



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

**MİNİMUM TASARIM VE İŞLETME MALİYETLİ FOTOVOLTAİK
SİSTEMİN ÇATI ÜSTÜ UYGULAMASI: DENİZLİ TEKNOBİL
LİSESİ ÖRNEĞİ**

NAİM YÜCEL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. NEDİM TUTKUN**

DÜZCE, 2018

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİNİMUM TASARIM VE İŞLETME MALİYETLİ FOTOVOLTAİK
SİSTEMİN ÇATI ÜSTÜ UYGULAMASI: DENİZLİ TEKNOBİL
LİSESİ ÖRNEĞİ

Naim YÜCEL tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Nedim TUTKUN

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Nedim TUTKUN

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Numan ÇELEBİ

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet UÇAR

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 14/09/2018

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

14 Eylül 2018

Naim YÜCEL

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde, yer aldığım projelerde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Nedim TUTKUN 'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Bu tez çalışmamda bana verdikleri desteklerden ötürü sevgili eşim Suzan YÜCEL'e, biricik kardeşim İlhan YÜCEL ve eşi Burcu YÜCEL'e, annem Emir YÜCEL'e, babam Mustafa Barış YÜCEL'e ve ayrıca ailemizin bugünün küçükleri olan oğlum Yunus Emre YÜCEL, kızım Nida Berra YÜCEL, yeğenlerim Alptuğ YÜCEL ve İrem YÜCEL'e teşekkür ederim.

Eylül 2018

Naim Yücel

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR.....	x
SİMGELER	xi
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	1
1.2. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ.....	6
1.2.1. Fotovoltaik Hücreler	10
1.2.2. Fotovoltaik Hücrenin Çalışma Prensibi.....	14
1.2.3. Fotovoltaik Hücrenin Elektriksel Devre Modeli	17
1.3. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE FOTOVOLTAİK SİSTEMLER.....	19
1.3.1. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri.....	22
1.3.1.1. Fotovoltaik Panel.....	22
1.3.1.2. Evirici.....	23
1.3.1.3. Depolama	24
1.3.2. Dünyadaki ve Türkiye'deki Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	24
1.3.2.1. Türkiye'nin Kurulu Gücünde Güneş enerjisi Potansiyeli.....	29
1.4. HOMER İLE SİSTEM TASARIMI	30
1.4.1. Simülasyon	32
1.4.2. Optimizasyon	34
1.4.3. Hassaslık Analizi	34
1.4.4. Ekonomik Modelleme	34
2. GENEL KISIMLAR.....	36
2.1. MATERYAL VE YÖNTEM.....	36
2.2. ÖZGÜN DEĞER.....	36
2.3. KAPSAM.....	37
2.4. YÖNTEM	38
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	41
3.1. TÜKETİM.....	41
3.2. GÖZLEM VE TAHMİNLERLE YÜK DAĞILIMINA GÖRE FOTOVOLTAİK SİSTEMİ TASARIMI	51
3.2.1. Tüketim Değerlerine Göre Fotovoltaik Sistemin Tasarımı.....	51
3.2.2. Fotovoltaik Sistemin Gücüne Göre Tahmini Üretim.....	52

3.2.2.1. Fotovoltaik Sistemin Tahmini Üretim Grafiği	53
3.2.3. Üretim - Tüketim Ve Fark Değerleri	54
3.3. TÜKETİM DEĞERLERİNE GÖRE HOMER İLE SİSTEM TASARIMI ..	57
3.4. MALİYET YAKLAŞIMI	58
3.4.1. Yaklaşık Kurulum Maliyeti	58
3.4.2. Maliyet Analizi	59
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	61
5. KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	67



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Dünya'nın Güneş etrafındaki hareketi ve yılın farklı anlardaki Deklinasyon Açıları [40].	9
Şekil 1.2. Deklinasyon Açısı.	10
Şekil 1.3. FV hücresinin genel yapısı [41].	11
Şekil 1.4. FV hücre, modül ve panel gösterimleri [41].	12
Şekil 1.5. p-n Jonksiyon [43].	14
Şekil 1.6. Yarıiletken malzemenin yapısı [42].	14
Şekil 1.7. FV etkisiyle elektrik akımı oluşumu [41].	15
Şekil 1.8. İleri yönde kutuplanma [44].	16
Şekil 1.9. Bir fotovoltaiik hücrenin I-V ve P-V değişimleri.	16
Şekil 1.10. Sıcaklığın ve gün ışığı şiddeti değişiminin Akım - Gerilim üzerindeki etkisi.	17
Şekil 1.11. FV hücrenin tek diyotlu elektriksel eşdeğer devresi.	18
Şekil 1.12. Şebekeden bağımsız FV sistem [45].	20
Şekil 1.13. Şebeke bağlantılı FV Sistem [46].	22
Şekil 1.14. Fotovoltaiik panel yapısı [47].	22
Şekil 1.15. Fotovoltaiik panelin ürettiği DC akımı AC akıma çeviren evirici.	23
Şekil 1.16. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA) [48].	26
Şekil 1.17. Türkiye global radyasyon değerleri (KWh/m ² -gün) [48].	27
Şekil 1.18. Türkiye güneşlenme süreleri (Saat) [48].	28
Şekil 1.19. Türkiye FV tipi-alan-üretilebilecek Enerji (KWh-Yıl) [48].	28
Şekil 1.20. Avrupa küresel yatay ışınlım haritası [49].	29
Şekil 1.21. Simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi arasındaki ilişki.	31
Şekil 1.22. Mikro enerji sistem çeşitleri: a) Bir AC elektrik yükünü besleyen dizel sistem. b) Bir DC yükünü besleyen FV-batarya sistemi. c) Batarya destekli ve AC/DC dönüştürücülü hibrit hidro-rüzgâr-dizel sistemi. d) Elektrik ve termal yükleri besleyen, rüzgâr türbinin ürettiği fazla enerjiyi rezistanslı ısıtıcıya aktaran rüzgâr-dizel sistemi. e) Şebeke bağlantılı FV sistem f) Şebeke bağlantılı kombine mikro türbin ısı-güç sistemi.	32
Şekil 2.1. Denizli global ışınlım değerleri [39].	37
Şekil 2.2. Denizli İli radyasyon haritası [39].	37
Şekil 3.1. Teknobil Koleji krokisi.	41
Şekil 3.2. Yerleşke fotoğrafı.	42
Şekil 3.3. Mahallere ait tüketimler.	46
Şekil 3.4. Toplam tüketimler.	47
Şekil 3.5. Aylık bazda günlük ortalama tüketim.	47
Şekil 3.6. 1.yıla ait aylık ortalama tüketim.	48
Şekil 3.7. 5 Yıllık ortalama aylık tüketim.	48
Şekil 3.8. 10 yıllık aylık ortalama tüketim.	49
Şekil 3.9. 5 Yıllık toplam tüketim.	50
Şekil 3.10. 10 yıllık toplam tüketim.	50
Şekil 3.11. Saat 10.00'daki yük dağılımı.	51

Şekil 3.12. FV sistemin tahmini üreteceği aylık bazda yıllık enerji.	54
Şekil 3.13. 1. Yıl üretim –tüketim ve fark enerjileri.	55
Şekil 3.14. 2. yıl üretim tüketim ve fark değerleri.	55
Şekil 3.15. 3. yıl üretim tüketim ve fark değerleri.	56
Şekil 3.16. 4. yıl üretim, tüketim ve fark değerleri.	56
Şekil 3.17. Yük penceresi.	57
Şekil 3.18. Sonuç ekranı.	58



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1.1. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sınıflandırılması.....	7
Çizelge 1.2. FV Sistemin avantaj ve dezavantajları	11
Çizelge 1.3. Türkiye güneş ışıınımı ve güneşlenme süreleri	26
Çizelge 1.4 Türkiye’de kaynaklara göre kurulu güç-TEİAŞ 28 Şubat 2018 [51].	29
Çizelge 3.1. Okul tüketimi güç dağılımı.....	42
Çizelge 3.2. Yüklerin çalışma süreleri ve yük dağılımı.....	43
Çizelge 3.3 Aylara göre noktasal FV sistem üretim değerleri.....	52
Çizelge 3.4. Aylara göre çatı alanı FV sistem net üretim miktarı	52
Çizelge 3.5. FV sisteme ait aylık üretim miktarları.....	53
Çizelge 3.6. Yaklaşık kurulum maliyeti analizi.....	59
Çizelge 3.7. Yıllara göre maliyet analizi –net Kar	60

KISALTMALAR

AA	Alternatif Akım
DA	Doğru Akım
GES	Güneş Enerji Santrali
MW	Megawatt
FV	Fotovoltaik
PV	Photovoltaic



SİMGELER

A	Amper
I	Akım
I_d	Diyot Akımı
I_0	Ters Saturasyon Akımı
I_{mpp}	Maksimum Güç Akımı
I_{ph}	FV Akım
I_{sc}	Kısa Devre Akımı
k	Boltzmann Sabiti
kg/m^3	Kilogram/Metreküp
K_i	I_{sc} Sıcaklık Katsayısı
K_p	P_m Sıcaklık Katsayısı
K_v	V_{oc} Sıcaklık Katsayısı
kW	Kilo Watt
kWh	Kilo Watt Saat
m	Metre
m^2	Metrekare
N	Fv Panel Sayısı
δ	Deklinasyon Açısı
N_{FV}	Fv Panel Sayısı
N_p	Fv Panel Sayısı
ns	Hücreler
P	Güç (Elektrik Akımı İçin)
P_c	Şarj Gücü
P_m	Maksimum Güç
P_s	Fv Panel Gücü
P_u	Oluşan Fazla Güç
T	Sıcaklık
V	Volt
V_D	Diyot Gerilimi
V_{oc}	Kısa Devre Gerilimi
V_{mpp}	Maksimum Güç Gerilimi
V_t	Termal Gerilim
V_{oc}	Açık Devre Gerilimi
W	Watt
W_o	Aküde Başlangıçta Mevcut Bulunan Enerji
W/m^2	Watt/Metrekare
W_{mak}	Maksimum Enerji
W_{min}	Minimum Enerji
W_p	Fv Panel Enerjisi
Z	Yükseklik
₺	Türk Lirası
\$	Dolar
%	Yüzde

η_B	Lead-Asit Akü Grubunun Şarj Etkinliği
η_I	Evirici Etkinlik Değeri
$\Delta P(k)$	K. Saatlik Zaman Diliminde Toplam Güç
α	Diyot Ideal Faktörü
$^{\circ}C$	Santigrat Derece
ρ	Hava Kütle Yoğunluğu
φ	Enlem Açısı
ω	Saat Açısı
ψ	Zenit Açısı



ÖZET

MİNİMUM TASARIM VE İŞLETME MALİYETLİ FOTOVOLTAİK SİSTEMİN ÇATI ÜSTÜ UYGULAMASI: DENİZLİ TEKNOBİL LİSESİ ÖRNEĞİ

Naim YÜCEL

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Nedim Tutkun

Eylül 2018, 66 sayfa

Günümüzde rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları enerjide arz talep dengesi için yeni bir kaynak olarak artan bir hızla kullanılmaya başlanmıştır. Ülkemizde rüzgar ve fotovoltaik (FV) sistemler ile enerji üretimi son yıllarda çok hızlı artışlar göstermektedir. Yapılan mevzuat değişiklikleri ile özellikle FV sistemler ile şebekeye bağlı binalarda tüketilen enerjinin bir kısmının karşılanmasının önü açılmıştır. 20-25 yıllık ömrü olması beklenen bir FV sistemin kurulumu ve minimum maliyetle işletilmesi en uygun tasarımı gerektirir. Bu tez çalışmasında Özel Bilim Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinin (TEKNOBİL) şebekeden aldığı enerjinin bir kısmını hem ekonomik hem de teknik olarak optimal tasarım içeren çatı tipi FV sistem ile karşılanmasını içermektedir. Söz konusu tasarımda mevcut lokasyondaki güneşlenme potansiyeli dikkate alınarak her gün saatlik olarak yük bazlı tüketimlerin optimal dağılımı bir gün sonraki tahmin değerlerine bağlı olarak yapılmıştır. Yıllık bazda okula ait saatlik ortalama yük profilleri 24×365 adet olarak belirlenmiş ve her bir saatlik dilimde arz talep dengesi sağlanmaya çalışılmıştır. Söz konusu okula ait yük dağılımları gün içerisindeki dağılımı saatlik olarak gözlem ve tahmine göre oluşturulmuş, saatlik değişime göre elde sonuçlar grafik olarak incelenmiştir. Ticari bir yazılım olan HOMER programı ile talep edilen parametreler girilerek gerekli sonuçlar üretilmiş ve elde edilen sonuçlar teyit edilmiştir. Ayrıca sistemin ekonomik değerlendirmesini yapmak için sistem maliyeti ve elektrik enerjisi tüketim maliyeti analizi gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışmasında TEKNOBİL 'e ait 1,5 ve 10 yıllık tüketim değerleriyle tasarlanan FV sistemden üretilmesi planlanan aynı sürelerdeki üretim değerleri kıyaslanıp gerekli analizler yapılmıştır.

Anahtar sözcükler: Optimal güç planlaması, Fotovoltaik sistem tasarımı, Minimum işletme maliyeti, HOMER.

ABSTRACT

ROOFTOP APPLICATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEM WITH LOW COST DESIGN AND OPERATION: CASE OF DENİZLİ TEKNOBİL HIGH SCHOOL

Naim YÜCEL

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical Electronics Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Nedim Tutkun

September 2018, 66 pages

Today, renewable energy sources such as wind and solar energy have been used increasingly as a new resource for energy supply and demand balance. In our country, energy production with wind and photovoltaic (PV) systems have increased very rapidly in recent years. Together with changes in the related legislation, for buildings connected to the grid, the way of producing some of own energy consumption via PV systems become available. Expecting 20-25 years use of life of PV system's installation and operating with minimum cost requires most appropriate design. In this thesis, some consumption of the electricity of Private Science Vocational and Technical Anatolian High School (TEKNOBİL), received from national network, is aimed to replace with electricity produced via rooftop PV system which is both economically and technically optimal designed. In the above mentioned design, considering the solar energy potential of the current location, per day and for every hour the optimal distribution of load-based consumption determined according to estimated values of one day later. For annual basis the school's average load profiles determined as 24x365 units and supply and demand balance is tried to be provided for every hour. The distribution of load distributions in the day was calculated according to observation and prediction on the hourly basis and the results obtained by hourly variation were analyzed graphically. With HOMER program which is a commercial software, required parameters are entered and necessary results are produced and the results obtained are confirmed. In addition, to make economic evaluation of the system, system cost and electricity energy consumption cost analyzes have been carried out. In this thesis study, the comparison of 1,5 and 10 years of TEKNOBİL's electricity consumption values with the values which is planned to be produced via the designed PV system in the same time terms has made and necessary analyzes were done.

Keywords: Optimal power planning, Photovoltaic system design, Minimum operating, HOMER.

1. GİRİŞ

1.1. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Bu çalışma Motahhir ve arkadaşları, Fotovoltaik Sistem (FV) sistemin modellenmesi ile ilgili yaptığı bir çalışmadır. Bu modeli kullanarak, değişen güneşin etkileri radyasyon, sıcaklık, seri ve şönt dirençler ve FV panelinin çıkışında kısmi gölgelenme ile gösterilmiştir. Buna ek olarak bu çalışmada, FV panel modeli büyük bir fotovoltaik diziyi yapılandırmak için kullanıldığı görülmektedir [1]. Castro ve arkadaşları bir binanın yük performansını, kendine entegre fotovoltaik sistemi ile birlikte Matlab/simulink kullanarak değerlendirilmesini yapmıştır. Binaya kurulu 6kWp'lık sistemin performansı hakkında Matlab/simulink aracılığıyla model oluşturup değerlendirmişlerdir [2]. Bu çalışmada Alcan ve arkadaşları Sinop ili, Türkiye ve Almanya arasındaki güneşlenme süreleri ve şiddeti açısından bir değerlendirme yaparak şöyle çarpıcı bir sonucu ortaya koymuştur. Almanya'nın Bayern Eyaleti Türkiye'nin en düşük güneşlenme süresi ve şiddetine sahip Karadeniz bölgesinden daha düşük seviyelerde olmasına karşın en yoğun güneş paneli uygulaması yapılan yeri olduğu tespiti ortaya koymuşlardır [3]. Beşer, maksimum güç izleyici güneş hücrelerinin çıkış karakteristiğini verebilen yardımcı bir ekipman ihtiyacını karşılayabilmek adına bu simülatör çalışmasını yapmıştır. Çok seviyeli bir yapı olan bu simülatör; FV simülatör konusunda literatürü yeni bir yaklaşım kazandırmıştır. Yüksek gerilimli uygulamalarda kullanılabilen bir yapı olduğu için şebeke senkronizasyonlu FV panel çalışmalarında tercih edilebilecek bir sistemdir [4].

O.Gülkokan bu tez çalışmasında güneş ve rüzgar olmak üzere, yenilenebilir enerjili sistemler tanıtılmış ve HOMER PRO programıyla yapılan optimizasyonlarda, Berlin ve Muğla olmak üzere farklı iki coğrafya üzerinde bulunan müstakil konutların elektrik enerjisinin karşılanmasında tasarlanan hibrit enerji sistemlerinin uygulanabilir ve yeterli olduğu göstermiştir [5]. Engin Özdemir bu çalışmasında kesintili güç arzı sağlayan yenilenebilir enerji kaynaklarına esneklik ve dengeleme sunması bakımından elektrik şebekesini desteklemek amacıyla enerji depolama sistemi ile ilgili deneysel sonuçlara yer vermiştir. Tasarladığı hibrit depolama sistemi akü ve ultra kapasitörden

oluşmaktadır. Bu çalışmada Özdemir enerji depolama teknolojisinin akıllı şebekelerin başarılı bir şekilde işletilmesi için anahtar bir bileşen olduğunu ortaya koymaktadır [6]. Dumitru ve arkadaşlar bu çalışmada Romanya kırsalında bir bölgenin fotovoltaik bir park ile elektrik enerjisinin karşılanması durumunu incelemiştir. Bu çalışmada Dumitru ve arkadaşları tüketim talebi, tedarik maliyeti ve ilgili topluluğun üzerindeki etkisi açısından bir değerlendirmede bulunmuştur. Bu makale, bir kırsal için sürdürülebilir bir güç kaynağı çözümünün tasarım ve modellemesinin sonuçlarını sunuyor. Ticari olarak da karlılığı ifade etmektedir [7]. Karadöl bu tez çalışmasında kampüs sınırları içerisine yerleştirdiği 260 W x 2 adet güneş paneli ve 500W bir rüzgâr türbini ile 1600W'lık bir inverter ve 100Ah'lık 2 adet batarya ile deneysel sonuçları değerlendirmiştir. Nihai olarak bu sistem ile bir evin ortalama ihtiyacının karşılanabileceği ön görüşüne varmıştır [8]. Güven bu çalışmasında her evin kendi enerjisini üretmesi düşüncesinden yola çıkarak bu tip bir FV-rüzgâr hibrit enerji üretici tasarımı yapmayı düşündüğünü ifade etmektedir. FVsyst programı ile evirici-panel gibi sistemi oluşturan bileşenleri seçerek maliyet analizi yapmıştır [9]. Korkmaz ise bu çalışmasında hibrit enerji üretici (güneş paneli -rüzgar) tasarımını HOMER yazılı aracılığıyla yapmış şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olarak farklı senaryolar dâhilinde sonuçlar elde etmiştir [10]. Çakmak ve arkadaşı bu çalışmada Erzincan'ın güneş potansiyeli ile dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına verdiği destek açısından ilk 3 sırada yer alan Almanya'nın güneş potansiyeli kıyaslanarak Erzincan güneş enerjisi yatırımı için bir farkındalık oluşturmayı hedeflemişlerdir. Neticede yapılan incelemede % 50 oranında daha fazla bir güneş potansiyeli ile Elazığ Almanya'nın çok önünde olmasına karşın yeterli yatırımın yapılmadığı tespiti yapılmıştır [11]. Suda ve arkadaşları bu çalışmada, 100 W ve 2400 W gücündeki panellerle 12 aylık ortalama değerlere göre bir FV panel grubu ile elektrik üretmek için Matlab/Simulink programı ile modelleme yapmışlardır [12]. Can bu tez çalışmasında mikrogrid sistemde sıradan bir tasarımla meydana gelen maliyete karşılık meta-sezgisel yaklaşımla optimal gücü planlayarak daha düşük maliyetlere ulaşmayı hedeflemektedir [13]. Alkan Bu yüksek lisans tezinde, Kocaeli bölgesi için yenilenebilir güneş, rüzgar kaynakları ve yakıt hücresi ile beslenen, enerji depolama için batarya kullanan, gerektiğinde ihtiyaç fazlası enerjiyi şebekeye aktarabilen ve akıllı enerji yönetim sistemine sahip akıllı konut modeli önermiştir. Tüm kaynaklar Doğru Gerilime çevrilerek ortak barada toplanmış ve buradan yüklere dağıtılmış; Kocaeli ili, Umuttepe bölgesi için bir yıllık güneş ve rüzgâr enerjisi üretimi ölçüm değerleri analiz etmiştir. Önerdiği akıllı konut modeli ve yönetim algoritmasını

Matlab/Simulink ortamında çözümlenmiştir [14]. Güven Bu çalışmada, Afyon Oruçoğlu Termal Otel'inin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayacak fotovoltaiik sistem (FVS) tasarlanmasına yönelik, optimizasyonu ve ekonomik analizi yapmıştır. Sistem tasarımını gerçekleştirmek, sisteme ait teknik ve ekonomik parametreleri belirlemek için FVsyst programı kullanarak optimum sistemi aramıştır [15]. Kahraman ve arkadaşları bu bildiride alçak gerilim (AG) dağıtım sisteminde FV üretimini kontrol ve izleme için geliştirilmiş özgün bir haberleşme ve kontrol sistemini anlatmaktadır. İletişim protokolü olarak Iec61850 Ve Modbus Tcp/Ip haberleşme protokolleri kullanılarak yapılmış bu çalışmada uygulanan sistem Suudi Arabistan'da denenmek üzere kurulumu yapıldığı ifade edilmektedir [16]. Başar bu tez kapsamında, bir rüzgar enerjisi projesinin; yenilenebilir enerji yatırımcılarına sağlanan lisans bedeli, arazi kira bedeli indirimi, üretilen elektriğin devlet tarafından sabit fiyatla alımı ve yerli üretim desteği gibi teşvikleri kapsayacak şekilde bir finans modeli oluşturarak; kredi ve özkaynak kullanımı oranlarının değişimine bağlı olarak, yatırımcının projeye yatırım kararı almadan önce değerlendirdiği karar yöntemlerinden; net bugünkü değer, iç karlılık oranı, geri ödeme süresi ve karlılık endeksinin değişimini araştırmıştır. Başar net bugünkü değer yöntemine göre karar alan yatırımcılar için en karlı finans modelinin, projenin tamamıyla özsermaye ile gerçekleştirilmesi olduğunu ortaya koyarken; kredi kullanmayı düşünen yatırımcılar için, proje maliyetinin yüzde otuza kadarlık kısmının kredi ile karşılanmasının projenin ekonomik olmasını sağlayacağı göstermiştir [17]. Özkök 'ün bu yüksek lisans tezinin amacı, evsel elektrik ihtiyacının şebekeye bağlı çatı üstü fotovoltaiik sistemler ile karşılanmasının ekonomik açıdan analiz edilmesidir. Çalışma kapsamında Avrupa ülkeleri arasında ilk dördü temsil eden Almanya, İspanya, Fransa ve İtalya'da fotovoltaiik sistem uygulamaları ve teşvik mekanizmaları irdelemiş; çalışma özelinde 5kW kapasiteli FV sistem yatırımlarına öncelik verilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır [18]. Güven bu tez kapsamında şebekeden bağımsız yenilenebilir enerji sistemleri üzerinde çalışılmış, rüzgâr ve güneş kaynaklarının aynı anda kullanıldığı bir sistemin boyutlandırılması incelemiştir. Kullanıcıların mevcut enerji tüketim alışkanlıkları ölçülerek ve/veya beyanlarına bağlı olarak enerji tüketimleri hesaplanarak yükün modellenmesinin avantajları ve dezavantajları tez kapsamında incelemiştir. Yapılan çalışmadan HOMER ile elde edilen sonuçlara göre, uzun süreli ölçümler yerine evde kullanılan elektrikselsel cihazların tüketim değerleri ölçülüp, kullanıcı beyanları doğrultusunda kullanım alışkanlıklarına göre oluşturulacak yük modelinin hibrit sistem boyutlandırılmasında kullanılabileceği ifade edilmektedir [19]. Ulutaş Bu tez

çalışmasında; rüzgâr ve güneşten elektrik üretebilen hibrit enerji sistemi tasarlanmış ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Hibrit sistemin Matlab/Simulink programında tasarımı gerçekleştirilmiş ve farklı senaryolara göre gerekli analizler gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, Ordu İli, Kabadüz İlçesi, Çambaşı bölgesinde bulunan Ordu Valiliği'ne ait Vali Konağı'nın enerji ihtiyacını karşılayabilecek, FV panelleri ve rüzgâr türbininden oluşan hibrit sistem kurulumu gerçekleştirilmiştir [20]. Köseoğlu bu çalışmada değişken gerilimli giriş kaynağından alınan güç çok seviyeli evirici topolojilerinden “Üç Fazlı Üç Seviyeli Diyot Kenetlemeli Evirici” yapısı kullanılarak şebekeye aktarıldığını söylemektedir. Tek ya da 2 fazın kesilmesi durumunda bile kalan fazı ya da fazları şebekeye aktarabilme durumunu belirtmektedir [21]. Duman ve arkadaşları bu çalışmada güneş pilinin matematiksel modeli kullanılmış ve bu modelin benzetim çalışmaları Matlab/Simulink ortamında yapmışlar, farklı adım katsayılarında algoritmanın performansı incelenmişlerdir. Bu algoritmanın laboratuvar ortamında uygulaması gerçekleştirdiklerini ifade etmektedir [22]. Alkan bu çalışmada Düzce şartlarında bir evin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayacak güce sahip bir FV sistem gerçekleştirmiştir. Uygulamayı şebekeden bağımsız ve güneş takip eden (tracking) sistem olarak gerçeklemiştir. Alkan Düzce de kendi elektrik enerjisini güneş enerjisinden sağlamak isteyenler için bir model olmuştur olacağını ifade etmektedir [23]. Kırıcıoğlu Bu çalışmada, bir fotovoltaiik panel, güç dönüştürücüsü ve yük elemanından oluşan sistemin büyük sinyal analizi gerçekleştirmiştir. FV panelin eşdeğer devresindeki tek diyota ilişkin olarak Newton-Raphson yöntemine karşı düşen Ayrık eşdeğer devre modeli kullanmıştır. Kırıcıoğlu yaptığı çalışmada güneş ışınlamı ve sıcaklık, devredeki bazı parametreleri etkilemekte ve panel karakteristiğini değiştirmekte olduğunu anlamış ve buna göre I-V ve P-V karakteristiklerini elde etmiştir [24]. Şahin ve arkadaşları Bu çalışmada güneş pilinin genel matematiksel modeli elde etmiş ve bu modeli Matlab/Simulink yazılımı ile görsel olarak programlamıştır. Modellenen güneş pili için farklı sayıda seri ve paralel bağlı hücreler, farklı sıcaklık değerleri, farklı güneş soğrulma miktarları, farklı malzeme yapısı ve verime bağlı diğer parametrelere göre Akım-Gerilim (I-V) ve Güç- Gerilim (P-V) karakteristik eğrileri elde etmiş ve elde edilen benzetim sonuçları teorik sonuçlarla karşılaştırmıştır [25]. Rüstemli ve arkadaşları bu çalışmada fotovoltaiik panellerin elektrik enerjisi üretiminde maliyet-etkin yani ekonomik olabilmeleri için fotovoltaiik panel sistemlerine ek olarak çeşitli ek entegre sistemleri fotovoltaiik panellerden elektrik enerjisi kazancının arttırılarak panellerin kendini daha kısa sürede amorti etmeleri

sağlanabilir olduğunu ve böylece maliyeti fazla olan fotovoltaik panellerin daha az maliyete sahip olması gerçekleştirilebilir olduğunu ifade etmektedirler [26]. Bayraktar bu tez çalışmasında yenilenebilir enerji kaynakları olan rüzgar ve güneş enerjisine dayalı çalışan, küçük ölçekli hibrit enerji santralinin denetimini yapmıştır. Bayraktar ayrıca bu amaca yönelik olarak rüzgâr türbini ve güneş panellerine ek olarak veri toplama sisteminden alınan verilerin yanında akım, gerilim ve frekans ölçümleri gerçek zamanlı ölçülerek incelenmiş olduğunu ifade etmektedir [27]. Çağlayan ve arkadaşları bu çalışmada, Antalya ilinde bulunan bir tavuk çiftliğinin enerji ihtiyacı belirlenmiş ve bu çiftlik için (temel ihtiyaçları karşılamak üzere) elektrik şebekesinden bağımsız 2 kW gücünde bir fotovoltaik sistem tasarlamışlardır. Ayrıca yenilenebilir enerji optimizasyon yazılımı (HOMER) ile fotovoltaik sistemin performansı üzerine araştırma yapmış olduklarını ifade etmektedirler [28]. Sekuçoğlu bu çalışmada, fotovoltaik sistem, Rüzgâr Enerji Sistemi (RES) ve Hibrit Sistemlerden (HS) elektrik enerjisi üretimi incelemiş, bunun yanı sıra sistemlerin tasarlanması, karşılaştırılması ve ekonomik analizlerini yapmıştır. Sistem tasarımlarını gerçekleştirmek ve her sisteme ait teknik-ekonomik parametreleri belirlemek için FVsyst ve HOMER programları kullanmıştır. Sekuçoğlu elde edilen sonuçlara göre şebeke bağlantılı sistemlerin Şebeke bağlantısız sistemlere göre daha ekonomik olduğu tespit etmiştir [29]. Kaplan bu çalışmada, fotovoltaik sistemlerle ilgili temel tanımlamaları yapmış olup fotovoltaik hücrenin Matlab ortamında akım-gerilim eğrisini çizdirmiştir. Daha sonra ise “ BP SX 170B FV “ modülünün katalog değerleri kullanılarak modellemesini yapmıştır. Kaplan tespitinde değişen ortam sıcaklıkları ve güneş ışıyım seviyeleri için modülün verebileceği maksimum güç noktasının belirlenmesi gerektiğini ortaya çıkarmıştır [30]. Çekinir bu tezde FV güç sistemlerini oluşturan elemanların matematiksel modelleri elde etmiş ve bilgisayar ortamında hem şebekeye bağlı hem de şebekeden bağımsız bir sistemi temel olarak benzetimi gerçekleştirilmiştir. Çekinir tarafından tüm sistemin modellemesi gerçekleştirilip bilgisayar benzetimi yoluyla FV dizi boyutu, batarya boyutu, modül eğimi ve yükün nasıl olması gerektiği araştırılmış; bilgisayar benzetim yoluyla FV sistemlerin tasarımı, analizi ve optimizasyonunun yapılabileceği gösterilmiştir [31]. Elma Bu çalışmada şebekeden bağımsız olan bir evin elektrik talebinin güneş ve rüzgar enerjisi kullanılarak karşılanması durumunu incelemiştir. Bir evin deneysel olarak elde etmiş elektriksel yük talebi incelendiğinde, evin elektriksel yük talebinin gün boyunca geniş güç aralığında değiştiği ve oldukça dinamik olduğunu saptamıştır. Dakikalık veriler ile saatlik ortalama verilerin % 15’lik bir fark oluşturduğu tespit eden Elma; daha

dinamik (saniyelik) verilerle yapılacak sistem analizlerinden daha doğru sonuçların alınacağını ifade etmektedir [32]. Yıldız bu çalışmada yenilenebilir enerji sistemlerinde kullanılabilecek bir izleme ve gözleme altyapısının oluşturulmasını amaçlamaktadır. Yıldız çalışmanın, Gazi Üniversitesi Temiz Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nin temiz enerji karavanında gerçekleştirilmiş olduğunu ifade etmektedir [33]. Öztürk ve arkadaşı bu çalışmada 2, 10 ve 20 Kva'lık bir fotovoltaik sistem tasarımını yapmış ve bunlar kendi aralarında kıyaslamıştır. Yapılan kıyaslama sonucu düşük güçlü FS kurulumunun maliyet açısından çok faydalı olmadığı; yüksek güçlere gidildikçe yatırım birim maliyetinin düştüğü ifade edilmektedir [34]. İlgin bu çalışmasında, güneş gözlemlerinin yapısından, çalışma prensiplerinden, uygulama örnekleri ile üretilen elektrik enerjisinin simülasyonlar ile analizinden bahsetmiştir. Bunların yanı sıra enerji verimliliğinin artırılması konusunda yapılabilecek uygulamalar ve verimliliği arttırmada etkisi olacak aydınlatma ve otomasyon projelerini incelemiştir. Ayrıca fotovoltaik sistemler açısından Almanya ile Türkiye arasında yapılan kıyaslamayla ülkemizde sistemin verimliliğini artırmaya yönelik neler yapılabileceği ifade edilmiştir [35]. Telli tarafından bu çalışmada hibrit sistemlerde farklı senaryolar için uygun kaynak seçimi, optimum boyutlandırma ve işletme stratejileri incelenmiştir. HOMER yazılımı kullanılarak saatlik veriler üzerinde bir çalışma yapıldığı ifade edilmektedir [36]. Güçlü tarafında Bu tez çalışmasında Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüsünde bulunan tüm dış aydınlatmaların, güneş enerjisi ile elektrik ihtiyacı karşılanırsa, uygulanabilir projesi nasıl olur sorusuna yanıt vermiştir. Yapılan çalışmada sistemin 28 yılda kendini amorti edeceği hesaplanmıştır. 10 yıl sonra panel maliyetinin yarı yarıya düşeceği tahmin edilmekte ve yatırımın 10 yıl sonra yapılması öngörülmektedir [37]. Özakürk tarafından bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr enerjisi ele alınmıştır. Özakürk rüzgâr enerjisi konusu disiplinler arası bir çalışma olduğundan bölümler arası işbirliği kurulmalı, projeler birlikte gerçekleştirilmesi gerektiğini söylemektedir. Uygun bölgelere rüzgâr santralleri kurularak mevcut şebekenin yükünün hafifletilebileceği, dışa bağımlılık azaltılabileceği ve enerji arzı artırılarak ülke ekonomisine katkı sağlanabileceği ifade edilmektedir [38].

1.2. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ

Teknolojinin ilerlemesi, dünya üzerinde artan nüfusla birlikte teknolojiye olan ihtiyacın ve yaşam kalitesinin artması bizleri enerjinin daha fazlasına ihtiyaç duyar duruma

getirmiştir. Özellikle tüketimi karşılamak amaçlı sanayide ve yaşam alanlarımızda artan enerji talebi nedeniyle, belirli bir ömrü olan ve gün geçtikçe miktarı tüketilen fosil kaynakları nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları arayışı ve bunun neticesinde kullanımı giderek artmaya başlamıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları, dünyanın varlığıyla ilintili olarak dünya var oldukça yenilenen, bir başka deyişle kaynağı bitmeyen, çevreye duyarlı enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklar güneş, rüzgâr, hidro, jeotermal, biyokütle, biyogaz, hidrojen, dalga enerjisi gibi enerji kaynaklarıdır.

Kaynağı fosil olan yakıtların kullanımı sonucu ortaya çıkan karbon salınımı ile oluşan hava kirliliği, enerji üretimi için tasarlanan, kurulan ve çalıştırılan nükleer enerji santrallerinde kuvvetle muhtemel olumsuz çevresel etkilerinden dolayı oluşan reaksiyonlar ve dünya üzerinde patlak veren petrol krizi sonucunda bilim çevrelerini yenilenebilir enerji kaynaklarını keşfetme ve irdelene yönünde yoğunlaştırmışlardır. Yenilenebilir enerji kaynakları da enerjinin ana kaynağına göz önünde bulundurularak; güneş kaynaklı, dünya kaynaklı ve ay kaynaklı olarak üç ana başlıkta incelenebilmektedir. Çizelge 1.1'den de görülebileceği üzere güneş, yenilenebilir enerji kaynaklarının arasında hatırı sayılır bir konuma yerleşmiştir.

Çizelge 1.1. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sınıflandırılması.

Yenilenebilir Enerji Kaynakları				
Ana Kaynak	Birincil Enerji Kaynakları	Doğal Enerji Dönüşümü	Teknik Enerji Dönüşümü	Kullanım Enerjisi
Güneş	Su	Buharlaştırma, Yağış	Su Güç Tesisleri (Hidroelektrik Santralleri)	Elektrik Enerjisi
	Rüzgâr	Atmosferdeki Hava Hareketi	Rüzgar Enerjisi Tesisleri	Elektrik ve Mekanik Enerji
	Rüzgâr	Dalga Hareketi	Dalga Enerjisi Tesisleri	Elektrik ve Mekanik Enerji
	Güneş Işınları	Yer ve Atmosferin Isınması	Isı Pompaları	Isı Enerjisi
		Güneş Işınları	Kolektörler	Isı Enerjisi
			SolarHücreler (Güneş Pilleri-Fotovoltaikler)	Elektrik Enerjisi

Çizelge 1.1. (devam). Yenilenebilir enerji kaynaklarının sınıflandırılması.

Güneş	Biyomas	Biyomas Üretimi	Isı Güç Tesisleri	Isı ve Elektrik Enerjisi
			Dönüşüm Tesisleri	Yakıt Enerjisi
Dünya	Yer Merkezi Isısı	Jeotermal Enerji	Jeotermal Tip Güç Tesisleri	Isı ve Elektrik Enerjisi
Ay	Ay Çekimi Gücü	Denizlerde Gel-Git Olayı	Gel-Git Tipi Güç Santralleri	Elektrik Enerjisi

Hidroelektrik dışarıda bırakılırsa yenilenebilir enerji üç ana grupta değerlendirilebilir. Bunlar; güneş, rüzgar, biyokütle, ek olarak dalga enerjisi, jeotermal, gel-git olarak gösterilebilir. Bizim bahsedeceğimiz konu doğal enerji dönüşümü güneş ışınları olan solar hücreler yani fotovoltaik paneller kullanılarak elektrik enerjisi üretimi olacaktır.

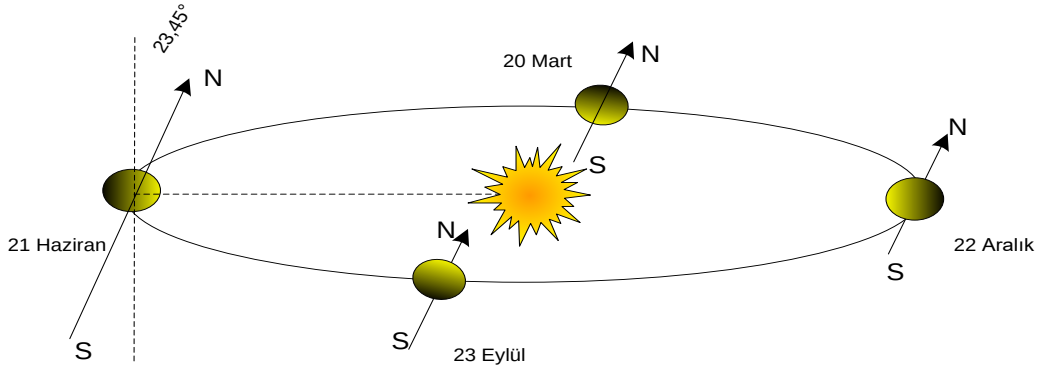
Güneş enerjisi, güneşin derinliklerinde yer alan füzyon süreci ile (hidrojen gazının helyuma dönüşmesi) açığa çıkan ışıma enerjisidir. Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti, yaklaşık olarak 1370 W/m^2 değeri civarındadır, ancak yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferden dolayı $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişmektedir. Bu enerjinin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden çok çok fazladır. Güneş enerjisinden faydalanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra artı göstermiş, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak gelişme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir.

Dünya ile Güneş arasındaki mesafe 150 milyon km'dir. Dünya'ya güneşten gelen enerji, Dünya'da bir yılda kullanılan enerjinin 20 bin katıdır.

Güneş ışıınının tamamı yer yüzeyine gelemmez, % 30 kadarı atmosfer tarafından geriye yansıtılır. Güneş ışıınının % 50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Bu enerji ile Dünya'nın sıcaklığı artar ve yeryüzü yaşanabilir hale gelir. Dünyadaki tüm rüzgâr hareketlerine ve okyanus dalgalanmalarına da bu ısınma neden olur.

Güneşten gelen ışıınının % 20'si atmosfer ve bulutlarda tutulur. Yeryüzüne gelen güneş ışıınının % 1'den azı bitkiler tarafından canlılığın ana fonksiyonu olan fotosentez olayında kullanılır. Bitkiler, fotosentez sırasında güneş ışığıyla birlikte karbondioksit ve su kullanarak, oksijen ve şeker üretirler. Fotosentez, yeryüzünde bitkisel yaşamın ana unsurudur. Güneş, nükleer enerji dışındaki bütün enerjilerin dolaylı veya direkt sebebidir.

Dünya eliptik yapıda Güneş'in yörüngesinde döner. Bu yörüngeyi eliptik düzlem olarak isimlendirilir ve Dünya'nın buradaki Tam turu için geçen süre yılların oluşmasına neden olur. Dünya aynı zamanda kendi merkezi eksenindeki (kutup eksen) turunu bir günde tamamlar. Dünya'nın kutup eksen, eliptik düzlem ile arasında $23,45^\circ$ 'lik bir açı farkı oluşan eğim ile güneş çevresindeki yörüngeyi takip eder. Bu açı kış aylarına oranla yaz aylarında güneşin gökyüzünde daha yükseğe çıkmasına ve yaz aylarında daha uzun, kış aylarında da daha kısa güneşlenme sürelerine sebep olur.

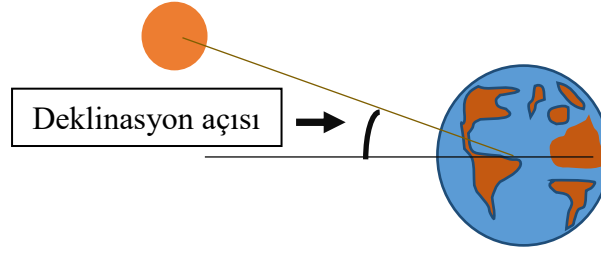


Şekil 1.1. Dünya'nın güneş etrafındaki hareketi ve yılın farklı anlardaki deklinasyon açıları [40].

Ekvatorial düzlemin Dünya'nın merkezi ve Güneş'in merkezi arasındaki çizilen düz çizgi ile yaptığı açı yıl içerisinde değişmektedir. Bu açıya deklinasyon açısı denir. Şekil 1.1'de Dünya'nın güneş etrafındaki hareketi ve yılın farklı zamanlarındaki deklinasyon açıları gösterilmiştir. Deklinasyon açısındaki günlük değişim $0,5^\circ$ 'den daha küçüktür. Ekvatorun kuzeyindeki açılar pozitif, güneyindeki açılar da negatif olarak değerlendirilecek olursa, yılın belirli bir günü için deklinasyon açısı Denklem (1.1) ile bulunur. Şekil 1.2' de deklinasyon açısı gösterilmiştir.

$$\delta = 23,45 \sin \left[360 \cdot \left(\frac{284+n}{365} \right) \right]^\circ \quad (1.1)$$

Burada δ deklinasyon açısı ve n yılın günü ($n=1 \Rightarrow 1$ ocak) olarak ifade edilmektedir.



Şekil 1.2. Deklinasyon açısı

Zenit dünyaya dik olarak geldiği kabul edilen bir çizgidir. Bu çizgi ile güneş ışınları arasındaki açı zenit açısı (ψ) olarak tanımlanır ve Denklem (1.2) ile bulunur.

$$\cos(\psi) = \sin(\varphi) * \sin(\delta) + \cos(\delta) * \cos(\omega) \quad (1.2)$$

Burada ψ zenit açısı, δ deklinasyon açısı, φ enlem açısı ve ω saat açısı olarak ifade edilmektedir. Ayrıca Enlem açısı (φ); ekvator düzlemi ile yerden dünyanın merkezine olan radyal çizgi arasındaki açıdır. Enlem kuzey yarım küre için artı değerli olup 90° ile 90° arasında değişir. Saat açısı (ω): zamanın açısal ölçüsüdür ve bir saat 15° boylama eşittir. Öğleden evvel açı artı ve öğleden sonra eksi değer alır. Örneğin saat 10.00 için açı $+30^\circ$ ve saat 15.00 için -45° olur.

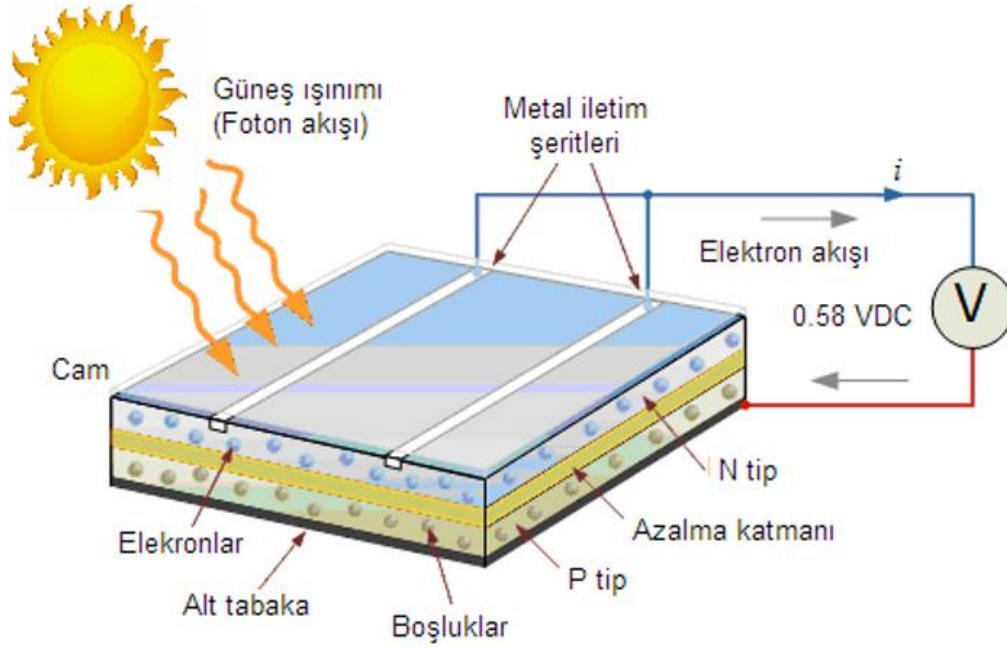
Güneş enerjisi teknolojileri metot, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle birlikte iki başlığa ayrılabilir:

Fotovoltaik Güneş Teknolojisi: Fotovoltaik hücreler denen silisyum tabanlı yarı-iletken malzemeler güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirirler.

Isıl Güneş Teknolojileri: Bu tip sistemlerde ilk olarak güneş enerjisinden ısı elde edilir. Bu ısı doğrudan kullanılabileceği gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir.

1.2.1. Fotovoltaik Hücreler

Güneş enerjisinden faydalanılarak elektrik enerjisinin üretildiği sistemlere fotovoltaik (FV) sistem adı verilir. Fotovoltaik kelimesi gerilimin birimi olan volt ve Yunanca 'da karşılığı ışık olan foto kelimelerinin birleşiminden meydana gelmiştir. FV olay ilk kez Fransız fizikçi Edmund Becquerel tarafından 1839 yılında fark edilmiştir. Becquerel bir çözeltinin içerisine iki tane elektrot katarak ışığa maruz bırakmış ve elektrotlarda gerilim arttığını gözlemlemiştir. Şekil 1.3'de bir FV hücre yapısı verilmiştir.



Şekil 1.3. FV hücresinin genel yapısı [41].

Elektrik üretimi FV sistemlerde gürültüsüzdür, bu sistemlerin bakım maliyeti düşüktür ve yakıt-petrol kaynaklarına ihtiyaç duymaksızın kullanılabilen bir yöntemdir. Ancak enerji yalnızca yeteri kadar güneş enerjisine ulaşılabilirdiğinde mevcuttur. FV sistemlerin en önemli dezavantajları yüksek kurulum maliyetine sahip olmalarıdır. FV sistemlerin bazı avantaj ve dezavantajları Çizelge 1.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.2. FV Sistemin avantaj ve dezavantajları.

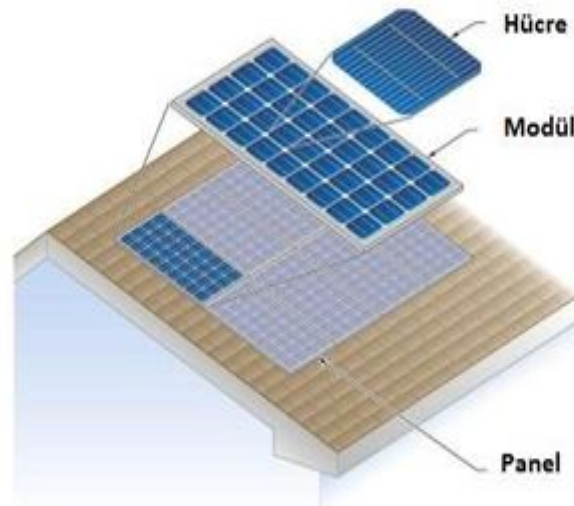
Avantajları	Dezavantajları
Kaynak sonsuzdur.	Kaynak değişiklik göstermektedir.
İklim değişikliği ve kirliliğe neden olmaz.	Kurulum maliyeti yüksektir.
İşletim maliyeti düşüktür.	Yardımcı elemanların güvenilirliği zayıftır.
Hareketli parçası yoktur. (Takip sistemleri Hariç)	Verimli enerji depolama ekonomik değildir.
Kurulumu kolay ve çabuktur.	
Ortam sıcaklığında çalışmaktadırlar.	
Kullanım noktasına yakın bir yere kurulabilirler.	

Güneş hücreleri (fotovoltaik hücreler), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş hücreleri alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0,1- 0,4 mm arasındadır.

Fotovoltaik ilkeye göre tasarlanan güneş hücreleri, üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi meydana gelir. Hücrenin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine ulaşan güneş enerjisidir.

Güneş enerjisi, güneş hücresinin oluşum yapısı ile bağlantılı olarak % 5 ile % 30 arasında bir verimle elektrik enerjisine dönüştürebilirler. Güç çıkışını artırmak sebebiyle bir çok sayıda güneş hücresi birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş hücresi modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Talep edilen güce bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç Watt 'tan MEGA Watt 'lara kadar sistem oluşturulur.

Tasarlanan bir FV sistemin en temel elemanı olan hücreler genel olarak 100cm² büyüklüğündeki bir alana sahiptirler ve yaklaşık olarak 1-1,5W'lık güç üretmektedir. Tipik olarak bir FV hücre yarı iletkenin tipine bağlı olarak üreteceği gerilim 0,5-0,8 V arasındadır. Bu gerilim değeri kullanılabilecek bir değer değildir. Bu nedenle, bu teknolojiye maksimum düzeyde faydalanabilmek için birçok sayıda FV hücre (36-72 arası) birbirlerine seri veya paralel olarak bağlanırlar. Bu yöntemle oluşan yapıya modül denir. Modüllerin de yetersiz kaldığı durumlarda modüllerin birleştirilmesiyle paneller oluşur. Şekil 1.14'de bir FV hücre, modül ve panel gösterilmiştir.



Şekil 1.4. FV hücre, modül ve panel gösterimleri [41].

Fotovoltaik hücreler pek çok farklı maddeden yararlanarak üretilir. Günümüzde en kullanımı en yaygın maddeler şunlardır:

Kristal Silisyum: Önce büyütülüp daha sonra 150-200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlenen Tek kristal Silisyum bloklardan üretilen güneş pillerinde laboratuvar şartlarında % 24, ticari modüllerde ise % 15'in üzerinde verim elde edilmektedir. Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen Çok kristal Silisyum güneş pilleri ise daha düşük maliyette üretilmekte, ancak verim de % 2-5 kadar düşük olmaktadır. Verim, laboratuvar şartlarında % 18, ticari modüllerde ise % 14 civarındadır.

Galyum Arsenit(GaAs): Bu malzemeyle laboratuvar şartlarında % 25 ve % 28 (optik yoğunlaştırıcı) verim elde edilmektedir. Diğer yarıiletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemlili GaAs pillerde % 30 verim elde edilmiştir. GaAs güneş pilleri uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılmaktadır.

Amorf Silisyum: Kristal yapı özelliği göstermeyen bu Si pillerden elde edilen verim % 10 dolayında, ticari modüllerde ise % 5-7 mertebesinde. Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılan amorf silisyum direkt güneş ışınımı zayıf olan bölgelerde de santral uygulamalarında kullanılmaktadır. Amorf silisyumun bir başka önemli uygulama sahası ise binalara entegre yarısaydam cam yüzeyler, bina dış koruyucusu ve enerji üretici uygulamalarıdır.

Kadmiyum Tellürid(CdTe): Çok kristal yapıda bir malzeme olan CdTe ile güneş hücre maliyetinin çok aşağılara çekileceği sanılmaktadır. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde % 16, ticari tip modüllerde ise % 7 civarında verim elde edilmektedir.

Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe₂): Bu çok kristal hücre laboratuvar şartlarında % 17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise % 10,2 verim elde edilmiştir.

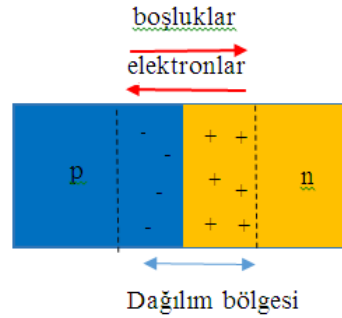
Optik Yoğunlaştırıcı Hücresler: Gelen ışığı 10-500 kat oranlarda yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla modül verimi % 20'nin, hücre verimi ise % 30'un üzerine çıkılabilmektedir. Yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemeden veya camdan yapılmaktadır.

Son Yıllarda Üzerinde Çalışılan Güneş Pilleri Ticari ortama girmiş olan geleneksel Si güneş hücrelerinin yerini alabilecek verimleri aynı ama üretim teknolojileri daha basit ve daha ucuz olan güneş hücreleri üzerinde de son yıllarda çalışmalar yoğunlaştırılmıştır.

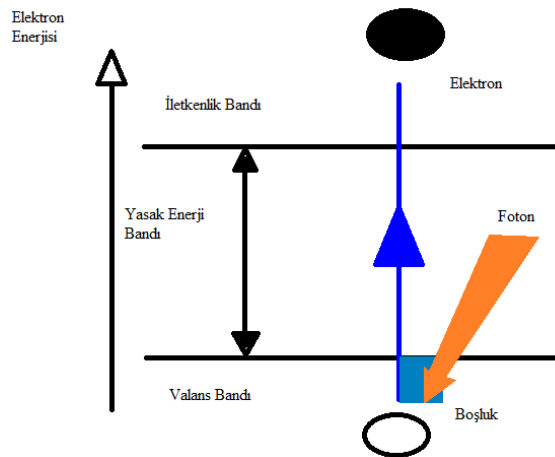
Bunlar; foto elektrokimyasal çok kristalli Titanyum Dioksit hücreler, polimer yapılı Plastik hücreler ve güneş spektrumunun çeşitli dalga boylarına uyum sağlayacak şekilde üretilen enerji bant aralığına sahip kuantum güneş hücreleri gibi yeni teknolojilerdir.

1.2.2. Fotovoltaik Hücresinin Çalışma Prensipleri

Sistemdeki FV hücreler birbirine benzemeyen yarıiletken malzemelerin p-tipi (pozitif) ve n-tipi (negatif) olmak üzere iki ince tabaka arasındaki birleşiminden oluşmuştur. Şekil 1.5'te gösterildiği üzere, bu birleşme yüzeyinde (Jonksiyon), n-tipi malzemedeki çoğunluk taşıyıcıları serbest elektronlar p-tipi yarıiletken malzemeye doğru ilerlemeye başlarlar ve arkada bıraktıkları alan pozitif yüklü hale gelir. Buna benzer olarak p-tipi malzemedeki çoğunluk taşıyıcıları olan boşluklar ise n-tipi malzemeye doğru hareket etmeye başlar ve ayrıldıkları bölge negatif yüklü olur. Bu iki tip çoğunluk taşıyıcısının zıt yönde yaptıkları bu hareketi sonucunda serbest yük bölgesi adı verilen bir bölge oluşur ve bir gerilim bariyeri oluşturarak birleşme bölgesinde elektrik alan meydana getirir.

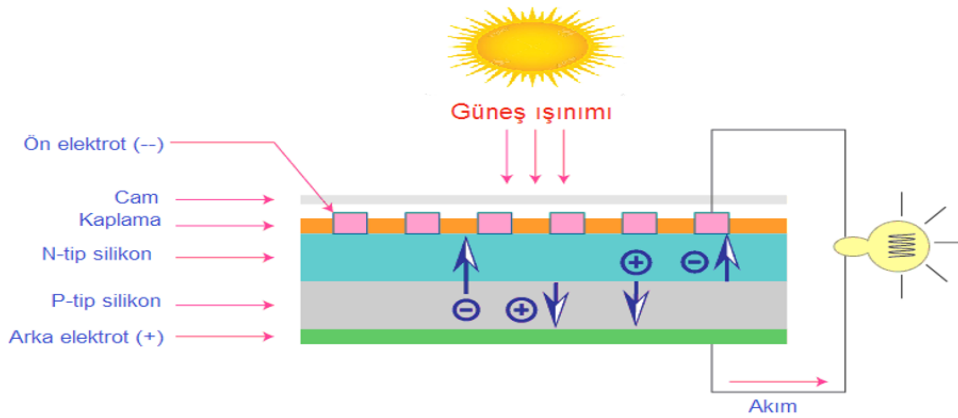


Şekil 1.5. p-n Jonksiyon [43].



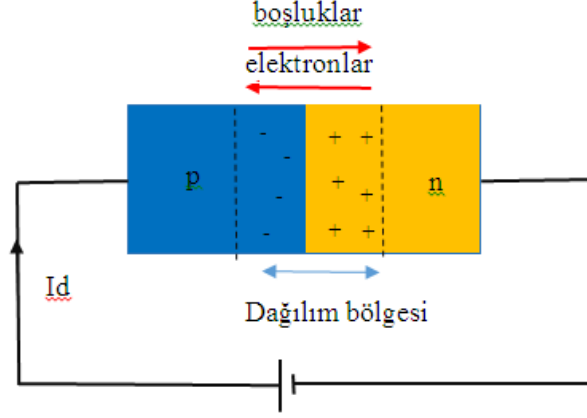
Şekil 1.6. Yarıiletken malzemenin yapısı [42].

Şekil 1.6’da da görülebileceği üzere yarıiletken malzemeler yasak enerji aralığı tarafından ayrıştırılan iki enerji bandından meydana gelir. Bunlar ‘valans bandı’ ve ‘iletkenlik bandı’ adını alırlar. Güneşin fotonlarının birleşim yüzeyi ile p-tipi ve n-tipi malzemelerin üzerine düşmesi anında foton enerjisi yarıiletkenin bant aralığından daha büyük veya bu değere eşitse elektron rahatça hareket edebileceği iletkenlik bandına geçiş yapar ve bunun sonucunda elektron-boşluk çifti meydana gelir. Eğer elektron iletkenlik bandına geçiş yapmak için yeterli enerjiye sahip değilse elektron-boşluk çifti oluşmaz ve elektronun artan enerjisi sıcaklık olarak dışarıya yansır. Foton enerjisinin bant aralığı enerjisinden büyük olması sonucu oluşan elektron-boşluk çiftleri birleşme yüzeyindeki elektrik alan nedeniyle birbirlerinden ayrılırlar ve harici yük üzerinden geçerek akım meydana getirirler. FV etki ile akım ve gerilimin oluşması Şekil 1.7’de görülmektedir.



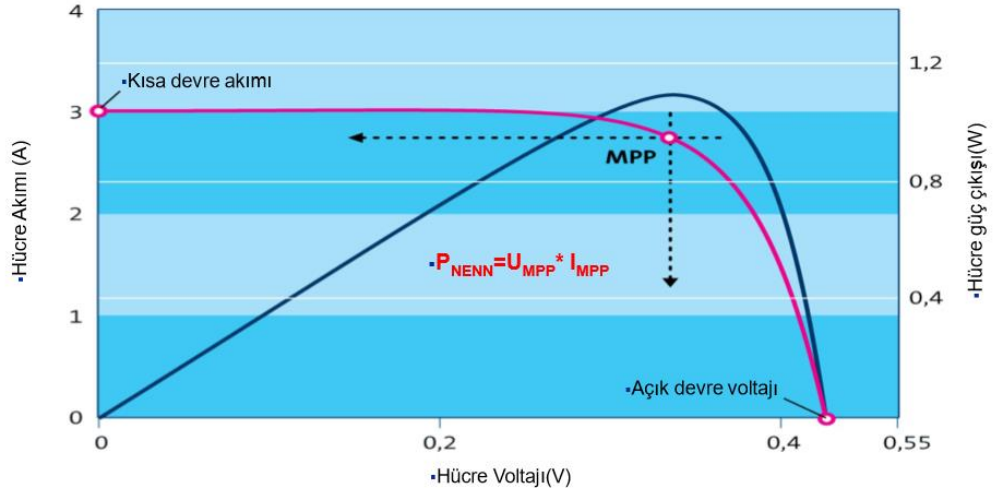
Şekil 1.7. FV etkisiyle elektrik akımı oluşumu [41].

Bilinen geleneksel yarıiletken diyotlarda çoğunluk taşıyıcıları (n-tipi malzemede elektronlar, p- tipi malzemede boşluklar) temel aktörlerdir. Şekil 1.8’de gösterildiği gibi, birleşimin ileri yönde kutuplanması yani p-tipi malzemenin n-tipi malzemeye göre daha pozitif olması oluşan bariyerin azalmasına ve giderek ortadan kalkması ve bunun sonucunda akım akışına sebep olur. Ters yönde kutuplanma durumunda ise gerilim bariyeri artar ve sadece küçük değerlerde akım akışı olur.



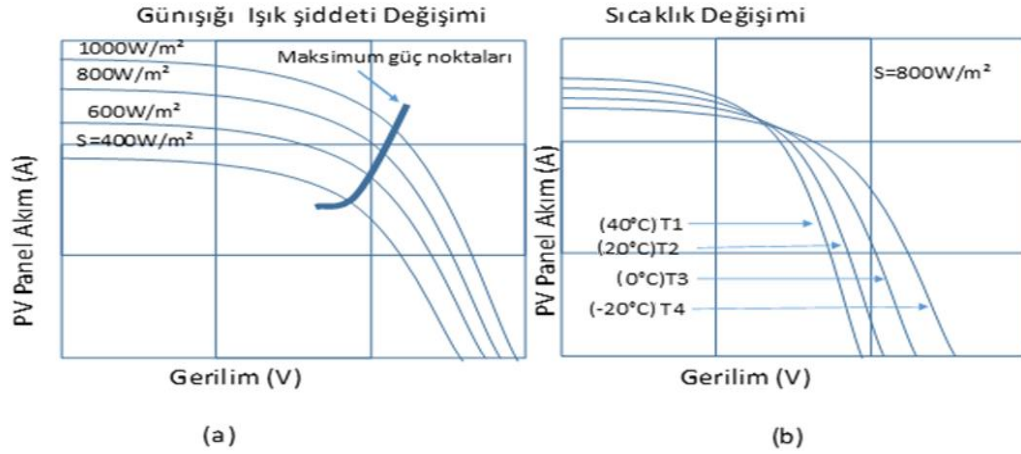
Şekil 1.8. İleri yönde kutuplanma [44].

Güneş pilinin karakteristiği Şekil 1.9’da verilmiştir. Burada I-V eğrisinin kırılma noktası maksimum gücü sağlayacak nokta olarak belirlenmelidir. Bir panelden daha verimli faydalanabilmek için o panelin çıkış gücünü mümkün olan maksimum düzeyde tutmak gerekir.



Şekil 1.9. Bir fotovoltaiik hücrenin I-V ve P-V değişimleri.

Akım ve gerilim değerlerini etkileyen iki önemli faktör vardır. FV hücrenin çıkışında oluşan bu akım ve gerilimi sıcaklık ve güneş radyasyonu etkiler. Sıcaklık FV hücrenin çıkışından elde edilen gerilimi etkileyen etmenlerden birisidir. Sıcaklığın artmasıyla gerilimin değeri azalır. Silikon hücrenin gerilim düşümü $^{\circ}\text{C}$ başına 2,3 mV’tur. Akımın sıcaklık ile değişimi ise daha az olduğu için fotovoltaiik sistemlerin tasarımlarında çoğunlukla göz ardı edilmektedir. Şekil 1.10 (b) ’da akım ve gerilim üzerinde sıcaklık etkisi gösterilmiştir.

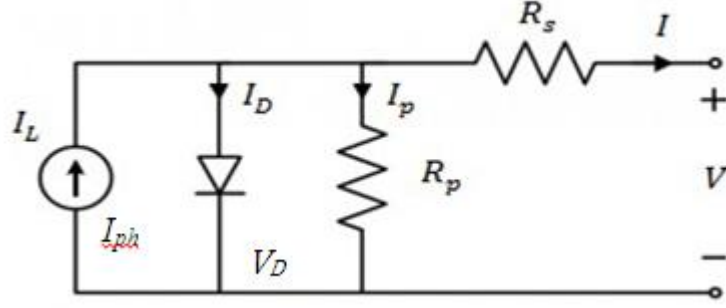


Şekil 1.10. Sıcaklığın ve gün ışığı şiddeti değişiminin Akım - Gerilim üzerindeki etkisi.

Işık tarafından üretilen akım ışınların akışıyla orantılıdır. Güneş radyasyonunun artması aynı oranda ışın akışının artmasına, bunun sonucu olarak da orantılı bir şekilde daha yüksek bir akım üretmesine neden olur. Bu nedenle hücrenin akımı direkt olarak güneş radyasyonu ile orantılıdır. Gerilim değişimi küçüktür ve göz ardı edilir. Güneş radyasyonunun akım ve gerilim üzerindeki neticesi ürettiği güç artışı Şekil 1.10 (a)'da verilmiştir.

1.2.3. Fotovoltaik Hücrenin Elektriksel Devre Modeli

FV hücrenin bilinen karmaşık yapısı Şekil 1.11'de gösterilen tek diyotlu elektriksel eşdeğer devre modeline indirgenerek temsil edilebilir. Devrenin çıkışındaki I akımı, ışık tarafından üretilen I_{ph} akımından diyot akımı I_d ve paralel sızıntı akımının (I_p) çıkarılmasıyla elde edilecektir. Ayrıca burada diyot gerilimi V_D ile ve şönt direnci R_p ile gösterilmiştir. R_s seri direnci akıma karşı gösterilen iç dirençtir ve pn birleşiminin derinliğine, imalatındaki saflığına, temas ettiği yüzey direncine bağlı bir değer olarak karşımıza çıkmaktadır. R_p paralel direnci ise toprağa akan sızıntı akımı değeridir. İdeal bir fotovoltaik hücrede $R_s = 0$ ve $R_p = \infty$ olmalıdır. Yüksek kaliteli olarak değerlendirilebilecek $1\text{in}ç2$ 'lik tipik bir silikon hücrede, R_s direnci $0,05-0,10\ \Omega$ değerleri arasında, R_p direnci ise $200-300\ \Omega$ değerleri arasında değişiklik göstermesi beklenmektedir.



Şekil 1.11. FV hücrenin tek diyotlu elektriksel eşdeğer devresi.

Şekil 1.11’de görüldüğü üzere üreticinin çıkış akımı Denklem (1.3) ile ifade edilir.

$$i = I_{ph} - I_d - \frac{V_D}{R_p} \quad (1.3)$$

Buradaki çıkış akımı, FV akım I_{ph} ile, diyot akımı I_d ile, diyot gerilimi V_D ile ve şönt direnci R_p ile verilmiştir.

I_d , diyot akımı ise aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$I_d = I_0 \left(\exp \left(\frac{V_D}{\alpha V_t} \right) - 1 \right) \quad (1.4)$$

Ters saturasyon akımı I_0 , diyot ideal faktörü α , termal gerilim ise V_t ile gösterilmiştir.

Termal (sıcaklık) gerilim aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$V_t = \frac{kT}{q} \quad (1.5)$$

Boltzmann sabiti k ile, hücre sıcaklığı Kelvin olarak T ile, elektron şarjı ise q ile verilmiştir. Çıkış gerilimi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$v = V_D - i R_s \quad (1.6)$$

Denklem (1.4), (1.5) ve (1.6), Denklem (1.3)’te yerine yazıldığında i aşağıdaki şekilde olur.

$$i = I_{ph} - I_0 \left(\exp \left(\frac{v + i R_s}{\alpha V_t} \right) - 1 \right) - \frac{v + i R_s}{R_p}. \quad (1.7)$$

Denklem (1.7)’de bilinmeyen parametreler I_{ph} , α , I_0 , R_s , R_p olup gerekli işlemler yapılarak I_{ph} ile I_0 elimine edilmiştir. Üreticinin vermiş olduğu deneysel verileri olan

kısa devre akımı I_{sc} ve kısa devre gerilimi V_{oc} kullanarak akım-gerilim denklemini aşağıdaki Denklem (1.8) ile yazılabilmektedir.

$$i = \frac{-\frac{(I_{sc}R_p - V_{oc} - I_{sc}R_s)e^{\frac{I_{sc}R_s - V_{oc}}{\alpha V_t}}}{\alpha V_t R_p} - \frac{1}{R_p}}{1 + \frac{(I_{sc}R_p - V_{oc} + I_{sc}R_s)e^{\frac{I_{sc}R_s - V_{oc}}{\alpha V_t}}}{\alpha V_t R_p} + \frac{R_s}{R_p}} + \frac{1}{R_p} \quad (1.8)$$

İdeal diyot faktörü ve kayıplara karşılık gelen dirençler Denklem (1.8)'de kök bulma denklemi ile ifade edilir ve bu denklemin çözülmesi ile bulunurlar. Kabul edilebilir hatalar ile birlikte, belirlenen durumlar altında FV modüle ait I-V ve P-V eğrileri Şekil 1.9'da gösterildiği gibi elde edilebilir.

Işınım ve sıcaklık ile optimal direnç değeri yeni bir değere doğru değişiklik gösterebilir ve bu da güç üretiminde azalmaya neden olur. Hesaplanacak fotovoltaiik panelden elde edilebilecek olan maksimum gücü elde etmek için DC-DC çevirici giriş direnci, bir anahtarlama cihazı ile oranı optimum hale getirilerek en uygun direnç değerine eşitlenmelidir.

Panel olarak değerlendirdiğimizde; FV sistemin çıkışından elde edeceğimiz güç Denklem (1.9) ile hesaplanabilir.

$$PFV = \eta g * N * Am * Gt \quad (1.9)$$

Burada;

PFV : FV sistemin çıkış gücü

ηg : FV sistem verimi

N : Modül sayısı

Am : Sistemde kullanılan tekli modülün alanı (m^2)

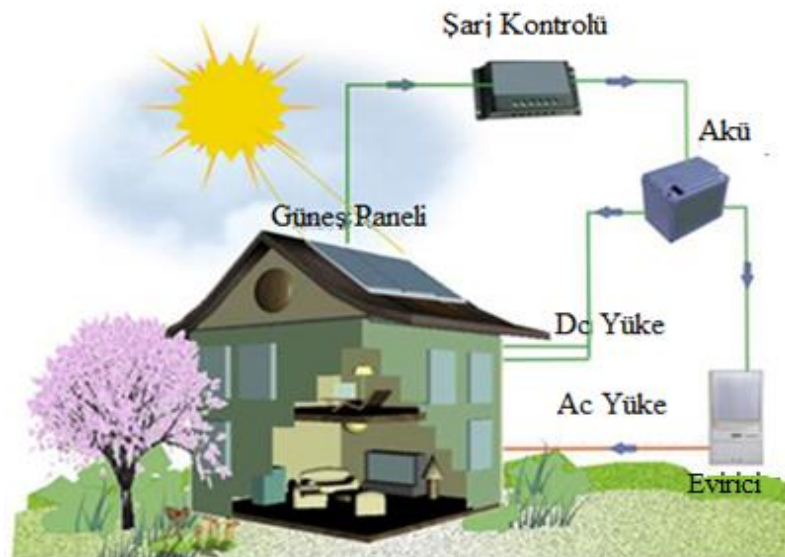
Gt : Modül yüzeyindeki güneş radyasyonu (W/m^2) dır.

1.3. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

Güneş hücreleri, elektrik enerjisi talebi olan her uygulamada kullanılabilir. Fotovoltaiik modüller uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, eviriciler ve akü şarj denetim aygıtları ile beraberce kullanımı ile bir fotovoltaiik sistemi oluştururlar. Önceleri

yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımanın zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırken, artık şebeke bağlantısı olan yerleşim yerlerinde de şebeke bağlantılı olarak evlerin çatılarına ve büyük ölçekli santral uygulamalarında da kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Bunun dışında dizel jeneratörler ya da başka güç sistemleri ile birlikte karma (hibrit) olarak kullanılmaları da mevcuttur.

Şebekeden bağımsız sistemlerde yeterli sayıda yani sistemin talep ettiği gücü karşılayacak fotovoltaik modül, enerji kaynağı olarak kullanılır. Sistemde güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör tasarlanabilir. Fotovoltaik modüller güneşi aldığı sürece elektrik enerjisi üreterek bunu akümülatörde depolar, yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi ise akünün durumuna göre, ya fotovoltaik modüllerden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir evirici eklenerek akümülatördeki DC gerilim, 220 V, 50 Hz.'lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Buna benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli destek elektronik devreler sisteme katılabilir. Bazı sistemlerde, fotovoltaik modüllerin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihazda bulunur. Aşağıda şebekeden bağımsız bir fotovoltaik sistemin şeması Şekil 1.12'de gösterimi bulunmaktadır.



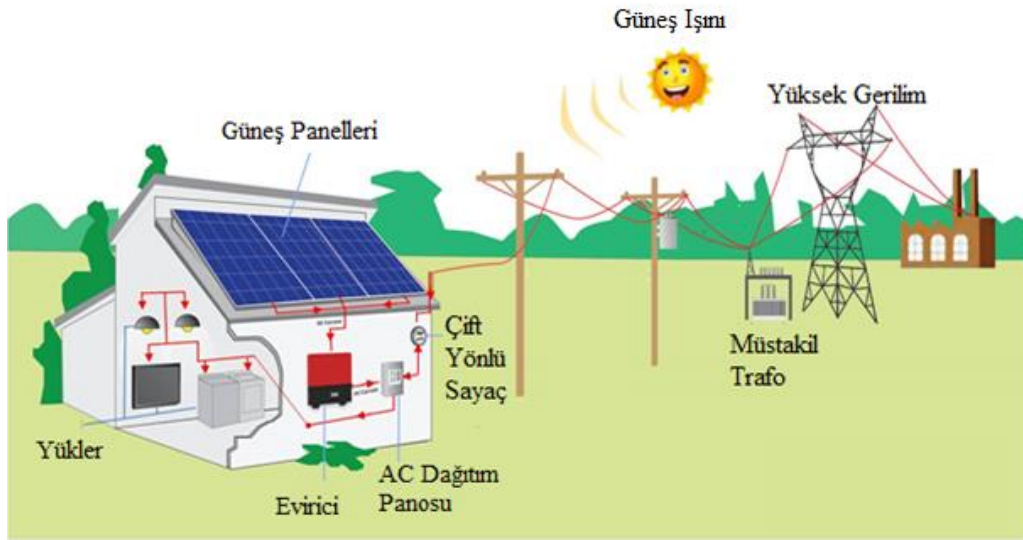
Şekil 1.12. Şebekeden bağımsız FV sistem [45].

Şebekeye bağlantılı fotovoltaik sistemler yüksek güçte-santral boyutunda sistemler şeklinde olabileceği gibi daha çok görülen uygulaması binalarda küçük güçlü kullanım şeklindedir. Bu sistemlerde örneğin bir konutun elektrik ihtiyacını karşılanırken, üretilen fazla enerji elektrik şebekesine verilir, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınır. Böyle bir sistemde enerji depolaması yapmaya gerek yoktur, yalnızca üretilen DC elektriğin, AC elektriğe çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması yeterlidir.

Fotovoltaik sistemlerin şebekeden bağımsız olarak kullanıldığı tipik uygulama alanları aşağıda sıralanmıştır.

- Haberleşme (Baz) istasyonları,
- Petrol boru hatlarının koruması, katodik koruma
- Hava gözlem istasyonları
- Bina içi ya da dışı aydınlatma
- Dağ evleri ya da yerleşim yerlerinden uzaktaki evlerde ihtiyaçları
- Tarımsal sulamada su pompası
- Orman gözetleme kuleleri
- Deniz fenerleri
- İlk yardım, alarm ve güvenlik sistemleri

Şebeke bağlantılı sistemlerde öncelikle sistemin bağlantı onayı için gerekli proje aşaması tamamlanır. Bundan sonra uygulamada Şekil 1.13’de gösterildiği şekilde şebeke ile uyumlu olarak projede belirtilecek olan çift yönlü bir sayaç temini ile yapılır. Bu sayaç tüketimin karşılandığı ve fazla üretimin olduğu durumları izler ve ilgili bilgilerin kayıt altına alınmasını sağlar. Ay sonunda ise kullanıcı ile ilgili idare arasında elektrik faturası üzerinden mahsuplaşma metodu ile üretim tüketim durumu netleştirilir.



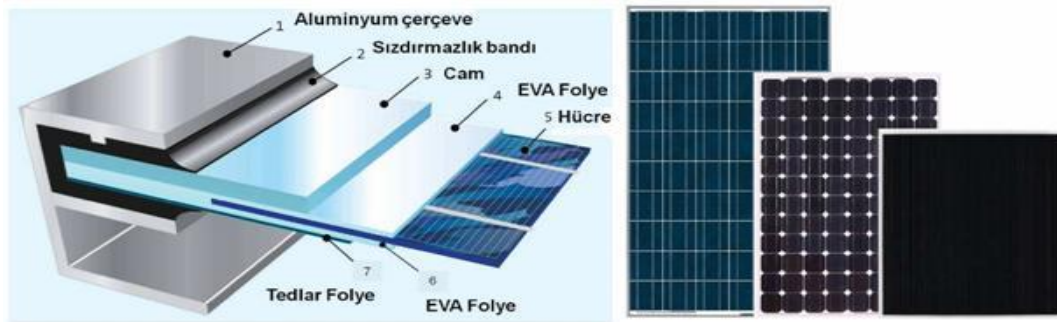
Şekil 1.13. Şebeke bağlantılı FV Sistem [46].

1.3.1. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri

Fotovoltaik sistem bileşenleri temel olarak fotovoltaik panel, Evirici ve aküdür.

1.3.1.1. Fotovoltaik Panel

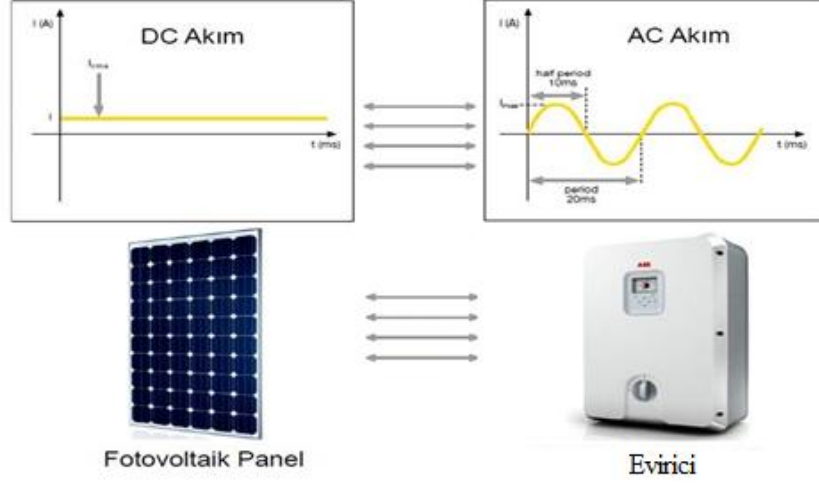
Fotovoltaik güneş panelleri gün ışığını direkt olarak elektrik enerjisine çeviren ekipmanlardır. Silisyum temelli oluşturulan hücreler özel bir lehim metodu ile birbirine bağlanmıştır. Temperlenmiş anti reflektif cam, güneş hücreleri, EVA ve TPT filmlerinin lamine edilmesi ile her türlü iklim şartında çalışabilecek UV korumalı paneller elde edilir ve bu paneller özel alüminyum profillerle çerçevelenir. Piyasada kullanılan bazı fotovoltaik panel türleri şunlardır; Monokristal Silisyum verim % 13-17, Polikristal Silisyum verim % 13-15 ince film amorf silisyum verim % 6-10.



Şekil 1.14. Fotovoltaik panel yapısı [47].

1.3.1.2. Evirici

Güneş enerji santrallerinde güneş panelleri tarafından üretilen gerilim doğru akım (DA) formundadır. Bu enerjiyi direkt DA ile çalışan sistemlerin olduğu durumlar hariç; günlük hayatta kullanılabilir hale getirmek için alternatif akıma (AA) dönüştürülmesi icap etmektedir. İşte bu durumda fotovoltaik sistemlerden panelde üretilen DA gerilimi, AA gerilimine dönüştürmek için eviriciler kullanılmaktadır.



Şekil 1.15. Fotovoltaik panelin ürettiği DC akımı AC akıma çeviren evirici.

Eviricilerin genel özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

- Fotovoltaik panellerde üretilen DC gerilim bağlantı yapılacak şebeke özelliklerine uygun olarak (frekans: 50Hz, gerilim: 230V, 380V, 33kV) AC gerilime dönüştürülmektedir.
- Fotovoltaik sistemde kullanılan eviricilerden maksimum verim alabilmek için MPP kontrollüdürler. (Bu tip eviricilerde MPP kontrolü ; maksimum gücü takip eden bir mikro işlemcili yapı ile yüke yollanmasını sağlar.)
- Eviricilerde AC ve DC koruma devreleri mevcuttur.
- Tasarlanan sistemde kullanılacak eviriciler DC-AC gerilim dönüşümünü yapabilmek için yapılarında MOSFED, JFED, GTO ve IGBT gibi elektronik devre elemanları içermektedir.
- Sistemde seçilecek eviricinin gücü belirlenirken, şebekeye bağlı sistemler için eviriciyi besleyen FV panel gücü toplamının % 10'unundan az olacak şekilde, ve aynı zamanda beslenecek yükün demand değerini karşılayacak şekilde seçilmesi çoğu zaman daha uygun olarak tercih edilir.

1.3.1.3. Depolama

Yukarıda sözü edilen alternatif enerji kaynakları doğa koşullarına son derece bağlıdır. Bu nedenle bu kaynaklar ile üretilen enerji, daha önce de değinildiği üzere mevsimlik, günlük ve hatta anlık olarak bile büyük değişimler gösterebilmektedir.

Özellikle şebekeden ayrı uygulamalarda üretilen enerjinin genel enerji talebi ile tam olarak örtüşmemesine sebep olabilmektedir. Alternatif kaynaklardan üretilen fazla enerji farklı tür enerji depolama ünitelerine aktarılmakta, depolanan bu enerji ise ana kaynakların mevcut olmadığı ya da yetersiz olduğu durumlarda yük talebinin karşılanmasında kullanılmaktadır.

1.3.2. Dünyadaki ve Türkiye'deki Güneş Enerjisi Potansiyeli

Güneş çevresinde hareketi boyunca Dünya'nın yüzeyine 1 yılda düşen güneşten gelen enerji $0,709 \times 10^{14}$ TEP (ton eşdeğer petrol) veya $1,22 \times 10^{14}$ TET (ton eşdeğer taş kömürü) kadardır. Bu değer Dünya'nın tahmin olarak bilinen, petrol rezervinin 516, kömür rezervinin 157 katıdır.

Temel olarak bakıldığında Güneş'in 1 saniyede ürettiği enerji miktarı, insanlığın şimdiye kadar kullandığı enerji toplamından fazladır. Dünya, Güneş'ten gelen enerjinin yaklaşık milyarda birini alabilmektedir.

Diğer enerji kaynakları ile kıyaslandığında Güneş enerjisi ısı ve ışık olarak yayıldığı için iletim ve dağıtım sorununun olmaması üstünlük sağlar. Güneş enerjisinin doğal kullanımının yanı sıra, doğrudan kontrollü bir şekilde kullanılabilir. Kontrollü kullanımının bir maliyeti vardır ancak fosil yakıtların çevreye verdiği zararlar düşünüldüğünde bunların iyileştirilmesi için gereken maliyet oldukça fazladır. Bu sebeple güneş enerjisi daha caziptir.

Güneş enerjisinden yararlanabilmek için yapılan çalışmalar çok eski tarihlere kadar uzanmaktadır. Kaynaklar incelendiğinde ilk defa Sokrates (M.Ö. 400) evlerin güney yönüne fazla pencere konularak güneş ışığının evlerden içeri alınmasını önermiştir. Arşimet (M.Ö.250) içbükey aynalarla güneş ışınlarını gemilere odaklayarak Sirakuza'yı kuşatan gemileri yakmıştır. Konu ile ilgili çalışmalar 1600'lü yıllarda Galileo'nun merceği bulmasıyla gelişmiştir.

Güneş enerjisi ile ilgili ilk olarak 1725 yılında Belidor tarafından güneş enerjisi ile çalışan bir su pompası geliştirilmiştir. Fransız Mohuchok 1860'da parabolik aynalar ile

Güneş ışınlarını odaklayarak bir buhar makinesi üzerinde çalışmış, güneş pompaları ve güneş ocakları üzerinde deney yapmış bilim insanıdır. Saraylarda bir hayli fazla ayna vardır ve bu güneş enerjisinin kullanımı açısından iyi bir örnek oluşturmaktadır

I. Dünya Savaşı döneminde petrolün önem arz etmesi nedeniyle güneş enerjisine yönelik çalışmalar azalmıştır. Ancak 1960'lı yıllarda dünya genelinde petrol ile ilgili krizin ortaya çıkması insanları alternatif enerji kaynakları konusunda çalışma yapmaya itmiştir. Bu durum çalışmaları, temiz ve masrafsız enerji kaynağı olan güneş enerjisi üzerine yoğunlaşmıştır.

Güneş enerjisi ile ilgili çalışmalar özellikle 1970'ler ve sonrasında hızlanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerlerken maliyetleri de ters orantılı olarak düşüş göstermiştir. Bu enerji çevresel olarak da temiz bir enerji kaynağı olarak kendini dünya genelinde kabul ettirmiştir.

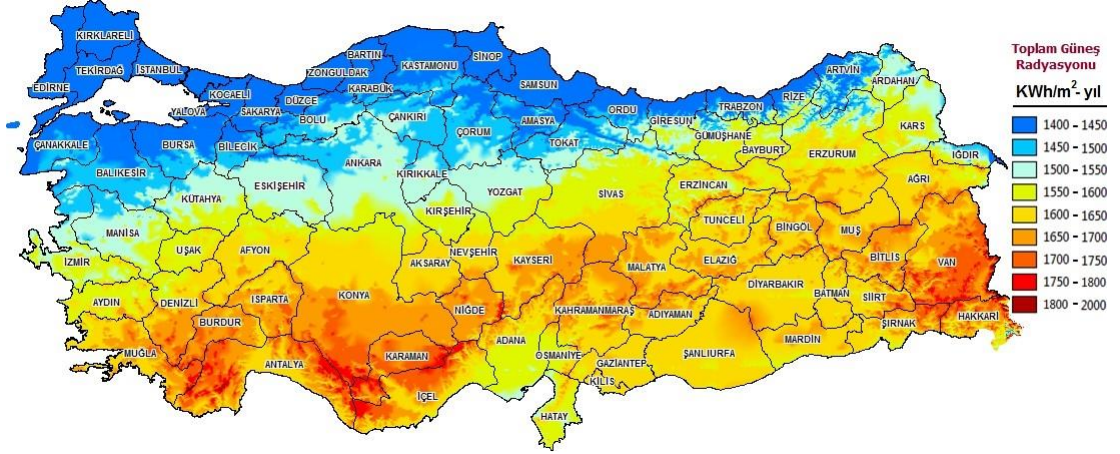
Türkiye'deki güneş enerjisi kullanımı tarihçesine baktığımızda, zirai mahsül kurutulması, mahal ve su ısıtması amacıyla kullanıldığı görülmektedir. Ülkemizde güneş enerjisi alternatif enerji kaynağı olarak ilk kez 1960'lı yılların başlarında düşünüldüğü görülmektedir. Birtakım yatırımcıların girişimleri ve üniversitelerde verilen tezler ile bu konuda çalışmalar başlamıştır.

1970'li yılların ortalarında, Dünya'daki güneş enerjisi teknolojisindeki gelişmelerle beraber, Türkiye'de de özellikle güneş enerjisinin ısı uygulamalar konusu üniversite ve endüstriyel sektör açısından önem kazanmıştır. Bu tarihten itibaren de gelişmesi hızlanmıştır. Güneş enerjisi konusundaki ilk ulusal kongre 1975 yılında İzmir'de yapılmıştır. Yine ilk güneş enerjisi uygulaması 1975 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde kurulmuştur. Bu konudaki ilk çalışmalar genel olarak Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Ege Üniversitesi ve İstanbul Teknik Üniversitesi tarafından yapılmıştır. Türkiye'deki ilk Güneş Enerjisi Enstitüsü Ege Üniversitesi'nde 1978 yılında kurulmuştur. Halen faaliyetleri sürmektedir. 1980'li yılların sonunda bu konudaki çalışmaları TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu) öncülüğünde MBEAE (Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü) yürütmüştür. MBEAE, güneş enerjisi düşük sıcaklık uygulamaları ve Türk endüstrisinin ısı enerji ihtiyacının modellenmesi konusundaki projeleri 1977–1985 yılları arasında desteklemiştir. TÜBİTAK içerisinde 1986'da kurulan Ankara Elektronik Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü, güneş hücrelerinin tasarımı ve üretimi çalışmalarını

desteklemektedir.

Uluslararası Güneş Enerjisi Topluluğu Türkiye Bölümü (UGET-TB) 1992 yılından itibaren Türkiye’den aldığı izinle aktif olarak çalışmalarını ülkemizde sürdürmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü ülkenin birçok noktasına kurduğu istasyonlar sayesinde iklimsel verilerin kayıt edilmesi, değerlendirilmesi ve bilginin dağıtılması konusunda aktif olarak çalışmaktadır.

Özellikle Avrupa’ya bakıldığında ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli açısından oldukça iyi bir yerdedir. 2012 yılında Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü’nce 1985–2006 yıllarına ait veriler ile hazırlanan, Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) Şekil 1.16’da gösterilmiştir.



Şekil 1.16. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA) [48].

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü’nün verilerinden derlenen Türkiye güneş ışıınımı değerleri ve güneşlenme süreleri ise Çizelge 1.3’te verilmiştir.

Çizelge 1.3. Türkiye güneş ışıınımı ve güneşlenme süreleri.

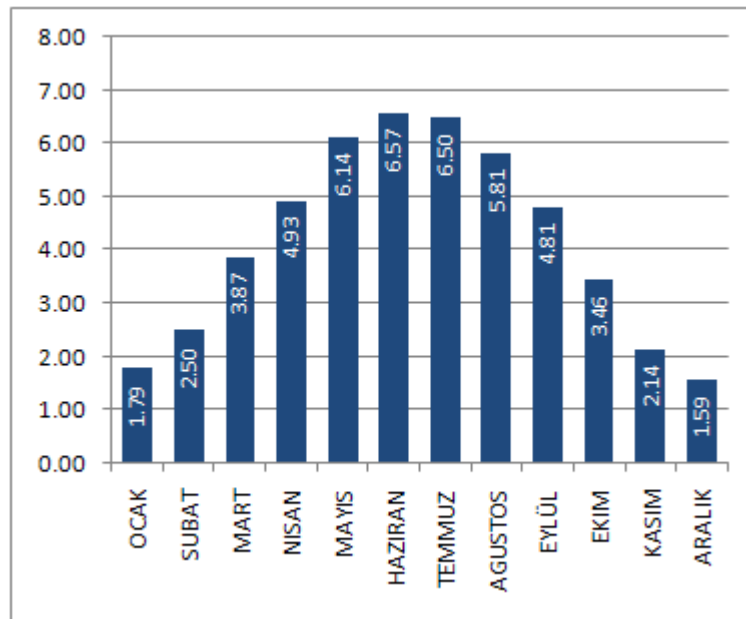
Aylar	Günlük güneş ışıınımı değerleri (kWh/m ² -gün)	Güneşlenme süresi (saat/ay)
Ocak	1,79	127,41
Şubat	2,5	146,16
Mart	3,87	194,37
Nisan	4,93	223,8
Mayıs	6,14	282,1
Haziran	6,57	324,3
Temmuz	6,5	350,61
Ağustos	5,81	331,7
Eylül	4,81	276,9
Ekim	3,46	212,97

Çizelge 1.3. (devam). Türkiye güneş ışıını ve güneşlenme süreleri.

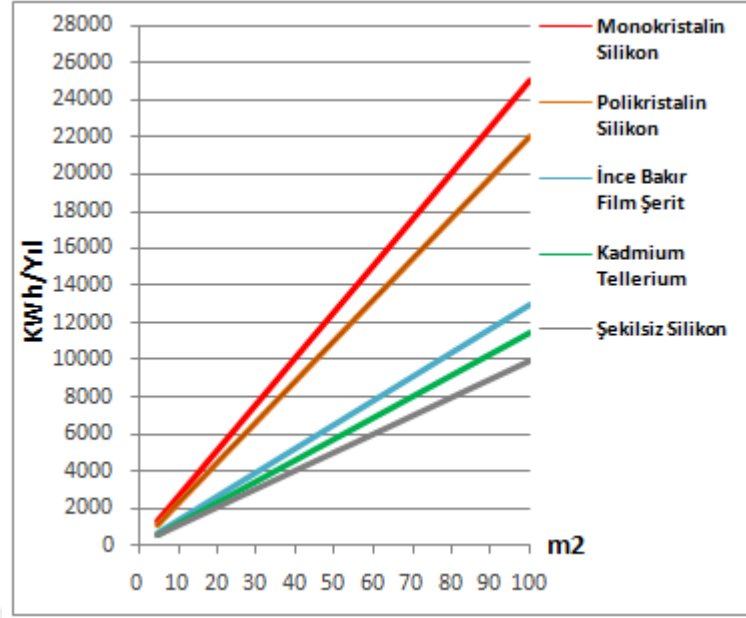
Aylar	Günlük güneş ışıını değeri (kWh/m ² -gün)	Güneşlenme süresi (saat/ay)
Kasım	2,14	154,5
Aralık	1,59	116,25
Toplam Yıllık	1528	2741
Ortalama	4,18 kWh/m ² -gün	7,5 saat/gün

Çizelge 1.3’de Türkiye güneş radyasyon değeri ve güneşlenme süreleri baz alınarak yıllık güneşlenme süresi toplam 2741 saattir. Günlük olarak ise yaklaşık 7,5 saate denk gelmektedir. Bu da toplamda 114 günlük güneşlenme süresini ifade etmektedir. Yıllık toplam güneş ışıını 1528 kWh/m²-yıl (ortalama günlük 4,18 kWh/m²) olarak tespit edilmiştir. 2012 yılında güneş kolektörleri ile yaklaşık olarak 768.000 TEP (Ton Eşdeğer Petrol) ısı enerjisi üretilmiştir. Üretilen ısı enerjisi, 2012 yılı için meskenlerdeki kullanımı 500.000 TEP, endüstrideki kullanım miktarı 268.000 TEP olarak hesaplandığı tespit edilmiştir.

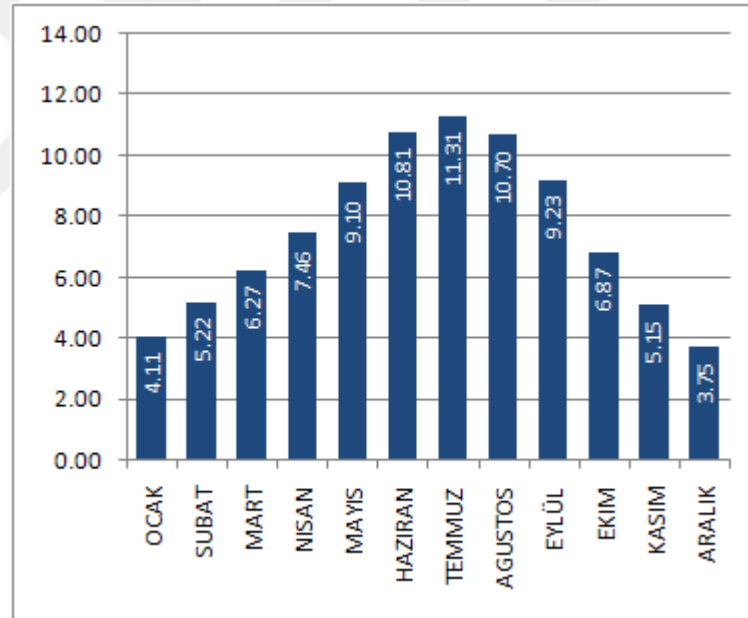
Türkiye’ye ait Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü nün yayınladığı global radyasyon değeri, güneşlenme süreleri ve FV panel üretilebilecek enerji miktarı sırasıyla Şekil 1.17, Şekil 1.18 ve Şekil 1.19 da verilmiştir.



Şekil 1.17. Türkiye global radyasyon değeri (kWh/m²-gün) [48].

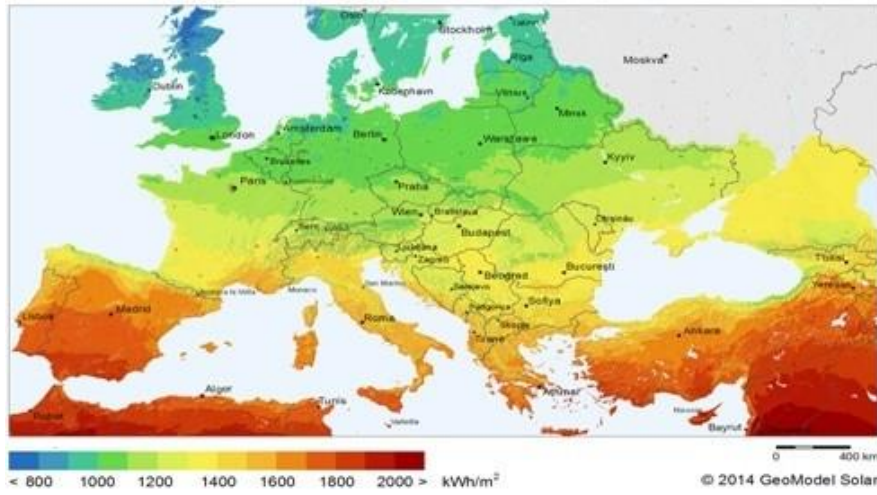


Şekil 1.18. Türkiye güneşlenme süreleri (Saat) [48].



Şekil 1.19. Türkiye FV tipi-alan-üretilebilecek Enerji (KWh-Yıl) [48].

GeoModel Solar tarafından 1994-2010 yılları arasında ölçülen güneş ışıınımı verileri kullanılarak 2014 yılında hazırlanan Avrupa küresel yatay ışıınım haritası Şekil 1.20’de verilmiştir.



Şekil 1.20. Avrupa küresel yatay ışınlm haritası [49].

Şekil 1.20’de verilen Avrupa küresel yatay ışınlm haritası incelendiğinde, güneş enerjisi potansiyeli açısından Türkiye, İspanya ve Portekiz ile beraber Avrupa’nın en önemli güneş potansiyeline sahip ülkeleri arasındadır.

1.3.2.1. Türkiye’nin Kurulu Gücünde Güneş enerjisi Potansiyeli

Türkiye kendi kurulu gücünün ne kadarını güneş enerjisiyle karşılıyor olduğunu ise çizelge 1.4’te görülebilmektedir. Ülkemiz Avrupa ülkeleri ile karşılaştırıldığında güneş kuşağında yer almamız nedeniyle güneşlenme ve ışıma süreleri bu ülkelere göre çok yüksektir. Güneş enerjisi sektörü hızla gelişmektedir. Devlet ilgili yasayla yenilenebilir enerji yatırımlarını desteklemeye yönelik garanti alım mekanizması uygulamasını başlatmıştır. Ülkemizin kurulu üretim kapasitesinin küçük bir bölümü güneş enerjisinden sağlanmaktadır. (2018 Şubat itibariyle % 4,6). Yatırımlara önümüzdeki dönemde de devam edileceği ifade edilmektedir.

Çizelge 1.4. Türkiye’de kaynaklara göre kurulu güç-TEİAŞ 28 Şubat 2018 [51].

Yakıt Cinsi	Kurulu Güç MW	Katkı %	Santral Sayısı Adet
Fuel-Oil	303,6	0,4	12
Yerli Kömür	9.872,6	11,5	30
İthal Kömür	8.793,9	10,2	11
Doğalgaz+LNG	23.181,2	26,9	249
Atık+Atıkısı+Pirolitik Yağ	580,7	0,7	99
Çok Yakıtlılar Katı+Sıvı	706,9	0,8	22
Çok Yakıtlılar Sıvı+D.Gaz	3.412,1	4	47

Çizelge 1.4. (devam) Türkiye’de kaynaklara göre kurulu güç-TEİAŞ 28 Şubat 2018 [51].

Yakıt Cinsi	Kurulu Güç MW	Katkı %	Santral Sayısı Adet
Jeotermal	1.063,7	1,2	40
Hidrolik Barajlı	19.914,0	23,1	118
Hidrolik Akarsu	7.535,1	8,7	506
Rüzgar	6.523,6	7,6	162
Güneş	22,9	0	3
Termik (Lisanssız)	231,2	0,3	79
Rüzgar (Lisanssız)	46,9	0,1	62
Hidrolik (Lisanssız)	7,4	0	10
Güneş (Lisanssız)	3.919,2	4,6	4704
TOPLAM	86.115,0	100	6.154

1.4. HOMER İLE SİSTEM TASARIMI

Hybrid Optimization Model for Electric Renewables (HOMER), enerji sistemlerinin tasarımı ve karşılaştırılmasını sağlayan, Birleşik Devletler Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından yapılmış bir yazılımdır. HOMER, incelenecek olan bir enerji sisteminin fiziksel davranışını ve sistem kurulum maliyeti ile bu sistem için ön görülen ömür süresi zamanınca işletim maliyetlerinin toplamından oluşan yaşam döngüsü maliyetini (net toplam bugünkü maliyeti) modelleyen bir yazılımdır. Bu yazılım, tasarımcının teknik ve ekonomik değerler çerçevesinde farklı kaynaklar ile tasarım seçeneklerini karşılaştırmasına olanak sağlayabilecek özelliktedir.

Tasarlanacak mikro enerji sistemi, hedeflenen bir yükü karşılamak için elektrik ve bazen de ısı üreten bir sistemdir. Bu tip bir sistem herhangi bir elektrik üretimi ve depolama teknolojilerinin kombinasyonlarını barındırabilir ve yine bu sistemin şebeke bağlantılı olabileceği gibi şebekeden bağımsız da tasarımı yapılabilir. Mikro enerji sistemlerine şebekeden bağımsız bir yükü besleyen FV sistem ve rüzgâr-dizel sistemi örnek olarak verilebilir. HOMER programı FV, rüzgâr türbini, küçük güçlü hidroelektrik sistem, biokütle, dizel jeneratörler, yakıt pili, batarya (akümülatör), hidrojen depolama seçeneklerinin herhangi bir kombinasyonunu içeren şebeke bağlantılı veya bağlantısız enerji sistem modellemesini yapabilir.

Mikro enerji sistemlerinin tasarım ve analizinin çeşitli zorlukları vardır. Çok miktarda tasarım seçeneği, yük değeri veya gelecekteki yakıt fiyatları gibi ana parametreler bu

zorluklara örnek olarak verilebilir. Ayrıca ek olarak, yenilenebilir enerji kaynakları sistem tasarımında çıkış güçleri kesintili ve mevsimsel olduğu için bir başka zorluk olarak karşımıza bu da çıkar. HOMER programı bu zorluklar düşünülerek tasarlanmıştır.

HOMER, simülasyon (benzetim), optimizasyon (iyileştirme) ve hassaslık (duyarlılık) analizi olmak üzere temel olarak üç görevi gerçekleştirmektedir.

Simülasyon (benzetim), yazılım tasarımı yapılan bir mikro enerji sistem performansını yılın her saati için modeller ve bu tasarlanan sistemin teknik olarak gerçekleştirilebilirliğini ve yaşam döngüsü maliyetini hesaplar.

Optimizasyon (iyileştirme) işleminde, HOMER, farklı sistem yapılandırmalarının içinde en düşük yaşam döngüsü maliyetli ve teknik kısıtlamaları karşılayan bir sistem konfigürasyonunu bulmak için uygun simülasyonu gerçekleştirir.

Hassaslık (duyarlılık) analizi sürecinde ise HOMER, model giriş verilerindeki değişikliklerin etkisini tespit etmek amacıyla kullanıcının girdiği varsayımlar altında çoklu optimizasyon işlemini gerçekleştirir. Bu işlemi, sistem tasarımcısının kontrolündeki değişkenlerin (sistemi oluşturan elemanların kombinasyonları ve her birinin büyüklükleri gibi) optimum değerini belirlemektedir. Duyarlılık analizi tasarımcının kontrolü dışında olan gelecekteki yakıt fiyatları gibi değişkenlerin etkilerini belirlemeye çalışarak bu etkilerin değerlendirilmesinde rol oynar.

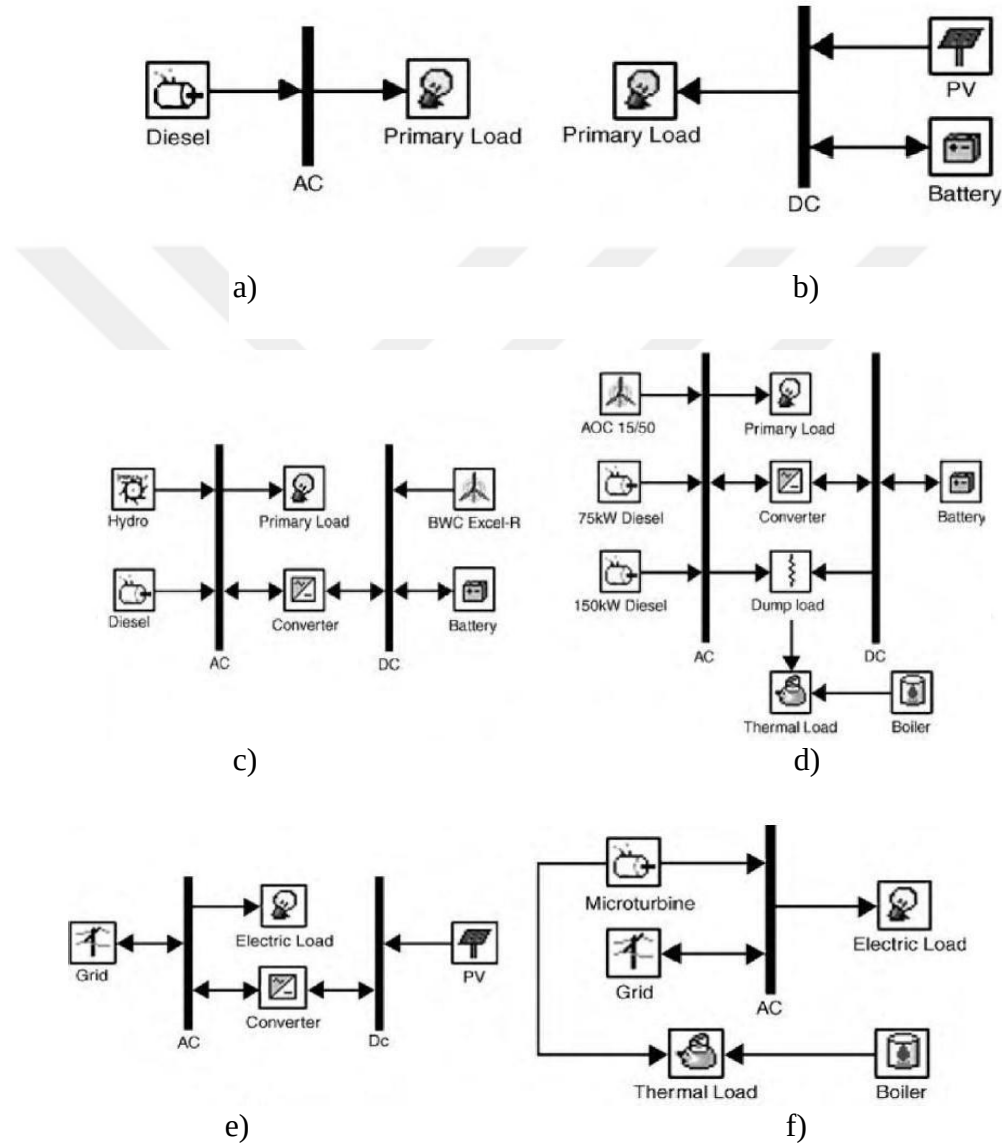
Simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi arasındaki durum Şekil 1.21’de gösterildiği gibidir. Optimizasyon alanının simülasyon alanını kapsaması bir optimizasyonun birçok simülasyondan oluştuğunu göstermektedir. Buna benzer olarak, hassaslık analizi alanının optimizasyon yuvarlağını kapsaması tek bir hassaslık analizinin birçok optimizasyondan oluştuğunu belirtir [50]



Şekil 1.21. Simülasyon, optimizasyon ve hassaslık analizi arasındaki ilişki.

1.4.1. Simülasyon

HOMER programının temel faydası bir mikro enerji sisteminin uzun dönem çalışma simülasyonunu yapabilmesidir. HOMER ‘ın optimizasyon ve hassaslık analizi aşamaları bu simülasyon yönetimine dayanmaktadır. Bunlara ilaveten çok çeşitli mikro enerji sistemlerinin yapılandırılması HOMER yardımıyla yapılabilmektedir. Şekil 1.22’de HOMER ‘ın modelleyebildiği örnek mikro enerji sistemleri gösterilmiştir.



Şekil 1.22. Mikro enerji sistem çeşitleri: a) Bir AC elektrik yükünü besleyen dizel sistem. b) Bir DC yükünü besleyen FV-batarya sistemi. (c) Batarya destekli ve AC/DC dönüştürücülü hibrit hidro-rüzgâr-dizel sistemi. d) Elektrik ve termal yükleri besleyen, rüzgâr türbinin ürettiği fazla enerjiyi rezistanslı ısıtıcıya aktaran rüzgâr-dizel sistemi. e) Şebeke bağlantılı FV sistem f) Şebeke bağlantılı kombine mikro türbin ısı-güç sistemi.

Simülasyon işleminin iki amacı vardır. Bunlardan ilki, sistemin gerçekleştirilebilirliğini ve uygulanabilirliğini belirlemektir. Eğer sistem kullanıcı tarafından belirlenen kısıtlamaları karşılayabiliyorsa ve söz konusu yükü karşılamaya yetecek enerji üretebiliyorsa, program sistemi uygulanabilir bir sistem olarak dikkate alır. Diğer amaç, sistemin kurulum maliyeti ile sistemin ömrü boyunca işletim maliyetlerinin toplamı olan sistemin yaşam döngüsü maliyetini (toplam net bugünkü maliyet) tahmini olarak hesaplamaktır. Yaşam döngüsü maliyeti, çeşitli sistem konfigürasyonlarının karşılaştırılması için uygun bir ölçüttür. Bu gibi karşılaştırmalar optimizasyon prosesinin temelini oluşturmaktadır.

HOMER bir sistemin tüm yıl boyunca çalışmasının simülasyonunu saatlik zaman verileri kullanarak yapar. HOMER, yıl boyunca saatlik basamaklar halinde enerji kullanımını hesaplayarak elektrik yükü ile karşılaştırmasını yapar ve üretim fazlası olması durumunda yenilenebilir enerji ile ne yapılacağını araştırır. Enerji açığı olması durumunda ise ilave enerji üretiminin mi yoksa şebekeden satın alınanın mı daha iyi olacağına karar verir. Bir yıl için sonuçların hesaplanmasından sonra, HOMER, kullanıcının belirlediği kısıtlamalara göre sistemin istenilen sınırlar içinde olup olmadığını inceler. Bu kısıtlar üretilen enerjinin toplam enerjiye oranı, toplam elektrik talebinin karşılanan kısmı veya kirletici emisyon değerleri olabilir. Ayrıca sistemin yaşam döngüsü maliyetini hesaplamak için yıllık yakıt tüketimi, yıllık jeneratör çalışma saati, batarya ömrü veya şebekeden satın alınan yıllık enerji miktarı gibi değerleri hesaplar.

Sistem yaşam döngüsü maliyetinin hesaplanması için kullanılan nicelik toplam net bugünkü maliyettir (Total Net Present Cost - NPC). Toplam net bugünkü maliyet, sistem parçalarının ilk yatırım maliyetlerini, proje ömrü boyunca oluşan parça değişim maliyetlerini, bakım-onarım maliyetlerini, yakıt maliyetlerini ve şebekeden alınan enerjinin maliyetini içerir. Şebekeye satışla elde edilen gelirler NPC'yi azaltır.

Birbirinden bağımsız yenilebilir enerji kaynaklarından oluşan birçok güç sistemi için bir saatlik zaman dilimi modellemenin doğruluğu açısından yeterlidir. HOMER'ın çok daha küçük zaman dilimi gerektiren anlık elektriksel değişimleri ve diğer dinamik etkileri modellemediği unutulmamalıdır. HOMER, yükteki artış veya yaşlanmayla birlikte batarya performansının kötüleşmesi gibi değişiklikleri de hesaplayamaz. Fakat tasarımcı tarafından duyarlılık analizi ile bu şartların etkileri analiz edilebilir.

1.4.2. Optimizasyon

Simülasyon sürecinde belirli bir sistem konfigürasyonu modellenirken, optimizasyon sürecinde en uygun sistem yapılandırması belirlenir. En uygun sistem yapılandırması, kullanıcı tarafından belirlenen kısıtları karşılayabilen ve en düşük toplam net bugünkü değerine sahip olanıdır. En uygun sistem yapılandırmasını bulmak için önce kullanıcının belirlediği kısıtlara uygun birçok farklı sistem tasarımı yapılır daha sonra uygun olanları toplam net bugünkü maliyet değerlerine göre sıraya konulur. En düşük net bugünkü maliyet değerine sahip olan yapılandırma en uygundur. İyileştirme sürecinin amacı tasarımcıya karar değişkenlerinin en uygun değerini vermektir. Olası karar değişkenleri şunlardır:

FV dizisinin kapasitesi - Rüzgâr türbinlerinin sayısı

Her bir jeneratör kapasitesi - Bataryaların sayısı

AC-DC dönüştürücülerin kapasitesi

Elektrolizör büyüklüğü

Hidrojen depolama tankının kapasitesi

1.4.3. Hassaslık Analizi

Hassaslık analizi, sistem çıkışının giriş verilerindeki değişimlere ne kadar duyarlı olduğunu gösterir. Hassaslık analizinde kullanıcı bir giriş değişkeni için birden çok değer girer. Bu giriş değişkenine „hassaslık değişkeni“ denir. Karar değişkeni olmayan bütün değişkenler hassaslık değişkeni olabilir. Şebeke enerjisi fiyatı, yakıt fiyatı, reel faiz oranı veya FV dizisinin ömrü duyarlılık değişkeni örnekleridir. HOMER’ da hassaslık değişkenlerinin her biri ayrı bir hassaslık durumunu belirtir. Örneğin, kullanıcı şebeke enerji fiyatı için 6 farklı değer ve reel faiz oranı için 4 farklı değer kullanırsa 24 adet ayrı hassaslık durumu oluşur. HOMER her hassaslık durumu için ayrı optimizasyon süreçleri uygular ve sonuçları tablo ve grafik biçimlerinde gösterir. Hassaslık analizinin öncelikli görevi belirsizliklerle ilgilenmektir. Kullanıcı, emin olmadığı değişkenleri belirli aralıklarda değişecek biçimde verebilir ve sonuçların nasıl değiştiğini inceleyebilir.

1.4.4. Ekonomik Modelleme

Paranın zaman değeri çeşitli finansal kararların alınmasında temel rol oynayan çok önemli bir kavramdır. Söz gelişi kiralamanın satın almaya tercih edilmesi, hisse senedi,

sermaye maliyetine ilişkin değerlendirmeler ile proje değerlendirme ve değer belirleme gibi konular paranın zaman değerini göz önünde tutmaksızın anlaşılamaz.

Yatırımların gerektirdiği para girişleri ile çıkışları farklı dönemlerde gerçekleşir. Para giriş ve çıkışlarının zaman içindeki dağılımı da değişik olabilir. Farklı zamanlarda alınan ya da verilen aynı miktardaki para, aynı değerde olmayacaktır, çünkü alınan ya da verilen paranın o günkü kullanım hakkından vazgeçilmesinin bir bedeli olmalıdır. Bu bedel, paranın değerinden doğmakta ve faiz olarak adlandırılmaktadır. Zaman tercihindan doğan paranın zaman değeri, enflasyon nedeniyle para değerinin düşmesinden farklı bir kavramdır, çünkü enflasyon olmasa da paranın zaman değeri vardır. Diğer bir ifadeyle enflasyon olmasa bile, zaman tercihinin yansıtan bir bedelin olması gerekir. O halde bir yatırımın para giriş ve çıkışlarının birbirleriyle karşılaştırılabilmesi için bunların zaman faktörünü göz önünde tutarak aynı zaman düzeyine indirgenmeleri gerekir. HOMER' ın temel ekonomik çıktısı “Toplam Net Bugünkü Maliyet” (NPC) olup bütün sistemler bu maliyete göre sıralanmaktadır. NPC, bir sistemin yaşam döngüsü maliyetini temsil etmek için kullanılır. Bu değer sistemin proje ömür süresindeki maliyetidir ve bu süreçteki bütün gelir ve giderleri içermektedir. Burada gelecekteki nakit akışları bugüne iskonto edilmiş olup proje yaşam döngüsü içinde meydana gelen tüm maliyetleri bugünün dolar para birimi cinsinden toplu ödenen para miktarı olarak özetler. NPC, bütün bileşenlerin başlangıç sermaye maliyetlerini, proje ömrü içerisindeki bileşenlerin değişim maliyetlerini, bakım- onarım ve şebekeden alınan enerji maliyetlerini içermektedir. Örneğin, yenilenebilir enerji sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri yüksek olmasına rağmen düşük işletme maliyetlerine sahiptirler. Geleneksel sistemler nispeten düşük sermaye maliyetine sahip iken işletme maliyetleri daha yüksektir. HOMER ekonomik hesaplamalarda yenilenebilir ve geleneksel sistem konfigürasyonlarını karşılaştırdığından hem sermaye hem de işletme maliyetlerini hesaba katmaktadır. Bu yüzden sistemlerin karşılaştırılmasında toplam net bugünkü maliyeti kullanmak daha doğru olacaktır. HOMER programı en düşük toplam net bugünkü maliyete sahip sistem konfigürasyonunu arar ve uygun sistemleri bu değere göre sıralar. HOMER, proje ömrü boyunca bütün fiyat artışlarının aynı oranda artacağını varsayar. Bu varsayım ile, gelecekteki nakit akışları bugüne indirgenirken, nominal faiz oranı yerine reel faiz oranı (enflasyon ayarlı) kullanılır. Bu şekilde enflasyon değeri analiz dışında bırakılmış olur.

2. GENEL KISIMLAR

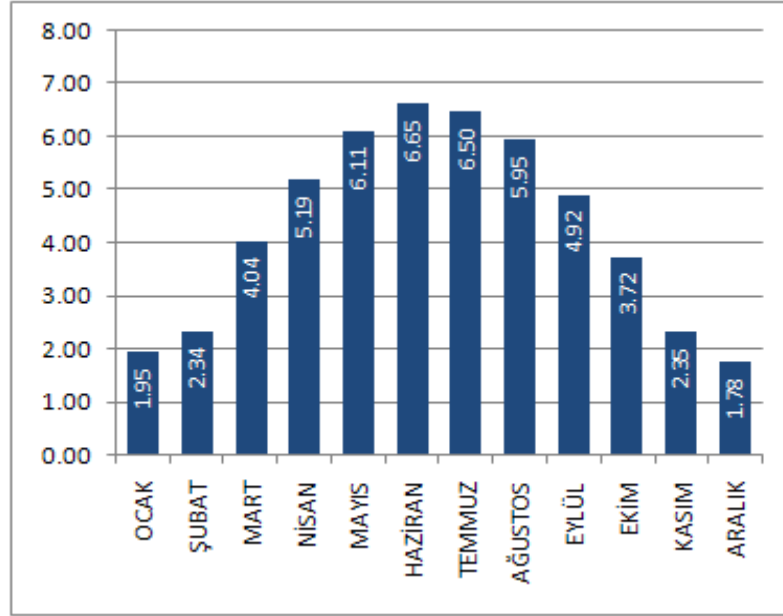
2.1. MATERYAL VE YÖNTEM

FV paneller gün içerisinde ışınlm seviyesi ile doğru orantılı olarak elektrik üretmeye başlarlar. Saatlik zaman dilimlerinde ışınlm ve sıcaklık zamana göre değışiklik gösterdiğinden fotovoltaiik modüllerin enerji üretim miktarı büyük oranda modüllerdeki ışınlm seviyesine, sıcaklığa ve radyasyon miktarına bağılıdır.

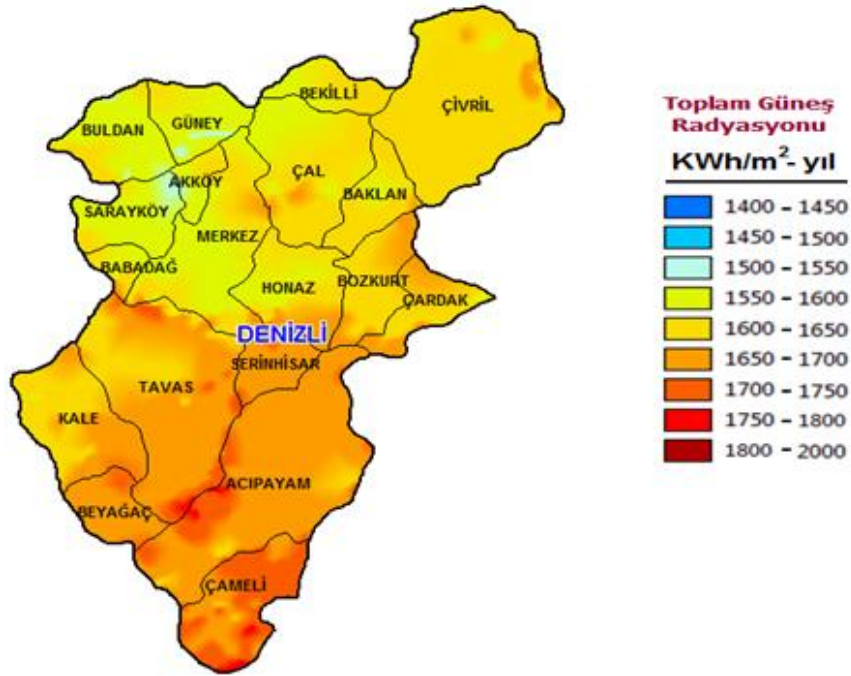
Burada değineceğimiz fotovoltaiik paneller hem şebekeye bağılı hem de şebekeden bağımsız sistemlerde kullanılmaktadır. Tez kapsamında hem şebekeden bağımsız hem de şebekeye bağılı bir sistem için güneş pili oluşturulan sistem incelenmiştir. Bu sistemi oluştururken HOMER simölasyon programı kullanılmış, programda kullanılan yük modeli bir teknik lisenin tüketim verileri kullanılarak oluşturulmuştur. Gözlem tahmin ve deneyime dayalı olarak yük karakteristikleri oluşturulup HOMER ile kıyaslanacak olup maliyet analizi yaklaşımı yapılacaktır.

2.2. ÖZGÜN DEĞER

Bu tez çalışması ile Teknobil Koleji okul ve sosyal tesis binaları elektrik tüketimi için gerekli optimum ekonomik bedelli fotovoltaiik panel ile sistem tasarımı planlanmaktadır. Bu planlamayla aynı zamanda yenilenebilir enerji bölümü içeren okul için bir çalışma yapılmış olup gerçekleştirilmesi için ön görü oluşturulması da hedeflenmektedir. Böylece bu tez çalışmasının hem ülke ekonomisine hem de bireysel ekonomiye katkısı olacaktır. Bu bağlamda Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğünün yayınladığı güneş haritasında okulun bulunduğu koordinatlara göre güneş radyasyon değeri (global ışınlm değeri) Şekil 2.1’de verilmiştir. Bu haritanın renklendirilmiş hali de Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Denizli global ışınlam değerleri [39].



Şekil 2.2. Denizli İli radyasyon haritası [39].

2.3. KAPSAM

Küresel enerji arzı, iletimi takibi, dağıtımı ve tüketimi yenilenebilir enerji kaynaklarının geleneksel enerji kaynaklarıyla yer değiştirmesi gibi büyük bir değişimin eşiğindedir. İklim değişikliği konusundaki sosyal farkındalık ve çevresel kaygılar, fosil yakıtlara ve

dolayısıyla yabancı ekonomilere olan bağımlılık bu küresel devrimin gerçekleşmesini sağlayan sebeplerden sadece birkaçıdır. Dünyanın birçok yerinde elektrik üretimi için bolca bulunan güneş enerjisi çevreye de birçok olumlu katkı sunmaktadır. Geç bir başlangıç yapmasına rağmen, Türk Fotovoltaik piyasası bölgedeki en yüksek güneş ışınlamı değeri, gelişmekte olan ekonomisi, güçlü işgücü, maliyetlerdeki düşüşler ve kamuoyunun bu teknolojiye artan ilgileriyle beraber büyüyen ve hâlihazırda büyük ölçütlere sahip bir Pazar olarak kabul edilebilir. Örneğin Türkiye’de yılda ortalama 2640 saat güneş görülüyorken Güneş enerjisinden dünyada en fazla faydalanan ülke olan Almanya’da ise güneşlenme süresi yılda ortalama 1600 saattir. Ülkemizde potansiyel olduğu yapılan araştırmalardan da bilinmektedir. Bu potansiyeli değerlendirmek için her yıl artan sayıda farklı yaklaşımları esas alan proje çalışmaları yapılmaktadır. Ancak yapılan bu tür çalışmaların yenilenebilir enerji üretiminin ve kullanımının toplum katmanlarında üreten tüketici uygulaması bazında yeterince gelişme göstermediği görülmektedir. Bu eksikliği gidermek amacıyla pazarın yaklaşık % 70’ini oluşturan son tüketici ve küçük konutların enerji ihtiyacını minimum kurulum, üretim ve işletme maliyeti ile karşılayan fotovoltaik sistemin üreten tüketici konseptine uygun olarak tasarlayıp kullanıma sunmaktır. Böylece yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanımının ülke geneline yayılması mümkün olacaktır. 20-25 yıllık sistem, ömrü boyunca ülke ekonomisine katkı sağlamanın yanında, ihtiyaç duyulan enerjiyi daha çevreci bir yolla yani atmosfere daha az karbon salacak şekilde karşılamaktadır.

2.4. YÖNTEM

Ülkemizin özellikle güneş enerjisinden faydalanabilmek için yeterli potansiyele sahip olduğu yapılan araştırmalar ve uygulamalardan bilinmektedir. Bu potansiyeli tam olarak değerlendirebilmek için her yıl artarak farklı yaklaşımli proje çalışmaları yapılmaktadır. Ancak yapılan bu tür çalışmaların yenilenebilir enerji üretiminin ve kullanımının toplum katmanlarında üreten tüketici uygulaması bazında yeterince gelişim göstermediği görülmektedir. Bu eksikliği de gidermek adına hazırlanan bu tez çalışmasında amaçlanan hedef, güneş enerjisi potansiyeli böylesine yüksek bir konumda bulunan Denizli bölgesi ve çevre illerdeki Teknobil okulu ile birlikte diğer teknik okulların enerji ihtiyacını minimum kurulum, üretim ve işletme maliyeti ile karşılayan FV sistemin, üreten tüketici konseptine uygun tasarım ve kurulum açısından modelleyip kullanıma sunmaktır.

Bu amacın doğrultusunda Denizli ve çevre illerdeki bu okulda gereksinim duyulan enerjinin tamamını veya büyük bir kısmını, FV sistem ile üretmek ve üretilen enerjinin birim maliyetini makul seviyelere indirmek mümkündür. Böylece üretilen birim enerji maliyetinin düşürülmesi ile teknik okulların işletme maliyetlerini düşürmenin ve özellikle tüketimin olmadığı zamanlarda üretilen enerjinin satışı ile elde edilecek kazanç sağlamanın bu tür uygulamaların ülke genelinde yaygınlaşmasında önemli bir yere sahip olacağı anlaşılmaktadır.

Bunun yanı sıra bu tez çalışmasının bir diğer amacı, elektrik şebekesine bağlı bu tip okullarda düşük maliyetli elektrik ile tüketimin olmadığı zamanlarda gelir sağlayan tüketiciler yaklaşımının, uygulama bazında Denizli ve çevresindeki illerde uygun konumlardaki okullar için yaygınlaştırmaktır. 25 yıllık sistem ömrü boyunca ülke ekonomisine katkı sağlamanın yanında, ihtiyaç duyulan enerji daha çevreci bir yolla, yani atmosfere daha az karbon salacak şekilde karşılanabilecektir.

Bu tez çalışmasında Denizli ile ve çevresinde mevcut güneş potansiyelini değerlendirmek için en düşük kurulum ve işletme maliyetine sahip FV sistemin modellenmesi ele alınmaktadır.

Temel meteorolojik olarak yapılan ölçümler ile Denizli ve çevresi genel olarak güneş enerjisinden ticari olarak yararlanma noktasında gayet elverişli bölgeler arasında yer aldığı görülerek; Denizli ili ve çevresi için yenilenebilir enerji potansiyelini bireysel veya toplu olarak değerlendirmenin mümkün olduğu düşünülmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına bağlı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün (YEGM) hazırlamış olduğu güneş haritasına bakıldığında, Denizli ilinde bir yılda 1 m²'lik yüzeye gelen enerji miktarı 1500 ila 1750 kWh arasında olduğu görülmektedir. Yani, ortalama verimi 0,17 ve yüzey alanı 1,6 m² olan mono kristal bir FV panel ile bir yılda ortalama 408-476 kW'lık enerji üretmek mümkündür. Üretilen bu enerji miktarı yaz mevsiminde daha büyük değerlere ulaşırken kış mevsiminde ise daha küçük değerlere ulaşmaktadır. Yapılan ölçümlerde Denizli ilinin aylık ortalama güneşlenme süresi Temmuz ayında 11,83 saat ile en yüksek, Aralık ayında ise 4,23 en düşük değerdedir.

Benzer şekilde bir günde 1 m²'lik yüzeye gelen güneş enerjisi miktarının Haziran ayında 6,73 kWh, Aralık ayında ise 1,79 kWh olduğu tespit edilmiştir. Bunun anlamı % 17 verimli mono kristal FV panel 1,6 m² düzlemsel alanı ile Haziran ayında 1,83 kWh, Aralık ayında ise 0,49 kWh civarında enerji üretmesi mümkündür. Elbette yüzey alanı -

panel sayısı arttıkça günlük üretilen güç miktarının artacağı da ortadadır.

Buradan anlaşılacağı üzere verim üretilen güç açısından oldukça önemli bir faktördür ve bu kullanılan panelin üretim teknolojisi ile ilgilidir. Günümüzde teknolojisinde mono kristal ve poli kristal gibi iki tür panel piyasada yaygın biçimde enerji üretiminde kullanılır ve birincisinin verimi ikincisine göre yaklaşık % 15 daha fazladır. Böyle bir panelin 25 yıllık ömrü olduğu ve enerji kaynağına herhangi bir ücret ödenmediği düşünüldüğünde bu değerler hiç te azımsanmayacak miktarlardadır.

Bu tez çalışmasının özgünlüğü bilimsel temellere dayalı olarak Denizli ilinde bu tip okul uygulaması olarak ilk kez yapılıyor olması ve üreten tüketici konsepti sunuyor olmasıdır. Tezin çıkış noktası belirlenen lokasyon için Denizli ili güneşlenme oranı verileri kullanılarak okul için FV sistem nasıl olmalıdır, maliyeti nedir ve bir yılda bu sistemle ne kadar enerji üretmek mümkün olabilir sorusu ile başlamaktadır. 24 saatlik tüketim verileri oluşturulması sistem tasarımı için ilk adımdır. Bundan sonra üretim tasarımı yapılacaktır. Bu problem ile ilgili çözüme başlarken meteorolojik verilerin belirlenen lokasyona uyumlu olduğu tespiti önem arz etmektedir. Bundan sonraki etapta ışıyım miktarı verileri alınarak günün her saatini temsilen 24 adet veriye dönüştürülür. Böylelikle her bir saat dilimindeki tüketim miktarlarına karşılık güneşten üretilecek enerji miktarları kolaylıkla hesaplanır.

Üretilen bu enerji ile ilgili okulda bulunan elektriksel yüklerin en az maliyetle beslenmesi, bakım ve kurulumdaki maliyetlerinin en aza indirgenmesi, tüketime göre hesaplanacaktır. Böylelikle 24 adet her bir saat diliminde üretilmesi gereken güç değerleri bulunmuş olur ve mevcut elektriksel tüketim profili veya yükler göz önüne alınarak güç birimlerinin planlaması ve tasarımı yapılır. Bu şekilde hem kurulumda, hem üretimde hem de işletme maliyeti kalemlerinde harcamayı mümkün olduğunca aşağıya çekebilir.

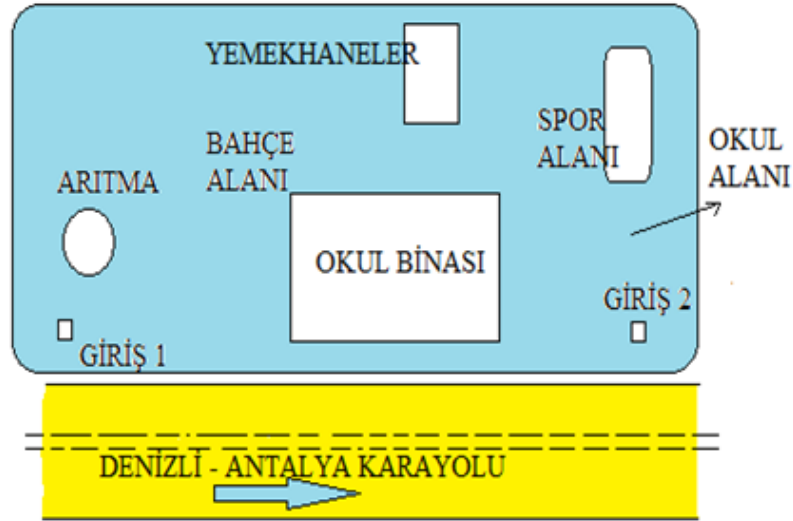
Sistemin modellemesiyle ilgili probleme genel olarak bakıldığında bunun bir etkili tahmin problemi ve ayrık eniyileme olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, yaygınlaşması durumunda ülke ekonomisine görece katkı sağlayacağı aşikârdır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bir fotovoltaik panel sisteminde ilk bilinmesi gereken tüketim değerlerinin neler olduğudur. Tüketim miktarları, süreleri ve saatleri bu tasarım için gerekli argümanlardır.

3.1. TÜKETİM

Teknobil Özel Bilim Anadolu Teknik Lisesi 2 Temmuz 2017 tarihinde kurulmuştur. Yerleşkesi 15.000m² ye kurulu inşaat toplan alanı 8.000m² olan bir okuldur. Okul binasından bağımsız yemekhaneler ve arıtma tesisleri ile spor alanı bulunmaktadır. Bu okula ait kroki Şekil 3.1 ' de ve yerleşkenin fotoğrafı Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.1. Teknobil Koleji krokisi.



Şekil 3.2. Okul yerleşkesinin fotoğrafı.

Bilindiği üzere elektrik projeleriyle uygulama alanlarındaki tüketim güçleri zaman içerisinde yer yer farklılık gösterebileceğinden ötürü mevcut mahallerdeki yükler yerinde tespit edilmiştir. Okula ait kurulu güç toplam 78,72 kW ‘tır. Mahallerdeki yük tipine bağlı güç dağılımı Çizelge 3.1 de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Okul tüketimi güç dağılımı.

Mahal Yük Tipi	Toplam Güç (W)	Çalışma Süresi (saat)
Sınıflar	16500	6
Koridor	1920	10
Müdür odası	400	6
Müdür Yardımcısı/muhasebe	2000	8
Kantin	4840	4
Kantin buzdolabı	300	10
Spor salonu	1000	10
Kazan	3000	15
Dış aydınlatma	4800	15
Yemekhane	8000	4
Yemekhane buzdolabı	300	10
Laboratuvar &Atölyeler	20000	3
İç Tüketim Diğer	2500	10
Bekçi Kulübeleri	3160	20
Arıtma tesisi	10000	3
Toplam kurulu güç	78720	

Bu güç dağılımına karşın yapılan değerlendirmede günlük olarak her bir yükün çalışma saati çalışması yine Çizelge 3.1 de verilmiştir. Bu çalışma süreleri gözleme ve beyana dayalı veriye göre hazırlanmıştır. Güç dağılımına bakıldığında aydınlatma ile ilgili kısımlar yükün yoğunluğunu oluşturmaktadır. Aydınlatma alanlarında belirli aydınlık düzeyini sağlamak için muhasebe, müdür odası, müdür yardımcısı odası, koridorların ve sınıfların sürekli olarak armatürlerin çalıştığı görülmüştür. Bekçi odası, dış aydınlatma bölümleri de sürekli olarak belirli saatlerde çalıştığı gözlemlenmiştir. Bu dağılımda laboratuvar ve atölyeler yükü en yüksek kurulu güce sahip olmasına karşın girişlerinde bulunan enerji analizörleri incelendiğinde günlük olarak ortalama toplam 3 saat çalıştığı görülmüştür. Bu süre ders programında yer alan atölye ve laboratuvar ders saatleriyle örtüştüğü görülmüştür.

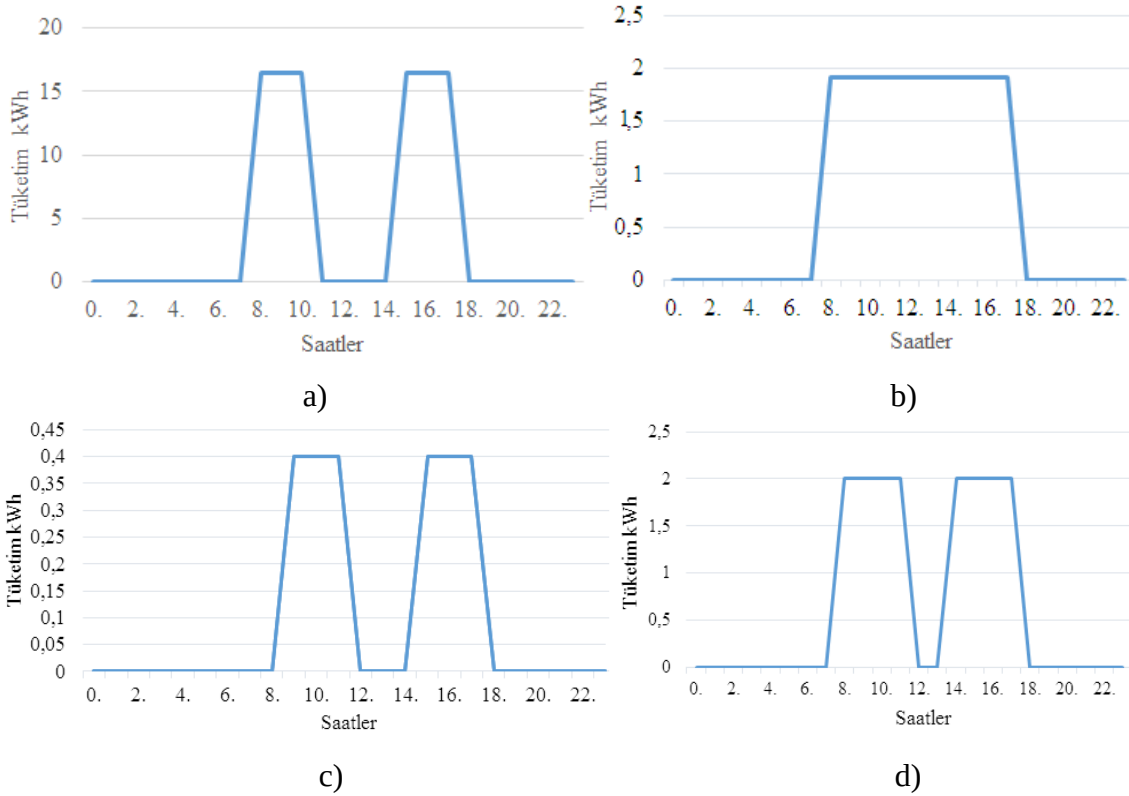
Çizelge 3.1 de verilen güçlere göre yapılan tespitler ışığında mahallere ilişkin yüklerin çalışma süreleri ve yük dağılımı Çizelge 3.2 verilmiştir.

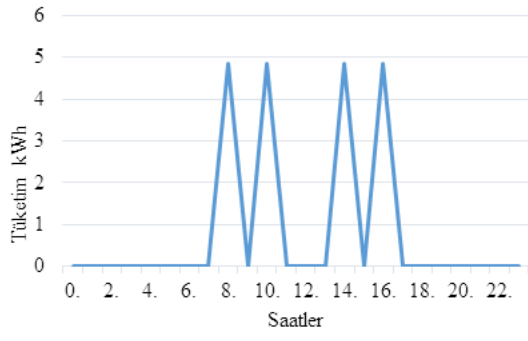
Çizelge 3.2. Yüklerin çalışma süreleri ve yük dağılımı.

MAHALLER	SAATLER																							
	0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.
Sınıflar	0	0	0	0	0	0	0	0	17	17	17	0	0	0	0	17	17	17	0	0	0	0	0	0
Kordior	0	0	0	0	0	0	0	0	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	0	0	0	0	0	0
Müdür Odası	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0,4	0,4	0	0	0	0,4	0,4	0,4	0	0	0	0	0	0
Müd. Yard.,Muh.	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	0	0	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0
Kantin	0	0	0	0	0	0	0	0	4,8	0	4,8	0	0	0	4,8	0	4,8	0	0	0	0	0	0	0
Kantin Buzdolabı	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0	0,3	0	0,3	0,3	0	0,3	0	0,3	0	0	0,3	0
Spor Salonu	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Kazan	0	3	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	3	0	3	0	3	0	3	3	0
Dış Aydınlatma	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
Yemekhane	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ye. Buzdolabı	0	0	0,3	0	0	0,3	0	0	0,3	0,3	0,3	0	0,3	0	0	0,3	0	0,3	0	0	0,3	0	0,3	0
Laboratuvarlar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	20	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
İç Tüketim Diğer	0	0	0	0	0	0	0	0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	0	0	0	0	0	0
Bekçi Klubeleri	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	0	0	0	0	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Artma Tesisi	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0

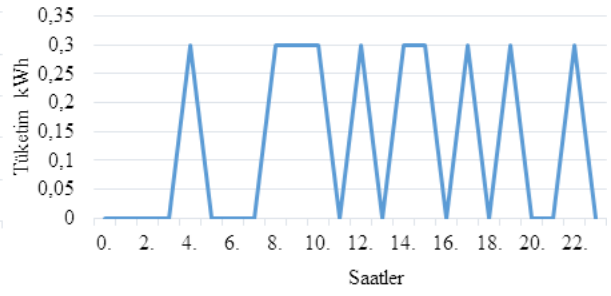
Çizelge 3.2’de verilen tüketimlerin grafiksel gösterimi Şekil 3.3’te verilmiştir. Burada yer alan grafiklerde her bir mahallin 24 saatlik dilimde saatlik olarak tüketimleri gösterilmiştir. Bu tüketimler sistem tasarımında oldukça önemlidir. Fotovoltaik sistemin anlık üretim değeri ile tüketimin belirli bir kısmını ya da tamamını karşılayabilecek bir seviyede olması işletme maliyeti açısından oldukça önemlidir.

Sınıflar 33 adet olup her biri 500W toplam aydınlatma düzeyine sahiptir. Saatlik bazda günlük tüketim grafiği Şekil 3.3 a) 'da verilmiştir. Koridorlar nispeten karanlık olduğu için gündüzleri de kullanıldığından Şekil 3.3 b)'de verilmiştir. Şekil 3.3 c)'de Müdür odası belirli saatlerde çalıştığı gözlemlenerek bu saatlere göre hesaplanmıştır. Şekil 3.2 d)'de Müdür yardımcısı ve muhasebe odaları belirli saatlerde çalıştığı gözlemlenerek bu saatlere göre hesaplanmıştır. Şekil 3.3 e)'da kantin tüketimi belirli saatlerde çalıştığı gözlemlenerek bu saatlere göre hesaplanmıştır. Şekil 3.3 f)'de kantin buzdolabı tüketimi belirli saatlerde çalıştığı gözlemlenerek bu saatlere göre hesaplanmıştır. Şekil 3.3 g)'de spor salonu kullanım saatlerine göre hesaplanmıştır. Şekil 3.3 h) kazan dairesi çalışma saatlerine göre hesaplanmıştır. Şekil 3.3 ı)'de dış aydınlatma saatleri ön görülerek bu saatlere göre hesaplanmıştır. Şekil 3.3 i)'de yemekhane kullanım saatleri gözlemlenerek hesaplanmıştır. Şekil 3.3 j)'de yemekhane buzdolabı saatleri hem gözlem hem de tahmine dayalı olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.3 k)'de ana elektrik sarfıyat kalemlerinden atölye ve laboratuvarların güçleri gözlemlenerek hesaplanmıştır. Şekil 3.3 l)'de ön görülmeyen tüketimler tahmini olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.3 m)'de arazide bulunana bekçi kulübeleri tüketimleri gözlemlenerek hesaplanmıştır. Şekil 3.3 n)'de arıtma tesisi tüketimi hesaplanmıştır.

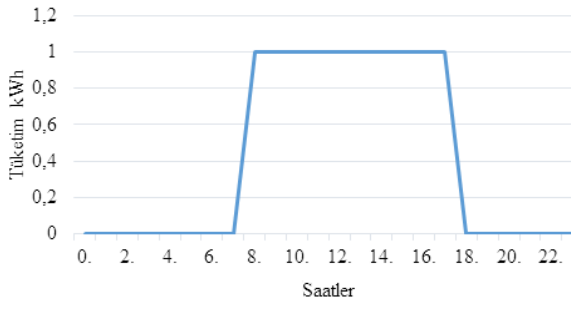




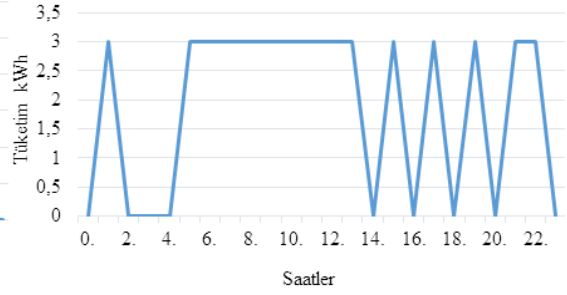
e)



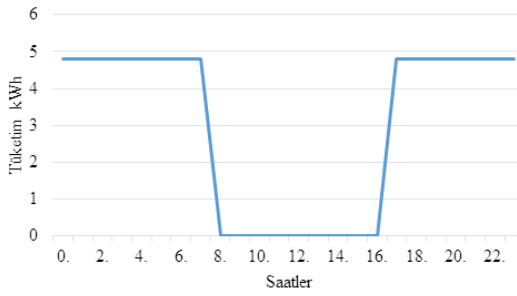
f)



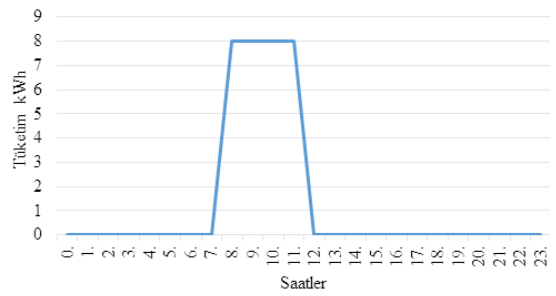
g)



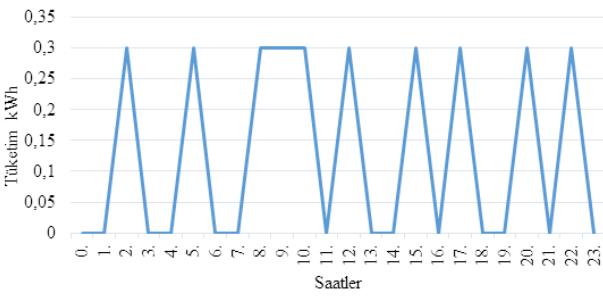
h)



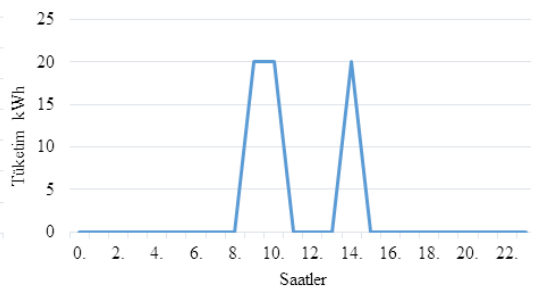
i)



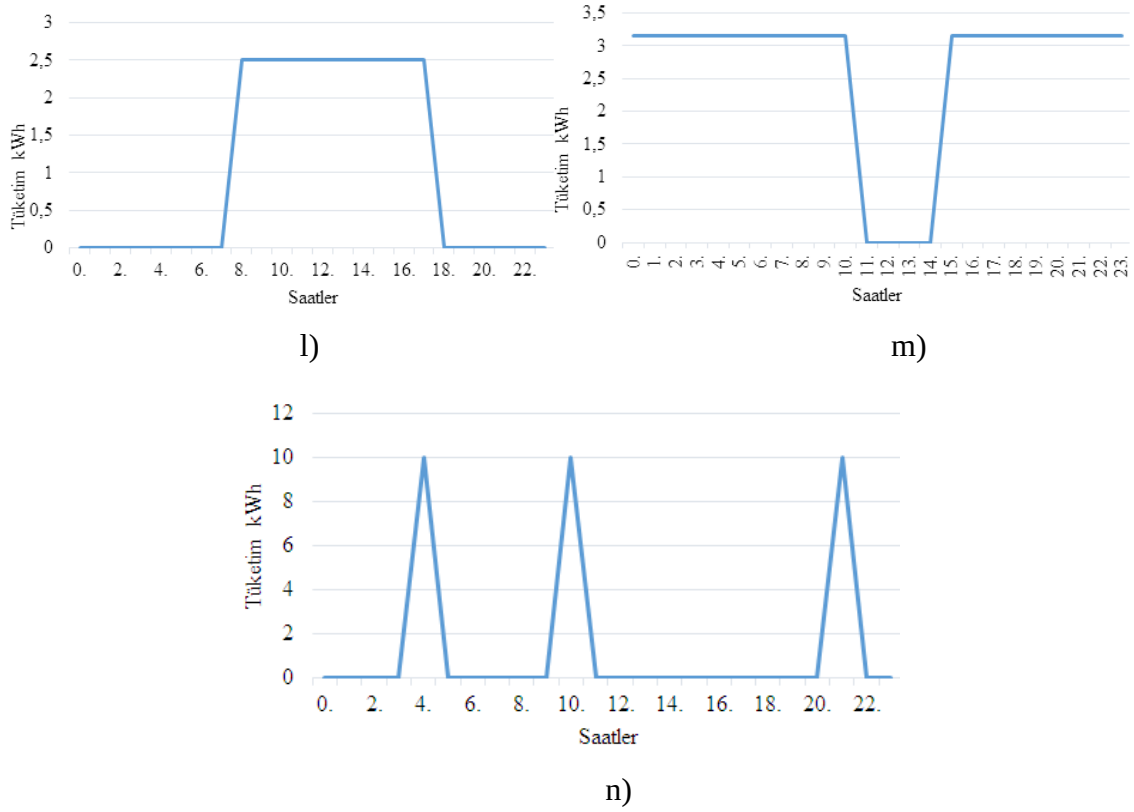
j)



k)



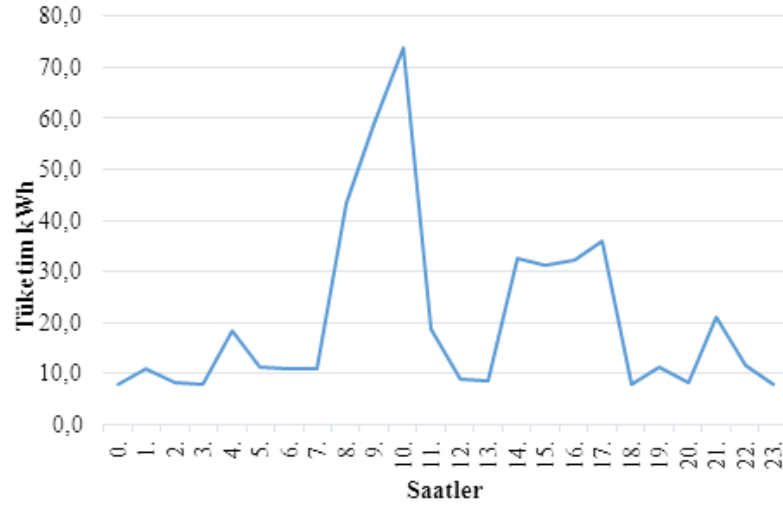
l)



Şekil 3.3. Mahallere ait tüketimler.

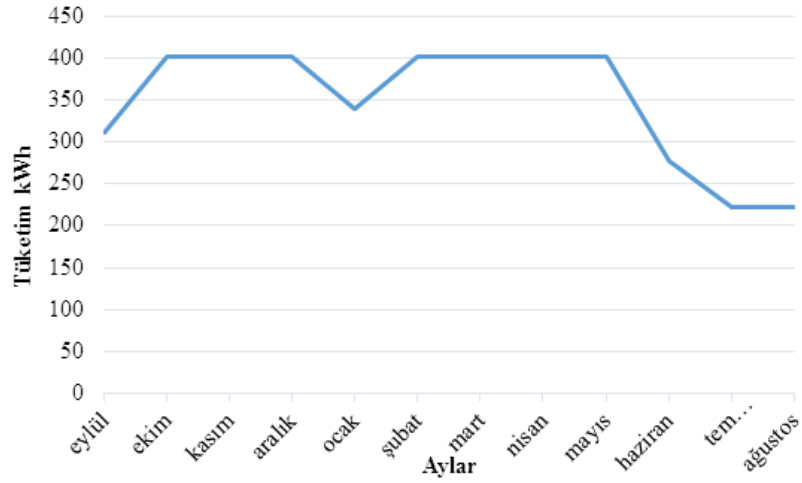
Buna göre toplam tüketimler Şekil 3.4'te verilmiştir. Şekil 3.4'te gece yarısı saat 00.00'dan itibaren güneşin doğuşuna kadar olan sürede (5.00-6.00 arası) bahçe aydınlatmaları ağırlıklı bir tüketim olduğu görülmektedir. Saat 7'de mesainin ve derslerin başlamasıyla birlikte tüketim değerleri artış göstermekte; saat 10.00 civarında ise en yüksek talep gücü olan 78 kWh civarına çıkmaktadır. Daha sonra saat 12.00-13.00 arası yemek molasında ortalama 10 kWh'lık bir tüketim görülmekte ve öğleden sonraki ders saatlerinde 35 kWh'lık tüketim seviyelerine çıkmaktadır. 18.00 mesai bitiminden sonra arıtmanın çalışmasıyla 20 kWh mertebelerine çıkan tüketim 22.00'dan sonra 10 kWh'lık tüketim seviyelerini görmektedir.

Şekil 3.4'te toplam tüketimler saatlik bazda verilmiştir. Sınıflardaki ders saatleri göz önünde bulundurularak yapılan tasarımda ders saatleri ders yayılımı açısından güneş paneli üretim miktarına göre değerlendirilerek yapılmış ve en optimum nokta sağlanmıştır. 10. saatte bulunan en ağır yük haline karşılık diğer yük saatlerine göre dağılım sağlanmıştır.



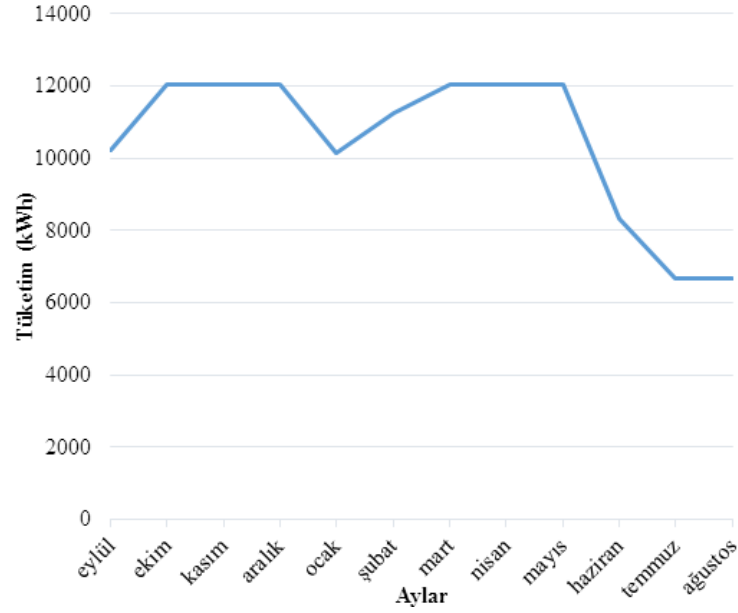
Şekil 3.4. Toplam tüketimler.

Şekil 3.5'te görüldüğü üzere okulun açılışı eylülün ortasında olup ocak şubat arasında yarıyıl tatili olacak ve haziranın ortalarında da ikinci dönem bitecektir.



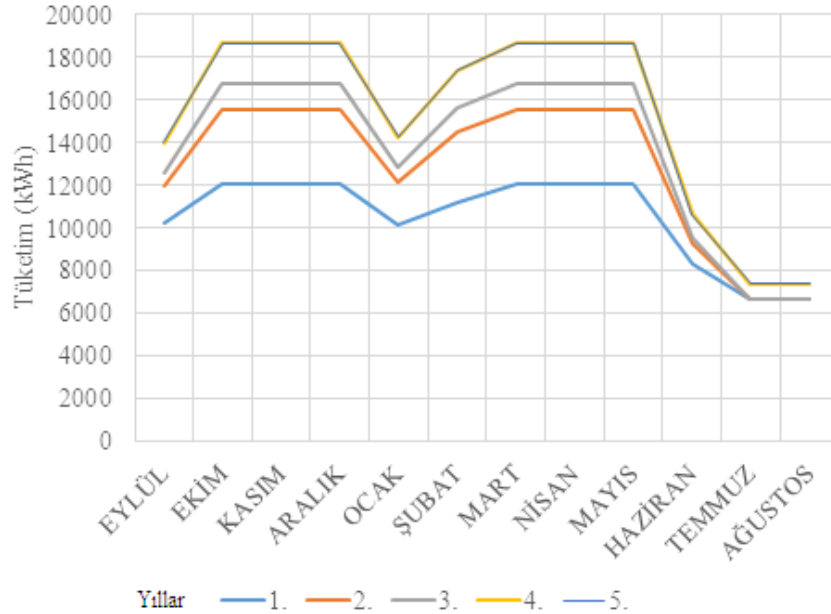
Şekil 3.5. Aylık bazda günlük ortalama tüketim.

Şekil 3.6'da ilk yıla ait aylık ortalama tüketim değerleri görülmektedir. Bu değerlere bakıldığında Şekil 3.5'te de olduğu üzere okulun açılışı eylülün ortasında olup ocak şubat arasında yarı yıl tatili olacak ve haziranın ortalarında da ikinci dönem bitecektir.



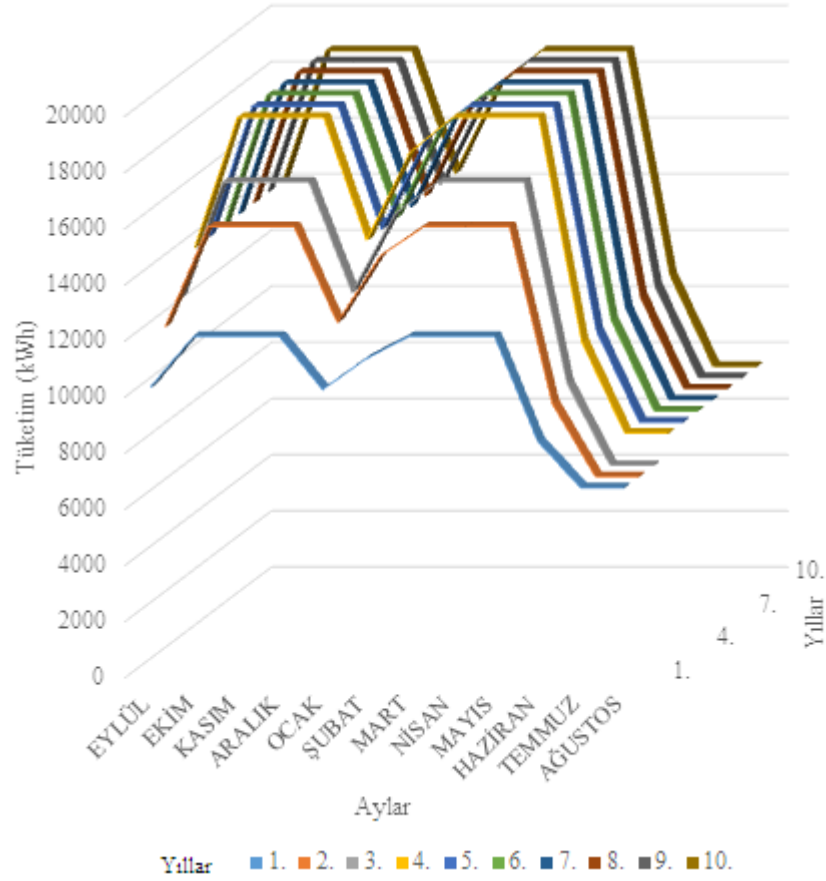
Şekil 3.6. 1.yıla ait aylık ortalama tüketim.

Şekil 3.7’de ilk 5 yıla ait aylık ortalama tüketim değerleri görülmektedir. Okul idaresinin planlamasında açılacak yeni bölüm ve yapılacak yeni mahallerin olacağı ve buna göre kurulu gücün artacağı bilinmektedir. Bu kurulu güç değerlerine göre yıllık tüketimlere bakıldığında aylık tüketim değerlerinin seneden seneye artış gösterdiği 4. ve 5. yıllarda ise aynı kaldığı görülmektedir.



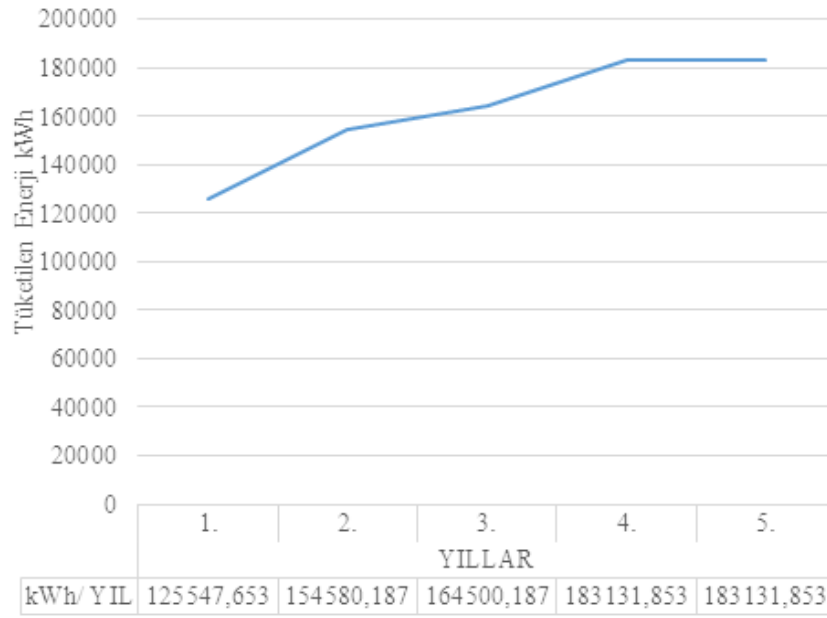
Şekil 3.7. 5 Yıllık ortalama aylık tüketim.

Şekil 3.8’de ise 10 yıllık ortalama tüketim değeri verilmiştir. İlk üç yıl yeni bölümler için ilave kısım açılacağından ötürü talep gücü yıldan yıla artmaktadır. 4. ve sonrasındaki yıllarda kurulum tamamlanıp diğer bölümler devreye gireceğinden tüketim miktarlarının sabit olacağı öngörülmüştür.



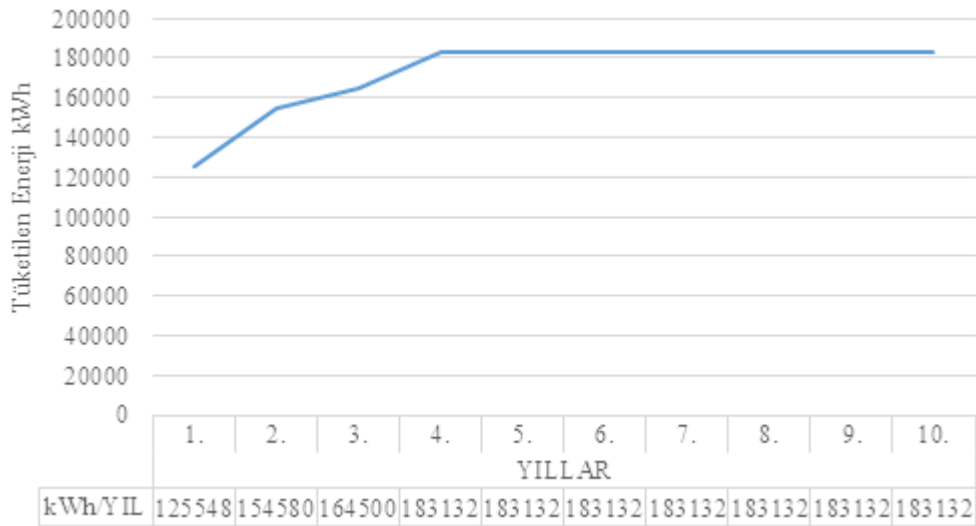
Şekil 3.8. 10 yıllık aylık ortalama tüketim.

Yıllık bazda tüketilen toplam enerji miktarı Şekil 3.9’da verilmiştir. Buradan da görüleceği üzere okul işletmesinde yeni birimlerin açılıp kurulu gücün artırılacağı öngörülmektedir.



Şekil 3.9. 5 Yıllık toplam tüketim.

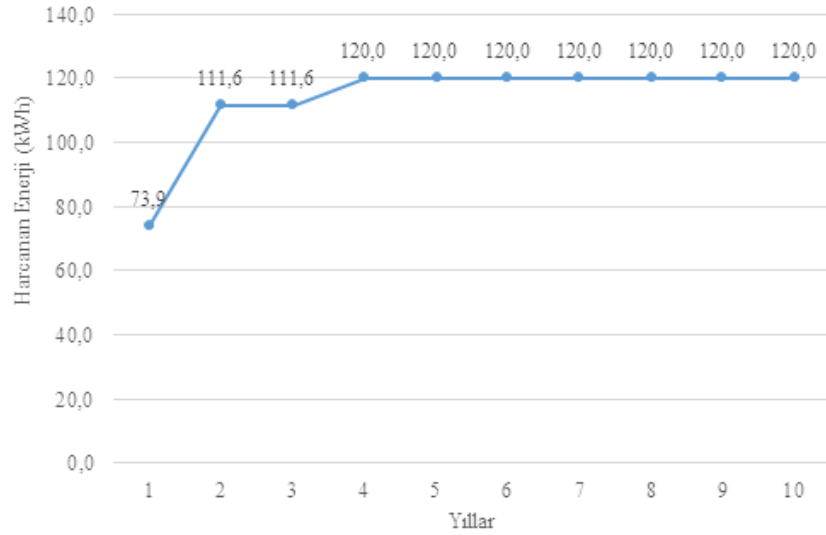
5 yıllık toplam tüketimde olduğu gibi benzer şekilde 10 yıllık tüketim için tüketilen toplam enerji miktarı Şekil 3.10'da verilmiştir. Buradan da görüleceği üzere okul işletmesinde yeni birimlerin yatırımının 4.senede tamamlanacağı gözlemlenmektedir.



Şekil 3.10. 10 yıllık toplam tüketim.

Sistem tasarımının için talep gücünün en yüksek olduğu saatler üzerinden yapılması; sistemin sadece toplam yük değerlendirmesine göre değil aynı zamanda anlık ihtiyaç duyacağı talep gücünü de mümkün olduğunca karşılayabilmesi açısından önem arz etmektedir. Bu sebeple Çizelge 3.2 incelendiğinde tüm yüklerin saat 10 en yüksek talep

gücüne ulaştığı görülmektedir. Buna göre bu saatte 10 yıllık harcanan enerjinin dağılımı Şekil 3.11’de görülmektedir.



Şekil 3.11. Saat 10.00'daki yük dağılımı.

3.2. GÖZLEM VE TAHMİNLERLE YÜK DAĞILIMINA GÖRE FOTOVOLTAİK SİSTEMİ TASARIMI

3.2.1. Tüketim Değerlerine Göre Fotovoltaik Sistemin Tasarımı

Okula ait çatıda güney cephe etkin kullanım alanı yaklaşık 700 m² olduğu tespit edilmiştir. Bölüm 3.1 tüketim hesaplarında, günlük saatlik bazda enerji tüketimleri hesaplanmıştı. Bu değerler yerinde tüketimlere göre belirlenmiştir. Bunlara bakıldığında tüketim miktarı 499 kWh/gün olarak hesaplanmıştır. Aylık bazda saatlik tüketimden hesaplanan ortalama aylık tüketim değeri 10.462 kWh olarak bulunmuştur. Yıllık ortalama tüketim değerleri Şekil 3.8'den bakıldığında 125.548 kWh – 183.132 kWh arasında değişmektedir. Bu değişim ilk 4 yıl boyunca okul kapasitesinin artırılması;

Dolayısıyla yapılacak laboratuvar vs. yatırımları ile kurulu gücün artması ön görülmüştür.

Yatırım maliyeti de göz önünde bulundurularak; 4 yıllık değere göre ortalama yıllık tüketime karşılık üretilebilecek enerji miktarı ortalama değer olan 154.340 kWh değerini karşılamalıdır.

Seçilen panel teknik verileri aşağıdaki gibidir:

Panel Boyutu: 1.600 mm x 1.000 mm,

Maksimum Panel Gücü: 260 W,

Maksimum Panel Verimi: % 17.

3.2.2. Fotovoltaik Sistemin Gücüne Göre Tahmini Üretim

FV sistem tasarım gücüne ulaşmak için Şekil 2.1’de yer alan Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü’nün yayınladığı global bölgesel ışıınım değerleri kullanılarak Çizelge 3.3 oluşturulmuştur. Burada ayların gün sayılarına göre toplam yıllık üretim miktarı 1.570,37 kWh/m² olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.3. Aylara göre noktasal FV sistem üretim değerleri.

Aylar	İşınım Değerleri (kWh/m ²)	Gün Sayısı	Aylık Üretim Değeri (kWh/m ²)
Ocak	1,95	31	60,45
Şubat	2,34	28	65,52
Mart	4,04	31	125,24
Nisan	5,19	30	155,7
Mayıs	6,11	31	189,41
Haziran	6,65	30	199,5
Temmuz	6,5	31	201,5
Ağustos	5,95	31	184,45
Eylül	4,92	30	147,6
Ekim	3,72	31	115,32
Kasım	2,35	30	70,5
Aralık	1,78	31	55,18
Yıllık Toplam Üretim Değeri (kWh/m²)			1570,37

Çizelge 3.4. Aylara göre çatı alanı FV sistem net üretim miktarı.

Yıllık Brüt Üretim Miktarı (kWh)				180.733,88
Yıllık Toplam Kayıp Miktarı (kWh)	Radyasyon kaybı	0,020	3.614,68	24.210,92
	Kirlenme faktörü	0,020	3.614,68	
	FV kayıp –parlama	0,005	903,67	
	FV kayıp modül	0,008	1.445,87	
	FV kayıp sıcaklık	0,045	8.133,02	
	FV kayıp uyumsuzluk	0,010	1.807,34	
	FV kayıp ohmik kablolama	0,010	1.807,34	
	Evirici kaybı işleme anı	0,015	2.406,09	
	Evirici kaybı nominal güç	0,003	478,22	
Yıllık Net Üretim Miktarı (kWh)				156.522,96

Buna göre aylık üretim miktarlarının verildiği Çizelge 3.5'te de görüldüğü üzere FV sistemin yıllık olarak toplam üreteceği enerji 156.523 kWh olacaktır.

Çizelge 3.5. FV Sisteme ait aylık üretim miktarları.

Aylar	Üretim Miktarı (kWh)
Ocak	6.025,21
Şubat	6.530,55
Mart	12.483,00
Nisan	15.519,03
Mayıs	18.879,00
Haziran	19.884,70
Temmuz	20.084,04
Ağustos	18.384,62
Eylül	14.711,68
Ekim	11.494,25
Kasım	7.026,92
Aralık	5.499,94
Yıllık Toplam (kWh)	156.522,95

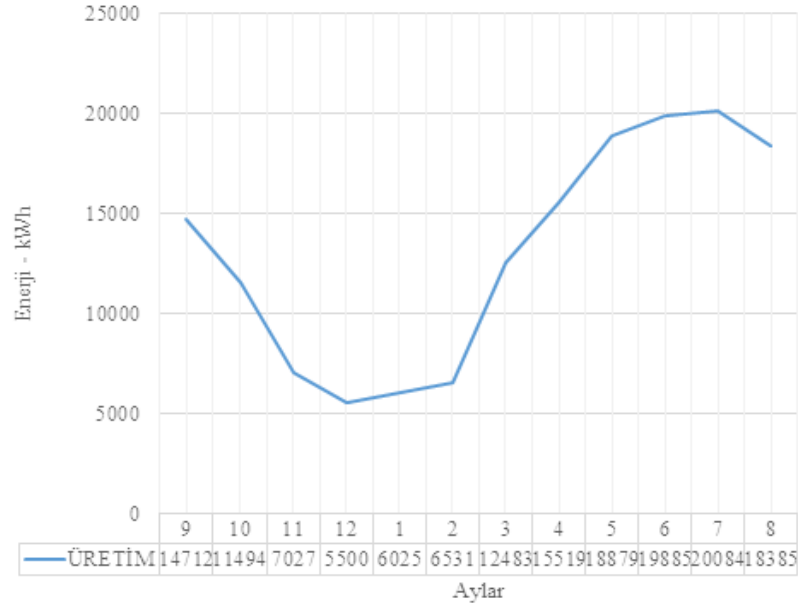
Etkin alanı yaklaşık 700 m² olan okulun ve 677 m²'lik hesaplanan panel alanına karşılık her bir panelin alanı 1,6m² idi. Buna göre toplam 423 adet panel gerektiği hesaplanmaktadır. Buradan her panelin gücü 260W ve toplam sistemin gücü 110 kWp olarak hesaplanır.

$110 \text{ kW} / 0,26 \text{ kW} = 423$ adet panel $423 \times 1,6 \text{ m}^2 = 677 \text{ m}^2$ kurulum alanını karşılamaktadır.

Evirici ise yaklaşık % 10 düşük güçte seçilerek 100 kW olarak belirlenmiştir.

3.2.2.1. Fotovoltaik Sistemin Tahmini Üretim Grafiği

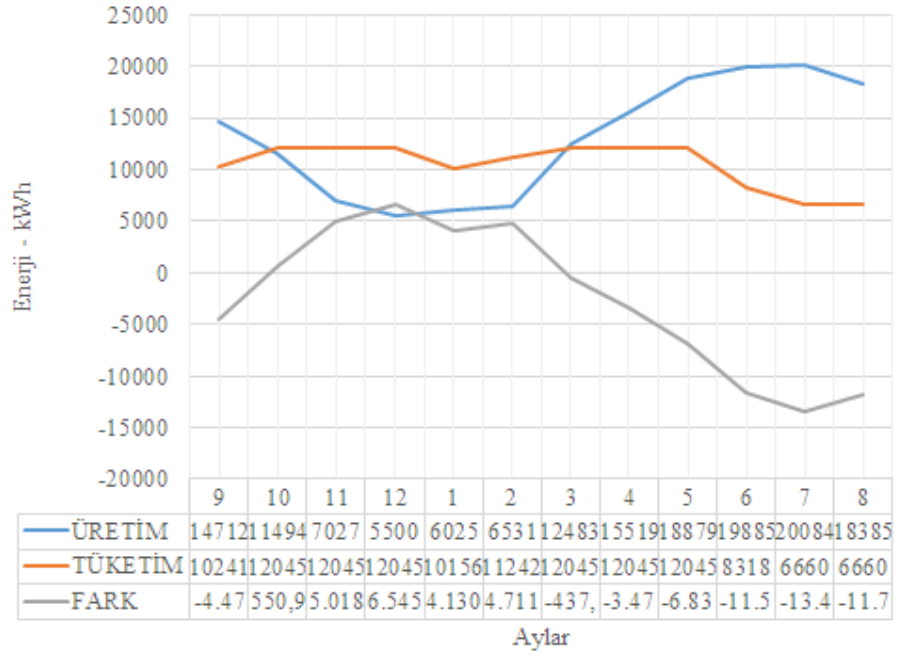
Tasarlanan fotovoltaik sisteme ait aylık olarak değişimi gösteren grafik Şekil 3.12'de yer almaktadır. Bu grafiğe bakıldığında 15 Eylülde başlayan okul dönemine göre FV sistemin üretim miktarı aylık 15.000 kWh mertebelerineyken eylül ve ekim aylarında 10.000 kWh ve aralık ayında da 6.000 kWh civarlarında olduğu görülmektedir. Ocak ve şubat aylarında da bu düşük üretim seviyesi devam ederken marttan itibaren artmakta; Nisanda 15.000 kWh seviyelerinin üzerine çıkmakta ve temmuz ve ağustosta 20.000 kWh'lik değerler en yüksek üretim miktarına ulaşmaktadır.



Şekil 3.12. FV sistemin tahmini üreteceği aylık bazda yıllık enerji.

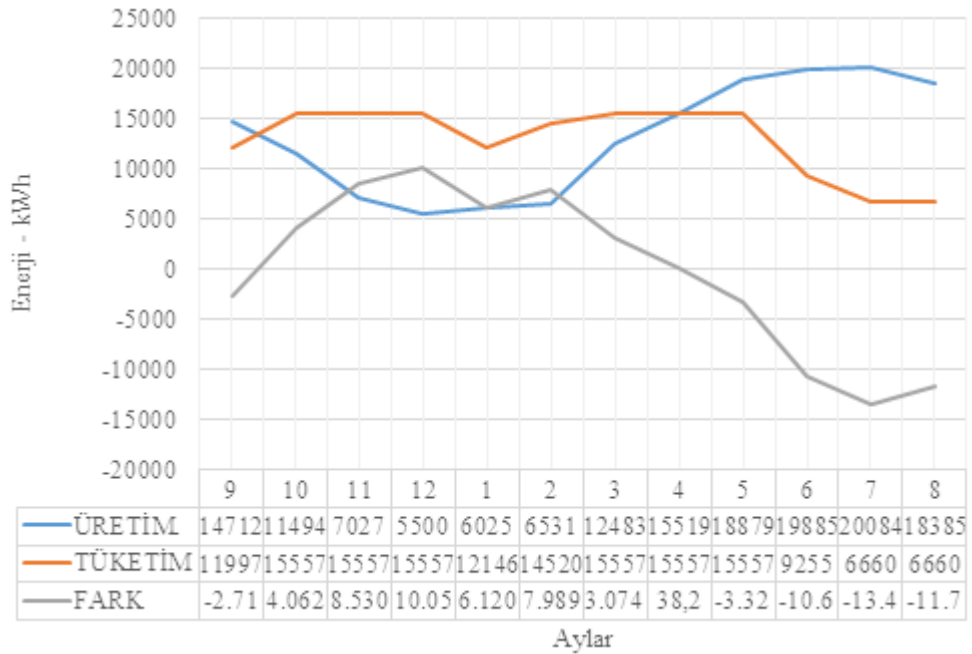
3.2.3. Üretim - Tüketim Ve Fark Değerleri

Yıllık tüketim miktarına göre tasarlanan FV sistemin üretim miktarı dünyanın güneş karşısındaki konum ve aldığı radyasyondan ötürü aylara göre değişiklik göstermektedir. Bu değişime göre 15 Eylül okulların açılışı baz alınarak ilk ayda tüketimden fazla bir üretimin söz konusu olduğu Şekil 3.13'te görülmektedir. Sonraki ayda ise üretim tüketim miktarları birbirine oldukça yakındır. 15 Kasım-15 Aralık ve 15 Aralık 15 Ocak arasındaki üretim tüketim farklarının en üst seviyede olduğu görülmektedir. Ara dönem tatilinden sonraki dönemde ise üretim miktarı artış göstermekte ve sürekli olarak tüketilen miktardan fazla üretim olmaktadır. Fark değerlerine bakıldığında sadece 4 ay fatura düzenleneceği görülmüştür. Burada hesaplanacak fatura tutarına ilişkin tüketim değeri ise normal tüketiminin yarısından birazdır. Yani bu 4 fatura, sistemin olmadığı zamanlardaki aylık fatura tutarının yarısından az olacağı anlamına gelmektedir. Bu da okulun aylık bazdaki işletme giderlerini oldukça rahatlatmaktadır.



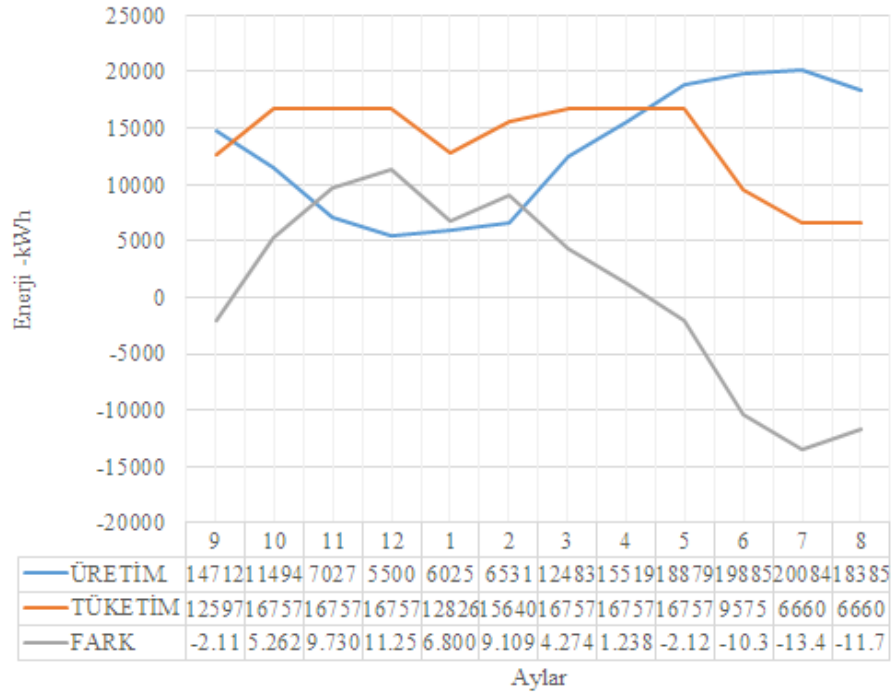
Şekil 3.13. 1. Yıl üretim –tüketim ve fark enerjileri.

Şekil 3.14’te ise okula yeni açılması planlanan bölümlerden dolayı tüketim değerlerinin arttığı görülmektedir. Üretim değeri sabit kalacağından ötürü aylık ödenecek fatura adedi artarak 6 ay boyunca fatura ödeneceği görülmektedir. Bu fatura tutarındaki tüketim değeri normal tüketim değerinin ortalama olarak yarısından daha olduğu görülmektedir.

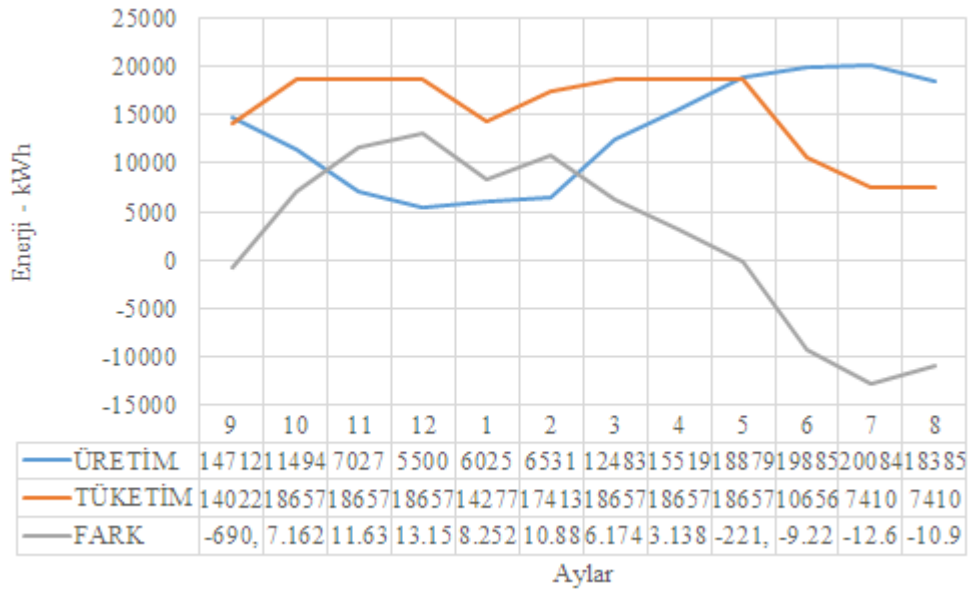


Şekil 3.14. 2. yıl üretim tüketim ve fark değerleri.

Şekil 3.15'te de 3.yıllık ve Şekil 3.16'da 4.yıllık üretim, tüketim ve fark değerleri verilmektedir. Her iki yılda da yatırımlara devam edildiği ve yeni bölümlerin açıldığı tüketim değerinin artmasıyla görülmektedir. Okulun hedeflenen tüm bölümlere 4.yılda ulaşmasıyla birlikte başka güç artışına sebep olacak yatırım yapmayacağını beyan edilmiştir. 3. ve 4. yıldaki ödenmesi gereken fatura adedi 7 olarak görülmekte; böylece bu yıllarda da işletme maliyetine olumlu katkı sağlanmış olmaktadır.



Şekil 3.15. 3. yıl üretim tüketim ve fark değerleri.



Şekil 3.16. 4. yıl üretim, tüketim ve fark değerleri.

Tüm yıllara bakıldığında tasarlanan PV sistemin gücünün ortalama tüketime oldukça yaklaştığı görülmektedir. Bu güç değerinin okulun etkin çatı alanı olan 700m² ye oldukça yaklaştığı olması tasarımda en optimum güç değerine ulaşıldığını göstermektedir. Okul geliri açısından ölü sezen olarak adlandırılan yaz aylarında ve okulun başlangıç ve bitiş aylarında fatura ödenmemesi, hatta bu aylarda fazla üretimden ötürü alacaklı duruma gelinmesiyle devletten gelir sağlanması; ayrıca okul dönemindeki aylarda da normal tüketim değerlerinin yarısından daha az fatura tutarının çıkmasıyla işletme maliyeti anlamında okula önemli bir katkı sağlamaktadır.

3.3. TÜKETİM DEĞERLERİNE GÖRE HOMER İLE SİSTEM TASARIMI

Yük penceresi ekranı, HOMER yazılımının talep ettiği parametreler girilerek (çalışma saatleri, yük değerleri gibi) yükün karakteristiği ve aylara göre yük dağılımı görülmektedir. Şekil 3.17’de da görüldüğü üzere saat 10.00’ da sistem maksimum talep ettiği gücü çekmektedir. Grafikte ayrıca aylara göre aylık yük dağılımı da görülmektedir.



Şekil 3.17. Yük penceresi.

Şekil 3.18’de de görüldüğü üzere sistemin saatlik tüketimlerini değerlendirerek sonuç üreten HOMER’ da; yük değerleri ve istenen diğer parametre girdilerine karşılık oluşturulan sonuçta optimizasyona göre 109 kW’lık fotovoltaik panel gücüne ve 77,9 kW’lık evirici gücü öngörülmektedir.

RESULTS															
Sensitivity Cases															
Left Click on a sensitivity case to see its Optimization Results.															
Architecture				Cost				System		Gen					
PV (kW)	Gen (kW)	1kWh LA	Converter (kW)	Dispatch	COE (£)	NPC (£)	Operating cost (£/yr)	Initial capital (£)	Ren. Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Hours	Production (kWh)	Fuel (L)	O&M Cost (£/yr)	Fuel Cost (£/yr)
109	110	434	77,9	LF	0,517 £	960.100 £	33.255 £	534.993 £	80,7	10.125	921	27.988	10.125	3.039	10.125
Optimization Results															
Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.															
Architecture				Cost				System		Gen					
PV (kW)	Gen (kW)	1kWh LA	Converter (kW)	Dispatch	COE (£)	NPC (£)	Operating cost (£/yr)	Initial capital (£)	Ren. Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Hours	Production (kWh)	Fuel (L)	O&M Cost (£/yr)	Fuel Cost (£/yr)
109	110	434	77,9	LF	0,517 £	960.100 £	33.255 £	534.993 £	80,7	10.125	921	27.988	10.125	3.039	10.125
197		757	93,3	CC	0,620 £	1,12 £M	20.999 £	847.121 £	100	0					592,0
	110	342	56,1	CC	0,700 £	1,30 £M	88.054 £	174.444 £	0	51.379	2.201	175.096	51.379	7.263	51.379
	110			CC	1,10 £	2,04 £M	155.438 £	55.000 £	0	96.069	8.760	265.270	96.069	28.908	96.069
0,518	110		0,182	CC	1,10 £	2,04 £M	155.392 £	56.609 £	0	96.016	8.760	265.059	96.016	28.908	96.016

Şekil 3.18. Sonuç ekranı.

3.4. MALİYET YAKLAŞIMI

Yapılan tasarımlara göre maliyeti esas olarak gözlem ve tahmine dayalı verileri değerlendiren fotovoltaik sistem yaklaşımı alınacaktır. Bu tez çalışmasında HOMER’ a yer verilmesinin nedeni yaklaşımın doğruluğu kıyaslanmak içindir.

3.4.1. Yaklaşık Kurulum Maliyeti

Bölüm 3.2’de gözlem ve tahminlere dayalı verilerle oluşturulan fotovoltaik sistemin Yapılan hesaplamalarla 100kW’lık bir gücü karşılaması ön görülmüştü. Bu yaklaşıma karşılık Çizelge 3.6’da da görüleceği gibi 100kW’lık bir FV sistemin yaklaşık kurulum maliyeti 110.000 \$ olarak hesaplanmıştır. Bu maliyet analizi yaklaşımında, piyasadaki 3 farklı taahhüt firması ile görüşülerek; gerçek maliyete en yakın değere ulaşılması hedeflenmiştir.

Çizelge 3.6. Yaklaşık kurulum maliyeti analizi.

Kurulum Maliyeti Analizi		
Harcama Kalemleri	Birim Maliyet	Toplam Maliyet
	\$/kW	100kW için
PANEL	0,49	54.000,00
İNVERTER	0,08	8.000,00
ÇELİK	0,12	12.000,00
İŞÇİLİKLER	0,20	20.000,00
DİĞER	0,16	16.000,00
	(\$)	110.000,00

3.4.2. Maliyet Analizi

Çizelge 3.6’da verilen kurulum maliyeti analizi göz önünde bulundurularak diğer maliyet kalemleri de hesaplanıp Çizelge 3.7’de verilmiştir. Burada kurulum maliyetinin yanı sıra yıllara bağlı olarak, verim kaybı, yıllık iletim ve dağıtım gideri, yıllık bakım onarım giderleri hesaplanarak işlenmiştir. Nakit akış diyagramına bakıldığında sistemin 7.yılda kendini amorti ettiği görülmektedir.

Çizelge 3.7. Yıllara göre maliyet analizi –net kar.

SANTRAL GÜCÜ	100kW _e										
SANTRAL GÜCÜ	110kW _p										
TOPLAM ÜRETİM (kW _h /YIL)	156.523	156.523	156.523	156.523	156.523	151.827	148.697	145.566	145.566	140.871	
VERİM KAYBI (%)						3%	5%	7%		10%	
BİRİM FİYAT (\$)	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	
YILLIK ÜRETİM BEDELİ	\$20.818	\$20.818	\$20.818	\$20.818	\$20.818	\$20.193	\$19.777	\$19.360	\$19.360	\$18.736	
YILLIK İLETİM VE DAĞITIM GİDERİ											
İLETİM VE DAĞITIM BEDELİ(TL/kWh)	0,103 TL/kWh										
YILLIK İLETİM DAĞITIM BEDELİ	15.652 TL/YIL										
DÖVİZ KURU	4,70 TL										
İLETİM VE DAĞITIM GİDERİ (\$/YIL)	3.330	3.330	3.330	3.330	3.330	3.330	3.330	3.330	3.330	3.330	
BAKIM ONARIM İŞLETME GİDERLERİ											
SİGORTA BEDELİ	2350 TL										
BAKIM ONARIM GİDERİ	4.000 TL										
BAK. ONRM İŞLETME TOPLAM GİDERİ (\$/YIL)	1.351	1.351	1.351	1.351	1.351	1.351	1.351	1.351	1.351	1.351	
ÜRETİME AIT YILLIK NET GELİR	16.137	16.137	16.137	16.137	16.137	15.512	15.096	14.679	14.679	14.055	
TOPLAM YATIRIM TUTARI (\$)	\$110.000										
KÜMÜLATİF TOPLAM (\$)	93.863	77.726	61.589	45.452	29.315	13.803	-1.293	-15.972	-30.651	-44.706	
YILLAR	1. YIL	2. YIL	3. YIL	4. YIL	5. YIL	6. YIL	7. YIL	8. YIL	9. YIL	10. YIL	
NAKİT AKIŞ > NET KAR+AMORTİSMAN	-93.863\$	-77.726\$	-61589\$	-45.452\$	-29.315\$	-13.803\$	1.293\$	15.972\$	30.651\$	44.706\$	

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Denizli ilinde bulunan ve eğitim verdiği alanların başında Yenilenebilir Enerji Sistemleri-Güneş Enerjisi olan Özel Bilim Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi (TEKNOBİL)'in; okul işletme maliyetlerinden başında yer alan, elektrik tüketimini minimuma indirmenin yanı sıra; öz tüketimini karşılamadığı zamanlarda gelir elde etmek için hem en düşük maliyetli hem de teknik olarak optimal tasarım içeren çatı tipi FV sistem ile karşılanması hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda aşağıdaki çıkarımlar yapılmıştır.

1. Söz konusu Güneş Enerji Santrali (GES) tasarımda mevcut lokasyondaki güneşlenme potansiyeli dikkate alınarak her gün saatlik olarak yük bazlı tüketimlerin optimal dağılımı bir gün sonraki tahmin değerlerine bağlı olarak yapılmıştır. Yıllık bazda okula ait saatlik ortalama yük profilleri 24×365 adet olarak belirlenmiş ve her bir saatlik dilimde arz talep dengesi sağlanmaya çalışılmıştır. Söz konusu okula ait yük dağılımları gün içerisindeki dağılımı saatlik olarak veri toplama, gözlem ve tahmine göre oluşturulmuş; saatlik değişime göre elde edilen sonuçlar grafik olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmada, toplanan veri ve gözleme dayalı yük karakteristiklerine göre bölüm 3.2 üretim için hesaplamalarda panel gücü 110 kW evirici gücü de 100kW olarak seçilmiş, bu da çıkan sonuçların birbiri ile uyumlu olduğunu ortaya koymuştur. Sonuç olarak; ilk 4 yıllık tüketim ortalaması değerine karşılık gelen fotovoltaiik sistemin üreteceği değer (677 m^2) ile toplam faydalı çatı alanına sığacak panelin üreteceği değerlerin (700 m^2) birbiriyle oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir.

2. Ticari bir yazılım olan HOMER programı ile talep edilen parametreler girilerek gerekli sonuçlar üretilmiş ve elde edilen sonuçlar teyit edilmiştir. Şekil 3.17 ve Şekil 3.18'de verilen ekran görüntülerinden de görüleceği üzere HOMER 'a girilen parametre değerlerine göre; 77,9 kW'lık evirici gücüne sahip 109 kW'lık panel toplam gücü ile programın çıktısı olarak görülmüştür. Sonuç olarak; okula ait 24×365 adet olarak belirlenmiş saatlik ortalama yük profillerine göre yapılan tasarımın sonuç değerleri ile HOMER yazılımının sonuç değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür.

3. Sistemin ekonomik değerlendirmesini yapmak için sistem maliyeti ve elektrik enerjisi tuketim maliyeti analizi gerçekleştirilmiş. Bu kısımda TEKNOBİL 'in ait 1.,2.,3. ve 4. Yıllara ait tuketim değerleriyle tasarlanan FV sistemden üretilmesi planlanan aynı surelerdeki üretim değerleri kıyaslanıp ,ortalama tuketim değerine karşılıklı üretim yapılabilceği n görülmüştür. Fark değeri olarak adlandırılan ve okulun elektrik faturası bakımından; 1.yılda 4 fatura adedi ödenirken 2.yılda 6 fatura ve sonraki yıllarda 7'şer fatura adedi ödeneceği öngörülerek; işletme maliyetine katkı hesaplanmıştır.

4. Maliyet analizi yaklaşımında ise yk karakteristliklerini saatlik bazda günlük olarak veri toplama, gözlem, deneyim ve tahmine göre tablolayıp bu değer yaklaşımını HOMER ile kıyasladığımızda 100 kW'lık evirici gücüne sahip bir fotovoltaiik panel tasarımı ile izelge 3.7'den de görülebileceği üzere sistem 7. yılda kendini amorti ederek kara geçeceği öngörülmektedir. Bu da okul adına ticari bir kazanç olmasının yanı sıra milli ekonomi değerlerimiz için özellikle enerjide dışa bağımlılığı kendi lttnde azaltan bir kazanç olması nedeniyle önemli bir yatırım adımı olarak değerlendirebiliriz.

5. Bu yaklaşımda özellikle Türkiye global radyasyon haritasına bakıldığında, Denizli ili ve evre illerinin güneş potansiyelinin ne kadar yüksek olduğu görülerek; fotovoltaiik panelin kurulumunun bu okulda gerçekleşmesi ve diğer okullara da örnek teşkil etmesi beklenen bir n grdr. Özellikle yenilenebilir enerji sistemleri bölümünü barındıran TEKNOBİL güneş sistemleri alt başlığında bu sistemi kurarak kendi okul kurucuları, öğretmenleri ve ğrencilerinin yanı sıra; bölgedeki teknik okullara öncülük edecek; milli enerji yaklaşımını bölgesel bazda desteklediğini gösterecektir.

5. KAYNAKLAR

- [1] S. Motahhir, A. E. Ghzizal, S. Sebti, and A. Derouich, “Modeling of photovoltaic system with modified incremental conductance algorithm for fast changes of irradiance,” *Hindawi International Journal of Photoenergy*, vol. 2018, no. 1, pp. 7-20, 2018.
- [2] A. C. Castro, A. J. A. Cardona, “Model to evaluate the performance of building integrated photovoltaic systems using Matlab/Simulink,” *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 8, no. 2, pp. 680-688, 2018.
- [3] M. S. Adaramola, S. S. Paul, and O. M. Oyewola, “Assessment of decentralized hybrid FV solar-diesel power system for applications in Northern part of Nigeria,” *Energy For Sustainable Development*, vol. 19, no. 1, pp. 72–82, 2014.
- [4] E. Beşer, “FV Panellerin modellenmesi için geliştirilen yeni bir FV simülatör yapısı,” *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 22, s. 2, ss. 688-694, 2018.
- [5] O. Gülkökan, Farklı coğrafyalarda bulunan aynı büyüklükteki müstakil konutların elektrik enerjisi ihtiyacının fotovoltaik rüzgar hibrit enerji sistemlerinden karşılanması için yapılan tasarım ve optimizasyon çalışması,” Yüksek lisans tezi, Fizik Bölümü, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, Türkiye, 2017.
- [6] E. Özdemir, Ş. Özdemir, K. Erhan, ve A. Aktaş, “Akıllı şebekelerde enerji depolama uygulamalarının önündeki fırsatlar ve karşılaşılan zorluklar,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 32, s. 2, ss. 499-506, 2017.
- [7] C. D. Dumitru, and A. Gligor, “An approach to photovoltaic based power supply designing of a Transylvanian rural community,” *Procedia Manufacturing*, vol.22, no. 1, pp. 826-832, 2018.
- [8] İ. Karadöl, “Kahramanmaraş bölgesi için güneş ve rüzgâr enerjisi hibrit sisteminin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Elektrik ve Enerji Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, 2017.
- [9] A. F. Güven, “Bahçelievler Belediye Başkanlık Binasının enerji ihtiyacının güneş ve rüzgar sistemi ile karşılanması, optimizasyonu ve maliyet analizi,” *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 2, s. 1, ss. 24-36, 2017.
- [10] E. E. Korkmaz, “İnönü Üniversitesinin Elektrik Enerji İhtiyacının Hibrid Sistemle Modellenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnönü Üniversitesi, Malatya, 2016.
- [11] R. Çakmak, ve İ. H. Altaş, “Erzincan’da güneş enerjisinden elektrik üretimi potansiyeli: Almanya ile karşılaştırılması,” *Uluslararası Erzincan Sempozyumu*, Erzincan, Türkiye, 2016, ss. 407-419.
- [12] C. Suda, B. Metin, K. Cengiz, E. Er, M. Ögün, ve K. Topçuoğlu, “ FV güç

- sistemi modellemesi,” 3. Anadolu Enerji Sempozyumu’nda sunuldu, Muğla, 2015.
- [13] Ö. Can, “Yenilenebilir mikrogrid sistemin meta-sezgisel bir yöntem ile optimal güç planlaması,” Yüksek lisans tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2016.
- [14] A. Alkan, “Yenilenebilir hibrit enerji kaynaklarıyla beslenen konutlarda akıllı enerji depolama ve yönetim sistemi,” Yüksek lisans tezi, Elektrik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2016.
- [15] A. F. Güven, “Afyon Oruçoğlu Termal Otel’inin enerji ihtiyacını karşılayacak güneş enerji sisteminin tasarlanması, optimizasyonu ve maliyet analizi,” *International Conference of Strategic Research in Social Science and Education*, Antalya, Türkiye, 2016, ss.1-20.
- [16] Ö. Kahraman, A. Temiz, A. Nadar, ve E. B. Sönmez, “Dağınık fotovoltaik üretim için akıllı şebeke kontrolcüsü,” *Güç Sistemleri Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 2016, ss. 117-123.
- [17] G. Başar, “Rüzgar enerjisi yatırım projelerinde finansman seçeneklerinin karşılaştırılması,” Yüksek lisans tezi, Elektrik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [18] A. Özkök, “Türkiye’nin yedi coğrafi bölgesinde evsel elektrik ihtiyacının çatı üstü fotovoltaik sistemler ile karşılanmasının ekonomik analizi,” Yüksek lisans tezi, Elektrik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [19] A. Güven, “Şebekeden bağımsız yenilenebilir hibrit enerji sistemlerinin boyutlandırmasında yük modelinin etkisi,” Yüksek lisans tezi, Elektrik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [20] H. Ulutaş, “Kırsal tesisler için hibrit (rüzgâr + güneş) sistem tasarımı ve analizi,” Yüksek lisans tezi, Elektrik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [21] C. Köseoğlu, “Yenilenebilir enerji sistemleri için çok seviyeli bir eviricinin gerçekleştirilmesi,” Yüksek lisans tezi, Elektrik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [22] S. Duman, N. Yörükeren, ve İ. H. Altaş, “Fotovoltaik enerji sistemlerinin modellenmesi, benzetimi ve uygulaması,” *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 3, s. 1, ss. 9-23, 2014.
- [23] S. Alkan, “Düzce şartlarında bir evin enerji ihtiyacını karşılayacak fotovoltaik sistemin kurulumu,” Yüksek lisans tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2014.
- [24] O. Kırıcıoğlu, ve A. B. Yıldız, “Fotovoltaik panelin tek diyotlu eşdeğer devresine ait büyük sinyal analizi,” *6. Enerji Verimliliği Kalitesi Sempozyumu ve Sergisi*, Sakarya, Türkiye, 2015, ss. 105-109.
- [25] M. E. Şahin, ve H. İ. Okumuş, “Güneş pili modülünün Matlab/Simulink ile modellenmesi ve simülasyonu,” *EMO Bilimsel Dergi*, c. 3, s. 5, ss. 17-25, 2013.
- [26] S. Rüstemli, F. Dinçer, M. Çelik, ve M. S. Cengiz, “Fotovoltaik paneller: güneş

takip sistemleri ve iklimlendirme sistemleri,” *Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 2, s. 2, ss. 141-147, 2013.

- [27] K. Bayraktar, “Küçük ölçekli hibrit (rüzgar-güneş) enerji santrali denetimi,” Yüksek lisans tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye, 2013.
- [28] N. Çağlayan, ve C. Ertekin, “Güneş enerjili elektrik güç sistemlerinin tarımsal alanlardaki uygulamaları üzerine bir fizibilite çalışması: tavuk çiftliği uygulaması,” *27. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi*, Samsun, Türkiye, 2012, ss. 472-481.
- [29] S. A. Sekuçoğlu, “Fotovoltaik (FV), rüzgar ve hibrit sistemlerin tasarımı ve ekonomik analizi,” Yüksek lisans tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2012.
- [30] Z. Kaplan, “Fotovoltaik sistem tasarımı,” Yüksek lisans tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye, 2012.
- [31] S. Çekinir, “Fotovoltaik güç sistemlerinin modellenmesi ve benzetimi,” Yüksek lisans tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2012.
- [32] O. Elma, “Yenilenebilir enerji kaynaklarından beslenen şebekeden bağımsız bir ev için talep ve kaynak dinamikleri dikkate alınarak sistem analizi,” Yüksek lisans tezi, Elektrik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2011.
- [33] M.Yıldız, “Yenilenebilir enerji sistemlerinin gerçek zamanlı benzetimi ve izlenmesi,” Yüksek lisans tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2011.
- [34] A. Öztürk, and M. Dursun, “10 ve 20 Kva’lık fotovoltaik sistem tasarımı,” *6th International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, Turkey, 2011, pp. 16-18.
- [35] A. İlğün, “Güneş gözeleri ile beslenen sistemlerde enerji üretimi ve örnek uygulamaların simülasyonlar ile analizi,” Yüksek lisans tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye, 2010.
- [36] A.Y. Telli, “Şebeke bağlantılı ve şebekeden bağımsız hibrit güç sistemleriyle enerji üretiminin ekonomik analizi,” Yüksek lisans tezi, Enerji Bilim ve Teknoloji, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [37] S. Güçlü, “Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs çevre aydınlatma elektrik enerjisinin; güneş enerjisi ile sağlanması,” Yüksek lisans tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye, 2009.
- [38] M. Özaktürk, “Rüzgâr enerjisinin güç kalitesi açısından incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2007.
- [39] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2018, 14 Nisan).[Online]. Erişim: <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/20.aspx>.

- [40] A. Şenpınar, “Güneş açılarına bağlı olarak optimum sabit güneş paneli açısının hesaplanması, ” *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi*, c. 4, s. 2, ss. 36-41, 2006.
- [41] Elektrik Mühendisleri Odası. (2018, 14 Mayıs). Güneş enerjisinden fotovoltaik yöntemle elektrik üretiminde güç dönüşüm verimi ve etkili etmenler [Online]. Erişim: http://www.emo.org.tr/ekler/3a921ffad054cb0_ek.pdf.
- [42] Y. Günaslan. (2018, 16 Mayıs).Güneş pilleri nasıl Çalışır? [Online]. Erişim: <http://gunesenerjisi.uzerine.com/index.jsp?objid=702>.
- [43] Elektronikhobi. (2018, 16 Mayıs). Diyotlar [Online]. Erişim: <http://elektronikhobi.net/wp-content/uploads/diode2.jpg>.
- [44] İstanbul Teknik Üniversitesi. (2018, 16 Mayıs). Fotovoltaik [Online]. Erişim: <http://web.itu.edu.tr/~kaymak/FV.html>.
- [45] Turkish monocrystal solarpanel. (2018, 17 Mayıs). Uzun çalışma süresi evde güneş enerjisi sistemleri çiftlik için 96v kurşun-asit aküsü [Online]. Erişim: http://turkish.monocrystalsolarpanel.com/photo/pl17989989_long_working_time_household_solar_power_systems_96v_lead_acid_battery_for_farm.jpg.
- [46] MATEC. (2018, May 10). How Grid-tied PV System Works? [Online]. Available: <http://www.solar-philippines.com/wp-content/uploads/2013/09/grid-tied-how.jpg>.
- [47] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2018, 15 Mayıs). Güneş ve enerji ve teknolojileri [Online]. Erişim: <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/tekno.aspx>.
- [48] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2018, 15 Mayıs). Güneş enerjisi atlası [Online]. Erişim: <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>.
- [49] Geomodal solar. (2018, May 17). Photovoltaic power potential [Online]. Available: https://solargis.com/file?url=download/Europe/Europe_PVOUT_mid-size-map_156x126mm-300dpi_v20180611.png&bucket=solargis.
- [50] Farret, F. A., and Simões, M. G. (2006, 10 Jan). Integration of Alternative Sources of Energy [Online]. Available: <https://www.wiley.com/en-us/Integration+of+Alternative+Sources+of+Energy-p-9780471712329>.
- [51] TEİİAS. (2017, 7 Ocak). Türkiye elektrik sistemi kuruluş ve kaynaklara göre kurulu güç [Online]. Erişim: https://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2018-03/kurulu_guc.pdf

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Naim YÜCEL
Doğum Tarihi ve Yeri : 21.02.1980 / Denizli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : naim.yucel@tkdk.gov.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Düzce Üniversitesi	2018
Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Dumlupınar Üniversitesi	2002
Lise	Fen Bilimleri	Denizli Lisesi	1997