Devre Gerilimi [V]. Tablo 5.66
Isc_T1 = 9.355; %T1'de kısa devre akımı [A]. Tablo 5.66
K0 = 5/1000; % Akım/Sıcaklık Katsayısı[A/K]. Tablo 5.66
Rp= 211.64610; %Paralel Direnç Değeri [ohm]. Tablo 5.66
dVdI_Voc = -0.0047249; %(-1/Rp=-0.0047249) % dV/dI Voc Katsayısı
[A/V].
l=1.728*10^-8 ; %Her Uzunluk Başına Ribbon Direnci(ohm*m)
A=0.22*0.8 ; %Ribbon Alanı (mm^2)
Lbb=78 ; %Hücredeki Bara Uzunluğu (mm) (Half)
Lbb2=155 ; %Hücredeki Bara Uzunluğu (mm) (Full)
Nbb=5 ; %Hücredeki Bara Sayısı
RribbonH=((2*(1/A)*Lbb)/(3*Nbb))*144; %Denklem (4.40)
RribbonF=((2*(1/A)*Lbb2)/(3*Nbb))*72; %Denklem (4.24)
n=1;%Diyot Kalite faktörü
TaK = 273 + TaC; % Hücrenin sıcaklığını Santigrat'tan Kelvin'e
Dönüşümü [K]
IF_T1 = Isc_T1 * Suns./Cut; % T1'deki güneşe bağlı olarak Foton
Akımı hesaplama. Denklem (4.42)
IF = IF_T1 + K0*(TaK - T1); % Foton Akımın Sıcaklık İle Değişimi.
Denklem (4.43)
I0_T1 = (Isc_T1/(exp(q*Voc_T1/(n*k*T1))-1))./Cut; % Denklem (4.44)
I0 = (I0_T1*(TaK/T1).^(3/n).*exp(-q*Vg/(n*k).*((1./TaK)-(1/T1))));
% Denklem (4.45)
Xv = I0_T1*q / (n*k*T1) * exp(q*Voc_T1/(n*k*T1)); % Denklem (4.46)
```

```

Rs = ((- dVdI_Voc - 1/Xv -RribbonH)); % Rs Resistance Değerini
Hesaplama. Denklem (4.47)
Vt_Ta = n * k * TaK / q;
Ia = zeros(size(Va)); % Ia vector Başlangıcı
% Ia Newton method Yöntemi
for j=1:5;
Ia = Ia - (IF - Ia - I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1))./(-1 -
(I0.*( exp((Va+Ia.*Rs)./Vt_Ta) -1)).*Rs./Vt_Ta); % Denklem (4.51)
end
end

function HalfCutGunesPiliVePanelModeliParlaHucre2
Va11= 0:0.01:0.660;
% Hücre hesaplamaları (model VS verileri, farklı sıcaklık ve
güneşler için güç ve akım)
data = xlsread('ParlaSolarHalfCurvesHucre1.xlsx','A:B'); % Excel
dosyasından eğrinin noktaları
dataU = data(:,1); % Voltaj Değeri
dataI = data(:,2); % Akım Değeri
Veri1= xlsread('PARLASOLARFULLCURVESHUCRE2.xlsx','A:B'); % Excel
dosyasından eğrinin noktaları
Veri2= xlsread('IaCurves.xlsx','A:B'); % Excel dosyasından eğrinin
noktaları
VeriV11=xlsread('PARLASOLARFULLCURVESHUCRE2.xlsx','A3:A152'); %
(PARLASOLARFULLCURVESHUCRE2.xlsx) Excel dosyasından Voc Değeri
1000W/m2 (V)
VeriI11=xlsread('PARLASOLARFULLCURVESHUCRE2.xlsx','B3:B152'); %
(PARLASOLARFULLCURVESHUCRE2.xlsx) Excel dosyasından IscMax Değeri
1000W/m2 (A)
VeriV21=xlsread('PARLASOLARFULLCURVESHUCRE2.xlsx','C3:C152'); %
(PARLASOLARFULLCURVESHUCRE2.xlsx) Excel dosyasından Voc Değeri
500W/m2 (V)
VeriI21=xlsread('PARLASOLARFULLCURVESHUCRE2.xlsx','D3:D152');
%(PARLASOLARFULLCURVESHUCRE2.xlsx) Excel dosyasından IscMax Değeri
500W/m2 (A)
VeriI31=xlsread('IaCurves.xlsx','A2:A67'); % (IaCurves.xlsx) Excel
dosyasında solarBMHH(Va,1,75) Isc Değeri (A)
clear data
%Voltaj Tanımlama
Cut=2;
Ns=1;

```

```

Va = 0:0.01:0.652;
figure('Color', 'w')
subplot(2,1,1);
title('Parla Solar 144 (12x12) H cre  Voltaj/Akım')
hold on
plot(VeriV11,(VeriI11./Cut), ' * b', 'LineWidth', 1)
plot(Va11,solarBMHH(Va11,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va,solarBMHH(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va,solarBMHH(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va,(VeriI31)./Cut, 'b:', 'LineWidth', 1)
xlim([0,Inf]);
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Veri1 @ 1000W/m^2 / 25 C' ...
'Model @ 1000W/m^2 / 25 C', ...
'Model @ 1000W/m^2 / 35 C', ...
'Model @ 1000W/m^2 / 55 C', ...
'Model @ 1000W/m^2 / 75 C'}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on
subplot(2,1,2);
title('Parla Solar 144 (12x12) H cre  Voltaj/G  ')
hold on
plot(VeriV11,VeriV11.*(VeriI11./Cut), ' * k', 'LineWidth', 1)
plot(Va11.*Ns, Va11.*Ns.*solarBMHH(Va11,1,25), 'k', 'LineWidth',
1)
plot(Va.*Ns, Va.*Ns.*solarBMHH(Va,0.8,25), 'c', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Va.*Ns.*solarBMHH(Va,0.6,25), 'r', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Va.*Ns.*solarBMHH(Va,0.5,25), 'g', 'LineWidth', 1)
plot(VeriV21,VeriV21.*(VeriI21)./Cut, '* g', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns, Va.*Ns.*solarBMHH(Va,0.2,25), 'b', 'LineWidth', 1)
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('G   [W]');
legend({'Veri1 @ 1000W/m^2 / 25 C' ...
'Veri1 @ 1000W/m^2 / 25 C' ...
'Model @ 800W/m^2 / 25 C', ...
'Model @ 600W/m^2 / 25 C', ...
'Model @ 500W/m^2 / 25 C', ...
'Veri2 @ 500W/m^2 / 25 C' ...

```

```

'Model @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest')
grid on

% Panel Hesaplamaları
Ns = 72; % Panele seri olarak bağlanmış hücre sayısı[]
Va0 = 0:0.01:0.652; % Bir Hücresinin Voltaaj Vektörü [V]
Np=2;% Bir panele bağlı paralel hücre sayısı[]
Ia1 = Np.*solarBMHH(Va0,1,25); % Voltaaj vektöründen gelen akım [A]
%Ns hücreleri için yeni voltaajı (ters X ve Y hücresinin grafiği)
hesaplama
Va1 = max(Ns*interp1(Ia1, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia2 = Np.*solarBMHH(Va0,0.8,25);
Va2 = max(Ns*interp1(Ia2, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia3 = Np.*solarBMHH(Va0,0.6,25);
Va3 = max(Ns*interp1(Ia3, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia4 = Np.*solarBMHH(Va0,0.5,25);
Va4 = max(Ns*interp1(Ia4, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
Ia5 = Np.*solarBMHH(Va0,0.2,25);
Va5 = max(Ns*interp1(Ia5, Va0, 0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100,
'linear', 'extrap'), 0);
figure('Color', 'w')
title('Parla Solar 144 (12x12) panel Akım/Voltaaj')
hold on
plot(Ns.*(VeriV11),VeriI11, '* k', 'LineWidth', 1)
plot(Va1,0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100, 'k')
plot(Va2,0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100, 'c')
plot(Va3,0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100, 'r')
plot(Va4,0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100, 'g')
plot(Ns.*(VeriV21),VeriI21, '* g', 'LineWidth', 1)
plot(Va5,0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100, 'b')
xlabel('Voltaaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Veri1 @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Model @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Model @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Model @ 600W/m^2 / 25°C', ...

```

```

'Model @ 500W/m^2 / 25°C',...
'Veri2 @ 500W/m^2 / 25°C', ...
'Model @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
figure('Color', 'w')
title('Parla Solar 144 (12x12) panel Güç/voltaj')
hold on
plot(Ns.*VeriV11,Ns.*(VeriV11.*VeriI11), '* k', 'LineWidth', 1)
plot(Va1,Va1.*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100), 'k')
plot(Va2,Va2.*(0:0.001:ceil(max(Ia2)*100)/100), 'c')
plot(Va3,Va3.*(0:0.001:ceil(max(Ia3)*100)/100), 'r')
plot(Va4,Va4.*(0:0.001:ceil(max(Ia4)*100)/100), 'g')
plot(Ns.*VeriV21,Ns.*(VeriV21.*VeriI21), '* g', 'LineWidth', 1)
plot(Va5,Va5.*(0:0.001:ceil(max(Ia5)*100)/100), 'b')
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Güç [W]');
ylim([0,Inf]);
legend({'Veri1 @ 1000W/m^2 / 25°C' ...
'Model @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Model @ 800W/m^2 / 25°C', ...
'Model @ 600W/m^2 / 25°C', ...
'Model @ 500W/m^2 / 25°C',...
'Veri2 @ 500W/m^2 / 25°C' ...
'Model @ 200W/m^2 / 25°C'}, ...
'Location', 'NorthWest');
grid on
figure('Color', 'w')
title('Parla Solar 144 (12x12) Hücre Akım/Voltaj')
hold on
plot(VeriV11.*Ns,(VeriI11), '* b', 'LineWidth', 1)
plot(Va11.*Ns,Np.*solarBMHH(Va11,1,25), 'b-', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns,Np.*solarBMHH(Va,1,35), 'b--', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns,Np.*solarBMHH(Va,1,55), 'b-.', 'LineWidth', 1)
plot(Va.*Ns,(VeriI31), 'b:', 'LineWidth', 1)
xlim([0,Inf]);
ylim([0,Inf]);
xlabel('Voltaj [V]');
ylabel('Akım [A]');
legend({'Veri1 @ 1000W/m^2 / 25°C', ...
'Model @ 1000W/m^2 / 25°C', ...

```

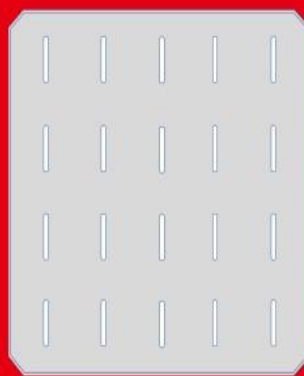
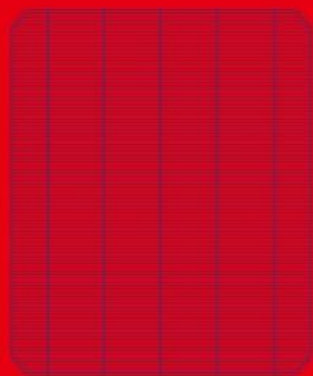
```

'Model @ 1000W/m^2 / 35°C', ...
'Model @ 1000W/m^2 / 55°C', ...
'Model @ 1000W/m^2 / 75°C'}}, ...
'Location', 'SouthWest');
grid on
PanelEn= 0.994; %metre      5-Mono-72 Datasheet.pdf
PanelBoy=1.996; %metre      5-Mono-72 Datasheet.pdf
PmaxHalfSTCSTC1000WBMHHPV= max((max(Ns*interp1(Ia1, Va0,
0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100).*(0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
))
PmaxHalf=PmaxHalfSTCSTC1000WBMHHPV
Vamax1000WPVIV=max((max(Ns*interp1(Ia1, Va0,
0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))))
Iamax1000WIV=max((0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))
ModuleEfficiency=PmaxHalfSTCSTC1000WBMHHPV/(PanelEn*PanelBoy*10)
FFHalf=(PmaxHalfSTCSTC1000WBMHHPV./(Vamax1000WPVIV.*Iamax1000WIV))
.*100
Vamax1000WPVIV=max((max(Ns*interp1(Ia1, Va0,
0:0.001:ceil(max(Ia1)*100)/100))))

end

```

### Mono-crystalline Silicon Solar Cell M2E1L45B



#### Product characteristics

|                 |                                                                       |                |          |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------|----------|
| Dimension:      | 156.75mmx156.75mm±0.25mm, Φ210mm±0.25mm                               | TkVoltage:     | -0.29%/K |
| Cell Thickness: | 200μm±20μm                                                            | TkCurrent:     | +0.04%/K |
| Front Side:     | 0.8mm wide bus bars, Silicon nitride anti-reflection coating          | TkPower:       | -0.38%/K |
| Back Side:      | 1.4 mm wide discontinuous soldering pads, Aluminum back surface field | Rsh≥50Ω, Irev2 | ≤1.0A    |

#### Electric characteristics

| Eff(%) | Pmpp(W) | Ump(V) | Impp(A) | Uoc(V) | Isc(A) | FF(%) |
|--------|---------|--------|---------|--------|--------|-------|
| 21.30  | 5.20    | 0.571  | 9.121   | 0.672  | 9.603  | 80.58 |
| 21.20  | 5.18    | 0.570  | 9.105   | 0.671  | 9.583  | 80.56 |
| 21.10  | 5.16    | 0.568  | 9.099   | 0.670  | 9.581  | 80.38 |
| 21.00  | 5.13    | 0.567  | 9.065   | 0.669  | 9.566  | 80.16 |
| 20.90  | 5.11    | 0.565  | 9.055   | 0.668  | 9.569  | 79.94 |
| 20.80  | 5.08    | 0.562  | 9.052   | 0.667  | 9.532  | 79.90 |
| 20.70  | 5.06    | 0.561  | 9.028   | 0.665  | 9.529  | 79.85 |
| 20.60  | 5.03    | 0.558  | 9.028   | 0.663  | 9.507  | 79.80 |

- Under standard test condition: 1000W/m<sup>2</sup>, AM 1.5, 25°C
- Illustration: 20.60% → actual range 20.60% ~ 20.70%
- Specification and data are for reference only and may change without prior notice.

**LONGI Solar**

Room 201, Building 8, Sandhill Plaza, Lane 2290, Zuchongzhi Road, Pudong District, Shanghai, 201203  
Tel: +86-21-61047332 Fax: +86-21-61047377 E-mail: module@longi-silicon.com  
Facebook: www.facebook.com/LONGI Solar

Note: Due to continuous technical innovation, R&D and improvement, technical data above mentioned may be of modification accordingly. LONGI Solar have the sole right to make such modification at anytime without further notice; Demanding party shall request for the latest datasheet for such as contract need, and make it a consisting and binding part of lawful documentabon duly signed by both parties.

20171227

## 9.ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Atilla KARADAVUT

Doğum Yeri ve Tarihi : Kayseri, 25.10.1987

Lisans Üniversite : Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Kimya Mühendisliği

Elektronik Posta : atillakaradavut87@gmail.com

İletişim Adresi : Kuşpınar Mah. Emek Cad. Tekin Apt.  
No:128/11 Pamukkale/DENİZLİ