



GIRESUN
ÜNİVERSİTESİ



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GIRESUN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK
FAKÜLTESİ İHTİYAÇLARINA UYGUN
FOTOVOLTAİK SİSTEM TASARIMI VE ANALİZİ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

Yüksek Lisans Tezi

Sevgi ALTINKÖK
182108006

2021

GIRESUN

**T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GİRESUN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK
FAKÜLTESİ İHTİYAÇLARINA UYGUN
FOTOVOLTAİK SİSTEM TASARIMI VE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Öğrencinin Adı SOYADI : Sevgi ALTINKÖK

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18.08.2021

Enstitü Anabilim Dalı : Enerji Sistemleri Mühendisliği

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Serdar KARADENİZ

**Temmuz 2021
GİRESUN**

**T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GİRESUN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK
FAKÜLTESİ İHTİYAÇLARINA UYGUN
FOTOVOLTAİK SİSTEM TASARIMI VE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sevgi ALTINKÖK

Enstitü Anabilim Dalı

: Enerji Sistemleri Mühendisliği

Bu tez .././2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**..... Dr.
.....
Jüri Başkanı**

**..... Dr.
.....
Üye**

**..... Dr.
.....
Üye**

**Doç. Dr.
Bahadır KOZ
Enstitü Müdürü**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Sevgi ALTINKÖK

28/07/2021

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca gösterdiği yakın ilgi ve önerileri ile beni yönlendiren ve destek veren saygıdeğer danışman hocam Sayın Prof. Dr. Serdar KARADENİZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca gerek yüksek lisans ders sürecinde gerekse tez çalışmalarım sırasında katkılarını ve desteğini esirgemeyen eşim Doç. Dr. Atılgan ALTINKÖK'e, çalışmama izin verdikleri için oğlum Arda ve kızım Aylin'e teşekkür ederim.

Bu tezi 20.07.2018 tarihinde aramızdan ayrılan sevgili anneme ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	I
İÇİNDEKİLER	II
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ	V
TABLolar LİSTESİ	VII
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Güneş Pili Teknolojisi	3
2.1.1. Kristal silikon güneş hücrelerin üretimi	4
2.1.2. Yarıiletkenler	6
2.1.3. P - tipi ve n - tipi silikon hücreler.....	7
2.1.3.1. P tipi hücreler.....	8
2.1.3.2. N tipi hücreler.	9
2.1.3.3. Maliyet ve verimlilik	9
2.2. Güneş Paneli Yapım Aşaması.....	10
2.2.1. Fotovoltaik Hücreler.....	11
2.2.2. Cam.....	13
2.2.3. Alüminyum çerçeve.....	14
2.2.4. Eva film.....	14
2.2.5. Arka tabaka.....	15
2.2.6. Çift cam paneller.....	15

2.2.7. Bağlantı kutusu ve konektörler.....	15
2.3. Güneş Pili Çeşitleri.....	16
2.3.1. Monokristal güneş pilleri.....	16
2.3.2. Polikristal güneş pilleri.....	18
2.3.3. İnce film güneş pilleri.....	19
 BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM	21
3.1. Fotovoltaik Sistem Türleri.....	21
3.1.1. Şebekeden bağımsız sistemler.....	21
3.1.2. Şebekeye bağlı sistemler.....	23
3.1.3. Hibrit sistemler.....	24
3.2. Bir Fotovoltaik Sistemin Bileşenleri.....	25
3.2.1. Şarj denetleyileri (charge regülatör).....	28
3.2.2. İnvertörler.....	28
3.2.3. Piller (akü).....	30
 BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	32
4.1. Güneş Enerji Potansiyeli.....	32
4.1.2. Enerji ihtiyacının belirlenmesi.....	37
4.2. Fotovoltaik Sistem Tasarımı.....	40
4.2.1. Solar sistem kurulum alanı belirleme	40
4.2.2. PVsol programı.....	41
4.2.3. Proje tasarımı.....	42
4.2.4. Simülasyon sonuçları	48
4.2.5. Finansal analiz.....	53
 BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	56
 KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	60

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AC	Altenatif Akım
DC	Doğru Akım
CO ₂	Karbondiyoksit
E	Enerji
η	Verimlilik
GEPA	Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
Hz	Hertz
I	Akım
kWh	Kilowatt saat
kWh/m ²	Kilowatt saat/metrekare
mm	Milimetre
m/s	Metre/saniye
m ²	Metrekare
MPPT	Maksimum güç noktası izleyicisi
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
OMGİ	Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonlarına
UV	Ultraviyole
PV	Fotovoltaik
STC	Standart test koşulları
V	Voltaj (Volt)
W	Watt

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Monokristal silikon güneş pili yapımında yer alan temel malzemeler ve adımlar	4
Şekil 2.2. Bir güneş hücresinde metal parmakların ve baraların gösterimi.....	5
Şekil 2.3. n-tipi ve p-tipi yarı iletken	6
Şekil 2.4. Yaygın bir P tipi silikon hücrenin temel yapı diyagramı - Mono veya, Poli kristal	8
Şekil 2.5. N-tipi silikon hücrenin temel yapı diyagramı - Mono Kristal.....	9
Şekil 2.6. Bir güneş panelinin 6 ana bileşeni	10
Şekil 2.7. Güneş pilinde elektrik akımı üretimi	11
Şekil 2.8. Monokristal güneş pili.....	12
Şekil 2.9. Farklı tür ve boyutlarda güneş pilleri kullanan 6 ana güneş paneli türü.....	13
Şekil 2.10. Fotovoltaik hücre camı.....	13
Şekil 2.11. Monokristal güneş pili.....	17
Şekil 2.12. Polikristal güneş pili.....	18
Şekil 2.13. İnce film güneş pili.....	19
Şekil 3.1. Şebekeden bağımsız bir fotovoltaik sisteminin şematik gösterimi	22
Şekil 3.2. Şebekeye bağlı bir fotovoltaik sistemin şematik gösterimi sistemi....	23
Şekil 3.3. Hibrit fotovoltaik sisteminin şematik gösterimi.....	25
Şekil 3.4. Bir PV sisteminin farklı bileşenlerinin şeması.....	27
Şekil 3.5. İnvertör çıkış türleri.....	29
Şekil 4.1. Türkiye güneşlenme süresi dağılım haritası.....	32
Şekil 4.2. Aylara göre Türkiye'nin güneşlenme süresi.....	33
Şekil 4.3. Giresun ili toplam güneş radyasyonu değerleri.....	34
Şekil 4.4. Giresun ili global radyasyon değerleri (kWh/m ² - gün).....	35
Şekil 4.5. Giresun ili güneşlenme süreleri (saat).....	36
Şekil 4.6. Giresun üniversitesi Mühendislik Fakültesi.....	41

Şekil.4.7. Giresun üniversitesi mühendislik fakültesinin çatısının uydudan görünümü.....	43
Şekil 4.8. Modül yerleşim planı.....	44
Şekil 4.9. Modüllerin boyutlandırma planı.....	44
Şekil 4.10. Ufuk çizgisi açıları	46
Şekil 4.11. Tasarlanan fotovoltaiik sistemin blok şeması.....	47
Şekil 4.12. Kabloların yerleşimi.....	48
Şekil 4.13. Dizi planı.....	49
Şekil 4.14. Enerji akış grafiği.....	49
Şekil 4.15. Fotovoltaiik sistemin kullanımı.....	51
Şekil 4.16. Sistemin aylara göre tüketimi karşılanma grafiği	51
Şekil 4.17. Elektrik maliyet eğimi.....	53
Şekil 4.18. Nakit akış grafiği.....	53

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1. Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Aralık ayı Fatura Bilgileri ..	37
Tablo 4.2. AC şebekesi.....	42
Tablo 4.3. İnverter Konfigürasyonu	46
Tablo 4.4. Akü Sistemi.....	47
Tablo 4.5. Parça listesi.....	48
Tablo 4.6. Tüm sistem sonuçları.....	51
Tablo 4.7. Nakit akış çizelgesi.....	56

GİRESUN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

İHTİYAÇLARINA UYGUN FOTOVOLTAİK SİSTEM

TASARIMI VE ANALİZİ

ÖZET

Teknolojideki yenilikler, dünya nüfusunun sürekli artması ve elektronik cihazların daha çok kullanımıyla birlikte enerjiye duyulan ihtiyaç artırmıştır. İhtiyaç duyulan enerjinin büyük bölümü petrol, kömür, doğal gaz gibi fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Bu yakıtların çevreye verdiği zararların yanı sıra bu yakıtların bir gün tükenecek olması alternatif ve çevreci enerji arayışlarının önem kazanmasını sağlamıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş, sürekli bulunabilir, çevreci ve maliyetsiz olması dolayısıyla en önemli enerji kaynağıdır. Fotovoltaik sistemler, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Günümüzde güneş enerjisi teknolojilerin gelişimi ile birlikte fotovoltaik sistemlerin performanslarını tahmin edebilen simülasyon programlarının kullanımı daha önemli bir hale gelmiştir. Bir simülasyon programıyla yapılan güneş enerjisi sisteminin tasarımında, fotovoltaik sistemlerin enerji üretim verimliliği ve bu çalışma sistemi hakkındaki bir çok veri tahmin edilebilir.

Bu tez çalışmasında, Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin ihtiyaçlarına uygun fotovoltaik sistem tasarımı geliştirilmesi amaçlanmıştır. Fotovoltaik sistem için gerekli olan panel sayısı matematiksel denklemlerle tahmini olarak belirlendikten sonra PVSol programı kullanılarak Mühendislik binası çatılarında 3 boyutlu olarak yerleşim planlaması yapılmış ve sistem için gerekli olan ekipmanlar belirlenmiştir. Fotovoltaik sistemin simülasyonu gerçekleştirildikten ve sisteme uyumlu ekipmanlar belirlendikten sonra PVSol simülasyon programı yardımıyla maliyet hesaplamaları, finansal analizleri ve sistemin kendini amorti etmesi gibi farklı parametreler belirlenmiş olup sonuçları analiz edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir enerji, güneş enerjisi, enerji üretimi, fotovoltaik

PHOTOVOLTAIC SYSTEM DESIGN AND ANALYSIS THAT APPROPRIATE TO THE NEEDS OF GİRESUN UNIVERSITY FACULTY OF ENGINEERING

SUMMARY

The need for energy has increased with the innovations in technology, the continuous increase of the world population and the more use of electronic devices. Most of the energy needed is obtained from fossil fuels such as oil, coal and natural gas. In addition to the damage caused by these fuels to the environment, the fact that these fuels will run out one day has made the search for alternative and environmentally friendly energy gain importance.

Among the renewable energy sources, the sun is the most important energy source because it is constantly available, environmentally friendly and costless. Photovoltaic systems are the systems that convert solar energy into electrical energy. Nowadays, the use of simulation programs that can predict the performance of photovoltaic systems has become more important by the development of solar energy technologies. In the design of the solar energy system which made with a simulation program, a lot of data about photovoltaic working system and the energy production efficiency of this system can be predicted.

In this thesis, it is aimed to develop a suitable photovoltaic system design for the needs of Giresun University Faculty of Engineering. After the determination of the number of panels required for the photovoltaic system by mathematical equations, a 3-dimensional layout planning was made on the roofs of the Engineering building using the PVSol program thus the required equipment was determined for the system. After simulation of the photovoltaic system and determination the equipment compatible with the system was done, some parameters such as cost calculations, financial analysis and self-paying of the system were determined by the PVSol simulation program and the results were analyzed.

Keywords: Renewable energy, solar energy, power generation, photovoltaic

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünyada üretilen enerjinin büyük bir kısmı halen kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Fosil enerji kaynaklarının hem yenilenebilir olmayışı hem de olumsuz çevresel etkilerinin olmasından dolayı yeni enerji arayışları önem kazanmıştır. Altı temel yenilenebilir enerji kaynağı vardır, Bunlar. biyoenerji, jeotermal enerji, hidroelektrik enerjisi, okyonus enerjisi, rüzgar enerjisi ve güneş enerjisidir. Yenilebilir enerji kaynakları, geleneksel enerji teknolojilerine göre CO₂ emisyonu gibi çevresel etkileri çok daha düşük olan temiz enerji kaynaklarıdır. Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretimi artmakta ve gelecek için fosil yakıtlara iyi bir alternatif oluşturmaktadır.

Güneş enerjisi, yenilenebilir enerjinin en önemli kaynaklarından biridir. Güneş enerjisinden yararlanmak için geliştirilen teknolojiler sadece güneş enerjisi kullanım miktarını artırmakla kalmıyor, aynı zamanda altyapı maliyetlerini de düşürüyor. Düşük yatırım maliyeti ve yüksek verimlilik ile yatırımını kısa sürede karşılayan güneş enerjisi, maliyetsiz ve çevre dostu bir enerji kaynağıdır.

Türkiye, artan enerji taleplerini karşılamak için büyük ölçüde enerji ithalatı yapmakta olup özellikle fosil yakıtları kullanmaktadır. Ülkemizde toplam enerji ihtiyacının yaklaşık dörtte üçünü ithal etmektedir. Bu nedenle, yerli ve milli yenilenebilir enerji kaynaklarını genişletmek, dışa bağımlılığı azaltmak ve enerji verimliliğini artırmak Türkiye'nin enerji önceliklerinden biri olmalıdır.

Ülkemiz, güneş enerjisi için avantajlı bir coğrafi konumda yer almaktadır. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre;

- Ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi = 2741,07 saat/yıl
- Ortalama günlük toplam güneşlenme süresi = 7,50 saat/gün
- Ortalama yıllık toplam ışıınım şiddeti = 1527,46 kwh/m²-yıl
- Ortalama günlük toplam ışıınım şiddeti = 4,18 kwh/m²-gün

olarak hesaplanmıştır [1]. Yılın dört mevsimi güneş alan bölgelere sahip olan ülkemizde kurulabilecek güneş enerjisi santralleri sayesinde enerji ihtiyacının önemli bir kısmı karşılanabilir.

Yenilenebilir bir kaynak olan güneş enerjisi, hiçbir kirlетici etkisi ve sera gazı emisyonu olmadan enerji sağlar. Böylece küresel ısınmanın olumsuz etkilerini azaltmanın yanı sıra sürdürülebilir enerjinin gelişimine katkıda bulunur.

Fotovoltaik sistemler, istenilen akım ve gerilimi sağlayacak fotovoltaik panel ve gibi ihtiyaç duyulan ekipmanların bir araya getirilmesi sonucu oluşur. Sistem konfigürasyonuna bağlı olarak, üç ana PV sistemi türü vardır. Bunlar: şebekeden bağımsız (off grid) sistemler, şebekeye bağlı (on grid) sistemler, hibrit sistemler ‘dir

Bu tez çalışmasında, hem akü desteğı olan hemde elektrik şebekesine bağı olarak elektrik üreten hibrit bir PV sistemi kullanılmıştır. Hibrit sistemler, bir batarya yedeğini içerecek şekilde yükseltilmiş bir şebeke-içi sistem olarak düşünülebilir. Bu sistemin hem elektrik şebekesi hem de güneş panelleri tarafından şarj edilebilen bir derin döngülü batarya bankası vardır. Böylece, bir kesinti durumunda, binaya yedek güç sağlamak için yedek batarya açılabilir ve fotovoltaik sistemin çalışmasında ya da arıza olması durumunda, şebeke sorunu çözülene kadar alternatif bir güç kaynağı için kullanılabilir.

Bu tezin temel amacı, bina çatılarını kullanarak Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin ihtiyaçlarına uygun bir fotovoltaik sistem tasarlamak ve PVSol simülasyon programında tasarlanan bu sistemin teknik ve finansal sonuçlarını analiz etmektir.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Güneş Pili Teknolojisi

Güneş enerjisi, kısa sürede doğal olarak yenilenen enerji kaynağıdır, bu nedenle "yenilenebilir enerji" veya "sürdürülebilir enerji" kaynağı olarak adlandırılır. Güneş enerjisinden yararlanmak için, güneş enerjisini ısıya ve elektriğe dönüştürmek amacıyla çeşitli teknolojiler kullanılmaktadır.

Güneş pili teknolojisinde fotoelektrik etki kavramı oldukça önemlidir. Fotoelektrik etki sayesinde, güneş enerjisi elektrik akımına dönüşür. Silikon bazlı bazı malzemeler güneş enerjisini direkt elektrik enerjisine dönüştürme özelliğine sahiptir, bu tür malzemeler fotovoltatik malzeme denir.

Fotovoltatik güneş hücreleri, Silikon, Galyum, Arsenit, Kadmiyum Tellurid gibi malzemelerle yapılan ve üzerine güneş ışınları düştüğünde, güneş enerjisini doğrudan DC elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir.

Güneş pilleri, 19. Yüzyılın başlarında bulunmuştur. A. Ermond Becquerel 1839 yılında platin tabakalar üzerinde yaptığı çalışmayla fotovoltatik etkiyi buldu, 1884 yılında Charles Fritts'in ilk güneş pili hücresini geliştirmesiyle güneş pili teknolojisine doğru büyük bir adım atılmış oldu. 1954 yılında Bell Laboratuvarlarında, iyon yüklü silisyum ile güneş pilleri oluşturularak günümüz güneş pili teknolojisinin temellerini atıldı.

Güneş ışığı foton adı verilen küçük enerji paketlerinden oluşur. Dünyaya her dakika gelen fotonlar, dünyanın bir yıllık enerji tüketimine yetecek kadar enerji taşırlar. Gelen bu enerjiyi kullanarak elektrik üretme amacı ile güneş panelleri yani fotovoltatik paneller kullanılmaktadır.

Güneş panelleri, güneş hücrelerinden oluşur. Bu hücreler silikon adı verilen ve dünyada oldukça fazla bulunan elementlerden yapılır. Her bir hücre, aynen pillerde de olduğu gibi, elektrik akımı yaratmak için bir pozitif ve bir negatif katmandan oluşur.

Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak %5 ile %20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilir. Teknolojideki yeni gelişmeler ile uygun koşullarda bu oran %70'lere kadar çıkmıştır [2].

2.1.1. Kristal silikon güneş hücrelerin üretimi

Kristal silikon güneş pillerinin üretimi, bir kuvars kumtaşı kayası formu olan Kuvarsit adlı bir hammaddeden başlayarak bir dizi farklı üretim süreci gerektirir. Birincisi, silis kumu olarak da adlandırılan kuvarsit, karbon ve kuvarsit bir ark fırınında birleştirilerek metalurjik sınıf silikona dönüştürülür. Çok yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen bu işlem sonucunda %99 saf silikon oluşur. Bir sonraki adım, daha az maliyetli metalurjik işlemler kullanarak, ya kimyasal saflaştırma işlemiyle ya da yükseltilmiş metalurjik sınıf silikon (UMG-Si) kullanılarak metalurjik sınıf silikonu saf polisilikon'a dönüştürmektir.

Polisilikon daha sonra eser miktarda bor veya fosfor ile katkılanarak P-tipi veya N-tipi silikon haline gelir. Bu aşamada, polikristal silikon eritilir ve büyük dikdörtgen bloklar halinde dökülürler ve polikristalin ,çok kristalli gofretleri üretmek için bir elmas tel kesme yöntemi kullanılarak ince bir şekilde dilimlenirler.

Daha verimli monokristalli hücreleri üretmek için katkılı silikon, Czochralski işlemiyle saf bir katı kristal külçe haline getirilir. Bu işlem, monokristalin üretilmesi için yüksek basınç ve sıcaklık altında külçe olarak bilinen polikristal silikonun eritilmesiyle gerçekleşir. Şekil 2.1'de Monokristal silikon güneş pili yapımında yer alan temel malzemeler ve adımları gösterilmiştir.

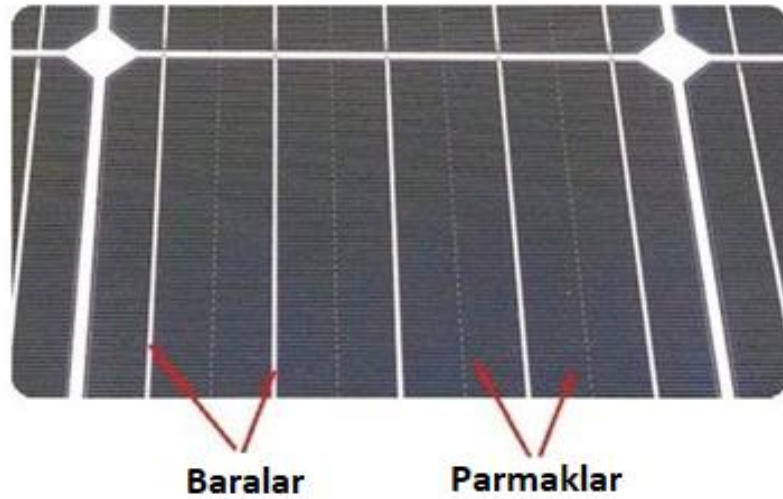


Şekil 2.1. Monokristal silikon güneş pili yapımında yer alan temel malzemeler ve adımları [3]

Monokristal PV hücreleri üretme adımları şu şekildedir:

1. Silika kumu, % 99 saf silikon oluşturmak için bir ark fırınında saflaştırılır.
2. % 99 silikon, % 100 saf silikona yakın bir şekilde daha da rafine edilmiştir.
3. Silikon, bor veya fosforla (P-tipi veya N-tipi) katkılıdır.
4. Katkılı silikon eritilir ve kristal külçe halinde getirilir.
5. Yuvarlak külçe, elmas telle ince kare gofretler halinde kesilmiştir.
6. İnce tabanlı gofret, PN birleşimini oluşturmak için P-tipi veya N-tipi silikondan ultra-ince bir tabaka ile kaplanır.
7. Metal parmaklar, hücrenin ön yüzüne ekran baskılıdır.
8. Düz şerit baralar veya ince telli baralar eklenir.

Bir güneş hücresinde metal parmakların ve baraların yerleşimi Şekil 2.2’de gösterilmiştir.

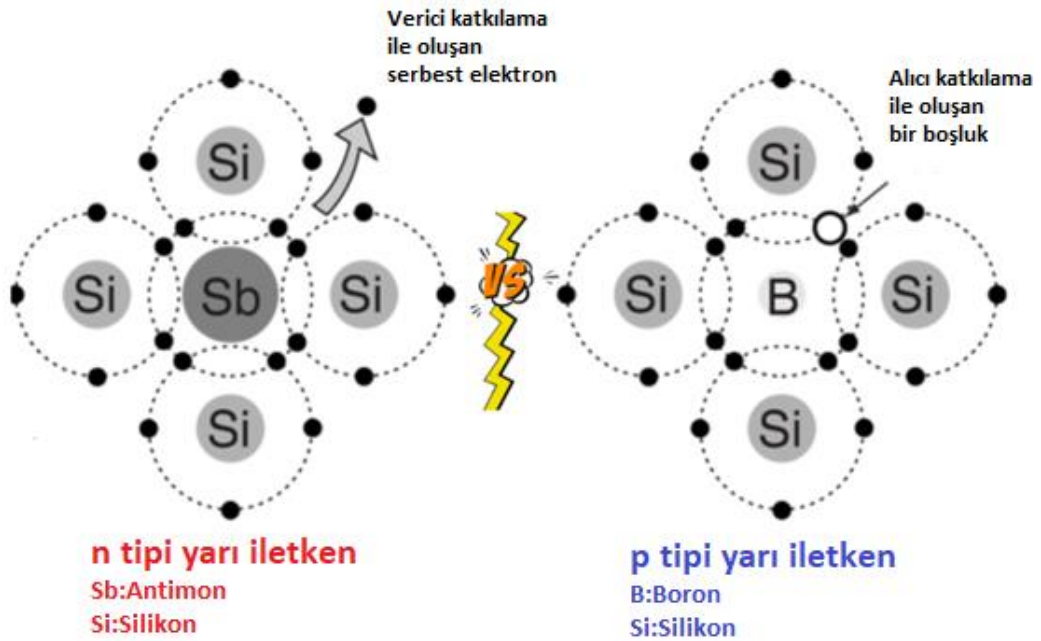


Şekil 2.2. Bir güneş hücresinde metal parmakların ve baraların gösterimi [3]

2.1.2. Yarı iletkenler

Yarı iletkenler, artan sıcaklıklara maruz kaldıklarında elektriksel iletkenlik ve düşme direnci gibi özel özelliklere sahip bir tür elementtir. Bu özelliklerinin bir sonucu olarak, iki ana tür eleman, iletkenler ve yalıtkanlar arasına yerleştirilirler. İletkenler, örneğin bakır gibi büyük bir elektrik iletkenliğine sahiptir ve sıcaklıkları yükseldiğinde dirençleri artar. İletkenlerin aksine cam gibi yalıtkanlar ise sıcaklıkları yükseldiğinde düşük direnç gösterirler ancak elektriksel iletkenlik konusunda iyi değildirler.

Silikon gibi yarı iletkenlerin iletkenliği, kristal yapılarına az sayıda katkı maddesi koyarak ayarlanabilir. Bu katkı maddesi, yarı iletkenler arasında daha iyi iletkenliğe yol açar. Değerlik elektronlarının sayısına bağlı katkılar n-tipi (5) veya p-tipi (3) olabilir.



Şekil 2.3. n-tipi ve p-tipi yarı iletken [4]

N-tipi katkılama, p-tipine kıyasla ışığa bağlı bozulmanın azaltması, dayanıklılığı ve performansı artırması nedeniyle daha iyi bir seçimdir. Değerlik bandında 5 değerlik

elektronu olan elementlerin örnekleri antimon, arsenik veya fosfordur ve 3 değerlik elektronlu elementler bor, alüminyum veya galyumdur.

5 değerlikli elektronu olan bir element ile katkılanan silikon, n-tipi yarı iletkenler üretir. Burada oluşan fazladan bulunan bir elektron, yarı iletkenin elektriksel iletkenliğini artırır. Bununla birlikte, 3 değerlikli elektronu olan bir element ile katkılanan silikon, p-tipi yarı iletken üretir ve bu yarı iletkenin değerlik bandında elektron eksikliği meydana gelir bu elektron eksikliğine boşluk (hole) denir.

2.1.3. P - tipi ve N - tipi silikon hücreler

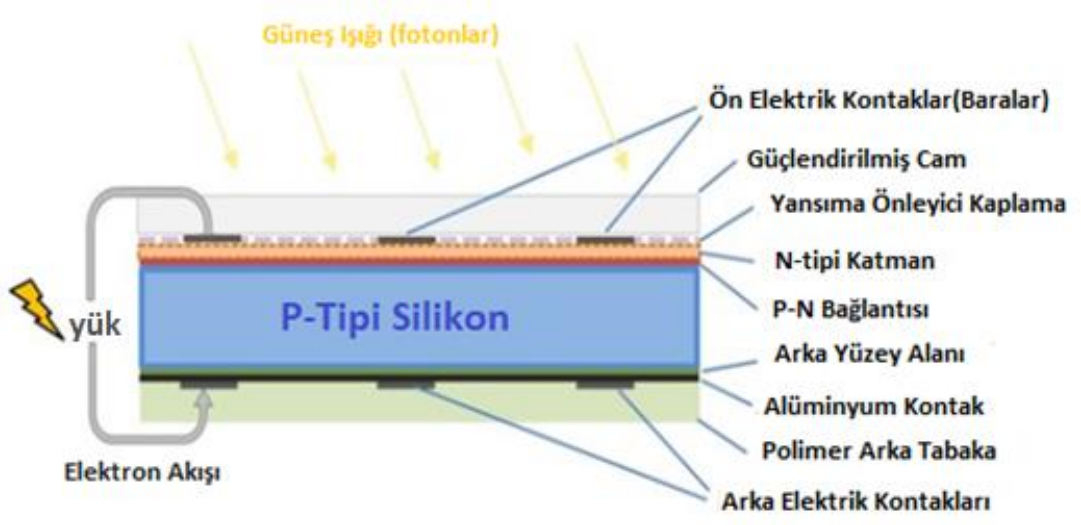
Tüm kristal güneş pilleri (monokristal ve polikristal), iki ana tip p-tipi ve n-tipi olan çok ince bir baz silikon tabakası kullanılarak oluşturulurlar. Bunlar, silikonun belirli kimyasal elementlerle pozitif (p-tipi) veya negatif (n-tipi) bir yük oluşturmak için katkılanmasıyla yapılır.

N-tipi silikon hücrelerin üretimi daha pahalıdır, ancak daha yüksek performans ve daha düşük ışık kaynaklı bozulma oranı ve ayrıca daha iyileştirilmiş bir sıcaklık katsayısı sunar.

Katkılama için kullanılan kimyasal elementler, pozitif yük oluşturan fosfor ve negatif yük ile sonuçlanan bordur. Hücre yapısının türüne bağlı olarak, hücrenin tabanı veya "substratı" olarak n-tipi veya p-tipi katkılı silikon kullanılır. Günümüzde kullanılan hem monokristal hem de polikristal hücrelerin büyük çoğunluğu, bor katkılı silikon bazına sahip olan p-tipini kullanmaktadır. Günümüzde LG, Panasonic ve SunPower gibi sadece birkaç üretici daha verimli n-tipi silikon (fosfor katkılı negatif yüklü Silikon) levhaları kullanmaktadır. Ancak daha fazla şirket n-tipi hücreler geliştirmeye devam etmektedir.

Her iki hücre tipinde de, birlikte bir güneş pilinin işlevinde gerekli olan p-n bağlantısını oluşturmak için bir p-tipi (bor ile katkılanmış pozitif yüklü Silikon) ve n-tipi silikon kombinasyonu kullanılır. Aradaki fark, p-tipi hücrelerin bor katkılı silikonu ultra ince bir n-tipi silikon tabakası ile birlikte kullanması, n-tipi hücrelerde ise bunun tam tersi ince bir p-tipi tabakaya sahip n-tipi bir silikon taban kullanılmasıdır.

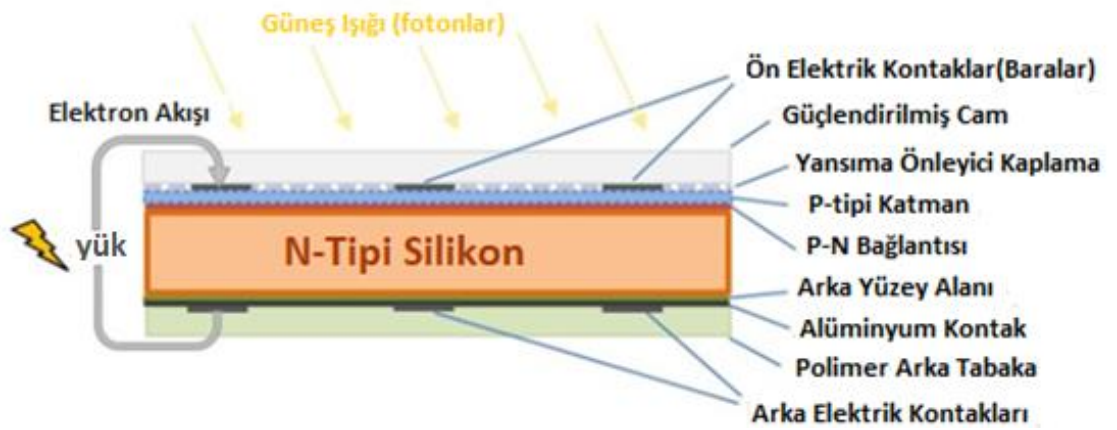
2.1.3.1. P - tipi hücreler



Şekil 2.4. Yaygın bir P tipi silikon hücrenin temel yapı diyagramı - Mono veya Poli kristal [3]

P-tipi ve n-tipi silikon bir araya getiriliğinde aralarında p-n bağlantısı olarak bilinen bağlantıyı oluştururlar. Bağlantı, güneş radyasyonu hücreden geçtiğinde elektronların akışını sağlayan bir elektrik alanı yaratır.

2.1.3.2. N - tipi hücreler



Şekil 2.5. N-tipi silikon hücrenin temel yapı diyagramı - Mono kristal [3]

Doğası ve malzeme bileşimi nedeniyle n-tipi hücreler, safsızlıklara karşı daha büyük bir toleransa ve genel verimliliği artıran daha düşük kusurlara sahip olarak daha yüksek performans sunar. Ek olarak n-tipi hücreler, hem mono hem de çoklu p-tipi hücrelere kıyasla daha yüksek sıcaklık toleransına sahiptir. Daha da önemlisi, n-tipi hücreler, Bor ile katkılanmış p-tipi hücrelerde yaygın bir sorun olan bor-oksijen kusurlarından ötürü ışık kaynaklı bozunma sorunları yoktur.

2.1.3.3. Maliyet ve Verimlilik

N-tipi hücre yapımı, ince p-tipi “emitör” katmanını eklemek için bor difüzyon işlemi olarak bilinen işlemi kullandığından daha pahalıdır. Bu difüzyon süreci daha karmaşıktır ve p-tipi hücre fosfor difüzyon işlemine kıyasla daha yüksek sıcaklıklar gerektirir. N-tipi hücrelerin üretimi daha pahalı olmasına rağmen, n-tipi silikon daha yüksek verimlilik, daha az enerji kaybı ve zaman içinde bozulması zor olan çok daha yüksek bir saflığa sahiptir. Buda geri ödemeyi kolaylaştıran daha yüksek üretim ve performans ile sonuçlanır.

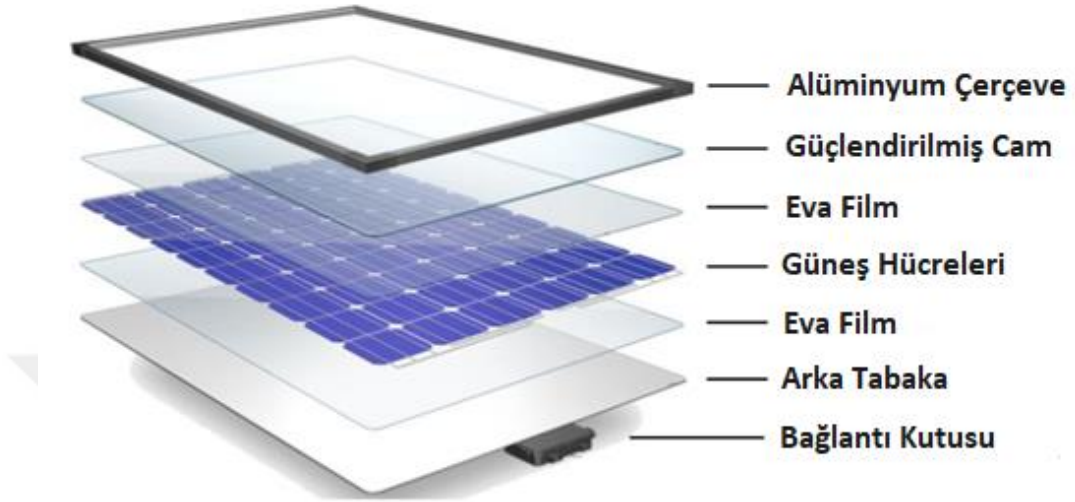
2.2. Güneş Paneli Yapım Aşaması

Güneş panelleri, aşağıda ayrıntılı olarak açıklanan altı ana bileşen kullanılarak yapılır ve son derece hassas bir şekilde gelişmiş üretim tesislerinde monte edilir. Kristal silikon güneş pilleri kullanılarak yapılan panellere günümüzde mevcut olan en yaygın ve en iyi performans gösteren güneş teknolojisidir.

Güneş panelinin altı ana bileşeni şunlardır.

- Güneş fotovoltaiik hücreleri
- 3 ila 3,5 mm kalınlığında sertleştirilmiş cam
- Ekstrüde Alüminyum çerçeve
- Kapsülleme - EVA film katmanları

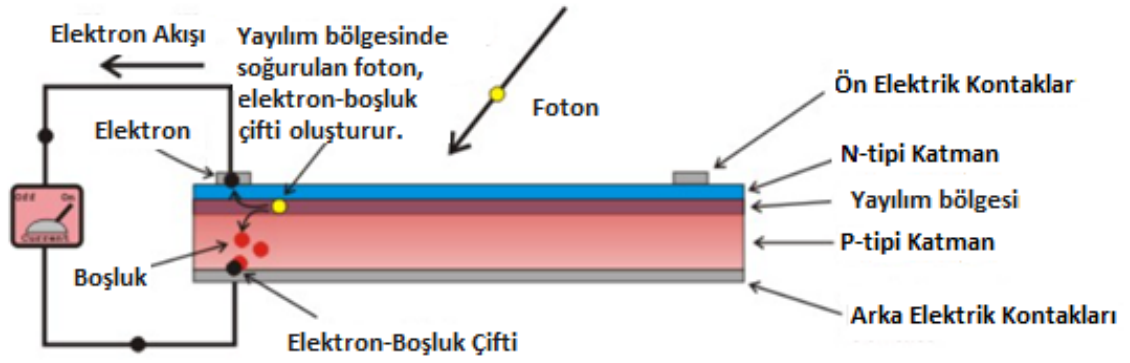
- Polimer arka levha
- Bağlantı kutusu – bypass diyotları ve konektörler



Şekil 2.6. Bir güneş panelinin 6 ana bileşeni [5]

2.2.1. Fotovoltaik hücreler

Fotovoltaik hücreler, güneş ışığını doğrudan DC elektrik enerjisine dönüştürür. İki ana tip monokristal ve polikristalin silikon vardır ve güneş panelinin performansı, kullanılan silikonun hücre tipi ve özelliklerine göre belirlenir. PV hücresinin tabanı, tipik olarak 0,1 mm kalınlığında çok ince bir levhadır ve pozitif p-tipi silikondan veya negatif n-tipi silikondan yapılmıştır. Yarı kesilmiş veya bölünmüş hücreler, çoklu baralı (MBB) hücreler ve daha yakın zamanda ince örtüşen gofret şeritleri kullanan hücreler dahil olmak üzere farklı verimlilik ve performans düzeyleri sunan birçok farklı hücre boyutu ve konfigürasyonu mevcuttur.



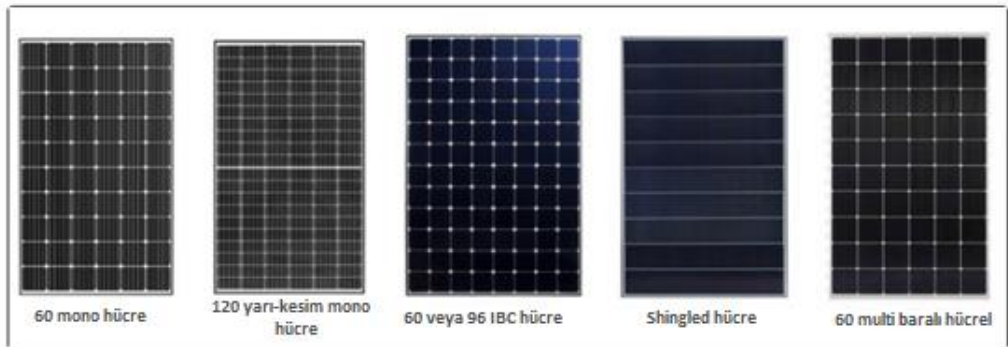
Şekil 2.7. Güneş pilinde elektrik akımı üretimi [6]

Bir güneş pili, büyük bir yüzey alanına sahip bir PN birleşimidir. N-tipi malzeme, ışığın PN bağlantısına geçmesine izin vermek için ince tutulur. Işık, foton adı verilen enerji paketleri içinde hareket eder. Elektrik akımı üretimi, PN bağlantısının tüketme bölgesi denilen bölgesinin içinde gerçekleşir. Tüketme bölgesi, N-tipi silikondan gelen elektronların P-tipi malzemenin deliklerine yayıldığı PN bağlantısının etrafındaki alandır. Bir ışık fotonu, N-Tipi silikonda bu atomlardan biri tarafından emildiğinde, bir elektronu yerinden çıkarıp serbest bir elektron ve bir delik oluşturur. Serbest elektron ve delik, tükenme bölgesinden atlamak için yeterli enerjiye sahiptir. Katottan (N-tipi silikon) anoda (P-tipi silikon) bir tel bağlanırsa, elektronlar telin içinden akacaktır. Elektron, P-tipi malzemenin pozitif yüküne çekilir ve bir elektrik akımı akışı yaratarak yük boyunca hareket eder. Yer değiştiren elektronun oluşturduğu delik, N tipi malzemenin negatif yüküne çekilir ve arka elektrik kontağına geçer. Elektron, P-tipi silikona arka elektriksel temastan girerken, elektriksel nötrlüğü geri kazandıran delikle birleşir. Bu şekilde elektrik akımı üretimi gerçekleşmiş olur [6].



Şekil 2.8. Monokristal güneş pili [5]

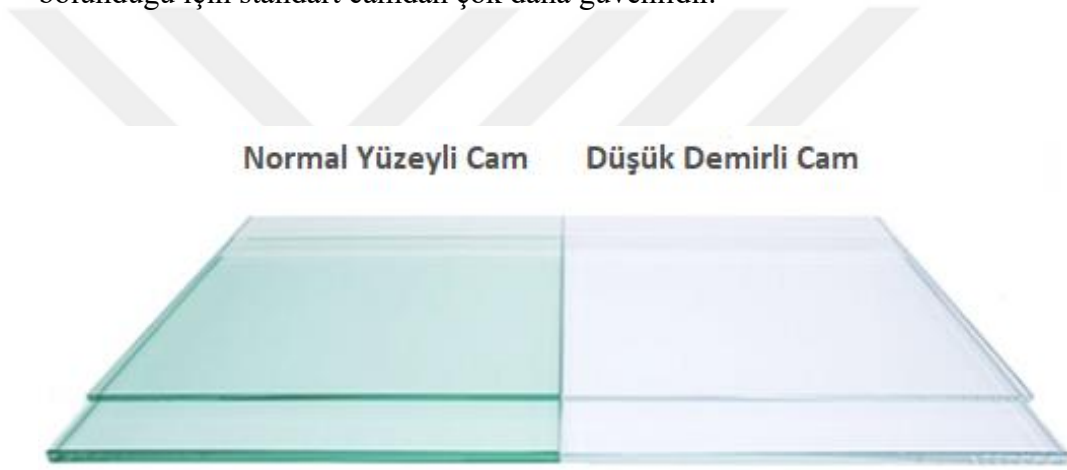
Çoğu konut tipi güneş paneli, kullanılan hücre tipine bağlı olarak 30-40 volt arasında bir voltaj oluşturmak için seri olarak baralar aracılığıyla birbirine bağlanmış 60 mono veya polikristalin hücre içerir. Ticari sistemler ve büyük ölçekli güneş enerjisi üretimi için kullanılan daha büyük güneş panelleri, 72 veya daha fazla hücre içerir ve karşılığında daha yüksek bir voltajda çalışır. Hücreleri birbirine bağlayan elektrik kontakları baralar olarak bilinir ve akımın bir devredeki tüm hücrelerden geçmesine izin verir.



Şekil 2.9. Farklı tür ve boyutlarda güneş pilleri kullanan 6 ana güneş paneli türü [5]

2.2.2. Cam

Ön cam levha, PV hücrelerini hava şartlarından ve dolu veya havadan gelen döküntülerden korur. Cam tipik olarak yüksek mukavemetli temperli cam olup, kalınlıkları 3,0 ila 4,0 mm arasındadır ve mekanik yüklere ve aşırı sıcaklık değişikliklerine dayanacak şekilde tasarlanmıştır. IEC minimum standart darbe testi, güneş panellerinin 27 m/s'ye (60 mil/sa) kadar hareket eden 1 inç (25 mm) çapındaki dolu taşlarının etkisine dayanmasını gerektirir. Bir kaza veya şiddetli darbe durumunda, sertleştirilmiş cam, keskin pürüzlü bölümler yerine küçük parçalara bölündüğü için standart camdan çok daha güvenlidir.



Şekil 2.10. Fotovoltaik hücre camı [5]

Verimliliği ve performansı artırmak için, yüksek geçirgen cam, çok düşük demir içeriğine ve kayıpları azaltmak ve ışık iletimini iyileştirmek için arka tarafta yansıma önleyici kaplamaya sahiptir.

2.2.3. Alüminyum Çerçeve

Alüminyum çerçeve, hem hücreleri barındıran laminat bölümün kenarının korunmasında hem de güneş panelini yerine monte etmek için sağlam bir yapının sağlamasında kritik bir rol oynar. Alüminyum bölümler, son derece hafif, sert ve yüksek rüzgar ve dış kuvvetlerden kaynaklanan aşırı stres ve yüklemeye dayanabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Alüminyum  er eve gümüş veya siyah olabilir ve panel üreticisine bağlı olarak k  e bölümleri vidalanabilir, preslenebilir veya farklı seviyelerde mukavemet ve sertlik sağlayacak şekilde birbirine kenetlenir.

2.2.4. Eva Film

EVA, hücreleri kapsüllemek ve üretim sırasında yerinde tutmak için kullanılan, özel olarak tasarlanmış bir polimer ve oldukça şeffaf (plastik) bir katman olan "etilen vinil asetat" anlamına gelir. EVA malzemesi son derece dayanıklı ve aşırı sıcaklığa ve neme toleranslı olmalıdır, nem ve kir girişini engelleyerek uzun vadeli performansta önemli rol oynar.

PV hücrelerinin her iki tarafındaki laminasyon, bir miktar çok emilimi sağlar ve hücreleri ve birbirine bağlanan kabloları titre imlerden ve diğer nesnelerden gelen ani darbelerden korumaya yardımcı olur. Üretim sırasında hücreler cam ve arka levha içine monte edilmeden önce EVA ile kapsüllenir.

2.2.5. Arka Tabaka

Arka tabaka, güneş panellerde hem mekanik koruma hem de elektrik yalıtımı sağlamak için bir nem bariyeri olan ve son d   kaplama görevi gören en arkadaki tabakasıdır. Arka tabaka malzemesi, farklı koruma seviyeleri, termal stabilite ve uzun vadeli UV direnci sunan PP, PET ve PVF dahil olmak üzere çeşitli polimerlerden veya plastiklerden yapılmıştır. Arka tabaka tabakası tipik olarak beyaz renktedir ancak üreticiye ve modüle bağlı olarak şeffaf veya siyah olarak da mevcuttur.

Dupont'un "Tedlar" PVF malzemesi, PV modül üretimi için önde gelen yüksek performanslı arka tabakalardan biri olarak bilinir.

2.2.6. Çift Cam Paneller

İki yüzeyli ve çerçevesiz paneller gibi bazı paneller, polimer arka tabaka yerine arka cam panel kullanır. Arka yan cam, çoğu arka tabaka malzemesinden daha dayanıklı ve daha uzun ömürlüdür ve bu nedenle bazı üreticiler, çift cam paneller için 30 yıllık bir performans garantisi sunmaktadır.

2.2.7. Bağlantı Kutusu ve Konektörler

Bağlantı kutusu, panelin arka tarafında yer alan küçük, hava koşullarına dayanıklı bir muhafazadır. Panelleri birbirine bağlamak için gerekli kabloların güvenli bir şekilde bağlanması gerekir. Bağlantı kutusu, tüm hücrelerin birbirine bağlandığı merkezi nokta olduğundan ve nem ve kirden korunması gerektiğinden önemlidir.

2.3. Güneş Pili Çeşitleri

Doğada oksijenden sonra en çok bulunan madde olan silisyum kristal yapılı güneş panellerinin hammaddesidir. Şu anda, dünyadaki fotovoltaiğin yaklaşık % 90'ı silikon temellidir. Kristalin silikon hücreler ayrıca monokristal ve polikristalin olmak üzere iki çeşittir.

Güneş pillerinde bulunan silikon birçok farklı formda bulunabilir. Silikonun güneş pillerinde kullanılması için saflaştırılması gereklidir. Silikonun saflığı verimliliği doğrudan etkiler. Silikonun saflığını, silikon içindeki moleküllerinin hizalanma şekli belirler. Hizalama ne kadar iyi olursa, elde edilen silikon o kadar saf olur ve güneş ışığını elektriğe o derece iyi dönüşmesini sağlar [7].

Fotovoltaiğin pillerin birçok çeşidi mevcuttur. Ama bunlardan en çok kullanılan üç grup şu şekilde kategorize edilebilir.

- Monokristal güneş pilleri
- Polikristal güneş pilleri
- İnce film güneş pilleri

2.3.1. Monokristal güneş pilleri

Monokristal güneş pilleri tek kristalli silikondan yapılmıştır. Genellikle renklendirildikleri ve hücreler silindirik bir şekle sahip oldukları için görünüşleri çok belirgindirler. Maliyetleri düşük ve performansı optimum seviyelerde tutmak için, monokristal hücrelerin dört tarafını kesilir Bu da onlara tanınabilir bir görünüm kazandırmaktadır.



Şekil 2.11. Monokristal güneş pili [8]

Monokristal güneş pillerinin bazı avantajları şunlardır:

- % 15-20 ile en yüksek verimlilik seviyesine sahiptirler.
- Yüksek verimliliklerinden dolayı diğer tiplere göre daha az yer kaplarlar.
- Üreticiler, bu güneş pili formunun en uzun süre dayandığını ve çoğunun kendilerine 25 yıl garanti verdiğini belirtmektedirler.
- Düşük güneş ışığında daha iyi performans gösterirler, bu da onları bulutlu alanlar için ideal kılar.

Monokristal güneş pillerinin bazı dezavantajları şunlardır:

- Piyasadaki en pahalı güneş pilleri oldukları için herkesin fiyat aralığında değildirler.
- Performans seviyeleri sıcaklıktaki artıştan etkilenir. Ancak diğer güneş pili formlarına kıyasla bu etki küçüktür.
- Üretim sırasında silikon kesildiğinde çok fazla atık madde ortaya çıkar.

2.3.2. Polikristal Güneş Pilleri

Polikristal güneş panelleri ilk olarak 1981 yılında halka tanıtılmıştır. Monokristal hücrelerin aksine, polikristal olanlar dört tarafın her birinin kesilmesini gerektirmez. Bunun yerine silikon eritilir ve kare kalıplara dökülür. Bunlar daha sonra mükemmel şekilli kare hücreler oluşturur.



Şekil 2.12. Polikristal güneş pili [8]

Polikristal güneş pillerinin bazı avantajları şunlardır:

- Üretim süreci, monokristal hücrelerden daha ucuz ve kolaydır.
- Silikon israfını önlerler.

- Yüksek sıcaklıklar, tek kristalli hücrelere kıyasla verimlilik üzerinde daha az olumsuz etkiye sahiptir. Bu durum polikristal hücrelerin fiyatını düşürür ve daha sıcak bölgelerdeki insanlar için çekici hale getirir.

Polikristal güneş pillerinin bazı dezavantajları şunlardır:

- Düşük silikon saflık seviyeleri nedeniyle verimlilik yalnızca %13-16 civarındadır. Bu yüzden piyasadaki en verimli piller değildir.
- Daha az yer kaplayan daha düşük verimlilik oranlarına sahiptirler. Bu nedenle kurulum için daha fazla çatı alanına ihtiyaç vardır.

2.3.3. İnce Film Güneş Pilleri

İnce film güneş pilleri, modülü oluşturmak için birkaç ince fotovoltaiik katman üst üste yerleştirilerek üretilir. Aslında birkaç farklı ince film güneş pili türü vardır ve bunların birbirinden farklı olma şekli, PV katmanları için kullanılan malzemeye bağlıdır. Türler aşağıdaki gibidir:

- Amorf silikon
- Kadmiyum tellür
- Bakır indiyum galyum selenid
- Organik PV hücreleri



Şekil 2.13. İnce film güneş pili [8]

Kullanılan teknolojiye bağılı olarak, ince film güneş pilleri için verimlilik oranları % 7 ila % 13 arasındadır. 2002 yılından itibaren, ince film güneş pillerinin bilgi seviyeleri ve popülerliği önemli ölçüde artmıştır, bu nedenle verimliliğinin artırması için araştırma ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

İnce film güneş pillerinin bazı avantajları şunlardır:

- Esnek olacak şekilde üretilebilirler, bu da onları çeşitli durumlara ve bina türlerine geniş çapta uygulanabilir kılar.
- Seri üretime ulaşmak kolaydır, bu da onları kristal güneş pillerinden potansiyel olarak daha ucuz hale getirir.
- Gölgeleştirmenin verimliliği üzerinde benzer bir etkisi vardır.

İnce film güneş pillerinin bazı dezavantajları şunlardır:

- Çok yer kapladığından ev içi kullanım için ideal değildir.
- Düşük alan verimliliği, destek yapılarının kabloları gibi geliştiriciler şeklinde daha fazla harcamaya neden olmaları anlamına gelir.
- Daha kısa ömürleri ve dolayısıyla daha kısa garanti süreleri vardır.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

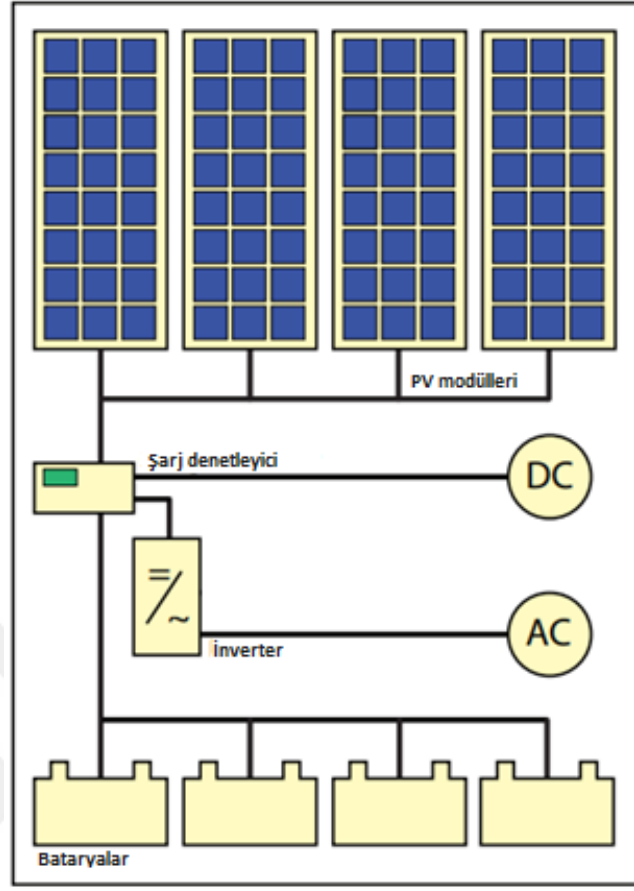
3.1. Fotovoltaik Sistem Türleri

Fotovoltaik sistemler, istenilen akım ve gerilimi sağlayacak fotovoltaik panel ve ihtiyaç duyulan ekipmanların bir araya getirilmesiyle oluşur. Fotovoltaik sistemler, yalnızca güneş parladığında çalışması gereken bir su pompası motorunun doğrudan çalıştırılmasında olduğu gibi ya da sadece bir fotovoltaik modülü ve yükten oluşan çok basit bir sistemde olabilir. Bununla birlikte, örneğin bütün bir evin enerjilendirilmesi gerektiğinde, sistem gece gündüz çalışır durumda olmalıdır. Aynı zamanda hem AC hem de DC yüklerini beslemesi gerekebilir, yedek güce sahip olabilir ve hatta bir yedek jeneratör içerebilir. Sistem konfigürasyonuna bağlı olarak, üç ana fotovoltaik sistem türü vardır. Bunlar;

- Şebekeden bağımsız (off grid) sistemler
- Şebekeye bağlı (on grid) sistemler
- Hibrit sistemler

3.1.1. Şebekeden bağımsız sistemler

Şebekeden bağımsız sistemlerde elektrik ihtiyacı sadece fotovoltaik panellerden karşılanır ve bu nedenle gün içinde üretilen elektriğin fazlası akülerde depolaması gerekir. Aküler, geceleri ve kötü hava koşullarında kullanılmak üzere gündüz üretilen enerjiyi depolayacak kapasiteye sahip olmalıdır. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler genel olarak şebekeye erişimin zor olduğu yerleşimden uzak bölgelerde kullanılırlar.



Şekil 3.1. Şebekeden bağımsız bir fotovoltaik sisteminin şematik gösterimi [9]

Off-Grid Güneş Sistemlerinin Avantajları;

- Şebeke dışı sistemler, yerel şebekenin güç sistemine veya elektrik dağıtım şirketine herhangi bir şekilde bağlı olmadan enerji kullanımını sağlar.
- Sistem, kullanım ömrü boyunca satın alma ve kurulum maliyetini amorti edebildiği için enerji maliyeti tahmin edilebilirdir.
- Bu sistemler, enerji ihtiyaçları zamanla değiştikçe geliştirilebilir.
- Çevreci bir şekilde elektrik üretimi sağlanmış olur.

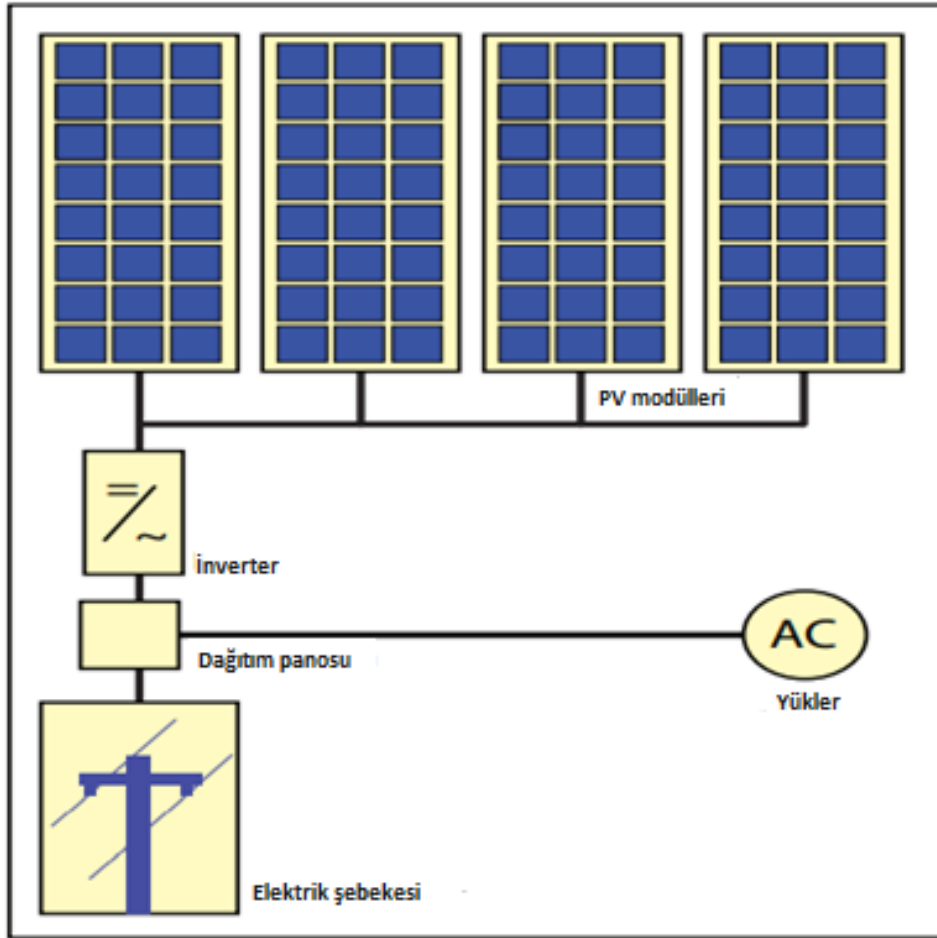
Off-Grid Sistemlerin Dezavantajları;

- Şebeke dışı sistemler hantal ve pahalı olabilen bir yedek pil satın alınmasını gerektirir.
- Bu sistemler düzenli bakım gerektirir.

- Şebeke dışı sistemler bir şebekeye hiçbir şekilde bağlı olmadığından tarife garantisine sahip değildir.

3.1.2. Şebekeye bağlı sistemler

Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemler, elektrik şebekesine bağlı olarak güneş panellerinden elektrik üreten sistemlerdir. DC gücünü AC elektriğe dönüştüren inverterler aracılığıyla şebekeye bağlanırlar. Konutlara monte edilenler gibi küçük sistemlerde, inverter, fotovoltaikler tarafından üretilen gücün elektrik şebekesine veya evdeki AC cihazlara aktarıldığı dağıtım panosuna bağlanır. Prensip olarak, bu sistemler, şebekeye bağlı olduklarından pil gerektirmezler. Şebeke, yetersiz fotovoltaik güç üretiminin olduğu zamanlarda elektrik ihtiyacını karşılar.



Şekil 3.2. Şebekeye bağlı bir fotovoltaik sistemin şematik gösterimi sistemi [9]

On-Grid Sistemlerin Avantajları;

- Bu sistem, fazla enerjiyi depolamak için pahalı bir yedek pil sistemi satın almayı gerektirmez.
- Elektriği koruma yöntemlerinde herhangi bir değişiklik yapılması gerekmez.
- Üretilen tüm kullanılmamış enerji için yerel elektrik şebekesi sağlayıcısından ek ödeme alınır.

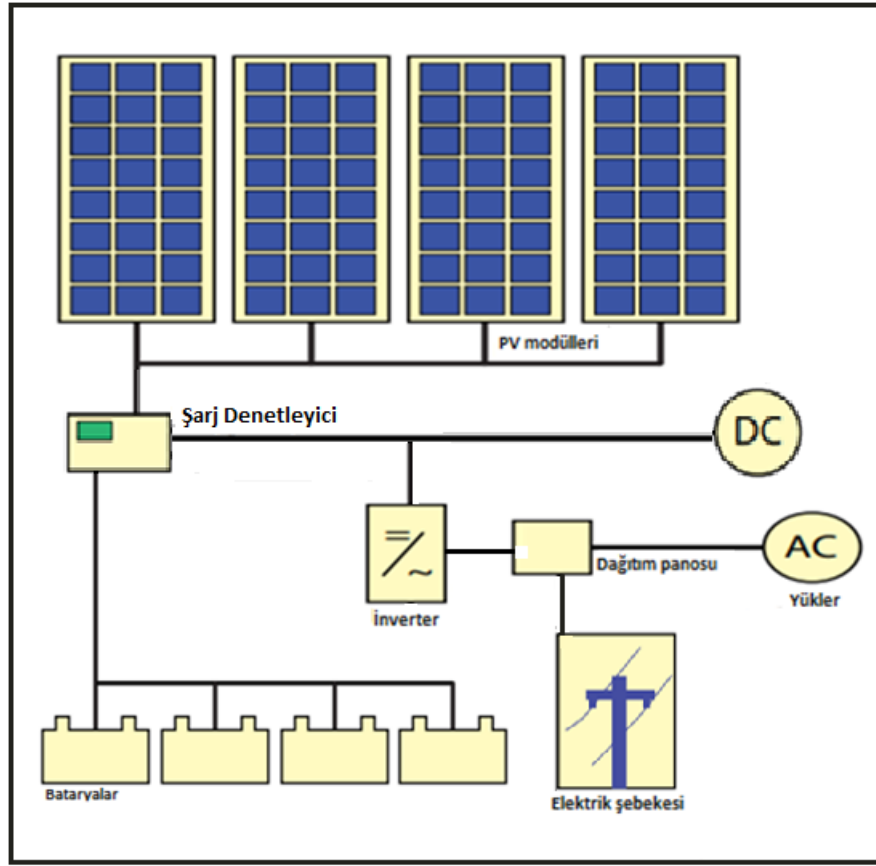
On-Grid Sistemlerin Dezavantajları;

- Şebekeye bağlı güneş enerjisi sistemleri pilsizdir ve bu yüzden güvenlik nedeniyle elektrik kesintisi sırasında çalışamaz veya elektrik üretemez.
- Gece saatlerinde ve güneş ışığı olmadığında elektrik enerjisi üretemezler.

3.1.3. Hibrit sistemler

Hibrit bir güneş sistemi, hem şebekeye bağlı hem de şebekeden bağımsız güneş enerjisinin özelliklerini birleştirir. Bir hibrit güneş enerjisi sistemi, şebekeye bağlı olan ancak aynı zamanda kullanılmayan elektriği depolamak için bir akü grubuna olan bir sistemdir. Bu nedenle, paneller elektrik taleplerini karşılayamadığında, şebekeden gelen enerji devreye girerek çalışmaya devam eder.

Modüller fazla enerjiyi şebekeye geri gönderirler. Ayrıca, şebeke kapalıyken elektrik kesintileri sırasında çekmek için bir akü grubuna bağlanırlar. Aküler, güneş panelleri veya şebeke tarafından şarj edilebilir [10]. Elektrik kesildiğinde ışıkların açık tutulmasına izin verir ve hatta işletmeler için talep ücretlerini azaltmaya yardımcı olabilir.



Şekil 3.3. Hibrit fotovoltaik sisteminin şematik gösterimi [9]

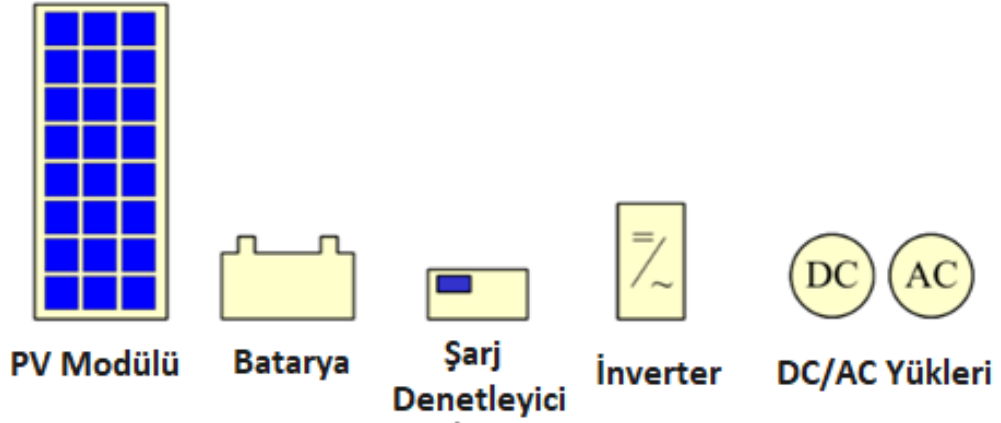
3.2. Bir Fotovoltaik Sistemin Bileşenleri

Bir güneş pili, güneş radyasyonunda bulunan enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürebilir. Güneş pilinin sınırlı boyutu nedeniyle, çoğu uygulama için pratik olmayan sabit akım-voltaj koşullarında yalnızca sınırlı miktarda güç sağlar. Çalışmaları için belirli bir voltaj ve akım gerektiren pratik cihazlara güneş enerjisi ile çalıştırmak için, bir dizi güneş hücresinin, bir güneş paneli oluşturmak üzere birbirine bağlanması gerekir. Büyük ölçekli güneş enerjisi üretimi için güneş panelleri, birbirine bağlanarak bir güneş paneli dizisi oluşturur.

Güneş panelleri bir PV sisteminin kalbi olmasına rağmen, bir çalışma sistemi için birçok başka bileşen gerektirir. Bu bileşenlere birlikte denge sistemi adı verilir. Hangi bileşenlerin gerekli olduğu, sistemin elektrik şebekesine bağlı olmasına veya bağımsız bir sistem olarak tasarlanmasına bağlıdır. Denge sistemine ait en önemli bileşenler şunlardır:

- Modülleri sabitlemek ve güneşe doğru yönlendirmek için montaj yapısı kullanılmaktadır.
- Enerji depolama, bağımsız sistemlerin hayati bir parçasıdır çünkü sistemin gece boyunca ve kötü hava koşullarında elektrik dağıtılmasını sağlar. Genellikle enerji depolama birimleri olarak aküler kullanılır.
- DC-DC dönüştürücüler, günün saatine ve hava koşullarına bağlı olarak değişken bir gerilime sahip olacak modül çıkışını, örneğin bir aküyü şarj etmek için veya şebekeye bağlı bir sistemde bir inverter için giriş olarak kullanılabilir.
- Şebekeye bağlı sistemlerde PV modüllerinden gelen DC elektriği, elektrik şebekesine beslenebilecek AC elektriğe dönüştürmek için inverterler veya DC-AC dönüştürücüler kullanılır.
- Kablolar, FV sistemin farklı bileşenlerini birbirine ve elektrik yüküne bağlamak için kullanılır. Direnç kayıplarını en aza indirmek için yeterli kalınlıkta kablolar seçmek önemlidir.

PV sisteminin bir parçası olmasa bile, elektrik yükü, yani ona bağlı olan tüm elektrikli cihazlar planlama aşamasında dikkate alınmalıdır. Ayrıca, yüklerin AC veya DC yükler olup olmadığı dikkate alınmalıdır. Bir PV sisteminin farklı bileşenleri şematik olarak Şekil 3.4'de gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Bir PV sisteminin farklı bileşenlerinin şeması [11]

PV modülleri tarafından üretilen elektrik gücü, şebekeye ulaşmadan önce bir dizi dönüşümden geçer. Bu dönüşümler özellikle akım ve voltaj ayarlamalarını, DC-AC dönüşümünü ve ayrıca depolama ve iletim yolları arasında güç dağıtımını içerir. Toplu olarak, bu operasyonlara güç koşullandırma denebilir.

Güç koşullandırma, herhangi bir şebeke ölçeğindeki güneş enerjisi santralının önemli bir işlevidir ve üretilen enerjinin tüketicilere etkili ve güvenli bir şekilde ulaştırılmasını sağlar. Uygun güç koşullandırmayı başarmak için, PV modüllerine ek olarak bir dizi özel bileşene ihtiyaç vardır.

Fotovoltaik tesisler, sistemi dengelemeye ve onu sürdürülebilir şekilde çalışır hale getirmeye yarayan destekleyici ekipmanlar içerir. Ekstra bileşenler arasında inverterler, kontrolörler, transformatörler, kablolar, bağlantı kutuları, anahtarlar, izleme cihazları, şarj regülatörleri, enerji depolama cihazları bulunur. Bunların tümü elektrik gücünü kullanıma hazırlamaya yardımcı olur. Fotovoltaik sistemler genellikle modüler bir tasarıma sahiptir, böylece ek bölümler eklenebilir veya altyapısını önemli ölçüde bozmadan onarımlar için çıkarılabilir. Güneş santralindeki enerji akışı, kablolu ağ ve ilgili donanım ile bağlanan çeşitli cihazlardan geçer. Bu destekleyici altyapı genellikle sistem dengesi (BOS) olarak adlandırılır. Kalıcı ve verimli operasyon sağlamak için BOS' un kalitesi çok önemlidir. Sektörün amacı, fotovoltaik sistemlere en az 25 yıllık çalışma ömrü sağlamaktır [11].

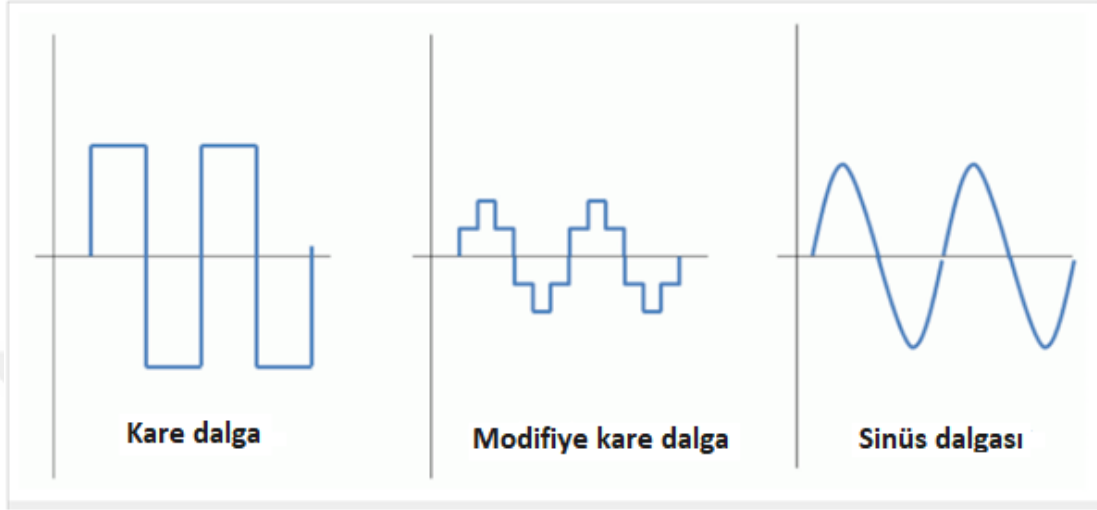
3.2.1. Şarj Denetleyicileri (charge regülatör)

Şarj denetleyicileri veya düzenleyiciler, güneş modülleri, enerji depolama ve yükler arasındaki elektrik akışını yönetir. Sistemde kullanılan piller (veya diğer enerji depolama cihazları) için uygun şarj kontrol algoritması ve şarj akımlarının eşleştirilmesi gerekir. Bir şarj kontrol cihazının temel amacı, pilleri hasardan korumak ve aşırı şarjı veya aşırı deşarjı önlemektir. Tipik olarak, bu cihazlar açma/kapama modunda çalışır. Örneğin, bir fotovoltaiik sistemden aküye sağlanan terminal voltajları belirli bir eşik değerin üzerine çıktığında, anahtar fotovoltaiik dizisinin bağlantısını keser. Dizi, terminal voltajı belirli bir değerin altına düştüğünde yeniden bağlanır. Bu histerezis döngüsü, pilin aşırı şarj olmasını önler. Benzer şekilde, şarj denetleyicileri pilin aşırı boşalmasını önlemeye yardımcı olur. Aküye bağlı yükün akımı, fotovoltaiik dizisi tarafından sağlanan akımdan daha yüksek olduğunda, terminal voltajı V_{minoff} altına düştüğü için yük bağlantısı kesilir ve terminal voltajı belirli bir V_{minon} eşığının üzerine çıktığında tekrar bağlanır. Şarj denetleyicileri ayrıca voltaj dönüştürme ve maksimum güç izlemeye de katılır [13].

3.2.2. İnvvertörler

İnvvertörler, güneş modüllerinden gelen DC gücünü AC gücüne (şebeke için gerekli) dönüştüren cihazlar, herhangi bir fotovoltaiik sistemin kritik bileşenleridir. İnvvertörler, pillerden veya güneş modüllerinden gelen DC gücünü 60 veya 50 Hz AC gücüne dönüştürür. Tüm güç sistemi bileşenlerinde olduğu gibi, inverterlerin kullanılması, parazitlerden dolayı enerji kayıplarına neden olur. Diziye iyi uyan bir inverterün tipik verimliliği yaklaşık % 90'dır. İnvvertörler, hem şebekeye bağlı hem de dağıtılmış güç uygulamalarında anahtar bileşenlerdir ve genellikle sistem maliyetinin önemli bir parçasıdır. İnvvertörler tarafından üretilen AC akım, kare, modifiye edilmiş sinüs ve saf sinüs dalgası çıkışına sahip olabilir (Şekil 3.5). Saf sinüs yüksek maliyetlidir ve en iyi güç kalitesine sahiptir. Modifiye edilmiş sinüs orta maliyetlidir, ancak daha az verime sahiptir. Kare dalga, yalnızca bazı uygulamalarda kullanılan düşük maliyetli ve en düşük verimliliklidir. Kare dalga sinyalleri, yüksek voltajlı harmonik bozulma nedeniyle

bazı elektronik cihazlar için zararlı olabilir. İnvvertörler, ses ve video ekipmanını etkileyebilecek yaygın elektromanyetik gürültü kaynaklarıdır. Bu nedenle, inverter kutuları kod gerekliliğine ve güvenlik nedenlerine göre topraklanmalıdır [12].



Şekil 3.5. İnvvertör çıkış türleri [12]

Şebekeye bağlı inverterler, fotovoltaik sistemi elektrik şebekesine bağlamak için kullanılır. DC gücü, şebeke ile senkronize olarak AC gücüne dönüştürürler. Örneğin, herhangi bir nedenle şebeke kesilirse, inverter de kapanacaktır. Fotovoltaik-şebeke ara bağlantısıyla ilgili ana hususlar arasında güvenlik, güç kalitesi ve adalamayı önleme yer alır. Adalama, güç şebekesinin düşmesi durumunda, eviricinin şebekeye güç sağlamaya çalıştığı ve ekipman hasarına ve teknik personel için güvenlik risklerine neden olabileceği durumdur. Fotovoltaik modüllerine bağlı şebeke güç hattı, tipik bir ada durumudur. Şebeke kesildikten sonra, güneş radyasyonu mevcut olduğu sürece fotovoltaik panelleri hatta güç sağlamaya devam eder. Çoğu AC şebeke bağlantısı inverterünün adalanma önleyici özelliği vardır, bu nedenle inverter, şebeke kapatıldıktan sonra 2 saniye içinde gücü sıfıra indirecektir.

İnvvertörler, toplam güç kapasitesine göre derecelendirilir. Bazı inverterlerin motorları çalıştırmak için iyi bir dalgalanma kapasitesi vardır, ancak bazılarının aşırı gerilim kapasitesi sınırlı olabilir. Bu nedenle tasarımcılar, invertere bağlanacak yükün hem türünü hem de boyutunu belirlemelidir [12].

DC-DC dönüştürücüler veya transformatörler, DC akımın voltajını yükseltmek veya düşürmek için kullanılır. Bu nedenle, güneş panelinin voltajı, yükün voltajından bağımsız olarak seçilebilir. Bu tür bir kolaylık bir maliyetle birlikte gelir. DC-DC dönüştürücü her zaman kayıplara sahiptir, ancak iyi modellerin verimliliği % 95'e varan yüksek verimliliğe sahiptir ve bir miktar atık ısı üretilir [13].

İdeal olarak (kayıp yoksa):

$$P_1 = V_1 \times I_1 = V_2 \times I_2 = P_2 \quad (3.1)$$

olur.

V_1 = giriş voltajı, I_1 = giriş akımı, V_2 = Çıkış voltajı ve I_2 = Çıkış akımı

3.2.3. Piller (akü)

Piller, düşük güneş koşullarında (gece veya düşük ışık) güç sağlamak için birçok fotovoltaiik sistemlerinde kullanılır. Ek olarak, fotovoltaiik çıkışının değişken doğası nedeniyle güneş sistemlerinde piller gerekli olabilir. Akü boyutu/kapasitesi yüke göre seçilir. Daha yüksek kapasiteye uyması için genellikle paralel bağlanırlar. Kurşun asit, nikel kadmiyum, nikel hidrit ve lityum iyon dâhil olmak üzere güneş enerjisi uygulamaları için ticari olarak temin edilebilen çeşitli pil türleri vardır. Güneş enerjisi sistemleri için enerji deposu olarak kullanılan pillerin temel şartı, çok fazla bozulma olmadan derin şarj ve deşarj döngülerinden geçebilmeleridir. Piller, belirli standart koşullar altında pilden çıkarılabilecek maksimum amper-saat sayısı olan nominal kapasiteye (q_{max}) göre sınıflandırılır.

Bir pilin verimliliği, deşarj sırasında çıkarılan şarjın, o şarj durumunu geri yüklemek için gereken şarj miktarına oranı olarak tanımlanabilir. Verimlilik, pilin mevcut kapasitesi ile nominal kapasite ($SOC = q / q_{max}$) arasındaki oran olan Şarj Durumuna (SOC) bağlıdır. Örneğin, pil tamamen şarj olduğunda $SOC = 1$ ve pil tamamen boşaldığında $SOC = 0$. Pil ömrü, genellikle pilin nominal kapasitesinin % 20'sini

kaybetmeden önce devam edebileceği şarj-deşarj d6ng6lerinin sayısı olarak sunulur [14].

G6ç 6reten g6neş sistemlerinde kullanılan piller aslında araba pillerinden farklıdır. Araba ak6leri derin şarj-deşarj d6ng6lerine dayanacak şekilde tasarlanmamıştır ve bu nedenle g6neş enerjisi 6retimi ile kullanılmamalıdır. Ak6ler, d6k6lmelerden kaynaklanan tehlikeleri en aza indirmek için genellikle iyi havalandırılan yerlere yerleştirilir ve bu onları kolay bakım veya değiştirme için kullanılabilir hale getirir. İlgili DC ve AC devrelerinin topraklanması ve bağlanması, sistem b6t6nl6đ6n6 korumak için 6nemlidir.



BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

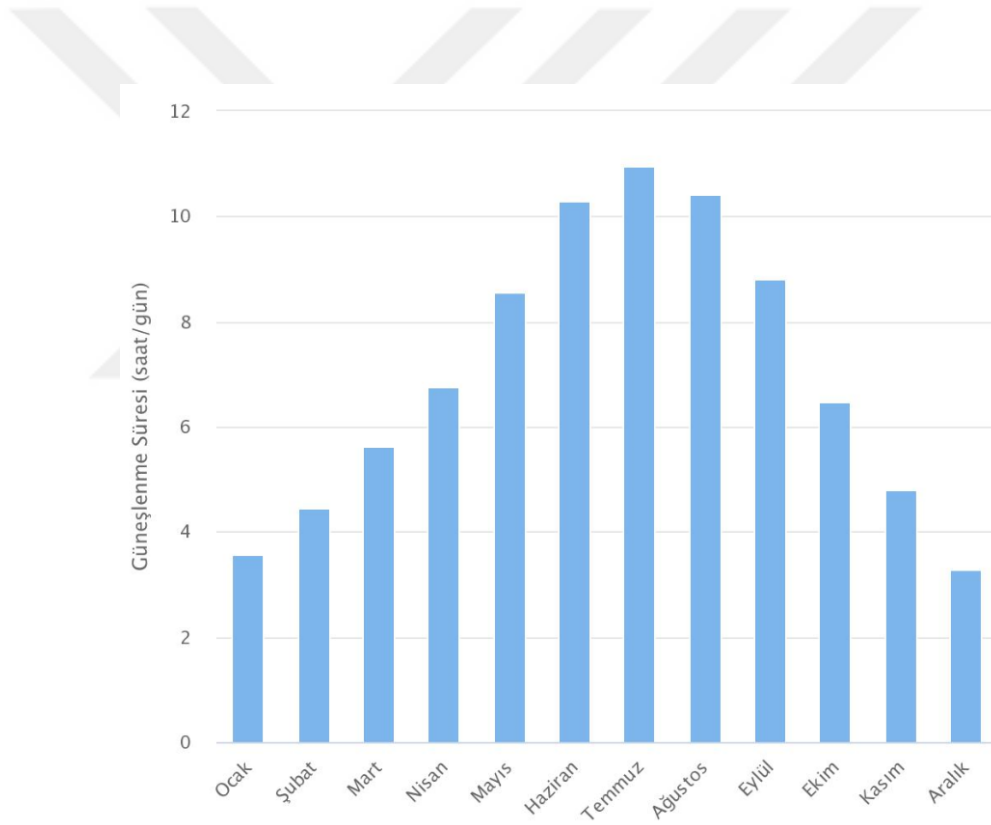
4.1. Güneş Enerji Potansiyeli

Türkiye için Güneşlenme süresi dağılımı çalışması, 1988-2017 yılları arası Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) istasyonlarında ölçülen günlük toplam güneşlenme süresi verileri kullanılarak yapılmıştır. MGM bünyesinde uzun yıllardır helyograf cihazı ile yapılan güneşlenme süresi ölçümleri, 2000'li yıllardan itibaren Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonlarına (OMGİ) monte edilmiş güneşlenme süresi ölçer cihazlar ile sürdürülmektedir. Türkiye için hesaplanan, 1988-2017 yıllarına ait günlük toplam güneşlenme sürelerine göre, yıllık ortalama güneşlenme süresi en düşük 6,37 saat ile 1988 yılında, en yüksek güneşlenme süresi ise 7,30 saat ile 1990 yılında ölçülmüştür [15].



Şekil 4.1. Türkiye güneşlenme süresi dağılım haritası [15]

Solar sistem kurulum hesabı yapılırken güneşlenme süresi bilgisinin yanı sıra sistem kurulumunda, sistemin hangi saatlerde en fazla kullanılacağı, sistemin hangi mevsimlerde yoğunlukla kullanılacağı, sistemin tam olarak konumu, tasarlanan depolanmış enerji miktarı gibi faktörlere göre güneş paneli hesabı yapılır. Örneğin, bir sistem dört mevsim kullanılacaksa, kışlık güneşlenme saatine göre tasarlanması gerekir. Günlük ortalama 7 saat ortalama ile yapılan bir hesaplama tasarlanan sistem, kış aylarında yetersiz kalacaktır. Benzer şekilde, sadece yazın kullanılacak bir sistem tasarlanıyorsa, bulunan bölgenin yaz aylarındaki ortalama güneşlenme süreleri dikkate alınır, fazla maliyetten kaçınılmış olunur. Şekil 4.2’de, aylara göre Türkiye güneşlenme süre ortalamalarını görülmektedir.



Şekil 4.2. Aylara göre Türkiye’nin güneşlenme süresi [15]

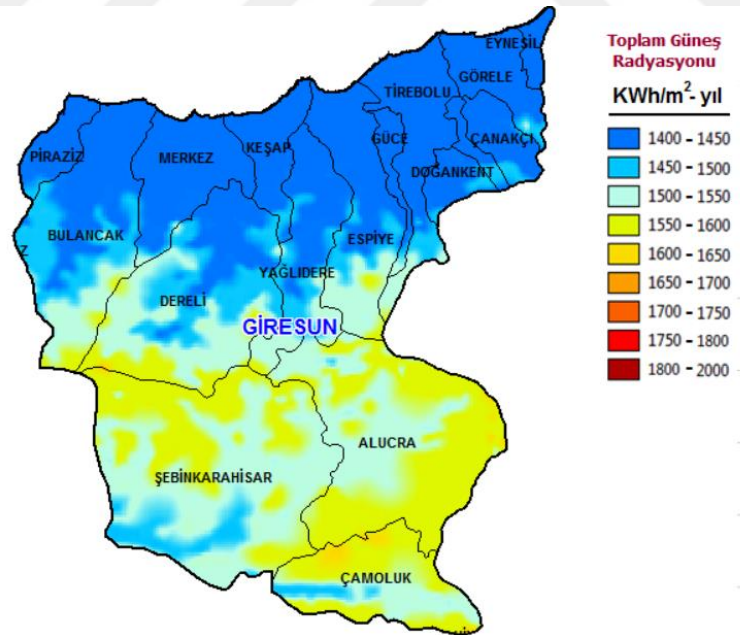
Şekil 4.2’de de görülebileceği gibi, yaz aylarında 11 saat seviyesine çıkan ortalama, kışın günlerin kısılması, güneşin daha yatay açı ile panele ulaşması ve havanın daha kapalı olması nedeniyle 3 saate kadar düşmektedir. Off-grid güneş enerji sistemlerin

kışın kesintiye uğramaması için mevsimsel değişiklikler dikkate alınmalı, kullanım amacına uygun sistem tasarlanmalıdır.

Sistemin bulunduğu konuma en yakın verileri almak, Türkiye ortalama değerine göre hesap yaptıktan daha kesin sonuçlar verecektir. Şekil 4.1’de illere göre yıllık güneşlenme sürelerini ve ortalama ışıyım şiddetini görülebılır. İllerin aylık güneşlenme ve yağışlı geçen gün süreleri güneş enerji sistemi tasarımı için önemlidir [15].

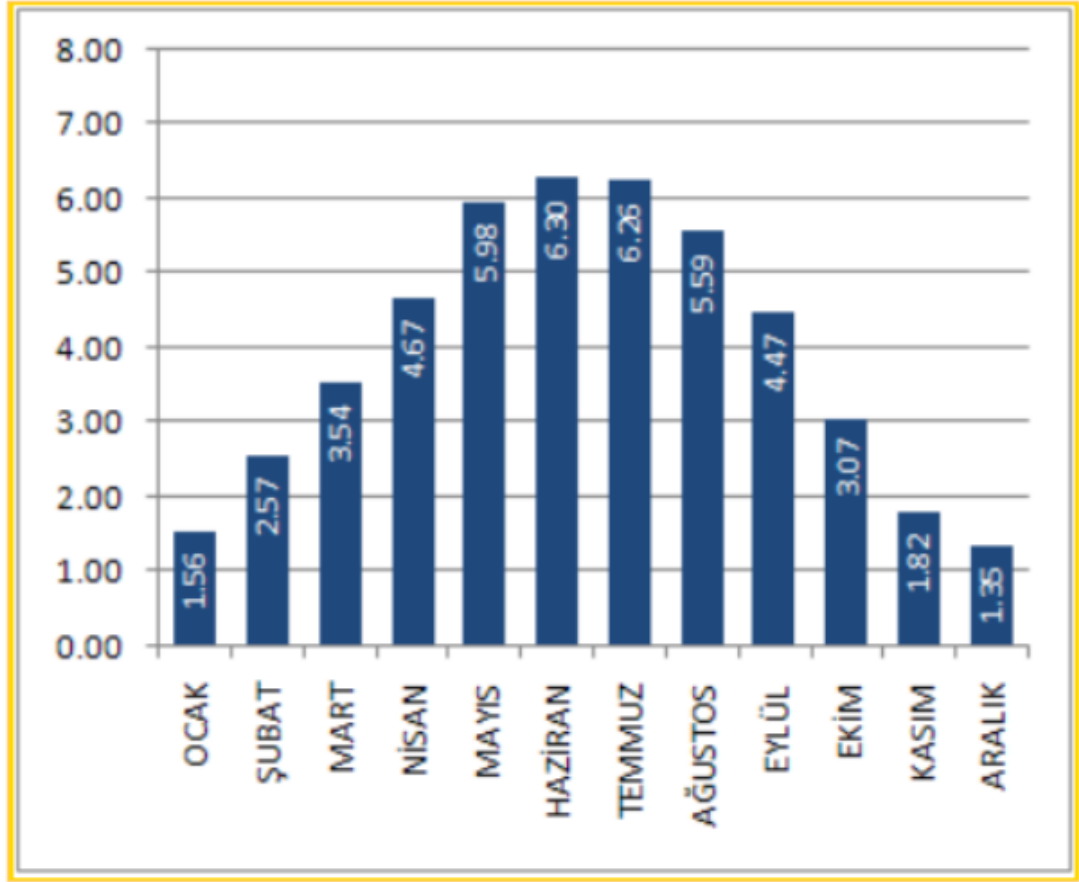
Kurulacak sistem için güneş paneli ihtiyacının belirlenmesinde öncelikle güneş enerjisi potansiyeli önemli bir parametredir. Güneş enerjisi potansiyeli, hangi şehirde ve hangi ayda güneş ışınlının düşme miktarının ne kadar olduğunu gösterir.

Şekil 4.3’de Giresun ilinin global güneş radyasyon değerleri ve ilçelere göre güneş enerjisi potansiyeli verilmiştir. Bu haritaya göre güneş enerjisi potansiyeli en yüksek ilçeler Alucra, Şebinkarahisar ve Çamoluk ilçeleridir. Şekil 4.4’de ise Giresun ili için aylara göre günlük ortalama radyasyon değerleri görülmektedir.



Şekil 4.3. Giresun ili toplam güneş radyasyonu değerleri [16]

GİRESUN Global Radyasyon Değerleri (KWh/m²-gün)

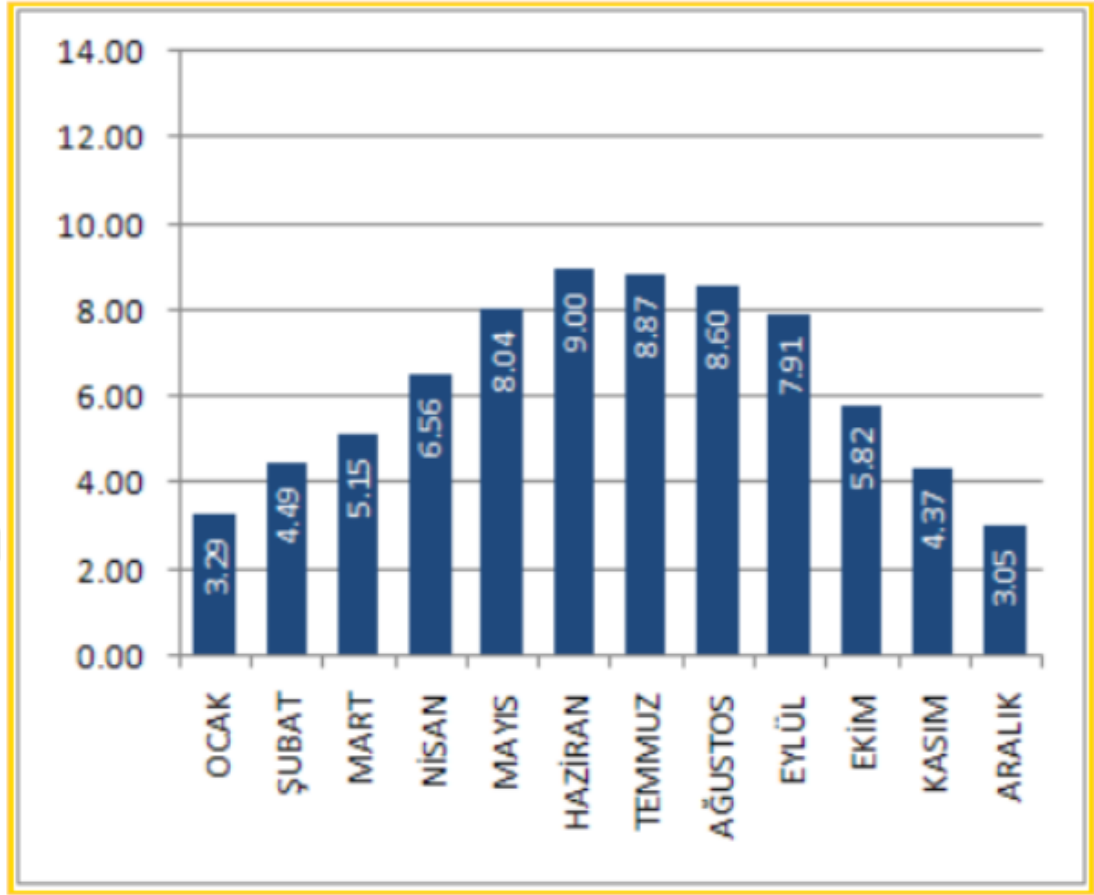


Şekil 4.4. Giresun ili global radyasyon değerleri (kWh/m²- gün) [16]

Karadeniz’de güneş ışınlarının geliş açısı verimsizdir üstelik bölgenin iklimi gereği sürekli yağmur yağdığı için güneşin bölgeye düşme saati azdır. Bu nedenle güneş enerjisi potansiyeli daha çok güneş alan Akdeniz bölgesine göre az olacaktır. Şekil 4.5’de Giresun için aylık ortalama güneşlenme süreleri verilmiştir. Şekil 4.5’deki verilere göre Giresun ilinde ortalama güneşlenme süresi en yüksek ay 9,00 saatle Haziran ayı, ortalama güneşlenme süresi en düşük ay ise 3,05 saatle aralık ayı olduğu görülmektedir.

Şebekeye bağlı bir PV sistemi, güneş panelleri, inverterler, bir güç koşullandırma ünitesi ve şebeke bağlantı ekipmanından oluşur. Enerji depolama kayıpları olmadığından güneş enerjisinden üretilen güç etkin bir şekilde kullanılır. Uygun koşullarda, şebekeye bağlı PV sistemi, elektrik şebekesine bağlı olan yükün tüketiminden fazla güç sağlar.

GİRESUN Güneşlenme Süreleri (Saat)



Şekil 4.5. Giresun ili güneşlenme süreleri (saat) [16]

Eğer kurulacak sistem sadece yaz aylarında kullanılacaksa, yaz aylarının günlük ortalaması bulunmalıdır. Fakat kurulacak sistem yaz-kış kullanılacak ise, elektrik üretimi en düşük ayın günlük üretimine bakılarak hesaplama yapılmalıdır.

4.1.2. Enerji ihtiyacının belirlenmesi

Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, yılın her döneminde aktif olarak kullanılacağından değişen güneşlenme süreleri, yazın klima yükleri ve kışın daha çok aydınlatma yükünden dolayı yıl içinde her ay aynı seviyede güç tüketimi olmayacaktır.

Solar sistem dört mevsim kullanılacaksa, kışlık güneşlenme saatine göre hesaplama yapılmalıdır. Böylece kurulacak sistem elektriğin en düşük olarak üretildiği aylarda bile yeterli enerjiyi sağlayacaktır. Şekil 4.5'e bakıldığında Giresun ili için en düşük güneşlenme değeri, aralık ayında olduğu için hesaplamalarda bu değer kullanılacaktır.

İlk aşamada çatı üzerine kurmayı düşündüğümüz solar sistem için, ne kadar elektrik enerjisine ihtiyaç olacağını bilinmelidir ve bu kapsamda kaç adet solar panel kullanılacağı hesaplanmalıdır.

Bunun için Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tablo 4.1'de bilgileri verilen 2020 yılı Aralık ayı elektrik faturası bilgisi temin edilmiştir. Aylık gelen elektrik faturasında aralık ayı boyunca 22.591 kWh enerji kullanılmış ve günlük ortalama 728,7419 kWh enerji harcanmış olduğu görülmüştür.

Tablo 4.1. Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Aralık ayı Fatura Bilgileri

Günlük Ortalama Tüketim (kWh)	728,741
Aylık Tüketim (kWh)	22.591
Yıllık Tüketim (kWh)	263.482

Şekil 4.5'de Aralık ayında Giresun'da güneş panellerin ortama 3,05 saat güneş aldığı görülmektedir. Panel sayısı hesabı için aşağıda verilen denklem 4.1 kullanılmıştır.

$$PS = \frac{GEİ \times SV}{MÜG \times GOGS} \quad (\text{adet}) \quad (4.1)$$

PS = Panel Sayısı, GEİ = Günlük Enerji İhtiyacı,

SV = Sistem Verimliliği, MÜG = Bir Modülün Üreteceği Güç,

GOGS = Günlük Ortalama Güneşlenme Süresi

Yaklaşık bir hesap yapmamız gerekirse, sistem verimliliğini 1 olarak kabul edersek, 300W'lık panel kullanıldığında,

$$\text{Panel Sayısı} = \frac{728741}{300 \times 3.05} = 796,4 \quad (4.2)$$

olacaktır. Bu hesaba göre, yaklaşık günlük 728.741 W'lık bir enerjiyi üretecek solar panel sistemi Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin enerji ihtiyacının tamamını karşılayacaktır. Buda yaklaşık olarak 300 W'lık 797 paneldir.

Eğer 320W'lık panel kullanılırsa,

$$\text{Panel Sayısı} = \frac{728741}{320 \times 3,05} = 746,6 \quad (4.3)$$

olur. Kullanılacak olan panel sayısı 747 adete düşmekte ve tüm enerji ihtiyacını karşılayabilmektedir.

Bu hesaplanan panel değerleri şebekeden bağımsız bir sistem için geçerlidir ve kurulum maliyeti ve kendini amorti etme süresi şebekeye bağlı sistemlerden çok daha uzun yıllar sürebilir.

Eğer, kurulması planlanan sistem tüm yıl kullanılacak fakat elektrik tüketimini yeterli olmadığı durumlarda elektrik şebekeden de besleneceği düşünüldüğünde, tüm yıl için kullanılan enerji tüketim miktarı üzerinden bir hesaplama yapılması gerekmektedir. Şekil 4.1'deki yıllık tüketilen enerji miktarından, günlük ortalama enerji tüketimin değerini bulmak için,

$$\text{Günlük Ortalama Enerji Tüketim} = \frac{\text{Yıllık Tüketim}}{365} \quad (4.4)$$

denklemini kullanılacaktır. Bu denklem yardımıyla,

$$\text{Günlük Ortalama Enerji Tüketim} = \frac{263.482}{365} = 721,86 \text{ kWh} \quad (4.5)$$

elde edilir. Şekil 4.5’ de Giresun ilinin aylık güneşlenme süreleri gösterilmektedir. Bu veriler kullanarak Giresun için ortalama güneşlenme süresi denklem 4.6 ile bulunabilir.

$$\text{OGS} = \frac{\sum_{i=1}^{12} \text{GS}}{12} \quad (4.6)$$

Buna göre sonuç,

$$\text{OGS} = \frac{3.29+4.49+5.15+6.56+8.04+9.00+8.87+8.60+7.91+5.82+4.37+3.05}{12}$$

$$\text{OGS} = 6,26 \quad (4.7)$$

olarak elde edilir. Yani aylık ortalama güneşlenme süresi 6,26 saattir. Denklem 4.1’i kullanarak 320W’ lık bir panel için ihtiyacımız olan panel sayısını bulabiliriz. Buna göre panel sayısı,

$$\text{Panel Sayısı} = \frac{721860}{320 \times 6,26} = 360 \text{ adet} \quad (4.8)$$

olarak bulunur.

Bu tez çalışmasında, kurulması tasarlanacak sistem hem yaz hem kış aylarında kullanılacak fakat güneş enerjisinin yeterli olmadığında da elektrik kullanımında aksaklık olmaması için elektrik şebekesi bağlantısı olacaktır.

4.2. Fotovoltaik Sistem Tasarımı

Bu bölümde Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binasında çatısına güneş panellerinin yerleştirilmesi için PVSol simülasyon programı kullanılmıştır. Bunun için ilk olarak çatı üzerinde kurulum alanı belirlenmiş ve daha sonra gerekli ekipmanlar seçilerek, planlanan tasarımın ekonomik analizleri yapılmıştır.

4.2.1. Solar sistem kurulum alanı belirleme

Şekil 4.6’te görülen Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin tahmini enerji ihtiyacı belirlendikten sonra güneş panellerin yerleşiminin yapılabilmesi için en verimli şekilde güneş ışınlarını alan ve yaklaşık eğimi 25^0 olan güney cephesindeki çatı bölümü belirlenmiştir. Belirlenen güneş enerjisi panellerinin yerleşimi 3 boyutlu bina tasarım yapabilen PVSol simülasyon programı ile yapılmıştır.



Şekil 4.6. Giresun üniversitesi Mühendislik Fakültesi

PVSol simülasyon programında, Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin sisteme eklenebilmesi için binanın Şekil 4.7’deki uydu resmi kullanılarak modelleme yapılmıştır.



Şekil.4.7 Giresun üniversitesi mühendislik fakültesinin çatısının uydudan görünümü

4.2.2. PVSol programı

PVSol, şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız ve pil destekli sistemler dahil olmak üzere fotovoltaik sistemlerin profesyonel tasarımı ve hesaplanması için dinamik bir simülasyon programıdır.

3 boyutlu görselleştirme, PVSol programının en önemli özelliğidir. İster küçük boyutlu çatılarda, ister büyük endüstriyel salonlarda veya açık alanlarda olsun, tüm yaygın sistem türleri için 7,500'e kadar monte edilmiş modül veya 10.000'e kadar çatı-paralel modül ile 3 boyutlu olarak görselleştirilip ve 3 boyutlu nesnelerin gölgelenme etkisini hesaplanabilir.

Kapsamlı ürün veri tabanında hâlihazırda 21.000'den fazla PV modülü, 5.100 inverter, 1.900 pil sistemi ve elektrikli araçlar ve performans optimize ediciler gibi diğer birçok ürünü içermektedir. Kurulması tasarlanan sistemin performansı hakkında ayrıntılı bilgi sağlar. PVSol, gerektiği gibi yapılandırılabilen ve düzenlenebilen proje raporları ve gerekli cihazlarla birlikte devre şemalarını oluşturabilen bir simülasyon programıdır [17].

4.2.3. Proje tasarımı

Bu projenin tasarımı için şebeke bağlantılı ve akü takviyesi bulunan hibrit bir sistem tercih edilmiştir. PVSol programında MeteoSyn İklim veritabanı Almanya için 1981-2010 seneleri için sunulan yaklaşık 450 iklim verileri ve dünya çapında meteonorm 7.0 bazında da 1986-2005 seneleri için sunulan 8000 den fazla iklim verilerini içermektedir. İklim verileri kolaylıkla harita üzerinden seçilebilmektedir.

Uygulanan simülasyonda 1991-2010 tarihleri arasında Giresun ilinin iklim verileri bulunmaktadır. Buna göre Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi için yıllık güneş ışıınım değeri 1173 kWh/m² ve yıllık ortalama sıcaklık 15° verileri gerçek zamanlı olarak alınmıştır. Simulasyonda kullanılacak AC verileri Tablo 4.2'deki gibi sisteme işlenmiştir.

Tablo 4.2 AC şebekesi

Faz Adeti	3
Şebeke Gerilimi (tek fazlı)	230 V
Deplasman Güç Faktörü (cos phi)	+/- 1

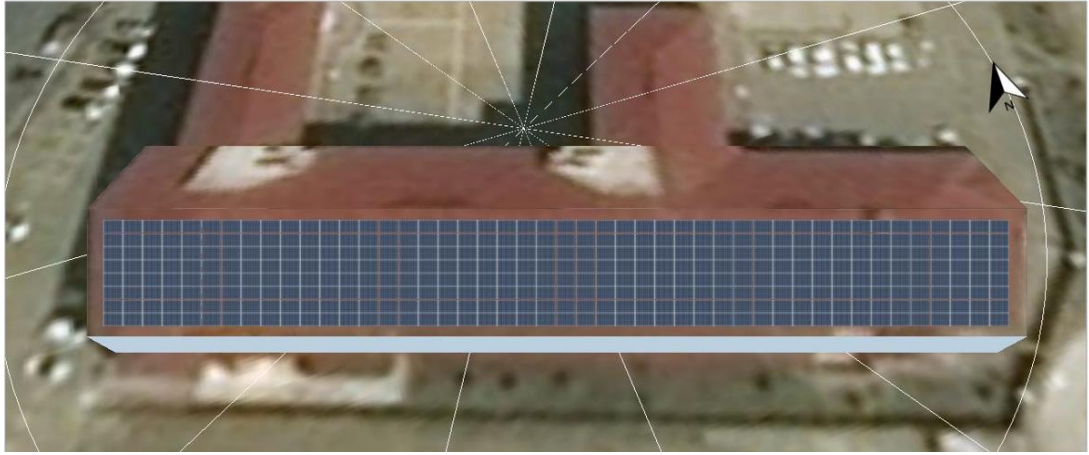
Programın 3D modelleme de Google Maps entegresi olması sayesinde program üzerinden Mühendislik Fakültesinin çatı görüntüsü programa yüklenmiştir. Bu görüntü yüklendiğinde program otomatik olarak modelleme için en uygun cephe olan güney cephesini seçmiştir. Türkiye'nin kuzeyinde yer alan Giresun ili için fotovoltaik panellerin güneye bakacak şekilde kurulum yapılması daha yüksek enerji üretimini sağlamaktadır. Giresun Üniversitesi Mühendislik fakültesinin yıllık tüketimi Tablo 4.1'deki elektrik faturasında 263.482 kWh olarak gözükmekte olup, simülasyon hesaplarında bu veri kullanılmıştır.

Güneş radyasyonu miktarının yanı sıra, üretilcek elektrik enerjisinin hesaplanmasındaki en önemli diğer faktör fotovoltaik modülün özelliğidir. PVSol programının veri tabanında yaklaşık 13.000 modül bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında

kullanılan fotovoltaik modül modeli, yazılımın veri tabanında bulunan bir modeldir. Güneş Paneli olarak 327 W'lık SunPower monokristiral tip güneş paneli tercih edilmiştir. Şekil 4.8'de seçilen 600,1 m² alana 368 adet 327 W'lık SunPower marka güneş panelinin yerleşim planı verilmiştir.

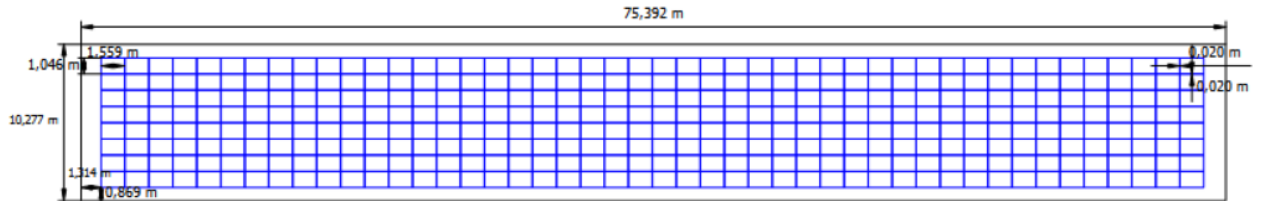
PV jeneratörü, 1. Modül Alanı - Building 01-Roof Area South

Ad	Building 01-Roof Area South
PV modülleri	368 x SPR-E20-327 (v2)
Üretici	SunPower
Eğim	25 °
Yerleşim Yönü	Güney 200 °
Montaj Türü	Çatı paraleli - iyi hava aldırır
PV jeneratör yüzeyi	600,1 m ²



Şekil 4.8. Modül yerleşim planı

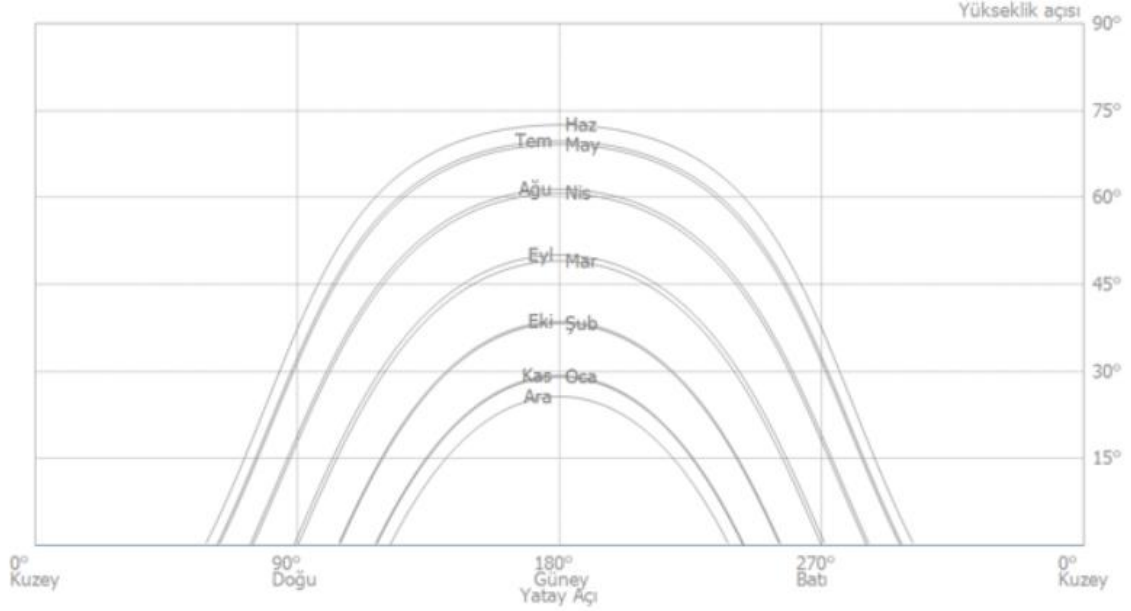
Yerleştirilmesi tasarlanan modüllerin çatı alanı üzerindeki boyutlandırma planı Şekil 4.9'daki gibidir.



Şekil 4.9. Modüllerin boyutlandırma planı

Güneşten gelen ışınının fotovoltaik modüllerinin üzerine düşüş açıları, aylara göre değişimi Şekil 4.10'da verilmektedir. Bu şekle bakıldığında, güney ufuk çizgisine göre

en yüksek açının yaklaşık 75° ile Haziran ayında, en düşük açının ise 28° ile Aralık ayında olduğu görülmektedir.



Şekil 4.10. Ufuk çizgisi açıları

PVSol yazılımı, 3 boyutlu tasarım düzenleyicisine sahip olması dolayısıyla uydu haritası üzerinde 3 boyutlu nesneler çizerek gölgeleme miktarını hesaplamak için en yakın gerçekçi simülasyonu yapar. Çizilmiş 3B binaların çatı alanları için, yazılım çatıya maksimum sayıda modül otomatik olarak yerleştirir. Ayrıca, seçilen uygun inverterlerin konfigürasyonu otomatik olarak yapılır. Yazılım veri tabanında 3.100 adet inverter model özelliği bulunmaktadır.

İnvertörler panellerden sonra dikkate alınması gereken en önemli fotovoltaik sistem bileşenidir. İnvertör seçiminde, seri bağlı dizinin maksimum açık devre geriliminin, inverter giriş geriliminden daha yüksek olmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca, inverterlerin daha verimli çalışabilmeleri için kurulması tasarlanan fotovoltaik sistemin kurulu gücüne yakın bir güçte inverter seçilmesi gereklidir.

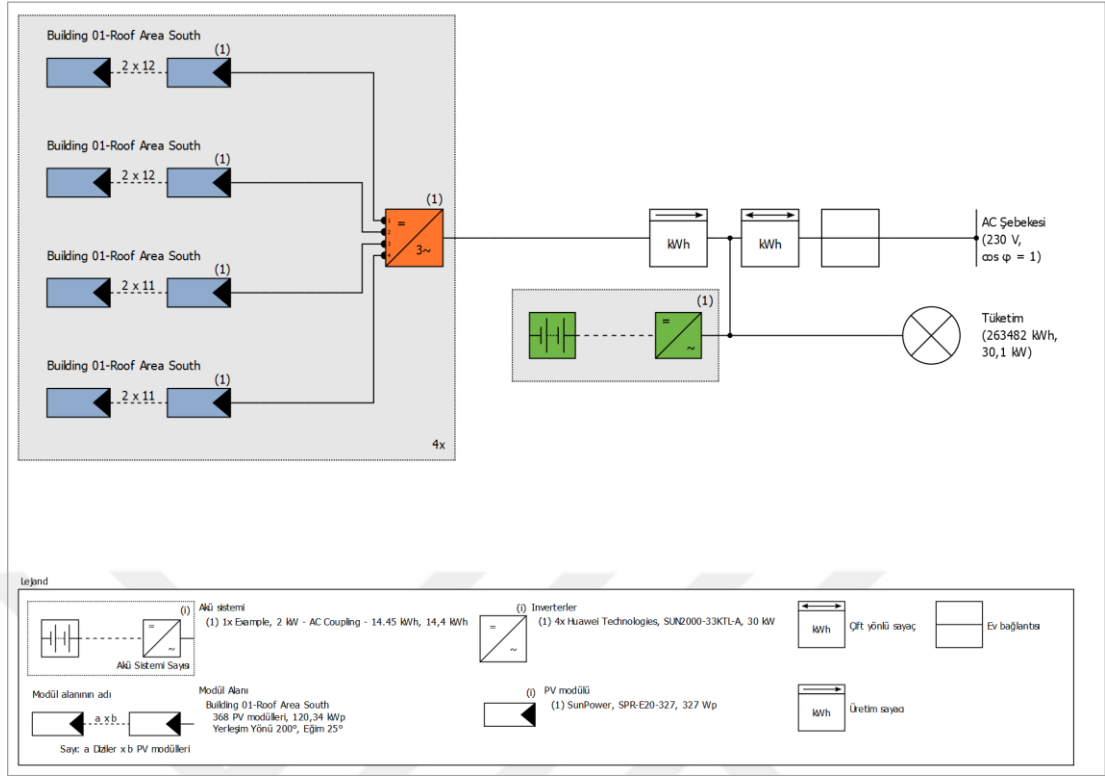
Kurulması tasarlanan sistem için 30kW gücünde Huawei Technologies SUN2000-33KTL-A model inverter seçilmiştir. Yazılım programı, sistem için gerekli inverter sayısını 4 olarak belirlemiştir.

Tablo 4.3 'de seçilen inverter modeli ve inverterlere eklenen maksimum güç noktası izleyicisi (MPPT) konfigürasyonu gösterilmektedir. İnvertör'ler DC'yi AC'ye çevirirken panel girişi tarafında yani DC tarafında MPPT adı verilen cihaz bileşenine sahiptir. MPPT'ler PV modüllerin enerji üretiminde ve verimliliğinde etkin rol oynar. Her bir MPPT girişindeki panellerin string serileri eşit koşullara sahip olmalıdır. Yani; aynı yöne bakan paneller olmalı, aynı açı ile monte edilmeli, aynı iklim koşullarına sahip olmalı ve aynı oranda gölge alıyor olmalıdırlar. Eğer bu koşullar eşit değilse, paralel devrenin içindeki sıkıntılı string diğer stringleri de negatif şekilde etkileyecektir. Fotovoltaik sistemlerde MPPT' nin kullanılması sistemin çıkış gücünü artırır ve bu nedenle panel gücünden daha yüksek verimlilikte faydalanılarak daha az panel kullanımı ile yatırım maliyeti düşürülmüş olur. Bu yüzden kullanılacak MPPT sayısı çok önemlidir. Olabildiğince fazla MPPTli inverterler demek daha heterojen yapıya sahip yüzeylerde ve koşullarda rahat bir projelendirme imkânı sunacaktır.

Şekil 4.11.'de tasarlanan şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin blok şemasında, başta 4 inverter bulunmakta ve bu 4 inverter'e bağlı her inverterde ise 4 er adet olmak üzere toplamda 16 adet MPPT kullanılmıştır. Birinci ve ikinci inverter'e bağlı MPPTler de 12 modülden oluşan 2 şer string bölgelerine ayrılmıştır. Ayrıca, üçüncü ve dördüncü inverter'e bağlı bölgeler ise 11 modülden oluşan 2'li string bölgelerine ayrılmıştır.

Tablo 4.3. İnverter Konfigürasyonu

İnverterler	
Model	SUN2000-33KTL-A(v1)
Üretici	Huawei Technologies
Sayı	4
Boyutlandırma Faktörü	100,3 %
Konfigürasyon	MPP 1: 2x12
	MPP 2: 2x12
	MPP 3: 2x11
	MPP 4: 2x11



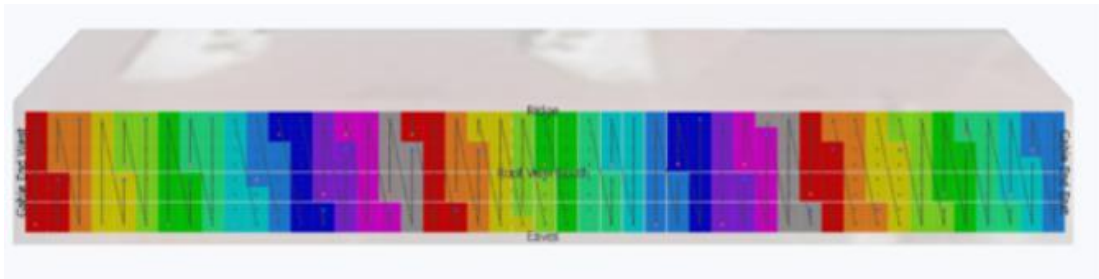
Şekil 4.11. Tasarlanan fotovoltaiik sistemin blok şeması

Aküler güneş enerjisinin olmadığı günlerde ya da güneşsiz günlerde elektrik enerjisinin kullanılabilmesi amacıyla güneşli günlerde elektrik enerjisinin depolanmasında kullanılır. Sisteme akü enerjisi 14,4 kWh olan 12 adet aküden oluşan akü grubu eklenmiştir. Akü grupları çok maliyetli olması ve belli bir kullanım yılından sonra verimlerinde düşüş olması nedeniyle genellikle bu tip büyük ölçekli projelerde kullanılması tercih edilmez. Bu tez çalışmasında, üretimin olmadığı saatlerde sisteme enerji sağlayabilmek için simülasyona Tablo 4.4’de özellikleri verilen akü sistemi eklenmiştir ve seçilen akü grubu güneş enerjisinden üretim olmadığı durumlarda sisteme yaklaşık 6 saat enerji sağlayacak şekilde planlanmıştır.

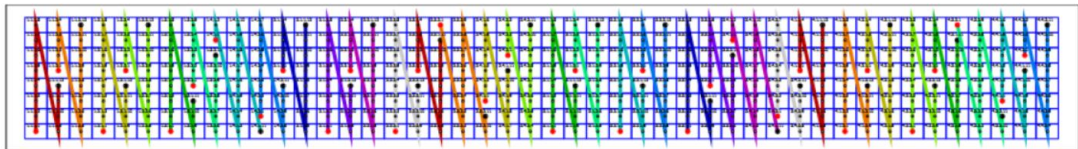
Tablo 4.4. Akü Sistemi

Akü Sistemi	
Model	2 kW-AC Coupling- 14.45 kWh (v2)
Sayı	1
Akü İnverteri	
Bağlantı Türü	AC kuplajı
Nominal Çıkış	2 kW
Akü	
Model	2V 1050 Ah valve regulated(v1)
Sayı	12
Akü Enerjisi	14,4kWh
Akü Tipi	Kurşun Asit-Kapalı (Gel)

Sistem elemanları belirlendikten sonra çatıda kablolama işlemi Şekil 4.12.’deki gibi yapılmış ve dizi planı şekil 4.13 ‘deki gibi düzenlenmiştir.



Şekil 4.12. Kabloların yerleşimi



Şekil 4.13. Dizi planı

Kurulması tasarlanan sistemde kullanılan parça listesi ve adet sayısı Tablo 4.5’de listelenmiştir.

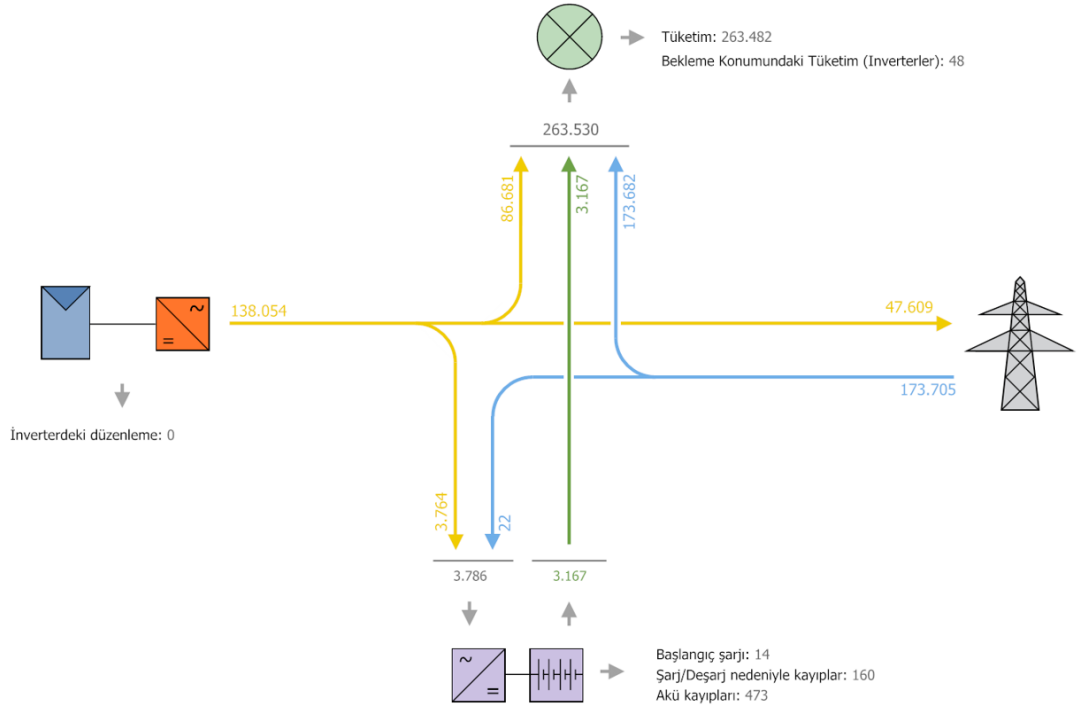
Tablo 4.5. Parça listesi

Malz.No	Tür	Üretici	Ad	Miktar	Birim
1	PV modülü	Sun Power	SPR-E20-327	368	Adet
2	Inverterler	Huawei Techn.	SUN2000-33KTL-A	4	Adet
3	Akü sistemi	Example	2 Kw-AC Coupling-14,45 kWh	1	Adet
4	Sayaç		Üreti Sayacı	1	Adet
5	Sayaç		Çift yönlü sayaç	1	Adet

4.2.4. Simülasyon sonuçları

Kurulması planlanan sisteme ait girdiler programa eklendikten ve kullanılması tasarlanan ekipmanlar belirlendikten sonra sisteme ait bütün sonuçlar grafiksel olarak, detaylı bir proje raporundan ve sonuç ekranlarından alınmıştır.

Şekil 4.14.’de tasarlanan güneş santraline ait simülasyon sonucu elde edilen enerji akış diyagramı bulunmaktadır. Bu diyagrama göre, Giresun Üniversitesi Mühendislik fakültesinin çatısına kurulan santralin yıllık 138.054 kWh üretim yapıldığı hesaplanmıştır. Akü gruplarında 3.786 kWh enerji depo edilmiş ve 3.167 kWh akü gruplarından enerji sağlanmıştır. Simülasyon programında hesaplamalara göre, 263.523 kWh olan tüketimin 86.681 kWh’i kurulan güneş enerji sisteminden 173.682 kWh’i şebekeden ve 3.167 kWh akü grubundan sağlanmıştır. Ayrıca simülasyon programı verilerine göre, tüketimin az olduğu zamanlarda şebekeye 47.609 kWh’lik enerji satışı olacağı hesaplanmıştır.



Şekil 4.14. Enerji akış grafiği

Değerlendirme boyutlarının belirlenmesi için aşağıdaki girdi verileri kullanılır:

- E_{in} = PV jeneratör yüzeyine yayılan enerji
- EPV_{use} = üretilen güneş enerjisi (AC tarafında) - kendi inverter tüketimi
- E_{Load} = cihazların elektrik ihtiyacı
- P_{nom} = kurulu PV jeneratör çıkışı
- η_{STC} = Standart test koşulları altında modül verimliliği

Spesifik yıllık verim, PV sisteminin bir yıl boyunca tam yükte çalıştığı saat sayısının bir ölçüsüdür. Spesifik yıllık verim değeri, aşağıdaki denklem yardımıyla bulunur.

$$\text{Yıllık Özgöl Kazanç} = \frac{EPV_{use}}{P_{nom}} \quad (4.9)$$

Performans oranı, belirli bir sistem ortamında potansiyel PV enerjisi üretiminin verimliliğini tanımlar. Performans oranı, standart test koşulları(STC) altında PV jeneratörünün enerji çıkışı ile karşılaştırılmasından kaynaklanan sistemdeki enerji kayıplarının bir ölçüsüdür. STC altındaki enerji çıkışı, PV dizisi yüzeyine yayılan enerjinin (E_{in}) modül verimliliği (η_{STC}) ile çarpılmasıyla belirlenir (Denklem 4.10).

$$\text{Performans Oranı} = \frac{EPV_{use}}{E_{in}} \times \eta_{STC} \quad (4.10)$$

Sistem verimliliği, kablolama ve pil kayıpları hesaba katılarak PV jeneratör verimliliği ve inverter verimliliğinden oluşur. Sistem verimliliği, PV sistemi tarafından dizi yüzeyine (E_{in}) yayılan toplam enerji miktarının dönüştürülmesine yönelik bir ölçüdür (Denklem 4.11).

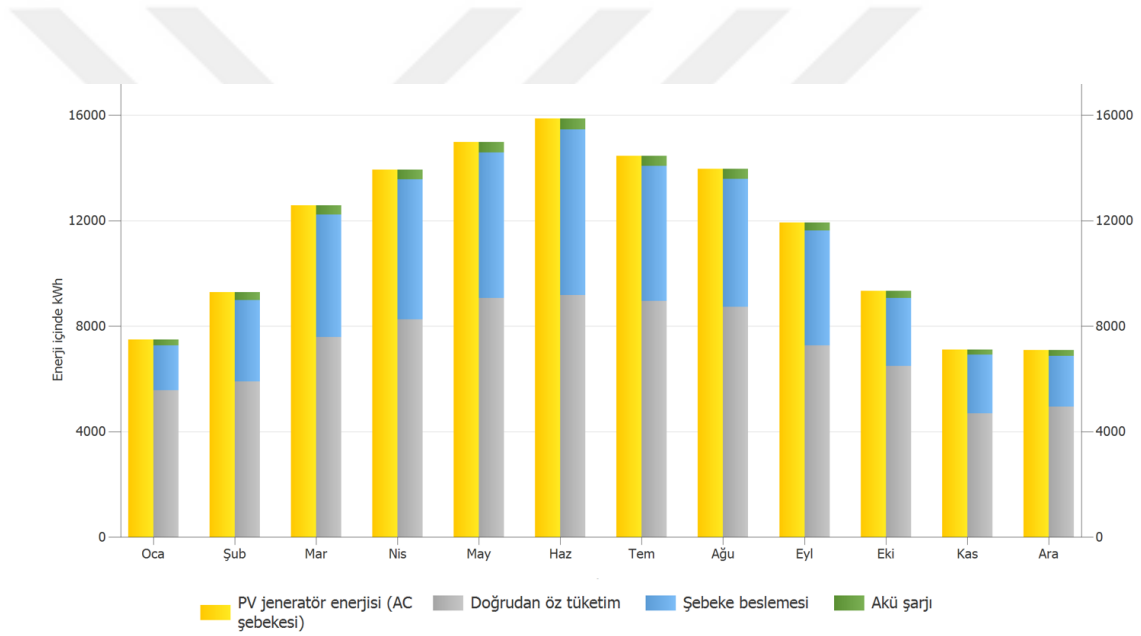
$$\text{Sistem verimliliği} = \frac{EPV_{use}}{E_{in}} \quad (4.11)$$

Tablo 4.6.'da kurulan fotavoltaik sistemin özet tablosu yer almaktadır. Burada PV sistemi yıllık enerji kazancı 1.137,06 kWh ve sistemin kullanım oranı 90.5%'dir. Fosil yakıt kullanımının yarattığı en büyük zararlardan biri CO₂ gibi sera gazı salınımıdır. Sistemi kurulumu ile önlenebilecek CO₂ emisyonu miktarı yılda 65.105 kg olacağı hesaplanmıştır. Ayrıca Mühendislik Fakültesinin 263.482 kWh'lik ihtiyacının 94.613 kWh'i PV sistemi ile 168.907 kWh'i şebeke ile karşılandığı ve bu nedenle sistemin otarşı derecesi(kendi kendine yetme derecesi) 35.9% olduğu hesaplanmıştır. Sisteme kurulan akü grubunun ömrü 15 yıl ve gözükmemektedir.

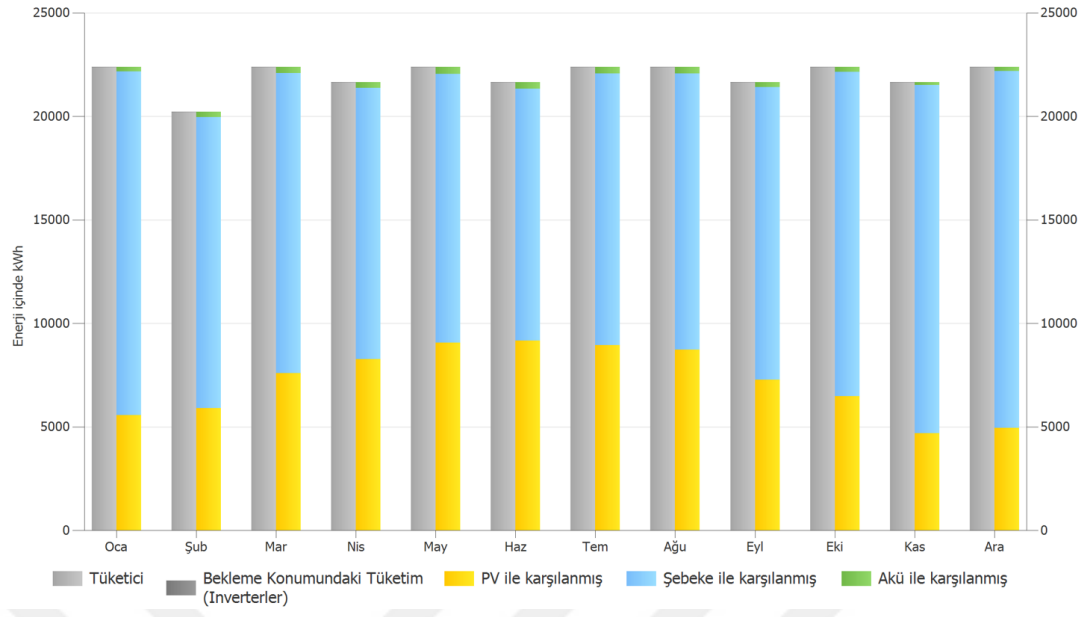
Tablo 4.6. Tüm sistem sonuçları

PV Sistemi	
PV Jeneratör Çıkışı	123 kWp
Yıllık Özgül Kazanç	1.137,26 kWh/kWp
Sistem Kullanım Oranı	90,5%
Gölgelemeden dolayı oluşan kazanç kaybı	0,0 % /Yıl
PV jeneratör enerjisi (AC şebekesi)	139.8280kWh/Yıl
Önlenen CO ₂ emisyonu	65.105 kg/yıl
Tüketici	
Tüketici	263.482 kWh/Yıl
Bekleme Konumundaki Tüketim (İnverterler)	38 kWh/Yıl
Toplam Tüketim	263.520 kWh/Yıl
Akü Sistemi	
Başlangıç Şarjı	30 kWh
Akü şarjı	9.324 kWh/Yıl
Tüketimi karşılamak için gerekli akü enerjisi	8.046 kWh/Yıl
Şarj/ Deşarj nedeniyle kayıplar	563 kWh/Yıl
Akü kayıpları	744 kWh/Yıl
Yük döngüsü	6,5 %
Ömür	15 Yıl
Otarşı Dercesi	
Toplam tüketim	263.520 kWh/Yıl
Şebeke ile karşılanmış tüketim	168.907 kWh/Yıl
Otarşı derecesi	35,9 %

Şekil 4.15’de PV sisteminin aylara göre enerji üretim tablosunda sarı renkli çubuklar PV jeneratör enerjisi miktarını, gri çubuklar doğrudan öz tüketim miktarını, mavi çubuklar şebeke besleme miktarını ve yeşil çubuklar akü şarjını ifade etmektedir. Bu grafiğe göre PV sisteminin ürettiği enerji miktarının hemen hemen tamamı kullanılmıştır. En çok enerji üretimi yaz aylarında olup en yüksek değer mayıs ayında ve en düşük değer ise kasım ve aralık aylarında gerçekleşmiştir. Şekil 4.16’da sistemin aylara göre tüketimi karşılama grafiğinde gri çubuklar bekleme konumundaki tüketim miktarını, sarı çubuklar PV ile karşılanmış enerji miktarını, mavi çubuklar şebeke ile karşılanmış enerji ve yeşil çubuklar akü ile karşılanmış enerji miktarını ifade etmektedir.



Şekil 4.15 Fotovoltaik sistemin kullanımı



Şekil 4.16. Sistemin aylara göre tüketimi karşılanma grafiği

4.2.5. Finansal analiz

PVSol programı ile ekonomik verimlilik hesaplaması, aşağıdaki denklemler kullanılarak sermaye değeri yöntemine dayanarak hesaplanmaktadır.

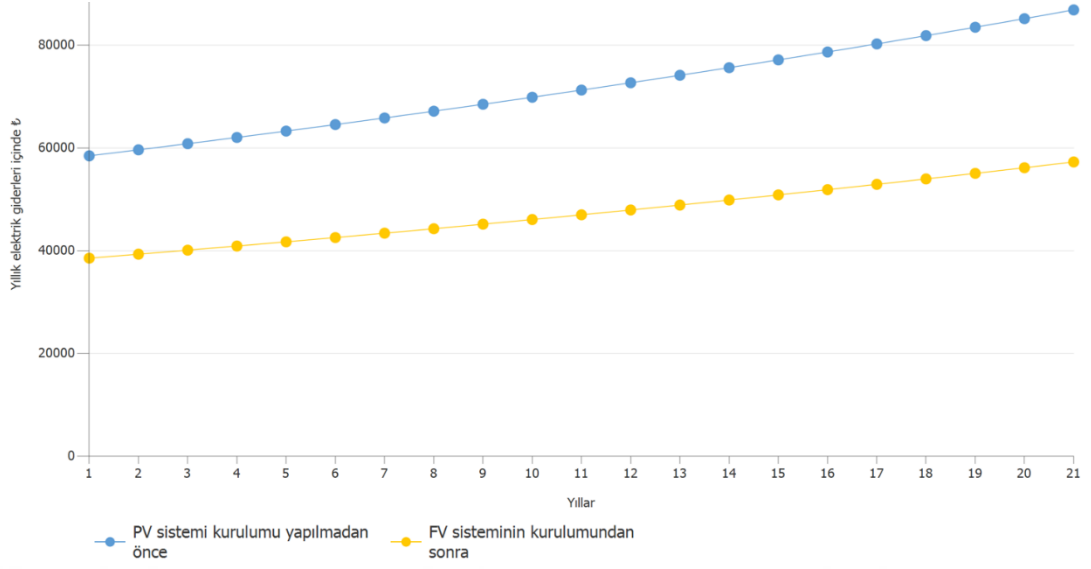
$$CV=Z \times b(T,q,r) \quad (4.12)$$

CV = nakit değeri, Z = ödemeler dizisi ve b = net değer faktörü

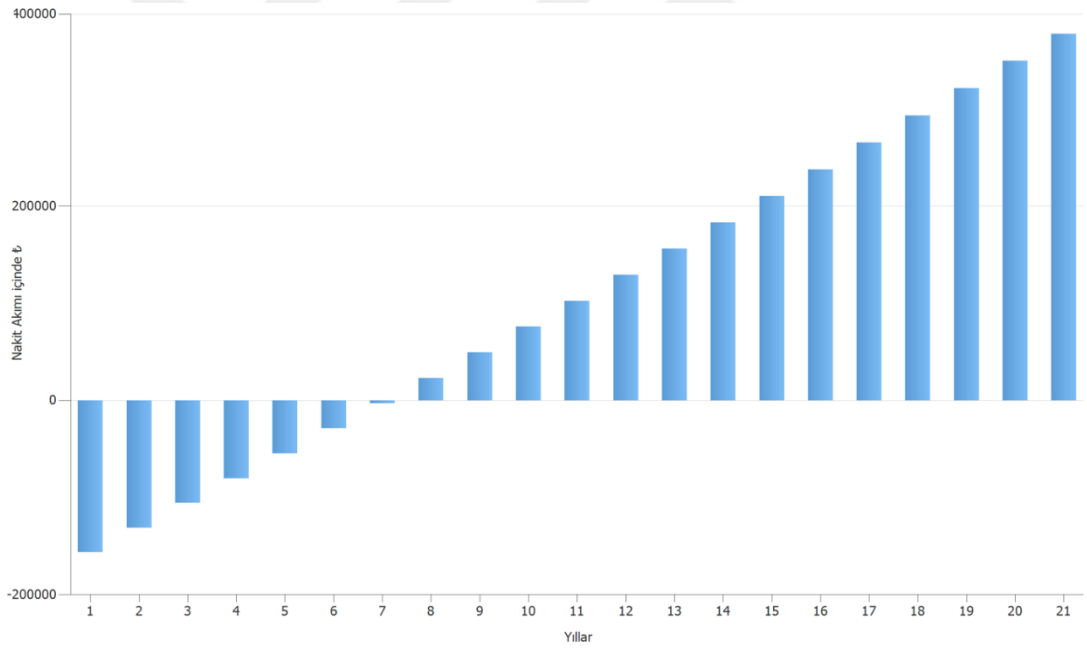
Net değer faktörü aşağıdaki denklem 4.13 yardımıyla bulunur.

$$b(T,q,r)=\begin{cases} \frac{1-(r/q)^T}{q-r} & r \neq q \\ \frac{T}{q} & r=q \end{cases} \quad (4.13)$$

Şekil 4.17’de fotovoltaik sistem kurulmadan önce ve fotovoltaik sistem kurulduktan sonraki elektrik faturalarındaki değişimi göstermektedir. Bu tabloda mavi değerler PV sistemi kurlumu yapılmadan önce, sarı değerler ise PV sistemi kurulduktan sonraki elektrik faturasındaki değerleri göstermektedir. Analiz sonuçlarına göre PV sitemin nakit akış grafiği Şekil 4.18’de verilmiştir. Proje ömrü 21 yıl olarak öngörülen sistem, ilk 7 yıldan sonra artı değere geçmektedir.



Şekil 4.17. Elektrik maliyet eğimi



Şekil 4.18. Nakit akış grafiği.

Güneş enerji sistemleri ekonomik açıda oldukça maliyetli olmasına karşın uzun ömürlü olmaları dolayısıyla kullanım süreleri boyunca ilk yatırım bedellerini ilk birkaç senede karşılayabilmektedirler. Simülasyonu yapılan Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fotovoltaik sisteminin ömrü 21 yıl olarak öngörülmüş olup ilk 7. seneden sonra periyodik yapılması gereken bakım maliyetleri dışında ekstra bir gideri olmayacaktır ve lisansız elektrik üretim yasasına göre; üretilen her kilowatt başına güneş enerjisi için teşvik bedeli alınmaktadır. Tablo 4.7.'de görülebileceği gibi, bu proje kapsamında ilk yatırım maliyeti 180.504,00 TL olarak hesaplanmış olup teşvik bedeli olarak 5.095,23 TL olacağı öngörülmüştür.



Tablo 4.7. Nakit akış çizelgesi

Yıl	Yatırımlar (₺)	Tesvik Miktarı(₺)	Elektrik Tasarufu(₺)	Yıllık Nakit Akışı(₺)	Birikmiş Nakit Akışı(₺)
1	-180.504,00	5.095,23	19.184,58	-156.224,19	-156.224,19
2	0,00	5.260,05	19.910,68	25.170,73	-131.053,46
3	0,00	5.207,97	20.107,82	25.315,79	-105.737,67
4	0,00	5.156,41	20.306,91	25.463,31	-80.274,35
5	0,00	5.105,35	20.507,96	25.613,32	-54.661,04
6	0,00	5.054,80	20.717,02	25.765,82	-28.895,21
7	0,00	5.004,76	20.916,07	25.920,82	-2.974,39
8	0,00	4.955,20	21.123,17	26.078,38	23.103,98
9	0,00	4.906,14	21.332,30	26.238,44	49.342,42
10	0,00	4.857,57	21.543,52	26.401,09	75.743,52
11	0,00	4.809,47	21.756,81	26.566,28	102.309,80
12	0,00	4.761,85	21.972,23	26.734,08	129.073,88
13	0,00	4.714,71	22.189,78	26.904,49	155.948,37
14	0,00	4.668,03	22.409,49	27.077,51	183.025,88
15	0,00	4.621,81	22.631,36	27.253,17	210.279,05
16	0,00	4.576,05	22.855,42	27.431,47	237.710,62
17	0,00	4.530,74	23.081,72	27.612,47	265.322,99
18	0,00	4.485,88	23.310,24	27.796,13	293.119,11
19	0,00	4.441,47	23.541,04	27.982,51	321.101,61
20	0,00	4.397,49	23.774,12	28.171,62	349.278,24

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışması için geliştirilen fotovoltaiik sistem tasarımında PVSol programı kullanılarak kurulması tasarlanan sistemin konumu için güneş radyasyonu verileri değerlendirilmiştir, binaların çatılarının değerlendirilmesi ile 25°'lik açı ile güneye bakan uygun çatı seçilmiştir, fotovoltaiik sisteminin bileşenleri seçilmiş ve son olarak şebekeye bağlı PV sistemi tasarlanarak finansal analizleri yapılmıştır.

Fotovoltaiik sistem için gerekli olan panel sayısı denklem 4.1 kullanılarak hesaplanıp tahmini panel sayısı belirlenmiştir. Daha sonra PVSol programı kullanılarak Mühendislik binası çatısında 3 boyutlu olarak yerleşim planlaması yapılmış ve fotovoltaiik sistemin simülasyonu için gerekli olan ve sisteme uyumlu fotovoltaiik modül, inverter, akü gibi ekipmanlar belirlenerek proje tasarımı yapılmıştır. PVSol simülasyon programı yardımıyla maliyet hesaplamaları, finansal analizleri ve sistemin kendini amorti etmesi gibi farklı parametreler belirlenip tasarlanan sistemin ve teknik ve ekonomik açısından uygunluğu incelenmiştir.

Güneş enerji sistemleri ekonomik açıdan oldukça maliyetli olmasına karşın uzun ömürlü olmaları dolayısıyla kullanım süreleri boyunca ilk yatırım bedellerini ilk birkaç senede karşılayabilmektedirler. Simülasyonu yapılan Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fotovoltaiik sisteminin ömrü 21 yıl olarak öngörülmüş olup sistem kendini 7. senede amorti edecektir. Sistemin ilk 7. seneden sonra periyodik yapılması gereken bakım maliyetleri dışında ekstra bir gideri olmayacaktır ve lisansız elektrik üretim yasasına göre; üretilen her kw başına güneş enerjisi için teşvik bedeli alınmaktadır. Bu tasarım kapsamında ilk yatırım maliyeti 180.504,00 TL olarak hesaplanmış olup teşvik bedeli olarak 5.095,23 TL olacağı öngörülmüştür.

Simülasyon sonuçlarının analizleri, proje uygulandığında Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin yıllık elektrik tüketiminin yaklaşık % 52'si olan yaklaşık 138.054 MWh elektrik sağlayacağını göstermektedir. Kurulması tasarlanan sistem aynı miktarda elektrik üreten ham petrolle çalışan bir termik santral tarafından salınan yaklaşık 64.588 kg CO₂ tasarrufu sağlama şansına da sahiptir.

Türkiye’de hâkim olan tarife koşullarında, bu proje, garantili tarife programı veya hibe/sermaye sübvansiyonları gibi diğer teşviklerin uygulanması dışında finansal olarak uygun olmadığı düşünülebilir. Bununla birlikte, sera gazı emisyonlarının azaltılması gibi diğer finansal olmayan faydaları da vardır.

Bu tez kapsamında Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesine kurulmasını planlanan güneş enerjisi sistemi, fakültenin çatısı üzerinde 600,1 m² alana 327 W’lık 368 adet fotovoltaik modül, 4 inverter ve 1 akü sistemi ile 120,34 kW’lık enerji çıkışı sağlamıştır. Ve bu çalışmadan, güneş enerji sisteminin uygulanabilirliğini haklı çıkaran aşağıdaki sonuçları çıkarabiliriz:

- Bu sistem, yılda 138.054 kWh enerji birimi üretir.
- Sermaye yatırımının getiri oranı yıllık % 14,30’dur.
- Bu sistemin geri ödeme süresi yaklaşık 7,1 yıldır.
- Sistemin ortalama performans oranı % 91,3 olup spesifik yıllık verim 1147,24 kWh’dır.
- Konvansiyonel güç kullanılması durumunda yıllık CO₂ emisyonu 64.588 kg’dır.
- Bu çalışma, Giresun Üniversitesi Çatısının güneye bakan kısmına uygulanmış olup, istenirse proje kapsamı genişletilerek daha fazla enerji üretimi sağlanması mümkün olabilir.

KAYNAKLAR

- [1] www.enerji.gov.tr/gunes-bilgimerkezi, Erişim tarihi 17.03.2021
- [2] [www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/gunes-pilleri - nasıl - çalışır / 10272](http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/gunes-pilleri-nasil-calisir/10272)., Erişim tarihi 17.03.2021
- [3] [www.cleanenergyreviews. info / blog / solar - panel - components - construction](http://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction)., Erişim tarihi 17.03.2021
- [4] [www.solaredition.com/n- type-vs-p-type- semiconductor - structure-in-solar-cells](http://www.solaredition.com/n-type-vs-p-type-semiconductor-structure-in-solar-cells)., Erişim tarihi 17.03.2021
- [5] [www.medium.com/@sales_82247/ the - lifespan - of - solar - panels - bd578619ecf6](http://www.medium.com/@sales_82247/the-lifespan-of-solar-panels-bd578619ecf6)., Erişim tarihi 17.03.2021
- [6] www.imagesco.com/articles/photovoltaic/photovoltaic-pg4.html., Erişim tarihi 16.03.2021
- [7] [www.renewableenergyhub.co.uk/main /solar - panels / types - of - solar - cell](http://www.renewableenergyhub.co.uk/main/solar-panels/types-of-solar-cell)., Erişim tarihi 17.03.2021
- [8] [www.solarreviews.com/blog / pros - and - cons - of - monocrystalline - vs - polycrystalline - solar-panel](http://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panel)., Erişim tarihi 17.03.2021
- [9] [www.sunfueltechnology.com/type-of-pv - module- system](http://www.sunfueltechnology.com/type-of-pv-module-system)., Erişim tarihi 16.11.2020
- [10] [www.greencoast.org/on-grid - vs - off - grid-solar-systems](http://www.greencoast.org/on-grid-vs-off-grid-solar-systems)., Erişim tarihi 16.11.2020
- [11] Agarwal R.K & Garg H. Study of a photovoltaic-thermal system thermosyphonic solar water heater combined with solar cells. Energy Convers Manage, 35(7), 605-620,1994
- [12] Foster, R., Ghassemi, M., and Cota, A., Solar Energy. Renewable Energy and the Environment, 1. Baskı, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 261-270, 2009.
- [13] Kalogirou, S.A. Solar Energy Engineering. Processes and Systems, Elsevier 2009
- [14] Mertens, K., Photovoltaics: Fundamentals, Technology and Practice, 1. Baskı, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, 190-194, 2014

- [15] [www.mgm.gov.tr / kurumici / turkiye - guneslenme - suresi . aspx .](http://www.mgm.gov.tr/kurumici/turkiye-guneslenme-suresi.aspx), Erişim tarihi 16.11. 2020
- [16] [www.gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/ pages / 28 . aspx](http://www.gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/28.aspx), Erişim tarihi 16.11.2020
- [17] www.valentin-software.com/en/products/pvsolpremium, Erişim tarihi 16.11.2020



ÖZGEÇMİŞ

Sevgi Altınkök, İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 1997 yılında başladığı Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fizik (İngilizce) Bölümü'nü 2002 yılında bitirdi. 2003 yılında Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik anabilim dalında başladığı yüksek lisans eğitimini Kuantum Noktalarında Eksiton ve Polaronlar konulu tezini vererek 2005 yılında bitirdi. 2018 yılında girdiği Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji sistemleri anabilim dalında ikinci yüksek lisansına devam etmektedir.