



T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İlyas ALADAĞ

**MATLAB/SIMULINK PROGRAMI
KULLANILARAK ÖRNEK BİR
FOTOVOLTAİK SİSTEMİN MODELLENMESİ**

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

OSMANIYE-2017

**T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MATLAB/SIMULINK PROGRAMI KULLANILARAK
ÖRNEK BİR FOTOVOLTAİK SİSTEMİN
MODELLENMESİ**



İlyas ALADAĞ

**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**OSMANIYE
AĞUSTOS-2017**

TEZ ONAYI

MATLAB/SIMULINK PROGRAMI KULLANILARAK ÖRNEK BİR FOTOVOLTAİK SİSTEMİN MODELLENMESİ

İlyas ALADAĞ tarafından Yrd. Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Enerji Sistemleri Mühendisliği** Ana Bilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE
Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, OKÜ

Üye: Yrd. Doç. Dr. Kemal BALIKÇI
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, OKÜ

Üye: Yrd. Doç. Dr. Melikşah ÖZAKTÜRK
Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İSTE

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Coşkun ÖZALP
Enstitü Müdürü, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Bu Çalışma O.K.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

BAP Proje No: OKÜBAP-2016-PT3-009

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

İlyas ALADAĞ



ÖZET

MATLAB/SIMULINK PROGRAMI KULLANILARAK ÖRNEK BİR FOTOVOLTAİK SİSTEMİN MODELLENMESİ

İlyas ALADAĞ

Yüksek Lisans, Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE

Ağustos 2017, 43 sayfa

Son zamanlarda fosil yakıtlı kaynakların giderek azalması ve bu kaynakların çevreye etkilerinden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı önemli bir konuma gelmiştir. Temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında bulunan güneş enerjisi, sınırsız bir potansiyele sahip olması, çevre kirliliğine yol açmaması, tükenmez oluşu gibi sebeplerden dolayı sıkça tercih edilmektedir. Ülkemiz güneş enerjisi açısından oldukça yüksek bir kaynak potansiyeline sahiptir. Fotovoltaik (PV) paneller üzerlerine düşen güneş ışığını doğrudan elektriksel enerjiye dönüştürebilme özelliğine sahiptirler. Dolayısıyla son yıllarda gelişmiş ülkelerde ve ülkemizde güneş enerji santrallerinin kurulumu artmaktadır. PV güneş enerji santrallerinde kullanılan panellerin çalışma koşulları enerji verimliliği açısından oldukça önemlidir. Bu nedenden dolayı kurulum ve işletmeye geçilmeden önce bölge hakkında çalışmaların yapılması ve tahminlerde bulunulması önem arz etmektedir. PV panelin üreteceği enerji miktarının doğru bir şekilde tahmin edilebilmesi için gerçek ortam koşullarının bilinmesi ve doğru bir matematiksel modelinin oluşturulması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında Monokristal bir yapıda olan PV panelin önce matematiksel modeli oluşturularak Matlab@Simulink programında analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda güneş ışınımı ve hücre sıcaklığı değerlerinin panelin elektriksel performansını doğrudan etkilediği gözlemlenmiştir. Bu kapsamda sonuç olarak; Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi çatısına kurulan sistem ile PV panelin gerçek ortam koşullarında gösterdiği performans sonuçları incelenmiştir. Çalışma sonucunda modelleme sonuçları ve deneysel sistem sonuçlarının benzerlik gösterdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, PV modelleme, Matlab@Simulink

ABSTRACT

MODELING A PHOTOVOLTAIC SYSTEM BY USING MATLAB/SIMULINK

İlyas ALADAĞ

M.Sc., Department of Energy Systems Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Bülent YANIKTEPE

August 2017, 43 pages

Recently, the use of renewable energy resources has become an important factor because of the gradually decreasing fossil fuel resources and their impact on the environment. Solar energy, which is among clean and renewable energy sources, is often preferred because of its unlimited potential, environmental pollution, inexhaustibility. Our country has a very high potential in terms of solar energy. Photovoltaic (PV) panels have the ability to convert solar light directly onto electrical energy. Therefore, in recent years, solar power plants are being installed in developed countries and developing countries like in our country. The working conditions of panels used in PV solar power plants are very important in terms of energy efficiency. For this reason, it is important to make studies and make estimations about the region before going into installation and operation. In order to accurately estimate the amount of energy produced by the PV panels, it is necessary to know the real ambient conditions and establish a correct mathematical model. In this thesis study, the mathematical model of the PV panel, which is a Monocrystal structure, was first created and analyzed in Matlab @ Simulink program. It was observed that the solar radiation and cell temperature values directly affect the electrical performance of the panel. Then, the system established at roof of the Faculty of Engineering of Osmaniye Korkut Ata University investigated the performance results of the PV panel in real environment conditions. As a result of the study, the similarity of model results and experimental system results was observed.

Key Words: Solar Energy, PV Modelling, Matlab@Simulink



Eşime ve oğluma...

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez konumun belirlenerek tez çalışmamın yürütölmesini üstlenen, çalışmalarım süresince değerli bilgi ve tecrübeleriyle katkılarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Bülent YANIKTEPE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince teknik ve manevi anlamda hiçbir desteğini esirgemeyen, ayrıca sabrı ve göstermiş olduğu anlayıştan dolayı eşim Arş. Gör. Canan ALADAĞ'a teşekkür ederim.

Eğitim hayatım ve tez çalışmam süresince desteğini hiçbir zaman esirgemeyen annem ve babama teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam süresince yardımlarından dolayı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi bölüm hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İTHAF SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bakış	1
1.2. Tezin Amacı	5
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	6
3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER	12
3.1. Fotovoltaik Hücre	12
3.2. PV Hücre Teknolojisi ve Kullanılan Malzemeler	13
3.2.1. Kristal Silisyum Hücreler	15
3.2.1.1. Monokristal PV Hücreler.....	15
3.2.1.2. Polikristal PV Hücreler.....	16
3.2.1.3. İnce Film PV Hücreler.....	17
3.3. PV Hücrenin Modellenmesi.....	18
4. DENEYSEL SİSTEM VE YÖNTEM	23
4.1. Ölçüm Sisteminin Kurulumu	23
4.2. Tasarlanan PV Model.....	25
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	29

5.1. PV Modelin Sonuçlarının Doğrulanması ve Simülasyon Sonuçları.....	29
5.2. Deneysel Sistem lm Sonuçları.....	32
5.3. Oluşturulan Model ve Deneysel Sistem Sonuçlarının Karşılaştırılması	35
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	37
KAYNAKLAR.....	39
ZGEMİř.....	42



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Türkiye'nin yıllık güneş enerjisi potansiyeli	4
Çizelge 4.1. GH90M36 PV panelin katalog değerleri	24



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Dünya birincil enerji tüketimi.....	2
Şekil 1.2. Türkiye’ de kullanılan kaynaklara göre toplam kurulu güç	3
Şekil 1.3. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası	4
Şekil 3.1. PV yapılar	12
Şekil 3.2. PV hücrede enerji aralığı	13
Şekil 3.3. PV hücrenin iç yapısı	14
Şekil 3.4. PV hücre teknolojilerinin sınıflandırılması	15
Şekil 3.5. Monokristal panel ve hücre yapısı	16
Şekil 3.6. Polikristal panel ve hücre yapısı	17
Şekil 3.7. İnce film panel ve hücre yapısı	18
Şekil 3.8. PV hücrenin elektriksel eşdeğer devreleri: a) Tek diyotlu b) Seri ve paralel dirençli tek diyotlu c) Seri dirençli tek diyotlu model	19
Şekil 4.1. OKÜ Mühendislik Fakültesi binası uydu görüntüsü.....	23
Şekil 4.2. Ölçüm sistemini şematik gösterimi	24
Şekil 4.3. PV panelin ve elektriksel yükün bulunduğu platform.....	25
Şekil 4.4. Basite indirgenmiş elektriksel eşdeğer devre modeli	26
Şekil 4.5. PV panel modelinin Simulink bloğu	27
Şekil 4.6. PV modülün alt model bloğu	28
Şekil 4.7. PV panelin alt model bloğu	28
Şekil 5.1. PV panelin STC’ de akım-gerilim eğrisi	29
Şekil 5.2. PV panelin STC’ de güç-gerilim eğrisi	30
Şekil 5.3. PV panelin farklı ışınım değerlerinde akım-gerilim eğrisi	30
Şekil 5.4. PV panelin farklı ışınım değerlerinde güç-gerilim eğrisi	31
Şekil 5.5. PV panelin farklı sıcaklık değerlerinde akım-gerilim eğrisi.....	31
Şekil 5.6. PV panelin farklı sıcaklık değerlerinde güç-gerilim eğrisi.....	32
Şekil 5.7. 15.02.2017 tarihindeki ölçüm sonuçları	33
Şekil 5.8. 25.02.2017 tarihinde elde edilen PV panel saatlik ortalama gücü	33
Şekil 5.9. PV panellerin ölçüm periyodu boyunca ürettiği ortalama güç değerleri....	34
Şekil 5.10. PV panellerin ölçüm periyodu boyunca ürettiği ortalama güç değerleri..	34
Şekil 5.11. Ölçüm periyodu boyunca elde edilen ışınım grafiği	35
Şekil 5.12. PV model ve deneysel sistem güç karşılaştırması.....	36

SİMGELER VE KISALTMALAR

0	Standart koşullar	(-)
a	Ortam koşulları	(-)
C	Hücre	(-)
C₃	Açık devre geriliminin sıcaklık katsayısı	(1/°K)
D	Diyot	(-)
E_g	Boşluğun enerjisi	()
G^a	Ortamdaki ışınım	(W/m ²)
h	Plank sabiti	(eVs)
I_d	Diyot tarafından çekilen akım	(A)
I_{FV}	Panelin çıkış akımı	(A)
I_S	Satürasyon akımı	(A)
I_{SC}	Kısa devre akımı	(A)
k	Boltzman sabiti	(j/°K)
n	Nominal şartlar	(-)
R	Direnç	(Ω)
R_P	Paralel direnç	(Ω)
R_S	Seri direnç	(Ω)
T^A	Ortam sıcaklığı	(°C)
T^C	Hücre sıcaklığı	(°K)
V_{OC}	Açık devre gerilimi	(V)
V_T	Isıl gerilim değeri	(V)
V_φ	Çıkış gerilimi	(V)
q	Elektriksel yük	(C)

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bakış

Günümüzde hızlı bir şekilde artan enerji tüketimine rağmen kaynak miktarı ve çeşitliliği açısından kendine yeten ülke sayısı çok az miktardadır. Bu da küreselleşen dünya yapısında enerji ticareti ve güvenliği konusunu önemli bir hale getirmektedir. Bundan dolayı enerji devletlerin uluslararası politikalarında en önemli öğelerden biri haline gelmiştir. Artan nüfus miktarı, sanayileşme ve küreselleşme sonucunda enerji arzının talepleri karşılaması güçleşmektedir. Ayrıca fosil yakıtların gün geçtikçe tükenmesi ve çevreye yaydığı zararlı gazlardan dolayı hava kirliliğini arttırması, küresel ısınmanın yüksek oranda hissedilmesi, enerji fiyatlarının yükselmesi ve çevre duyarlılığının artması gibi nedenlerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi giderek artmaktadır [1].

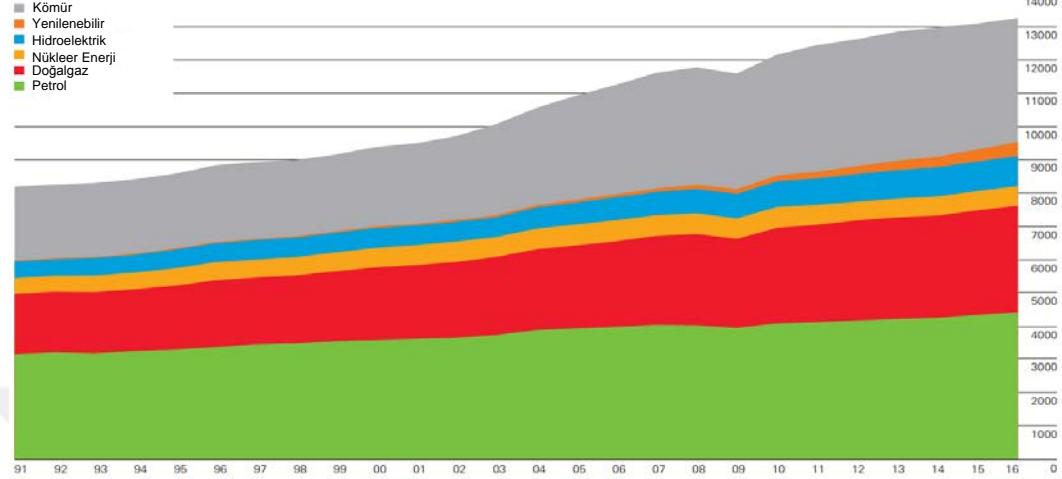
Enerjinin yaşamın temel unsuru olduğu ve enerji kaynaklarının, ulusların toplumsal ve ekonomik gelişimi üzerinde doğrudan etkili olduğu bilinmektedir. Modern toplumlarda gelişme düzeyi ve ekonomik büyüme, doğrudan enerji tüketimi ve üretimi ile ölçülmektedir. Açıkçası, ülkelerin refah düzeyinin temelde sürekli, bol ve ekonomik bir enerji arzına bağlı olduğu söylenilebilir. Dahası, endüstrideki muazzam ilerleme, enerji sorununu ön plana çıkartan bir diğer nedendir. Bu nedenle, Şekil 1.1' de gösterildiği gibi, tüm dünyada küresel enerji tüketiminin artmasından dolayı enerji üretim kapasitesinin arttırılması talebi de giderek artmaktadır. Birleşik Devletler Enerji Bilgi İdaresi (EIA) verilerine göre, dünyadaki toplam ticari enerji tüketiminin, 2007 yılından 2035 yılına kadar %49 oranında artacağı tahmin edilmektedir [2].

Gün geçtikçe enerji ihtiyacı artsa da, fosil yakıtların tükenmesi, petrol fiyatlarının yükselmesi ve daha da önemlisi küresel ısınma ve karbon emisyonlarının etkisi gibi geleneksel enerji kaynaklarının çevresel sorunları insanları farklı enerji kaynaklarına yönlendirmeye zorlamaktadır. Bu nedenle, son yıllarda enerji üretimi ve tasarrufu alanında artan bir ilgi söz konusudur. Enerji tasarrufu maliyet odaklı çözümlerden biri olabilir, ancak enerji krizini ve küresel ısınmayı önlemek için yeterli değildir.

Ayrıca, enerji verimliliği ve enerji teşvikleri sürekli olarak geçerlidir ve yenilenebilir enerjiler tüm dünyada giderek önem kazanmaktadır [3].

Dünya Enerji Tüketimi

Milyon Ton Eşdeğer Petrol



Şekil 1.1. Dünya birincil enerji tüketimi [4]

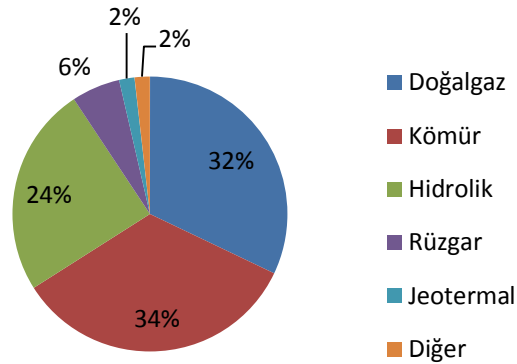
Son yıllarda yenilenebilir enerji, sürdürülebilir, bol, tükenmez ve çevre dostu olması nedeniyle büyük ilgi görmektedir. Yenilenebilir enerjinin geleneksel fosil yakıt temelli enerjiye kıyasla pek çok avantajı olmasına rağmen malzeme, kurulum ve bakımın yüksek başlangıç maliyetine sahip olması gibi bazı dezavantajları vardır. Bu dezavantajlar yenilenebilir enerjiye karşı önyargılar oluşturmaktadır. Amortisman süresi dikkate alındığında, uzun vadeye sahip olmaları bu önyargıları desteklemektedir. Ancak şirketler için en önemli amaçlardan biri bu alandaki teknik çalışmalar ile kurulum maliyetini azaltmaktır.

Son yıllarda enerji talebi istikrarlı bir şekilde artmaktadır ve bu eğilimin artmaya devam edeceği düşünülmektedir. Ayrıca, 2055 yılında küresel enerji tüketiminin 1998 yılıyla karşılaştırıldığında üç katına kadar çıkacağı tahmin edilmektedir. Buna paralel olarak artan enerji talebi, Türkiye'nin en önemli kalkınma önceliği haline gelmektedir. Bundan dolayı, yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımı, yüksek maliyetli yabancı enerji kaynaklarına olan bağımlılığı azaltmada Türkiye için hayati öneme sahiptir. Türkiye, taşkömürü, linyit, petrol, hidroelektrik, doğal gaz, jeotermal ve biyoenerji de dâhil olmak üzere çeşitli enerji kaynaklarına sahiptir [5]. Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynakları bakımından çok zengin olmasına rağmen bu

kaynaklar etkin bir şekilde kullanılmamaktadır. Şekil 1.2' ye bakıldığında, kurulu güç açısından kaynakların dağılımı istenilen seviyede değildir. Bu durumu ortadan kaldırmak için, 2005 yılında “Elektrik üretiminde Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanım Yasası” oluşturulmuştur. Yasanın temel amaçları şu şekilde özetlenebilir; elektrik enerjisi üretmek için yenilenebilir kaynakların kullanımını yaygınlaştırmak, bu kaynaklardan güvenli, ekonomik ve nitelikli bir şekilde faydalanmak ve enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesini sağlamak [6].

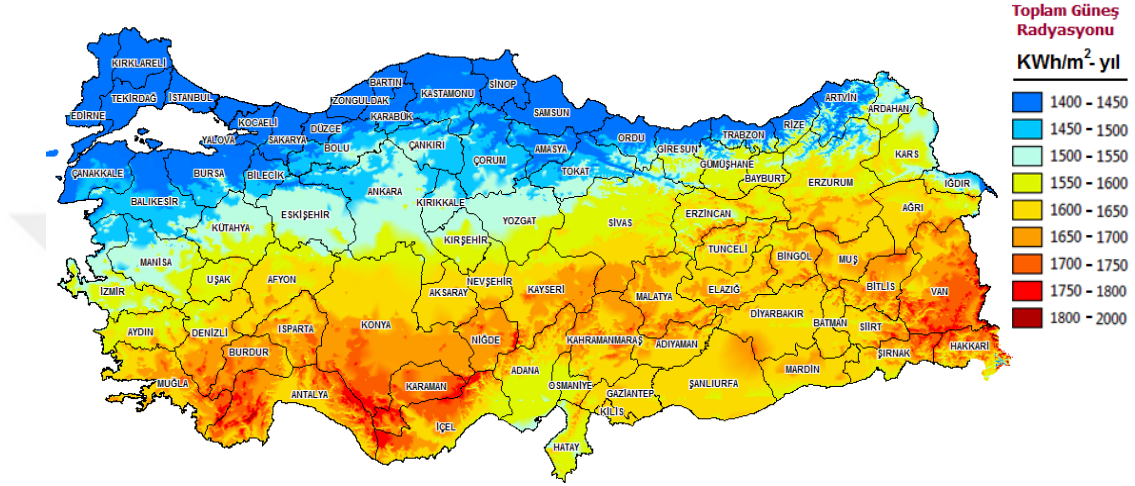
Buna ek olarak, ülkenin enerji kaynağı potansiyellerini belirlemek, örnek uygulama projeleri ve fizibilite çalışmalarını hazırlamak, yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği alanlarında düzenlemeler yapmak, ilgili alanlarda veya sektörlerde gelişmeleri takip etmek, enerji sektöründe hedef ve öncelikleri belirlemek ve özel teşvikler oluşturmak için 2011 yılında “Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü” kurulmuştur. Türkiye’de 2016 yıl sonu itibariyle 278 milyar kWh olan elektrik enerjisi tüketiminin 2023 yılı başında 450 milyar kWh’ ye ulaşacağı tahmin edilmektedir [7].

Türkiye'nin enerji politikası 2023 yılına kadar yenilenebilir enerji kurulu gücünü; güneş enerjisi santrallerinde 600 MW, rüzgar enerji santrallerinde 20000 MW, jeotermal enerji santrallerinde 600 MW ve hidrolik güç santrallerinde 36000 MW'a çıkarmayı hedeflemektedir. Bu nedenle, yenilenebilir enerjinin elektrik arzındaki payının % 30'un üzerinde olması hedeflenmektedir [6]. Türkiye'nin mevcut kurulu gücü 2016 yılı sonu itibarı ile 78497 MW'tır [7].



Şekil 1.2. Türkiye’ de kullanılan kaynaklara göre toplam kurulu güç [7]

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi; dünya atmosferinin dışında sabit şiddette (1370 W/m^2) olan ve yeryüzünde $0\text{-}1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişen temiz bir enerji kaynağıdır. Türkiye coğrafik açıdan önemli bir güneş enerji potansiyeline sahiptir. Şekil 1.3'te Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından Türkiye'nin il bazlı güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA) verilmiştir.



Şekil 1.3. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası [8]

Türkiye'nin GEPA'sı incelendiğinde güneş ışıklarından en verimli şekilde faydalanılacak bölgelerin koyu ve açık kırmızı ile gösterilen Güneydoğu Anadolu, Akdeniz, Doğu Anadolu ve İç Anadolu bölgeleri olduğu görülmektedir. Şekil 1.3'te gösterilen grafiğe göre elde edilen değerler Tablo 1.1'de gösterilmiştir [8].

Çizelge 1.1. Türkiye'nin yıllık güneş enerjisi potansiyeli

Bölge	Ortalama Güneş Enerjisi (kWh/m ² - yıl)	Toplam Güneşlenme Süresi (saat/yıl)
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	1.460	2.993
Akdeniz Bölgesi	1.390	2.956
Doğu Anadolu Bölgesi	1.365	2.664
İç Anadolu Bölgesi	1.314	2.628
Ege Bölgesi	1.304	2.738
Marmara Bölgesi	1.168	2.409
Karadeniz Bölgesi	1.120	1.971

Son yıllarda temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında bulunan güneş enerjisi, sınırsız bir potansiyele sahip olması, çevre kirliliğine yol açmaması, tükenmez oluşu gibi sebeplerden dolayı oldukça önemli bir konuma gelmiştir. Bu potansiyeli ve avantajları değerlendirmek için ülkemizde güneş enerjisi alanındaki çalışmalar her geçen gün artmaktadır ve güneş enerjisi santrallerinin kurulumu gerçekleştirilmektedir.

1.2. Tezin Amacı

Fosil yakıtlı kaynakların gün geçtikçe azalması ve bu kaynakların çevreye olumsuz etkilerinden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artan bir ivme göstermektedir. Yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynakları arasında bulunan güneş enerjisi, sınırsız bir potansiyele sahip olması, çevre kirliliğine yol açmaması, tükenmez oluşu gibi sebeplerden dolayı oldukça tercih edilmektedir. Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli bakımından oldukça iyi bir konuma sahiptir. Özellikle Güneydoğu Anadolu, Akdeniz, Doğu Anadolu ve İç Anadolu bölgeleri yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip bölgeler olarak başta gelmektedirler. Bu potansiyeli ve avantajları değerlendirmek için ülkemizde güneş enerjisi alanındaki çalışmalar günden güne artmaktadır ve bu potansiyeli değerlendirmek amacıyla güneş enerjisi santrallerinin kurulumu gerçekleştirilmektedir.

Bu tezin amacı güneş enerji sistemlerini oluşturan PV panellerin elektriksel performanslarını gerçek ortam koşullarında ve simülasyon ortamında karşılaştırmalı olarak incelemektir. Bu amaçla öncelikle monokristal malzeme yapısındaki bir PV panelin elektriksel eş değer devresi yardımıyla Matlab@Simulink programında matematiksel modellemesi yapılmıştır ve panel çıkış gücüne etki eden parametreler incelenmiştir. Daha sonra güneş ışınımı, hücre sıcaklığı ve elektriksel performans parametreleri gibi gerçek ortam koşullarındaki değerler kullanılarak oluşturulan modelin doğruluğu kanıtlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

PV teknolojisinin hızla gelişmesi, güneş enerjisi ile çalışan birçok sistemin gündelik hayatımızda yer almasına neden olmaktadır. Güneş enerjisi beslemeli bu sistemlerin optimum tasarımını yapma noktasında, güneş pili ve güneş panelinin eşdeğer devre modelini oluşturmak önemli bir konudur. Eşdeğer devre modeli elde edilen bir sistemin analizi de kolay bir şekilde yapılabilmektedir. Güneş pili eşdeğer devre modelinin elde edilmesiyle alakalı literatürde birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda devrelerin simülasyonu için Matlab@Simulink programı sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca farklı iklim koşullarında bulunan PV modüllerin çıkış büyüklüklerinde doğru bir tahmin yapabilmek için bu modüllerin dış ortam koşullarında performans testlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu konularda yapılan çalışmaların bir kısmı aşağıda verilmiştir.

Villalva, vd. (2009), yaptıkları çalışmada, PV dizilerin modellenmesi ile ilgili bir metot önermişlerdir. Bu metot güneş panelinin elektriksel eşdeğer devresinin matematiksel ifadesiyle oluşturulmuştur. Çalışmada güneş panelinin tek diyotlu seri ve paralel dirence sahip eşdeğer devresi kullanılmıştır. Önerilen metot sonuçlarını iki farklı güneş panelinin katalog bilgileri ile karşılaştırarak doğrulamışlardır [9].

Ding, vd. (2012), yaptıkları çalışmada PV bir panelin simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Önerilen PV panel modeli özellikle farklı çalışma koşulları altında ve düzensiz güneş ışınımı altında yani farklı ışınım ve sıcaklık seviyelerinde PV panel çıkış parametreleri için doğru sonuçlar vermektedir. Ayrıca önerilen model deneysel test düzeneği sonuçları ile karşılaştırılmıştır ve sonuçların doğruluğu vurgulanmıştır. Vurgulanan bir başka önemli nokta ise önerilen PV panel modelinin kontrol stratejisi ve devrenin simülasyonunda kullanılan bir elektronik devre ile birlikte çalıştırılabilir olmasıdır [10].

Tsai (2012), yaptığı çalışmada güneş pilinin tek diyotlu elektriksel eşdeğer devresini kullanarak PV paneli modellemiştir. Matlab@Simulink programında simülasyonu gerçekleştirilen panelin çıkış karakteristiklerini etkileyen ana parametrelerin güneş ışınımı ve ortam sıcaklığı olduğu görülmüştür. Ayrıca sistemin deneysel düzeneği

kurularak da sonuçlar incelenmiştir. Deneysel sistem elemanları sırasıyla güneş ışınımını ölçümünde kullanılmak üzere lüksmetre, ortam sıcaklığının ölçümü için termometre, elektriksel ölçümleri yapabilmek için multimetreler, akü, akü şarj düzenleyicisi ve bir yükten oluşmaktadır. Deneysel sistemin sonucunda elde edilen çıkış karakteristikleri eğrilerinin, simülasyon sonucunda elde edilen karakteristik eğriler ile uyumlu olduğu gözlenmiştir [11].

Çelik ve Açıkgöz (2007), yaptıkları çalışmada 120 Wp (wattpeak) etiket gücüne sahip monokristal yapıda olan bir güneş panelini matematiksel olarak modellemişlerdir. Modellenen panelin gerçek çalışma koşullarındaki çıkış karakteristiklerini incelemek için deneysel sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sistemin kurulumu İskenderun, Türkiye’ de yapılmıştır ve panelin optimum yerleşim açısı 36° olarak belirlenmiştir. Matematiksel modeli oluşturulan sistem iki ayrı modelden elde edilmiştir. Gerçek ortam koşullarında alınan sonuçlar neticesinde güneş panelinin verimliliğinde sıcaklığın önemli bir etken olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca çalışmada güneş panelinden elde edilen verimin öğle saatlerinde en yüksek miktarda olduğu belirlenmiştir [12].

Soto, vd. (2006), yaptıkları çalışmada PV panellerin gerçek çalışma koşulları altında gösterdikleri performansı belirlemek için panelin matematiksel modelini tasarlamışlardır. Tasarladıkları modeli deneysel bir sistem sonuçları ve daha önce tasarlanan bir model çalışmasının sonuçları ile karşılaştırarak doğrulamışlardır. Oluşturdukları modelin adı beş parametre modelidir. Modelde kullanılan parametreler güneş ışınımının ürettiği akım, diyotun ters saturasyon akımı, güneş hücresinin seri ve paralel direnci ve idealite faktörüdür. Bu parametreler ve güneş paneli üreticisinden elde edilen diğer katalog bilgileri ile güneş panelinin akım-gerilim eğrisini elde etmişlerdir. Ayrıca farklı malzeme tipindeki güneş panellerinin analizini gerçekleştirerek çalışmanın doğru sonuçlar verdiği vurgulanmıştır [13].

Lo Brano, vd. (2012), yaptıkları çalışma ile silikon malzeme yapısındaki PV panellerin akım-gerilim eğrilerini yeni bir beş parametre modeli ile Matlab@Simulink programında çizdirmişlerdir. Modelin doğruluğunu kanıtlamak için dış ortam koşullarında gerçekleştirilen deneysel bir sistem tasarımı yapmışlardır.

Ayrıca PVsyst yazılımı kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deneysel sistemde monokristal ve polikristal malzeme yapısında olan iki ticari güneş panelinin akım-gerilim eğrisini elde etmişlerdir. Yapılan deney sayesinde güneş ışınımı ve ortam sıcaklığı değerleri kaydedilerek güneş panelinin akım-gerilim karakteristiği laboratuvar ortamına göre daha hassas bir şekilde elde edilmiştir. Çalışmada elektriksel yük olarak farklı büyüklüklere sahip direnç değerleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda oluşturulan modelin doğruluğu PVsyst yazılımı ve deneysel sistem sonuçları ile karşılaştırılarak kanıtlanmıştır [14].

Ishaque, vd. (2010), yaptıkları çalışmada PV panelin iki diyotlu modeli için geliştirilmiş bir modelleme yaklaşımı önermişlerdir. Bu çalışmanın temel amacı daha önce geliştirilmiş iki diyotlu modellerde beş veya altı parametre kullanılırken bu çalışmada dört parametre ile denklemin basitleştirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca seri ve paralel direnç değerleri basit ve hızlı bir iterasyon metodu ile hesaplanmıştır. Önerilen modeli doğrulamak için farklı üretici firmalardan farklı malzeme tiplerine sahip altı tane PV panel temin edilerek test edilmiştir. Çalışma sonucunda iki diyot modelinden alınan sonuçlar tek diyot modeline göre daha iyi sonuçlar vermiştir [15].

Chatterjee, vd. (2011), yaptıkları çalışmada PV panelin katalog değerlerini kullanarak bir model tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Oluşturulan modelde PV hücrenin tek diyot eşdeğer devre modeli kullanılmıştır. Sıcaklık ve ışınım değerlerindeki değişikliklerin etkisiyle çıkış parametrelerinin değişimi incelenmiştir. Ayrıca farklı iklim koşulları altında panelin maksimum güç noktası belirlenmiştir [16].

Bellini, vd. (2009), yaptıkları çalışmada herhangi bir sayısal yöntem kullanmadan sadece PV panel üreticilerinin katalog değerlerini kullanarak gelişmiş bir PV panel modeli önermişlerdir. Çalışmada önerilen modeli detaylı olarak tanımladıktan sonra simülasyon sonuçlarını ve deneysel sistemin sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Aynı zamanda modelin deneysel sistem tasarımının doğruluğu, PV panelin gerçek işletim parametrelerini hesaba katan uygun bir prosedür ile birlikte sunulmuştur [17].

Amrouche, (2014), yaptığı çalışmada PV panelin gerçek ortam koşullarında Maksimum Güç Noktası İzleme (MPPT) algoritmalarının verimliliğini karşılaştırmak amacıyla panelin matematiksel modelini oluşturmuştur. PV paneller için daha önce oluşturulan modeller geliştirilerek deneysel sistem sonucunda önerilen modelin doğruluğu gösterilmiştir. Önerdiği modelin avantajlarından en önemlisi sadeliktir ve model sadece üreticinin katalog sayfasında bulunan elektriksel parametrelere dayanmaktadır. Çalışmada ilk olarak geliştirilen model ile polikristal malzeme yapısında bulunan kapsamlı bir deneysel veri tabanı sonuçları karşılaştırılmış ve sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür. Oluşturulan modelde farklı çalışma koşulları altında, ışınım ve ortam sıcaklığı değerleri seçilerek elde edilebilecek elektriksel çıkışlar bulunmuştur. Ayrıca kapsamlı olarak oluşturulan veri tabanı sayesinde diğer malzeme yapısındaki PV panellerin akım, gerilim ve güç değerleri gibi elektriksel parametrelerinin de sonuçları elde edilebilmektedir. Bunlara ek olarak PV sistem ve kurulumu detaylı bir akış şeması vasıtasıyla sunulmuştur [18].

Bellia, vd. (2014), yaptıkları çalışmada, PV panelin elektriksel çıkış parametrelerine, ışınım ve sıcaklık etkisini kapsamlı bir modelleme vasıtasıyla sunmuşlardır. Oluşturulan model yarı iletkenlerin temellerine ve PV hücre teknolojisine uygun olarak hazırlanmıştır. Önerilen modelin hassasiyeti için tek diyotlu seri ve paralel direnç modelleri kullanılmıştır. Oluşturulan modelin simülasyonu Matlab@Simulink yazılımında adım adım tasarlanmıştır. Bu yazılımın tercih nedeni sıklıkla ve etkin bir şekilde kullanılmasıdır. Çalışmanın amacı istenilen bir anda maksimum güç ve aynı zamanda deneysel değerlere yakın veriler elde etmektir. Farklı malzeme tipindeki PV paneller için oluşturulan modelin kullanılabileceği, ışınım ve sıcaklığın farklı ortam koşullarında değiştiği göz önünde bulundurulduğunda ise gerekli tüm parametreler ile çıkış parametreleri olan akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) eğrilerinin belirlenebileceği belirtilmiştir [19].

Ayaz, vd. (2014), yaptıkları çalışmada gerçek atmosfer koşullarını göz önünde bulduran bir PV modeli Matlab@Simulink ortamında modelleyerek önermişlerdir ve farklı tip malzeme yapısındaki PV panellerin davranışlarını bu model ile karşılaştırmışlardır. Çalışma İstanbul, Türkiye’ de gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla ışınım, sıcaklık, rüzgar hızı ve hücre sıcaklığı gibi değerler İstanbul’ un meteorolojik

verileri kullanılarak elde edilmiştir. Çalışmada gerçek atmosfer koşulları altında bulunan PV modülün güç çıkışları dirençten oluşan yük vasıtasıyla ölçülmüştür ve ölçülen bu güç değerleri önerilen PV modelin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda önerilen modelin monokristal ve ince film PV modülleri için daha uyumlu olduğu gösterilmiştir. Ancak, modelin polikristal malzeme yapısındaki PV modül için iyi bir korelasyon değerine sahip olmadığı sonucuna varmışlardır [20].

Amin, vd. (2009), Malezya'nın iklim koşulları altında bulunan farklı malzeme tiplerine sahip PV panellerin performansını analiz etmek ve karşılaştırmak amacıyla pratik bir saha çalışması gerçekleştirmişlerdir. Saha çalışması için monokristal, polikristal, amorf silikon ve bakır indiyum diselenür (CIS) gibi dört farklı panel türü kullanılmıştır. Performansla alakalı birkaç parametre, birbirini takip eden üç gün boyunca veri kaydedici vasıtasıyla toplanmıştır ve bu parametreler güneş panellerinin gerçek performansı hakkında ilk bilgileri vermiştir. Çalışma sonucunda güneş ışınımı altındayken monokristal ve polikristal güneş panellerinin daha iyi performans gösterdiği fakat CIS ve üçlü birleşim amorf silisyum güneş panellerinin ise bulutlu ve dağılmış ışınım koşullarında daha iyi performans gösterdiği vurgulanmıştır. Ayrıca kristal silisyum hücre yapısındaki modüllerin sıcaklıktan oldukça etkilendiği belirtilmiştir ve bundan dolayı Malezya gibi tropikal iklime sahip ülkelerde ince film malzeme yapısındaki modüllerin kullanımının enerji verimliliği açısından daha uygun olduğu söylenmiştir [21].

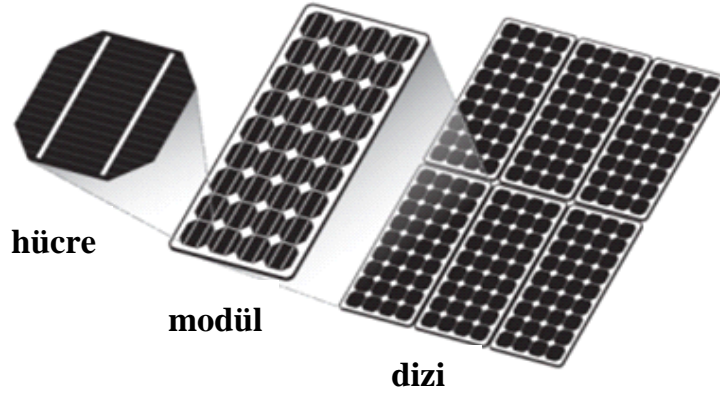
Matchanov, vd. (2017), yaptıkları çalışmada Taşkent' in iklim koşullarında monokristal ve polikristal türlerdeki PV modüllerin performanslarını değerlendirmişlerdir. Çalışmada monokristal ve polikristal malzeme yapısındaki modüllerin ürettikleri güçler sırasıyla %30 ve %28 oranında azalmıştır. Bu düşüşün nedenini, modüllerin sıcaklıktan oldukça fazla etkilenmeleri olarak belirtmişlerdir. Ayrıca iki tip malzeme yapısındaki modüllerinde ortalama verimini %13.3 olarak hesaplamışlardır. Modüller verimlilik faktörü açısından da incelenerek polikristal malzeme yapısındaki modülün monokristal modüle kıyasla daha verimli olduğu vurgulanmıştır [22].

Bashir, vd. (2014), monokristal, polikristal ve tek jonksiyonlu amorf silikon modül yapısındaki PV panellerin performans çıktılarını Taxila, Pakistan iklim koşulları altında karşılaştırmışlardır. Çalışma kış mevsiminin dış ortam şartlarında gerçekleştirilmiştir. Her bir modül için çıkış gücü, modül verimliliği ve performans oranı hesaplanmıştır ve modül sıcaklığının ile güneş ışınımının bu parametreler üzerine etkileri araştırılmıştır. Modül parametrelerinin ışınım ve sıcaklıktan yüksek oranda etkilendiği belirtilmiştir. Çalışmada monokristal ve polikristal yapıdaki modüllerin yüksek ışınım koşullarında daha iyi performans gösterdiği gözlenirken ışınım seviyesinde azalmalar yaşandığında ise ani güç kayıplarının olduğu vurgulanmıştır. Amorf silikon modülün ışığı daha iyi emme özelliğine sahip olmasından dolayı düşük ışınım seviyelerinde iyi performans gösterdiği bu nedenle ortalama performans oranının daha yüksek çıktığı gösterilmiştir. Çalışmanın gerçekleştirildiği bölge için monokristal PV modülün diğer tür modüllere göre daha verimli olduğu bulunmuştur. Ayrıca modül verimliliğinin ve performans oranının modülün arka kısmındaki sıcaklık ve ışınım değeri ile bir azalma eğilimine girdiği belirtilmiştir [23].

Taşcıoğlu, vd. (2016), Bursa ilinin iklim koşulları altında iki farklı güneş paneli için farklı yükler altında zamana bağlı olarak panellerin ürettiği elektrik miktarını karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Deneysel sistem kurulumunda güneş panelleri, inverter, multimetre, akü, şarj regülatörü, pıranometre, sıcaklık sensörü ve veri kaydedici kullanılmıştır. Çalışmada monokristal ve polikristal hücre yapısındaki panellerin verimliliği iklimsel verilerin ölçümüne bağlı olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda monokristal paneli ortalama performansı 42.06 Wh, polikristal panelin ortalama performansı ise 39.8 Wh olarak hesaplanmıştır. Çalışmada maksimum toplam ışınım değeri altında monokristal güneş panelinden anlık olarak 87.14 W güç elde edildiği gözlenirken polikristal güneş panelinden 80.17 W güç elde edildiği gözlenmiştir. Bu sonuçlar neticesinde Bursa koşullarında monokristal panelin polikristal panelden daha verimli çalışacağı kanısına varılmıştır [24].

3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

Bir fotovoltaik sistem güneş ışığını hiçbir yardımcı ekipmana ihtiyaç duymadan doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür. Fotovoltaik kelime olarak ışık anlamına gelmektedir ve foton ile elektriksel voltaj kelimelerinden türemiştir. Fotovoltaik etki Fransız bilim adamı Edmond Becquerel tarafından 1839 yılında bulunmuştur ancak ışık ve katı hal fiziği kuantum teorisinin geliştirilmesine kadar tamamen anlaşılmamıştır. Bir PV sistemin en temel elemanı PV hücredir. Üzerine düşen ışığı direkt olarak elektriğe dönüştürür. Hücreler genelde yaklaşık 1-2 W civarında çıkış gücüne sahiptirler. Hücreler gruplandırılarak paneller ya da diziler elde edilir böylece çıkış gücü istenilen değerlere çıkartılabilir. Bu yapı Şekil 3.1’de gösterilmektedir. Bir PV sistemin terminallerindeki mevcut gerilim ve akım bileşenleri doğrudan aydınlatma sistemlerini veya DA motorlar gibi küçük yükleri besleyebilir. Daha gelişmiş uygulamalarda PV sistemden elektrik elde etmek için gerilim ve akımı ayarlayan güç elektroniği devrelerine ihtiyaç duyulur.

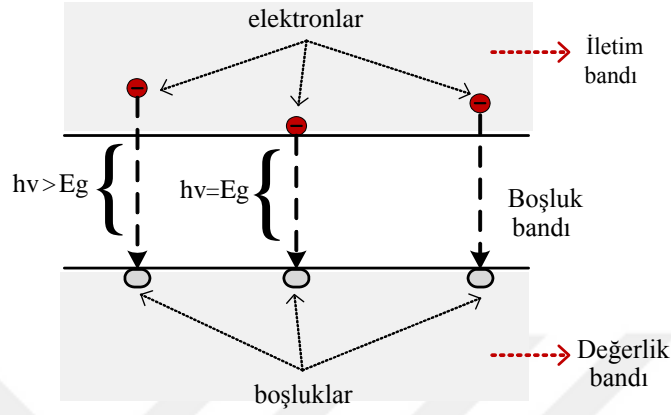


Şekil 3.1. PV yapılar

3.1. Fotovoltaik Hücre

Fotovoltaik hücre, bir PV jeneratör sisteminin temel dönüşüm birimini temsil eder. Güneş ışığına maruz kalan PV hücre, yarı iletken bir diyot ile benzerlik gösterir. İletkenden akım akması için bir elektriksel alana ihtiyaç vardır ve elektrik alan oluşması için, iki yarı iletken tabakanın temas halinde olması gerekir. Yarı iletkenler,

valans (değerlik) bandı ve iletim bandı arasında bulunan bir boşluk bandı ile ayrılır. Valans bandındaki elektronlar, iletim bandı altında bulunan elektronların en yüksek değere ulaşması ile yeterli enerjiye ulaşır ve serbest kalabilirler. Valans bandındaki elektronlar iletim bandına geçmesi ile elektriği geçirme özelliğine sahip olurlar.



Şekil 3.2. PV hücrede enerji aralığı

Boşluğun enerjisi ile yarı iletken malzemenin geçirgenliği arasındaki ilişki denklem 3.1'deki gibi verilebilir;

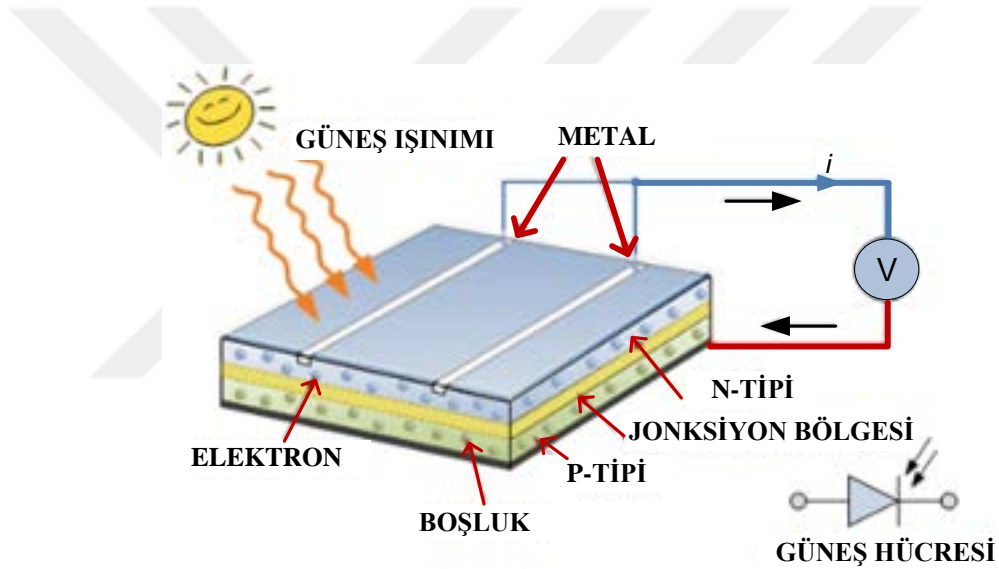
$$hv > E_g \quad (3.1)$$

Burada h ; plank sabitidir ve değeri 4.135667×10^{-15} eVs, E_g ise boşluğun enerjisi olarak ifade edilmektedir. İdeal bir yarı iletken Şekil 3.2'de görüldüğü gibi iletim bandındaki serbest elektron çifti ve valans bandındaki elektron boşlukları eşittir. Güneş ışığı hücrenin yüzeyine düştüğü zaman serbest elektronlar harekete geçer, bu enerji transferi momentum ve enerjinin korunumu yasasına göre gerçekleşir ve çıkışa elektriksel bir yük bağlandığı zaman ise akım akmaya başlar.

3.2. PV Hücre Teknolojisi ve Kullanılan Malzemeler

PV hücreler genellikle çok veya tek kristalli silisyumlu yarı iletkenler olarak üretilirler. Şekil 3.3'te gösterilen hücre yapısı negatif elektrik yüklü n tipi tabaka ve pozitif elektrik yüklü p tipi tabakadan oluşmaktadır. Güneş hücrelerinden elde edilebilecek enerji miktarı, güneş ışınımının akı yoğunluğuna ve yarı iletken

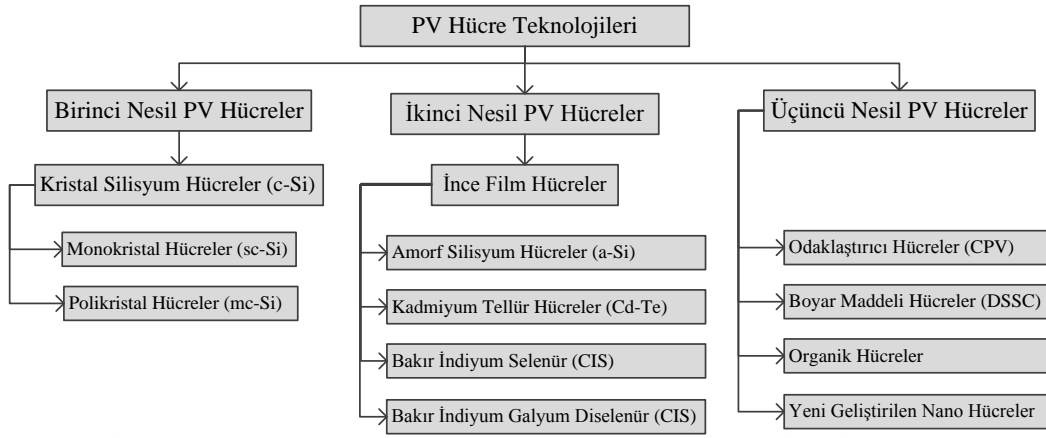
maddenin ışığı emme özelliğine bağlıdır. Yarı iletken maddenin ışığı emme kabiliyeti; yük taşıyıcı konsantrasyonu ve malzeme yapısının pürüzlülüğü, ısıyı yansıtma ve özellikle de yarı iletken bant boşluk enerjisi gibi parametrelere göre değişiklik gösterir. Yüze gelen fotonların enerjisinin yarı iletken malzemeden elektronları serbest hale bırakabilmesi için PV hücrenin düşük band aralığı enerji sınırından daha yüksek olmalıdır. Yarı iletken malzeme düşük enerjili fotonları absorbe edemez ve kullanamaz, yani elektron akışı oluşturamaz. PV hücrenin boşluk bandındaki enerjisinin alt sınırından daha yüksek enerjiye sahip olan fotonlar, elektron akışı meydana getirebilir ve böylece gerilim oluşturabilir. Yarı iletken malzemelerin verimliliğine bağlı olarak PV hücrelerin verimleri de çok yüksek değildir [25].



Şekil 3.3. PV hücrenin iç yapısı

Yapılan araştırmalar ve teknolojinin ilerlemesiyle birlikte geleneksel hücre tipi olan silisyuma alternatif farklı teknolojiler ve malzeme yapıları ortaya çıkmıştır. İkinci nesil PV hücrelerine ince filmler güneş pilleri adı verilir çünkü bu hücreler amorf silikondan veya kadmiyum tellür gibi silikonsuz malzemeden yapılırlar. Üçüncü nesil PV hücreleri, geleneksel baskı presi, güneş boyaları ve iletken plastikleri kullanan güneş mürekkepleri katılan silikonun yanı sıra çeşitli malzemelerden üretilmektedir [26]. Bu önde gelen PV hücrelerinin türleri, verimlilik, hammadde kullanımı, makul maliyet ve teknik özellikler açısından birbirlerine göre avantaj ve

dezavantajlara sahiptir. Şekil 3.4'te PV panellerin hücre türlerine göre sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 3.4. PV hücre teknolojilerinin sınıflandırılması [27]

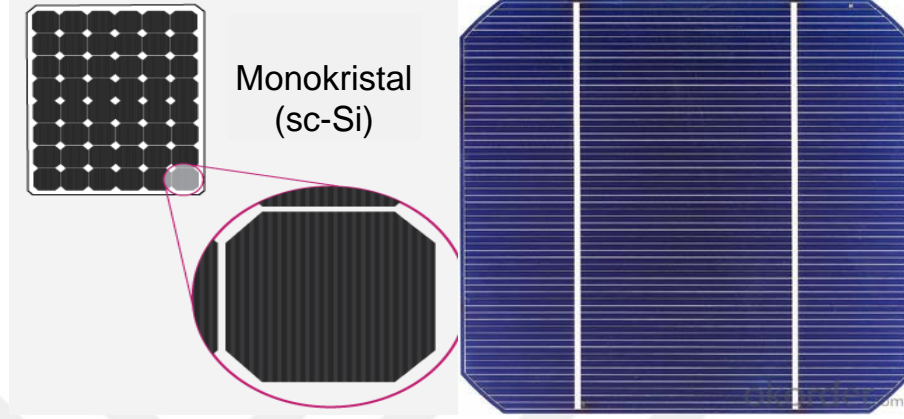
3.2.1. Kristal Silisyum Hücreler

Kristal silisyum güneş hücreleri günümüzde en çok kullanılan yarı iletken malzeme tipidir. Yaygın olarak kullanılmasının sebebi Kuartz kumdan (SiO_2) yüksek sıcaklıkta kimyasal reaksiyonlar neticesinde kristal silikon malzemenin elde edilebilir olmasıdır. [27].

3.2.1.1. Monokristal PV Hücreler

Bu tür PV panelleri tanımlamak oldukça kolaydır; PV hücrelerin köşeleri yuvarlatılmış olmadan tam dikdörtgen şeklindedir, diğer bir deyişle kristal hücrenin çerçevesi homojendir. Monokristal yapıdaki PV paneller diğer tür panellere kıyasla pek çok avantaja sahiptir. Alan açısından verimli olması nedeniyle, bu tür PV paneller diğer tür panellere göre çok daha fazla güç üretirler [26,27]. Ayrıca, monokristal PV modülleri de diğer tür paneller gibi sıcaklıktan etkilenmektedir fakat yüksek sıcaklıkların hakim olduğu iklim bölgelerinde bu etki diğer türlere kıyasla daha azdır. Fakat panelin kısmi gölgelenme, kir veya kara maruz kalması durumlarında enerji verimliliği ciddi biçimde azalır ve güç üretimi durur. Bunlara ek olarak, fiziksel etkilere karşı zayıftırlar; herhangi bir noktadan başlayan kırılma panelin tamamını etkiler [27,28].

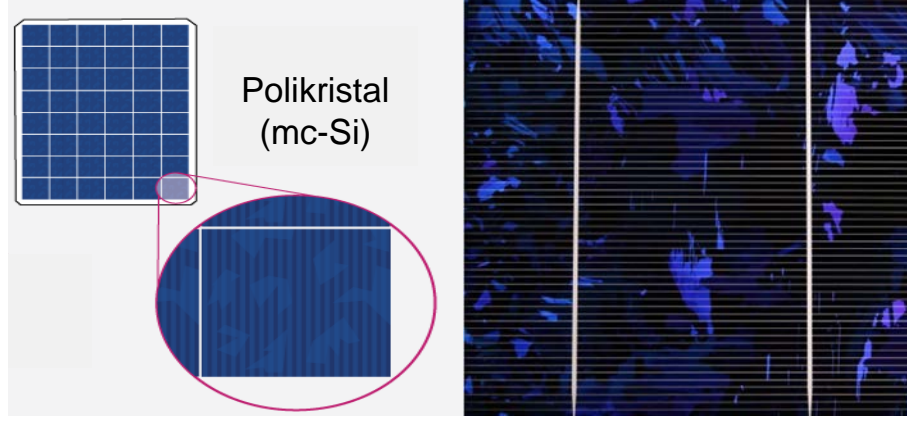
Monokristal tabaka yapısında üretilen güneş pilleri laboratuvar şartlarında %24 verime sahip olsalar bile, ticari olarak üretilen PV panellerde yaklaşık %15 verim elde edilmektedir [27]. Monokristal hücre yapısı Şekil 3.5'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3.5. Monokristal panel ve hücre yapısı

3.2.1.2. Polikristal PV Hücreler

Polikristal hücrelerin üretim süreci monokristal hücrelerden farklı şekilde gerçekleşir, ham silisyum eritilir ve soğutulmuş bir şekilde kare şeklinde kesilen silikon bir kalıba dökülür. Üretim sürecinde monokristal hücre yapısına nazaran daha az miktarda ham maddeye ihtiyaç duymasından dolayı daha basit ve az maliyetli bir üretim sürecine sahiptir. Polikristal PV paneller monokristal PV paneller kadar verimli değildirler. Bağlantı noktalarının seri direnci, daha az verimli olma nedenlerinden biri olarak gösterilebilir. Bunlara ek olarak, sıcaklık toleransı ve alan etkinliği açısından monokristal hücreler kadar iyi değildirler. Ticari olarak üretilen polikristal hücrelerin verimi %14-19 arasında değişmektedir [29]. Polikristal hücre yapısı Şekil 3.6'da gösterildiği gibidir.



Şekil 3.6. Polikristal panel ve hücre yapısı

3.2.1.3. İnce Film PV Hücreler

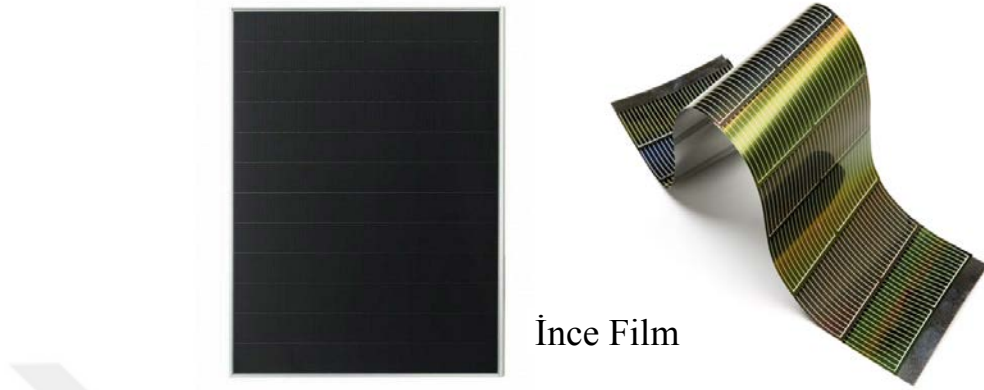
İnce film güneş PV hücreler, yarı iletken malzemenin katı bir yüzeye uygulanmış tabakalarından oluşmaktadır. Kristal silisyumlu tabaka tipiyle karşılaştırıldığında her bir hücre için gerekli olan yarı iletken malzeme miktarı önemli ölçüde az miktardadır. Dolayısıyla PV hücrelerin üretim maliyetleri de kristal silisyum yapıdaki hücelere kıyasla daha azdır. İnce film teknolojisinde kullanılan belli başlı yarı iletken malzemeler: Amorf silisyum (a-Si), kadmiyum tellür (CdTe) ve bakır indiyum diselenür (CuInSe₂)' dür.

Amorf silisyum ilk geliştirilen ince film teknolojilerinden biridir [30]. Bu malzemeler kristal bir yapı göstermezler. Silisyum atomları malzeme içerisinde rastgele bir yapıda yerleşmiştir. Dayanaklı olan PV hücrelerde %13 verim elde edilmişken, modül verimleri %6-8 arasında değişmektedir [31].

Kadmiyum ve tellür elementinin birleşmesiyle Kadmiyum tellür yarı iletken malzemesi oluşmaktadır. Üretimi kolay bir malzemedir. Laboratuvar ortamında hücre verimi yaklaşık %16 gibi bir değere sahip olsa da ticari ürünlerde bu verim %10 seviyelerine düşmektedir. Kadmiyum Tellür'ün ağır metal ve kansorejen bir element olmasından dolayı kullanımında birtakım engeller oluşturmaktadır.

Bakır indiyum elementine galyum elementi eklenerek elde edilen yarı iletken malzeme yapısı ince film teknolojisine sahip güneş pilleri arasında en yüksek verime

sahip olanıdır. Bu malzeme yapılarının hücre verimleri yaklaşık %20 iken, modül verimleri %13 seviyelerine düşmektedir [30]. İnce film hücre yapısı Şekil 3.7’de gösterildiği gibidir.

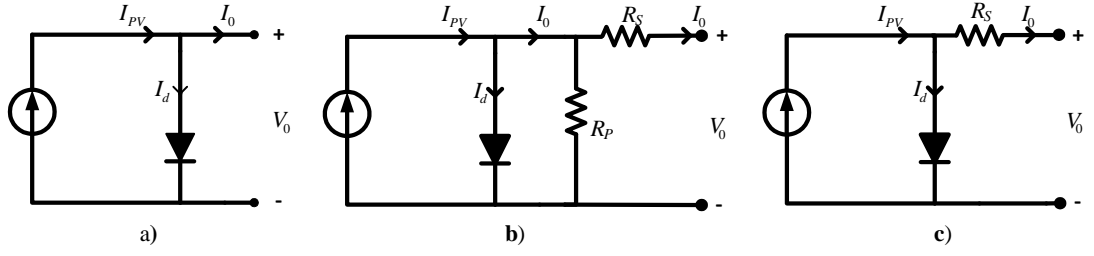


Şekil 3.7. İnce film panel ve hücre yapısı

3.3. PV Hücresinin Modellenmesi

Güneş hücrelerinin verimi, üretildiği malzemeye ve hava koşullarına göre değişiklik gösterebilmektedir. Çıkış gücü güneş ışınımına ve sıcaklığa bağlı olarak yüksek oranda değişkenlik göstermektedir. Bu durumda doğrusal olmayan akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) karakteristikleri elde edilmektedir. Bu eğriler üzerinde, sistemin o andaki çalışma koşulları için maksimum çıkış gücü ürettiği, maksimum güç noktası olarak adlandırılan bir çalışma noktası mevcuttur. PV sistemleri tasarlamak için, bir PV hücresinin eşdeğer devresinin nasıl modellendiğini bilmek gereklidir.

İdeal bir PV hücre genellikle diyot akımı, fotovoltajik akım ve elektron yüklerinin taşınmasını temsil etmek için bir akım kaynağı içeren elektriksel eşdeğer devre ile gösterilir.



Şekil 3.8 PV hücrenin elektriksel eşdeğer devreleri: a) Tek diyotlu b) Seri ve paralel dirençli tek diyotlu c) Seri dirençli tek diyotlu model

Şekil 3.8’de güneş pilinin basitleştirilmiş tek diyotlu eşdeğer devreleri gösterilmektedir [32,33]. Basit diyot modelinden, diyot akımı Denklem 3.2’deki gibi ifade edilebilir.

$$I_d = I_s \left[e^{\left(\frac{qV_0}{\alpha k T^C} \right)} - 1 \right] \quad (3.2)$$

Burada a ; idealite faktörünü, k ise değeri $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$ olan Boltzmann sabitini ifade etmektedir. q elektriksel yük olup değeri $1.602 \times 10^{-19} \text{ Coloumb (C)}$ ’dur. I_s ters saturasyon akımını temsil eder. T^C , bir hücrenin p-n jonksiyonunun Kelvin ($^\circ\text{K}$) cinsinden sıcaklık değeridir ve kT^C/q değeri p-n jonksiyonunun ısıl gerilim değeri olan V_T ’yi ifade etmektedir ve Denklem 4.2’deki gibi gösterilebilir.

$$I_d = I_s \left[e^{\left(\frac{V_0}{\alpha V_T} \right)} - 1 \right] \quad (3.3)$$

PV hücrenin ürettiği akım; I_{PV} ve diyotun çektiği akım; I_d arasındaki fark çıkış akımını I_0 ’ı vermektedir. Çıkış akımını Denklem 4.3’teki gibi ifade edilir.

$$I_0 = I_{PV} - I_d \quad (3.4)$$

Diyot akımı Denklem 3.4'te yerine konulursa genişletilmiş ifadede çıkış akımı Denklem 3.5 ile elde edilir.

$$I_0 = I_{PV} - I_S \left[e^{\left(\frac{V_0}{aV_T} \right)} - 1 \right] \quad (3.5)$$

Pratikte modelleme yaparken bazı parametrelerinde göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Örneğin; kullanılan malzemelerin ve temas yüzeyinin dirençlerinin toplamı güneş hücresi modelinde seri direnç (R_S) olarak temsil edilmektedir. Buna ek olarak, hücrenin üretim şekline ve iç karakteristiğine bağlı olarak p-n jonksiyonunda bir kaçak akım mevcuttur. Bu akım paralel direnç (R_P) ile temsil edilmektedir. Çıkış akımı, seri ve paralel dirençlerin eklenmesiyle birlikte Denklem 3.6'daki halini alır.

$$I_0 = I_{PV} - I_S \left[e^{\left(\frac{V_0 + I_0 R_S}{aV_T} \right)} - 1 \right] \quad (3.6)$$

Böylece yalnızca R_S direnci kullanılarak basitleştirilmiş Şekil 3.8'deki eşdeğer devre modellenebilir. Bu durumda çıkış akım ve gerilim ifadeleri sırasıyla Denklem 3.7 ve Denklem 3.8'deki gibi ifade edilebilir.

$$I_0 = I_{PV} - I_S \left[e^{\left(\frac{V_0 + I_0 R_S}{aV_T} \right)} - 1 \right] \quad (3.7)$$

$$V_0 = aV_T \times \ln \left[\frac{I_{PV} - I_0}{I_S} + 1 \right] - I_0 R_S \quad (3.8)$$

Güneş hücreleri genellikle 1-2 W civarında olan düşük çıkış güçlerine sahiptirler. Daha yüksek güçler elde edebilmek için bu hücreler birbirlerine seri veya paralel olarak bağlanırlar. Hücrelerin seri olarak bağlanması çıkış gerilimini arttırırken, hücreleri paralel olarak bağlamak çıkış akımını yükseltir. Sonuç olarak bir PV sistem birçok modül ve diziden oluşmaktadır.

Güneş paneli üreten firmalar genellikle açık devre gerilimi (V_{OC}), kısa devre akımı (I_{SC}) ve maksimum güç (P_{max}) gibi büyüklükleri panel kataloglarında bulundurlar. Bu nedenle elde edilen büyüklüklerin bilinen değerler olan V_{OC} ve I_{SC} cinsinden ifade edilmesi gerekmektedir. I_{PV} akımı ışınımına bağlı olduğundan Denklem 3.9'daki gibi ifade edilebilir.

$$I_{PV} = I_{SC} \times k \quad (3.9)$$

Burada k standart test koşullarında (1000W/m^2 ve 25°C) bulunan anlık ışınım seviyesini göstermektedir. Bu yüzden, I_{PV} ve I_{SC} eşit alınır. Bir PV hücrenin açık devre gerilimi Denklem 3.10'da verilir.

$$V_{OC} = aV_T \times \ln \left[\frac{I_{SC}}{I_S} + 1 \right] \quad (3.10)$$

I_S değerinin küçük olmasından dolayı denklem daha basitleştirilirse V_{OC} Denklem 3.11'deki gibi olur.

$$V_{OC} \cong aV_T \times \ln \left[\frac{I_{SC}}{I_S} \right] \quad (3.11)$$

Denklem 3.11'den elde edilen saturasyon akımı Denklem 3.12 ile ifade edilir.

$$I_S = \frac{I_{SC}}{e^{\left(\frac{V_{OC}}{aV_T}\right)}} \quad (3.12)$$

Bu denklem, çıkış akımının elde edildiği Denklem 3.7'de yerine konulursa çıkış akımı Denklem 3.13'deki gibi olur.

$$I_0 = I_{SC} - \frac{I_{SC}}{e^{\left(\frac{V_{OC}}{aV_T}\right)}} \left[e^{\left(\frac{V_0 + I_0 R_S}{aV_T}\right)} - 1 \right] \quad (3.13)$$

Ters saturasyon akımı (I_S) oldukça küçük bir değer olduğundan ihmal edilebilir ve Denklem 3.14 elde edilir.

$$I_0 \cong I_{SC} - \frac{I_{SC}}{e^{\left(\frac{V_{OC}}{aV_T}\right)}} \left[e^{\left(\frac{V_0 + I_0 R_S}{aV_T}\right)} \right] \quad (3.14)$$

$$I_0 = I_{SC} \left[1 - e^{\left(\frac{V_0 - V_{OC} + R_S I_0}{aV_T}\right)} \right] \quad (3.14a)$$

Böylece temel olarak bir PV hücrenin çıkış akımını modelleyen matematiksel eşitlik Denklem 3.14a ile elde edilmiştir.

4. DENEYSEL SİSTEM VE YÖNTEM

DeneySEL sistem kurulumu, 37.00° Kuzey enlemi 36.2° Doğu boylamında bulunan Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi (OKÜ) Karacaoğlan Yerleşkesi içerisindeki Mühendislik Fakültesi binasının çatı katında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1'de sistem kurulumunun gerçekleştirildiği binanın uydu görüntüsü verilmiştir.

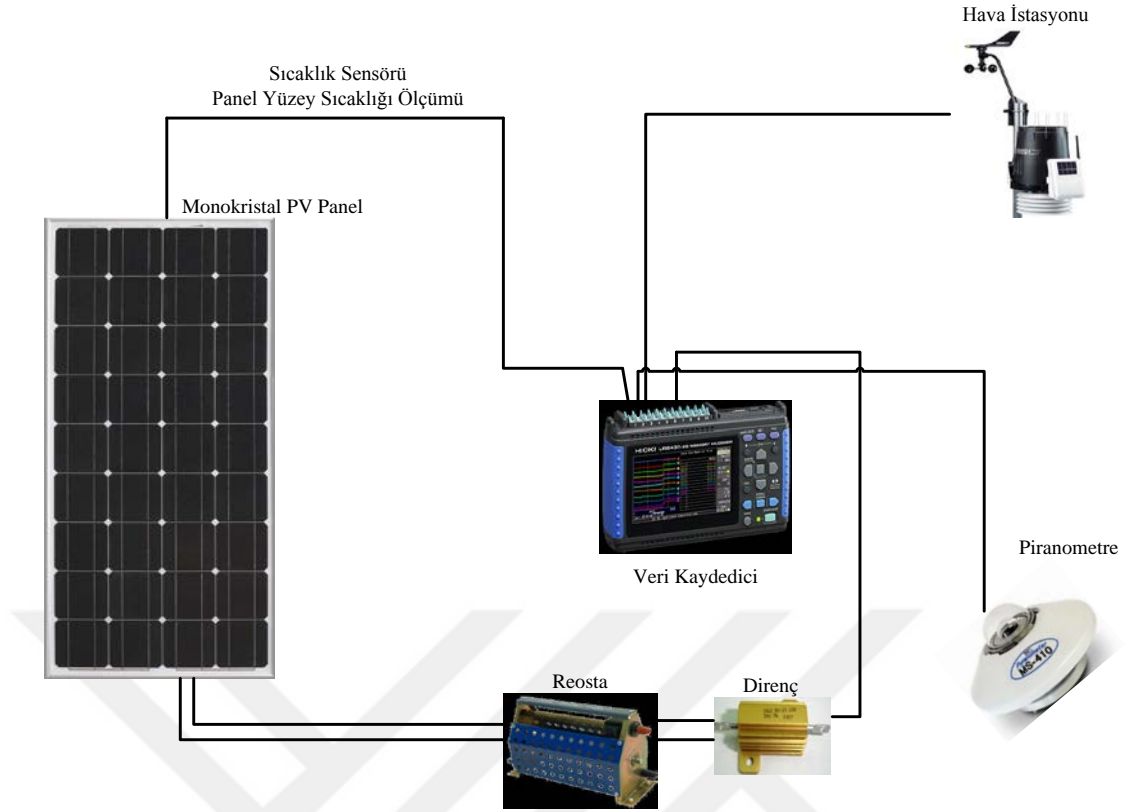


Şekil 4.1. OKÜ Mühendislik Fakültesi binası uydu görüntüsü

Bu çalışmada ilk olarak Matlab@Simulink ortamında PV panelin modeli oluşturulmuştur. Modelin giriş değişkenleri güneş ışınımı ve panelin yüzey sıcaklığı iken çıkış değişkenleri akım, gerilim ve güç parametreleridir. Fakülte binasının çatısına kurulan sistem ile gerçek ortam koşullarında monokristal bir PV panelin performans sonuçları incelenmiştir.

4.1. Ölçüm Sisteminin Kurulumu

Yapılan çalışmada, oluşturulan PV modelin ve hesaplamaların doğruluğunu ispatlamak için elde edilen değerler gerçek ortam koşullarıyla karşılaştırılmıştır. Panelin dış ortam koşullarında akım gerilim ve güç değerlerini ölçmek için Şekil 4.2'deki şematik sistem tasarlanmıştır.



Şekil 4.2. Ölçüm sistemini şematik gösterimi

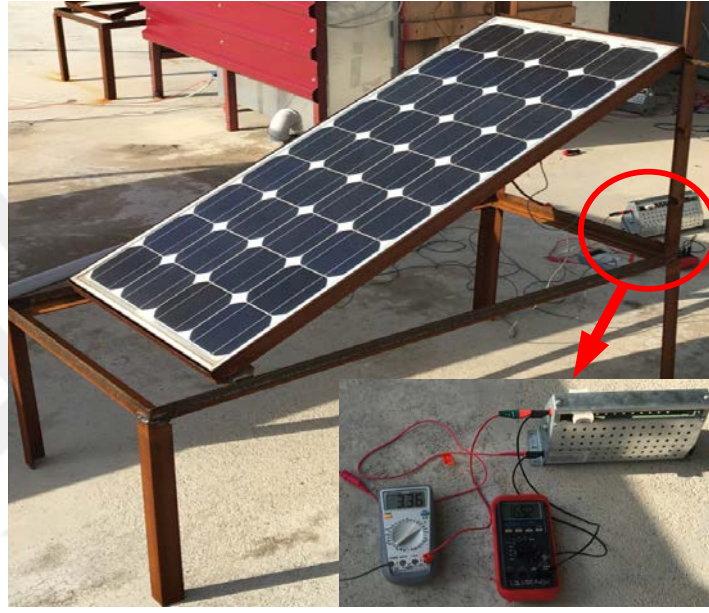
Şematik sistem monokristal PV panel, panelin yüzey sıcaklığını ölçmek için K tipi termokapl, güneş ışınımını ölçmek için piranometre, ortam sıcaklığı ve rüzgar hızını ölçmek için hava istasyonu ve elektriksel yük olarak da dirençlerden oluşmaktadır.

Monokristal PV panelin standart test koşulları altındaki etiket değerleri Çizelge 4.1’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.1. GH90M36 PV panelin katalog değerleri

Elektriksel Parametreler (1000W/m², 25 °C)	
Maksimum Güç- P_{mpp} (W)	90
Maksimum Gerilim- V_{mpp} (V)	18
Maksimum Akım- I_{mpp} (A)	5.1
Kısa Devre Akımı- I_{sc} (A)	5.45
Açık Devre Gerilimi (V)	20.9
Kısa Devre Akımı Sıcaklık Katsayısı (1/K)	0.0006
Açık Devre Gerilimi Sıcaklık Katsayısı (1/K)	-0.0037

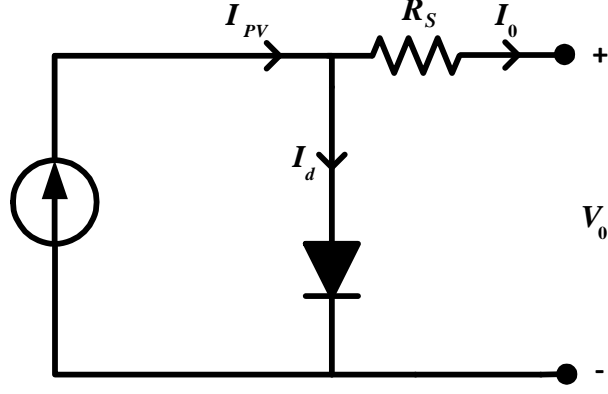
Deneysel sistemin kurulduğu bölge Çelik ve Açıkgöz (2007)'ün optimum eğim açısını belirledikleri bölgeye yakın mesafede olduğundan dolayı PV panel 35° açıyla güney yönüne doğru yerleştirilmiştir [12]. Sistemde PV panelin gerilim değeri reosta direnci üzerinden ölçülmüştür. Akım değeri ise reostaya direncine göre oldukça düşük bir direnç değerine sahip olan yük üzerinden gerilim değeri alınarak daha sonra akım değerine dönüştürülüp ölçülmüştür. Kurulan sistemin görüntüsü Şekil 4.3'teki gibidir.



Şekil 4.3. PV panelin ve elektriksel yükün bulunduğu platform

4.2. Tasarlanan PV Model

PV modelin tasarlanmasında [17]'de yapılan çalışma dikkate alınmıştır. Modelde Şekil 4.4'te verilen basitleştirilmiş eşdeğer devre modeli dikkate alınarak PV akımı gerilimin bir fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. Sadece üretici firma katalog değerleri kullanılarak modelleme yapılmıştır. Oluşturulan modelde giriş parametreleri ışınım ve panelin yüzey sıcaklığı, çıkış parametreleri ise PV panelin akımı, gerilimi ve gücüdür.



Şekil 4.4. Basite indirgenmiş elektriksel eşdeğer devre modeli

$$I_0 = I_{sc} \left[1 - K_a \left(e^{\left(\frac{V_0}{K_b \cdot V_{oc}} \right)} - 1 \right) \right] \quad (4.1)$$

$$K_a = \left(1 - \frac{I_{mpp}}{I_{sc}} \right) \cdot e^{\left(\frac{-V_{mpp}}{K_b \cdot V_{oc}} \right)} \quad (4.2)$$

$$K_b = \frac{\left(\frac{V_{mpp}}{V_{oc}} - 1 \right)}{\ln \left(1 - \frac{I_{mpp}}{I_{sc}} \right)} \quad (4.3)$$

Denklem 4.2 ile Denklem 4.3'teki K_a ve K_b katsayıları aşağıdaki panel parametrelerine göre değişmektedir.

- I_{sc} Kısa Devre Akımı
- I_{mpp} Maksimum Güç Noktasındaki Akım
- V_{oc} Açık Devre Gerilimi
- V_{mpp} Maksimum Güç Noktasındaki Gerilim

Bu katalog parametrelerinin ışınım ve/veya sıcaklıkla ilişkili değişimleri aşağıda verilmiştir.

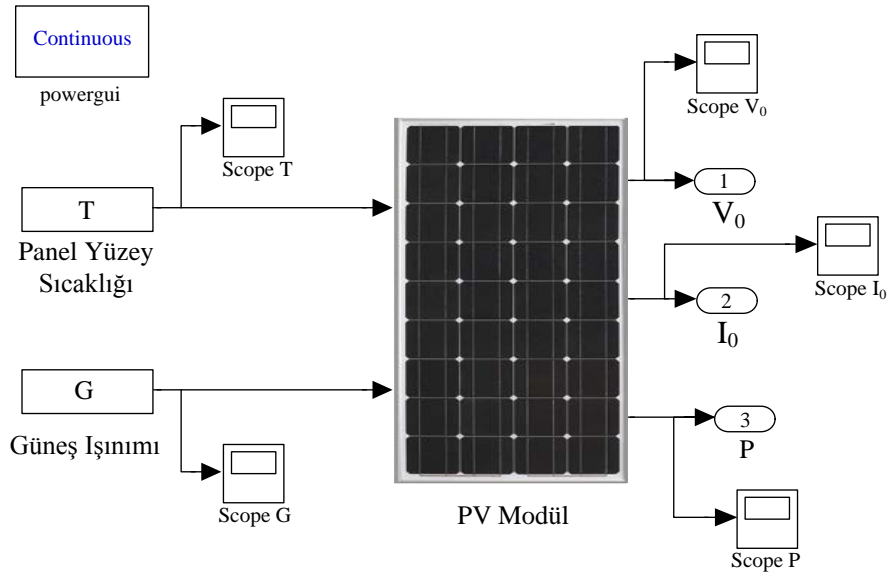
$$I_{sc}(G, T_c) = I_{sc} \cdot \frac{G}{G_s} \left[1 + \alpha (T_c - T_s) \right] \quad (4.4)$$

$$I_{mpp}(G, T_c) = I_{mpp} \cdot \frac{G}{G_s} \left[1 + \alpha (T_c - T_s) \right] \quad (4.5)$$

$$V_{oc}(T_c) = V_{oc} + \beta (T_c - T_s) \quad (4.6)$$

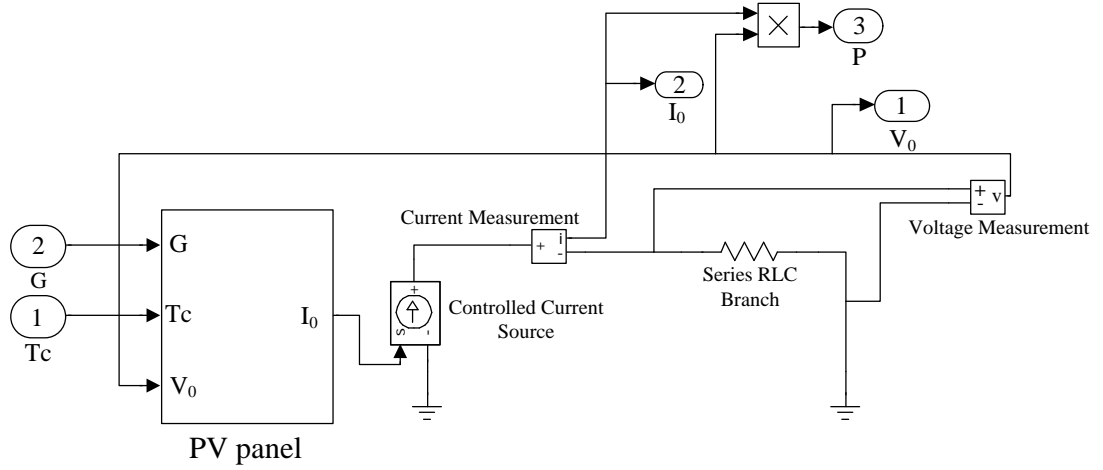
$$V_{mpp}(T_c) = V_{mpp} + \beta (T_c - T_s) \quad (4.7)$$

I_{sc} , I_{mpp} , V_{oc} ve V_{mpp} parametreleri standart test koşullarında tanımlanan ve panelin üretici firma katalogunda verilen değerlerdir. G ve T_c ifadeleri sırasıyla güneş ışınımını ve hücre sıcaklığını ifade etmektedir. Standart test koşullarında ışınım değeri $G_{STC}=1000 \text{ W/m}^2$ hücre sıcaklığı değeri ise $T_{STC}=25 \text{ °C}$ 'dir. α ve β değerleri ise sırasıyla kısa devre akımının ve açık devre geriliminin sıcaklık katsayılarını ifade etmektedir.



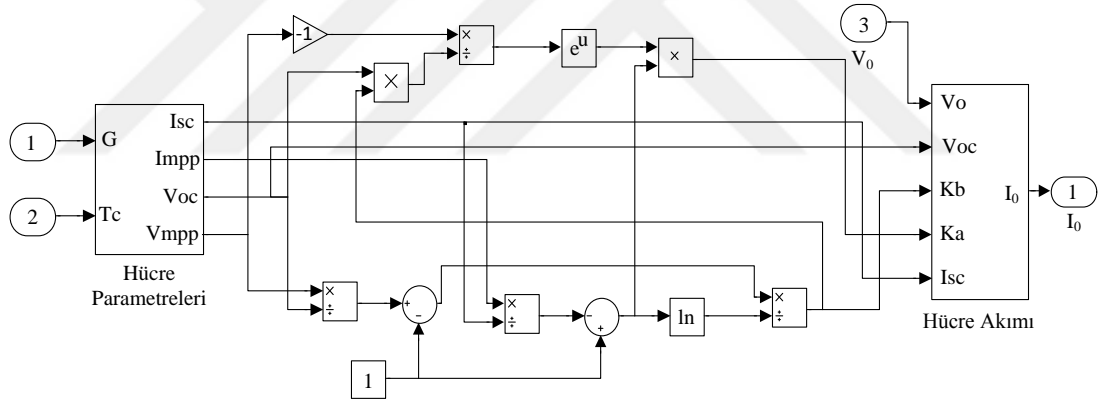
Şekil 4.5. PV panel modelinin Simulink bloğu

PV modele ait Matlab@Simulink bloğu Şekil 4.5'te verilmiştir. Bu çalışmada kullanılmış olan PV panele ait katalog bilgileri Çizelge 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.6. PV modülün alt model bloğu

PV modülün alt blok şeması Şekil 4.6’da verilmiştir. Bu alt blokta yük olarak bir direnç bağlanmıştır ve bu direnç üzerinden modelin akım ve gerilim değerleri ölçülmüştür.



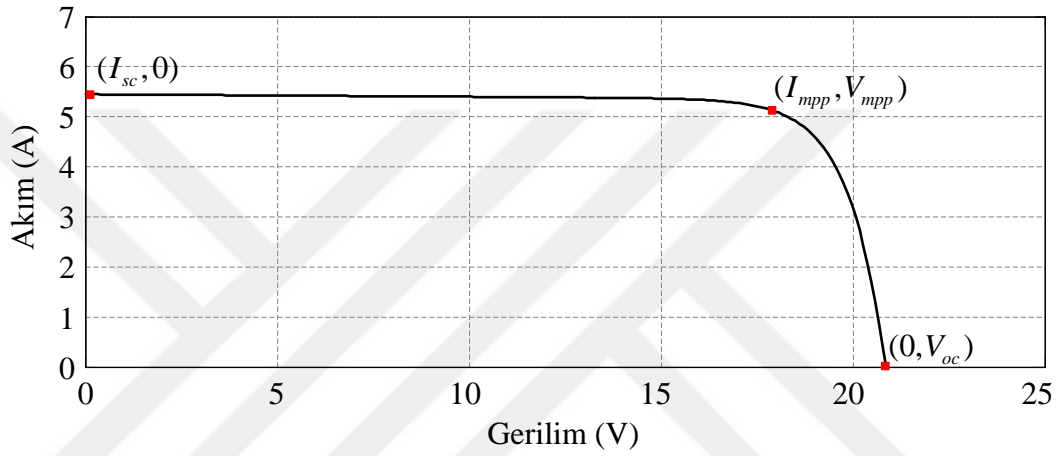
Şekil 4.7. PV panelin alt model bloğu

PV panel bloğunun alt blok şeması Şekil 4.7’de verilmiştir. Bu blok şemasında panelin katalog değerlerinin ışınım ve sıcaklığa bağlı olarak değiştiği hücre parametreleri bloğu kullanılarak hücre akımı değerinin elde edildiği gösterilmiştir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

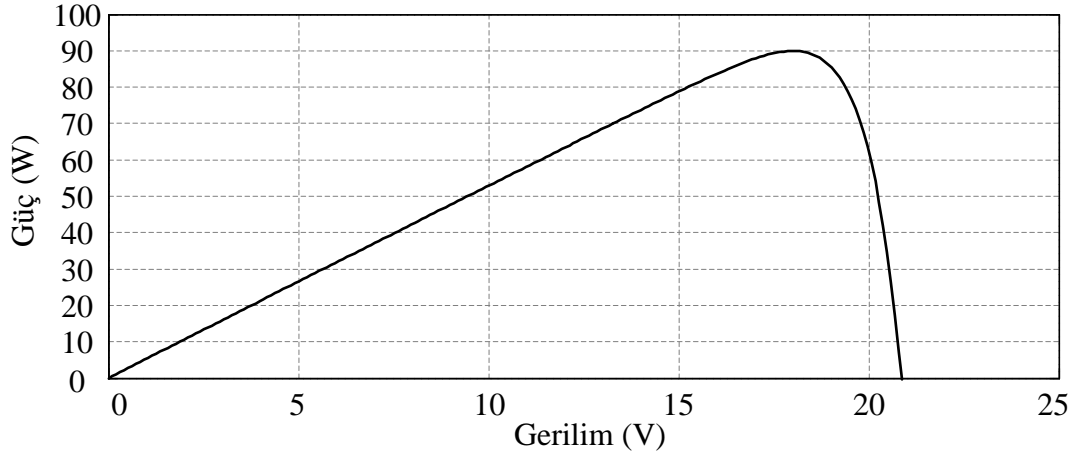
5.1. PV Modelin Sonuçlarının Doğrulanması ve Simülasyon Sonuçları

Kullanılan matematiksel denklemler ve oluşturulan modelin Matlab@Simulink programında doğruluğunu göstermek öncelikle katalog değerleri vasıtasıyla elektriksel performans grafikleri elde edilmiştir. Bu grafikler standart test koşulları (STC) için akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) eğrileridir.



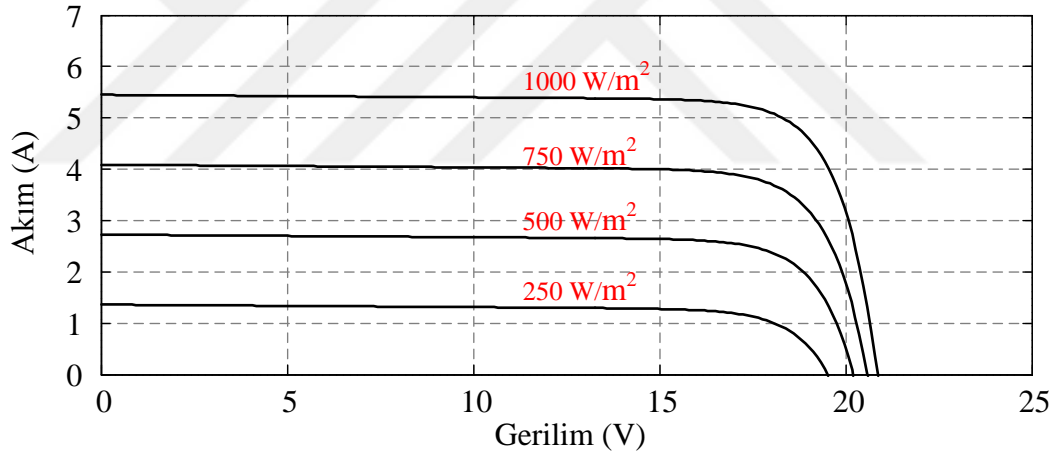
Şekil 5.1. PV panelin STC' de akım-gerilim eğrisi

Şekil 5.1'de modellenen PV panelin STC'de akım-gerilim eğrisinin grafiği çizdirilmiştir. Elde edilen eğrinin katalog bilgilerinde yer alan STC için grafiğin akım eksenini kestiği nokta kısa devre akımıdır ve değeri 5.45 A'dır; gerilim eksenini kestiği nokta ise açık devre gerilimi gerilimidir ve değeri 20.9 V'tur. Ayrıca panelin maksimum güç noktasındaki (MPP) akım değeri 5.1 A iken gerilim değeri ise 18 V değerindedir.



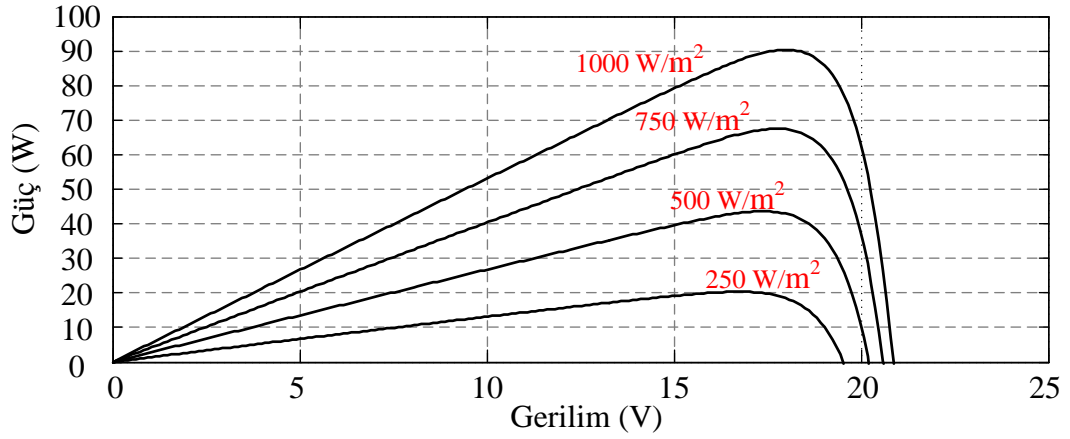
Şekil 5.2. PV panelin STC' de güç-gerilim eğrisi

Şekil 5.2'de modellenen PV panelin STC'deki güç-gerilim eğrisi çizdirilmiştir. Panelin katalog değeri olan 90 W'lık maksimum güç değeri modelleme sonucunda çizdirilen eğriden de görülebilmektedir.



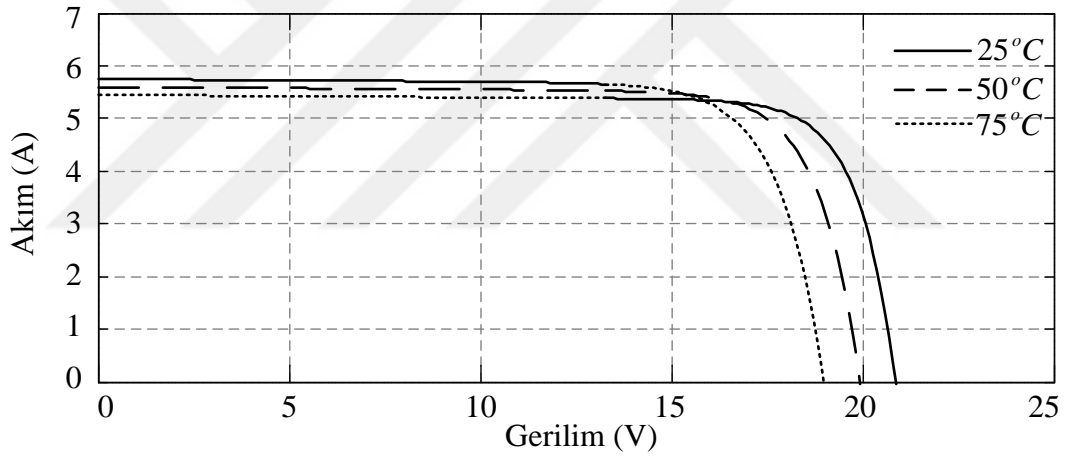
Şekil 5.3. PV panelin farklı ışınım değerlerinde akım-gerilim eğrisi

Güneş ışınımı değeri panelin enerji kazancında önemli bir etkidir. Şekil 5.3'deki grafik eldesi için sıcaklık değeri 25 °C'de sabit tutulup ışınım değerleri 1000 W/m², 750 W/m², 500 W/m² ve 250 W/m² olarak kademeli bir şekilde azaltılmıştır. Belirtilen koşullar altında ışınım değerinin artışına bağlı olarak panelden elde edilen akım ve gerilim miktarının da orantısal bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçla yüksek ışınım seviyelerinde daha fazla elektrik enerjisi elde edileceği görülmektedir. Ayrıca ışınım miktarındaki artış panelin çıkış akımını doğrudan etkilerken çıkış gerilimini az miktarda etkilemektedir.



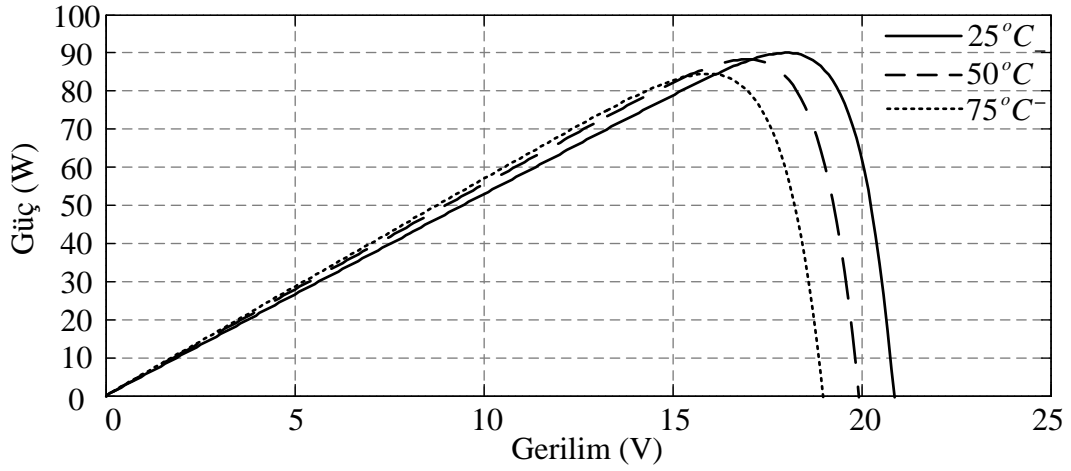
Şekil 5.4. PV panelin farklı ışınım değerlerinde güç-gerilim eğrisi

Şekil 5.4'te PV panelin farklı ışınım seviyelerinde güç-gerilim eğrisi çizdirilmiştir. Işınım miktarı arttıkça güç kazancında önemli miktarda arttığı görülmektedir.



Şekil 5.5. PV panelin farklı sıcaklık değerlerinde akım-gerilim eğrisi

Şekil 5.5'te PV panelin ışınım değeri 1000 W/m^2 değerinde sabit tutularak sıcaklık değeri 25°C , 50°C ve 75°C olarak verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere modül sıcaklığı arttığında çıkış gerilimi bariz bir şekilde azalırken çıkış akımı da az miktarda da olsa azalmaktadır.

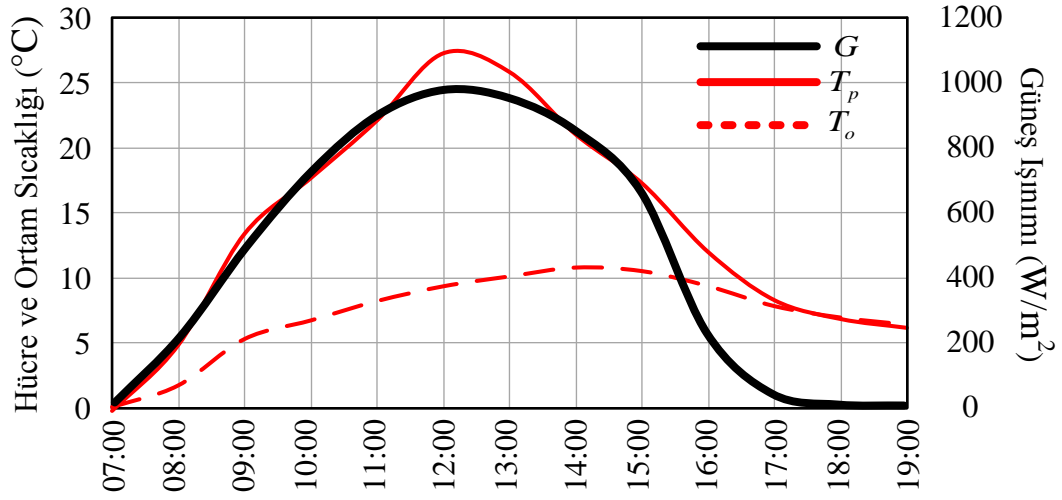


Şekil 5.6. PV panelin farklı sıcaklık değerlerinde güç-gerilim eğrisi

PV panelin farklı hücre sıcaklıklarında güç-gerilim eğrisi Şekil 5.6'da verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere hücre sıcaklığı arttığında çıkış geriliminde azalma meydana gelmektedir. Dolayısıyla panelin gücünde de azalma olmaktadır.

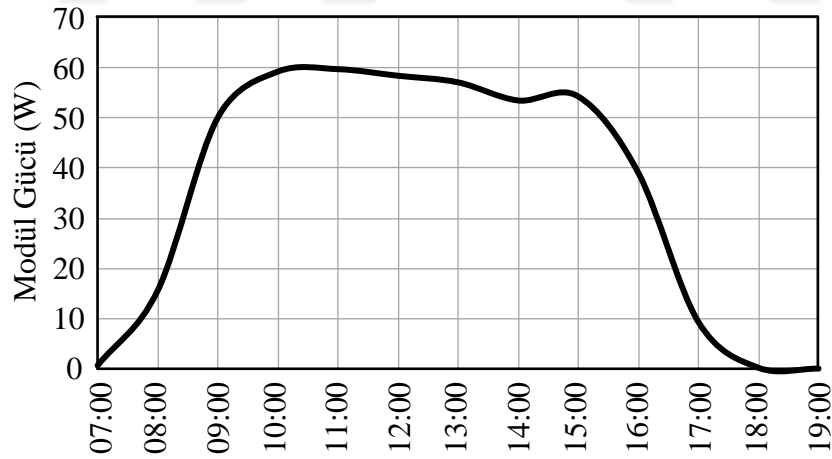
5.2. Deneysel Sistem Ölçüm Sonuçları

Deneysel düzenden alınan ölçüm sonuçları 15.02.2017 ile 05.03.2017 tarihleri aralığındadır. Bu tarih aralıklarında güneş ışınımı, panel ve ortam sıcaklığı, panelin çıkış akımı, gerilimi ve gücü gibi elektriksel parametrelerinin davranışları incelenmiştir. Aşağıda verilen grafiklerde bu değerlerden birkaçının sonuçları detaylı olarak incelenmiştir.



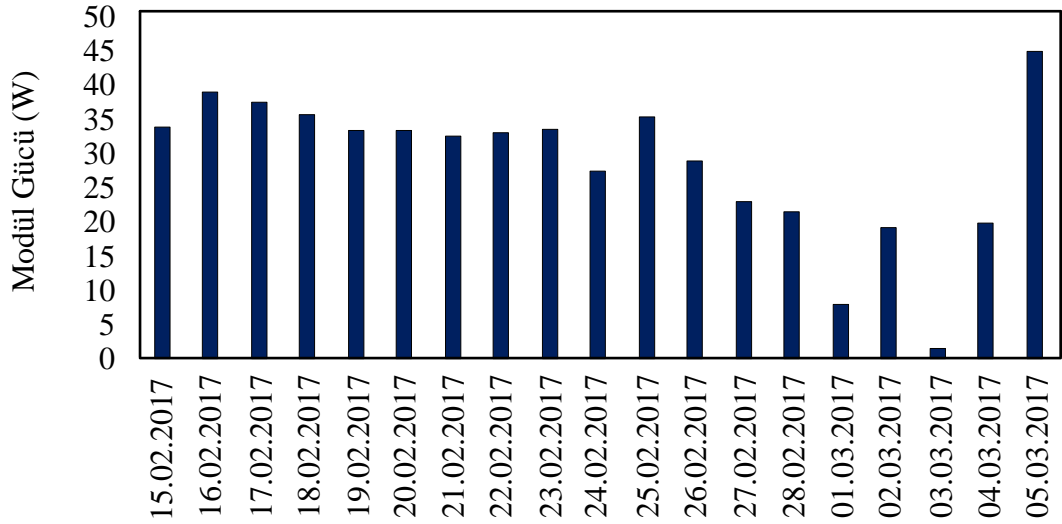
Şekil 5.7. 15.02.2017 tarihindeki ölçüm sonuçları

Şekil 5.7’de hücre ve ortam sıcaklığı ile ışınım seviyesinin saatlik ortalama değerleri verilmiştir. Grafik incelenecek olursa ortam sıcaklığı gün içerisinde en yüksek 10 °C civarına çıkmakta iken hücre sıcaklığı 27 °C’ye kadar yükselmektedir. Işınım miktarına bakılacak olursa güneşin en tepede olduğu saat 12:00-13:00 arasında en yüksek değeri 973 W/m²’ye ulaşmaktadır.



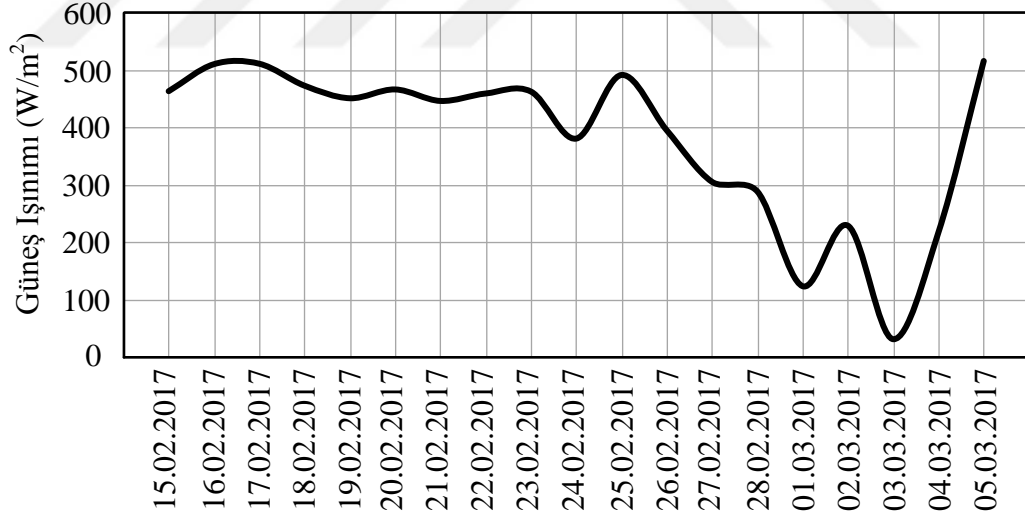
Şekil 5.8. 25.02.2017 tarihinde elde edilen PV panel saatlik ortalama gücü

Şekil 5.8’de PV panelin 25.02.2017 tarihindeki saatlik ortalama ürettiği güç grafiği verilmiştir. Gün içerisindeki güç üretimi incelenecek olursa güneş ışınımına paralel olarak PV panel 10:00-11:00 arasında maksimum güç üretimini gerçekleştirmiştir. Bu saat aralıklarında yaklaşık olarak 60 W’lık bir güç üretimi söz konusudur.



Şekil 5.9. PV panellerin ölçüm periyodu boyunca ürettiği ortalama güç değerleri

Şekil 5.9'da PV panellerin günlük olarak ortalama ürettikleri güç değerleri verilmiştir. Grafik incelenecek olursa mart ayının ilk günlerinde panelin ürettiği güç miktarı oldukça azalmıştır. Bunun sebebi havanın kapalı olmasıdır ve güneş ışınımının enerji üretimi için yetersiz kalmasıdır.



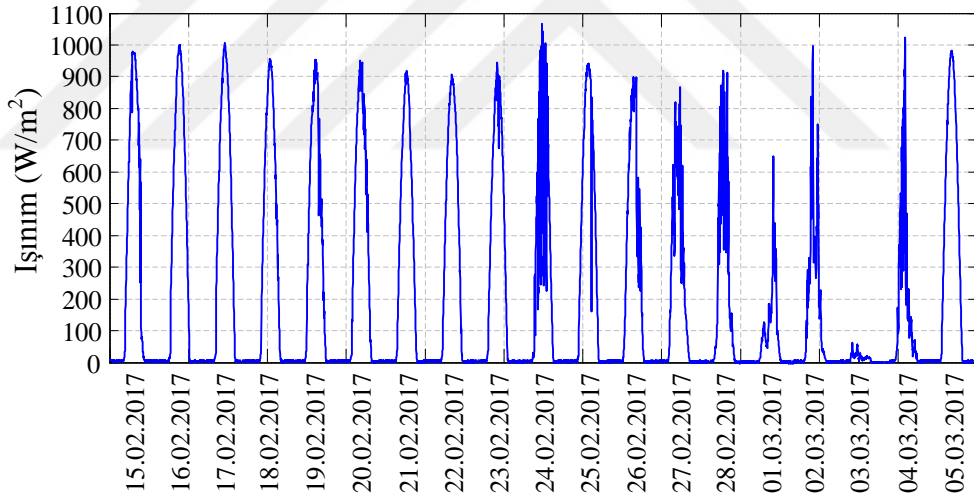
Şekil 5.10. Ölçüm periyodu boyunca elde edilen ışınım değerleri

Şekil 5.10'da ölçülen ışınım miktarının günlük olarak ortalama değerleri görülmektedir. Işınım miktarının panelin enerji kazancıyla doğrudan ilişkili olduğu Şekil 5.9 ve Şekil 5.10 karşılaştırılarak görülebilir. Işınım miktarının yüksek olduğu günlerde panelin ürettiği güç miktarının da yüksek olduğu görülmektedir.

5.3. Oluşturulan Model ve Deneysel Sistem Sonuçlarının Karşılaştırılması

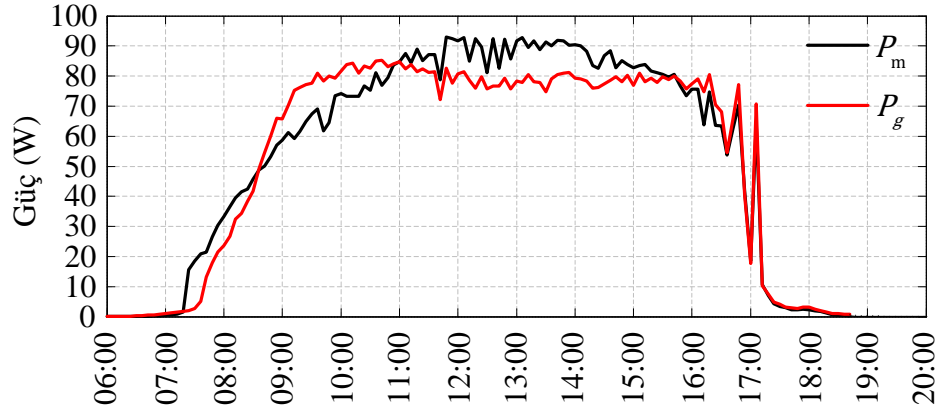
Oluşturulan PV modelin doğruluğunu kanıtlamak için Şekil 4. 2'deki ölçüm sistemi tasarlanmıştır. PV panel ve piranometre 35° lik açıyla yerleştirilmiştir. Gerilim değerinin ölçümü için yük olarak reosta kullanılmıştır. PV panelin akım değerini ölçmek için ise reosta direncine göre çok küçük bir büyüklükte olan direnç yüke seri bağlanmıştır. Böylece gerçek ortam şartlarında 35°'de panel yüzeyine düşen ışınım ve PV panelin üreteceği akım ve gerilim değerleri 19 gün boyunca ölçülmüştür. Aynı koşullar altında Matlab@Simulink'te oluşturulan PV modelden akım, gerilim ve güç değerleri elde edilmiştir.

Gerçek ortam koşullarında yapılan ölçüm sonuçları ile modelin simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Şekil 5.11'de ölçüm periyodu boyunca elde edilen ışınım miktarının grafiği verilmiştir.



Şekil 5.11. Ölçüm periyodu boyunca elde edilen ışınım grafiği

Şekil 5.11'de piranometreden elde edilen toplam ışınım değerlerinin grafiği verilmiştir. Grafiğe bakıldığında gün içerisinde zaman zaman bulutlanmadan dolayı ışınım miktarının ani bir şekilde azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.12. PV model ve deneysel sistem güç karşılaştırması

Şekil 5.12’de monokristal PV panele ait güç karşılaştırması verilmiştir. Grafiğe bakıldığında model sonucunda elde edilen eğri ile dış ortam koşullarında elde edilen uyumlu olduğu görülmektedir. Üretilen güç miktarı açısından farklılığın nedeni deneysel sistemde gerçekleşen kayıplar olarak gösterilebilir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemizde nüfusun artışı ve gelişen teknoloji ile beraber enerji tüketiminin artması ve bu duruma karşın enerji kaynakları açısından ülkemizin büyük oranda dışa bağımlı olması, enerji talebinin yeterli miktarda karşılanamamasına neden olmaktadır. Ülkemizde enerji tüketimi yüksek oranda fosil kaynaklardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtların yakın zamanda tükenecek olması ve çevre kirliliği gibi etkilere sebep olmasından dolayı ülkeler enerji politikalarında yenilenebilir enerjiye bir hayli önem vermektedir.

Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları bakımından gelişmiş ülkelere göre çok daha fazla bir potansiyele sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en bol, kullanışlı ve çevre dostu olarak güneş enerjisi gelmektedir. Ülkemiz güneş enerjisi kuşağı içerisinde bir konuma sahiptir. Bu önemli konuma sahip olmamızdan dolayı güneş şiddeti ve güneşlenme süresi bakımından dünya ortalamalarının çok üzerinde değerlere sahibizdir. Bu bağlamda güneş enerjisinden daha fazla faydalanmak için çalışmalar sıklaştırılmalıdır.

PV paneller üzerlerine düşen güneş ışınımını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürürler. Ülkemiz güneş enerjisi kuşağında olduğundan dolayı birçok bölgede güneş enerjisinden elektrik eldesi gerçekleştirilebilir. Fakat güneş panellerinin maliyetlerinin yüksek olması tüketiciler için önemli bir dezavantaj oluşturmaktadır. Ayrıca güneş enerjisi sistemini kurmadan önce kurulumun yapılacağı bölgenin özellikleri ve ortam koşullarına karşı panellerin vereceği sonuçların incelenmesi önem arz etmektedir.

Bu çalışmada gerçek ortam koşullarında güneş enerji sistemlerinde panel performans sonuçlarını doğrudan etkileyen ve maksimum enerji eldesi için ışınım ve sıcaklık faktörlerine bağlı olarak Monokristal yapıdaki bir PV panelin modellenmesi yapılmıştır. Oluşturulan PV model ile deneysel sistem sonuçları karşılaştırılmıştır. Osmaniye ili için yapılan bu çalışmada iklimsel değerlerin ölçümü gerçekleştirilerek panelin güç üretimine doğrudan etki eden parametreler incelenmiştir. Panelin güç üretiminde ışınım ve hücre sıcaklığının etkisi hem modelleme sonucunda hem de

deneysel sistem tasarımı sonucunda gözlemlenmiştir. Deneysel sistem ve modelleme sonucunda elde edilen güç çıktısı karşılaştırmasına bakıldığında birbirleri ile paralel sonuçlarda olduğu görülmektedir. Fakat güç miktarı bakımından deneysel sistem sonucunun daha az bir seviyede olduğu gözlemlenmiştir. Bu farklılığın sebebi deneysel sistem sonucundaki oluşan kayıplar olabilir. Ayrıca aradaki bu farkı minimum seviyeye getirmek için PV panel optimum bir eğim açısı ile yerleştirilebilir.



KAYNAKLAR

- [1] Yanıktepe, B., Genç, Y.A., Establishing new model for predicting the global solar radiation on horizontal surface, International Journal of Hydrogen Energy, 40(44), 15278-15283, 2015.
- [2] “Energy Informative (EI)” Erişim adresi: <http://energyinformative.org/> Erişim tarihi: 10.08.2017.
- [3] Liu, Y.H., Liu, C.L., Huang, J.W., Chen, H.J., Neural-network-based maximum power point tracking methods for photovoltaic systems operating under fast changing environments, Solar Energy, 89, 42-53, 2013.
- [4] “BP Energy Outlook” Erişim adresi: http://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy_economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf Erişim tarihi: 10.08.2017.
- [5] Barış, K., Küçükali, S., Availability of Renewable Energy Sources in Turkey: Current Situation, Potential, Government Policies and the EU Perspective, Energy Policy, 42, 377-391, 2012.
- [6] “Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü” Erişim adresi: <http://www.eie.gov.tr/> Erişim tarihi: 10.08.2017.
- [7] “T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı” Erişim adresi: <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> Erişim tarihi: 10.08.2017.
- [8] “Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA)” Erişim adresi: <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> Erişim tarihi: 10.08.2017.
- [9] Villalva, M. G., Gazoli, J. R., Filho, E. R., Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays, IEEE Transactions On Power Electronics, 24, 1198-1208, 2009.
- [10] Ding, K., Bian, X., Liu, H., Peng T., A MATLAB-Simulink-Based PV Module Model and Its Application Under Conditions of Nonuniform Irradiance, IEEE Transactions On Energy Conversion, 27, 864-872, 2012.
- [11] Tsai, H.L., Insolation-Oriented model of photovoltaic module using Matlab Simulink, Solar Energy, 84, 1318-1326, 2012.

- [12] Çelik, A. N., Açıkgöz, N., Modelling and experimental verification of the operating current of mono-crystalline photovoltaic modules using four and five parameter models, *Applied Energy*, 84, 1-15, 2007.
- [13] Soto, W. D., Klein, S. A., Beckman W. A., Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance, *Solar Energy*, 80, 78-88, 2006.
- [14] Lo Brano, V., Orioli, A., Ciulla, G., On the experimental validation of an improved five-parameter model for silicon photovoltaic modules, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 105, 27-39, 2012.
- [15] Ishaque, K., Salam, Z., Taheri, H., Simple, fast and accurate two-diode model for photovoltaic modules, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95, 586-594, 2010.
- [16] Chatterjee, A., Keyhani, A., Kapoor, D., Identification of Photovoltaic Source Models, *IEEE Transactions On Energy Conversion*, 26, 883-889, 2011.
- [17] Bellini, A., Bifaretti, S., Iacovone, V., Cornaro C., Simplified Model of A Photovoltaic Module, *Applied Electronics*, 47-51, Rome, Italy, 9-10 September 2009.
- [18] Amrouche, B., Improvement and experimental validation of a simple behavioural model for photovoltaic modules, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 128, 204-214, 2014.
- [19] Bellia, H., Youcef, R., Fatima, M., A Detailed modeling of photovoltaic module using MATLAB, *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 3, 53-61, 2014.
- [20] Ayaz, R., Nakir, I., Tanrioven, M., An Improved Matlab-Simulink Model of PV Module considering Ambient Conditions, *International Journal of Photoenergy*, 2014, 1-6, 2014.
- [21] Amin, N., Lung, C. W., Sopian, K., A practical field study of various solar cells on their performance in Malaysia, *Renewable Energy*, 34, 1939-1946, 2014.
- [22] Matchanov, N. A., Mirzabaev, A. M., Umarov, B. R., Malikov, M. A., Kamoliddinov, A. U., Bobozhonov, K. A., Experimental Studies of the Monocrystal and Polycrystal Characteristics of Silicon Photovoltaic Modules under Environmental Conditions of Tashkent, *Applied Solar Energy*, 53(1), 23-30, 2017.

- [23] Bashir, M. A., Ali, H. M., Khalil, S., Ali, M., Siddiqui, A. M., Comparison of Performance Measurements of Photovoltaic Modules during Winter Months in Taxila, Pakistan, *International Journal of Photoenergy*, 2014, 1-8, 2014.
- [24] Taşçıoğlu, A., Taşkın, O., Vardar, A., A Power Case Study for Monocrystalline and Polycrystalline Solar Panels in Bursa City, Turkey, *International Journal of Photoenergy*, 2016, 1-8, 2016.
- [25] Das, N., Wongsodihardjo, H., Islam, S., Modeling of multi-junction photovoltaic cell using MATLAB/Simulink to improve the conversion efficiency, *Renewable Energy*, 74, 917-924, 2015.
- [26] “National Renewable Energy Laboratory” Erişim adresi: <https://www.nrel.gov/> Erişim tarihi: 07.08.2017.
- [27] “International Renewable Energy Agency” Erişim adresi: <http://www.irena.org/home/index.aspx?PriMenuID=12&mnu=Pri> Erişim tarihi: 07.08.2017.
- [28] “U.S. Energy Information Administration” Erişim adresi: <https://www.eia.gov/> Erişim tarihi: 07.08.2017.
- [29] Parida, B., Iniyar, S., Goic, R., A Review of Solar Photovoltaic Technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1625–1636, 2011.
- [30] El Chaar, L., Iamont, L. A., El Zein, N., Review of Photovoltaic Technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), 2165–2175, 2011.
- [31] Goetzberger, A., Hebling, C., Schock, H. W., Photovoltaic Materials, History, Status and Outlook, *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 40(1), 1–46, 2003.
- [32] Chin, V., J., Salam, Z., Ishaque, K., Cell modelling and model parameters estimation techniques for photovoltaic simulator application: A review, *Applied Energy*, 154, 500-519, 2015.
- [33] Jordehi, A., R., Parameter estimation of solar photovoltaic (PV) cells A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 354-371, 2016.

ÖZGEÇMİŞ

1. **Adı Soyadı** : İlyas ALADAĞ
2. **Doğum Tarihi** : 12.10.1988
3. **Ünvanı** : Araştırma Görevlisi
4. **Öğrenim Durumu**: Yüksek Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Lisans	Elektrik-Elektronik Müh.	Fırat Üniversitesi	2012
Yüksek Lisans	Elektrik-Elektronik Müh.	Fırat Üniversitesi	2017

5. Akademik Ünvanlar:

Görevi	Bölümü	Kurumu	Yıl
Araştırma Görevlisi	Enerji Sistemleri Mühendisliği	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	2014-devam

6. İş Tecrübesi:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Araştırma Görevlisi	Enerji Sistemleri Mühendisliği Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	2014-devam

7. Yayınlar:

8. Yazılan uluslar arası kitaplar veya kitaplarda bölümler:

9. Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

10. Uluslararası ve ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler:

B.Yanıktepe, İ. Aladağ, C. Özalp, C. Aladağ, “Investigation Of Wind Energy Potential Using Weibull Parameters”, 2. International Congress On Engineering And Natural Sciences(ICENS), Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, May 24-28 2016.(Book of Proceedings)

B.Yanıktepe, O. Kara, C. Özalp, İ. Aladağ, “Analysis of Seasonal Solar Energy: A Case Study For Osmaniye, Turkey”, 2. International Congress On Engineering And Natural Sciences(ICENS), Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, May 24-28 2016. (Book of Proceedings)

B.Yanıktepe, O. Kara, C. Özalp, **İ. Aladağ**, “Designing Of Solar Pv System in Rural Areas”, 3. International Congress On Engineering And Natural Sciences(ICENS), Budapest, Hungary, May 24-28 2016. (Book of Abstracts)

İ. Aladağ, B. Yanıktepe, O. Kara, C. Aladağ, “Determining of Weibull Distribution Parameters for a Region”, The 8th International Advanced Technologies Symposium (IATS17), Elazığ, TURKEY, 19-21 Oct 2017. (Oral presantation accepted)

İ. Aladağ, B. Yanıktepe, O. Kara, C. Aladağ, “Estimation of Wind power density based on the Weibull distribution parameters using different methods”, The 8th International Advanced Technologies Symposium (IATS17), Elazığ, TURKEY, 19-21 Oct 2017. (Oral presantation accepted)

O. Kara, B.Yanıktepe, C. Özalp, **İ. Aladağ**, “Osmaniye’de Güneşin Değeri”, Stratejik Kalkınmada Kent Değerleri Sempozyumu: OSMANİYE, 3-5 Mayıs 2016.

11. Diğer yayınlar:

12. Projeler:

Bursiyer, TÜBİTAK 113M090 nolu, “Ters Relüktans Motorlu Elektrikli Otomobilin Tasarımı, İmalatı ve Kontrolü”,2013-2014.

İlyas ALADAĞ, Bülent YANIKTEPE “Matlab/Simulink Programı Kullanılarak Örnek Bir Fotovoltaik (FV) Sistem Tasarımı ve Modellemesi”, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri, Proje No: OKÜBAP- 2016-PT3-009, Osmaniye, Y. Araştırmacı-devam ediyor.