KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TAŞINABİLİR GÜÇ KAYNAKLARINDA MONO VE POLİ KRİSTAL GÜNEŞ PANELLERİNİN KULLANILMASI VE KOMPOZİT MALZEMELER İLE PANELLERİN VERİMİ ARTIRILARAK, PERFORMANS ANALİZLERİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

AZİZ MERAL

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TAŞINABİLİR GÜÇ KAYNAKLARINDA MONO VE POLİ KRİSTAL GÜNEŞ PANELLERİNİN KULLANILMASI VE KOMPOZİT MALZEMELER İLE PANELLERİN VERİMİ ARTIRILARAK, PERFORMANS ANALİZLERİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

AZİZ MERAL

Dr.Öğr. Üyesi Abdulhakim KARAKAYA		
Danışman,	**Kocaeli Üniversitesi**	**.....**
Dr.Öğr. Üyesi Meral ALTINAY		
Jüri Üyesi,	**Kocaeli Üniversitesi**	**.....**
Dr.Öğr. Üyesi Cihan ŞAHİN		
Jüri Üyesi,	**Manisa Celal Bayar Üniversitesi**	**.....**

Tezin Savunulduğu Tarih: 02.09.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, taşınabilir güç kaynaklarında mono ve polikristal güneş panellerinin kullanılması ve kompozit malzemeler ile panellerin verimi arttırılması amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Yüksek lisans eğitimim boyunca desteğini esirgemeyen, çalışmalarıma yön veren deneyimlerinden faydalandığım, değerli danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Abdulhakim KARAKAYA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Arkadaşlarım Harun Emre KIRAN ve Furkan Buğra ÖZTAŞKIN, desteklerinizden ötürü teşekkür ederim, özellikle Harun tez sürecinde en az benim kadar emek harcadın, minnettarım.

Hayatım boyunca desteklerini her zaman hissettiğim babam Mehmet MERAL'e, ablam Selma MERAL'e ve bugünlere gelebilmemde en fazla minneti hak eden rahmetli anneme, yol göstericiliği ile her zaman desteğini hissettiren değerli büyüğüm Atilla KELEŞ'e minnettarlığımı sunar ve teşekkür ederim.

Eylül – 2020 Aziz MERAL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vi
ÖZET vii
ABSTRACT viii
GİRİŞ 1
1. ENERJİ 6
1.1. Yenilenemez Enerji Kaynakları 6
1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları 7
1.3. Yenilenebilir Enerji'nin Önemi 7
1.4. Dünya'da Yenilenebilir Enerji 8
1.5. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji 9
2. GÜNEŞ ENERJİSİ 11
2.1. Güneş Enerjisi Tarihi 12
2.2. Güneş Enerjisi Avantajları ve Dezavantajları 14
2.3. Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Kullanımı 14
2.4. Dünya'da Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Kullanımı 17
2.5. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi 19
2.6. Fotoelektrik 19
2.6.1. Fotovoltaik piller ile enerji üretmenin avantajları ve dezavantajları 21
2.6.2. Hücrelerin elektriksel yapısı 21
3. GÜNEŞ PİLLERİ 23
3.1. Güneş Pillerinin Çeşitleri 24
3.2. Monokristal Güneş Panelleri (Tekli Kristal) 24
3.3. Polikristal Güneş Panelleri (Çoklu Kristal) 25
3.4. Amorf Silisyum Güneş Panelleri (İnce Film) 26
3.5. Diğer Güneş Panel Çeşitleri 27
3.6. Dünyada Panel Kullanımı 27
3.7. Güneş Pillerinin Verimliliği 28
3.7.1. Verim hesabı 28
3.7.2. Verimi etkileyen faktörler 29
3.8. Güneş Pili Sistemleri 29
3.8.1. Şebekeden bağımsız (Off-Grid) 29
3.8.2. Şebekeye bağımlı sistemler (On-Grid) 30
3.9. Güneş Enerjisi Uygulamaları 30
4. BATARYALAR 32
4.1. Lityum-İyon Piller 33
4.2. Telefon Batarya ve Şarj Durumları 33
4.2.1. Güneş paneli ile bataryanın şarj edilmesi 34

5. MALZEME VE YÖNTEM 35
5.1. Gün Işığı Deneyi 37
5.2. Yapay Işık Kaynağı Deneyi 43
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 50
KAYNAKLAR 52
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 56
ÖZGEÇMİŞ 57

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Enerji kaynakları 6
Şekil 1.2. Dünya'da yenilenebilir enerji kullanımı 8
Şekil 1.3. Türkiye kurulu gücün enerji kaynaklarına göre dağılımı 9
Şekil 2.1. Güneş ışınımın yansıma oranları 11
Şekil 2.2. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası 15
Şekil 2.3. Türkiye'nin güneşlenme süreleri (saat) 16
Şekil 2.4. Türkiye güneş enerjisi kurulu gücü 16
Şekil 2.5. Yıllara göre kurulu güç 17
Şekil 2.6. Yıllara göre güneş enerji maliyetleri 18
Şekil 2.7. Ülkelere göre fotovoltaik kurulumu 18
Şekil 2.8. Türkiye potansiyel fotovoltaik elektrik üretme haritası 20
Şekil 2.9. P-N Kavşağının oluşturulması 21
Şekil 3.1. Fotovoltaik hücre, modül ve dizi 23
Şekil 3.2. Monokristal ve polikristal güneş paneli 25
Şekil 3.3. Kristal güneş panelleri üretim şeması 26
Şekil 3.4. Panellerin market payları 27
Şekil 3.5. Güneş fırınları ve pişiricileri 30
Şekil 4.1. Şarj döngüsü 33
Şekil 5.1. Deney düzeneği 36
Şekil 5.2. Polikristal güneş panelinin gün ışığında yansıtıcı eklendiğinde ölçülen gerilim değerleri 38
Şekil 5.3. Polikristal güneş panelinin gün ışığında ölçülen ortalama verim değerleri 39
Şekil 5.4. Monokristal güneş panelinin gün ışığında yansıtıcı eklendiğinde ölçülen gerilim değerleri 42
Şekil 5.5. Monokristal güneş panelinin gün ışığında ölçülen ortalama verim değerleri 43
Şekil 5.6. Yansıtıcı eklenmiş panel 44
Şekil 5.7. Polikristal güneş panelinin yapay ışıkta ortalama verim değerleri 47
Şekil 5.8. Monokristal güneş panelinin yapay ışıkta ortalama verim değerleri 49

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Güneş panel karşılaştırması 28
Tablo 5.1. Gün ışığında polikristal güneş panelinin ölçümleri 37
Tablo 5.2. Gün ışığında monokristal güneş panelinin ölçümleri 40
Tablo 5.3. Yapay ışıkta polikristal güneş panelinin ölçümleri..... 46
Tablo 5.4. Yapay ışıkta monokristal güneş panelinin ölçümleri..... 48

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AC : Alternatif akım
Ah : Amper saat
βopt : Optimum güneş paneli açısı
DC : Doğru akım
cm : Santimetre
GW : Gigawatt
I : Elektrik akımı (A)
I_{kd} : Kısa devre akımı
KW : Kilowatt
kWh : Kilowatt saat
mAh : Mili amper
MW : Megawatt
MPP : Maksimum güç noktası
η : Verim
P : Güç (watt)
Pin : Optik giriş gücü
Pm : Maksimum güç çıkışı
PV : Fotovoltaik
R : Potansiyel fark
TW : Terawatt
V : Gerilim (volt)
V_{ad} : Açık devre voltajı

Kısaltmalar

BEP : Binalarda Enerji Performansı
BNEF : Bloomberg New Energy Finance (Bloomberg Yeni Enerji Finansmanı)
EİEİ : Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EPDK : T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulumu
IEA : International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
IPARD : Instrument for Pre-accession Assistance in Rural Development (Avrupa Birliği Kırsal Kalkınma Politikası)
IRENA : The International Renewable Energy Agency (Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı)
NREL : National Renewable Energy Laboratory (Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı)
TEİAŞ : Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi

TAŞINABİLİR GÜÇ KAYNAKLARINDA MONO VE POLİKRİSTAL GÜNEŞ PANELLERİNİN KULLANILMASI VE KOMPOZİT MALZEMELER İLE PANELLERİN VERİMİ ARTIRILARAK, PERFORMANS ANALİZLERİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Teknolojinin her geçen gün gelişmesiyle teknolojinin ihtiyaç duyduğu enerji talebi de sürekli artmaktadır. Bununla beraber günümüzde ağırlıkla hem sınırlı ve hem de doğaya zarar veren enerji kaynakları kullanılmaktadır. Böylece enerji ihtiyacını daha verimli ve daha temiz kaynaklardan elde etmeye çalışmak kaçınılmaz bir gereklilik olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynakları ise hem çevreci hem temiz hem de verimli olması sebebiyle bu kıstasları karşılamaktadır.

Günümüzde enerjiyi anlık olarak kullanma ihtiyacı afetlerin ve salgın hastalıkların etkisiyle artmıştır. Bu gibi durumlarda elektriğe ulaşımının zor olduğu veya olmadığı zamanlar enerji ihtiyacını karşılayabilmek için taşınabilir güç kaynaklarını kullanılabilir. Ayrıca son yıllarda insanların günlük hayatına küçük mobil cihazların girmesi vazgeçilmez bir olgu olmuştur. Bu cihazların ise artan özellikleri ile günlük kullanımda şarj sorununu beraberinde getirmektedir. Böylece küçük, taşınabilir yani kolay kullanım imkânı sunan ve bunun yanında hızlı şekilde şarj sorununu çözen cihazlar hayatımıza bu gibi sorunlarla birlikte gelmişlerdir. Bu cihazların verimini arttırmaya yönelik yapılan çalışmada polikristal ve monokristal güneş panelleri üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Panellerin verim artışını sağlayabilmek için hangi yöntemlerin tercih edilebileceği araştırılmıştır. Belirli genişlikteki yansıtıcı malzemeler kullanarak verimin artırılması amaçlanmıştır. Yapılan deneyler hem gün ışığında hem de yapay ışık altında gerçekleştirilmiştir. Böylece elde edilen verim artışları ile istenilen hedefe ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Elde edilen bu deney sonuçları analiz edilerek gerekli önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Enerji Depolama, Güneş Paneli, Monokristal, Polikristal, Verim.

USING OF MONO AND POLY CRYSTAL SOLAR PANELS IN PORTABLE POWER SUPPLIES AND REALISATION OF PERFORMANCE ANALYSIS BY USING COMPOSITE MATERIALS FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF PANELS

ABSTRACT

As the technology develops day by day, the energy demand needed by the technology is constantly increasing. However, today, both limited and environmentally harmful energy sources are used. Thus, trying to obtain the energy need from more efficient and cleaner sources has become an inevitable requirement. Renewable energy sources meet these criteria as they are both environmentally friendly, clean and efficient.

Today, the need to use energy instantly has increased due to the effects of disasters and epidemics. In such cases, mobile power supplies can be used to meet energy needs when it is difficult or not to have access to electricity. In addition, the introduction of small mobile devices has become an indispensable event in recent years. With the increasing features of these devices, it brings the challenge of charging in daily use. Thus, devices that offer small, mobile, easy-to-use and quickly solve the charging challenge have come to our lives with such challenge. In the study conducted to increase the efficiency of these devices, experiments were carried out on polycrystalline and monocrystalline solar panels. In order to increase the efficiency of the panels, it was researched which methods can be preferred. It is aimed to increase efficiency by using reflective materials of a specific width. The experiments carried out both in daylight and under artificial light. Thus, it was observed that the desired target was achieved with the increase in efficiency. These results were analyzed and necessary suggestions were made.

Keywords: Energy Storage, Solar Panel, Monocrystal, Polycrystal, Efficiency.

GİRİŞ

Günümüzde nüfusun sürekli yukarı yönlü hareketiyle birlikte enerjiye olan ihtiyacımız daha da artmaktadır. Tüm insanlık tarihi boyunca enerji her zaman en önemli konuların başında gelmektedir ve böylece enerjiye olan ihtiyacımız her zaman önemini korumaktadır. Devletlerin bağımsızlıklarının ve güçlerinin korunması için enerji arayışları her daim artarak devam etmektedir. Son yıllara kadar fosil yakıtlar, yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha fazla kullanılmaktaydı. Fakat fosil yakıtların doğaya bıraktığı yüksek oranda karbon ayak izlerinin yanı sıra günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyetlerinin azalması ve verimliliklerin artmasıyla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranları artmıştır.

Elektrik enerjisi elde edebilmek için son yıllara kadar yoğun olarak kullandığımız fosil yakıtlarının ekolojik dengeyi bozması, küresel ısınmayı hızlandırması ve bu enerji kaynaklarının yenilenemez olmalarından dolayı farklı enerji kaynaklarına eğilimi arttırmıştır.

Ülkemiz enerji ihtiyacını ağırlıklı olarak fosil yakıtlardan karşılamaktadır. Ortadoğu'da zengin petrol ve doğal gaz yatakları var olmasına rağmen ülkemizin jeolojik özelliklerinden dolayı bu enerji kaynaklarının rezervlerine rastlanmamaktadır [1]. Bununla birlikte ülkemiz kullandığımız fosil yakıtların yaklaşık %75'ini ithal etmektedir [2]. Bu yüzden enerjiye olan dışarı bağımlılığımız oransal olarak çok fazladır ve bu da ülkemiz ekonomisine ciddi bir yük demektir. Bunu tersine çevirebilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırımımızı arttırmaktan geçmektedir. Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanma konusunda şanslı bir konumda bulunmaktadır. Güneş, rüzgâr, biyoenerji gibi enerji kaynaklarının kullanımı artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden bir tanesi ise güneş enerjisidir.

Dünyada yıllık enerji tüketimi 10 TW (terawatt) düzeyindedir. Yıllık enerji tüketiminin 2050 yılına kadar yaklaşık 30 TW olması öngörülmektedir [3]. Enerji tüketiminin bu seviyelere gelmesi, bu ihtiyacın farklı kaynaklardan elde edilmesini

kaçınılmaz kılmaktadır. Çünkü fosil yakıtlar ile gerekli olan enerjinin elde edilmesi emisyon oranını düşük tutmamıza yarayacaktır. Eğer gerekli çözüm yolları bulunmazsa, 2050 yılında emisyon miktarının şimdiye oranla iki katına çıkacağı öngörülmektedir [4]. Fosil yakıt kullanımı, doğaya daha fazla miktarda karbon ayak izi salınımına sebep olmaktadır. Emisyon miktarının ve karbon ayak izimizin artması ciddi çevresel felaketlere neden olacaktır. Artış miktarını makul seviyede tutabilmek için alternatif kaynağı elde edebileceğimiz fotovoltaik teknolojisi en uygun yollardan birisidir [5].

Gelişmekte olan ülkeler son yıllarda güneş enerjisini daha fazla kullanarak dışarıya bağımlı olma ihtimallerini aşağıya çekmektedirler. Dünya yüzeyine bir dakikada gelen güneş enerjisi miktarı, günümüzde dünyanın enerji ihtiyacını bir yıl boyunca karşılayabilecek kapasitededir [6]. Ancak günümüz teknolojisiyle yüzde yüz verim yakalamak imkânsızdır. Ama gelişen teknoloji sayesinde güneşten elde ettiğimiz verim her geçen gün artmaktadır.

Güneş enerjisi yıllardan beri birçok kaynakta ‘geleceğin teknolojisi’ veya ‘geleceğin enerjisi’ olarak belirtilmiştir. Özellikle 2007 yılından günümüze kadarki dönemde güneş enerjisi kurulu gücün küresel ölçekte ciddi bir artışın olması bu söylemleri güçlendirmiştir. Sayısal olarak belirtmek gerekirse 2007 yılında ülkelerin toplam kurulu gücü 8 GW iken günümüzde bu rakam 580 GW’ı geçmiştir [7].

BNEF kuruluşunun her sene yayınladığı enerji yatırımları ile ilgili raporunda 2050 yılında elektrik enerjisi üretiminin %50’sinin güneşten ve rüzgârdan karşılanacağı öngörülmektedir [3]. Yine aynı rapora göre yeni elektrik enerjisi kurulu güç projelerine 11,5 trilyon $ tutarında yatırım yapılacağı öngörülürken bu yatırımın 8,4 trilyon $’ı güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi projelerine harcanacağı öngörülmektedir. Bu rakamlar gösteriyor ki ülkeler gelecek yatırımlarını yenilenebilir enerji üzerine yöneltmekte ve her geçen gün bu yatırımları arttıracaklardır. Uluslararası Enerji Ajansı, yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payının 2040 yılında %40’a çıkacağını öngörmektedir [8]. Hindistan’ın 2022 yılı rüzgâr ve güneş enerjisi kurulu güç hedefinin 175 GW’tan 222 GW’a çıkarması ve Avrupa Birliği’nin 2030 yılı yenilenebilir enerji hedefini %27’den %32’ye çıkarması öngörüyü destekler niteliktedir. Ayrıca Türkiye Cumhuriyeti 2023 yılı hedeflerinde güneş enerjisi

yatırımlarına büyük önem vermektedir. Türkiye Cumhuriyeti 2023 yılına kadar güneş enerjisi kurulu gücü 5 GW olarak hedef koymuş ve bu hedef 2019 yılında aşılmıştır. Bu hedefin çok erkenden geçilmesinin ana sebebi, ülkenin vermiş olduğu teşvikler ve çıkardığı yasalardır. Bununla beraber, özel sektörün öngörüsüne göre ülkedeki güneş enerjisi kurulu gücün 2023 yılı için 14 GW, 2030 yılı için ise 38 GW düzeyinde olması beklenmektedir [9].

Fotovoltaik panellerde verimi artırmak için Moehlecke ve arkadaşları (2013) alt yüzeye alüminyum yansıtıcılar yerleştirmişlerdir. Bu düzenleme ile panellerin çıkış gücü %20'nin üzerinde arttığını belirlemişlerdir [10].

Sudhakar ve Srivastava (2014) çalışmalarında 36 W güneş panellerinde enerji ve ekserji analizi yapmıştır. Bu yazarlar sıcaklığın paneller üzerinde kötü bir etkisi olduğunu ve akabinde panel sıcaklığını sabit ve belirli bir sıcaklığın altında tutarak panellerin ekserji veriminin arttığını gözlemlemişlerdir [11].

Tarek Kaddoura ve arkadaşları (2016), fotovoltaik güneş panellerinin yerleşim yapılırken eğim açısının yüzeye düşen ışınım miktarının en önemli sebep olduğunu belirlemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, yılda 6 kez eğim açısının değişmesi güneş panelinin yüzeyine gelen güneş ışınlarının %99,5'inden faydalanmayı sağladığını belirtmişlerdir [12].

Biwole ve arkadaşları (2013), güneş panellerinin sıcaklığını ortam sıcaklığında sabit tutmayı başararak 1000 W/m^2 ışınım altında panellerin sıcaklığını belli bir seviyede korumayı başarmışlardır [13].

Shaiek ve arkadaşları (2013), güneş dizininin karakteristiklerini, sıcaklık, güneş ve gölgeleme üzerine etkisini gözlemlemişlerdir. Bu yazarlar güneş panellerinin P-V ve I-V karakteristiğini Matlab programında simülasyon ortamında test ederek göstermişlerdir [14].

Ömeroğlu (2018), fotovoltaik sistemlerin, yapay güneş ışınımı altında termal bir sistem tasarlamıştır. Çalışma sonunda ısı iletim katsayısı yüksek olan ürünler kullanıldığında fotovoltaik sistemlerin veriminin arttığını gözlemlemiştir [15].

Zaraket ve arkadaşları (2017), hücre sıcaklığının performans, güç ve verimlilik üzerine fotovoltaik panelli ne kadar etkilediğini araştırmışlardır. Hücre sıcaklığı arttıkça panel verimliliğin düştüğünü göstermişlerdir [16].

Visa ve arkadaşları (2016), beş farklı güneş paneli çeşidini farklı çevresel etkilere göre performans analizini çalışmıştır. Çalıştığı çevresel koşullarda en yüksek verimi Polykristal güneş panelinde olduğunu belirlemişlerdir [17].

Sancar (2018), fotovoltaik panelin performansını, sıcaklık, rüzgâr, ışınım, nem ve tozluluk faktörlerini farklı koşullarda karşılaştırmıştır. Yaptığı çalışma sonrası panelde ki veri kayıplarını göstermiş ve karşılaştırmıştır [18].

Arslan (2018), 150 W gücünde polikristal ve monokristal güneş panellerinin Tekirdağ ilinde verimliliklerini incelemiş ve verimlerinde ki kayıpları karşılaştırmıştır. Sonuç olarak yazar Tekirdağ ili için polikristal güneş panel kullanımın daha uygun olduğunu belirlemiştir [19].

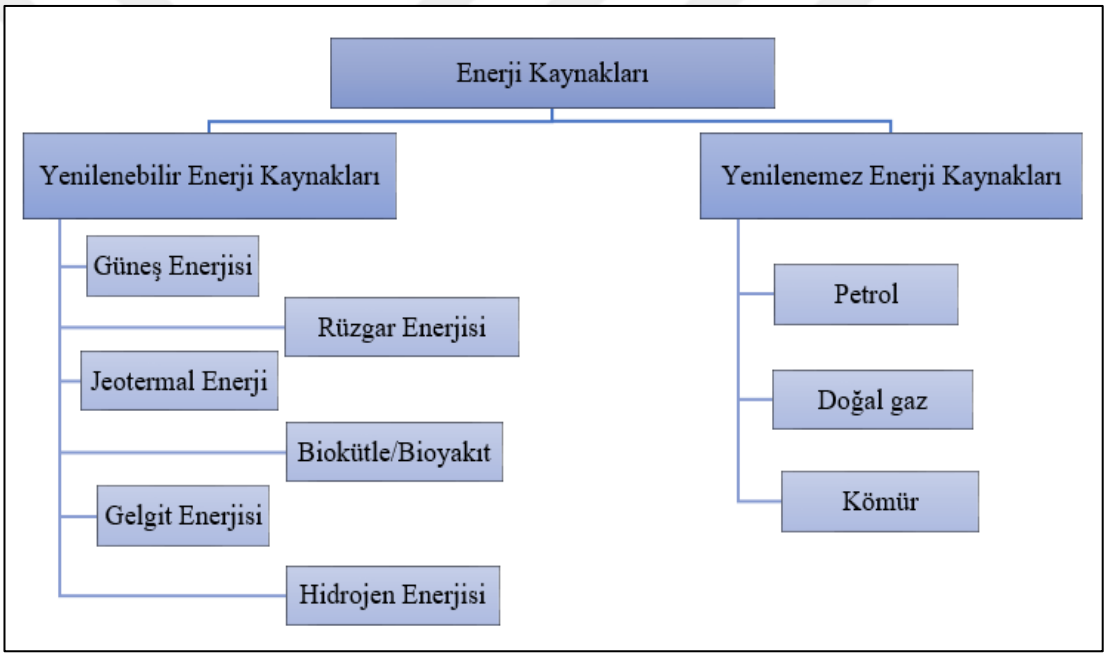
Mobil cihazların her geçen gün yaygınlaşmasıyla hayatımızın her anında enerjiye olan ihtiyacımız doğru orantılı olarak sürekli artmaktadır. Cep telefonları, tabletler, dizüstü bilgisayarları, kablosuz kulaklıklar, kol saatleri gibi cihazların hayatımıza yerleşmesiyle bu cihazların şarj ve batarya sorunları ile sürekli karşılaşmaktayız. Bu cihazların enerji ihtiyacını hızlı ve anlık karşılamak için taşınabilir şarj cihazları kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada ise bu sorunların üstesinden gelebilmek için taşınabilir şarj cihazlarının daha hızlı ve daha verimli şekilde şarj olması için güneş panelleri ile bütünleşmiş bir şekilde nasıl hareket edeceği üzerine çalışılmıştır. Küçük boyutlu taşınabilir güneş panellerinin bu cihazların daha verimli şarj edilmesi amaçlanmıştır.

Yapılan bu çalışmada ilk olarak mobil ve küçük aletlerimizin şarj sürelerini nasıl azaltılabilir sorusu üzerinde durulmuştur. Daha sonrasında ise ucuz ve kolayca bulunabilen kompozit malzeme ile güneş panelinin verimi artırılmaya çalışılmıştır. Her geçen gün gelişen teknoloji ile artık küçük aletlerimizin ciddi bir şarj sorunu ortaya çıkmıştır. İlk kullanılan cep telefonları bir şarj ile yaklaşık bir haftayı geçirebilmek mümkündü. Ancak artık telefon özelliklerinin artmasıyla bataryaların çoğu zaman bir günlük enerji ihtiyacını karşılayamadığı görülmektedir. Bu yüzden

telefonların yanında artık taşınabilir şarj cihazları ayrılmaz bir ikili olmuştur. Yapılan bu çalışma ile bataryaların daha kısa sürede şarj edilmesi ve verimin arttırılması için uygulama sonuçları irdelenmektedir.

1. ENERJİ

Enerji en bilinen tanımıyla iş yapabilme yeteneğidir. Ayrıca enerji skaler bir büyüklüktür. Enerjinin literatürde sekiz ana kaynağı bulunmaktadır. Bunlar; potansiyel, kinetik, ısı, ışık, elektrik, kimyasal, nükleer ve ses enerjisidir. Herhangi bir yöntemle enerji üretilmesini sağlayan enerji kaynakları ise iki ana başlıkta incelenir. Şekil 1.1'de enerji kaynakları çeşitleri görülmektedir. Bunlar ise yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak iki ana başlığa ayrılır.



Şekil 1.1. Enerji kaynakları

1.1. Yenilenemez Enerji Kaynakları

Yenilenemez enerji kaynakları, doğadan çıkarılarak elde edilen ve kullanıldıktan sonra geri dönüşümü uygun olmayan enerji kaynaklarıdır. Fosil yakıtlar olarak da bilinen bu enerji kaynaklarına, petrolü, doğal gazı ve kömürü sayabiliriz. Bu enerji kaynakları ayrıca yakıldıklarında ciddi miktarda karbon ayak izi oluşturarak çevre sorunlarına neden olurlar.

1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları, güneş, rüzgâr, jeotermal, biokütle, gelgit, dalga, hidrojen gibi doğal yollardan elde edilen ve sürekli var olan enerji kaynaklarıdır. Enerji kaynağından alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağın tükenme hızından daha hızlı şekilde kendini yenileyebilmesi ve kaynakların tekrardan kullanılmasına rağmen tükenmemesinden dolayı yenilenebilir olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca bu enerji kaynakları çevreye ciddi zararları olmayan, karbondioksit emisyonlarını azaltarak çevrenin korunmasına yardımcı olan enerji kaynaklarıdır.

1.3. Yenilenebilir Enerji'nin Önemi

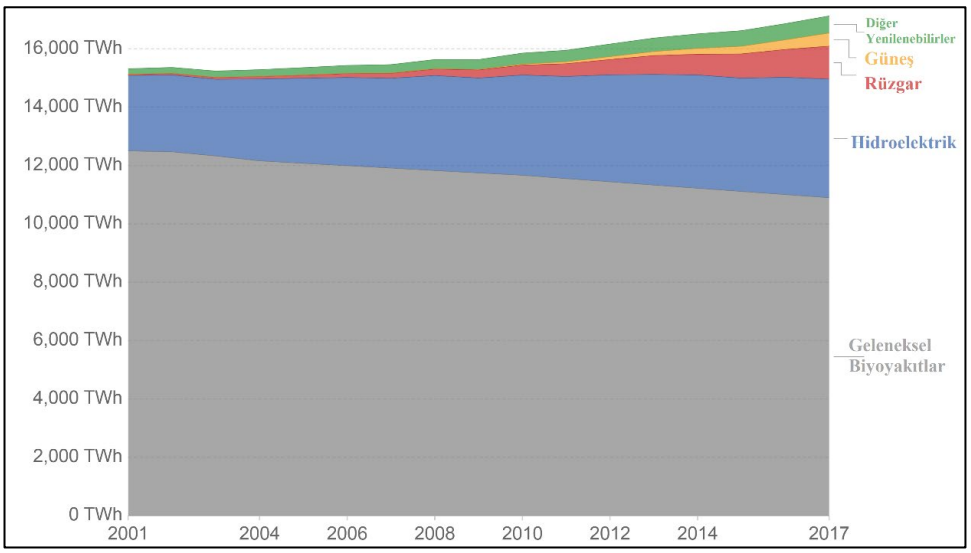
Yenilenemez enerji kaynakları doğada sınırlı sayıda bulunmaktadır ve var olan rezervler ise her geçen gün azalmaktadır. Enerji üretimi için kullanılan petrol, doğalgaz ve kömür gibi en çok kullanılan bu kaynakların rezervlerinin azalması ciddi bir sorun olarak görülmektedir. Ayrıca bu kaynakların bugüne kadar kullanılması doğaya ciddi derecede zarar vermiştir. Küresel ısınmayı ciddi derecede etkileyen yenilenemez enerji kaynakları dünyamızın giderek ısınmasına, çölleşmesine yani doğal hayata ciddi zararlar vermesine sebebiyet vermektedirler. Bu yüzden ülkeler hızlıca yenilenebilir enerji kaynaklarını kurulu güçlerine eklemeye gayret göstermektedirler. Bunun ayrıca en büyük bir başka sebebi ise enerji ihtiyacının dışarıya bağımlılığını azaltmaktır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi özellikle ülkelerin ekonomik kriz dönemlerinde daha fazla fark edilmektedir. Enerjide ihtiyacını dışarıdan karşılayan bu ülkeler, yaşanan anlaşmazlıklar sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya yönelik desteklerini arttırmışlardır. Örneğin, Türkiye Cumhuriyeti 1973 Petrol Krizinin yaşanmasıyla Uluslararası Enerji Ajansına üye olmuştur. Başka bir örnek vermek gerekirse 1979'daki Büyük Petrol krizinde dünya verimli ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya başlamıştır. Ayrıca 2008 yılındaki petrol fiyatlarının ani ve yüksek artışı sebebiyle dünyanın önde gelen ülkeleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının doğru kullanımı için bir araya gelerek Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı kurulmuştur [20].

Elektrikli araçların günden güne yayılmasıyla birlikte yakın gelecekte bu araçların şarj sorunları ortaya çıkacaktır. Araçlar gereken elektriği eğer fosil yakıtlar ile karşılayacaksa bütün dünya bunun çevreye ve dünyaya nasıl bir etkisi olacağını tartışmalıdır. Bu araçlara çevreci diyebilmemiz için enerji ihtiyacını yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesi daha doğru olacaktır. Tüm bu bilgiler göstermektedir ki yenilenebilir enerji kaynakları daha uzun süre boyunca önemini koruyacaktır.

1.4. Dünya'da Yenilenebilir Enerji

Sanayi Devrimi kömürün enerji kaynağı olarak kullanılmasıyla başlamıştır. Ayrıca Avrupa'nın yükselişinde kömürün kullanılması ve buharlı makinelerin icadı önemli bir yer tutmaktadır. Daha sonra kömür yerine petrole ağırlık verilmiş ve petrol halen günümüzde önemini sürdürmektedir. Birinci Dünya Savaşının en önemli sebeplerinden birisi ise yine enerjiye duyulan ihtiyaçtır. Bu savaşın çıkmasındaki önemli sorunlarından biri Almanya Fransa arasında kalan, büyük ve verimli kömür yataklarına ev sahipliği yapan Alsas-Loren bölgesinin paylaşımıdır. Bu paylaşımda yaşanan anlaşmazlık yani enerji sorunu bu durumu büyük savaşa dönüşmüştür. Daha sonra ise yakın geçmişte olan Körfez Savaşı, Irak İşgali ve Ortadoğu'nun genel karışıklığının sebebinin altında yatan neden hiç şüphesiz o bölgelerde bulunan enerji kaynaklarına hükmetme isteğidir. Örneklerden de anlaşılacağı gibi enerji ülkelerin her zaman en önde gelen konularından biri olmaya devam edecektir.

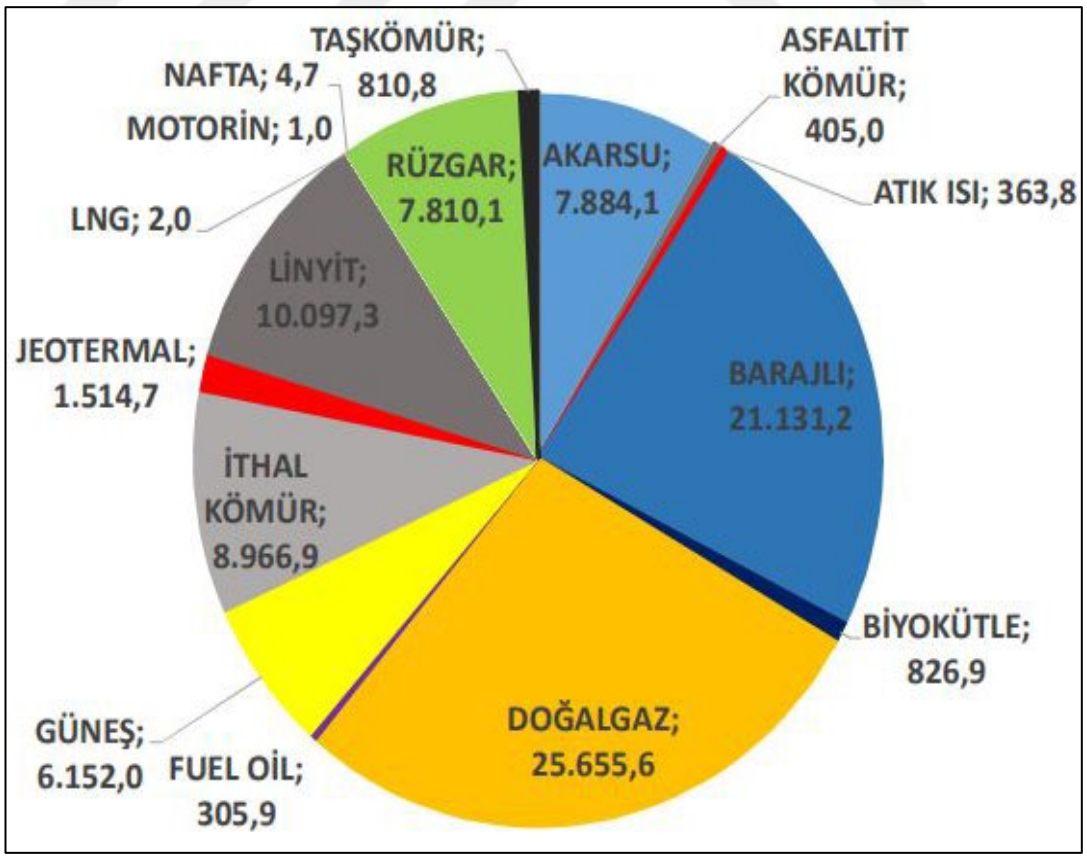


Şekil 1.2. Dünya'da yenilenebilir enerji kullanımı

Dünya'da yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranları Şekil 1.2'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi özellikle 2010 yıllından itibaren yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında ciddi bir artış eğilimine girmiştir. Geleneksel biyoyakıt kullanımı azalırken, güneş, rüzgâr ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının miktarı artmıştır. Bu durum ülkelerin belirli aralıklarla açıkladığı enerji hedefleri incelendiği zaman daha da artacağı aşikârdır.

1.5. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji

Türkiye enerji bakımından dışa bağımlı olduğundan dolayı yatırımının önemli bir ölçüsünü yenilebilir enerji kaynaklarına yatırmaktadır. Türkiye, enerji bakımından kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı Şekil 1.3'de verilmiştir. Bu şekle bakıldığında mayıs ayı sonu itibariyle kurulu gücün 6,152 MW'ını güneş santralleri oluşturmaktadır. Ayrıca grafikte bu ülkenin kurulu gücünün yarısından fazlasının fosil yakıtlar ile karşılandığı görülmektedir. Bu fosil yakıtlardan 25,655.6 MW'ını doğalgaz yakıtlı santraller, 10,097 MW'ını linyit yakıtlı santraller, 8,967 MW'ını ithal kömür yakıtlı santraller oluşturmaktadır.



Şekil 1.3. Türkiye kurulu gücün enerji kaynaklarına göre dağılımı (Mayıs 2020) [22]

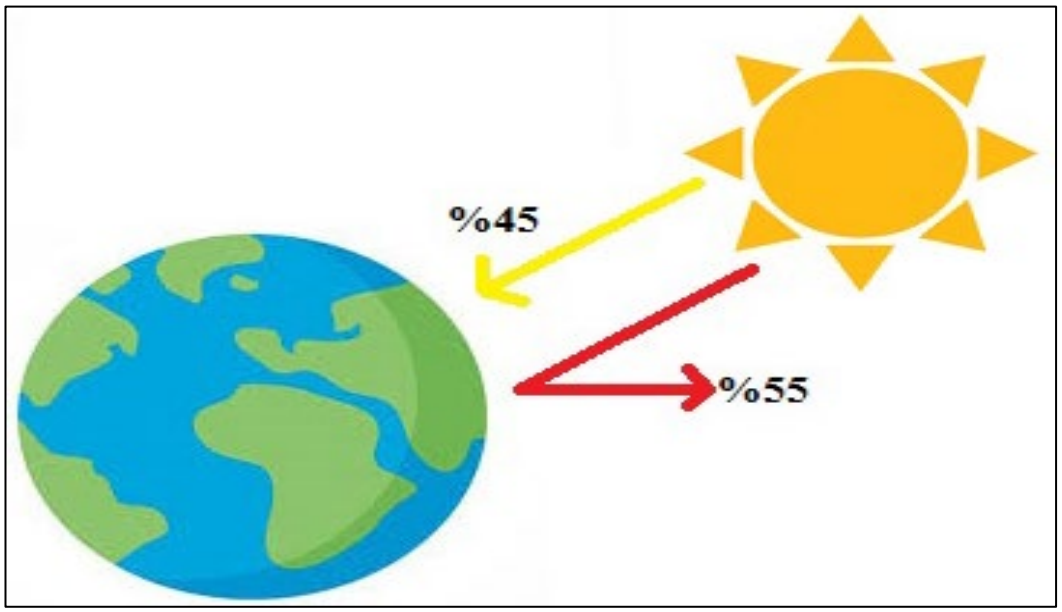
Türkiye Cumhuriyeti, fosil yakıtların her biri W cinsinden karşılaştırıldığında en çok enerjiyi doğal gazdan karşılamaktadır. Bu ülke kullanılan doğalgazı, EPDK 2019 yılı sektör raporuna göre %33,61'lik kısmını Rusya'dan, %21,20'lik kısmını Azerbaycan'dan, %17,11'ini ise İran'dan ithal etmektedir [21]. Türkiye Cumhuriyeti'nin doğalgazda dışarı bağımlı olmasının ana sebebi tamamen kendi jeopolitik konumunun sıkıntı oluşturabilecek bir noktada olmasıdır. Böylece bu ülke enerjide dışa bağımlılığı azaltabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarına daha fazla yatırım yapması gerekir.

2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş, tükenmeyen ve temiz bir enerji kaynağıdır. Bununla beraber Güneş enerjisi; çevreci, temiz, uzun ömürlü ve ucuz bir kaynaktır. Güneş enerjisini kullanmak ülkeler için bir gelişmişlik göstergesidir. Kaynağın yerli olması, kurulumunun kolay olması, çok fazla hareketli parçasının olmaması, hammaddelerinin kolay ve çokça bulunması, gürültüsüz çalışması ve çevreye ciddi zararlı etkisinin olmaması gibi avantajlarından dolayı güneş enerjisi her zaman tercih edilebilir.

Türkiye bulunduğu coğrafi konumu sayesinde güneş enerjisi potansiyeli olarak şanslı ülkelerden birisidir. Türkiye EİE tarafından yapılan çalışmaya göre yıllık ortalama güneşlenme süresi 2640 saat ve bu da günlük toplam 7,2 saat demektir. Ortalama ışınım şiddeti ise yıllık 1311 kWh/m^{2}yıl, yani günlük 3,6 kWh/m^2 olduğu bulunmuştur [23].

Güneş dünyaya en yakın yıldızdır ve dünyamızın en önde gelen enerji kaynağıdır. Yapısı %90 hidrojen, %9'u helyum %1 ise diğer ağır metaller içermektedir. Güneşin merkezine doğru gittikçe sıcaklığı artmakta ve 20.000.000 °C bulmaktadır [6]. Güneş ortalama olarak 6000 K sıcaklıkta ışınım yapan bir cisim olarak kabul edilmiştir.



Şekil 2.1. Güneş ışınımın yansıma oranları

Dünya yüzeyine ulaşan ışınımın %45'i atmosferi ısıtmak için gider. %55'i bulutlardan ve yeryüzünden yansıyarak tekrar atmosfere döner. Şekil 2.1'de yansıma oranları görülmektedir. Bu dönüşümü engelleyen gazların özellikle CO_2 gazı gibi küresel ısınma problemini ortaya çıkarmaktadır [32].

Türkiye 2007 yılında enerji yoğunluğunu azaltacak uygulamaların önü açmak için 5627 sayılı 'Enerji Verimliliği Kanunu' kabul etmiştir. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı'nın 5 Aralık 2009 tarihinde yürürlüğe giren Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde yeni yapılacak olan ve 1.000 m^2'nin üzerinde kullanım alanına sahip binalardaki ısıtma, soğutma, havalandırma, sıhhi sıcak su, elektrik ve aydınlatma enerjisi ihtiyaçlarının tamamen veya kısmen karşılanması amacıyla yenilenebilir enerji kaynakları önerilmektedir. Aynı şekilde Tarım Bakanlığı'nın destekleme programlarında yenilenebilir enerji kaynağı kullanımı özendirilmektedir.

TÜBİTAK tarafından yürütülen Vizyon–2023 projesinde belirlenen sosyoekonomik hedefler bağlamında odaklanılması gereken teknolojik hedefler arasında rüzgâr, güneş ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik teknolojileri geliştirmek ve enerji üretiminde bu kaynaklara, ekonomiklikleri oranında yer verilmesi gerektiği ifade edilmektedir. 2005 yılında Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun'un yasalaştırılması ile özel sektör yatırımları enerji alanına doğru yönlendirilmiştir.

Avrupa Birliği tarafından aday ve potansiyel ülkelere destek olması amacıyla IPARD kurulmuştur. Bu kuruluş kırsal kalkınma programı eşliğinde uygulanmaktadır. Bu kuruluş tarafından belirtilen destek kapsamındaki bölgelere yapılacak başvuru ile ülkeler veya kişiler ihtiyaca göre enerjiyi yenilenebilir kaynaklardan karşılamak istediğinde ciddi destekler almaktadırlar.

Tüm bu destekler göstermektedir ki gelecekte özellikte güneş enerjisi olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar hızlı bir şekilde sürmeye devam edecektir.

2.1. Güneş Enerjisi Tarihi

Güneşten enerji elde etmek için yıllardır birçok farklı çalışma yapılmaktadır. Güneş

enerjisinden elektrik üretimi, fotovoltaik etkiye dayanır. Fotovoltaik etki, ilk kez Fransız bilim adamı Alexander Becquerel tarafından keşfedilmiştir. Becquerel [24] numaralı çalışmasında 1839 yılında platin katmanlar üzerinde yaptığı çalışmalarla katmana gelen ışığın parlayarak elektrik akımı ürettiğini keşfetmiştir. Bu keşif fotovoltaik teknolojinin çıkış noktası olarak gösterilir. Bu çalışmada elde edilen verim %1'den düşük çıktığı görülmüştür.

İngilizce 'photovoltaic' olarak geçen fotovoltaik enerji, isminin photo kısmını enerji yüklü ışık taneciği olarak bilinen photon kelimesinden türetilmiştir. Voltaic ise elektriğin kurucularından Allessondro Volta'dan gelmektedir.

Uzun yıllar fotovoltaik teknolojiler üzerine çalışmalar yapılmış ancak kayda değer bir ilerleme olmamıştır. 1921 yılında ünlü fizikçi Albert Einstein Fotoelektrik Etki Kanunu'nu keşfetmiş ve çalışmasını ortaya koymuştur [25]. Bu çalışmasıyla Nobel ödülünü kazanmıştır. Bu kanun modern fotovoltaik teknolojinin başlangıcı olarak kabul edilmektedir.

1939-1954 yıları arasında Russell Ohl çalışmasında [26] dünyada ilk modern fotovoltaik güneş panelinin patentini almıştır. Ohl, silikon levhalar ile çalıştığı dönemde levhanın parlak ışığa maruz kalmasıyla ciddi bir akım elde etmiştir. Ohl levhadaki bir açığın farklı tür safsızlıklar içeren bölgelere ayrıldığını bulmuştur. Bölgeleri n-tipi (negatif için) ve p-tipi (pozitif için) olarak isimlendirmişlerdir. Bu bölgelerin birleştiği yere P-N kavşağı olarak belirtmiştir. Bu bölgeye çarpan ışık, elektronların n tarafından, p tarafına akmaya ve bunun sonucundan Ohl, bu durumun elektrik akımına neden olduğunu keşfetmiştir. Bu keşif günümüzde kullandığımız güneş hücrelerine güç sağlayan fotovoltaik etkidir.

1954 yılında Darly Chapin, Calvin Fuller ve Gerald Perarson Bell Laboratuvarda yaptıkları çalışmalar sonucunda ilk silisyum temelli PV hücrelerini üretmişlerdir. Bu hücreler ile güneşten gelen ışınım ile %6 oranında verimlilik sağlanmıştır [27]. Günümüzde hala güneş pili teknolojisi silisyum temellidir. Çünkü silisyum doğada oksijenden sonra en çok bulunan element olmasından dolayı kolay bulunabilir ve uygun fiyatlıdır.

1958 yılında Hoffman Elektronik firması %8, %9 ve %14 verimle çalışan güneş hücreleri geliştirmişlerdir [28].

1973 yılındaki petrol krizi sonrası özellikle petrol ithalatçısı ülkeler için büyük sıkıntı olmuştur. Kriz sonrası ülkeler geniş bütçelerle ciddi AR-GE çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. ABD, Almanya, Japonya gibi ülkeler anlaşarak Yenilenebilir Enerji Yasası'nı ortaya çıkarmışlardır [29].

2008 yılında NREL %40,8 verimli üç eklemli fotovoltaik hücreler geliştirerek bu alanda dünya rekoru kırmıştır [30]. 2019 yılında yine NREL %47,1 verimlilikte altı eklemli fotovoltaik hücreler geliştirerek rekoru geliştirmiştir [31].

Bu çalışmalar gösteriyor ki güneş hücre verimlerinin geliştirilmesi için yoğun bir çalışma yapılmaktadır. Gelecekte belki farklı hammaddeler kullanılarak çeşitli teknolojilere geçilecek ve bu sayede seri üretimde ciddi artışlar elde edilebilecektir.

2.2. Güneş Enerjisi Avantajları ve Dezavantajları

Güneş tükenmeyen bir enerji kaynağı olduğu için güneşin olduğu her anda enerji üretimi yapılabilir. Güneş enerjisi santrallerinin tesis kurulumu diğer enerji kaynaklarına göre daha kolaydır. Çevreye uyumlu olduklarından fosil yakıtlara göre temiz bir kaynak olarak değerlendirilir. Yakıt tasarrufu sayesinde işletme gideri çok düşüktür. Diğer enerji kaynaklarına göre daha kullanışlı ve değişik kullanım yöntemleri mevcuttur.

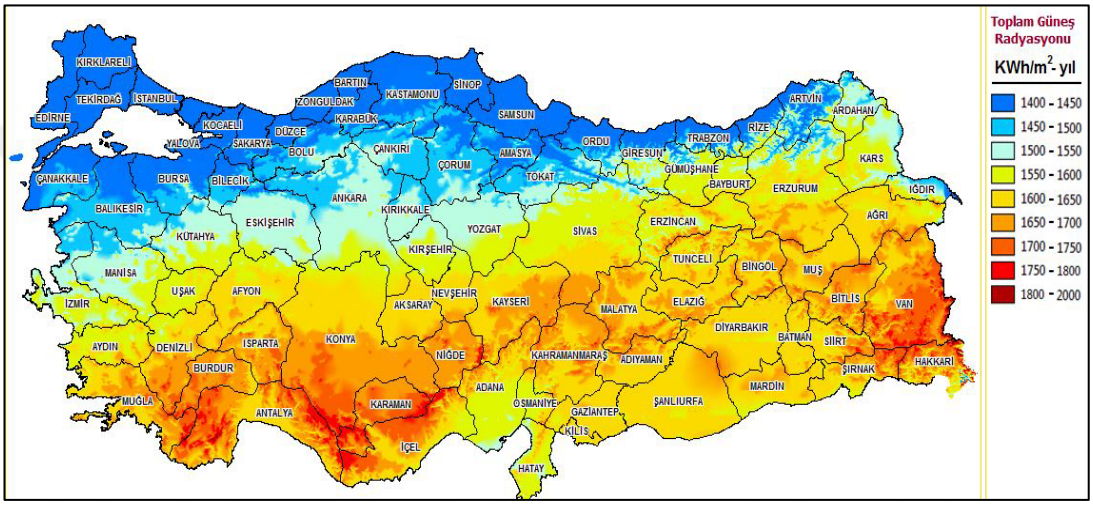
Güneş enerjisinin avantajlarıyla birlikte bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlardan önemlilerinden biri güneş enerjisinden elde edilen verimin halen çok yüksek olmamasıdır. Ayrıca bu enerjinin depolama maliyetinin yüksek olması başka ciddi bir ciddi sorundur. Bununla beraber üretilen enerjinin ciddi tüketimi için geniş alanlara ihtiyaç duyulması, dezavantaja başka bir örnek olarak verilebilir.

2.3. Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Kullanımı

Güneş'ten etrafa yayılan anlık enerji, dünyanın bir yılda tükettiği enerjiye kıyasla kat kat fazladır. Türkiye, sahip olduğu coğrafi konumu itibariyle enerji potansiyeli açısından birçok ülkeye göre çok avantajlıdır. Devlet Meteoroloji Genel

Müdürlüğü'ndeki EİE tarafından yapılan çalışmaya göre 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin 2640 saat olduğu hesaplanmıştır (günlük toplam 7,2 saat) [23].

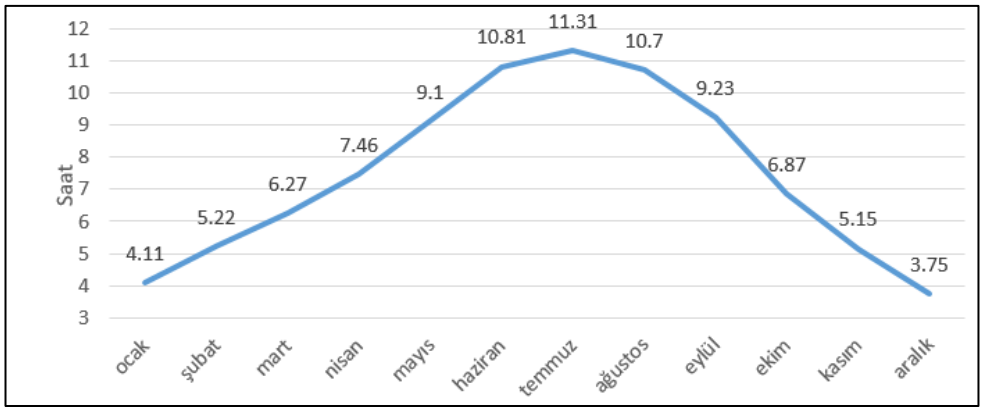
Türkiye, güneş kuşağı olarak bilinen ekvatora göre kuzey ve güney 40 enlemlerini kapsayan bölgede bulunmaktadır. Bu durum ise ülkenin güneş ışınım açısı bakımında ne denli önemli bir bölgede olduğunun göstergesidir.



Şekil 2.2. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası [23]

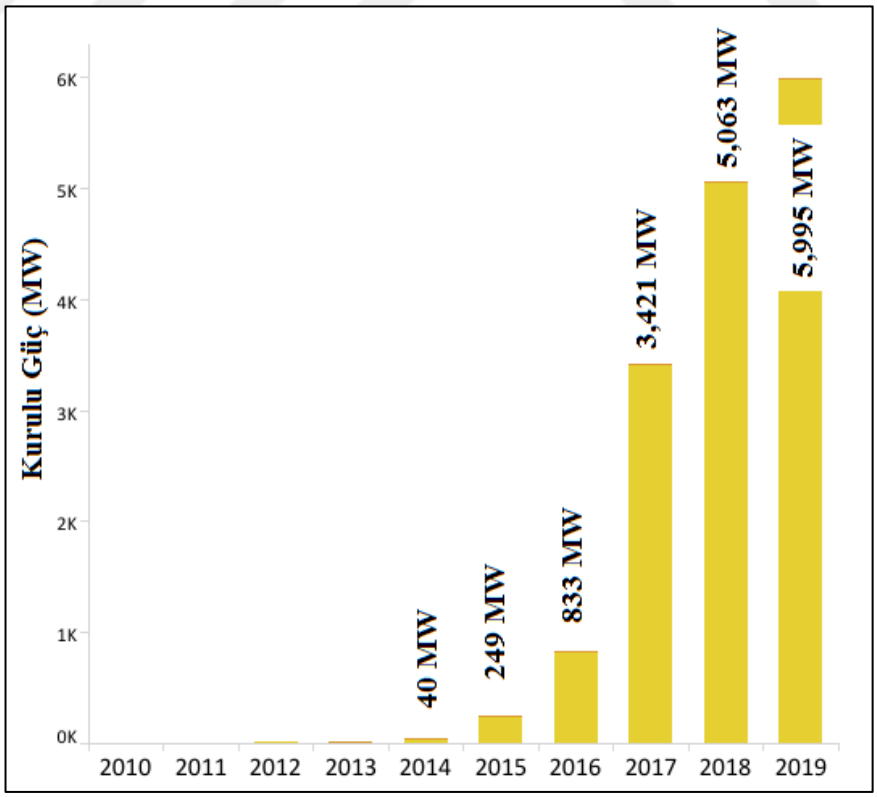
Şekil 2.2'de Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyeli Atlası verilmiştir. Bu atlastan elde edilen sonuca göre Türkiye'nin ortalama ışınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak Türkiye, 110 gün gibi yüksek güneşlenme süresine sahiptir. Eğer buraya gerekli yatırımlar yapılırsa yılda birim metrekareye ortalama 1100 kWh'lik güneş enerjisi üretmek demektir.

Şekil 2.3'de görüldüğü gibi Türkiye'nin güneşlenme süreleri yüksektir. Özellikle Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında uzun bir güneşlenme süresine sahiptir. Buna bağlı olarak da ülkenin yüksek bir güneş ışınımı potansiyeli vardır. TEİAŞ'ın açıkladığı rapora göre ise Aralık 2019 itibariyle toplam kurulu güç 91 GW'a ulaşırken bunun yaklaşık 6 GW'lık kısmı güneş enerji santralleri ile karşılanmaktadır [22]. Güneşlenme süreleri göz önüne alındığında kurulu gücün yakın zamanda daha da artacağı öngörülmektedir.



Şekil 2.3. Türkiye'nin güneşlenme süreleri (saat) [23]

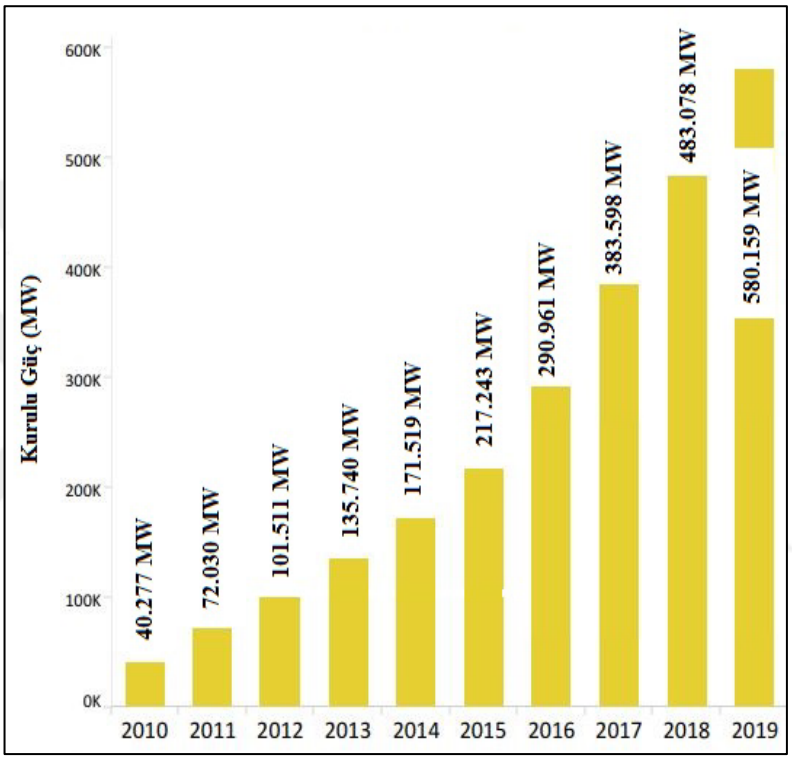
Türkiye'nin güneş enerjisi kurulu gücü 2015 yılında önceki yıllara oranla ciddi şekilde artmıştır. Şekil 2.4'de görüleceği üzere Türkiye'nin 2014 yılındaki kurulu gücü 40 MW iken bu sayı 2017 yılında 3.42 GW, 2019 yılında ise 6 GW sınırına ulaşmıştır. Bu artışların en önemli sebebi verilen teşvikler ve düşen maliyetlerdir. Tarıma elverişsiz arazilere kurulan güneş tarlaları sayesinde ciddi bir kurulu güç oluşmuştur. Özellikle 2017 yılında Türkiye; Çin, ABD, Hindistan ve Japonya'nın ardından güneş kurulu gücünü en çok artıran 5. ülke olmuştur.



Şekil 2.4. Türkiye güneş enerjisi kurulu gücü [33]

2.4. Dünya'da Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Kullanımı

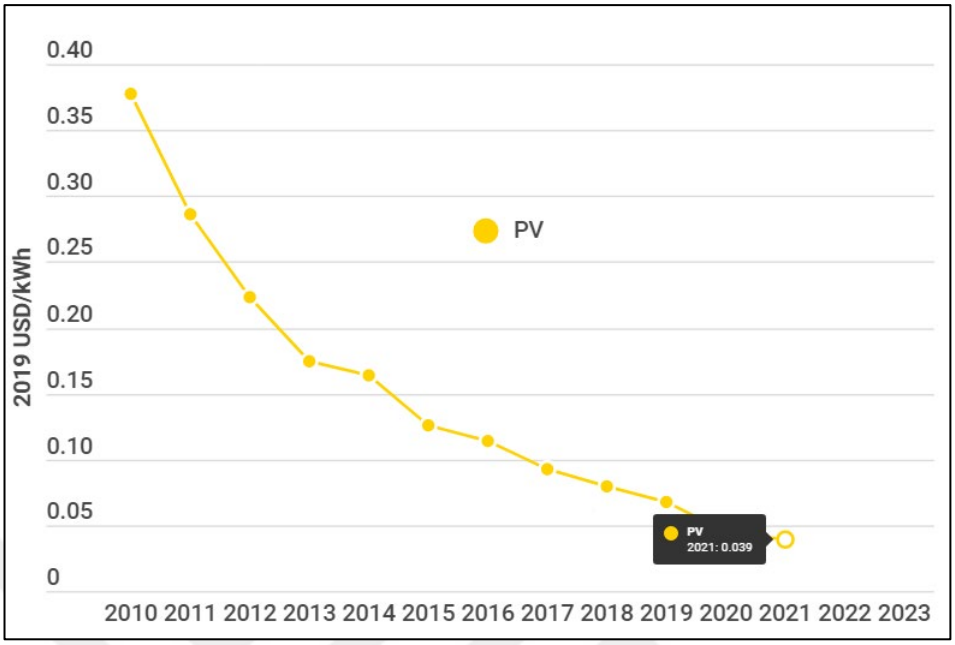
Güneş enerjisi özellikle kriz dönemlerinde ülkelerin daha da üzerine düştüğü bir konu olmuştur. Teknolojinin gelişmesi ve güneş panellerinden elde edilen verimin artması sonucu kurulu güç hızlı bir şekilde artmıştır. Şekil 2.5'de görüldüğü gibi 2010 yılında 40.277 MW olan kurulu güç dokuz sene sonra on dört katını geçmiş ve 580.159 MW'a ulaşmıştır. Bu artışın önümüzdeki yıllarda daha da artacağı öngörülmektedir.



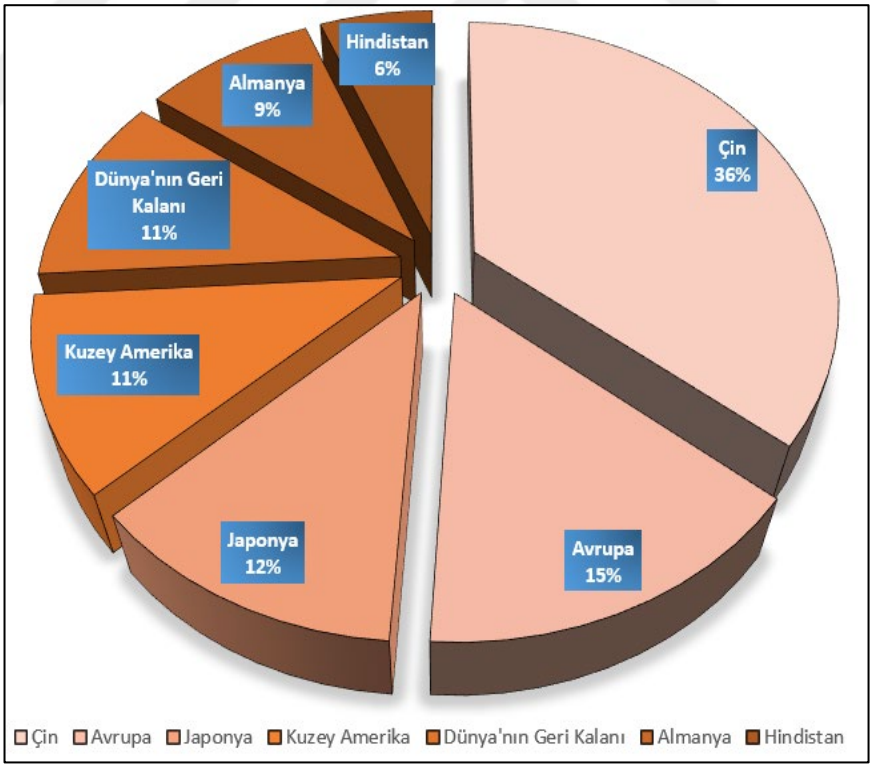
Şekil 2.5. Yıllara göre kurulu güç [33]

Güneş enerjisinin kullanılması ve bu alanda büyük şirketlerin Ar-Ge çalışmaları yapması ile oluşan rekabet sayesinde maliyetlerin düştüğü görülmektedir. IRENA'nın her sene yayınladığı raporun son sayısına göre yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi maliyetinin son on yılda %82 oranında azaldığı bildirilmiştir [33].

Şekil 2.6'da görüldüğü üzere güneş enerji maliyetlerinin son on yılda keskin bir düşüş yaşandığı gözlemlenmektedir. Bu maliyetler 2010 yılında kWh başına 0,378 USD/cent iken yıllar içerisinde ciddi bir düşüş eğilimine girmiştir ve günümüzde 0,039 usd/cent fiyatına kadar gerilemiştir. Bu fiyat düşüşü ise güneş enerjisi yatırımlarının hızlanmasının en büyük nedenlerindendir.



Şekil 2.6. Yıllara göre güneş enerji maliyetleri [33]



Şekil 2.7. Ülkelere göre fotovoltaik kurulumu [34]

Şekil 2.7'de görüleceği üzere dünyanın önde gelen ülkeleri enerji ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarının zorunluluğunu anlamıştır. Dünya nüfusunun

yaklaşık %60'ının bulunduğu Asya Kıtası fotovoltaik kurulumunun %54'lük kısmını oluşturmaktadır. Dünyanın en kalabalık iki ülkesi olan Çin ve Hindistan'ın güneş enerjisine bu kadar yatırım yapmaları şaşırtıcı değildir. Nüfus ne kadar çok artarsa enerjiye ihtiyaç da o oranda artacaktır. Tabi ki bir süredir Türkiye'nin gündeminde olan enerji verimliliği konusu bir nebze de olsa bu ülkenin bakış açısını değiştirecektir.

2.5. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi

Elektrik üretimi insanlığın ilk dönemlerinden itibaren hayatlarda hep var olmuştur. Elektrik, doğada yüklerin birbiri ve çevreleri ile olan etkileriyle ortaya çıkan fiziksel bir olaydır. Elektrik üretimi, farklı yüklerin birbirini çekmesi, aynı yüklerin ise birbirini itmesiyle, yüklerin bir yerden bir yere hareket etme prensibine dayanmaktadır. Yüklerin akışı farklı yöntemler ile gerçekleştirilebilir. Bunlar; statik elektrik, piezoelektrik, kimyasal elektrik, piroelektrik, termoelektrik etki, nükleer voltaikler, elektromanyetizma, indüksiyon ile elektrik üretimi ve fotoelektriktir [35].

2.6. Fotoelektrik

'Photo' ışık ve 'voltaic' elektrik, kelimelerinin birleşiminden fotovoltaik kelimesi ortaya çıkmıştır. Güneş ışınımının soğurulmasıyla yüklerin harekete başlamasına fotovoltaik etki denir.

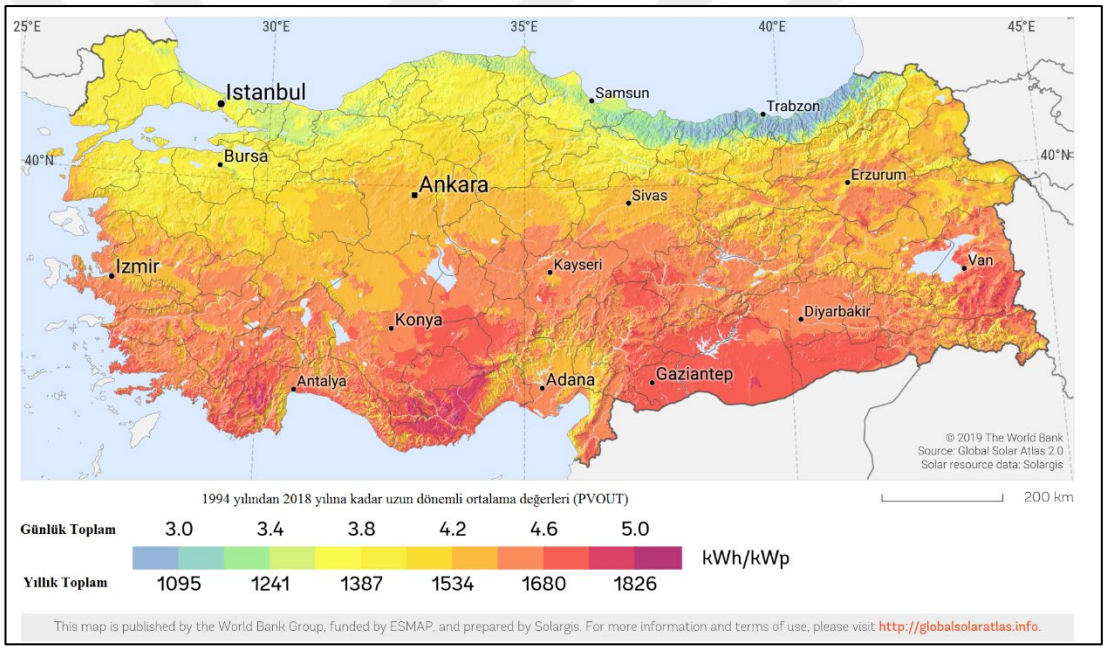
1905 yılında Albert Einstein, kuantum kuramını genişleterek ışığın kendisinin foton değil, ışık kuantumlarından oluştuğunu açıklamıştır. Fotokimyanın temel işlemi olan fotoelektrik olayı ise bu şekilde açıklanmıştır. Fotoelektrik etki, bir kaynaktan yayılan bir maddenin yüzeye düşmesi sonucu maddeden elektron yayınlanması olayıdır. Işıktan elektrik elde etmenin üç temel sebebi vardır [5].

1) Cismin yükü olması,
2) Işığın enerjisinin olması,
3) Bazı malzemeler ışınımı soğurduklarında yüklerin tetiklenmesi ve harekete başlamalarıdır.

Fotovoltaik hücreler bu özelliklerden faydalanarak elektrik üretmek üzere tasarlanırlar. Fotovoltaik etkiyi ilk olarak Alexandra Becquel ismindeki bilim insanı keşfetmiştir. Bu bilim insanı 1839 yılında platin katmanlar üzerinde yaptığı çalışmalar

sonucunda katmana gelen ışığın parlayarak elektrik akımı ürettiğini keşfetmiştir. Bu keşif fotovoltaik teknolojinin çıkış noktası olarak gösterilir. Bu keşif sonrası bazı çalışmalar ve gelişmeler olmuştur. 1921 yılında ünlü fizikçi Albert Einstein 'Fotoelektrik Etki Kanununu' keşfetmiş ve ortaya koymuştur. Bu çalışmasıyla Nobel ödülünü kazanmıştır. Bu çalışma ayrıca modern fotovoltaik teknolojinin başlangıcı olarak kabul edilmektedir [25].

Dünyanın yıllık enerji tüketiminin artarak devam etmesi ve 2050 yılında yaklaşık 30 TW seviyesine gelmesi beklenmektedir. CO_2 salınımını dengede tutabilmek için yaklaşık 20 TW CO_2 dışı enerjiye ihtiyacı vardır. Bu ihtiyacı yenilenebilir enerji kaynaklarından bilhassa güneş enerjisinden karşılamak cazip bir yol olacaktır [36].

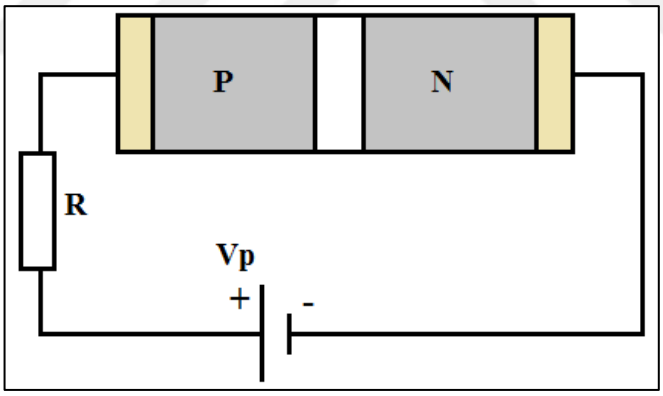


Şekil 2.8. Türkiye potansiyel fotovoltaik elektrik üretme haritası [37]

Şekil 2.8'de görüldüğü üzere Türkiye fotovoltaik elektrik üretme konusunda avantajlı bir konumda yer almaktadır. Sadece Doğu Karadeniz bölgemiz güneşe çok elverişli değildir. Ancak bu bölgelerde güneş enerjisi santrallerinin kurulmaması anlamına gelmemektedir. Çünkü Avrupa'da birçok ülke, özellikle Almanya'yı göz önüne alırsak onların elektrik üretme potansiyelleri bizlere göre çok daha geridedir. Ancak Almanya'nın güneş kurulu gücü yaklaşık 46 GW seviyesindedir [38]. Türkiye'nin ise güneş kurulu gücü 6 GW yeni geçmiştir [22]. Bu yüzden uygun maliyetler olması halinde Türkiye'nin her yerine güneş enerjisi santralleri kurulabilir.

2.6.1. Fotovoltaik piller ile enerji üretmenin avantajları ve dezavantajları

Fotovoltaik piller ile elektrik üretiminin ciddi avantajları vardır. Fotovoltaik pillerin fosil yakıtlara göre en büyük avantajlarından birisi kullanılan enerji kaynağının yani Güneş'in doğada sürekli var olmasından dolayı kaynak için ek bir maliyet yoktur. Fosil yakıtlara oranla daha bağımsız enerji üretirler. İlk kurulum sonrası uzun yıllar kullanılabilir. Genelde hareketsiz parçalar kullanılması sebebiyle bakım giderleri düşüktür. Doğal olaylara karşı dayanıklıdır. Enerjiye ihtiyaç duyulduğu yerde üretim yapılmasından dolayı enerji kayıp ve iletim maliyetini minimum seviyeye indirir [39]. Fotovoltaik elektrik üretiminin ayrıca bazı olumsuzlukları vardır. Bunlardan birisi fotovoltaik elektrik üretiminin kış ve yaz aylarında ciddi farkların olmasıdır. Yine gece ve gündüz arasında ciddi üretim farkları vardır. Bu üretim farklılığı arz-talep noktasında sıkıntı oluşturmaktadır. Bu sorunu çözebilmek için depolama yapılması gerekmektedir. Ayrıca ışınımdan faydalanabilmek için gölgelemenin olmaması lazımdır. Bununla beraber, fotovoltaik elektrik santrallerine yapılan ilk yatırımın maliyetleri yüksektir.



Şekil 2.9. P-N Kavşağının oluşturulması

2.6.2. Hücrelerin elektriksel yapısı

Fotovoltaik paneldeki yarı iletkenler, yasak enerji denilen bölgeyle ayrılıp iki ayrı enerji bandından oluşur. Valans bantı ve iletkenlik bantı adını alan yarı iletken kısımlar, yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük bir foton emdiği zaman enerjisini bir elektrona vererek elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Böylece elektron-boşluk çifti oluşmuş olur. Bu olay, PN eklem güneş pilinin ara yüzeyinde meydana gelmiş ise elektron-boşluk çiftleri buradaki elektik alanı tarafından birbirlerinden

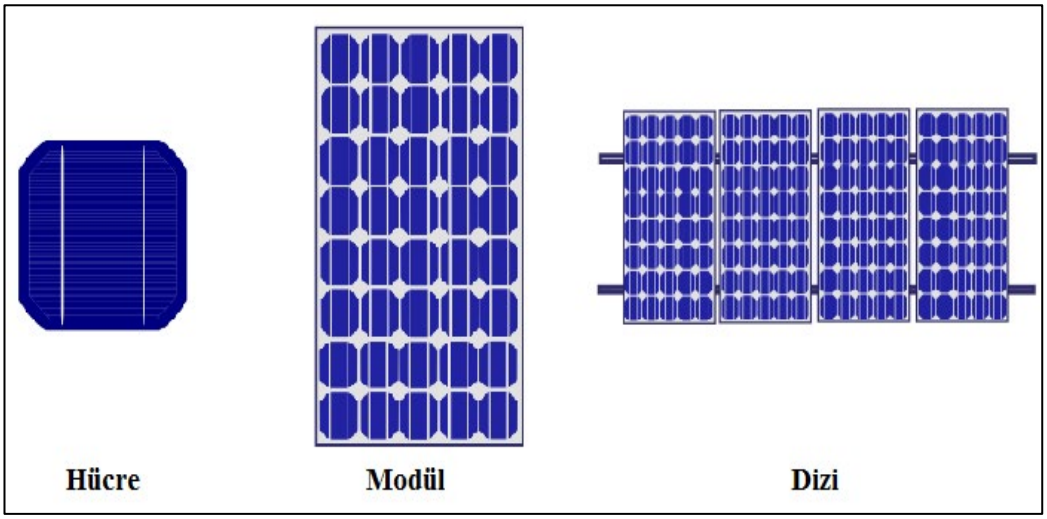
ayrılır. Şekil 2.9'da görüleceği üzere güneş pili, elektronları N bölgesine, boşlukları da P bölgesine iten bir pompa gibi çalışır. Yani elektronlar N bölgesinden P bölgesine geçerek yük taşıyıcılarının eksikliğini tamamlayarak – iyonlar oluştururken N tipi bölgede + iyon duvarı oluşturacaklardır. Birbirlerinden ayrılan elektron-boşluk çiftleri, güneş pilinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar.

3. GÜNEŞ PİLLERİ

Güneş pilleri, yüzeylerine gelen güneş ışınımını elektriğe dönüştüren yarı iletken maddelerdir. Farklı şekillerde üretilen yüzeyleri ile %5-%20 arasında verimle elektriğe dönüşüm sağlarlar. Üretildikleri malzemeye, teknolojiye, boyuta ve şekline göre verimleri değişmektedir. Güneş hücrelerinde genellikle, kristal silisyum, amorf silisyum, galyum arsenik, kadmiyum tellür, bakır indiyum diselenid gibi malzemeler kullanılır. En çok tercih edileni ise tek ve çok kristalli silisyum malzemeleridir.

Güneş pillerinin birbirlerine bağlanması tab telleri ile lehimlenerek yapılır. Birbirine bağlı hücrelerin kendi aralarındaki bağlantısında ise bus telleri kullanılmaktadır.

Piller Şekil 3.1'de görüleceği üzere hücre olarak imal edilir daha sonra seri olarak birleştirilerek, 12/24/36/48 volt çıkışlı güneş panelleri elde edilir. Seri bağlamanın amacı uygun çıkış voltajını sağlamaktır. Bu hücreler seri bağlantıyla bir araya gelerek modül şeklini alır. Daha sonrasında ise modüller de bir araya gelerek dizi şeklini alır.



Şekil 3.1. Fotovoltaik hücre, modül ve dizi

Güneş pillerinin çıkış gerilimi, üzerine düşen güneş ışınımına bağlı olarak 0,5 ila 0,6 V arasında değişmektedir. Ayrıca Güneş pilindeki mevcut amper değişikliği yüzey alanına göre olmaktadır[40].

3.1. Güneş Pillerinin Çeşitleri

Güneş pilleri, yüzeylerine gelen güneş ışınımını fotovoltaik etki ile doğrudan elektriğe dönüştüren sistemlerdir. Güneş panellerinin çıkış gücü, bu panellerin seri ya da paralel bağlanmasıyla artırılabilir. Güneş pilleri için ticari olarak piyasada üç çeşit teknolojisinden bahsedilebilir. Bunlar mono, poli ve amorf kristal güneş panelleridir. Bütçenin durumuna göre kullanılacak yerin boyutu, hangi amaçla kullanılacağı gibi sorularla uygun panel tercihi yapılmaktadır. Panel üretici firma, bu konuda önemli bir yerde durmaktadır. Panel üretici firmalar güvenilir test merkezlerinden uygun koşullarda bu panelleri test yaptırmalı ve belgelendirmelidir [41]. Eğer bu belgeler ismi bilinmeyen veya kötü intiba sahibi olan firmalardan alınırsa ilerleyen yıllarda bu panellerde yaşanacak bir sıkıntıda ciddi zararlar oluşabilir ve normalde kullanım süreleri yaklaşık 20-25 yıl olan bu panellerin bu süreleri daha kısa olabilir.

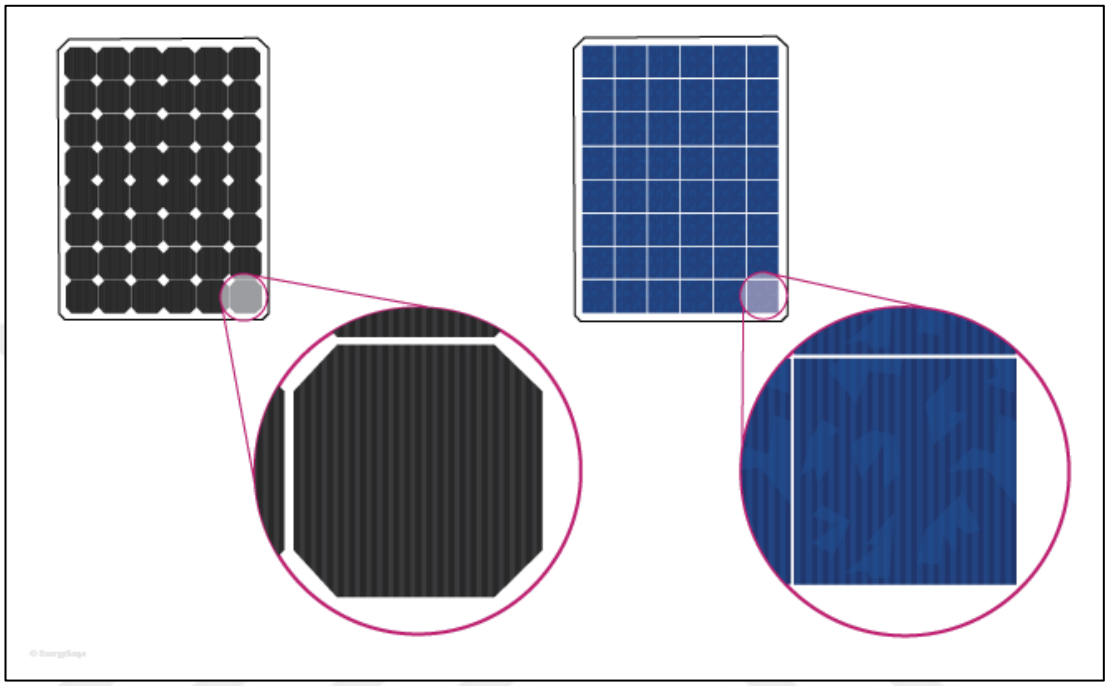
3.2. Monokristal Güneş Panelleri (Tekli Kristal)

Monokristal güneş panelleri, tek kristal silisyum hücre olarak da bilinir. Güneş hücresinde kullanılmasının en büyük nedenlerinden silisyum maddesinin, elektriksel ve yapısal özelliklerinin uzun süre değişmemesi ve seri üretime uygun olması gösterilmektedir.

Tek kristal silisyum hücreleri, yüksek dereceli silikondan yapıldığı için ticari olarak yüksek verimlilik oranlarına sahiptirler. Genel olarak bu hücrelerden %15-25 arasında verimlilik elde edilir. Ayrıca bu hücreler düşük ışık koşullarında eşdeğer polikristal panellerden daha iyi performansa sahiptirler. Mono kristal paneller diğer panel çeşitlerine göre daha pahalıdırlar. Ancak bu paneller üretim aşamasının teknik ve zaman olarak uzun sürmesinden dolayı pahalıdır. Buna rağmen bu paneller uzun vade kullanımı için en uygun tercihtir.

Şekil 3.3'de görüldüğü gibi bu şeklin sol tarafındaki aşamada monokristal güneş panellerinin üretim aşaması verilmiştir. Monokristal güneş panelleri Czochralski işlemi ile elde edilir. Burada tek kristal yarı iletkenleri üretmek için kristal büyütme yöntemi kullanılır [42]. Bu panellerin üretim sürecindeki işlem basamağı basitçe ark fırınlarında silisyum oksit çeşitli kimyasal reaksiyonlardan geçirilip saf silisyum elde edilmesiyle başlar. Daha sonra silisyum eriyiğe kristal yapılı silisyum parçası batırılır.

Bu parça, çekirdeğin üzerinde külçe şeklini alır. Bu külçe, dilimleme yöntemi ile ayrılır. Daha sonrasında hücreler oluşturulur ve bu hücreler lehimlenerek panel üretilmiş olur. Monokristal güneş paneli Şekil 3.2'de görüleceği üzere genellikle koyu mavi renklidir.

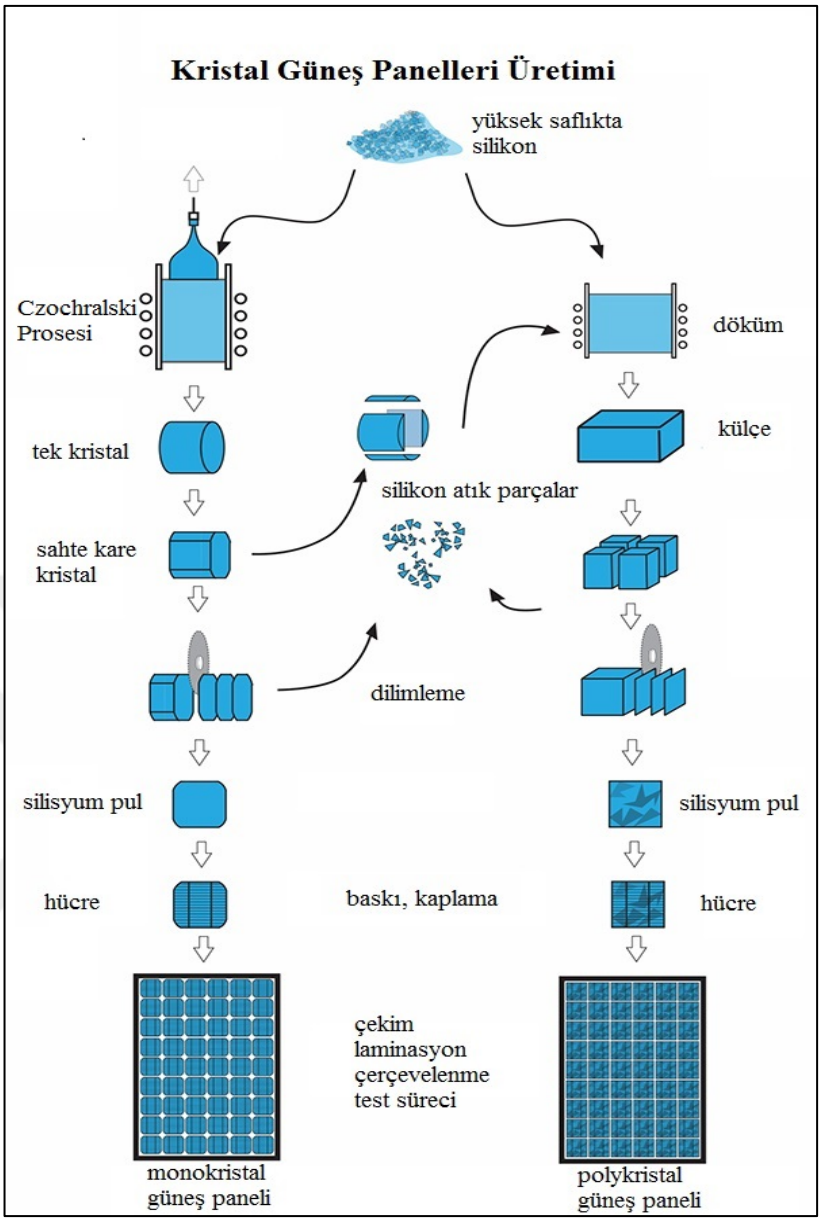


Şekil 3.2. Monokristal ve polikristal güneş paneli [43]

3.3. Polikristal Güneş Panelleri (Çoklu Kristal)

Polikristal Güneş Panelleri, çok kristalli silisyum hücreler olarak da bilinmektedir. Ortalama verimleri %12-20 arasında değişmektedir. Bu panellerin, monokristal panellerle elektriksel ve yapısal özellikleri benzerdir. Mono kristal paneller kadar verimli olmamasına rağmen bu panellerin mono kristal panellere göre daha uygun maliyetli olması sebebiyle en çok kullanılan paneller olarak karşımıza çıkmaktadırlar. Bu panellerin monokristal güneş panellerine göre verimlerinin düşük olmasını sebebi polikristal güneş panellerinin elektriksel özelliklerinin olması ve küçülen damar büyüklüğü ile orantılı olarak bozulma göstermesidir.

Şekil 3.3.'de görüldüğü gibi bu şeklin sağ tarafındaki aşamada Polikristal güneş panellerinin üretim aşaması verilmiştir. Monokristal panellere göre daha kolay üretim yapılır. Hem uygun maliyetli olmasından hem de üretim aşamasındaki kolaylıktan dolayı en çok üretilen panel türüdür.



Şekil 3.3. Kristal güneş panelleri üretim şeması [44]

3.4. Amorf Silisyum Güneş Panelleri (İnce Film)

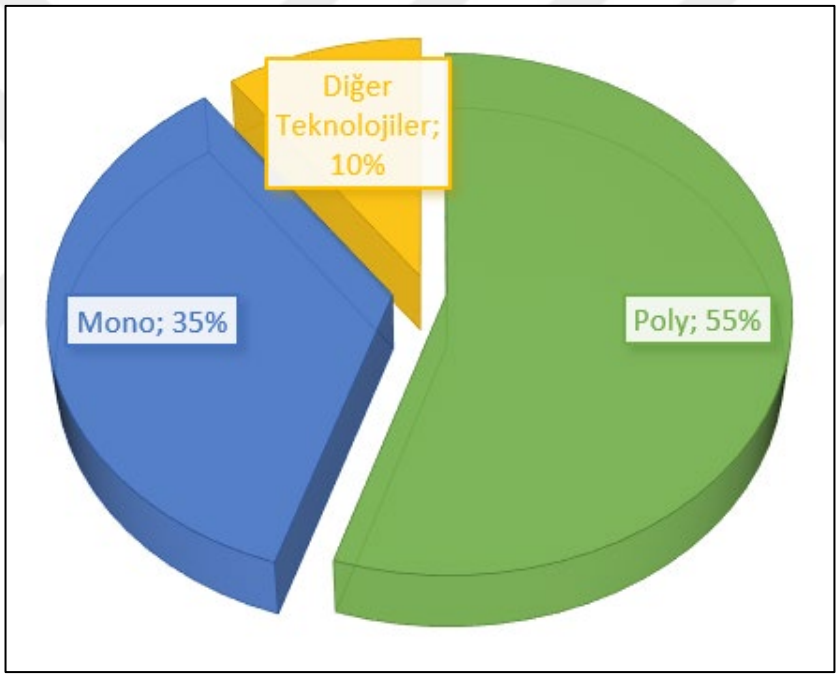
Amorf silisyum güneş panellerinin ortalama verimleri yaklaşık olarak %10-%15 arasında değişmektedir. Bu paneller üst üste getirilerek çok ince yarı iletken katmanlardan oluşur.

Amorf Silisyum Güneş Panelleri, üretim kolaylığı, az materyal gerektirmesi sayesinde tercih edilmeye başlanmıştır [45]. Bu paneller amorf silisyum maddesinden elde edilmektedir. Ayrıca bu paneller kristal yapı yerine ince aynı tür silikon atomlardan oluşmaktadır. Bununla beraber diğer panellere göre daha hafif olduklarından dolayı

gelecekte bina yüzeylerinde tercih edilebilir. Bir başka önemli noktası ise bu panellerin esnek yapısı dolayısıyla depolanması kolaydır.

3.5. Diğer Güneş Panel Çeşitleri

Güneş panelinin üretim teknolojisi her geçen gün gelişmektedir. Bu yüzden birçok farklı güneş paneli çeşidi vardır. Bu panellerden birini tercih ederken bakılması gereken birçok parametresi mevcuttur. Bunlar içinde panellerin verimleri, fiyatları ve bulunabilirliği panel tercihinde çok önemli rol oynar. Bu panelden semikristal (yarı kristal), kadmiyum tellür tipi, bakır indiyum diseleneid tipi, galyum arsenit yapılı gibi birçok farklı uygulaması mevcuttur.



Şekil 3.4. Panellerin market payları

3.6. Dünyada Panel Kullanımı

Güneş panellerinin farklı kullanım yerlerine göre uygulanmasında bazı avantajları ve dezavantajları vardır. Genellikle en çok dikkat edilen avantajlarından biri panelin verimli ve uygun fiyatlı olmasıdır. Dünyada panellerin market payları Şekil 3.4'de gösterilmiştir [46]. Polykristal güneş panellerinin en büyük market payına sahip olmasının en büyük nedeni maliyetlerinin uygun olmasıdır [47].

Tablo 3.1. Güneş panel karşılaştırması [48]

Güneş Panel Çeşidi	Verim Oranları	Avantajları	Dezavantajları
Monokristal	%15-25	Yüksek verimlilik oranı, ticari kullanım için uygun olması, uzun yıllar kullanıma uygun olması	Pahalı
Polikristal	%12-20	Uygun fiyat	Yüksek sıcaklıklara duyarlı, daha düşük kullanım ömrü, daha az verim
İnce Film Amorf	%10-15	Düşük maliyetler, üretimin kolay olması, esnek olması	Daha kısa garanti, Daha kısa kullanım ömrü

Tablo 3.1.'de ticari olarak en çok tercih edilen üç güneş paneli çeşidi incelenmiştir. Bu paneller tercih edilirken ilk olarak verimine, daha sonra ise ana avantajlarına bakılır. Market payında %55'lik bir orana sahip olan Polykristal güneş panellerinin en büyük tercih edilmesinin sebebi uygun fiyatlı olmasıdır. Monokristal güneş paneli ise pahalı olmasına rağmen yüksek verimlilik oranı ve ticari kullanım olarak uygun olmasından dolayı market payı %35'dir.

3.7. Güneş Pillerinin Verimliliği

3.7.1. Verim hesabı

Fotovoltaik panellerden elde edilecek güç miktarı basit hesaplamalar ile bulunabilir. Bir güneş pilinden alınan maksimum gücün, pilin üzerine gelen maksimum güce oranı pilin verimini verir [49]. Verim η işareti ile gösterilir. Ayrıca Güneş pilinin maksimum güç çıkışı P_m ve optik giriş gücü ise P_{in} olarak ifade edilir. Bunlara göre verim formülü;

$$\eta = \frac{\mathrm{Pm}}{Pin} \tag{3.1}$$

olarak ifade edilmektedir [50]. Güneş pillerinin verimini etkileyen üç faktör vardır. Bunlar açık devre voltajı (V_{ad}), kısa devre akımı (I_{kd}) ve fill faktörü olarak sayılabilir. Bu faktörlerden ilk olarak açık devre voltajını anlatacak olursak panelin ya da

hücrenin, artı ve eksi çıkış uçları arasında herhangi bir yük yokken yani hiçbir yüke bağlanmadan hücre uçlarından ölçülen gerilimdir. Kısa devre akımı ise gerilim altında hücreden geçen akımdır. Son olarak fill faktörü de hücrenin maksimum çıkış gücünü, açık devre gerilimi ve kısa devre akımına bağlı olarak kullanılan ve ayrıca dolum faktörü olarak da bilinen bir değişken olarak tanımlanmaktadır.

3.7.2. Verimi etkileyen faktörler

Fotovoltaik hücrelerin verimi, güneş enerjisinin fotovoltaik etkisiyle elektriğe dönüşen bölümünün göstermesiyle bulunur. Bu verimi etkileyen birçok faktör vardır. Ama geleneksel PV hücrelerde verim kaybına sebep olan en büyük iki etken üretilen enerjinin yasak bant aralığından düşük olması nedeniyle fotonların soğurulamaması ve yüksek enerjili fotonların fazla enerjilerinin ısıya dönüşmesidir. Bu kaybın sebepleri ile güneş enerjisinin neredeyse yarısının kullanılamadığını göstermektedir. Yeni nesil güneş teknolojisinde ise bu enerjiden faydalanarak verim artırımı yapılması planlanmaktadır.

Diğer verime etki eden etmenler ise; güneş ışınımın spektral özellikleri, hücre üzerine gelen güneşin geliş açısı, fotovoltaik hücrenin kalınlığı, eğim açısı ve temizliğidir.

3.8. Güneş Pili Sistemleri

Güneş pili sistemleri yani fotovoltaik sistemler üç başlık altında incelenir. Bunlar şebekeden bağımsız, şebeke bağlantılı ve karma sistemlerdir. Şebekeden bağımsız sistemler, sadece güneş enerjisinden faydalanır ve şebekeye bağlı değildir. Şebeke bağlantılı sistemler üretilen fazla enerjiyi şebekeye verebilir ya da enerjinin yetmediği zaman şebekeden destek alabilen sistemlerdir. Güneş teknolojisi ile birlikte diğer enerji kaynaklarından yararlanıldığı sistemler ise karma sistemler olarak geçmektedir.

3.8.1. Şebekeden bağımsız (Off-Grid)

Şebekeden bağımsız sistemler, genelde elektrik şebekesinin olmadığı uzak yerleşim yerlerinde, kamp alanlarında, dağ ve bağ evlerinde, deniz fenerlerinde, uzay araçlarında ve buna benzer birçok alanda kullanılmak için tasarlanır. Bu sistemlerden üretilen enerji kendi sistemi içerisinde döndüğü için off-grid sistemler olarak

isimlendirilir. Bu sistemler dışarıya elektrik vermez. Bu tür sistemlerde genellikle panel, akü, elektrik panosu, solar kontrol kutusu bulunmaktadır.

Off-Grid sistemlerin yapılış sürecinde ilk olarak ihtiyaç duyulan enerji miktarı belirlenir. Daha sonrasında ise belirlenen miktara göre sistem kurulumu yapılır.

3.8.2. Şebekeye bağımlı sistemler (On-Grid)

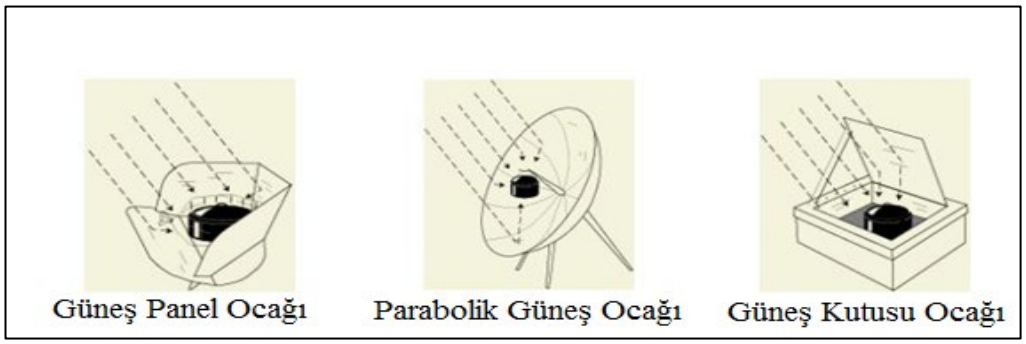
Şebekeye bağımlı sistemlerin kurulum süreci belirli bir alana göre hareket edilir. Bu sistemlerde genellikle panel, invertör, elektrik panosu, çift yönlü sayaçlar bulunmaktadır.

Şebekeye bağımlı sistemler ile kurulabilecek en büyük tesis kurulmaya çalışılır. Bu sistem, şebekeye çift yönlü sayaç ile takılır. Eğer sistemden elde edilen elektrik harcanan elektrikten fazla ise artan bu miktarı şebekeye verilir. Aksi durumda ise elektrik eksiğini gidermek için şebekeden elektrik alınır.

3.9. Güneş Enerjisi Uygulamaları

Güneş enerjisi hayatın birçok alanında kullanılmaktadır. Elektrik üretimi, güneş fırınları, soğutma, kurutma bu alanlardan bazılarıdır. Yansıtıcılar, güneşten dağıtık şekilde güneş ışınlarının istenilen alana yönlendirmektedir.

Güneş pişiricileri, enerjisini direkt olarak Güneş'ten alan, genelde yiyecek pişirmek veya sıvı ısıtmak için kullanılan araçlardır. Güneş pişiricilerinde yansıtıcı olarak farklı malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemelerin en önemli özelliği gelen güneş ışınımını güçlü bir şekilde yansıtmasıdır. Alüminyum malzemeler, parlatılmış metaller ve aynalar kullanılan malzemeler arasında sayılabilir.



Şekil 3.5. Güneş fırınları ve pişiricileri

Örneğin Şekil 3.5'de gösterildiği gibi güneş fırınlarının yansıtıcıları, gelen güneş ışınımını çok iyi şekilde hedefine yansıtabilmeli, bu sayede ocağın ısınma süresi kısalmaktadır. Güneş ışınımlarını çok iyi şekilde yansıtması, yansıtıcısı malzemenin en önemli özelliğidir. Alüminyum, yansıtıcı denildiği zaman akla gelen ilk malzemelerdendir. Bu malzeme paslanma yapmayacağından dolayı uzun süre boyunca kullanılır fakat uygun fiyatlı bir malzeme değildir. Düşük gelirli aileler bu ihtiyacı karşılayabilmek için aynı verimi göstermese bile kontrplak ya da sert plakaya perçinlenmiş alüminyum kutulardan yapılmış reflektörleri tercih ederler.

4. BATARYALAR

Bataryalar üretilen enerjiyi belirli kimyasal reaksiyonlar ile hapseden ve bu enerjiyi istenilen zamanda kullanılmasına yarayan araçlardır. Bataryalar, taşınabilir enerji kaynağı olarak şebekelerden uzak yerde kullanılmasından dolayı çok önemli bir araçtır. Çok kısa süre içinde büyük güç üretebilirler. Bu sayede şebekeye bağlı bir sistem gibi enerji üretimi kesintisiz şekilde sağlanmış olmaktadır.

Bugün batarya olarak kullandığımız ürünlerin ilki 1800 yılında Alessandro Volta tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada basit batarya düzeneği; pil, çinko ve bakır elektrotlarını, tuzlu su içerisinde deneyler yaparak oluşturmuştur.

Bataryalar özellikle mobil cihazların yaygınlaşmasıyla vazgeçilmez bir ürün olarak insanların hayatında yer etmiştir. Bu bataryalar iki grupta incelenir. Bunlardan birinci şarj edilemeyen yani tek kullanımlık piller iken ikincisi ise şarj edilebilen yani ikincil bataryalardır [51].

Bataryaların tercih sürecinde ilk olarak bataryaların kapasitesine bakılır. Bu kapasite Amper-saat (Ah) ile ölçülür. Batarya kapasitesi deşarj akımın yüksekliğine bağlı olarak kapasitesi azalır veya tersi durum olur. Bu kapasiteyi; deşarj oranı, çıkış voltajı, sıcaklık aralığı ve özgül ağırlığı etkilemektedir.

Fotovoltaik sistemlerde nikel-kadmiyum (NiCd) ve kurşun asit (PbA) piller çokça kullanılmaktadır. Bu sistemlerde batarya teknolojisinin kullanılması ciddi avantajlar getirmektedir. Ayrıca bu sistemlerde gün boyu üretilen ve tüketilen enerji sonrası arta kalan enerji bataryalarda depolanır. Depolanan bu enerji, güneşin olmadığı zamanlarda kullanılabilir. Bu sayede enerji arz-talep döngüsünü sürekli hale getirilmiş olmaktadır.

Fotovoltaik sistemlerde bataryalar tercih edilirken özellikle bazı özelliklere dikkat etmek gerekir. Bu sistemlerin deşarj koşullarındaki güvenirliği, kendi kendine düşük deşarj imkânı, uygun fiyatlı olması, uzun kullanım ömrü olması, sağlam bir tasarıma sahip olması, az bakım istemesi, sıcaklık aralığının geniş olması istenen temel özelliklerdir. Özellikle sürekli doldur boşalt durumu olacağından yaşam döngüsü yüksek ürün tercih edilmelidir.

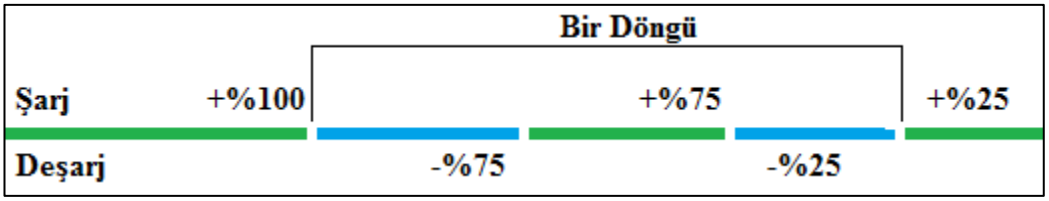
4.1.Lityum-İyon Piller

Lityum önceleri tek başına batarya teknolojisinde kullanılmaktaydı. Ancak yüksek reaktif bir malzeme olması sebebiyle direk anot olarak kullanımı ciddi güvenlik problemini de beraberinde getirmektedir. Deşarj sırasında lityum anodu terk eden lityum iyonları şarj sırasında tekrar eski yerlerine dönmekte ama bu dönüş sırasında bazı yerlerde birikme yapmaktadır. Bu yüzden zaman zaman kısa devre yapmaya neden olmaktadır [52].

Lityum-iyon piller günümüzde en çok tercih edilen pil çeşididir. Bu piller günümüzde cep telefonlarında, diz üstü bilgisayarlarında, küçük ev aletlerinde, tabletlerde, akıllı saatlerde, bilekliklerde ve elektrikli araçlarda kullanılmaktadır.

Lityum-iyon piller istendiği zaman şarj edilebilir. Şarj etme için bataryanın tamamen deşarj olmasını beklemeye gerek yoktur. Ayrıca bu piller, şarj döngüleri halinde çalışır. Bu döngü pilin kapasitesinin tamamına yakını kullanıldığında bir şarj döngüsü tamamlanmış olur. Bu döngü tek bir şarjda tamamlanmayabilir.

Lityum-iyon pillerin kapasitesi üretildiği andan itibaren kullanılmaya başlanmasa bile verim düşüşü olur. Ayrıca bu pillerin verimlerini etkileyen bazı farklı faktörler de bulunmaktadır. Pillerin aşırı sıcakta veya aşırı soğukta olmasıyla oluşacak ciddi hasarlar, bu faktörlere örnek olarak verilebilir.



Şekil 4.1. Şarj döngüsü

4.2. Telefon Batarya ve Şarj Durumları

Telefon bataryalarında genellikle lityum-iyon pil kullanılmaktadır. Bu pil teknolojisi akıllı pil olarak da geçmektedir. Eskiden piller, şarj olurken tam şarj döngüsünü beklerken günümüzde ise lityum-iyon pil teknoloji ile bu durum değişmiştir. Şekil 4.1'de görüleceği üzere bir şarj döngüsü, pil kapasitesinin %100'ünü bitirdiği zaman tamamlanmış sayılmaktadır.

4.2.1. Güneş paneli ile bataryanın şarj edilmesi

Güneş panelleri ile batarya sistemleri off-grid sistemlerde entegre bir şekilde yayılmaya başlamıştır. Şarj regülatörleri ile üretilen enerjinin fazlası akü ve batarya gruplarına depolanır. Bu sayede istenildiği zaman enerji kullanılmaktadır.

Herhangi bir telefonun pilini tamamen doldurabilmek için bakılması gereken ilk değer volt ve amper birimleridir. Bu değerlere uygun şekilde şarj etme işlemi gerçekleştirilirse bu pilin ömrü uzamış olur.

Taşınabilir şarj aleti veya taşınabilir güç kaynağı genellikle telefonlar sınırlı batarya kapasitesine sahip olduklarından dolayı tercih edilmektedir. Bu cihazlar depoladıkları enerjiyi genellikle bir USB aracılığıyla istenilen cihaza aktarır ve bu cihazların şarj edilmesi sağlanmış olur. Bu cihazlarda genellikle 16800'lük pil denilen malzemeler kullanılmaktadır. Taşınabilir güç kaynaklarının dış yüzeyleri sert plastik kutular ile korunmaktadır.

5. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada panellerin sağına ve soluna kompozit malzemeler eklenerek bu panellerin veriminin artırımı amaçlanmıştır. Bu panellerden piyasada en çok tercih edilen iki panel olan monokristal ve polikristal güneş panelleri tercih edilmiştir. Her bir panelin boyutu 13,5 x 11 cm olarak belirlenmiştir. Panellerin 12 V gerilim ve 150 mA akım özellikleri vardır. Bu paneller 2000 mAh kapasiteli bir taşınabilir güç kaynağını; $P = V \times I$ formülünden, $12\ V \times 0{,}150\ A$ işlemi gerçekleştirildiğinde 1,8 Watt saatlik olarak en yüksek güç bulunur. Taşınabilir güç kaynağımız için $5\ V \times 2000\ mAh$ işlemi uygulandığında 10 Wattlık güç gerektiği hesaplanmıştır. Bu işlemler sonucu panellerimizin tam verim ile yaklaşık 5,5-6 saat arasında dolduracağı bulunmuştur.

Polikristal ve monokristal güneş panellerinin tercih edilmesinin sebebi hem kolay bulunması hem de uygun fiyatlı olmasından dolayıdır. Ayrıca panellerin küçük boyutlu olarak kullanılmasının sebebi ise, taşınabilir güç kaynaklarına uygun olması ve bu panellerin rahat taşınabilmesidir. Kurulan deney düzeneğinde yansıtıcı olarak alüminyum kullanılmıştır. Aynı şekilde bu malzemenin kullanılmasının sebebi hem uygun fiyatlı olması hem de kolay bulunmasıdır. Aynı zamanda alüminyum, gelen güneş ışınımını ciddi yansıtma özelliği sebebiyle tercih sebebi olmuştur. Bu deney, yapay ışıkta ve gün ışığında olmak üzere iki farklı ortam koşulunda gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu çalışma kapsamında kullanılacak iki adet benzer deney düzeneği kurulmuştur. Bu sayede deneyler aynı zamanda gerçekleştirilecek ve aynı güneş ışınımı etkisinden çıkan sonuçlar daha gerçekçi bir şekilde elde edilip bu sonuçları karşılaştırma imkânı sağlanmış olacaktır.

Yapılan deney düzeneğinde güneş paneli, farklı boyutlardaki yansıtıcılar, multimetre, dijital el termometresi ve eğimi verecek bir tutacak bulunmaktadır. Deney düzeneği hazırlandıktan sonra ilk deney gün ışığında gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde iki deney düzeneği, sabah saat 09.00 ile 16.00 saatleri arasında hazır edilmiştir. Bu saat aralığındaki her saat başı aynı düzenek ile aynı işlemleri gerçekleştirip ölçülen değerler kayıt altına alınmıştır.

Panellerin yerleşim açısı, Ankara ili için en uygun açı formülü ile hesaplanmıştır. Türkiye kuzey yarımkürede yer aldığından dolayı paneller güneye doğru çevrilmiştir. Burada panel eğim açısı (5.1) ve (5.2) eşitliğine göre hesaplanmaktadır. Bu eşitliklerden eğer paneller belirli bir ay ya da aylarda kullanılacaksa;

$$\beta opt = \text{Bölgenin Enlemi} - 23.6° \quad (5.1)$$

Eğer; paneller bütün bir sene boyunca kullanılacak veya bu panellerden üretilen enerji şebekeye verilecekse aşağıdaki formül kullanılır;

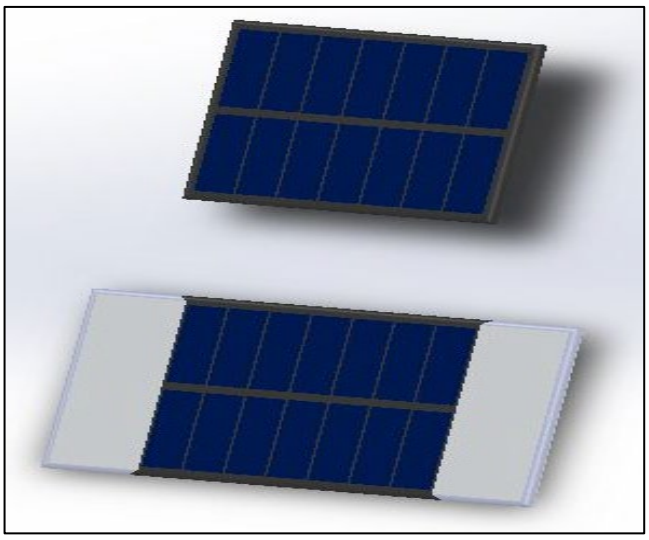
$$\beta opt = 3.7 + \text{Bölgenin Enlemi x } 0.69° \quad (5.2)$$

Bu çalışmada ise ikinci yaklaşım kullanılarak panel açısı hesaplanmıştır. Bu eşitliği hesaplarken Ankara ilinin enlemi 39° olarak alınmıştır. Buna göre değerler (5.2) eşitliğine eklenerek Ankara ili için en uygun güneş paneli açısı;

$$\beta opt = 3.7 + (39 \text{ x } 0.69)$$

$$\beta opt = 30.61°$$

olarak belirlenmiştir. İlk önce polikristal güneş paneli düzeneği güney yöne bakacak şekilde 30° ile yerleştirilmiştir. Bu deneyin düzeneklerinin sağına ve soluna yansıtıcı malzeme olarak alüminyum folyo eklenmiştir. Şekil 5.1'de görüldüğü üzere bu şeklin üst tarafında panelinin yansıtıcı malzeme kullanılmamış hali bulunmaktadır. Bu şeklin alt tarafında ise panelin yansıtıcı malzeme kullanılmış hali bulunmaktadır.



Şekil 5.1. Deney düzeneği

5.1. Gün Işığı Deneyi

Deney düzeneğinin sağına ve soluna sırayla deney yapılmak üzere 3 cm, 5 cm, 7 cm ve 9 cm'lik yansıtıcı plakalar yerleştirilmiştir. Bu deney saat 09.00'da başlayarak akşam 16.00'a kadar her saat başı tekrarlanmıştır. Panel sıcaklığını her deney için 25-30 °C sıcaklıkları arasında olduğundan emin olmak için lazer el termometresi ile sıcaklık ölçümü yapılmıştır.

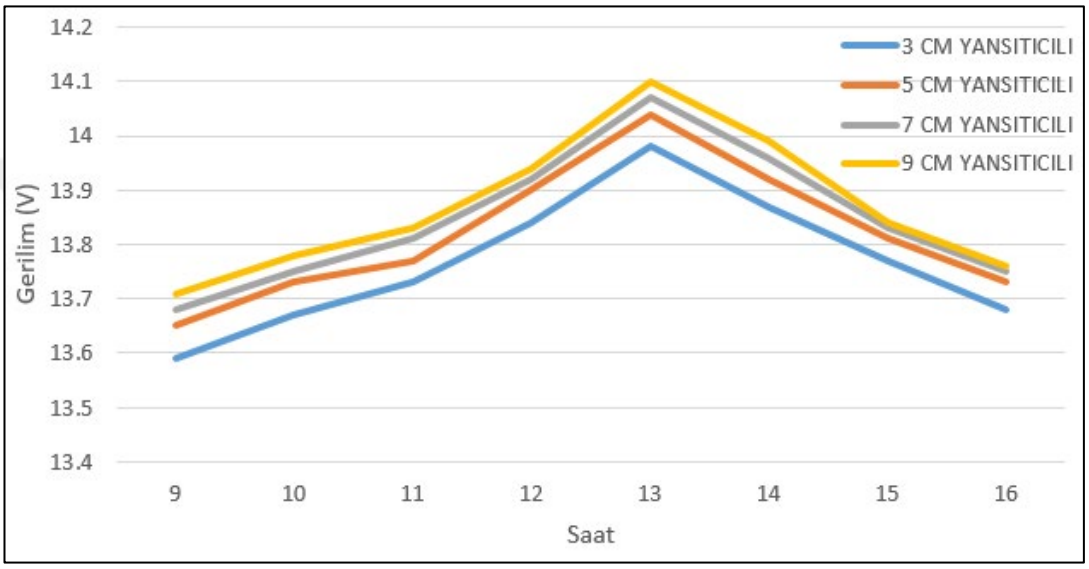
İlk deney için sabah saat 09.00'da yansıtıcı malzeme olmadan gerçekleştirilmiştir. Hemen arkasından sırayla 3 cm, 5 cm, 7 cm ve 9 cm'lik yansıtıcı malzemeler panelin sağına ve soluna yerleştirilerek ölçümler yapılmıştır ve bu ölçümlerin sonuçları ayrı ayrı kaydedilmiştir. Bu deney süreci hem polikristal güneş paneli hem de monokristal güneş paneli ile aynı anda gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5.2. Gün ışığında polikristal güneş panelinde yapılan deneylerin gerilim ölçümleri

Saat	Yansıtıcısız	3 cm Yansıtıcılı	5 cm Yansıtıcılı	7 cm Yansıtıcılı	9 cm Yansıtıcılı
9	13,55	13,59	13,65	13,68	13,71
10	13,62	13,67	13,73	13,75	13,78
11	13,68	13,73	13,77	13,81	13,83
12	13,78	13,84	13,9	13,92	13,94
13	13,91	13,98	14,04	14,07	14,1
14	13,82	13,87	13,92	13,96	13,99
15	13,73	13,77	13,81	13,83	13,84
16	13,65	13,68	13,73	13,75	13,76

Tablo 5.1'de polikristal güneş paneli deneyine göre elde edilen gerilim değerleri verilmiştir. Bu deneyde yansıtıcı malzeme olmadan paneller güney yönüne doğru 30°

ayarlanarak yerleştirilmiştir. Deney sonucunda elde edilen değerler incelendiğinde saat 09.00'da polikristal güneş paneli ile yapılan deneyde 13,55 V çıkış gerilimiyle en düşük değer elde edilmiştir. Daha sonra bu değerler saat 13.00'e kadar kademeli olarak artmıştır. Ardından bu saatten sonra elde edilen değerler kademeli olarak azalmaya başlamıştır. Çünkü Güneş ışınımının en geniş açısı saat 13.00'te olmuştur. Bu saatte ise polikristal güneş paneli ile yapılan deneyde 13,91 V ile en yüksek gerilim değeri elde edilmiştir.



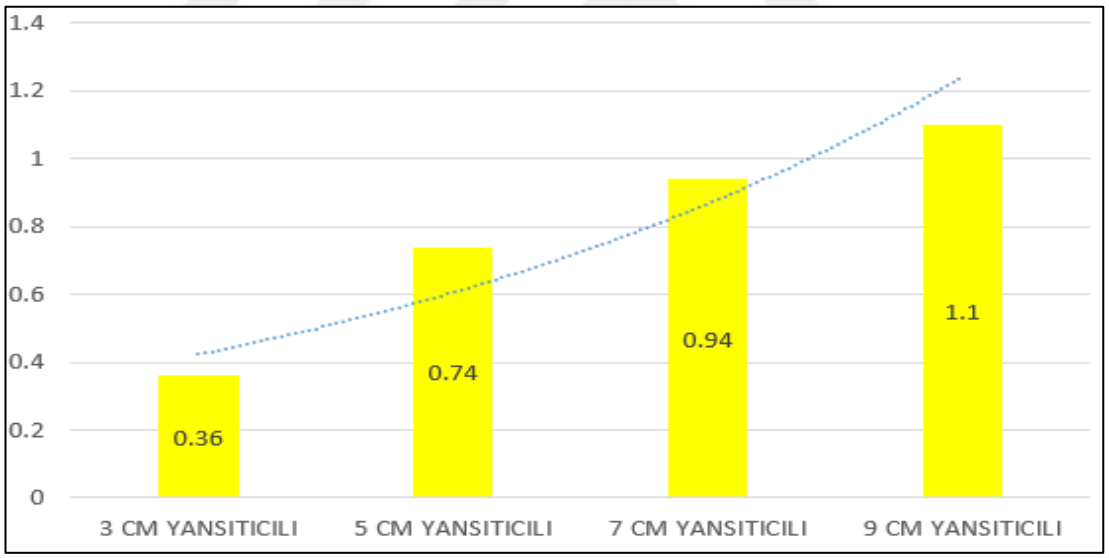
Şekil 5.2. Polikristal güneş panelinin gün ışığında yansıtıcı eklendiğinde ölçülen gerilim değerleri

Deneye, yansıtıcı kullanmadan gerçekleştirilen ölçümden sonra artık sağına ve soluna yansıtıcı malzemeler eklenerek ölçümlere devam edilmiştir. Deney yapılırken önceki deneydeki gibi açının bozulmamasına ve çok kısa süre içerisinde ölçümlerin yapılmasına dikkat edilmiştir. Şekil 5.2'deki grafikte görüleceği üzere 3 cm yansıtıcı malzemeler ile ölçülen değerler mavi, 5 cm yansıtıcı malzemeler ile ölçülen değerler turuncu, 7 cm yansıtıcı malzemeler ile ölçülen değerler gri, 9 cm yansıtıcı malzemeler ile ölçülen değerler ise sarı renkte gösterilmiştir. Bu şekildeki grafik incelendiğinde ilk olarak panelin sağına ve soluna yansıtıcı malzemelerin boyutları artırıldığında verim artışı net olarak görülmektedir. Pik noktası önceki deneydeki gibi yine panelin güneş ışınımlarının en geniş açıyla aldığı öğlen 13.00 saatleridir. Aynı şekilde gerilim değerleri sabah 09.00'dan 13.00'e kadar kademeli bir artış eğilimindeyken daha sonrasında ise bu değerler tekrardan kademeli olarak düşmektedirler. Ayrıca bu deney sonuçları yansıtıcı malzeme kullanılmadan elde edilen deney sonuçları ile

karşılaştırıldığında yansıtıcı malzemelerin pozitif bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir ve boyut arttıkça da bu etkide daha da artmıştır.

Oransal olarak bu etkiyi ifade etmek gerekirse saat 13.00'te 3 cm'lik yansıtıcı malzemenin kullanıldığı panelden elde edilen gerilim değeri yansıtıcı malzemenin kullanılmadığı panelden elde edilen gerilim değerine göre %0,5'lik verim artışı olduğu gözlemlenmiştir. Her bir saatten elde edilen gerilim değerlerinin ortalama değerlerine göre ise yaklaşık %0,36'lık bir verim artışının olduğu gözlemlenmiştir.

Polikristal güneş panelin sağına ve soluna 5 cm'lik yansıtıcı malzeme kullanıldığı zaman saat 13.00'te bu deneyden elde edilen gerilim değeri yansıtıcı malzemenin kullanılmadığı panelden elde edilen gerilim değerine göre %0,93'lük verim artışı olduğu gözlemlenmiştir. Burada da her bir saatten elde edilen gerilim değerlerinin ortalama değerlerine göre ise yaklaşık %0,74'lük bir verim artışın olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.3. Polikristal güneş panelinin gün ışığında ölçülen ortalama verim değerleri

Polikristal güneş panelin sağına ve soluna 7 cm'lik yansıtıcı malzeme kullanıldığı zaman saat 13.00'te bu deneyden elde edilen gerilim değeri yansıtıcı malzemenin kullanılmadığı panelden elde edilen gerilim değerine göre %1,15'lik verim artışı olduğu gözlemlenmiştir. Burada da her bir saatten elde edilen gerilim değerlerinin ortalama değerlerine göre ise yaklaşık %0,94'lük bir verim artışın olduğu gözlemlenmiştir.

Son olarak polikristal güneş panelin sağına ve soluna 9 cm'lik yansıtıcı malzeme kullanıldığı zaman saat 13.00'te bu deneyden elde edilen gerilim değeri yansıtıcı malzemenin kullanılmadığı panelden elde edilen gerilim değerine göre %1,37'lik verim artışı olduğu gözlemlenmiştir. Burada da her bir saatten elde edilen gerilim değerlerinin ortalama değerlerine göre ise yaklaşık %1,1'lik bir verim artışın olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 5.3. Gün ışığında monokristal güneş panelinde yapılan deneylerin gerilim ölçümleri

Saat	Yansıtıcısız	3 cm Yansıtıcılı	5 cm Yansıtıcılı	7 cm Yansıtıcılı	9 cm Yansıtıcılı
9	5,45	5,46	5,49	5,5	5,51
10	5,49	5,51	5,53	5,54	5,55
11	5,71	5,73	5,75	5,77	5,78
12	5,89	5,92	5,95	5,97	5,98
13	5,84	5,86	5,91	5,93	5,94
14	5,7	5,72	5,74	5,75	5,77
15	5,54	5,56	5,58	5,59	5,6
16	5,37	5,38	5,4	5,41	5,42

Şekil 5.3'de polikristal güneş panelinin yansıtıcı eklenmesi ile ne kadar verim artışının olduğu gösterilmiştir. Polikristal güneş panelinde yansıtıcı malzeme kullanılarak açık havada güneşle yapılan deney sonucunda ortalama verim %0,78 olarak hesaplanmıştır. En ideal yansıtıcı malzemenin kalınlığı ise 7 cm olduğu gözlemlenmiştir. 7 cm yansıtıcı bize %0,94 verim artışı sağlamıştır. 9 cm'lik yansıtıcı malzeme kullanılarak elde edilen verim %1,1 sağlanmasına rağmen bu kalınlıktan sonra verimlilik ivmesi azalma eğilimine girmiştir. Böylece en uygun yansıtıcı malzemenin kalınlığı 7 cm olarak tespit edilmiştir. Tüm bu sonuçlara baktığımızda panelin sağına ve soluna

konulacak yansıtıcı malzemeler sayesinde verim artışı sağlanacağı görülmektedir. Küçük boyutlu paneller için ise bu verim artışı tatmin edici niteliktedir.

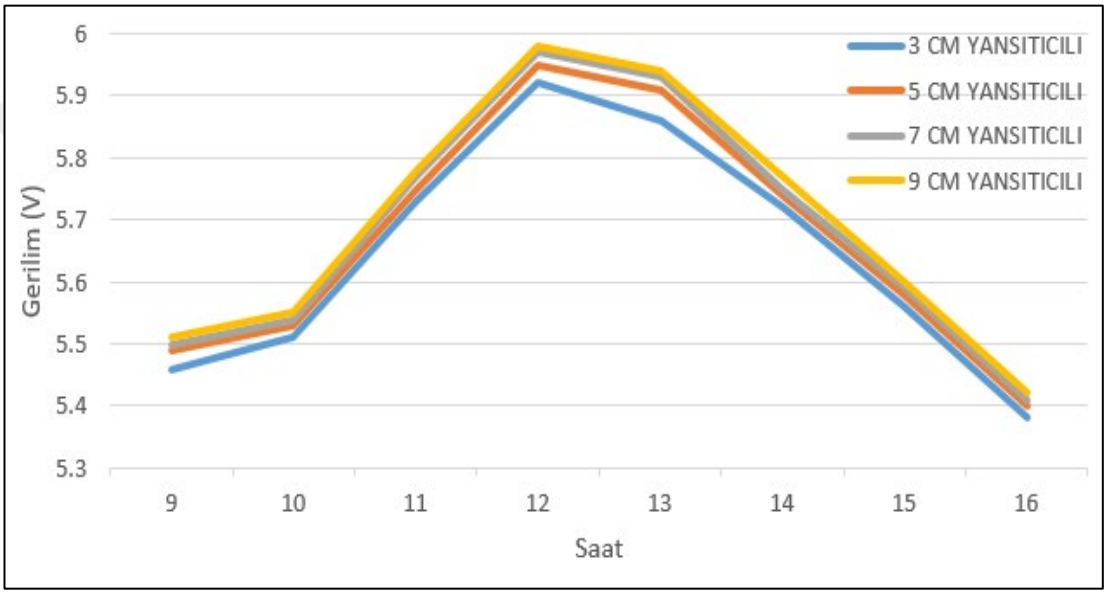
Polikristal güneş paneli ile deneyler yapılırken aynı zamanda benzer deney düzeneği ile de monokristal güneş paneli için yapılmıştır. Bu panel ilk olarak yansıtıcı malzeme olmadan ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümde elde edilen sonuçlara göre saat 09.00'da gerilim değeri 5,45 V olarak ölçülmüştür. Bu değerler polikristal panelinden elde edilen değerlerin kademeli artışına benzer şekilde saat 13.00'e kadar artarak devam etmiş ve saat 13.00'te bu değer 5,89 V olarak okunmuştur. Daha sonrasında ise bu değerler kademeli azalarak saat 16.00'da 5,37 V olarak ölçülmüştür. Elde edilen bu değerler Tablo 5.2.'de gösterilmiştir.

Deneye monokristal güneş panelinin sağına ve soluna 3 cm, 5 cm, 7 cm ve 9 cm'lik yansıtıcı malzemeler eklenerek devam edilmiştir. Bu deneyden elde edilen sonuçlardan ilk olarak 3 cm'lik yansıtıcı malzemesi olan güneş panelinden elde edilen sonuç incelendiğinde en düşük çıkış gerilimi saat 16.00'daki deneyde 5,38 V olarak elde edilmiştir. Ayrıca bu sonuçtaki değerler, saat 09.00'dan 12.00'e kadar kademeli olarak artmıştır. Ardından bu saatten sonra elde edilen değerler kademeli olarak azalmaya başlamıştır. Bu değerlerden elde edilen en yüksek verim ise saat 12.00'de 5,92 V ile elde edilmiştir.

5 cm'lik yansıtıcı malzemesi olan güneş panelinden elde edilen sonuç incelendiğinde en düşük çıkış gerilimi yine saat 16.00'daki deneyde 5,40 V olarak elde edilmiştir. Ayrıca bu sonuçtaki değerler, aynı şekilde saat 09.00'dan 12.00'e kadar kademeli olarak artmıştır. Ardından bu saatten sonra yine aynı şekilde elde edilen değerler kademeli olarak azalmaya başlamıştır. Bu değerlerden elde edilen en yüksek verim ise saat 12.00'de 5,95 V ile elde edilmiştir.

7 cm'lik yansıtıcı malzemesi olan güneş panelinden elde edilen sonuç incelendiğinde en düşük çıkış gerilimi bir önceki deneyler gibi saat 16.00'daki deneyde 5,41 V olarak elde edilmiştir. Ayrıca bu sonuçtaki değerler, bir önceki deneyler gibi saat 09.00'dan 12.00'e kadar kademeli olarak artmıştır ve ardından bu saatten sonra elde edilen değerler kademeli olarak azalmaya başlamıştır. Bu değerlerden elde edilen en yüksek verim ise saat 12.00'de 5,97 V ile elde edilmiştir.

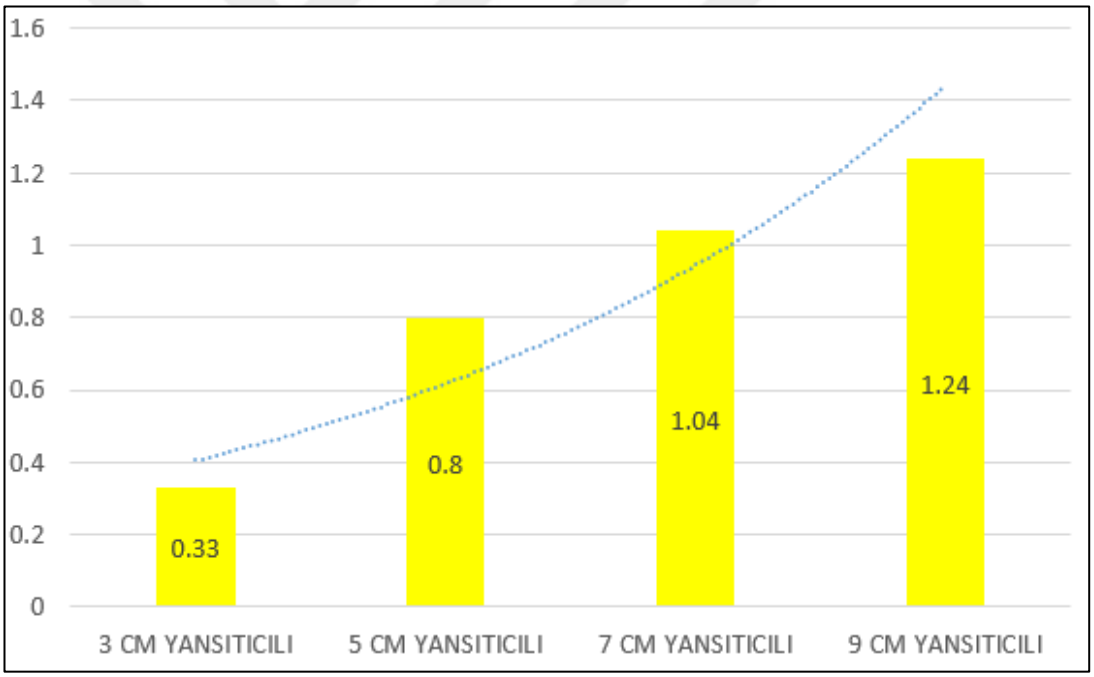
Son olarak 9 5. yansıtıcı malzemeli güneş panelinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde en düşük çıkış gerilimi yine bir önceki deneyler gibi saat 16.00'daki deneyde 5,42 V olarak elde edilmiştir. Ayrıca bu sonuçtaki değerler, yine bir önceki deneyler gibi saat 09.00'dan 12.00'e kadar kademeli olarak artmıştır ve ardından bu saatten sonra elde edilen değerler kademeli olarak azalmaya başlamıştır. Bu değerlerden elde edilen en yüksek verim ise saat 12.00'de 5,98 V ile elde edilmiştir. Ayrıca 3 cm'lik 5 cm'lik, 7 cm'lik ve 9 cm'lik yansıtıcı malzemeli güneş panellerinin gün ışığında yapılan deneyden elde edilen sonucun grafiği Şekil 5.4'de görülmektedir.



Şekil 5.4. Monokristal güneş panelinin gün ışığında yansıtıcı eklendiğinde ölçülen gerilim değerleri

3 cm'lik, 5 cm'lik, 7 cm'lik ve 9 cm'lik yansıtıcı malzemeli güneş panellerinin gün ışığında yapılan deneyden elde edilen sonuçlar kendi arasında karşılaştırılması yapıldığında bu yansıtıcıların boyutlarının artmasıyla güneş panelinde verim artışının olduğu görülmüştür. Bu deneylerin saat 09.00 ile 10.00'da yapılanların her biri ayrı saatlerde ortalaması alındığında ve bu sefer yansıtıcı malzemenin kullanılmadığı güneş panellerinin gün ışığında yapılan deneyden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında bu verimin fazla olmadığı görülmüştür. Yani bu iki saatteki verim %0,73 ve %0,77 olarak kalmıştır. Daha sonra bu oranlar öğle saatlerine yaklaşıldığın daha da arttığı gözlemlenmiştir. Yani 11.00, 12.00 ve 13.00 saatlerinde verim sırayla %0,83, %1,1 ve %1,2 oranlarında ölçülmüştür. Bu verim artışının sebebi olarak ise güneş ışınımının yansıtıcı malzemelere daha uygun açıyla gelmesi olarak açıklanabilir.

Monokristal güneş paneline 3 cm yansıtıcı eklenerek yapılan deneylerden her saat başı alınan sonuçların ortalaması, monokristal güneş panelin yansıtıcı olmadığı zaman yapılan deneylerden her saat başı alınan sonuçların ortalamasına göre %0,33'lük oran ile daha iyi verimin olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca 5 cm'lik, 7 cm'lik ve 9 cm'lik yansıtıcı eklenerek yapılan deneylerden her saat başı alınan sonuçların ortalaması, monokristal güneş panelin yansıtıcı olmadığı zaman yapılan deneylerden her saat başı alınan sonuçların ortalamasına göre sırayla %0,8, %1,04 ve %1,24'lük oranlarla daha iyi verimlerin olduğu gözlemlenmiştir. Bu değerler ise Şekil 5.5'deki grafikte verilmiştir. Elde edilen bu değerlere göre monokristal güneş paneli için en ideal yansıtıcı boyutu oransal olarak 9 cm olarak bulunmuştur. Buna ek olarak hem polikristal hem de monokristal güneş paneli için verim artışının olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 5.5. Monokristal güneş panelinin gün ışığında ölçülen ortalama verim değerleri

Şekil 5.6'da güneş panelinin sağına ve soluna 5 cm eninde yansıtıcı malzemenin eklendiği prototip deney düzeneği görülmektedir.

5.2. Yapay Işık Kaynağı Deneyi

Bu alt başlıkta ev şartlarında yapay ışık kaynağı ile gerçekleştirilen deneyler anlatılmaktadır. Daha sonrasında ise bu deneylerin sonuçları detaylı bir şekilde analiz

edilmektedir. Burada sabit ışık kaynağında mesafenin ve geliş açısının verime ne kadar etki edeceğinin bulunması amaçlanmıştır. En sonunda ise normal güneş ışınımı altında yapılan deneylerin sonucu, yapay ışık kaynağı ile yapılan deneyin sonucu ile karşılaştırma imkânı bulunmaktadır.



Şekil 5.6. Yansıtıcı eklenmiş panel

Deneyde yapay ışık kaynağı olarak, 40 W normal akkor sarı ışık ampul kullanılmıştır. Bu ampule aynı zamanda dimmer devresi eklenmiştir. Bu devrenin eklenmesi ile ampulün gerilimi sabit tutulmuştur. Bu sayede ışık kaynağının parlaklık seviyesi hep aynı seviyede tutularak panellerden alınan değerlerin daha gerçekçi çıkması sağlanmıştır. Yani her mesafede güneş panellerinin aynı parlaklık ile ışıma alması sağlanmıştır. Kullanılacak malzemeler kısaca söylenecek olursa bu deneylerde polikristal ve monokristal güneş paneli, 3 cm, 5 cm, 7 cm ve 9 cm'lik boyutlarında alüminyum folyo yansıtıcılar malzemeler, multimetre, dijital el termometresi, 40 W sarı renk ampul, dimmer devresi ve eğimi verecek bir tutacak kullanılmıştır.

Oluşturulacak deney düzeneğinde önceki deneyde kullanılan yansıtıcı plakalar kullanılmıştır. Önce bu malzemeler sırayla deney yapılmak üzere polikristal güneş paneline yerleştirilmiştir. Daha sonra yapay ışık kaynağı ile dimmer devresi bağlantısı oluşturulmuştur. Bu paneller yine 30° ile yapay ışık kaynağının tam karşısına yerleştirilmiştir. Ayrıca bu düzenekte yapay ışık kaynağı sabit tutularak ilk olarak bu ışığın bu düzeneğe olan uzaklığı 10 cm yapılmış ve her ölçümlerden sonra 10'ar cm geriye alınarak 70 santimetreye kadar ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bununla beraber Güneş panelleri, her uzaklık için ilk başta yansıtıcı olmadan ölçülmüş daha sonrasında ise 3 cm, 5 cm, 7 cm ve 9 cm'lik yansıtıcı malzemeler kullanılarak ölçülmüştür.

Yapay ışık kaynağına göre gerçekleştirilen ilk deneyde bu ışık kaynağının deney düzeneğine göre uzaklığı 10 cm olarak ayarlanmıştır. Polikristal güneş paneli için yapılan ölçümler sonucunda yansıtıcı malzemelerin kullanıldığı deney düzeneğinde yapılan deney sonrası elde edilen sonuçların ortalaması, yansıtıcı malzeme olmadan kullanılan deney düzeneğinde yapılan deney sonrası elde edilen sonuçlara göre yaklaşık %1,44'lük bir verim artışı elde edilmiştir.

Tablo 5.3. incelendiğinde, polikristal güneş paneli ile yapay ışık kaynağı arasında 10 cm uzaklık olduğu durumda; 3 cm, 5 cm, 7 cm ve 9 cm'lik genişliğinde yansıtıcılar kullanılarak elde edilen sonuçlar görülmektedir. Elde edilen sonuçlar kendi aralarında karşılaştırıldığında oransal olarak en iyi verimin 7 cm genişliğindeki yansıtıcılar ile elde edildiği görülmektedir.

Yapay ışık kaynağının polikristal güneş paneline göre uzaklığı 20 cm olarak ayarlandıktan sonra ölçümlere devam edilmiştir. Burada polikristal güneş paneli için yapılan ölçümler sonucunda yansıtıcı malzemelerin kullanıldığı deney düzeneğinde yapılan deney sonrası elde edilen sonuçların ortalaması, yansıtıcı malzeme olmadan kullanılan deney düzeneğinde yapılan deney sonrası elde edilen sonuçlara göre yaklaşık %1,3'lük bir verim artışı elde edilmiştir. Ardından bu işlemler yapay ışık kaynağı ile polikristal güneş paneline göre uzaklığı 10'ar cm geriye alınarak 70 cm'ye kadar devam edilmiştir. Burada ise uzaklıklar 30 cm, 40 cm, 50 cm, 60 cm ve 70 cm olmak üzere sırayla %1,21, %1,03, %0,96, %0,88 ve %0,84 oranlarla verimler elde edilmiştir. Bu değerler ise ayrıca Tablo 5.3.'de verilmiştir.

Yapay ışık kaynağında yapılan deneyde yansıtıcı malzemelerin boyutlarına göre karşılaştırma yapıldığında 3 cm yansıtıcı malzeme ile 10 ile 70 cm arasında olmak üzere her 10 cm'lik uzaklıkta yapılan ölçümlerin ortalama değerleri, yansıtıcı malzeme kullanılmadan yapılan ölçümlerin değerine göre yaklaşık %0,7'lik verim artışı sağlanmıştır. Bu verim artışı 5 cm için %1,11, 7 cm için %1,33 ve 9 cm için ise 1,24 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler Şekil 5.7'de verilmiştir. Bu değerlere göre en iyi verim 7 cm'lik yansıtıcı malzemenin kullanıldığı polikristal güneş panelinde gerçekleşmiştir. Bu yansıtıcı malzemenin kullanıldığı her ölçümde ise verim hiçbir zaman %1'in altına düşmemiştir. Böylece yapay ışık kaynağında polikristal güneş paneli için ideal yansıtıcı genişliği 7 cm olduğu ortaya çıkmıştır.

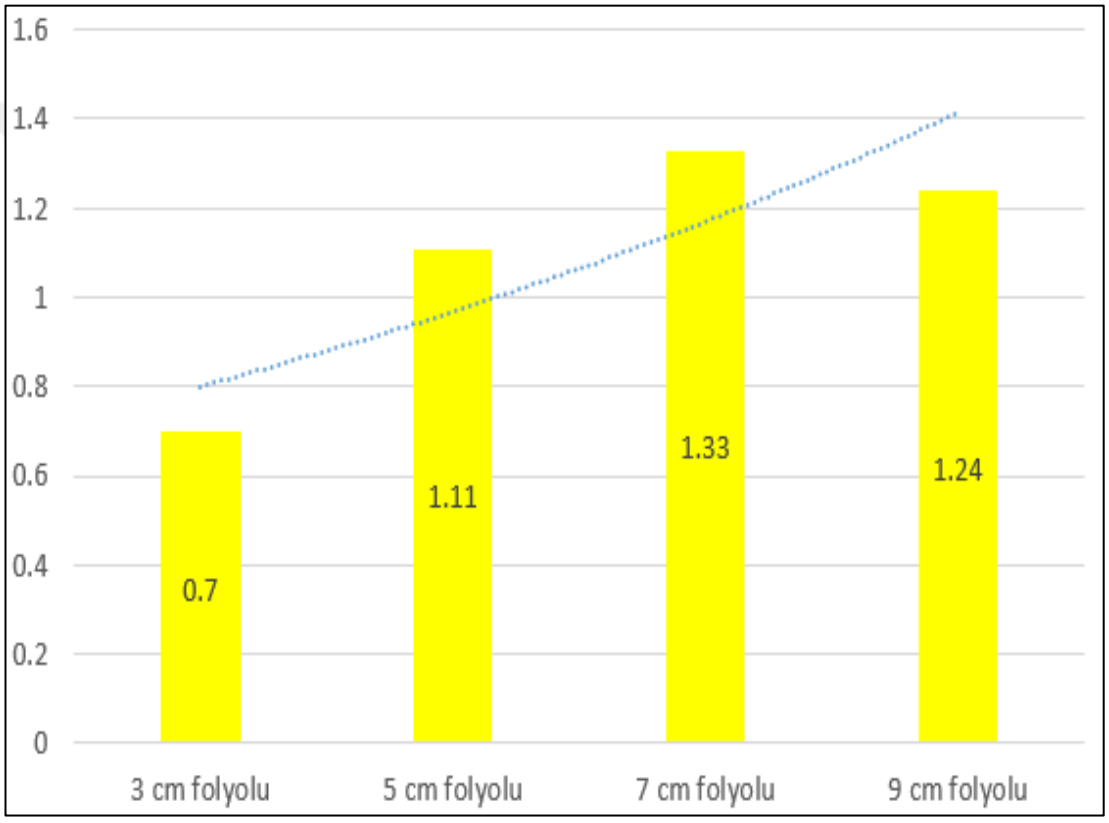
Tablo 5.4. Yapay ışıkta polikristal güneş panelinde yapılan deneylerin gerilim ölçümleri

Mesafe	Yansıtıcısız	3 cm Folyolu	5 cm Folyolu	7 cm Folyolu	9 cm Folyolu
1. Işınım 10 cm Uzaklık	12,3	12,42	12,48	12,51	12,5
2. Işınım 20 cm Uzaklık	12,07	12,17	12,23	12,26	12,25
3. Işınım 30 cm Uzaklık	11,74	11,83	11,88	11,92	11,9
4. Işınım 40 cm Uzaklık	11,61	11,69	11,73	11,76	11,74
5. Işınım 50 cm Uzaklık	11,23	11,3	11,34	11,36	11,35
6. Işınım 60 cm Uzaklık	10,79	10,85	10,89	10,9	10,9
7. Işınım 70 cm Uzaklık	10,4	10,45	10,49	10,51	10,5

Yapay ışıkta monokristal güneş panelinin yansıtıcı malzemelerle birlikte yapılan deneyler polikristal güneş paneli için yapılan deneyler gibi tekrarlanmıştır. Tablo 5.4.'deki verilerin değişim grafiği Şekil 5.7.'de görülmektedir. Bu değerlere göre yansıtıcı malzeme kullanıldığında yaklaşık %1,42'lik bir verim artışı elde edilmiştir.

İlk olarak monokristal güneş paneli, 10 cm uzaklıkta yansıtıcı malzeme olmadan ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde elde edilen gerilim değeri 5,2 V olarak hesaplanmıştır. Daha sonrasında 3 cm, 5 cm, 7 cm ve 9 cm'lik yansıtıcı malzemeler eklendiğinde bu gerilim değerleri sırayla 5,27 V, 5,32 V, 5,34 V ve 5,31 V olarak hesaplanmıştır. 10 cm uzaklıkta monokristal güneş paneli için yapılan ölçümler sonucunda yansıtıcı malzemelerin kullanıldığı deney düzeneğinde yapılan deney

sonrası elde edilen sonuçların ortalaması, yansıtıcı malzeme olmadan kullanılan deney düzeneğinde yapılan deney sonrası elde edilen sonuçlara göre yaklaşık %2,12'lik bir verim artışı elde edilmiştir. Ardından monokristal güneş paneli için yapılan deneylerde yapay ışık kaynağı ile monokristal güneş paneline göre uzaklığı 10'ar cm geriye alınarak 70 cm'ye kadar devam edilmiştir. Burada ise uzaklıklar 20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm, 60 cm ve 70 cm olmak üzere sırayla %1,86 , %1,66, %1,39, %1,21, %0,96 ve %0,76 oranlarla verimler elde edilmiştir. Bu değerler ise ayrıca Tablo 5.4.'de verilmiştir.



Şekil 5.7. Polikristal güneş panelinin yapay ışıkta ortalama verim değerleri

Yapay ışık kaynağında yapılan deneyde yansıtıcı malzemelerin boyutlarına göre karşılaştırma yapıldığında 3 cm yansıtıcı malzeme ile 10 ile 70 cm arasında olmak üzere her 10 cm'lik uzaklıkta yapılan ölçümlerin ortalama değerleri, yansıtıcı malzeme kullanılmadan yapılan ölçümlerin değerine göre yaklaşık %0,8'lik verim artışı sağlanmıştır. Bu verim artışı 5 cm için %1,53, 7 cm için %1,85 ve 9 cm için ise 1,5 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler Şekil 5.8'deki grafikte verilmiştir. Bu değerlere göre en iyi verim polikristal deneydeki gibi 7 cm'lik yansıtıcı malzemenin kullanıldığı

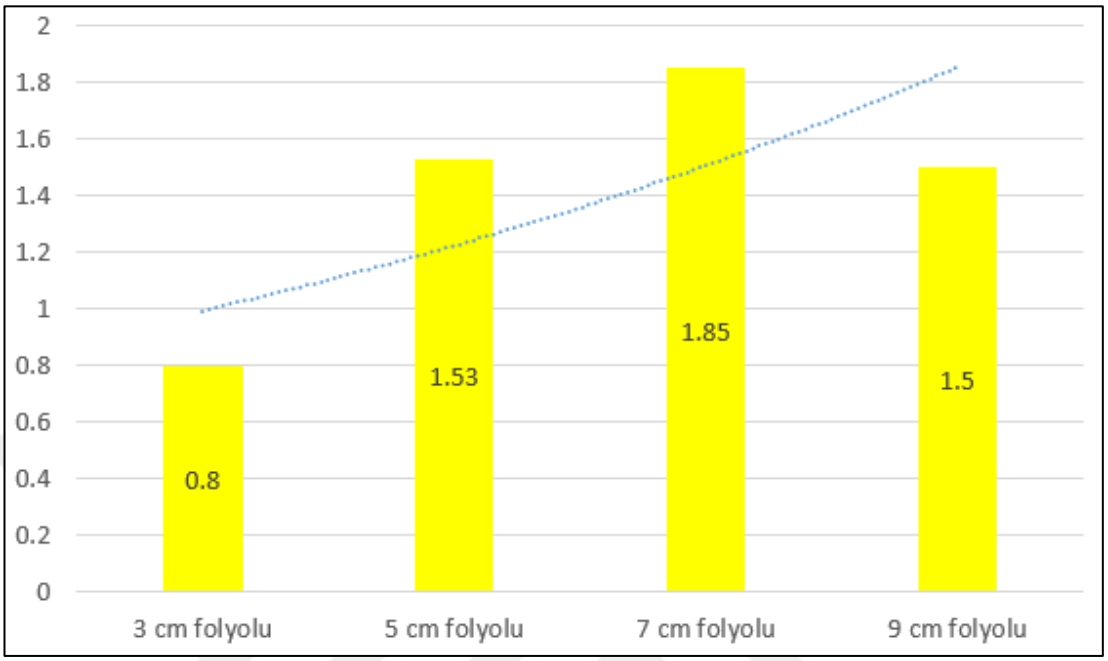
monokristal güneş panelinde gerçekleşmiştir. Böylece yapay ışık kaynağında polikristal güneş paneli için en ideal yansıtıcı genişliği 7 cm olduğu ortaya çıkmıştır.

Tablo 5.5. Yapay ışıkta monokristal güneş panelinde yapılan deneylerin gerilim ölçümleri

Mesafe	Yansıtıcısız	3 cm Folyolu	5 cm Folyolu	7 cm Folyolu	9 cm Folyolu
1. Işınım 10 cm Uzaklık	5,2	5,27	5,32	5,34	5,31
2. Işınım 20 cm Uzaklık	5,1	5,16	5,2	5,22	5,2
3. Işınım 30 cm Uzaklık	4,97	5,02	5,06	5,07	5,06
4. Işınım 40 cm Uzaklık	4,85	4,89	4,92	4,94	4,92
5. Işınım 50 cm Uzaklık	4,74	4,77	4,8	4,82	4,8
6. Işınım 60 cm Uzaklık	4,71	4,73	4,76	4,77	4,76
7. Işınım 70 cm Uzaklık	4,61	4,62	4,65	4,66	4,65

3 cm yansıtıcı kullanıldığı zaman ortalama verim %0,8, 5 cm yansıtıcı kullanıldığı zaman ise %1,53'lük bir verim artışı bulunmuştur. 7 cm yansıtıcı kullanıldığında ise pik noktası elde edilmiştir. 7 cm'lik yansıtıcı bize %1,85'lik verim artışı getirmiştir. Elde ettiğimiz en yüksek gerilim 5,34 V olarak bu yansıtıcı genişliğinde ölçülmüştür.

Son olarak 9 cm yansıtıcı kullanarak ölçüm sonlandırılmıştır. Bu ölçüm sonucunda %1,5 verim artışı elde edilmiştir.



Şekil 5.8. Monokristal güneş panelinin yapay ışıkta ortalama verim değerleri

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada, polikristal ve monokristal güneş panellerinin verimlerini artırmak için kompozit malzemeler kullanılmıştır. Bu güneş panelleri için farklı genişlikteki yansıtıcılar kullanılarak verim analizleri yapılmıştır. İlk olarak güneş panelleri hem yansıtıcı hem de yansıtıcı olmadan, gün ışığı altında deneyler yapılmış ve değerler elde edilmiştir. Polikristal güneş paneliyle yapılan deneyde farklı genişlikteki yansıtıcı malzemeler kullanıldığında, panel veriminin arttığı gözlemlenmiştir. Bu artışların ortalama değerleri yansıtıcı genişliğine göre; 3 cm genişlik için %0,36'lık, 5 cm genişlik için %0,74'lük, 7 cm genişlik için %0,94'lük ve 9 cm genişlik için ise %1,1'lik verim artışı elde edilmiştir.

Aynı koşullarda, monokristal güneş paneli için de deneyler yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre elde edilen ortalama değerler; 3 cm genişlik için %0,33'lük, 5 cm genişlik için %0,8'lik, 7 cm genişlik için %1,04'lük ve 9 cm genişlik için ise %1,24'lük verim artışı elde edilmiştir. Gün ışığı altında yapılan bu deneyler bize yansıtıcı eklemenin verim artışına pozitif bir etkisi olduğu açıkça görülmektedir. Bu deneyler yılın farklı aylarında gerçekleştirilerek yansıtıcının panel verimine etkisi de incelenebilir.

Deneyin ikinci aşamasında yapay ışık kaynağı altında polikristal güneş paneli hem yansıtıcı malzeme olmadan hem de belirli genişliklerde yansıtıcı malzemeyle birlikte deneyler yapılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Burada ışınım şiddetini ayarlamak için güneş paneli ile yapay ışık arasındaki uzaklık belirli ölçülerde ayarlanmıştır. Bu uzaklıklar 10 cm'den başlayarak 70 cm'ye kadar 10'ar cm artarak belirlenmiştir. Burada her bir uzaklık için, gün ışığında kullanılan yansıtıcı malzemeler ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deney sonuçlarına göre en iyi verim 7 cm genişliğindeki yansıtıcı ile elde edilmiştir. Aslında 9 cm'lik genişliğe sahip yansıtıcı malzemeden değer olarak daha fazla verim beklenmekteydi. Çünkü gün ışığında yapılan deney sonuçlarına göre yansıtıcı genişliği arttıkça verim artış göstermekteydi. Ancak yapay ışık kaynağı ile yapılan deneylerde 7 cm'den büyük yansıtıcılar kullanıldığında verim beklendiği kadar artmamaktadır. Fakat gün ışığında yapılan deneyde yansıtıcı genişliği

arttıkça verim artış göstermiştir. Bu sonuç bize güneş panelleri ile yapılan uygulamaların gün ışığında yapılmasının daha sağlıklı olduğunu göstermektedir. Yapay ışık kaynağı ile yapılan deneylerin ortalama verimleri; 3 cm için %0,7'lik, 5 cm için %1,11'lik, 7 cm için %1,33'lük ve 9 cm için ise %1,24'lük verim artışı kaydedilmiştir. Yapay ışık kaynağında yapılan deney sonuçları ile gün ışığında yapılan deney sonuçları karşılaştırıldığında, yapay ışık kaynağındaki verimlerin yüksek çıktığı görülmektedir. Bu ise yapay ışık kaynağı ile yapılan deney sonuçlarının sağlıklı olmadığını açıkça göstermektedir.

Aynı deneyler monokristal güneş paneli için de aynı koşullarda yapılmıştır. Bu deneylerin sonucunda ortalama verimleri; 3 cm için %0,8'lik, 5 cm için %1,53'lük, 7 cm için %1,85'lik ve 9 cm için ise %1,5'lik verim artışı kaydedilmiştir. Ayrıca bu değerlerden de görülüyor ki polikristal güneş panelinde görülen 7 cm sonrası verim düşüşü monokristal güneş paneli için de gerçekleşmiştir. Buna göre yapay ışık kaynağında farklı panellerin kullanılması elde edilen sonuçları etkilemediği tespit edilmiştir.

İki farklı şartta deneyin gerçekleştirilmesi bize daha net sonuçlar sunmuştur. Gün ışığında yapılan deney, yapay ışık deneyine göre daha gerçekçi sonuçlar vermiştir. Deney sonucunda polikristal güneş paneli için en yüksek verimi öğlen 12.00 saatinde elde edilmiştir. Monokristal panel için ise saat 13.00'da en yüksek gerilim değeri ölçülmüştür. Bu sonuca göre yüksek ışıma değerine sahip bölgelerde monokristal panel kullanımının daha avantajlı olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmada güneş panellerinin sağına ve soluna belirli yansıtıcı malzemeler eklenerek verimin artırılması bu çalışmanın hedefe ulaştığını göstermiştir. Ayrıca gelecek çalışmalarda aynı paneller için çeşitli yansıtıcılar kullanılarak sonuçlar irdelenebilir. Bununla beraber panelin üst kısmına da yansıtıcı eklenerek verime etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

[1] Mutlu Y., Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi, *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Derg.*, 2012, **4**(2), 33–54.

[2] Bayrak M., Esen Ö., Türkiye'nin Enerji Açığı Sorunu ve Çözümüne Yönelik Arayışlar, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilim. Derg.*, 2014, **28**(3), 139-158.

[3] https://about.bnef.com/new-energy-outlook/, (Ziyaret tarihi: 4 Temmuz 2020).

[4] Akımoto K., Sano F., Oda J., Homma T., Rout U. K., Ve Tomoda T., Global Emission Reductions Through A Sectoral İntensity Target Scheme, *Clim. Policy*, 2008, **8**(1), 46–59.

[5] Öztürk H., Kaya D., *Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi: Fotovoltaik Teknoloji*. 2nd ed., Umuttepe Yayınları, Kocaeli, 2019.

[6] Yiğit A., Atmaca İ., *Güneş Enerjisi*, 1st ed., Alfa Aktüel, Bursa, 2010.

[7] https://www.iea.org/fuels-and-technologies/solar, (Ziyaret tarihi: 4 Temmuz 2020).

[8] https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019, (Ziyaret tarihi: 4 Temmuz 2020).

[9] https://www.gunder.org.tr/bilgi-bankasi/gunes-kitapligi/, (Ziyaret tarihi: 10 Haziran 2020).

[10] Moehlecke A., Febras F. S., Zanesco I., Electrical Performance Analysis of PV Modules With Bifacial Silicon Solar Cells and White Diffuse Reflector, *Solar Energy*, 2013, **96**, 253–262.

[11] Sudhakar K., Srivastava T., Energy and Exergy Analysis of 36 W Solar Photovoltaic Module, *Int. J. Ambient Energy*, 2014, **35**(1), 51–57.

[12] Kaddoura T. O., Ramli M. A. M., Al-Turki Y. A., On The Estimation of The Optimum Tilt Angle of PV Panel in Saudi Arabia, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, **65**, 626–634.

[13] Biwole P. H., Eclach P. e, Kuznik F., Phase-Change Materials To İmprove Solar Panel's Performance, *Energy Build.*, 2013, **62**, 59–67.

[14] Shaiek Y., Smida M. B., Sakly A., Mimouni M. F., Comparison Between Conventional Methods and GA Approach for Maximum Power Point Tracking of Shaded Solar PV Generators, *Sol. Energy*, 2013, **90**, 107–122.

[15] Omeroglu G., Fotovoltaik - Termal (PV / T) Sistemin Sayısal (CFD) ve Deneysel Analizi, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2018, **30**(1), 161-167.

[16] Zaraket J., Aillerie M., Salame C., Capacitance Evolution Of PV Solar Modules Under Thermal Stress, *Energy Procedia*, 2017, **119**, 702–708.

[17] Visa I., Burduhos B., Neagoe M., Moldovan M., Duta A., Comparative Analysis of the İnfield Response of Five Types of Photovoltaic Modules, *Renewable Energy*, 2016, **95**, 178–190.

[18] Sancar R., Fotovoltaik Panelin Performansına Etki Eden Faktörlerin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2008, 182853.

[19] Arslan İ., Tekirdağ Koşullarında Polikristal Ve Monokristal Tip Pv Güneş Panellerinin Verimlilik Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ 2018, 495028.

[20] https://www.irena.org/history/firstpreparatoryconference, (Ziyaret tarihi: 12 Temmuz 2020).

[21] https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-23/aylik-sektor-raporu, (Ziyaret tarihi: 5 Temmuz 2020).

[22] https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri, (Ziyaret tarihi: 5 Temmuz 2020).

[23] http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator, (Ziyaret tarihi: 5 Temmuz 2020).

[24] https://www.biodiversitylibrary.org/item/20717#page/2/mode/1up, (Ziyaret tarihi: 14 Temmuz 2020).

[25] Serway R., Beichner R., *Fen ve Mühendislik için Fizik,* 5th ed., Palme Yayıncılık, Ankara, 2016.

[26] Riordan M., Hoddeson L., Origins of the PN Junction, *IEEE Spectr.*, 1997, **34**(6), 46–51.

[27] Fagan M.D., *A History of Engineering and Science in the Bell System*. First Edition, Bell Labs., Michigan, 1978.

[28] https://sites.lafayette.edu/egrs352-sp14-pv/technology/history-of-pv-technology/, (Ziyaret tarihi: 16 Temmuz 2020).

[29] Yilmaz S., Kalkan D. K., Enerji Güvenliği Kavramı: 1973 Petrol Krizi Işığında Bir Tartışma, *Uluslararası Kriz ve Siyaset Araştırmaları Dergisi,* 2017, **1**(3), 169-199.

[30] https://www.nrel.gov/news/press/2008/625.html. (Ziyaret tarihi: 5 Temmuz 2020).

[31] Geisz J. F., France M. R., Schulte L. K., Six-Junction Iıı-V Solar Cells With 47.1% Conversion Efficiency Under 143 Suns Concentration, *Nature Energy*, 2020, **5**, 326-335.

[32] Ohnishi M., Takeoka A., Nakano S., Kuwano Y., Advanced Photovoltaic Technologies and Residential Applications, *Renew. Energy*, 1995, **6**(3), 275–282.

[33] https://www.irena.org/solar. (Ziyaret tarihi: 16 Temmuz 2020).

[34] Philipps S., Photovoltaics Report, *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems,* 35-50, 2020.

[35] Serway R., Beichner R., *Fen ve Mühendislik için Fizik 2. Cilt,* 5th ed., Palme Yayıncılık, Ankara, 2016.

[36] Parida B., Iniyan S., Goic R., A Review of Solar Photovoltaic Technologies, *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 2011, **15**(3), 1625–1636.

[37] https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/turkey, (Ziyaret tarihi: 7 Temmuz 2020).

[38] https://www.cleanenergywire.org/factsheets/solar-power-germany-output-business-perspectives, (Ziyaret tarihi: 13 Temmuz 2020).

[39] Özdoğan H., Ekolojik Binalarda Bina Kabuğunda Kullanılan Fotovoltaik Panellerin Tasarımı Bağlamında İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005, 198944.

[40] Ceylan İ., Gürel E., *Güneş Enerjisi Sistemleri ve Tasarımı,* 1st ed., Dora Yayınevi, Bursa, 2017.

[41] Ogura R. Y., Nakane S., Morooka M., Orihashi M., Suzuki Y., Noda K., High-Performance Dye-Sensitized Solar Cell With A Multiple Dye System, *Appl. Phys. Lett.*, 2009, **94**(7).

[42] Friedrich J., Methods for Bulk Growth of Inorganic Crystals: Crystal Growth, *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, 2016, 262-274.

[43] https://www.cedgreentech.com/article/monocrystalline-cells-vs polycrystalline-cells-whats-difference, (Ziyaret tarihi: 13 Temmuz 2020).

[44] https://www.viridiansolar.co.uk/resources-4-2-photovoltaic-solar-cells.html, (Ziyaret tarihi: 13 Temmuz).

[45] Boz O. H., Günümüzün Alternatif Enerji Kaynağı: Fotovoltaik Güneş Pilleri, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2011, 282925.

[46] https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/solar-panels-market, (Ziyaret tarihi: 9 Temmuz 2020).

[47] Hariharan S., Prasad E., Solar Energy Market Size, Trend and Industry Analysis and Forecast, *All Market Research,* 3P-91-EP-A00039, 148-162, 2019.

[48] https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/09/types-of-solar-panels, (Ziyaret tarihi: 6 Temmuz 2020).

[49] Erkul A., Monokristal, Polikristal ve Amorf-Silisyum Güneş Panellerinin Verimliliğinin İncelenmesi Ve Aydınlatma Sistemi Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010, 269169.

[50] Boztepe M., Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Verimliliği Etkileyen Parametreler, *EMO İzmir Şubesi Aylık Bülteni,* 2017, **2**, 13-17.

[51] Dunn B., Kamath H., Arascon J. M. T, Electrical Energy Storage For The Grid: A Battery Of Choices, *American Association for the Advancement of Science*, 2011, **334**(6058), 928–935.

[52] Cengiz E. C., Şarj Edilebilir Lityum Sülfür (Li-S) Ve Sodyumsülfür (Na-S) Bataryaların Elektrokimyasal Performansının Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli 2019, 604536.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **Meral A**., Karakaya A., Using Of Poly Crystal Solar Panels In Portable Power Supplies And Increasing The Efficiency Of Panels, *International OECD Studies Conference on Engineering, Technology & Robotics*, Ankara, Türkiye, 19-21 Mart 2020.

ÖZGEÇMİŞ

1993 yılında Ankara'da doğdu. Ankara Hacı Sabancı İlköğretim Okulunda 8 yıllık eğitimini tamamladıktan sonra Ankara Cumhuriyet Anadolu Lisesi'nde lise öğretimini tamamladı. Karabük Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümünden 2017 yılında mezun oldu. 2018 yılında Kocaeli Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. 2020 yılında International OECD Studies Conference on Engineering, Technology & Robotics bildiri yayınladı. 2019 Aralık ayından itibaren Solaray Enerji firmasında İş Geliştirme bölümünde satış mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.