

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞEBEKE BAĞLANTILI VE DEPOLAMALI BİR FOTOVOLTAİK
SİSTEMİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIMI

NEMATULLAH JALALZAI

KOCAELİ 2023

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ŞEBEKE BAĞLANTILI VE DEPOLAMALI BİR FOTOVOLTAİK
SİSTEMİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIMI**

NEMATULLAH JALALZAI

Dr. Öğr. Üyesi Şule KUŞDOĞAN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Dr.Öğr.Üyesi Serkan SEZEN
II. Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Murat ÜNLÜ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Fuat KILIÇ
Jüri Üyesi, Balıkesir Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Gürsu TEKDEMİR
Jüri Üyesi, Bursa Teknik Üniversitesi

.....

Tez Savunma Tarihi: 21.06.2023

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Bu tezin bana ait olduğunu ve tarafımdan yazıldığını,
- Bu tezin tüm aşamalarında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve bilimsel ahlaka uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☒ Bu tez çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi desteği ile desteklenmemiştir.

Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....

Nematullah JALALZAI

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin olarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan ***“Lisanüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”*** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşul haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☒ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

.....

Nematullah JALALZAI

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Son yıllarda elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının önemli gelişmeleri kaydedilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları kirletici olmayan, çevre dostu ve uygun maliyetli enerji kaynaklarıdır. Fotovoltaik (FV) sistemler, yenilenebilir enerji sistemlerinden biri olup hiçbir zaman tükenmeyen, çevresel zararları olmayan enerji sistemleridir. Güneş enerjisi dünyadaki tüm insanlığın enerji ihtiyacını karşılama potansiyeline sahip bir enerji kaynağıdır. FV sistemler tüm dünyada özellikle şebekeye erişimi olmayan kırsal alanlardaki insanlara elektrik tedarikini sağlayabilir. FV sistemlerin kurulacağı bölgelerde gerekli olan enerjinin tedariki için farklı sistem yapılandırmaları kurmak mümkündür. Bu sebeple FV sistem tasarımının nihai amacı, kurulacak olan güneş enerjisi sistemini ekonomik olarak uygun bir fiyata tasarlamak için en uygun tasarımı elde etmektir.

Bu yüksek lisans tez çalışması sürecinde çalışmalarına yön veren, değerli zamanını ve desteğini benden esirgemeyen çok kıymetli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Şule KUŞDOĞAN ve eş danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Serkan SEZEN hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca bana her zaman yardımcı olan Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü hocalarım ve Fen Bilimleri Enstitüsü'nün tüm kadrosuna da teşekkür ederim. Eğitim hayatım boyunca duaları, sevgisi, maddi ve manevi destekleriyle sürekli yanımda olan, karşılaştığım zor zamanlarda destek veren çok kıymetli aileme bu tezin tamamlanmasında desteklerini benden esirgemeyen arkadaşlarıma ve meslektaşlarıma anlayışları ve destekleri için en içten şükranlarımı sunarım.

Haziran-2023

Nematullah JALALZAI

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Özeti.....	4
1.2. Tezin Amacı.....	6
2. FOTOVOLTAİK SİSTEM TEMELLERİ	8
2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	8
2.1.1. Hidroelektrik Enerjisi	12
2.1.2. Jeotermal Enerji	13
2.1.3. Biyokütle Enerjisi	14
2.1.4. Rüzgar Enerjisi	14
2.1.5. Dalga Enerjisi	15
2.1.6. Güneş Enerjisi	15
2.1.6.1. Güneş Radyasyonu	16
2.2. Fotovoltaik Sistemin Tarihçesi	19
2.3. Dünyadaki Fotovoltaik Enerji Durumu	20
2.4. Türkiye’deki Fotovoltaik Enerji Durumu	21
2.5. Fotovoltaik Hücreler	23
2.5.1. Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı ve Çalışması.....	24
2.5.2. Fotovoltaik Hücre Çeşitleri	27
2.5.2.1 Monokristal Silikon FV Hücreler	28
2.5.2.2. Polikristal Silikon FV Hücreler	29
2.5.2.3. İnce Film FV Hücreler.....	29
2.5.3. Fotovoltaik Hücrenin Elektriksel Eşdeğer Devresi	29
2.5.4. Fotovoltaik Hücrenin Elektriksel Parametreleri	32
2.5.4.1. Kısa Devre Akımı (I_{sc}).....	33
2.5.4.2. Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	33
2.5.4.3. Maksimum Güç (P_{mp}).....	33
2.5.4.4. Doluluk Faktörü (FF).....	34
2.5.4.5. Verimlilik (η)	34
2.6. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri.....	34
2.6.1. Güneş Panelleri.....	35
2.6.2. Depolama Ünitesi	37
2.6.2.1. Jel Bataryalar	38
2.6.2.2. AGM Bataryalar	39
2.6.2.3. Sulu Bataryalar	39
2.6.3. Evirici	40
2.6.3.1. Tam Sinüs Dalgalı Evirici.....	41
2.6.3.2. Modifiye Sinüs Dalgalı Evirici	41

2.6.3.3. Kare Dalgalı Evirici	41
2.6.4. Şarj Kontrol Cihazı	42
2.6.4.1. Maksimum Güç Noktası İzleyicisi (MPPT) Şarj Kontrol Cihazları	42
2.6.4.2. Darbe Genişlik Modülasyon (PWM) Şarj Kontrol Cihazları	43
2.7. Fotovoltaik Sistemlerin Performansını Etkileyen Başlıca Faktörler	44
2.7.1. Güneş Işınımı	44
2.7.2. FV Hücre Sıcaklığı	45
2.7.3. Güneş Işınımındaki Değişim	47
2.7.4. Gölgeleme ve Panel Yerleşimi	47
2.7.5. Kirlilik ve Tozlanma	48
2.7.6. Rüzgar Hızı	48
2.7.7. Eğim Açısı	49
2.7.8. Nem	50
2.7.9. Hava Kütlesi Faktörü	51
3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN SINIFLANDIRILMASI	52
3.1. Kurulum Yerlerine Göre FV Sistemler	52
3.1.1. Çatılarda Kurulan FV Sistemler	52
3.1.2. Cephelelerde Kurulan FV Sistemler	53
3.1.3. Binaların Diğer Yapılarına Uygulanacak FV Sistemler	54
3.1.4. Açık Arazide Kurulan FV Sistemler	55
3.2. Güneş İzleme Teknolojisine Göre Fotovoltaik Sistemler	56
3.2.1. Sabit Açılı Güneş Takip Sistemleri	57
3.2.2. Tek Eksenli Güneş Takip Sistemleri	57
3.2.3. Çift Eksenli Güneş Takip Sistemleri	58
3.3. Şebeke İle Etkileşimine Göre FV Sistemler	59
3.3.1. Şebekeden Bağımsız FV Sistemler	59
3.3.1.1. Doğrudan Bağlı FV Sistemler	59
3.3.1.2. Depolamalı FV Sistemler	60
3.3.2. Şebekeye Bağlı FV Sistemler	61
3.3.3. Karma (Hibrit) FV Sistemler	62
4. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN BOYUTLANDIRILMASI	64
4.1. FV Dizin Boyutlandırılması	64
4.2. Depolama Ünitesinin Boyutlandırılması	65
4.3. Şarj Kontrol Cihazının Boyutlandırılması	65
4.4. Eviricinin Boyutlandırılması	66
4.5. Sistem Kablolarının Boyutlandırılması	67
4.6. FV Paneller ile Depolama Ünitesi Arasındaki Kablo Boyutunun Belirlenmesi	67
4.7. Depolama Ünitesi ile Evirici Arasındaki Kablo Boyutunun Belirlenmesi	67
4.8. Evirici ile Yük Arasındaki Kablo Boyutunun Belirlenmesi	67
4.9. Kablo Özellikleri	67
5. EDREMIT İLÇESİNDE YER ALAN KONUT İÇİN DEPOLAMALI ŞEBEKE BAĞLANTILI FV SİSTEM MODELLEMESİ	69
5.1. Balıkesir İli Güneş Enerjisi Potansiyeli	69
5.2. Edremit İlçesi Güneş Enerjisi Potansiyeli	70
5.3. Ele Alınan Konutun Elektrik Tüketim Verileri	71
5.4. FV Sistemler Tasarımında Kullanılan Yazılımlar	72

5.4.1. PV*SOL Yazılımı Kullanımı	73
5.4.2. PVsyst Yazılımı Kullanımı.....	80
5.5. PV*SOL Simülasyonu ve Sonuçlar	85
5.5.1. Sistem Türü, İklim ve Şebeke Verilerinin Tanımlanması	85
5.5.2. Tüketim Verilerinin Tanımlanması	85
5.5.3. Güneş Panelinin Tanımlanması	85
5.5.4. Eviricinin Tanımlanması	87
5.5.5. Depolama Sisteminin Tanımlanması.....	87
5.5.6. FV Sistem Simülasyon Sonuçları	88
5.5.7. Tüketici Simülasyon Sonuçları.....	89
5.5.8. Depolama Sisteminin Simülasyon Sonuçları	90
5.5.9. Panel Yaşlanma Verileri	92
5.5.10. Finansal Analiz Sonuçları.....	92
5.6. PVsyst Simülasyonu ve Sonuçlar	95
5.7. PV*SOL ile PVsyst Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	97
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	99
KAYNAKLAR.....	101
EKLER	108
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER.....	117
ÖZGEÇMİŞ.....	118

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Dünya genelinde elektriğe erişimi olan insan nüfusu	2
Şekil 1.2.	2011-2021 yılları arasındaki küresel birincil enerji arzı	3
Şekil 1.3.	2011-2021 yılları arasında birincil enerji kişi başı tüketimi.....	3
Şekil 2.1.	2010-2030 yıllar arasında enerji üretimindeki yenilenebilir enerji payı	9
Şekil 2.2.	2010-2030 yıllar arasında teknolojiye göre yenilenebilir enerji üretimi.....	10
Şekil 2.3.	Türkiye kurulu gücünün yıllar itibariyle gelişimi	10
Şekil 2.4.	2011 ve 2021 yılları için birincil enerji kaynaklarına göre Türkiye kurulu gücü	11
Şekil 2.5.	Türkiye'nin 2011 ve 2021 yılları kurulu gücü için birincil enerji kaynaklarının yüzdesel olarak payı	11
Şekil 2.6.	Hidroelektrik santral şeması.....	13
Şekil 2.7.	Jeotermal enerji üretimi akış şeması	13
Şekil 2.8.	Rüzgar türbinleri.....	14
Şekil 2.9.	Dalga ve okyanus enerjisi oluşumu.....	15
Şekil 2.10.	Güneş, atmosfer ve yeryüzü arasındaki enerji akışı	16
Şekil 2.11.	Güneş ışıınımı ile akım değişimi	17
Şekil 2.12.	Türkiye'deki senelik güneş radyasyonunun dağılımı.....	18
Şekil 2.13.	Dünya yüzeyinde senelik güneş radyasyonunun dağılımı	18
Şekil 2.14.	Zenit ve yükseklik açısı.....	19
Şekil 2.15.	Dünyada FV sistemlerin (2000-2015) yıllar arası kurulu güç dağılımı	21
Şekil 2.16.	Türkiye'nin aylara göre ort. günlük radyasyon değerleri (kWh/m ²).....	21
Şekil 2.17.	Türkiye'nin aylık bazda ortalama günlük güneşlenme süreleri (saat)	22
Şekil 2.18.	Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli	22
Şekil 2.19.	Türkiye'de FV teknolojinin m ² başına üretilebilecek enerji grafiği (kWh-yıl)	23
Şekil 2.20.	FV hücre, panel, panel ve diziler.....	24
Şekil 2.21.	Si kristalinin elektron dizilimi.....	25
Şekil 2.22.	N tipi malzeme	25
Şekil 2.23.	P tipi malzeme	26
Şekil 2.24.	Fotovoltaik hücrede oluşan P-N birleşimi.....	26
Şekil 2.25.	Fotovoltaik hücrenin tabakaları.....	27
Şekil 2.26.	Monokristal FV hücre yapısı	28
Şekil 2.27.	Polikristal FV hücre yapısı	28
Şekil 2.28.	İnce film FV hücre yapısı	29
Şekil 2.29.	Güneş hücresinin eşdeğer devresi	30
Şekil 2.30.	İşınım ile şönt direncin değişimi	30
Şekil 2.31.	FV hücrenin I-V ve maksimum güç noktası eğrisi.....	31
Şekil 2.32.	Bir FV hücre için akım-gerilim ve güç-gerilim eğrileri	32
Şekil 2.33.	Doluluk faktörü	34
Şekil 2.34.	Bir paneli oluşturan FV hücrelerin bağlantısı	35
Şekil 2.35.	Panellerin oluşturduğu FV dizi	36
Şekil 2.36.	By-pass ve blok diyotları	36
Şekil 2.37.	Jel batarya çeşitleri	39

Şekil 2.38. Eviriciler tarafından üretilen farklı AC sinyal türleri	40
Şekil 2.39. MPPT şarj kontrol cihazı	43
Şekil 2.40. PWM şarj kontrol cihazı	44
Şekil 2.41. Işınlımın FV hücrenin I-V karakteristiği üzerindeki etkisi	45
Şekil 2.42. Işınlımın FV hücrenin çıkışı üzerindeki etkisi	45
Şekil 2.43. Hücre sıcaklığının FV hücrenin I-V karakteristiği üzerindeki etkisi	46
Şekil 2.44. Sıcaklığın FV modülün P-V karakteristiği üzerindeki etkisi	46
Şekil 2.45. Gölge FV hücrenin I-V ve P-V eğrileri.....	47
Şekil 2.46. FV hücre üzerindeki toz etkisi.....	48
Şekil 2.47. Zamana karşı güneş paneli sıcaklığı	49
Şekil 2.48. Hava kütlesi faktörü	51
Şekil 3.1. Eğimli çatıya monte edilen FV sistemler	52
Şekil 3.2. Düz çatıya monte edilen FV sistemler	53
Şekil 3.3. Bina cephelerine monte edilen FV sistem	54
Şekil 3.4. Balkon korkuluklarında FV sistemin kurulumu.....	54
Şekil 3.5. Sundurma çatı üzerinde kurulan FV sistem	55
Şekil 3.6. Açık arazi tipi fotovoltaiik sistem örneği	55
Şekil 3.7. Güneş takipli fotovoltaiik sistem.....	56
Şekil 3.8. Sabit açılı güneş takip sistemi	57
Şekil 3.9. Tek eksenli güneş takip sistemi.....	58
Şekil 3.10. Çift eksenli güneş takip sistemi	58
Şekil 3.11. (a) Doğrudan bağlı FV sistem, (b) şarj kontrol cihazını içeren FV sistem	60
Şekil 3.12. Depolamalı şebekeden bağımsız FV sistemin şeması.....	61
Şekil 3.13. Şebekeye bağlı FV sistem	62
Şekil 3.14. Hibrit (karma) FV sistemler	63
Şekil 5.1. Balıkesir ili güneş enerjisi potansiyeli	69
Şekil 5.2. Balıkesir ili farklı FV hücre tipleri için metrekaşe başına elde edilen yıllık enerji miktarı	70
Şekil 5.3. Edremit ilçesi ortalama günlük ışınlım şiddeti.....	70
Şekil 5.4. Edremit ilçesi aylık bazda günlük güneşlenme süreleri	71
Şekil 5.5. Konutun 2017 yılı için aylık bazda enerji tüketim grafiği	72
Şekil 5.6. PV*SOL premium programının ara yüzü	73
Şekil 5.7. Hoşgeldiniz penceresi	74
Şekil 5.8. Proje verileri penceresi.....	75
Şekil 5.9. Sistem türü, iklim ve şebeke penceresi	75
Şekil 5.10. MeteoSyn harita tabanı üzerinden yeni konumun koordinatları	76
Şekil 5.11. Tüketim penceresi	76
Şekil 5.12. FV paneller penceresi	77
Şekil 5.13. Eviriciler penceresi.....	77
Şekil 5.14. Depolama sistemi penceresi	78
Şekil 5.15. Kablo penceresi	78
Şekil 5.16. FV sistemin devre diyagramı	79
Şekil 5.17. Finansal analizi penceresi.....	79
Şekil 5.18. Sonuç penceresi.....	80
Şekil 5.19. PVsyst 7.3 arayüzü	81
Şekil 5.20. PVsyst 7.3 programının ön panel görüntüsü	82
Şekil 5.21. Yönlendirme penceresi.....	83

Şekil 5.22. Sistem bileşenlerini tanımlama penceresi	84
Şekil 5.23. Sistem parametreleri analiz penceresi	84
Şekil 5.24. Konutun 2017 yılı yıllık enerji tüketiminin aylara göre dağılımı	85
Şekil 5.25. Tasarlanan sistemin şematik diyagramı	86
Şekil 5.26. FV jeneratör enerjisi	89
Şekil 5.27. Tüketicinin toplam tüketim miktarı.....	89
Şekil 5.28. Toplam batarya şarjı.....	90
Şekil 5.29. Enerji akışı grafiği.....	91
Şekil 5.30. Panelin performans verileri	92
Şekil 5.31. Biriktirilmiş nakit akış.....	94
Şekil 5.32. Yıllık net kar.....	96
Şekil 5.33. Toplam birikmiş nakit akış.....	96



TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1.	Türkiye'nin yenilenebilir enerji kapasitesinin yıllara göre gelişimi	12
Tablo 2.2.	Farklı bölgelere göre Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli.....	23
Tablo 5.1.	Konutun 2017 yılı için aylık bazda tüketim miktarı	71
Tablo 5.2.	Q.PEAK DUO XL-G9.3 450 FV panelin karakteristik özellikleri	86
Tablo 5.3.	FRONIUS Primo 3.0-1 eviricinin karakteristik özellikleri	87
Tablo 5.4.	Sun/powerpack premium 5.0/48 batarya özellikleri	88
Tablo 5.5.	FV sistemin simülasyon sonuçları	88
Tablo 5.6.	Tüketicinin toplam tüketim verileri.....	89
Tablo 5.7.	Batarya şarjı ile ilgili veriler	90
Tablo 5.8.	Aylık bazda tüketimin karşılandığı enerji miktarı.....	91
Tablo 5.9.	Panelin yaşlanma verileri	92
Tablo 5.10.	Sistemin kWp başına düşen maliyet verisi.....	93
Tablo 5.11.	Sistemin ekonomik parametreleri	93
Tablo 5.12.	EPDK 2023/2 Konut şebeke tarifesi	94
Tablo 5.13.	Aylık bazda FV sistemin enerji verileri	95
Tablo 5.14.	PVsyst simülasyonu genel sonuçları.....	95
Tablo 5.15.	Sistemin toplam maliyeti.....	96
Tablo 5.16.	PV*SOL ve PVsyst simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması.....	97

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Alan, (m ²)
A _c	: Kablo Kesit Alan, (m ²)
A _{pv}	: FV Tesis Alanı, (m ²)
C _x	: Depolama Ünitesi Kapasitesi
D	: Diyot
E _d	: Günlük Elektrik Enerjisi Talebi, (kWh/gün)
f _{safety}	: Şarj Kontrol Cihazı Güvenlik Faktörü
G	: Güneş ışıınımı
H _{avg}	: Günlük Mevcut Ortalama Güneş Işınımı, (kWh/m ² -gün)
H _{sc}	: Standart Güneş Işınımı, (1000 W/m ²)
I	: Akım, (A)
I _d	: Diyot Akımı, (A)
I _{faz}	: Faz Akımı, (A)
I _{mp}	: Maksimum Güç Noktası Akımı, (A)
I _{rated}	: Şarj Kontrol Cihazı Anma Akımı, (A)
I _{rs}	: Ters Doyma Akımı, (A)
I _s	: Doyma Akımı, (A)
I _{sc}	: Kısa Devre Akımı, (A)
K	: Boltzmann Sabiti, (k = 1.38x10 ⁻²³ J/K)
K _j	: Sıcaklık Katsayısı
l	: Kablo Uzunluğu, (m)
n	: Diyot Kalite Faktörü
N _{b.req}	: Toplam Gerekli Batarya Sayısı
N _{bp}	: Paralel Batarya Sayısı
N _{bs}	: Seri Batarya Sayısı
N _{cd}	: Bulutlu Gün Sayısı
N _{pp}	: Paralel Panel Sayısı
N _{sp}	: Seri Panel Sayısı
N _{tp}	: Toplam Panel Sayısı
P	: Güç, (W)
P _{in}	: Giriş Gücü, (W)
P _{ind}	: Endüktif Yük, (W)
P _{inv}	: Evirici Gücü, (W)
P _{mp}	: Maksimum Güç, (W)
P _{out}	: Çıkış Gücü, (W)
P _{pv}	: FV Sistemin Nominal Gücü, (W)
P _{res}	: Rezistif Yük, (W)
P _t	: Teorik Güç, (W)
P _{total}	: Toplam Güç, (W)
q	: Elektron Yüğü, (q = 1.6x10 ⁻¹⁹ coulomb)
R _s	: Seri Direnç, (Ω)
R _{sh}	: Şönt Direnç, (Ω)
T	: Mutlak Sıcaklık, (Kelvin)
T _c	: Hücre Sıcaklığı
T _r	: Referansı Hava Sıcaklığı
v	: Gerilim, (V)

V_b	: Batarya Gerilimi (V)
V_d	: Gerilim Düşümü (V)
V_{mp}	: Maksimum Güç Noktası Gerilimi (V)
V_{oc}	: Açık Devre Gerilimi, (V)
V_{panel}	: Panel Gerilimi, (V)
V_{sis}	: Sistem Gerilimi, (V)
$^{\circ}C$	: Santigrat Derece
η	: Verimlilik, (%)
η_B	: Batarya Verimliliği, (%)
η_{inv}	: Evirici Verimliliği, (%)
η_{pv}	: FV Panel Verimi, (%)
ρ	: İletken Özdirenci
Φ	: Enlem Açısı, ($^{\circ}$)
δ	: Eğim Açısı, ($^{\circ}$)
\$	: ABD Doları

Kısaltmalar

AGM	: Absorbent Glass Mat (Emdirilmiş Cam Elyaf)
Ah	: Ampere-Hour (Amper-Saat)
a-Si	: Amorphous Silicon (Amorf Silikon)
CdTe	: Cadmium Telluride (Kadmiyum Tellür)
CIS	: Copper Indium Selenide (Bakır İndiyum Selenid)
CSP	: Concentrated Solar Power (Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi)
CO ₂	: Karbondioksit
c-Si	: Crystalline Silicon (Kristal Silikon)
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
DOD	: Depth of Discharge (Deşarj Derinliği)
EİE	: Elektrik İşleri Etüt
EJ	: Exajoule (Bir Kentilyon = 10^{18} Joule)
FF	: Fill Factor (Doluluk Faktörü)
FV	: Fotovoltaik
GaAs	: Gallium Arsenide (Galyum Arsenid)
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
GES	: Güneş Enerji Santrali
GW	: Gigawatt
GSM	: Global System for Mobile Communication (Mobil İletişim için Küresel Sistem)
IEA	: International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
kWh	: Kilowatt-Hour (Kilowatt-Saat)
LA	: Lead Acid (Kurşun Asit)
LC	: Lead-Carbon (Kurşun-Karbon)
LDR	: Light Dependent Resistor (Işığa Bağımlı Direnç)
LFP	: Lithium Ferro Phosphate (Lityum Ferro Fosfat)
MPP	: Maximum Power Point (Maksimum Güç Noktası)
MPPT	: Maximum Power Point Tracker (Maksimum Güç Noktası İzleyicisi)
MW	: Megawatt
NaNiCl	: Sodium Nickel Chloride (Sodyum Nikel Klorür)

NMC	: Nickel Manganese Cobalt (Nikel Manganez Kobalt)
PF	: Power Factor (Güç Faktörü)
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genişliği Modülasyonu)
STC	: Standard Test Conditions (Standart Test Koşulları)
TFEC	: Total Final Energy Consumption (Toplam Nihai Enerji Tüketimi)
3D	: Three Dimensional (Üç Boyutlu)



ŞEBEKE BAĞLANTILI VE DEPOLAMALI BİR FOTOVOLTAİK SİSTEMİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIMI

ÖZET

Son yıllarda teknolojik gelişmeler ile insan nüfusunun artması sonucunda enerji kullanımına olan talep hızla artmaktadır. Fosil yakıt fiyatlarındaki artış ve çevre kirliliği sebebiyle insanlar yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretme çabaları giderek hız kazanmaktadır. Bu yüzyılda fosil yakıt kaynaklarının tükeneceği öngörüsü nedeni ile FV sistemler insanlara enerji tedarikinde bir alternatif haline gelmiştir. FV sistemler güneşten yararlanan, hiçbir zaman tükenmeyen ve çevreye zarar vermeyen bir yenilenebilir enerji türüdür. FV sistemler şebeke ile olan etkileşimlerine göre şebekeden bağımsız, şebeke bağlantılı ve hibrit sistem olmak üzere üç ana kategoriye ayrılmaktadır. Şebeke bağlantılı FV sistemin kurulumu nispeten basit ve diğer FV sistemlere kıyasla daha düşük işletme ve bakım maliyetlerine sahiptir. Ayrıca şebeke bağlantılı FV sistemin ana avantajı elektrik tasarrufunun sağlanması ve şebekeye enerji satışlarıdır.

Bu tez çalışmasında Edremit ilçesinde yer alan bir konut için depolama sistemini içeren şebeke bağlantılı bir FV sistem tasarlanmıştır. Tasarımda konutun aylık enerji tüketim verileri kullanılarak yıllık ölçekte öztüketiminin tamamını karşılayacak şekilde en uygun sistem tasarımı PV*SOL ve PVsyst yazılımları kullanılarak yapılmıştır.

PV*SOL simülasyonu sonucunda yıllık elektrik enerjisi üretimi 3.713,0 kWh ve performans oranı %85,3 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca PVsyst simülasyonu sonucunda ise yıllık elektrik enerjisi üretimi 3.805,0 kWh ve performans oranı %80,9 olarak ortaya çıkmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre konutun yıllık elektrik tüketiminin yaklaşık %95'i tasarlanan FV sistem tarafından karşılanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Batarya Enerji Depolama Sistemi, PV*SOL Yazılımı, PVsyst Yazılımı, Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Sistem, Yenilenebilir Enerji.

COMPUTER-AIDED DESIGN OF A GRID CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEM INCLUDING STORAGE SYSTEM

ABSTRACT

In recent years, as a result of technological developments and the increase in the human population, the demand for energy use has been increasing rapidly. Due to the increase in fossil fuel prices and environmental pollution, people are turning to the use of renewable energy sources. Efforts for generating energy from renewable energy sources are gaining momentum. Due to the prediction that fossil fuel resources will be consumed in this century, PV systems have become an alternative in energy supply to people. PV system is a type of renewable energy that uses the sun, never runs out and does not harm the environment. According to their interaction with the grid, PV systems are divided into three main categories such as off-grid, grid-connected and hybrid systems. Grid-connected PV system is relatively simple to install and have lower operating and maintenance costs compared to other PV systems. In addition, the main advantage of the grid-connected PV system is electricity savings and energy sales to the grid.

In this study a grid connected PV system which includes battery storage system was designed for a housing located in Edremit region. By using the monthly energy consumption data of the housing in the design, the most appropriate system design was carried out using PV*SOL and PVSyst softwares to meet the entire annual self-consumption.

As a result of the PV*SOL simulation, the annual electrical energy production was calculated as 3,713.0 kWh and the performance ratio was calculated as 85.3%. In addition, as a result of the PVSyst simulation, the annual electrical energy production was 3,805.0 kWh and the performance ratio was 80.9%. According to the simulation results, approximately 95% of the annual electricity consumption of the housing is met by the designed PV system.

Keywords: Battery Energy Storage System, PV*SOL Software, PVSyst Software, Grid Connect Photovoltaic System, Renewable Energy.

1. GİRİŞ

Sanayileşme ve insan toplumunun ekonomik ve sosyal gelişimini desteklemek için enerji önemli bir faktördür. Sosyal ve ekonomik kalkınma yeterli enerji üretim kapasitesine bağlıdır. Enerji hayatın her alanında hayati bir rol oynamakta ve teknolojik gelişmeler ile daha da ön plana çıkmaktadır (Ceylan, 2017). Günümüzde enerji sorunu küresel bir sorun haline dönüşmüştür. Ayrıca dünyanın çeşitli bölgelerinde devam eden çatışmalar ve işgaller de küresel enerji sorununu insanlara yansıtmaktadır (Küçükgoze, 2016).

Dünya nüfusu hızla artmakta ve bazı araştırmalara göre bugün gezegenimizde yaşayan yaklaşık 7 milyar insan nüfusunun 2040 yılında yaklaşık 9 milyara ulaşacağı öngörülmektedir. Bu durum küresel enerji talebini arttıracaktır. Ayrıca dünya nüfusunun üçte birinden fazlasına sahip olan yaklaşık 2,5 milyar insanın yaşadığı Çin ve Hindistan gibi birçok ülkede yaşam standardı hızla artmaktadır. Artan yaşam standartları artan enerji talebine yol açmaktadır (Jäger ve diğ., 2014).

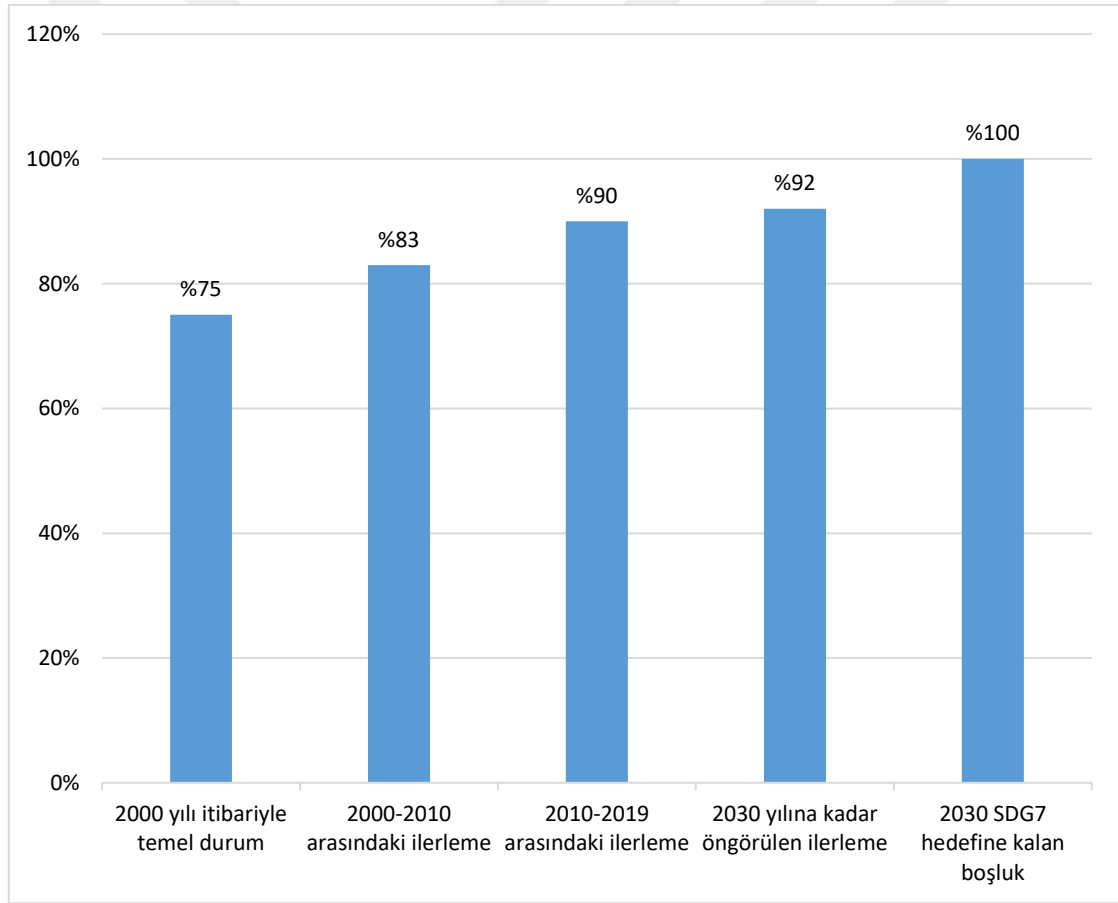
Uluslararası Enerji Ajansına (IEA) göre küresel elektrik enerjisi tüketimi 2003 yılında 14.781,00 milyar kWh'den 2015 yılında 21.699,00 milyar kWh'a yükselmiştir. Bu enerjinin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan elde edilmiş ve bunun sonucunda CO₂ emisyonları da artmıştır. Bu yüzyılda tükenmesi beklenen fosil yakıtların küresel ısınma, hava kirliliği ve sınırlandırılması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgâr, jeotermal, gelgit, hidroelektrik, dalga ve biyokütle enerjisi olarak sıralanabilir. Bunların başlıca dezavantajları sürekli olarak taleplere göre enerji sağlayamamalarıdır (Kampouris, 2020).

Son yarım yüzyılda küresel enerji tüketimi hızla artmıştır. Geçmişteki artış nispeten ucuz fosil yakıtlar Kuzey Amerika, Avrupa ve Japonya'daki artan sanayileşme oranları tarafından teşvik edilmiştir. Ek bir faktör olarak dünya nüfusunun yaklaşık üçte birine sahip olan Çin ve Hindistan'ın enerji kullanımındaki hızlı artışı devam etmektedir. (Goswami ve Kreith, 2016).

Dünya nüfusunun elektriğe erişimi olan payı 2010 yılında %83'ten 2019'da %90'a yükselmiştir. 2010-2019 yılları arasında dünya genelinde 1,1 milyar insanın daha elektriğe erişimi sağlanmıştır. Elektriğe erişimi olmayan insan sayısı 2010 yılında

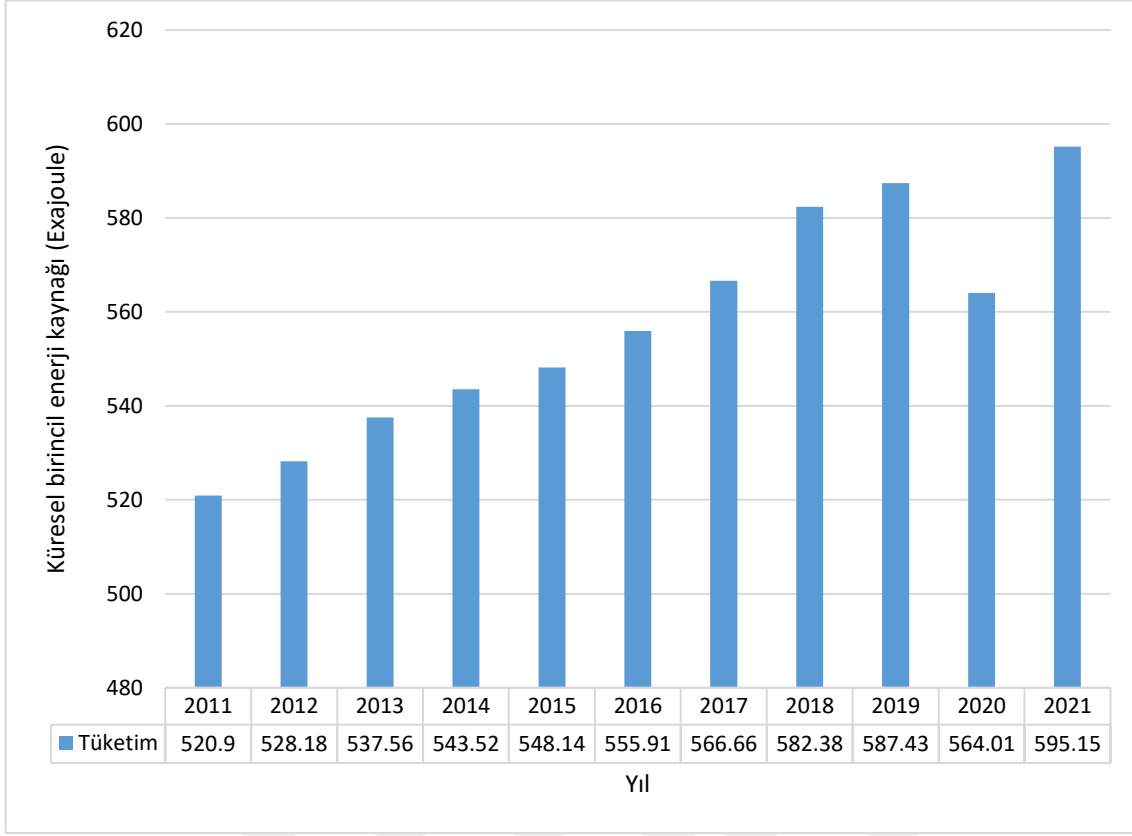
yaklaşık 1,2 milyardan 2019 yılında 759 milyona düşmüştür. Şekil 1.1'de görüldüğü üzere 2019 yılında dünya nüfusunun %90 elektriğe erişimi sağlanmıştır. Mevcut ve planlanan politikalar ile Covid-19 salgınının etkileri dikkate alındığında, 2030 yılına kadar dünya nüfusunun %92 elektrik erişimine sahip olacağı tahmin edilmektedir.

Nüfus artışı ve Covid-19 pandemisinden kaynaklanan riskler dikkate alındığında, 2030 yılına kadar ilave olarak 940 milyon kişinin elektriğe erişimi gerekecektir. Bununla birlikte mevcut ve planlanan politikalara göre ve pandeminin etkileri göz önüne alındığında, 2030 yılına kadar 280 milyon insanın daha elektriğe erişmesi beklenmektedir. 2030 yılında yaklaşık 660 milyon insan elektrik erişiminden yoksun kalacaktır (IEA, 2021).



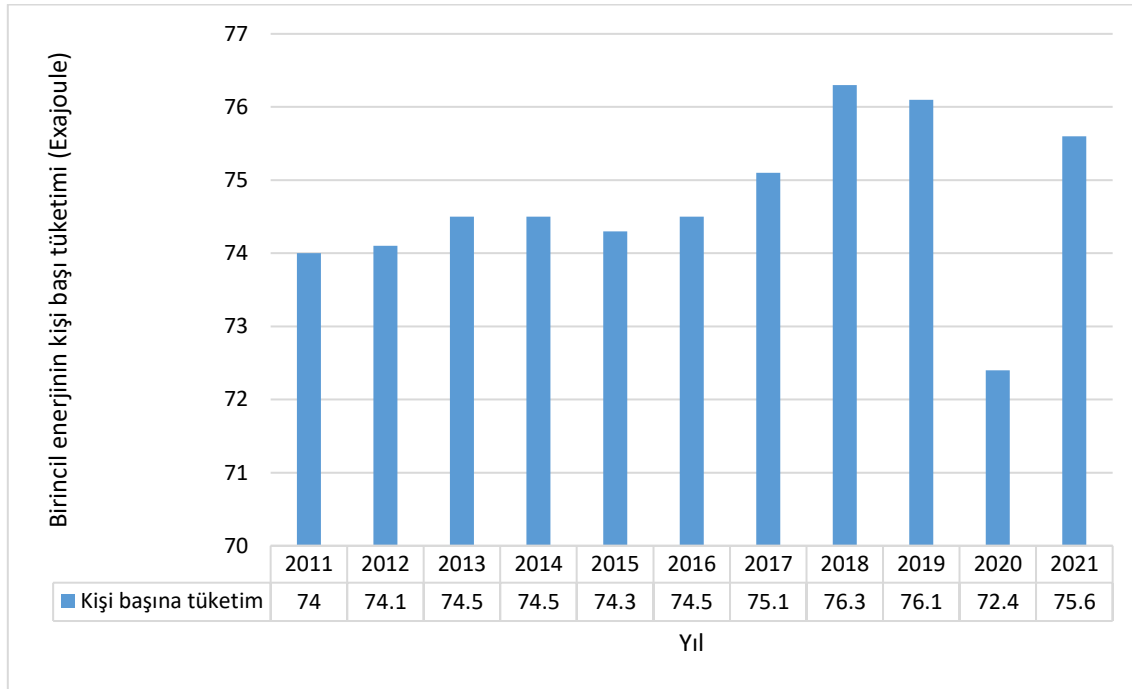
Şekil 1.1. Dünya genelinde elektriğe erişimi olan insan nüfusu (IEA, 2021)

2011-2021 yılları arasındaki küresel birincil enerji arzı Şekil 1.2'de görülmektedir. Görüleceği gibi küresel birincil enerji tüketimi 2021 yılı itibarıyla bir önceki yıla göre %5,8 artarak 595,15 exajoule'e yükselmiştir. 2020 yılındaki düşüş dışında küresel enerji arzı 2011 yılından 2021 yılına kadar istikrarlı bir şekilde artmıştır.



Şekil 1.2. 2011-2021 yılları arasındaki küresel birincil enerji arzı (Dale, 2022)

Ayrıca Şekil 1.3’de dünya genelinde birincil enerji kişi başına tüketim miktarı exajoule olarak verilmiştir.



Şekil 1.3. 2011-2021 yılları arasında birincil enerji kişi başı tüketimi (Dale, 2022)

1.1. Literatür Özeti

Son yıllarda dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmak için yapılan çalışmalar giderek hız kazanmaktadır. Bu sebeple YEK ve özellikle FV sistemler hakkında yazılmış birçok kitap, bilimsel makale ve tez çalışması mevcuttur. Konu ile ilgili literatürde yer alan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmektedir.

R. Srimathi ve diğ., 2022 yılında yaptığı makale çalışmasında Hindistan'ın güneyindeki Tamil Nadu bölgesinde Sırasıyla 1,3kWp ve 1,62kWp kapasitelere sahip monokristal silikon (mono-Si) ve bakır indiyum selenyum (CIS) güneş panelleri kullanılarak şebeke bağlantılı iki küçük ölçekli çatı üstü FV tesisin performansları incelenmiştir. FV sistemlerin aylık ve yıllık performans sonuçları karşılaştırılmıştır. Her iki tesisin Tamil Nadu'daki gerçek kış ve yaz iklim koşullarına uygun olup olmadığını belirlemek için gözlemlenen ve hesaplanan performanslar karşılaştırılmıştır. Nihai verim, fotovoltaiik etkinlik, tesis verimi ve performans oranı performansı değerlendirmek için kullanılan değişkenler gibi görünmektedir. PVsyst yazılımı seçilen konumdaki kayıtlı meteorolojik verileri kullanarak her iki FV tesisin yıl boyunca performanslarını tahmin etmiştir. Bu tahminler daha sonra gerçek ölçümlerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak gözlemlenen maksimum performans oranıyla her iki FV tesisin de kış aylarında yaz aylarındakinden marjinal olarak daha iyi çalıştığını göstermiştir (Srimathi ve diğ., 2022).

Chidiebere Diyoke, Ugochukwu Ngwaka ve Kenneth Ugwu 2023 yılında yaptığı çalışmada Nijerya'nın başkenti Abuja'da 10 kW, 100 kW ve 1 MW şebeke bağlantılı FV sistemin tekno-ekonomik ve çevresel analizini sunmaktadır. 1 MW'lık şebeke bağlantılı FV sistemin birim maliyeti kWh başına 0,01 \$ olarak hesaplanmıştır. Sabit eksenli ve çift eksenli sistem için sırasıyla 2000 \$/kW ve 2600 \$/kW toplam başlangıç maliyetine sahip olup uygun olduğu bulunmuştur. Ancak sabit eksenli 10 kW, çift eksenli 10 kW, sabit eksenli 100 kW ve çift eksenli 100 kW sistemler için birim başına maliyeti sırasıyla yaklaşık 0,294 \$/kWh, 0,297 \$/kWh, 0,223 \$/kWh ve 0,214 \$/kWh olarak bulunmuştur. (Diyoke ve diğ., 2023)

Uwineza LAETITIA 2018 yılında yaptığı tez çalışmasında PVsyst yazılımı kullanılarak Ruanda'da 1.3 MW'lık bir FV enerji santrali tasarlanmıştır. Tasarım sabit eksenli, tek eksenli ve çift eksenli güneş takipli sistemler için yapılmıştır. Tasarımı yapılmış olan

Kirehe şebeke bağlantılı FV enerji santrali için elde edilen yıllık simülasyon sonuçları sabit eksenli sistem için 1.892.338 kWh, tek ve çift eksenli güneş takipli sistemler için 2.514.113 kWh olarak bulunmuştur. Çalışmanın her üç senaryosu için elde edilen simülasyon sonuçlarına bakıldığında, Kirehe'de FV santralının teknik ve ekonomik olarak uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır (Laetitia, 2018).

Ozan CEYLAN 2017 yılında yaptığı tez çalışmasında PV*SOL, Helioscope, Polysun ve PVGIS fotovoltaiik yazılım programını kullanarak bir MW'lık bir güneş enerji santralının genel karakteristiğini incelemiştir. Gerçek ortam verileri ile yazılım programlarının simülasyon verilerini karşılaştırmıştır (Ceylan, 2017).

Arjyadhara Pradhan ve Bhagbat Panda 2017 yılında ele aldıkları makalede FV sistemin performansını etkileyen faktörlerin yaklaşımını sunmuştur. Işınım, sıcaklık, eğim açısı, toz, gölgeleme, rüzgar hızı, montaj, kablo kalınlığı ve nem gibi çeşitli faktörlerin etkisini test etmek için bir deney yapılmıştır. Tüm bu faktörlerin karşılaştırmalı bir çalışması, maksimum güç çıkışı, verimlilik ve doluluk faktörü açısından yapılmıştır (Pradhan ve Panda, 2017).

Arun Bhattarai 2016 yılı tez çalışmasında Finlandiya hava koşullarında sabit bir FV sistemle çeşitli güneş takip sistemlerinin performansını değerlendirmiştir. Bu hedefe sabit eksenli, tek eksenli ve çift eksenli güneş takip sistemlerinin PV*SOL pro ve Homer simülasyon yazılımı yardımıyla simülasyonu ve analizi yapılarak ulaşılmıştır. Çalışma sonucunda çift eksenli sistemin en iyi performansa sahip olduğu gösterilmiştir. Her bir güneş takip sisteminin kurulum maliyeti sabit sisteme göre daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca tek eksenli ve çift eksenli güneş takip sistemlerinde rulman ve motor gibi hareketli parçalar nedeniyle işletme ve bakım maliyeti daha yüksek olduğu görülmüştür (Bhattarai, 2016).

Kampouris ve diğ., 2020 yılında ele aldıkları çalışmada mevcut termal enerji depolama sistemlerinin incelenmesi, karşılaştırmalı analizi ve belirli kriterlere göre değerlendirilmesi ele alınmıştır. Elektrik, elektrokimyasal, termal, mekanik ve kimyasal enerji depolama teknolojisi ve sistemleri, teknik ve finansal özelliklerinin yanı sıra avantaj ve dezavantajları açısından kapsamlı bir şekilde sunulmuş ve sınıflandırılmıştır. Bu makale aynı zamanda konut sektöründe termal enerji depolama uygulamasını

sunmaktadır. Çalışma, uygulanan enerji depolama sisteminin binanın enerji verimliliğinin genel artışına katkısına odaklanmıştır (Kampouris, 2020).

Digi K Dileep ve Bharath KR, 2018 yılında yaptığı çalışmada, eviricilerin üç ana sınıflandırması sunulmuştur. Gerilim kaynaklı ve akım kaynaklı eviriciler, şebekeden bağımsız ve şebeke bağlantılı eviriciler ile kare dalgalı, modifiye kare dalgalı ve sinüs dalgalı eviriciler tartışılmıştır. Güç eviricilerinin farklı sınıflandırmaları ve ayrıca FV dizi, şarj kontrol cihazı ve depolama sistemi hakkında bir fikir sunulmuştur (Dileep ve KR, 2018).

Tulika Majaw ve diğ., 2018 yılında yaptığı çalışmada tüm güneş enerjisi sistemlerinde ihtiyaç duyulan maksimum güç noktası izleyicisi (MPPT) ve darbe genişlik modülasyonu (PWM) özellikli şarj kontrol cihazlarının analizi yapılmış ve analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Her iki tip kontrol cihazı arasındaki karşılaştırmada MPPT'nin PWM'ye kıyasla üstünlüğü gösterilmiştir (Majaw ve diğ., 2018).

A.Z. Hafez ve diğ., 2018 yılında ele aldıkları makalede güneş takip sistemleri ve güneş enerjisi uygulamalarındaki potansiyelleri hakkında kapsamlı bir çalışma sunmuştur. Makalede güneş takip sistemlerinin çeşitli tasarımları ve bileşenleri tanımlanmıştır. Bu çalışmada farklı eksen sistemleri ve dünyanın çeşitli bölgeleri kullanılarak güneş takip sistemlerinin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Güneş takip sistemleri takip teknolojilerine dayalı olarak aktif takip, pasif takip, yarı pasif takip, manuel takip ve kronolojik takip sistemleri olmak üzere beş kategorisi tartışılmıştır. Ayrıca mevcut çalışma, son 50 yılda geliştirilen güneş takip sistemleri için ana uygulamaların ve sistem tasarımının bir incelemesini sunmaktadır (Hafez ve diğ., 2018).

1.2. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında Balıkesir ili Edremit ilçesinde bulunan bir konut için yıllık toplam enerji tüketiminin tamamını sağlayacak nitelikte batarya sistemi içeren şebeke bağlantılı bir FV sistem bilgisayar destekli olarak tasarlanmış olup sistemin teknik ve ekonomik yönden analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yatırımının bugünkü net değeri ile en yüksek finansal avantajı sağlayan optimal sistem konfigürasyonu amaçlanmıştır. Güneş enerji sistemlerinin simülasyon aracı olarak PV*SOL ve PVSyst yazılımlarının kullanılması

fotovoltaik endüstrisi tarafından yapılan araştırma çalışmalarında kapsamlı uygulaması sebebiyle iyi bir seçim olarak kabul edilebilir. Ayrıca bu çalışma FV sistemler hakkında en yeni pratik bilgiler sağlamakta ve FV uygulamalar için FV sistemlerin tasarımı için bir kılavuz sunmaktadır.



2. FOTOVOLTAİK SİSTEM TEMELLERİ

Yenilenebilir enerji uygulamaları küresel ısınmanın önlenmesine katkıda bulunmaktadır. Son yıllarda fotovoltaik sistemler giderek daha fazla geliştirilmektedir. Fosil yakıt enerji kaynaklarının sonlu oldukları ve dolayısıyla küresel iklim değişikliğine sebep oldukları için zamanla tükeneceği de aşıkardır. Çevremizi korumak ve uzak bölgelerde elektriğe erişimi artırmak için güneş enerjisi gibi yeşil ve temiz enerji alternatifleri büyük önem taşımaktadır (Uwibambe, 2017). Dünya yüzeyine ulaşan güneş enerjisinden güneş termal veya fotovoltaik sistemler olmak üzere iki şekilde yararlanılabilir. Bir güneş termal sistemi, güneş ışınımındaki termal enerjiyi toplamakta ve bunu su ısıtılması veya buhar türbini ile çalışan elektrik jeneratörleri aracılığıyla elektrik üretimi için kullanmaktadır (Shukla ve diğ., 2016).

Fotovoltaik sistemler son yıllarda ivme kazanmış ve birçok ülkenin popüler tercihi haline gelmiştir. FV sistemlerin sürekli genişleyen enerji piyasasıyla verimliliğini, performansını ve sürdürülebilirliğini bilmek esastır. Güneş panellerinin çıkışı sadece özelliklerine değil, aynı zamanda çevresel koşullara da bağlıdır (Singla ve diğ., 2016).

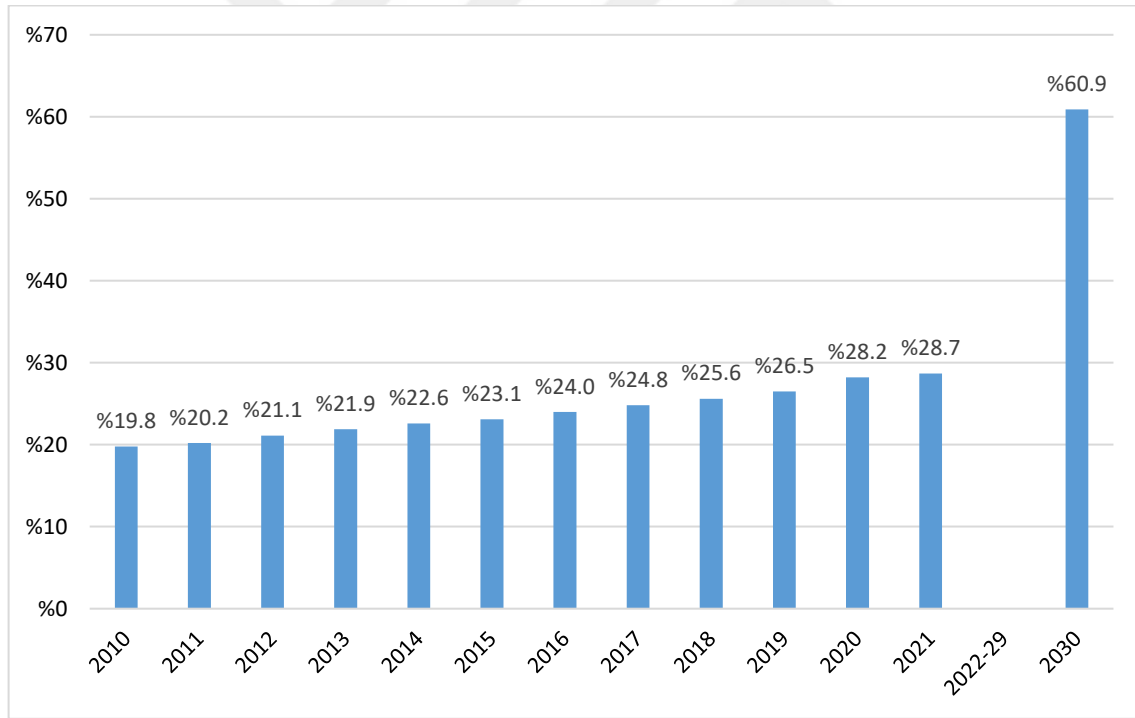
Güneş panellerinin güç çıkışını belirlemek için Standart Test Koşulları (STC) kullanılır. Standart test koşulları altında güneş panelleri 25°C'de test edilmektedir. Global hava kütlesi 1,5 iken metrekare başına 1.000 watt (1000 W/m²) güneş ışınımına maruz bırakılmaktadır. STC, güneş panellerinin nasıl test edildiği ve panel performansının ölçüldüğü koşullardır. Bunlar etikete konulan, panelin kaç watt olduğunu ve fiyatını belirleyen istatistiklerdir. Bir FV sistemin başarılı bir şekilde tasarlanması için farklı bileşenlerin işlevini anlamak ve ana özelliklerini bilmek çok önemlidir. Ayrıca FV bir sistemin beklenen performansının konumu üzerindeki etkisi bilinmelidir (White, 2015).

2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Enerji tüketimi sanayileşme, teknolojik gelişme ve nüfus artışının en önemli sonucudur. Gelişen ve büyüyen dünyada enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün daha da artmaktadır. İnsanoğlu daha temiz bir çevrede yaşamak için temiz sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelmekte, dolayısıyla enerji talebinin karşılanmasında fosil yakıtların payı azalmaktadır. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynakları ek enerji ihtiyacını karşılamakta,

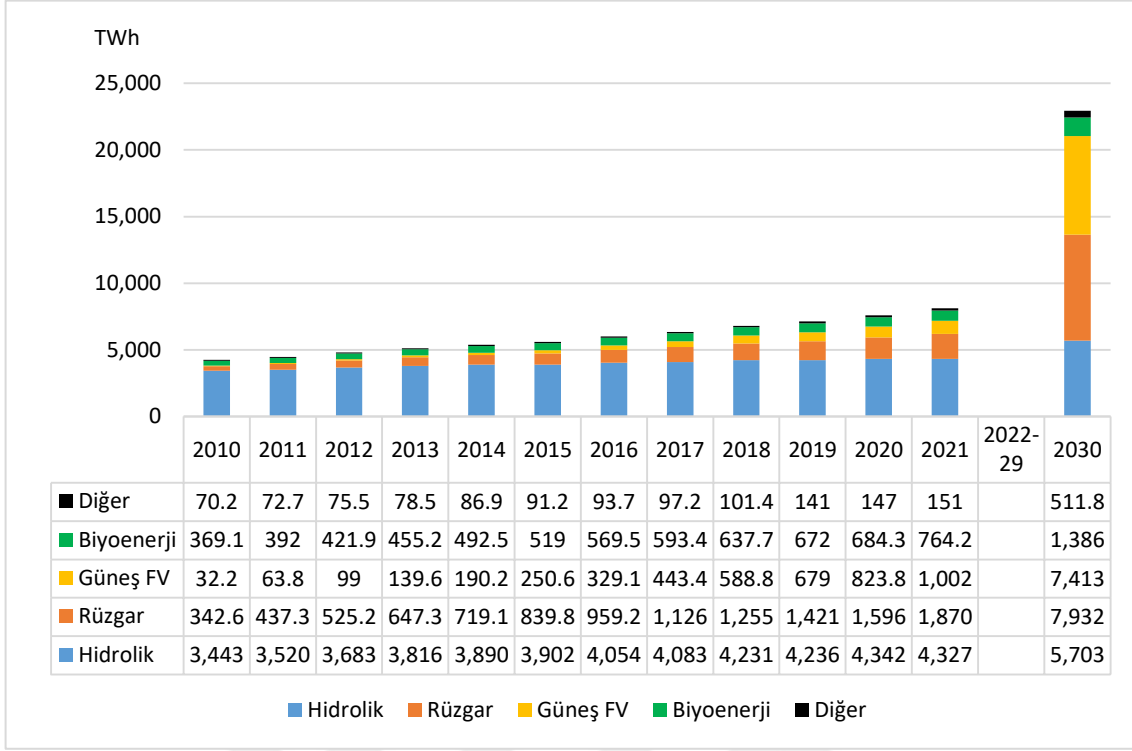
çevre dostu, temiz ve sürdürülebilir olması nedeniyle en önemli enerji kaynakları haline gelmiştir (Alici ve diğ., 2021). Yenilenebilir enerji doğal yollardan temin edilen, devamlı kendini yenileyen, çevreye zararı olmayan, kaynak sıkıntısı yaratmayan ve sonsuz kaynağa sahip olan enerji türüdür (Srimathi ve diğ., 2022). 2019 yılı Aralık ayında Çin'in Wuhan eyaletinde ortaya çıkan ve çok kısa sürede hızla tüm dünyaya yayılan Covid-19 virüsü, dünya ekonomisini olumsuz yönde etkilemesine rağmen rüzgar ve FV sistemler gibi yenilenebilir enerji kaynakları hızla büyümeye devam etmiştir.

(IEA) 2021 yılı verilerine göre 2021 yılında yenilenebilir elektrik üretimi yaklaşık %7 artarak 522 TWh'lik rekor bir artış göstermiştir. 2021 yılında yenilenebilir enerjinin küresel elektrik üretimindeki payı %28,7'ye ulaşmıştır. Yenilenebilir enerji üretiminin 2022-2030 yılları arasında yıllık %12'nin üzerinde büyümeye devam etmesi beklenmektedir (URL-3). Şekil 2.1'de 2010-2030 yılları arasında enerji üretiminde yenilenebilir enerji payı görülmektedir.

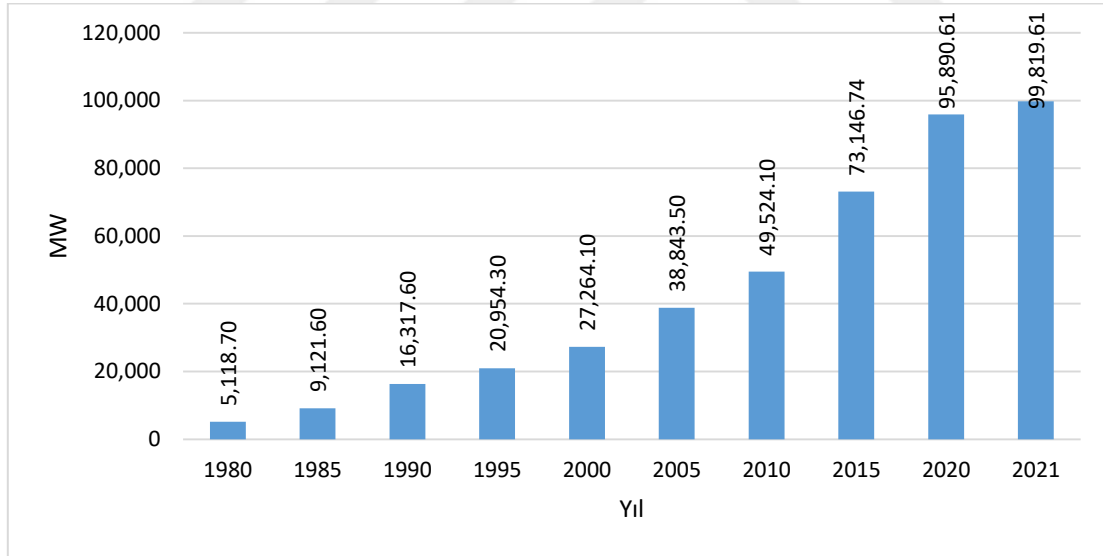


Şekil 2.1. 2010-2030 yılları arasında enerji üretimindeki yenilenebilir enerji payı (URL-3)

Yenilenebilir enerji, elektrik talebindeki rekor artışa ve hidroelektrik üretimini etkileyen kuraklıklara rağmen 2021 yılında elektrik üretimindeki payını artırmıştır (URL-3). 2010-2030 yılları arasında teknolojiye göre yenilenebilir enerji üretimi Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



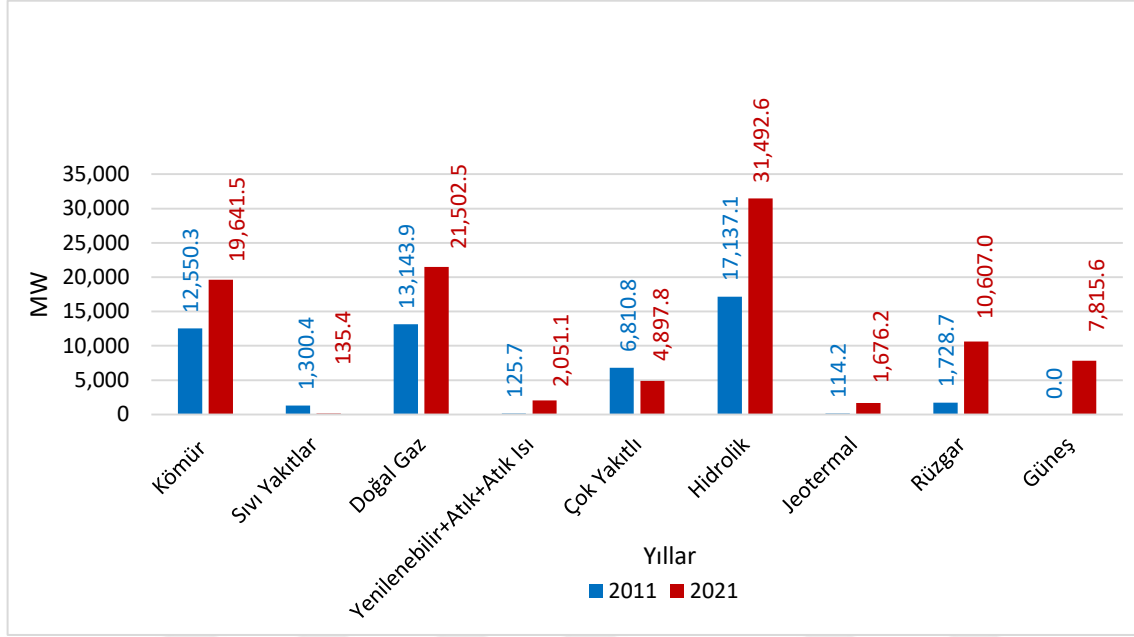
Şekil 2.2. 2010-2030 yılları arasında teknolojiye göre yenilenebilir enerji üretimi (URL-3)



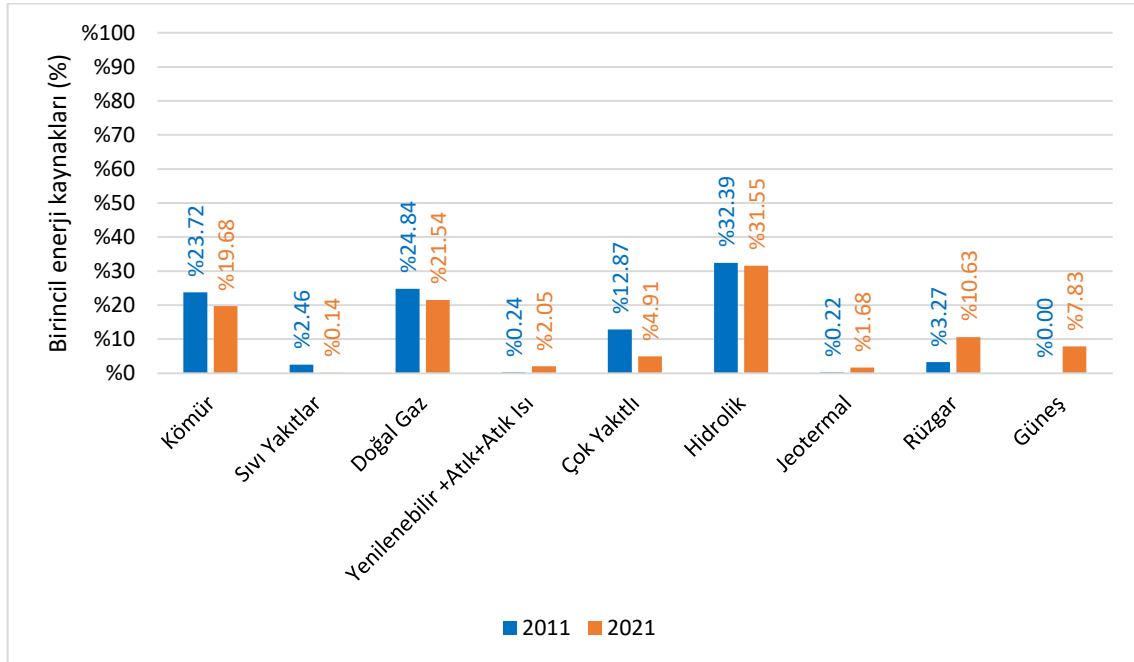
Şekil 2.3. Türkiye kurulu gücünün yıllar itibarıyla gelişimi (URL-4)

Türkiye'de kurulu gücün yıllara göre gelişimi Şekil 2.3'de görülmektedir. Türkiye'nin toplam kurulu gücü 2021 yılı itibarıyla 99.820 MW'a ulaşmıştır. Bu kurulu güç, 1980-2021 yılları arasında yaklaşık 20 kat artarak 5.119 MW'tan 99.820 MW seviyesine çıkmıştır. Elektrik talebindeki bu kadar yüksek artışın başlıca sebepleri nüfus artışı ve ekonomik büyümedir.

Şekil 2.4’de 2011 ve 2021 yıllarına dayalı farklı birincil enerji kaynaklarına göre Türkiye’nin kurulu gücü verileri görülmektedir. Görüleceği üzere sıvı yakıtlar ve çok yakıtlı enerji kaynaklarında 2011 yılına nazaran 2021 yılında düşüş görülmektedir. Bunun aksine kömür, doğalgaz, yenilenebilir atık, hidrolik, jeotermal, rüzgar ve güneş enerjisi kaynaklarında artış görülmektedir.



Şekil 2.4. 2011 ve 2021 yılları için birincil enerji kaynaklarına göre Türkiye’nin kurulu gücü (URL-4)



Şekil 2.5. Türkiye’nin 2011 ve 2021 yılları kurulu gücü için birincil enerji kaynaklarının yüzdesel olarak payı (URL-4)

Şekil 2.5’de Türkiye’nin 2011 ve 2021 yılları kurulu gücü için birincil enerji kaynaklarının payı yüzdesel olarak gösterilmektedir.

Türkiye’nin yıllar itibariyle yenilenebilir enerji kurulu gücü artış göstermektedir. 2015 yılında yenilenebilir enerji kurulu gücü 31,6 GW iken yıllık %8,7 artarak 2022 yılı Ekim ayında 55,9 GW seviyesine ulaşmıştır. Türkiye’nin 2015 yılında toplam kurulu gücü içerisinde yenilenebilir enerji payı %43,3 olup bu oran 2022 yılı Ekim ayında %54,1 düzeyine yükselmiştir. Tablo2.1’de Türkiye’nin yıllara göre yenilenebilir enerji kapasitesi gelişimi görülmektedir (Kavak, 2022).

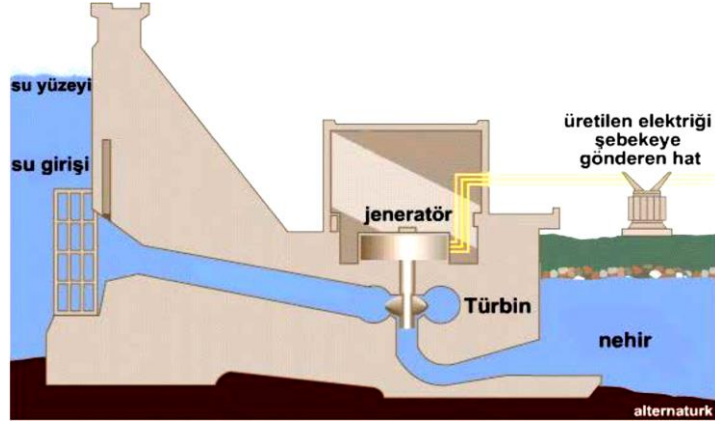
Tablo 2.1. Türkiye’nin yenilenebilir enerji kapasitesinin yıllara göre gelişimi (MW)

Kaynak (MW)	Hidro	Rüzgar	Güneş	Jeotermal	Biyolütle	Toplam
2015	25.868	4.498	310	624	345	31.645
2016	26.682	5.751	833	821	467	34.554
2017	27.273	6.516	3.421	1.064	575	38.849
2018	28.291	7.005	5.063	1.283	739	42.381
2019	28.503	7.591	5.995	1.515	1.163	44.767
2020	30.985	8.832	6.667	1.613	1.485	49.582
2021	31.493	10.607	7.816	1.676	2.035	53.627
2022-10	31.568	11.307	9.120	1.686	2.219	55.901

Son yıllarda dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretiminin artırılması hedeflenmektedir. Temel olarak hidroelektrik enerjisi, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, rüzgar enerjisi, dalga enerjisi ve güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları olarak sıralanabilir.

2.1.1. Hidroelektrik Enerjisi

Hidroelektrik enerjisi dünyanın elektrik enerjisi ihtiyacının %19’luk kısmını karşılamaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerji üretimindeki payı %69’a tekabül etmektedir. Türkiye’de 150’den fazla hidroelektrik enerji santralleri (HES) bulunmaktadır (Durak, 2016).

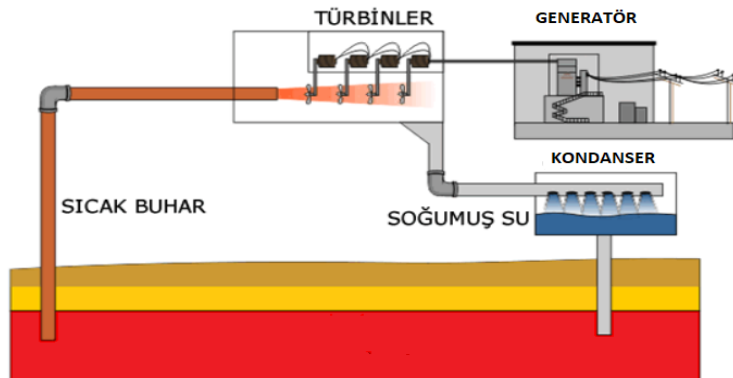


Şekil 2.6. Hidroelektrik santral şeması (Durak, 2016)

Hidroelektrik enerji suyun akışından faydalanılarak elektrik üretilmektedir. Suyun yükseklik ile kazandığı potansiyel enerji, önce kinetik enerjiye sonra ise jeneratörlerle elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Şekil 2.6’da hidroelektrik santral şeması gösterilmiştir (Oğuz, 2018).

2.1.2. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji dünya çekirdeğinden gelen ısıdan elde edilen enerjidir. Jeotermal enerji yeryüzünün alt kısımlarında oluşan sıcak su kaynaklarından meydana gelmektedir. Sıcak suyun oluşturduğu buharlar çeşitli işlemlerden geçerek kızgın buhara dönüşür. Bu buhar türbinleri harekete geçirerek mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüşmesini sağlamaktadır. Soğumuş su, türbine ulaşarak elektrik üretimini sağlayan buhara dönüştüğü sıcak kayalara pompalanır. Tekrar ısınan sıcak su, türbine ulaşarak enerji üretilmekte ve soğutulmak üzere tekrar yerin altına pompalanmaktadır. Bu işlem bu şekilde yineleyerek devam eder (Öztürk, 2020). Şekil 2.7’de jeotermal enerji üretiminin akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Jeotermal enerji üretimi akış şeması (Atlım, 2019)

2.1.3. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle enerjisi organik maddelerden farklı yöntemlerle elde edilen ve üretilen enerjiye biyokütle enerjisi denilmektedir. Biyokütle enerjisi odun, kömür, hayvan dışkı, tarım ürünleri, kentsel atıklar ve tarımsal atıklar gibi maddelerden oluşmaktadır. Farklı yöntemlerle sıvı, katı ve gaz halde elde edilen biyoyakıtlar ile ısı veya elektrik üretilir (Bilü, 2018). Çevre açısından büyük öneme sahip olan biyoenerji son yıllarda fosil yakıtlardaki fiyat artışından dolayı tercih edilmektedir. Dünyada kullanılan enerjinin yaklaşık %15 ini karşılayan biyokütle enerjisinin kullanımı her geçen gün daha da artmaktadır. Biyokütle enerjisinin dünyadaki elektrik üretim payının %8'ini ve ulaşım sektöründe akaryakıt olarak payının %28'ini karşılayabileceği öngörülmektedir (Koca, 2019).

2.1.4. Rüzgar Enerjisi

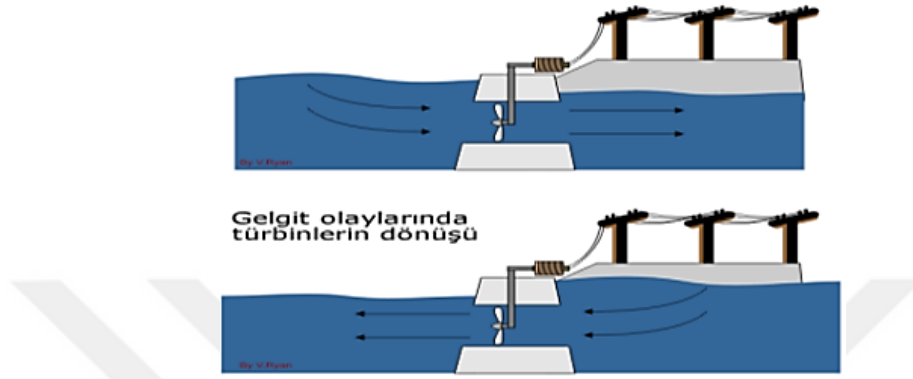
Rüzgardan elde edilen kinetik enerji rüzgar türbinleri vasıtasıyla mekanik enerjiye dönüştürülmektedir. Elde edilen mekanik enerji, jeneratörler vasıtasıyla elektriğe dönüştürülmektedir. Rüzgar enerjisi güneşin doğmasıyla başlar. Gece soğuyan hava katmanı yere doğru yönelmekte ve güneşin doğmasıyla ısınmaya başlamaktadır. Isınan hava gökyüzüne doğru yükselmeye başlamakta ve atmosferdeki soğuk hava katmanı alt katmanlara doğru inmektedir. Bu sıcak ve soğuk havanın değişimleri rüzgarı oluşturmaktadır (Öztürk, 2020). Almanya'nın %60 ve Danimarka'nın %50 enerji ihtiyaçları rüzgar enerjisinden karşılanmaktadır. Ayrıca diğer Avrupa ülkeleri ise yaklaşık %20 oranında enerji ihtiyaçlarını rüzgar enerjisinden sağlamaktadır. Şekil 2.8'de rüzgardan enerjiyi üreten rüzgar türbinleri gösterilmektedir (Koca, 2019).



Şekil 2.8. Rüzgar türbinleri (Öztürk, 2020)

2.1.5. Dalga Enerjisi

Dalga ve okyanus enerjisi okyanus ve denizlerde oluşan dalga hareketinden faydalanılarak elde edilmektedir. Dalgaların hareket etmesi neticesinde suyun içerisinde yerleştirilen türbinler elektrik enerjisini üretmektedir (Oğuz, 2018).



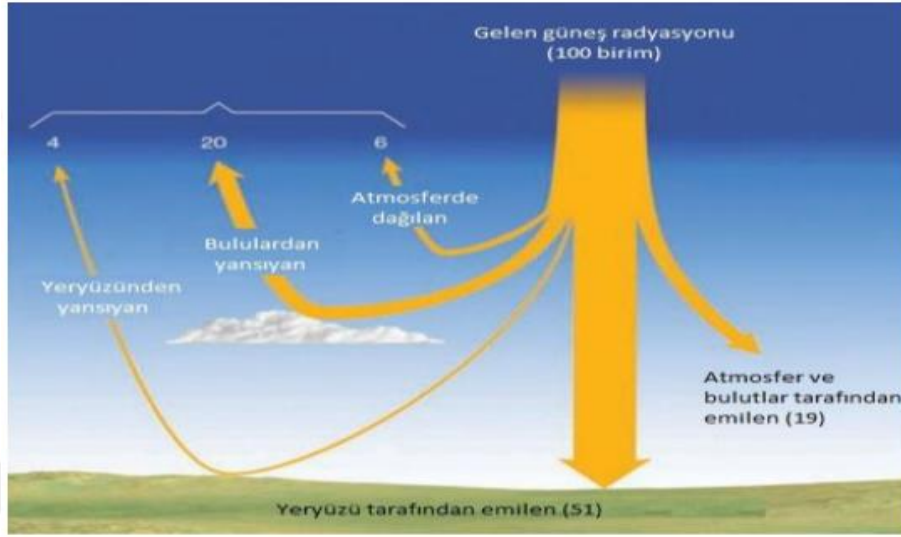
Şekil 2.9. Dalga ve okyanus enerjisi oluşumu (Oğuz, 2018)

Dalga okyanuslarda rüzgarın esmesiyle okyanusların yüzeyinde oluşmaktadır. Dalga rüzgarın deniz yüzeyinde yaptığı salınım hareketidir. Dalga enerjisini üreten cihazlar bu salınımı ve bu salınım sonucu oluşan basıncı kullanarak enerji üretmektedir. Dalga enerjisi, dalgaların hareketiyle türbinleri döndürerek elde edilen enerji türüdür. Okyanusların dibinde kullanılan türbinler akıntıların hareket etmesiyle meydana gelen kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürerek enerji üretmektedir. Şekil 2.9’da dalga ve okyanus enerjisi oluşumu gösterilmektedir (Atlım, 2019).

2.1.6. Güneş Enerjisi

Güneş, güneş sisteminde yaşamın sürekliliğini sürdürmek için enerji sağlamaktadır. Dünya güneşten bir saat içinde yaklaşık bir yıl boyunca enerji ihtiyacını karşılayacak kadar enerji almaktadır. Güneş enerjisi hidrojen gazının 10^6 - 15^6 C⁰ arasındaki çok yüksek sıcaklıklarda helyum gazına dönüştürüldüğü nükleer füzyon adı verilen bir yöntemle üretilmektedir. Güneş bir saatte $4,3 \times 10^{20}$ Joule güneş enerjisini dünya atmosferine salmaktadır. Bu enerji miktarı dünyanın bir yıllık tüm enerji gereksinimlerini karşılayabilmektedir (Laetitia, 2018). Güneş enerjisi güneş kollektörleri aracılığıyla doğrudan termal enerjiye veya fotovoltaik teknoloji ile elektrik enerjisine dönüştürülebilir (El Shenawy ve diğ., 2017).

Hızla gelişen FV teknolojinin gelecekteki küresel elektrik üretiminde önemli bir rol oynaması beklenmektedir.(Pearsall, 2017).



Şekil 2.10. Güneş, atmosfer ve yeryüzü arasındaki enerji akışı (Sezen, 2015)

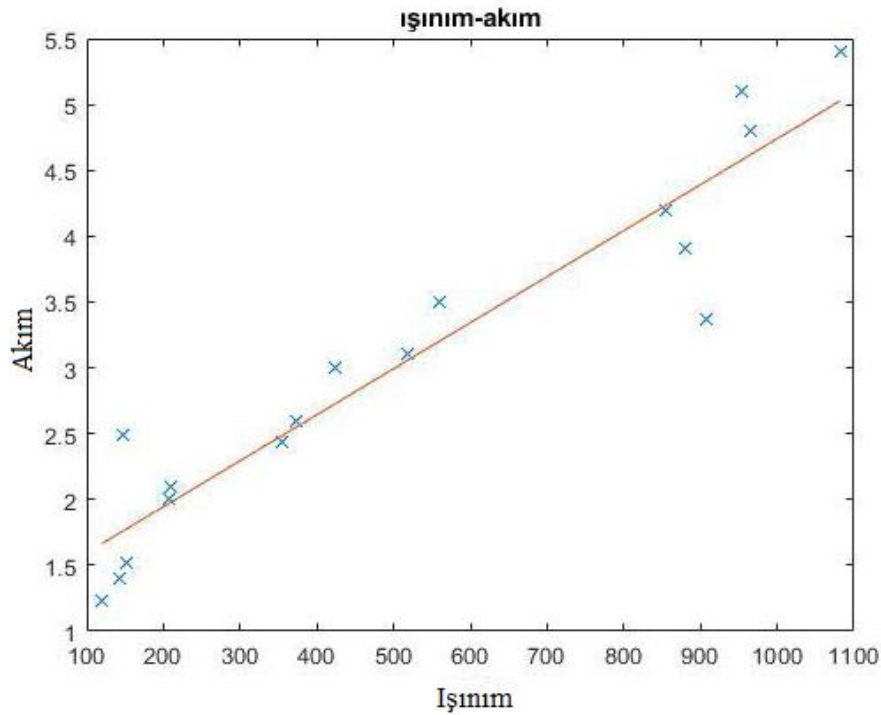
Güneş, güneş sisteminin toplam kütlesinin %99,68'ini oluşturmaktadır (Jäger ve diğ., 2014). Güneşin çekirdeğinde ortaya çıkan tepkimeler sonucunda hidrojen'in helyum gazına dönüşmesi ile elde edilen enerji güneş enerjisi olarak tanımlanmaktadır. Atmosfer dışında ışıınım şiddeti tahminen 1370W/m^2 olarak bilinmektedir. Ancak yeryüzüne gelen ışıınım miktarı $0-1100\text{W/m}^2$ değerleri arasında değişiklik göstermektedir. Güneş radyasyonu atmosferden geçerek yeryüzüne ulaşana kadar zayıflatılmaktadır. Güneş radyasyonunun %30 civarında dünya atmosferi tarafından yansıtılmaktadır. Işıınının %51'i dünyaya ulaşp %20'lik bir miktarı atmosfer tarafından yutulmaktadır. Güneş radyasyonunun atmosfer ve yeryüzü arasındaki enerji akışı Şekil 2.10'da verilmiştir (Sezen, 2015).

2.1.6.1. Güneş Radyasyonu

Güneş enerjisi kaynağı, dünyadan yaklaşık 149,5 milyon km uzaklıkta bulunan ve yaklaşık 1,4 milyon km çapındaki güneştir. Hidrojen atomları nükleer füzyonla helyum ile birleştiğinde güneşin merkezinde güneş enerjisi oluşmaktadır. Bu süreçte büyük miktarda enerji açığa çıkmaktadır. Güneşin 100 milyar MW güç ürettiği tahmin edilmektedir. Ancak dünyaya sadece 200 milyon MW ulaşır. Bu enerjinin bir kısmı güneş yüzeyinden uzaya ve aşağıya doğru yayılan elektromanyetik bir enerji olan fotonlar

şeklinde salınmaktadır. Fransız bir bilim adamı Becquerel 1839 yılında bazı malzemelerin güneş ışığı tarafından ısındığında çok az miktarda elektrik ürettiğini keşfetmiş ve ışığın elektriğe dönüştürme bu olayını fotoelektrik etki olarak isimlendirmiştir (Qazi, 2017).

Güneş ışığı olarak adlandırılan güneş radyasyonu, güneş tarafından yayılan elektromanyetik radyasyon için genel bir terimdir. Güneş radyasyonu çeşitli teknolojiler kullanılarak ısı ve elektrik gibi farklı enerji biçimlerine dönüştürülebilir (Sumathi ve diğ., 2015). Güneş ışınları yeryüzüne farklı açılar ve şekillerde ulaşmaktadır. Güneş ışınımının bir kısmı dünya atmosferi tarafından yutulmaktadır. Güneş enerjisinden verimli bir şekilde faydalanmak için güneş panellerine güneş ışınımının dik bir şekilde gelmesi gerekmektedir. Güneş panellerinin çalışma prensibinde akım şiddetini etkileyen en önemli faktör güneş ışınımıdır (Batmaz, 2018). Şekil 2.11'de güneş ışınımı ile akımın doğrusal ilişkisi gösterilmektedir.

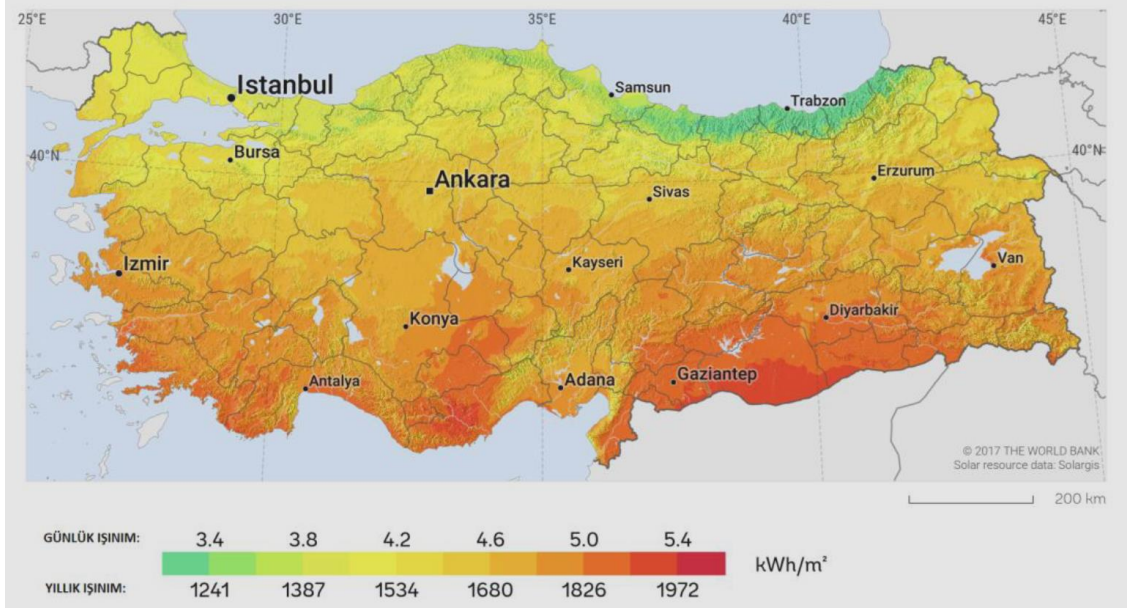


Şekil 2.11. Güneş ışınımı ile akım değişimi (Batmaz, 2018)

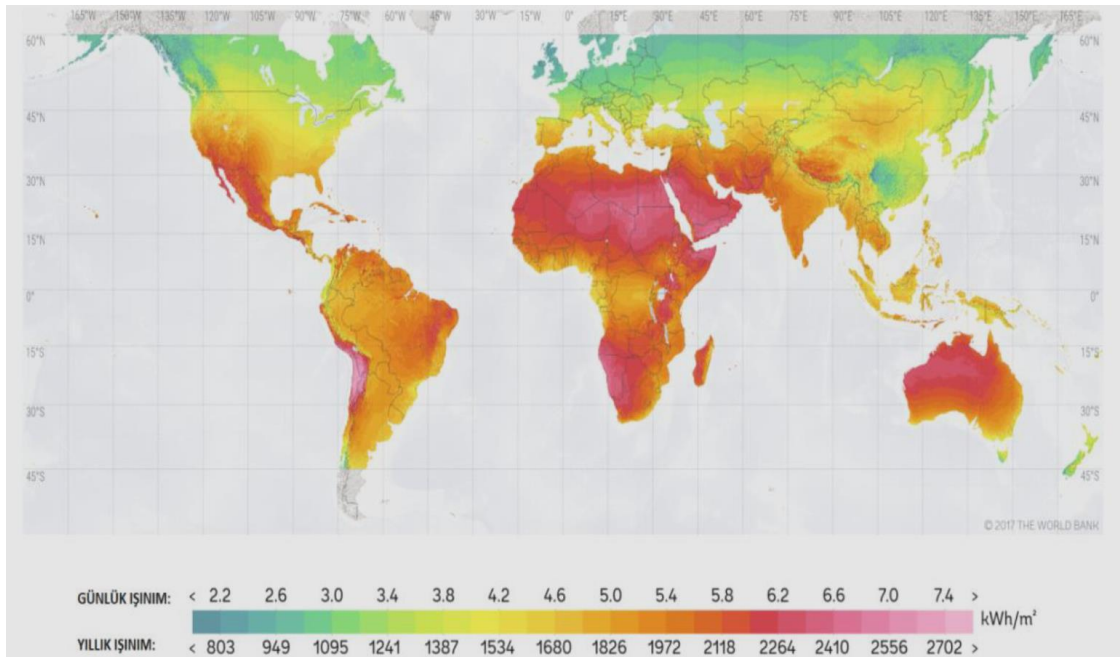
Güneş enerjisinden doğrudan yada rüzgar enerjisi gibi farklı formlara dönüşüp dolaylı olarak faydalanılır. Güneş ışınımı birimi W/m^2 olarak ifade edilmektedir. Güneş ışınımının şiddeti yıl boyunca mevsimlere göre değişkenlik göstermektedir. Dünya atmosferinin dışında kabul edilen güneş ışınımının ortalama şiddeti $1360 W/m^2$ ve yeryüzünde deniz seviyesindeki şiddeti ise $1kW/m^2$ olarak kabul edilir (Keskin, 2012).

Dünya ile güneş arasındaki mesafe yıl içerisinde 147-152 milyon km arasında değişkenlik göstermektedir. Bu sebeple güneşe dik bir alana düşen ışınımın gücü yıl boyunca 1325 W/m^2 ile 1420 W/m^2 arasında değişmektedir (Atılım, 2019).

Şekil 2.12’de Türkiye’nin çeşitli bölgelerinde güneş enerjisi miktarı yaklaşık $1200 - 2000 \text{ kWh/m}^2$ ’dir. Dünya geneline göre Türkiye’nin yıllık güneş ışınım şiddeti açısından orta sıralarda olduğu görülmektedir (Atılım, 2019).



Şekil 2.12. Türkiye’deki senelik güneş radyasyonunun dağılımı (Özçelik, 2018)



Şekil 2.13. Dünya yüzeyinde senelik güneş radyasyonunun dağılımı

Şekil 2.13’de görüldüğü gibi dünyanın çeşitli bölgelerinde senelik güneş enerjisi yoğunluğu değişkenlik göstermektedir. Kuzey ve güney yarım küredeki 15-30 enlemleri arasındaki yıllık radyasyon miktarı $2400 - 2700 \text{ kWh/m}^2$ arasında olup diğer bölgelerden daha fazla güneş enerjisine sahiptir. Kutup bölgelerindeki güneş enerjisi miktarı diğer bölgelere kıyasla daha azdır (Atlım, 2019).

Güneş ışınımı gün boyunca dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesiyle farklı açılarda yeryüzüne ulaşır. Bu sebeple eğer güneş takip sistemleri kullanılacaksa güneş panellerinin konumlandırılmasında azimut açısı ve yükseklik açısının tanımlanması gerekir. Şekil 2.14’de görüldüğü üzere dünya yüzeyine dik çizilmiş bir çizgiye zenit, güneş ile bu çizgi arasındaki açıya da zenit açısı denilmektedir. Güneşin kuzey-güney eksenini ile saat yönünde oluşan açıya güneşin azimut açısı denilmektedir. Ayrıca güneş paneli ile zemin arasındaki açı da eğim açısı olarak adlandırılmaktadır (Keskin, 2012).

Şekil 2.14’de görüldüğü üzere yükseklik açısı herhangi bir nokta için güneşten yeryüzüne gelen doğrunun yeryüzü ile oluşturduğu açıdır. Güneş doğuşunda bu açı 0° iken güneş tam tepede olduğu zaman değeri 90° ’dir (Keskin, 2012).



Şekil 2.14. Zenit ve yükseklik açısı (Awasthi ve diğ., 2020)

2.2. Fotovoltaik Sistemin Tarihçesi

"Fotovoltaik" kelimesi esas olarak güneş enerjisinden elde edilen elektrik anlamına gelir. İtalyan fizikçi Alessandro Volta'nın isminden gerilim anlamına gelen "voltaik" ve Yunanca ışık anlamına gelen "phos" kelimelerinden türetilmiştir. Güneş enerjisi fotovoltaik teknoloji vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir (Yasko, 2018).

(İnsanlar güneş enerjisini dünyada kullanmaya M.Ö. 400 (Sokrat) yıllarında evlerin pencerelerini güney cephelerine inşa etmeye başlamıştır. M.Ö. 250 yılında ise Arşimet içbükey aynalar yardımı ile güneş ışınlarını yansıtarak Sirakuza'yı kuşatan gemileri yakmıştır. Galilei' nin mercekleri bulması ile ise güneş enerjisi kullanımının yönünü değiştirmeye başlamıştır) (Oğuz, 2018).

Güneş teknolojisi yüzyıllardır gelişimi devam eden teknolojidir. İlk ortaya çıkışı 1800'lü yıllara dayanmaktadır (Küçükgoze, 2016). Geçmiş zamanlarda insanlar güneş enerjisinden farklı şekillerde yararlanmışlardır. Fotovoltaik etkiyi 1839 yılında ilk kez Fransız fizikçi Alexandre Edmond Becquerel keşfetmiştir. Becquerel, iletken bir çözeltiye batırılmış bir elektrot üzerinde parlayan ışığın bir elektrik akımı oluşturduğunu gözlemleyerek keşfetmiştir (Atılım, 2019).

Bugün bildiğimiz şekliyle güneş teknolojisinin gerçek gelişimi Amerika Birleşik Devletlerinde 1954 yılında bilim adamları Chapin, Fuller ve Pearson, %6 verimliliğe sahip silikon bazlı bir güneş teknolojisini geliştirmişler (Jäger ve diğ., 2014). FV sistemler 1960 yılından beri uzayda yapılan araştırmaların güvenli bir kaynak olarak devam etmektedir. 1973 yılında petrol krizi sonrasında Avrupa, Amerika ve Japonya güneş enerjisi alanında büyük yatırımlar yapmışlardır (Koca, 2019).

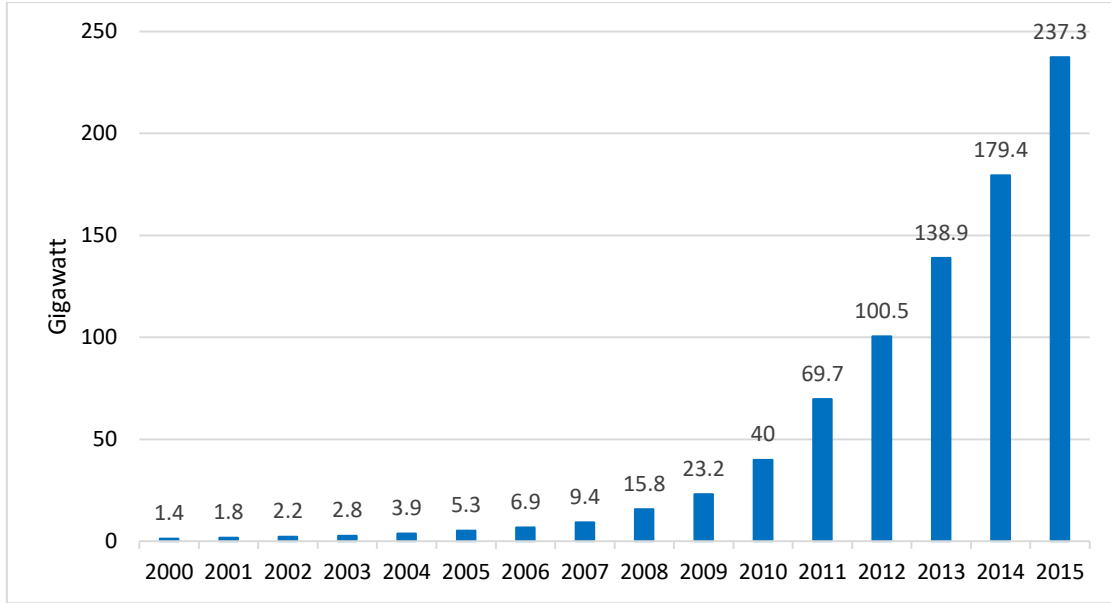
1999 yılında toplam küresel fotovoltaik kurulu güç 1 GWp'yi geçmiştir. 2000'li yıllardan itibaren çevre sorunları ve ekonomik konular kamuoyunda güneş enerjisine olan ilgiyi daha da arttırmıştır. Bu sebeple 2000 yılından sonra FV pazarı lokal bir pazardan global bir pazar haline gelmiştir. 2008 yılından beri Çin hükümeti FV endüstrisine büyük yatırımlar yapmaktadır. 2012 yılında dünya çapındaki güneş enerji kapasitesi 100 GW'lık sınırı aşmıştır. Son 13 yılda FV sistemlerin kurulu güç kapasitesinin yıllık ortalama büyümesi yaklaşık %40 olarak kaydedilmiştir (Jäger ve diğ., 2014).

2.3. Dünyadaki Fotovoltaik Enerji Durumu

Fosil yakıtların sınırlı bulunması, çevreye verdiği zararları ve yüksek fiyatları nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim giderek artmaktadır. Dünyanın tüm ülkeleri yenilenebilir enerji üretimini ve kullanımını desteklemektedir (Basaran ve Sezen, 2018).

Fotovoltaik sistemlerin pazarı temiz enerji konusundaki farkındalık ve güneş panellerinin fiyatlarındaki düşüş sebebiyle her geçen gün daha da büyümektedir (Bhattarai, 2016). Dünyada son yıllarda FV sistemlerin kurulu güç kapasitesi hızla artmaktadır. Şekil

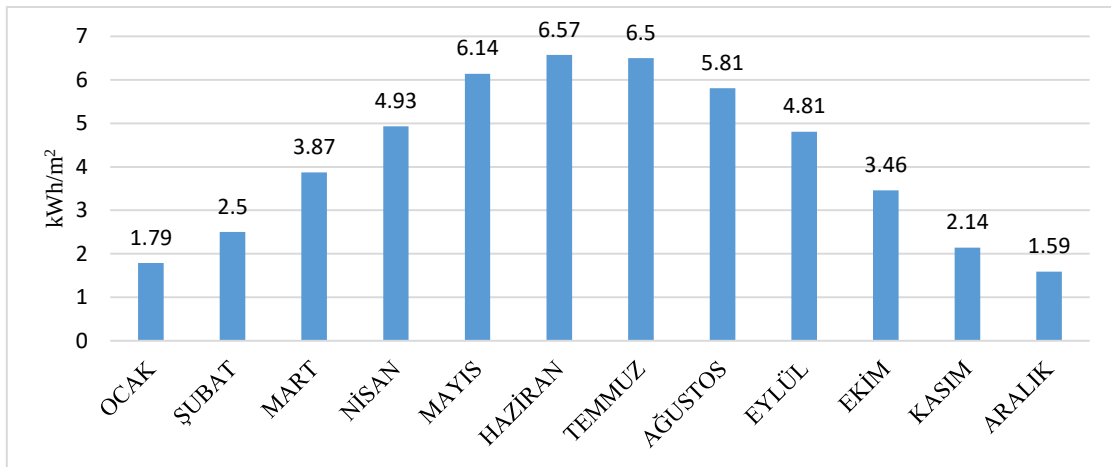
2.15’de gösterildiği gibi 2014 yılında 179.4 GW olan FV sistemlerin kurulu gücü 2015 yılında 237,3 GW’a ulaşmıştır (Ceylan, 2017).



Şekil 2.15. Dünyada FV sistemlerin (2000-2015) yıllar arası kurulu güç dağılımı

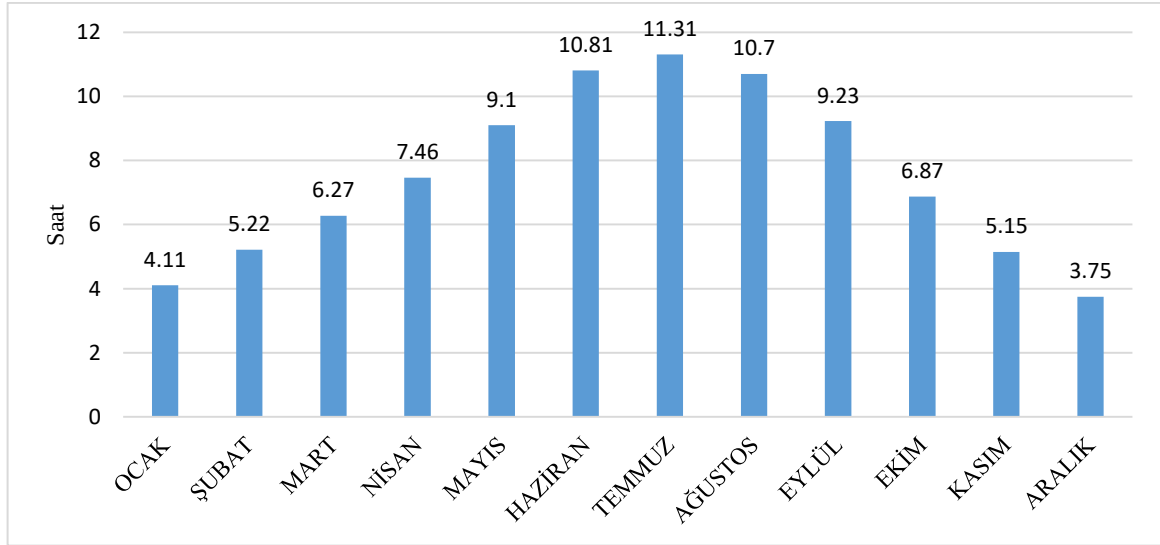
2.4. Türkiye’deki Fotovoltaik Enerji Durumu

Türkiye güneş enerjisi potansiyeli konusunda çok elverişli bir coğrafi konuma sahiptir (Ceylan, 2018). Türkiye giderek artan enerji talebini karşılamak için hem yerli kaynak çalışmalarını desteklemekte hemde yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli bir şekilde faydalanabilme çabasıdadır. Son yıllarda Türkiye yenilenebilir enerjiye yönelerek yatırım potansiyeli artmıştır (Durak, 2016). Şekil 2.16’da Türkiye’nin aylara göre günlük güneş radyasyon şiddeti 4,18 kWh/m² olarak görülmektedir (Bayram, 2015).

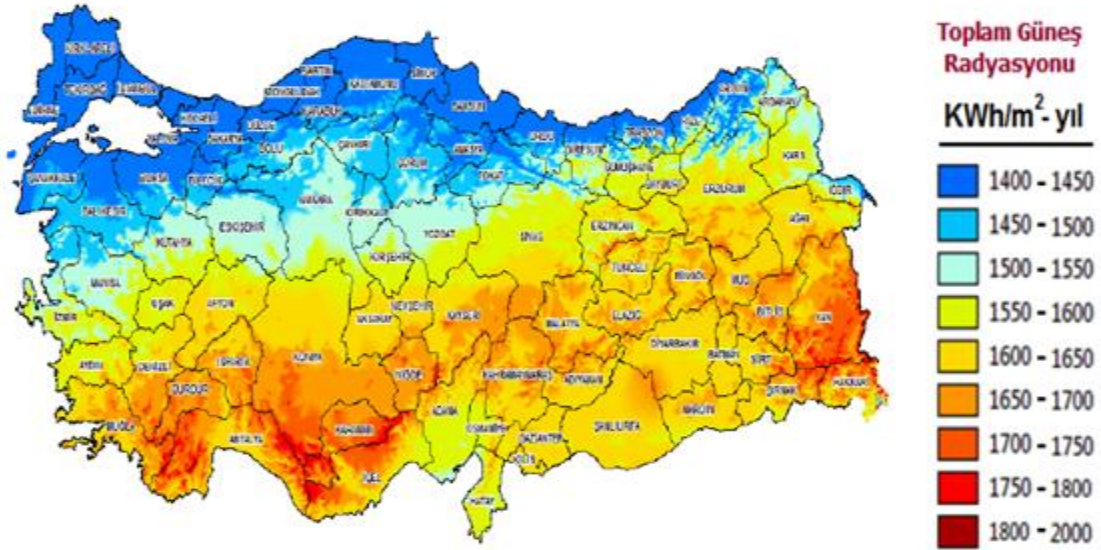


Şekil 2.16. Türkiye’nin aylara göre ort. günlük ışınlam değerleri (URL-5)

Şekil 2.17’de Türkiye’nin günlük güneşlenme süresi 7,5 saat olarak verilmiştir (Bayram, 2015).



Şekil 2.17. Türkiye'nin aylık bazda ortalama günlük güneşlenme süreleri (URL-5)



Şekil 2.18. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli (URL-5)

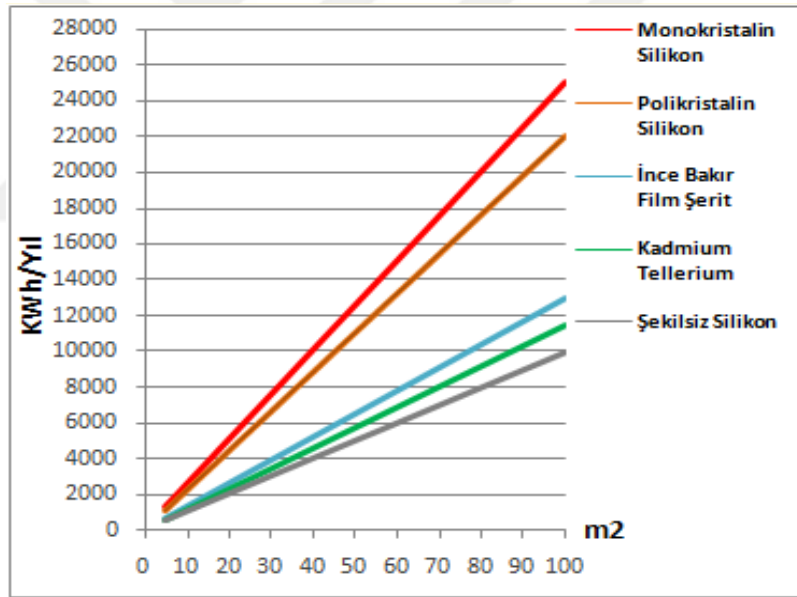
2013 yılında T. C. Enerji Bakanlığı tarafından Türkiye'nin güneşlenme haritası Şekil 2.18’de verilmiştir (URL-5).

Türkiye sahip olduğu konumu açısından güneş enerjisi potansiyeli birçok avrupa ülkelerine kıyasla daha iyi durumda olduğu görülmektedir. Farklı coğrafi konumlara göre Türkiye'nin güneşlenme potansiyeli Tablo 2.2’de belirtilmiştir (Küçük, 2019).

Tablo 2.2. Farklı bölgelere göre Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli (Durak, 2016)

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

Güneş panelleri farklı verimlere sahip olup çıkış güçleri değişmektedir. Türkiye'nin m² başına ortalama güneş radyasyonu değerleri Şekil 2.19'da gösterilmiştir (Ceylan, 2018).



Şekil 2.19. Türkiye'de FV teknolojinin m² başına üretilebilecek enerji grafiği (kWh-yıl) (URL-5)

2.5. Fotovoltaik Hücreler

Güneş panelleri genellikle silikon bazlı yarı iletken maddelerden üretilmektedir. Bir güneş hücresi ışığa maruz kaldığında bir elektrik akımı üretmektedir. Buna fotovoltaik etki denilmektedir (Birkeland, 2018). Fotoelektrik etki teoremini ilk olarak Einstein ortaya koymuştur. Einstein ışığın sadece dalga biçiminde değil, aynı zamanda tanecik şeklinde de hareket ettiğini kanıtlamıştır. Güneş ışığı bu hareketi fotonlar sayesinde

yapmaktadır. Fotovoltaik hücre fotoelektrik olaya dayalı olarak çalışır. Fotonların hücredeki silikon tarafından emilmesi sonucunda elektrik akımının oluşması sağlanmakta ve güneş panellerinin uçlarında elektrik gerilimi oluşmaktadır (Atılım, 2019).

FV sistemin temel parçası güneş hücresidir. Güneş hücreleri üzerlerine düşen güneş ışınımını elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken cihazlardır. Üzerlerine düşen ışık güneş hücreleri uçlarında elektrik gerilimini oluşturmaktadır. FV teknoloji güneş hücresinin yapısına göre %5 ile %40 arası verimle çalışmaktadır (Sezen, 2015). FV teknolojide kullanılan en yaygın yarı iletken Kristal silisyum (Si)'dir. Ancak yarı iletken maddelerin Galyum Arsenik (GaAs), amorf silikon (a-Si), Kadminyum Tellür (CdTe) gibi farklı türleri de mevcuttur.

İstenilen gerilimi elde etmek için FV paneller seri bağlanmaktadır. Ayrıca istenilen akımı elde etmek için paneller paralel olarak bağlanmaktadır. Paneller seri, paralel veya karışık olarak bağlanarak bir FV diziyi oluşturmaktadır. Şekil 2.20'de FV hücre, panel ve diziler gösterilmektedir.

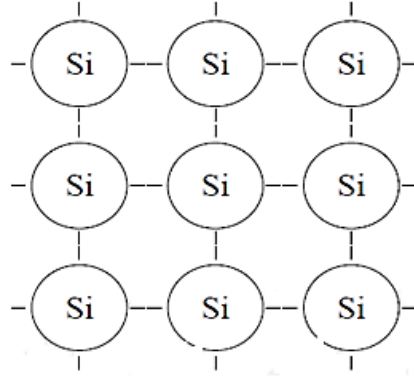


Şekil 2.20. FV hücre, panel ve diziler (Birkeland, 2018)

2.5.1. Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı ve Çalışması

Silikon yarı iletkeni dünyada en çok bulunan yarı iletkenidir. Silikon FV hücreler için verim ve üretim maliyeti açısından en iyi yarı iletken malzemedir. Silikon elementinin dış yörüngesinde 4 elektron bulunmaktadır. Bu dört elektron kimyasal bağlar oluşturarak diğer atomlarla etkileşime girmektedir. Bunlara değerlik elektronları da denilmektedir. İki Si atomu birbirilerinin değerlik elektronunu paylaştıklarında birbirine bağlanmaktadır. Si atomlarının dört değerlik elektronu olduğundan diğer dört Si atomuna kovalent olarak

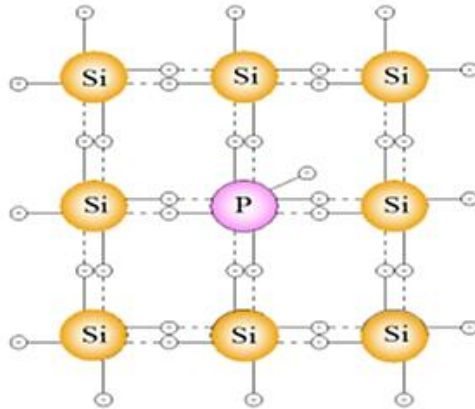
bağlanabilirler. Kristal formda her Si atomu dört komşu Si atomuna kovalent olarak bağlanmıştır. Bu nedenle her atom son kabuğunda 8 elektron ile kararlılığa ulaşır (Koçhan, 2019). Şekil 2.21’de Si kristalinin elektron dizilimi gösterilmiştir.



Şekil 2.21. Si kristalinin elektron dizilimi (Koçhan, 2019)

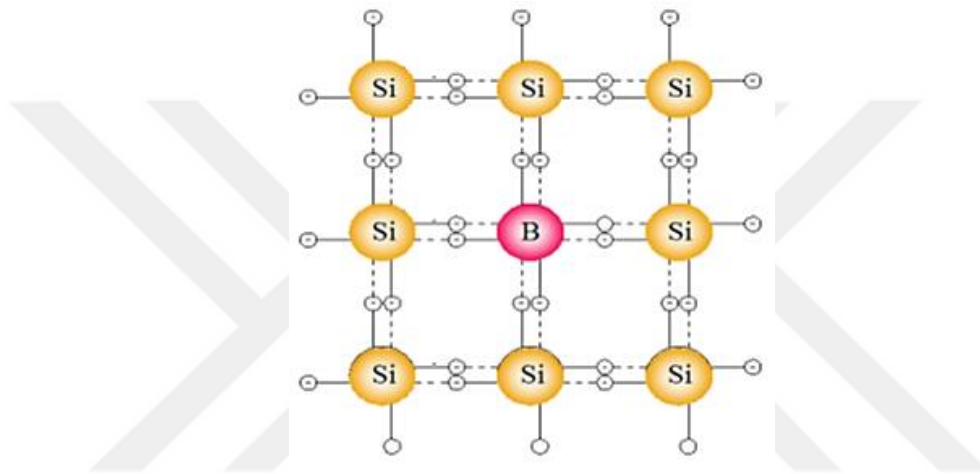
Güneş panellerinin üretiminde başta silisyum olmak üzere farklı yarı iletken maddeler kullanılmaktadır. Bir güneş hücresi P tipi ve N tipi silisyum olarak adlandırılan iki tip yarı iletken malzemeden oluşur. Vericiler olarak adlandırılan N tabakası bir tane fazla valans elektronuna sahip olan atomlardan oluşur.

N tipi silisyum elde etmek için saf silisyum maddeye son yörüngesinde 5 valans elektrona sahip bir element örneğin fosfor eklenerek elde edilir. Fosfor elementinin son yörüngesinde 5 elektron, Silisyum'un son yörüngesinde 4 elektron bulunduğu için Fosfor bir elektronunu Silisyum'a verir. Bundan dolayı periyodik cetvelin 5. grup elementlerine "verici" de denir (Köprü, 2016). Silisyum atomları ile Fosfor'un oluşturduğu kovalent bağ Şekil 2.22’de gösterilmiştir.



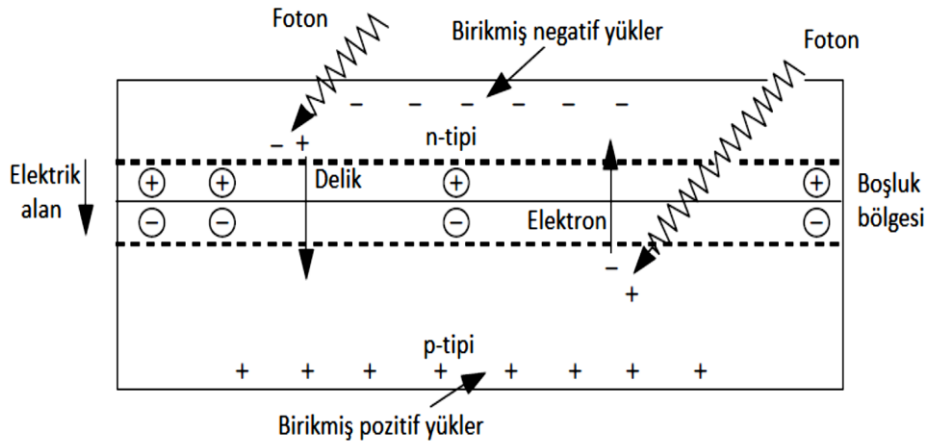
Şekil 2.22. N tipi malzeme

Alıcılar olarak adlandırılan P tabakası daha az valans elektronu olan atomlara sahiptir. P tipi malzeme elde etmek için saf Silisyum'a periyodik cetvelin 3. grup elementlerinden bir element örneğin Bor eklenir. P veya N tipi maddenin içine katkı maddelerinin katkılanma sonucunda oluşan yeni kristal yapıda eklenen atomun 3 valans elektronu ile Silisyum'un 3 valans elektronu ortak kovalent bağ oluşturur. P tipi malzemede oluşan boşluklar pozitif yüklüdür. Bunlara çoğunluk yük taşıyıcı boşluklar denir. P veya N tipi maddenin içine katkılanma sonucunda yarı iletken eklemler oluşturulur (Köprü, 2016). Silisyum atomları ile Bor'un oluşturduğu kovalent bağ Şekil 2.23'de gösterilmiştir.



Şekil 2.23. P tipi malzeme

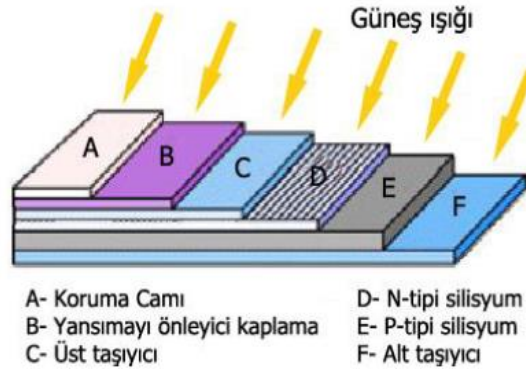
Güneş hücresi güneş ışığına maruz kaldığında P-N eklem bölgesinde elektron-boşluk çiftleri oluşur. Hem elektronlar hem de boşluklar Si kristal yapısı içinde rastgele difüzyona tabidir. Bu nedenle her biri yüksek konsantrasyonlu bölgelerden düşük konsantrasyonlu bölgelere yayılma eğilimindedir.



Şekil 2.24. Fotovoltaik hücrede oluşan P-N birleşimi (Bilü, 2018)

Eklemin N tarafı ve P tarafı arasındaki boşluk ve elektron konsantrasyonlarının muazzam konsantrasyon farklılıkları bağlantı boyunca büyük konsantrasyon meyillerine neden olur. Bu hareketli yük taşıyıcıları eklemin birleşme bölgesine ulaştığında serbest boşluklar P tipi tarafına serbest elektronlar ise N tipi tarafına itilir. Uyarılan her elektron gerisinde bir boşluk bırakarak elektronlar N bölgesinde ve boşluklar P bölgesinde toplanırlar. P-N tipi malzemenin eklem bölgesinde P tarafında negatif ve N tarafında pozitif yük birikir. Her iki tarafta birikilmiş yükler bir potansiyel oluşturur (Bilü, 2018; Goswami ve Kreith, 2016). Şekil 2.24’de FV hücrenin çalışma prensibi ve P-N birleşiminin nasıl oluştuğu gösterilmiştir.

Güneş hücrelerinin üst tabakası son derece hassas ve kırılgan olduğu için kaplama, koruma ve yansımayı önleyici tabakalardan oluşur. Yansıma önleyici kaplama güneşten gelen ışığı yansımadan soğurulmasını sağlar (Sezen, 2015). Üst taşıyıcı yada N tipi bölümünde güneş ışınlarının kopardığı elektronlar bu bölgeye geçiş yapar (Oğuz, 2018). Şekil 2.25’de FV hücrenin tabakaları gösterilmiştir.



Şekil 2.25. Fotovoltaik hücrenin tabakaları (Sezen, 2015)

2.5.2. Fotovoltaik Hücre Çeşitleri

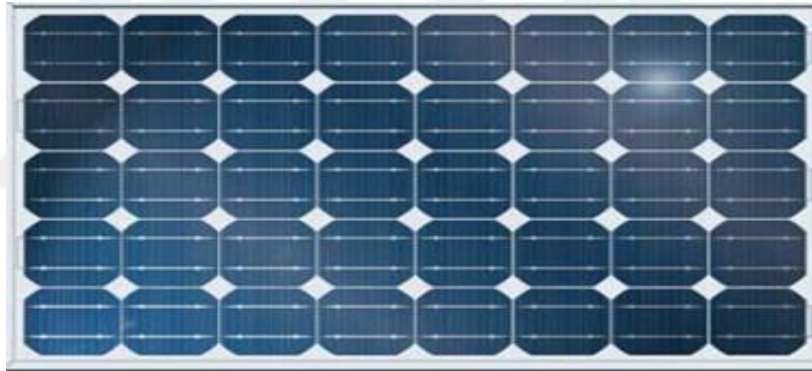
Dünya piyasasında yapısına bağlı olarak farklı güneş panelleri üretilmektedir. Genellikle kumdan elde edilen silikon FV hücrelerin yapımında kullanılan ana malzemedir. FV hücreler üç kategoriye ayrılabilir (Laetitia, 2018).

- Monokristal Silikon FV Hücreler
- Polikristal Silikon FV Hücreler
- İnce Film FV Hücreler

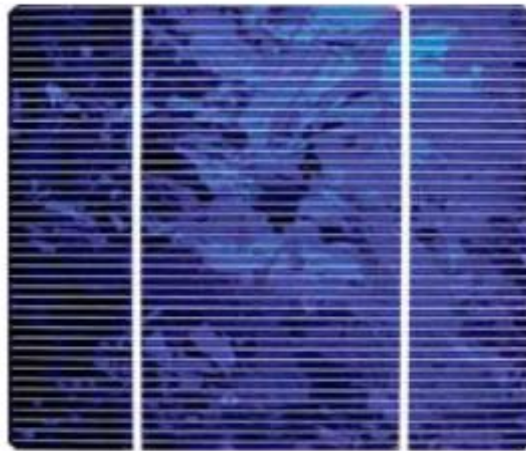
Pratikte daha kullanımı yaygınlaşmamış olan Süpertandem güneş panellerinin verimi %86,8 ve orta bant güneş panelleri verimi ise %63,2 teorik olarak belirtilmiştir (Özçelik, 2018).

2.5.2.1 Monokristal Silikon FV Hücreler

Monokristal silikon FV hücreler verimleri %15-%21 arasında olup yaygın olarak kullanılan ticari FV hücrelerdir (Eremkere, 2019). Bu paneller yaygın olarak 4, 5 veya 6 inç boyutlarında ve yaklaşık 0.5 mm kalınlığında üretilirler. Renkleri siyah veya koyu mavi olup ağırlığı 10 gr civarındadır. Diğer FV hücelere kıyasla daha fazla güç üretmektedir. Güç üretimi aynı hücre büyüklüğüne ve aynı hava koşullarına sahip ince film hücrenin dört katıdır. Ayrıca 25–30 yıl arasında daha uzun bir ömre sahiptir. Tek dezavantajı çok pahalı olmasıdır (Laetitia, 2018; Atlım, 2019). Şekil 2.26’da monokristal FV hücre yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.26. Monokristal FV hücre yapısı (Batmaz, 2018)



Şekil 2.27. Polikristal FV hücre yapısı (Küçükgoze, 2016)

2.5.2.2. Polikristal Silikon FV Hücreler

Polikristal silikon FV hücreler %12-19 verimlere sahiptir. Elektriksel ve yapısal özellikleri monokristal panellerle aynıdır ancak verimleri monokristal FV hücrelere kıyasla daha düşüktür. Polikristal silisyum FV panellerin üretim maliyeti daha düşüktür. Bu sebeple piyasada daha çok bulunmakta ve daha çok tercih edilmektedir (Eremkere, 2019). Şekil 2.27’de polikristal FV hücre gösterilmektedir.

2.5.2.3. İnce Film FV Hücreler

Şekil 2.28’de gösterilen ince film FV hücreler %10 verimlere sahip olup çok ince Silisyum damarlarından oluşur. İnce film FV hücreler çok ince tabakalı bir yapıya sahip olduğundan üretim maliyetleri Monokristal silikon ve polikristal silikon FV hücrelere göre düşüktür. Monokristal ve polikristal Silikon FV hücrelerin üretiminde olması gereken sıcaklık 1500 °C iken, ince film hücrelerde 200 °C - 500 °C arasındadır. İnce film güneş hücreleri amorf silisyum (a-Si), kadmiyum tellür (CdTe) ve bakır iridyum diselenid (CIS) FV hücre olarak üç farklı şekilde üretilmektedir (Yücel, 2016).

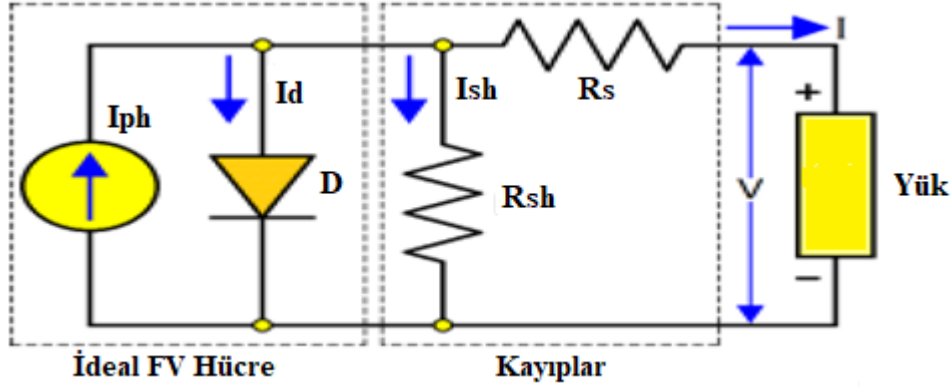


Şekil 2.28. İnce film FV hücre yapısı (Eremkere, 2019)

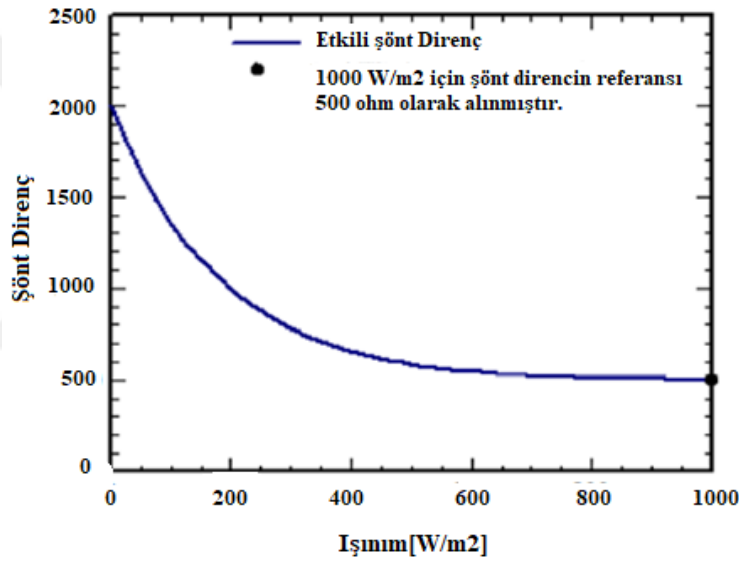
2.5.3. Fotovoltaik Hücresinin Elektriksel Eşdeğer Devresi

Şekil 2.29’da güneş hücresinin en basit eşdeğer devresi verilmiştir. Devre D diyotuna paralel bir I_{ph} akım kaynağından ve R_{sh} şönt direncinden oluşur. Hepsi birlikte bir seri dirence (R_s) bağlanmıştır. Akım kaynağı güneş ışığıyla akım sağlayan ideal bir kaynaktır (Laetitia, 2018). Devrede güneş ışığının ürettiği akım (I_{ph}), diyot akımı (I_d), yük akımı I ,

paralel direnc R_{sh} ve seri direnç R_s ile gösterilmektedir.



Şekil 2.29. Güneş hücresinin eşdeğer devresi (Vidyanandan, 2017)



Şekil 2.30. Işınmım ile şönt direncin değişimi

Seri direnç güneş hücresi yüzeyinden (ön ve arka) kontaklara kadar oluşur. Yüksek seri direnç doluluk faktörünü azaltır. Seri direnç azaldıkça güç çıkışı artar. Şönt direnç akımın hücre kenarları çevresinde ve zıt kutuplu kontaklar arasında sızmasından kaynaklanır. Işınmım ile şönt direncin değişimi Şekil 2.30'da gösterilmiştir. Şönt direncin düşük değeri ile kayıplar artar (Singla ve diğ., 2016).

Akım (I) ve gerilim (V) arasındaki ilişki ideal durumda Denklem (2.1)'de verilen ilişki ile ifade edilebilir. Bu denklem aynı zamanda standart diyot denklemi olarak da bilinir.

$$I = I_s \left[e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right] \quad (2.1)$$

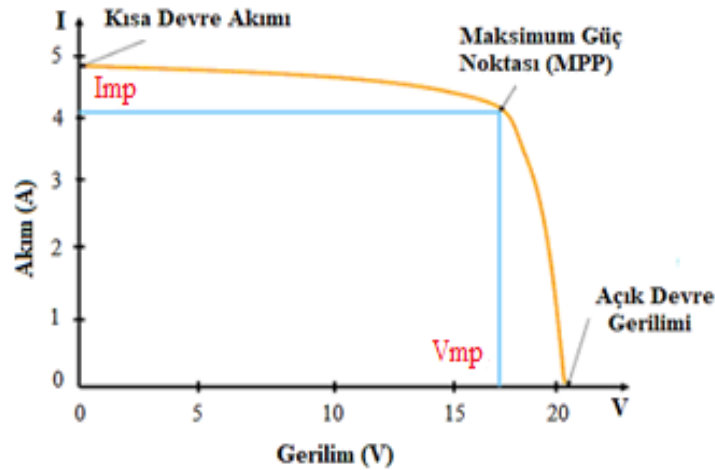
Burada I_s doyma akımı, q elektron yükü, V gerilim, k Boltzmann sabiti ve T mutlak sıcaklık (K)'dir (Kamran ve diğ., 2020).

Gerçek bir güneş hücresinin I-V karakteristiği Denklem (2.2)'de gösterilmiştir.

$$I = I_{ph} - I_s \left[e^{\frac{q(V+IR_s)}{nkT}} - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (2.2)$$

Burada I güneş hücresinin çıkış akımı, V güneş hücrsi gerilimi, T kelvin cinsinden hücre sıcaklığı, k Boltzmann sabiti, ($k = 1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$), q temel elektrik yükü, ($q = 1.6 \times 10^{-19} \text{coulomb}$), n diyot kalite faktörü, I hücrenin çıkış akımı, I_{ph} kaynak akımı, I_s doyma akımı, R_s seri direnç, R_{sh} paralel direnç ve I_{sh} paralel dirençten geçen akımdır (Pearsall, 2017).

Bir güneş hücresinin akım ve gerilim eğrisi akım ve gerilim çıkışlarının kombinasyonlarını göstermektedir. Güneş hücresi için tipik bir I-V eğrisi Şekil 2.31'de gösterilmiştir. Eğrinin herhangi bir noktasında bir güneş hücresinden elde edilebilen güç gerilim ile akımın çarpımıdır ($P = IV$).

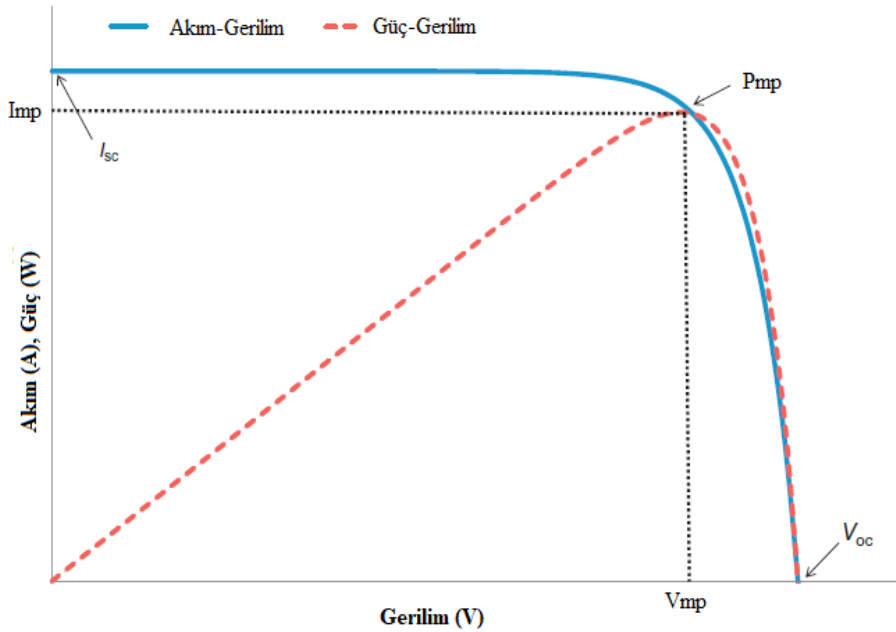


Şekil 2.31. FV hücrenin I-V ve maksimum güç noktası eğrisi (Küçük, 2019)

Bir güneş hücresi devresinin pozitif ve negatif terminalleri arasında kısa devre olduğunda maksimum akımı üretir ve devre gerilimi sıfır olur. Bu maksimum akım kısa devre akımı veya I_{sc} olarak bilinir. Bunun tersine maksimum gerilim, devrede bir kesinti olduğunda meydana gelir. Buna açık devre gerilimi denir ve V_{oc} ile gösterilir. Bu durumda akım akmadığı ve devre tamamlanmadığı için devre direnci sonsuz olur (Uwibambe, 2017).

Güneş hücresi çıkışının karakteristiği için V_{mp} ve I_{mp} parametrelerinin maksimum değerleri maksimum güç noktası olarak tanımlanır. Bu maksimum güç I-V eğrisi altında çizilen en büyük dikdörtgenden ibarettir (Birkeland, 2018).

Güneş ışıını ve ortam sıcaklığı güneş enerjisi üretiminde iki anahtar parametredir. I-V eğrisi iki bölgeden oluşur. Eğrinin sağ tarafı gerilim kaynağı bölgesi olarak adlandırılabilir. Burada bitiş noktası FV hücrenin açık devre gerilimini gösterir. Eğrinin sol tarafı bitiş noktasının FV hücrenin kısa devre akımını gösterdiği akım kaynağı bölgesi olarak adlandırılabilir. Hücrenin maksimum güç noktası (MPP) bu eğrinin dizinde bulunur. Maksimum güç transferi teorisine göre FV hücreye bir yük bağlandığında yük hattı bu noktayı geçtiğinde hücreden yüke maksimum güç iletilmektedir. Bu noktaya karşılık gelen gerilime maksimum güç noktasındaki gerilim ve buna karşılık gelen akıma maksimum güç noktasındaki akım denir. V_{mp} ve I_{mp} 'nin çarpımı maksimum güç noktasındaki güç (P_{mp}) olarak adlandırılır (Jana ve diğ., 2016). Şekil 2.32’de bir FV hücre için akım-gerilim ve güç-gerilim eğrileri gösterilmektedir.



Şekil 2.32. Bir FV hücre için akım-gerilim ve güç-gerilim eğrileri (Pearsall, 2017)

2.5.4. Fotovoltaik Hücrenin Elektriksel Parametreleri

FV hücrenin elektriksel parametreleri kısa devre akımı (I_{sc}), açık devre gerilimi (V_{oc}),

maksimum güç , doluluk faktörü (FF) ve verimlilik (η) (Yasko, 2018).

2.5.4.1. Kısa Devre Akımı (I_{sc})

Güneş hücresi üzerindeki gerilim sıfır olduğunda yani güneş hücresi kısa devre yapıldığında hücreden geçen akımdır. Genellikle I_{sc} ile ifade edilir. Kısa devre akımı güneş hücresinden çekilebilecek en büyük akımdır. Kısa devre akımı Denklem (2.3) ile ifade edilir.

$$I_{sc} = \frac{G}{1000} [I_{rs} + K_i(T_c - T_r)] \quad (2.3)$$

Burada G güneş ışınlamı, I_{sc} fotoakım, I_{rs} ters doyma akım, K_j sıcaklık katsayısı, T_c hücre sıcaklığı ve T_r referans sıcaklığıdır (Kamran ve diğ., 2020).

İdeal durumda Denklem (2.4)'de gösterildiği gibi FV hücrenin akımı kısa devre akımına eşittir.

$$I_{sc} = I_{ph} (V_{oc} = 0) \quad (2.4)$$

2.5.4.2. Açık Devre Gerilimi (V_{oc})

Açık devre gerilimi bir güneş hücresinden elde edilebilecek maksimum gerilimdir. Bu gerilim devre akımı sıfır olduğunda elde edilir. Açık devre gerilimi Denklem (2.5)'den yararlanılarak elde edilir.

$$V_{oc} = \ln\left(\frac{I_{sc}}{I_s} + 1\right) \left(\frac{nkT_c}{q}\right) \quad (2.5)$$

burada V_{oc} açık devre gerilimi, I_{sc} fotoakım, I_s doyma akımı, n idealite faktörü, k Boltzmann sabiti, T_c hücre sıcaklığı ve q elektron yüküdür (Kamran ve diğ., 2020).

2.5.4.3. Maksimum Güç (P_{mp})

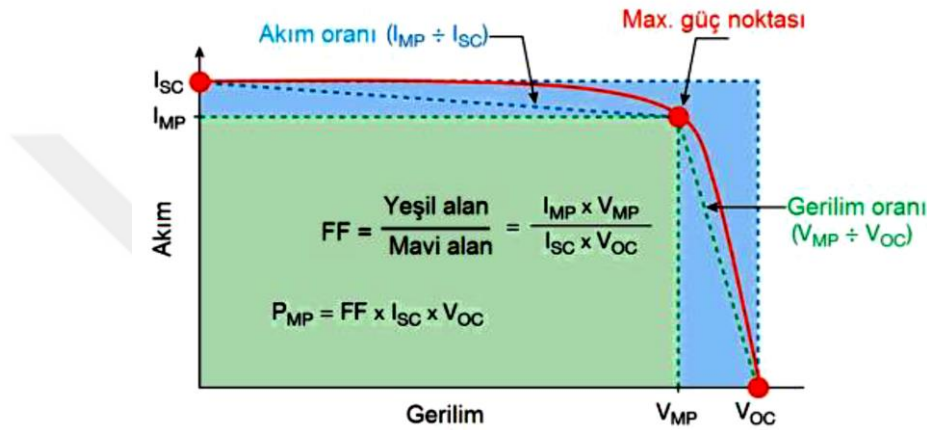
Güneş hücresinden elde edilen maksimum güçtür. Maksimum güç güneş hücresinin sağladığı maksimum gerilim (V_{mp}) ve maksimum akımın (I_{mp}) çarpımından ibarettir. Denklem (2.6) kullanılarak maksimum güç elde edilir.

$$P_{mp} = V_{mp} \times I_{mp} \quad (2.6)$$

2.5.4.4. Doluluk Faktörü (FF)

Esasen güneş hücresi kalitesinin bir ölçüsüdür. Açık devre gerilimi ve kısa devre akımının birlikte verilecek olan teorik gücü (P_t) ile maksimum gücün karşılaştırılmasıyla hesaplanır. Şekil 2.33’de gösterilen I-V eğrisine dayanarak doluluk faktörü Denklem (2.7) ile temsil edilebilir (Uwibambe, 2017).

$$FF = \frac{P_{mp}}{P_t} = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (2.7)$$



Şekil 2.33. Doluluk faktörü (Küçük, 2019)

2.5.4.5. Verimlilik (η)

Denklem (2.8)’de görüldüğü gibi verimlilik FV hücrenin çıkış gücünün (P_{out}) giriş gücüne (P_{in}) oranı olarak ifade edilir (Uwibambe, 2017).

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{max}}{P_{in}} \quad (2.8)$$

Ayrıca güneş hücresinin verimliliği Denklem (2.9)’da olduğu gibi maksimum gücün standart test koşulları altında (1000 W/m^2 , 25°C , AM 1.5) güneş ışıınımı (G) ile FV hücrenin yüzey alanı (A) çarpımına bölünmesiyle hesaplanabilir (Fouad ve diğ., 2017).

$$\eta = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{P_{in}} = \frac{P_{max}}{G \times A} \quad (2.9)$$

2.6. Fotovoltaik Sistem Bileşenleri

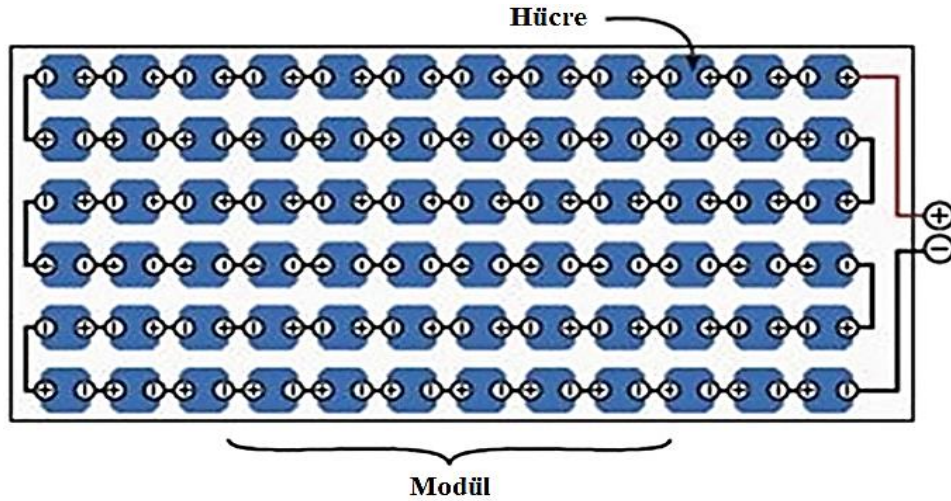
Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi önemli bir paya sahiptir. Güneş

enerjisi santrali üretim maliyetleri diğer enerji kaynaklarına göre daha düşük olup bu anlamda ekonomik zorlukların aşılması güneş enerjisini geleceğin enerji kaynağı haline getirmektedir. Ancak güneş enerjisinin en büyük dezavantajlarından biri bulutlu hava koşulları nedeniyle güneş enerjisinin kesintiye uğramasıdır. Gece veya bulutlu günlerde güneş panellerinin enerji üretmesi mümkün değildir. Aynı zamanda güneş ışıının değerleri yaz ve kış ayları arasında büyük farklılıklar gösterir (Alici ve diğ., 2021).

Fotovoltaik enerji sistemleri farklı bileşenlerden oluşur. Her bileşenin belirli bir görevi vardır. Üç tip FV sistemler (şebekeden bağımsız, şebekeye bağlı ve hibrit sistem) mevcuttur. Bu sistemlerden üretilen enerji ya bataryalarda depolanır veya doğrudan kullanılabilir. Sistemdeki bileşenin türü sistemin türüne ve amacına bağlıdır.

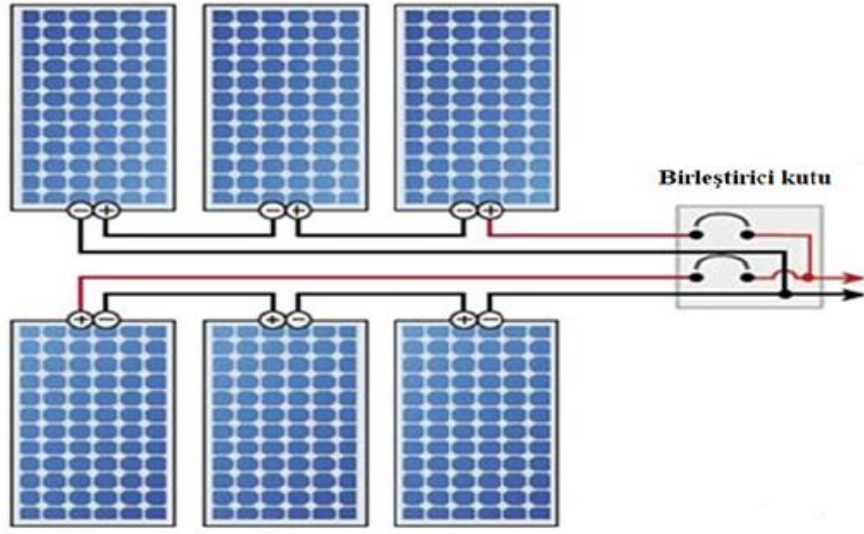
2.6.1. Güneş Panelleri

FV hücre FV sistemin en temel parçasıdır. Bir FV paneli çok sayıda FV hücrenin gruplandırılması ile oluşturulur. Tek bir FV hücre tarafından üretilen gerilim düşük seviyededir. Hücreler seri olarak bağlanarak gerilim seviyeleri artırılır. Panelin dış kısmında FV malzemenin yüzeyini koruyan yüksek geçirgenlik özelliğine sahip bir camdan mevcuttur. Şekil 2.34’de bir modülü oluşturan FV hücrelerin bağlantısı gösterilmektedir (Mohanty ve diğ., 2016).



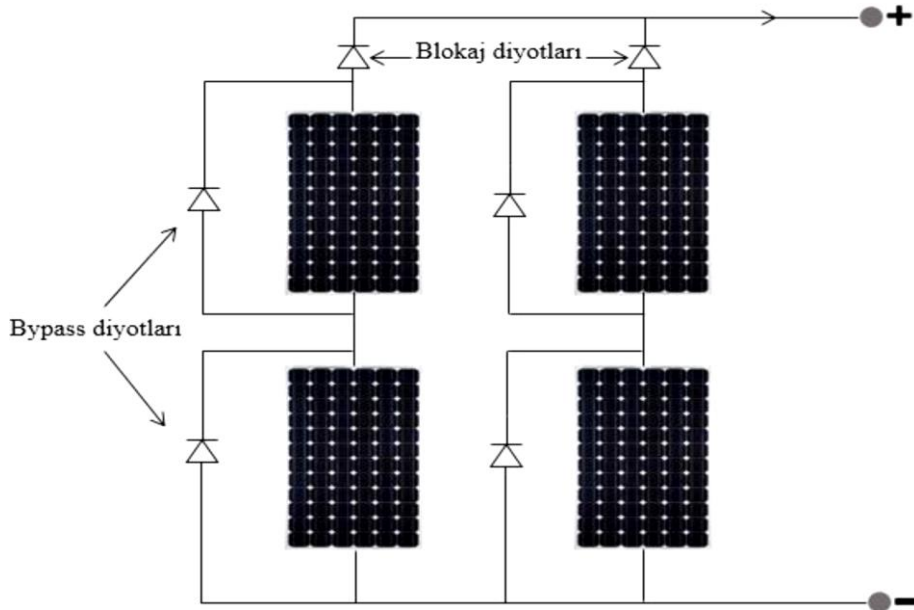
Şekil 2.34. Bir paneli oluşturan FV hücrelerin bağlantısı

Paneller istenilen gerilimi ve ya akımı elde etmek için seri, paralel ve ya karışık olarak bağlanarak bir FV diziyi oluşturur. Şekil 2.35’de panellerin oluşturduğu FV dizi gösterilmiştir.



Şekil 2.35. Panellerin oluşturduğu FV dizi

FV panellerin üzerinde toz birikmesi, kar ve yakındaki ağaç veya binanın gölgesi vb. sebeplerden kaynaklanan tehlikelere karşı korunmaları için bay-pass diyotları bulunmaktadır. By-pass diyotları ayrıca gölgeli hücrelerden akacak olan ters akımı bloke ederler (Singla ve diğ., 2016). By-pass diyotları bir grup hücreyi atlamaktadır. By-pass edilen hücre grubu gerilim oluşturmaz ancak akımın geçmesine izin verir ve hücre grubuna paralel olarak bağlanır (White, 2015). Blokaj diyotları bataryanın FV panellere geri akmasını önlemek için kullanılır ve panellere seri şekilde bağlanır (Yasko, 2018). Şekil 2.36’da by-pass ve blokaj diyotlarının bağlantıları gösterilmiştir.



Şekil 2.36. By-pass ve blokaj diyotları (Yasko, 2018)

2.6.2. Depolama Ünitesi

Batarya hücreleri kimyasal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren bir elektrokimyasal enerji dönüştürme ve depolama cihazıdır. Bataryanın temel yapı taşı hücredir. Bir batarya gerekli çıkış gerilimine ve kapasitesine bağlı olarak bu hücrelerin seri veya paralel olarak bağlamasından oluşur (Satpathy ve Pamuru, 2020).

Enerji sistemlerinde bataryalar giderek daha önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir. Enerji depolama sistemleri talebin olabileceği durumlarda üretilen enerjiyi depolayabildiğinden dolayı enerji sisteminde yenilenebilir enerji kaynaklarının daha iyi kullanılmasına katkı sağlamaktadır. Bataryalar enerjinin olmadığı zamanlarda daha sonra kullanılmak üzere fazla enerjiyi depolamaktadır (Kampouris, 2020).

Bataryalar şebekeden bağımsız FV sistemlerde maliyetin büyük bir kısmını oluşturur. Şebekeden bağımsız FV sistemlerde kullanılacak bataryaların güneşin olmadığı saatlerde derin deşarjı dayanıklı olması gerekir. Bu tür bataryalara derin döngülü bataryalar denir. Bir batarya grubunda takımında bataryalar aynı tipte olmalıdır. Eski veya düşük performanslı bataryalar bağlı oldukları diğer bataryaların performansını da düşürür (Kulworawanichpong ve Mwambeleko, 2015). Batarya grubu kapasitesi bulutlu gün sayısı, batarya verimliliği, bataryanın şarj derinliği ve eviricinin verimliliği göz önünde bulundurularak hesaplanmaktadır (Ghafoor ve Munir, 2015). Bulutlu gün sayısı FV paneller tarafından enerji üretmeden FV sistemin çalışabileceği gün sayısını ifade etmekte ve iklim koşullarına bağlı olarak seçilmektedir. Batarya grubunun boyutlandırılması için verilmesi gereken ilk karar, batarya grubunun şebekeden bağımsız FV sistemi için ne kadar depolama sağlamasını isteyeceğimizdir (Al Dulaimi, 2016/2017).

Batarya kapasitesi bir bataryanın elektrik enerjisini depolama veya iletme ölçüsüdür ve amper-saat (Ah) olarak ifade edilir. Bir amper-saat bir saatte bir amperlik deşarj anlamına gelir. FV sistemlerde kullanılan bataryaların temel özellikler şu şekilde olmalıdır (Qazi, 2017);

- Düşük bakım gereksinimleri
- Daha uzun ömürlü ve geri dönüştürülebilir olması
- Daha yüksek performans oranı

- Daha yüksek kapasite ve çevrim ömrü
- Düşük deşarj oranı ve daha yüksek enerji verimliliği
- Küçük akımlarla kolayca şarj edilebilir olması
- Optimum boyut ve alan gereksinimi
- Sağlık ve çevresel tehlikelere karşı koruma
- Taşıma sırasında titreşime dayanıklı olması

FV sistemlerde kullanılan bataryalar otomobillerde kullanılan bataryalardan farklıdır. Bu bataryaların özelliği deşarj derinliğinin daha fazla olmasıdır. Kurşun-Asitli bataryalar FV sistemlerde yaygın olarak kullanılmakta ve verimleri yaklaşık olarak %90 civarındadır. Bataryalar birbirlerine seri ve paralel bağlanarak istenen akım ve gerilim elde edilmektedir. Bataryaların ömrü uzun olması ve bozulmaması için tam deşarj olmamaları, yüksek sıcaklı ortamlarda kullanılmamaları ve belli periyotlarda bakım yapılmaları gerekmektedir. Aksi takdirde ömürleri kısalmır ve bozulabilir (Keskin, 2012).

Batarya şebekeden bağımsız FV sistemlerde gerekli bir bileşendir. Fotovoltaik uygulamalar için kullanılan bataryalar arasında Kurşun Asit (LA) bataryaları nispeten kısa ömrüne sahip olmalarına rağmen düşük maliyetleri nedeniyle piyasada yaygın olarak bulunmaktadır. Bu bataryalar Sulu kurşun-asitli, AGM kurşun-asitli ve jel bazlı kurşun-asitli olarak üç tipte sınıflandırılabilir. Piyasada son zamanlarda şebekeden bağımsız FV sistemlerde Sodyum Nikel Klorür (NaNiCl) ve Lityum İyon bataryaları yüksek güvenilirliği ve uzun ömürleri nedeniyle önemli ölçüde kullanımı artmıştır. Fakat tek dezavantajı kurşun asitli bataryalardan daha yüksek maliyetli olmasıdır (Ridha ve diğ., 2021).

2.6.2.1. Jel Bataryalar

Jel bataryalar sıcaklığa dayanıklı özel ayırıcılar ile donanımlı ve bakım gerektirmeyen kurşun asitli bataryalardır. Ayrıca valf ayarlı kurşun asitli (VRLA) bataryalar olarak da adlandırılır. AGM bataryalar kadar hemen şarj edilememektedir. Uzun deşarjlarda yüksek performans göstermektedir. Jel bataryaların derin deşarj döngüsü AGM bataryalar ile karşılaştırıldığında %50 daha fazladır. Yüksek güvenilirlik ve kaliteye sahiptir. Jel bataryaların iç dirençleri düşük olduğu için performansları yüksektir. 2V, 4V, 6V, 8V, 12V gerilimli çeşitleri vardır (Küçük, 2019). Şekil 2.37’de jel bataryaların farklı tipleri

verilmiştir.



Şekil 2.37. Jel batarya çeşitleri (Küçük, 2019)

2.6.2.2. AGM Bataryalar

AGM bataryalar tamamen Kapalı ve asit sızdırmaz kurşun asitli bataryalardır. AGM tip bataryaların şarj olma hızı sulu bataryadan beş kat daha hızlıdır. Ömrü sulu bataryadan daha uzun ve maliyeti daha fazla ancak jel batarya maliyetinden daha düşüktür. Aşırı şarja duyarlı, çevre dostu, düşüşü kademeli ve özgül enerjisi düşüktür (Qazi, 2017).

2.6.2.3 Sulu Bataryalar

Sulu tip bataryalar güvenilir performansı ve daha ucuz fiyatı nedeniyle günümüzde güneş enerjisi sistemlerinde en yaygın olarak kullanılan bataryalardır. Pozitif ve negatif elektrotlar elektrolit görevi gören seyreltik sülfürik asit içine daldırılır. Bu plakalar elektrolitten kaybolan suyun doldurulmasını sağlamak için çıkarılabilir kapakları olan sert bir kap içine yerleştirilmiştir. Sulu bataryalar tam şarj olurken negatif ve pozitif plakalarda kimyasal reaksiyon sonucu sudan hidrojen ve oksijen gazları oluşur. Yangın tehlikelerini önlemek için gazların kaçması için uygun havalandırmaya ihtiyaç duyulur. Gazların bataryanın havalandırma deliklerinden dışarı çıkmasına izin verilir. Bu gereksinim bataryaya periyodik olarak su eklenmesini gerektirir (Satpathy ve Pamuru, 2020). Sulu bataryalar sıvı elektrolite sahip olan ve enerji depolamak için kurşun ile asit arasındaki kimyasal reaksiyonları kullanan bataryalardır (White, 2015).

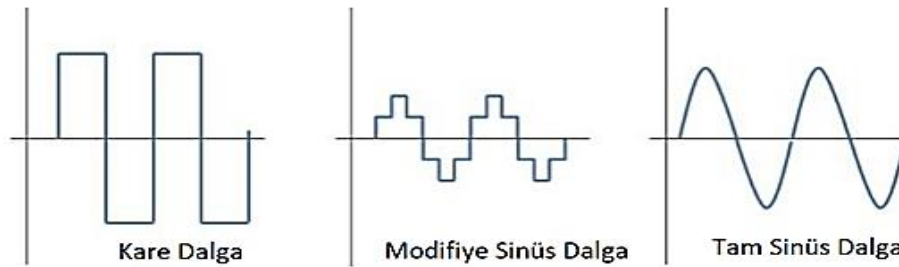
Bataryanın kendi kendine deşarjı: Bataryanın içindeki dahili elektrokimyasal süreç nedeniyle batarya kullanılmadığında kaybedilen elektrik kapasitesidir. Sıcaklık artışı ile kendi kendine deşarj olayı artar. Bataryalar kendi kendine deşarj olayını azaltmak için daha düşük sıcaklıklarda kullanılmalıdır (Satpathy ve Pamuru, 2020).

2.6.3. Evirici

Evirici verimliliği DC elektrik akımının AC elektrik akımına dönüştürülmesinde önemli bir rol oynamaktadır. (Ridha ve diğ., 2021). Eviriciler güneş panelleri tarafından üretilen veya bataryalar tarafından sağlanan DC gerilimi AC yüklerini çalıştırmaya uygun şebeke uyumlu AC gerilime dönüştüren cihazlardır. Evirici şebeke bağlantısı, faz sayısı, kurulum gücü ve panel türü dikkate alınarak seçilmelidir. Ayrıca endüktif yükler veya motor kullanımını gerektiren herhangi bir cihaz olması durumunda genellikle cihazın nominal gücünün üç katı olan dalgalanma da dikkate alınmalıdır (Mayo, 2018). Eğer sistemde endüktif yükler veya motorlu cihazlar varsa, eviricinin gücü gerekli AC yüklerin toplam nominal gücünden en az %20 daha yüksek seçilmelidir (Ghafoor ve Munir, 2015). Evirici hem şebekeden bağımsız hem de şebeke bağlantılı sistemlerin ana bileşenidir (Qazi, 2017). Şebekeden bağımsız eviriciler tek başına çalışır ve elektrik şebekesi ile senkronize olamaz (Ceylan, 2018). Eviricilerin verimi tipine ve üretimine bağlı olarak %89 -%95 arasında değişmektedir (Ridha ve diğ., 2021). Evirici seçilirken göz önünde bulundurulması gereken başlıca özellikler aşağıda listelenmiştir (Dileep ve KR, 2018).

- Elektrik standartları: DC girişi, AC çıkış gerilimi ve frekansı
- Güç kapasitesi ve verimliliği
- Dalga formu veya güç kalitesi: (tam sinüs, modifiye sinüs ve kare dalga)
- Dahili koruma: Aşırı yük, aşırı gerilim kapasitesi
- Fiziksel özellikler: Trafo tipi ve ya yüksek frekanslı anahtarlama tipi evirici

Eviricinin çıkış dalga biçimi tam sinüs dalga eviricisi, modifiye sinüs dalga eviricisi ve kare dalga eviricisi olarak üç kategoriye ayrılabilir (Ridha ve diğ., 2021).



Şekil 2.38. Eviriciler tarafından üretilen farklı AC sinyal türleri (Ahmad ve Maqbool, 2019)

2.6.3.1. Tam Sinüs Dalgalı Evirici

Tam sinüs dalgalı eviriciler gelişmiş evirici teknolojisidir. Bu eviriciler tarafından üretilen dalga biçimi şebekenin dalga biçimi ile hemen hemen aynıdır. Genellikle tam sinüs dalgalı eviriciler içerisinde bulunduran bazı ek devreler nedeniyle modifiye sinüs dalgalı eviricilerden daha pahalıdır (Ifeagwu ve Ugwu, 2016). Tam sinüs dalga eviricileri her türlü AC cihazlarda kullanılabilen eviricilerdir. Bu eviriciler daha az güç kullanır ve daha verimli çalışırlar. Sinüs dalga eviricilerinin çıkış dalga biçimi çok düşük harmoniklere sahip olduğundan hemen hemen tüm uygulamalar için kullanılabilir (Qazi, 2017). Sinüs dalgalı evirici verimlilik ve performans açısından daha iyidir. Ancak diğer evirici tiplerine göre daha pahalı olup genelde şebekeye bağlı sistemlerde kullanılır (Ridha ve diğ., 2021). Saf sinüs dalgasında toplam harmonik bozulma yaklaşık sıfırdır. Mikro dalga fırın, Motorlar, Soğutucu vs. gibi endüktif yüklü cihazların kullanılması durumunda saf sinüs dalgalı eviricilerin kullanılması gerekir. Bu eviriciler modifiye sinüs dalgalı ve kare dalgalı eviricilere kıyasla daha hızlı çalışır. Ayrıca elektrikli makineleri çalıştırırken ses ve gürültü kirliliğini azaltır (Ahmad ve Maqbool, 2019).

2.6.3.2. Modifiye Sinüs Dalgalı Evirici

Modifiye sinüs dalgalı eviriciler kare dalgaya benzer ancak bunun yerine şekli daha çok sinüs dalgasıyla ilişkili olan bir görünüme sahiptir. Modifiye sinüs eviriciler ayarlanmış frekanslarda üç değer arasında geçiş yapmanın bir ürünüdür. Böylece tam sinüs dalgalı evirici için gereken daha karmaşık devreleri atlamaktadır. Dolayısıyla AC gücüne ihtiyaç duyan cihazlara güç sağlamak için ucuz ve kolay bir çözüm sağlar. Modifiye sinüs dalgalı eviriciler ev aletlerinde sorun yaratmayacak kadar düşük harmoniklere sahiptir. Bu eviricilerin ana dezavantajı, tepe geriliminin batarya gerilimine göre değişmesidir. Modifiye sinüs dalgalı eviriciler tüm dirençli, kapasitif ve endüktif yüklü cihazlar için uygundur (Ifeagwu ve Ugwu, 2016).

2.6.3.3. Kare Dalgalı Evirici

Kare dalga eviricisi DC sinyalin her yarım periyotta maksimum pozitif ve negatif değerler arasında değiştirilmesinden kaynaklanan bir alternatif akım dalga formunu üretir. Çıkış dalga biçimi sinüs dalgasının yarım döngü kaldığı yerde negatiften pozitifeye kayan ve tam

negatife atlayan yarım döngü boyunca orada kalan ve ardından tekrarlayan sinüs dalgasının düzleştirilmiş halidir. Bu eviriciler en basit, en ucuz ve yapımı kolaydır. Kare dalgalı eviricilerde gerilim regülasyonu olmadığı için harmonikleri üretme riski daha yüksektir. Düşük güç kalitesi ve düşük verimliliği nedeniyle ev uygulamaları için önerilmez (Qazi, 2017). Bu tür eviricinin ana dezavantajı, Çıkışta büyük harmonik yüzdesine sahip olmasıdır. Çünkü ekipmanlara zarar verebilecek harmonik bozulmalar üretir. Kare dalga eviricisi cihazları ısıtır ve gürültü çıkarır (Ahmad ve Maqbool, 2019). Şekil 2.38’de kare dalga, modifiye sinüs dalga ve tam sinüs dalga sinyal türleri gösterilmiştir.

2.6.4. Şarj Kontrol Cihazı

FV bir sistemin sağlıklı çalışması ve uzun ömürlü olması için bataryaların doğru şekilde şarj edilmesi ve tam deşarj olmaması gerekir (Kulworawanichpong ve Mwambeleko, 2015). Şarj kontrol cihazları bataryaları aşırı şarjdan koruyarak ömrünü ve performansını artırmak için kullanılmaktadır. Şarj kontrol cihazı bataryaların şarj durumunu izlemekte ve bataryalar tamamen şarj olduğunda fotovoltaik panellerin bağlantısını kesmektedir. Ayrıca batarya performansını etkileyebilecek ve ömrünü ciddi şekilde kısaltabilecek aşırı gerilimleri önlemektedir. Ana işlevin yanı sıra şarj kontrol cihazları düşük gerilimli bağlantıyı keser (Pantelimon ve diğ., 2013).

Şarj kontrol cihazları üç temel işlevi yerine getirir (Majaw ve diğ., 2018).

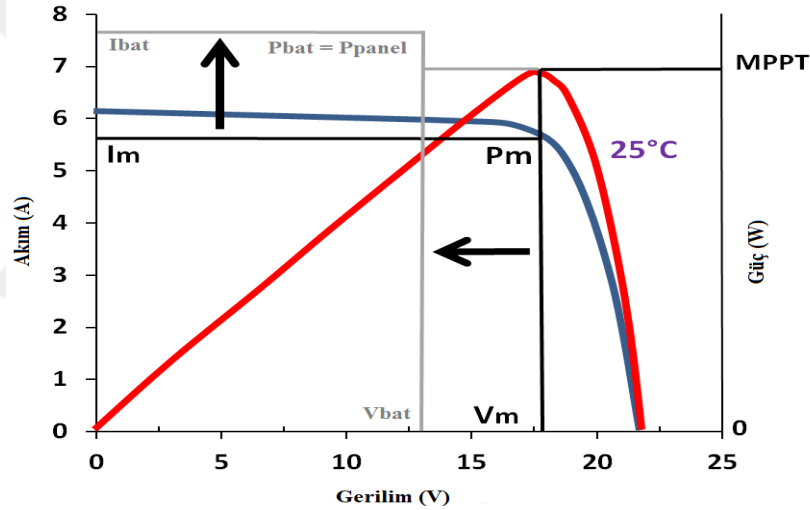
- Bataryanın aşırı şarj olmasını önlemek için güneş panelinden gelen gerilimi sınırlamakta ve düzenlemektedir.
- DC yükler kullanılırken şarj kontrol cihazının bataryanın tam boşalmasına izin vermemektedir.
- Farklı DC yüklerin kullanılmasına izin verir.

Güneş enerjisi sistemleri için günümüzde PWM (Darbe genişlik modülasyonu) ve MPPT (Maksimum güç noktası İzleyicisi) özellikli iki farklı tipte şarj kontrol cihazı mevcuttur.

2.6.4.1. Maksimum Güç Noktası İzleyicisi (MPPT) Şarj Kontrol Cihazları

Güneş panellerinin çıkış gücü güneş ışınımı ve sıcaklıktan etkilenir. Bu atmosferik

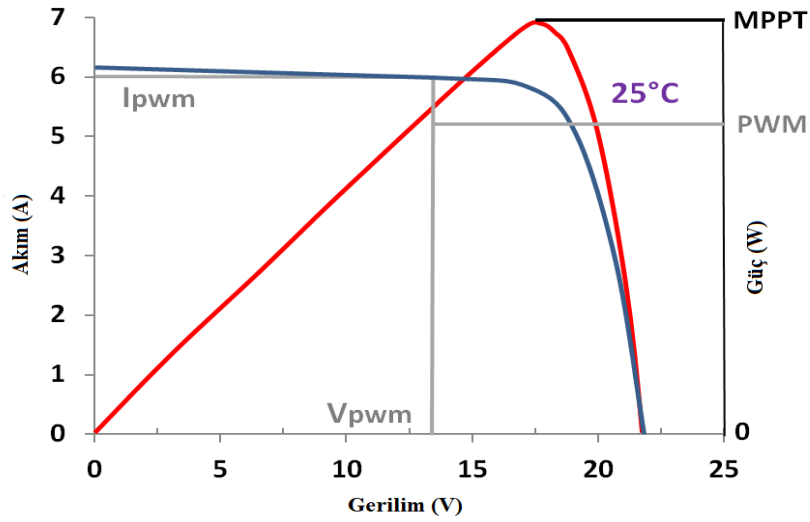
koşullar gün içinde değişkendir. FV sistemin ürettiği gücün kararlılığını arttırmak ve güneş panellerinden maksimum çıkışı elde etmek için MPPT kontrol cihazları kullanılır. Ayrıca MPPT yük talebinin değişken olduğu durumlarda değişen yük eğrisini kontrol edebilir. Genel olarak MPPT'nin verimliliği %95 ile %98 arasında değişmektedir (Ridha ve diğ., 2021). MPPT anahtarlama algoritmasını kullanarak maksimum güç noktasında çalışmasını sağlamak için değişen atmosferik koşullar altında bir FV sistemin yükünü sürekli olarak ayarlamaktadır. Ayrıca MPPT bataryaya giden akımı düzenlemektedir. Böylece bataryanın aşırı şarj edilmesini önlemektedir (Akinsipe ve diğ., 2020). MPPT tipi şarj kontrol cihazları batarya şarj girişi ile FV dizinin çıkışı arasındaki güç farkını ortadan kaldırmaktadır (Batmaz, 2018). Şekil 2.39'da MPPT şarj kontrol cihazı çalışma prensibi gösterilmektedir.



Şekil 2.39. MPPT şarj kontrol cihazı (Victron Energy, 2020)

2.6.4.2. Darbe Genişlik Modülasyon (PWM) Şarj Kontrol Cihazları

PWM şarj kontrol cihazları bataryalara sabit bir gerilim sağlar ve akımı bataryanın durumuna ve yeniden şarj etme gereksinimlerine göre kontrol etmektedir. PWM şarj kontrol cihazı bir bataryanın tam şarjlı duruma nasıl yaklaştığı ve daha az ısı ürettiği üzerinde daha fazla kontrol sağlamaktadır. (Pantelimon ve diğ., 2013). Ev güneş sistemleri için darbe genişlik modülasyonu (PWM) tipi şarj kontrol cihazı işlevsellik ve maliyeti göz önüne alındığında iyi bir seçim sunmaktadır. PWM şarj kontrol cihazlarının çalışma gerilimi bataryalar ve FV dizi gerilimleriyle aynı olmalıdır (Mayo, 2018). Şekil 2.40'da PWM'nin akım ve gerilim eğrisi ve çalışma prensibi gösterilmektedir.



Şekil 2.40. PWM şarj kontrol cihazı (Victron Energy, 2020)

2.7. Fotovoltaik Sistemlerin Performansını Etkileyen Başlıca Faktörler

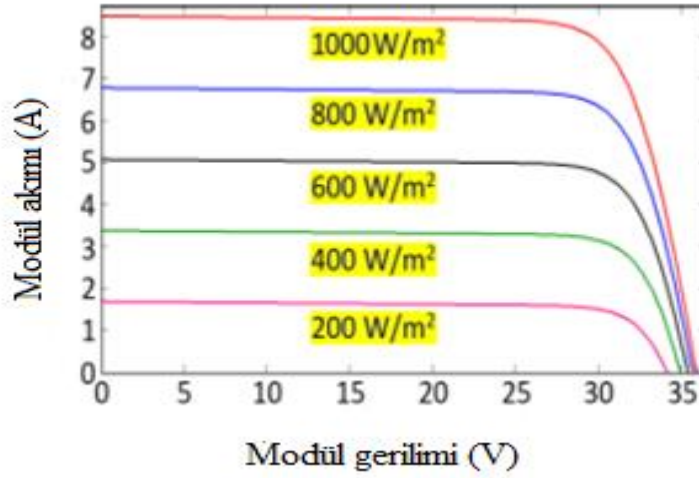
Güneş panellerinin verimliliği birçok kayba bağlıdır. Güneş panellerinin çevresel kayıplar, sistem kayıpları, eğim ve yön kayıpları, panel kayıpları ve termal kayıplar gibi sıralanabilir.

Güneş panellerinden üretilen enerji birçok faktörden etkilendiği için %100 verimle elde edilememektedir. Bu sorunlardan bazıları panelin kendisiyle, diğerleri ise konum ve çevre ile ilgilidir. Güneş panellerinden üretilen enerjinin mümkün olduğunca az kayıpla elde edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle güneş panellerindeki kayıpların minimum seviyeye indirilmesi ve bu kayıplara neden olan faktörlerin ortadan kaldırılması gerekir (Köprü, 2016). Güneş sistemlerinin performansını etkileyen birçok çevresel faktör vardır. Bunlar güneş ışınımı, güneş hücresi sıcaklığı, gölgelenme ve panel yerleşimi, tozlanma ve rüzgar hızı olarak sıralanabilir.

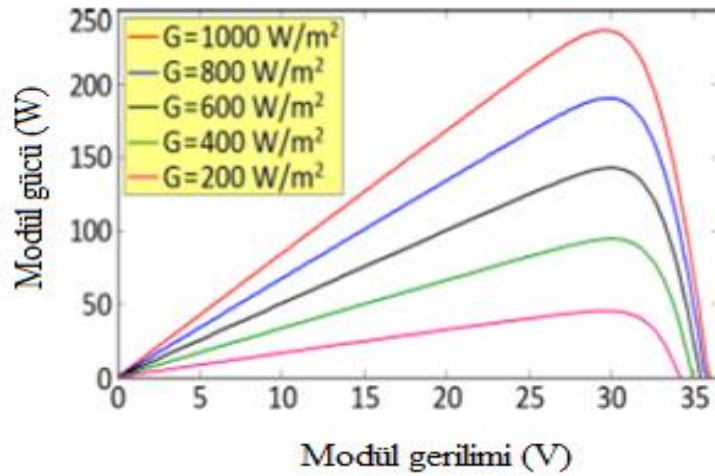
2.7.1. Güneş Işınımı

Işınım FV panel çıkışı üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Işınımdaki artış FV hücrenin çıkışını artırır. Işınım ayrıca FV hücre sıcaklığını etkiler ve dolayısıyla FV çıkışı da ona bağlı olarak etkilenir. Işık tarafından üretilen akım fotonların akışıyla orantılıdır. Böylece ışınımdaki artış akımı orantılı olarak artırır. Gerilim ışınım ile birlikte sadece logaritmik olarak değişir ve bu nedenle pratik uygulamalarda değişimi ihmal edilir. Şekil 2.41 ve

Şekil 2.42’de ışıınının FV hücrenin I-V özellikleri ve FV hücrenin çıkışı üzerindeki etkisini göstermektedir (Mohanty ve diğ., 2016).



Şekil 2.41. Işıınının FV hücrenin I-V karakteristiği üzerindeki etkisi

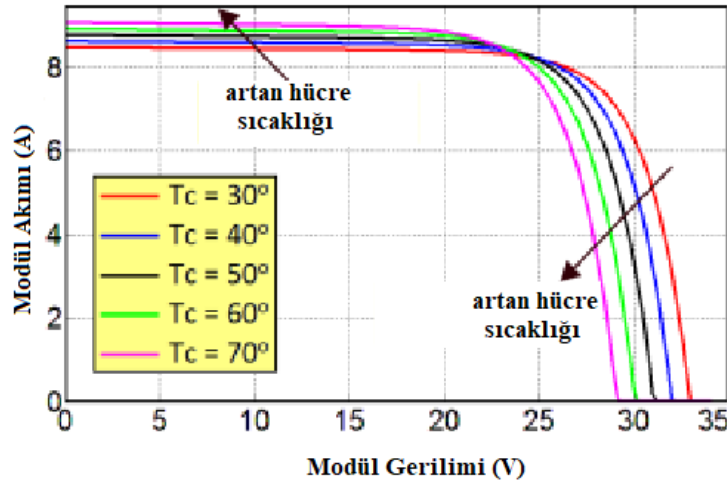


Şekil 2.42. Işıınının FV hücrenin çıkışı üzerindeki etkisi (Mohanty ve diğ., 2016)

2.7.2. FV Hücre Sıcaklığı

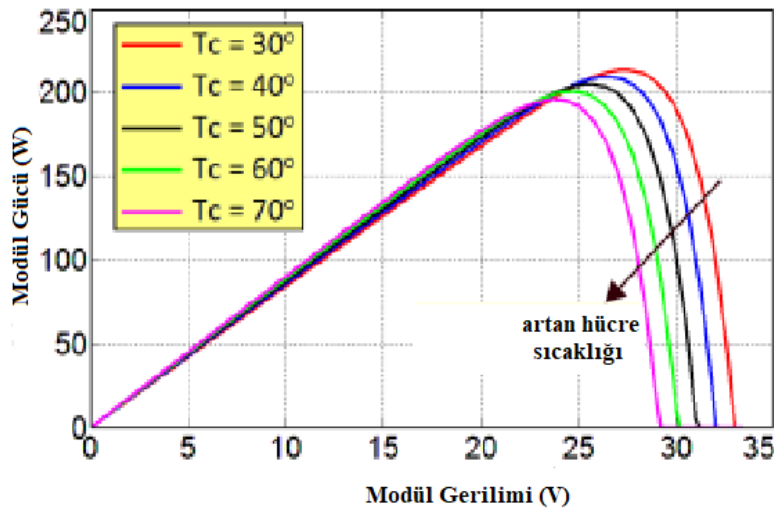
Panelin nominal güç çıkışı gelen ışıının ve çalışma sıcaklığına bağlıdır. Sıcaklık rüzgar hızı ve yönü, nem, ışıının ve saha koşullarının bir fonksiyonudur (Singla ve diğ., 2016). FV hücre sıcaklığına karşı çok hassastır. Bir FV hücrenin verimliliği ve güç çıkışı sıcaklık artışıyla azalır. FV panel sıcaklığı artan güneş radyasyonu ve hava sıcaklığı ile artar ancak artan rüzgar hızı ile azalır. Işıınının çok güçlü olduğu yaz öğlen saatlerinde FV panel sıcaklığı 60-65 °C dereceye ulaşabilir (Vidyanandan, 2017). FV hücre Sıcaklığının FV

hücresinin akımı, gerilimi ve güç çıkışı üzerindeki etkileri Şekil 2.43'de gösterilmektedir.



Şekil 2.43. Hücre sıcaklığının FV hücresinin I-V karakteristiği üzerindeki etkisi

25C°'de normalize edilmiş akım, gerilim ve güç değerlerinden sıcaklık artışı ile hücre akımını biraz artır. Ancak gerilim daha büyük oranda düşer ve güç çıkışında daha büyük düşüşe yol açar. Hücre sıcaklığı 25 C° altına düşerse akım biraz düşer, ancak gerilim ve güç artar. Silikon hücrelerinde genellikle sıcaklıktaki Santigrat derece başına yaklaşık %0.5'e varan verim kaybı meydana gelir. Sıcaklıktaki her K derecelik artış için V_{oc} gerilimi yaklaşık (0,1- 0,3V) azalır. I_{sc} akımını yaklaşık (2,3-4) mA/K artır. Hücre sıcaklığındaki artışla gerilimdeki azalma, akımdaki karşılık gelen artıştan çok daha fazladır. Bunun genel etkisi güç çıkışında, sıcaklıktaki her bir derecelik artış için yaklaşık %(0,4-0,5) oranında bir azalmadır (Vidyanandan, 2017). Şekil 2.44'de sıcaklığın FV panelin P-V karakteristiği üzerindeki etkisi gösterilmektedir.



Şekil 2.44. Sıcaklığın FV modülün P-V karakteristiği üzerindeki etkisi

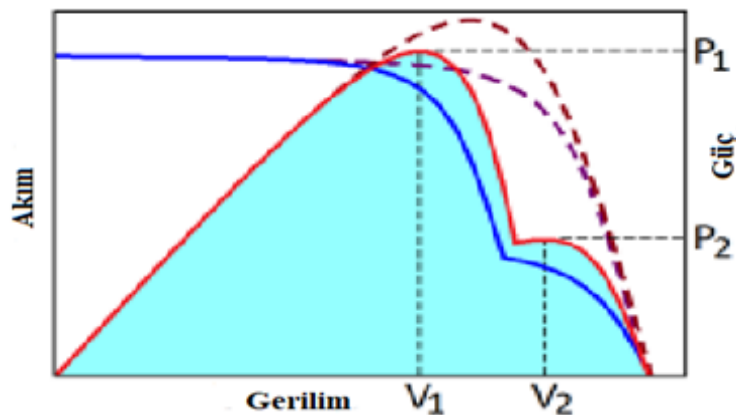
2.7.3. Güneş Işınımındaki Değişim

FV panellerin değişen ışıyım koşullarında performansı önemli ölçüde farklılık göstererek sistemlerin verimi üzerinde ciddi bir etkiye sahiptir. Bir FV panele düşen güneş radyasyonunun yoğunluğundaki değişiklikler I_{sc} , V_{oc} , güç, FF ve verimlilik dahil olmak üzere birçok parametresini etkiler. Şekil 2.42 ve Şekil 2.43’de değişen ışıyım ile bir panelin akımı, gerilimi ve güç çıkışı gösterilmektedir (Vidyanandan, 2017).

Sıcaklığın artmasıyla FV hücrelerin verimleri düşmektedir. Monokristal ve polikristal silikon hücrelerde verimlerin düşüşü ince film hücrelere göre daha fazladır. Kristal Silikonlu FV panellerde her 1°C sıcaklığın artışıyla çıkış gücü %0.5 oranında azalmaktadır. Amorf Silikonlu FV panellerde ise her 1°C artışla çıkış gücü % 0.2 oranında azalmaktadır (Koca, 2019).

2.7.4. Gölgeleme ve Panel Yerleşimi

FV sistemlerin performansını en çok etkileyen faktör gölgelenme olayıdır. FV panel üzerine gölge düşmesi durumunda FV hücre enerji üretmez (Köprü, 2016). Böyle bir durumda by-pass diyotları devreye girer. Güneş paneli üzerine gölge düştüğü zaman gölgelenmeyen diğer panellerin ürettiği elektrik akımı by-pass diyotu üzerinden akarak sistem enerji üretmeye devam eder (Ceylan, 2018). Gölgeleme FV panele ulaşan güneş radyasyonu miktarına bir engeldir. Beton bina yapıları, kule, ağaç, direkler, kuş atıkları, kuru yapraklar vb. gibi gölgelenmeye neden olan çeşitli faktörler vardır (Pradhan ve Panda, 2017).

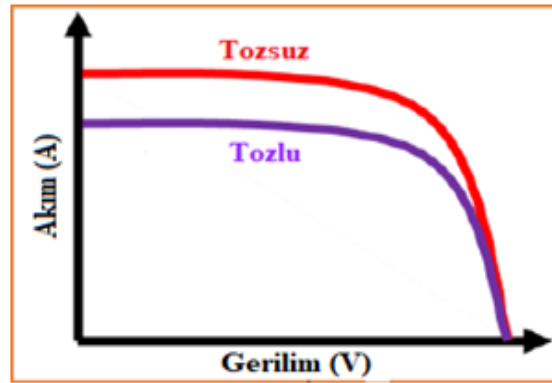


Şekil 2.45. Gölge FV hücrenin I-V ve P-V eğrileri (Vidyanandan, 2017)

Uygulamaya bağı olarak güneş panelleri çelik raylara monte edilerek zemine veya çatıya sabitlenir (Pradhan ve Panda, 2017). Panel üzerine gölgelenmeye sebep olan çevredeki ağaçlar, binalar, GSM anten direkleri, elektrik direkleri ve hatları gibi unsurlardır. Ayrıca FV sistemlerin panel yerleşimi de ara sıra panel ve dizi üzerine gölgelenmeye neden olabilir. Bu yüzden FV sistemlerin projelendirmesinde sistemin gölgelenme analizinin yapılması ve paneller arasındaki mesafeye dikkat edilmesi gerekmektedir (Köprü, 2016). Şekil 2.45’de gölgeli bir FV dizinin I-V ve P-V eğrileri görülmektedir.

2.7.5. Kirlilik ve Tozlanma

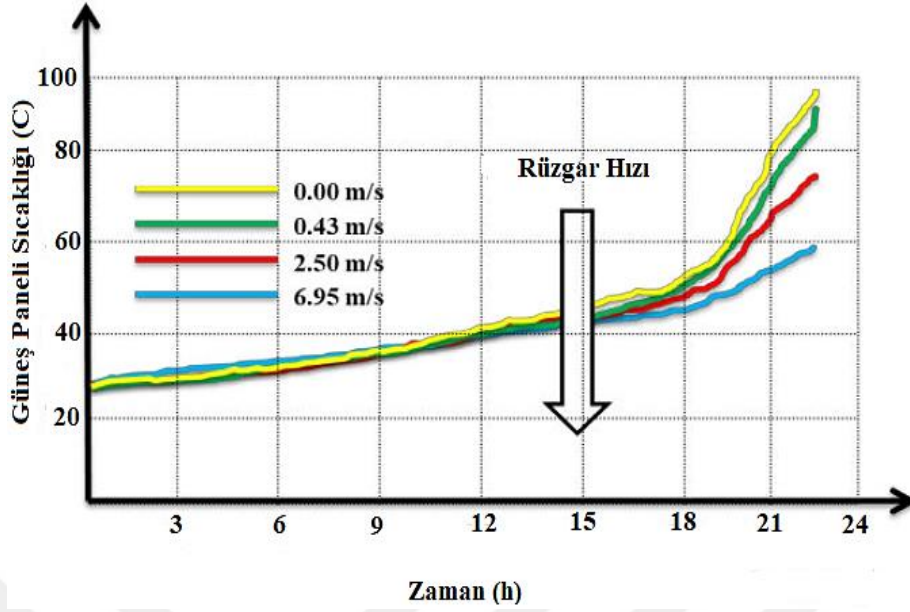
Güneş ışınımının bir kısmı kir veya toz nedeniyle FV panele ulaşması engellenir. Bu nedenle güneş ışınımı güneş panelinin yüzeyine dağılmasından dolayı üretilen güçte önemli miktarda kayıplara neden olur. Dolayısıyla toz birikiminin saha iklimine özgü olduğu ve dolayısıyla miktarının yere, toz tipine ve diğer birçok faktöre bağı olduğu sonucuna varılabilir (Fouad ve diğ., 2017). Şekil 2.46’da FV hücre üzerindeki toz etkisi görülmektedir.



Şekil 2.46. FV hücre üzerindeki toz etkisi (Singh ve Singh, 2021)

2.7.6. Rüzgar Hızı

Hava koşullarındaki değişimler FV sistemlerin güç çıkışını etkilemektedir. Panel sıcaklığı ortam sıcaklığından, bulutlardan, rüzgar hızından ve konumdan etkilenir. Rüzgar hızı FV panellerin sıcaklığını önemli ölçüde düşürmektedir (Koca, 2019). Güneş panellerinin çalışma sıcaklığı değişen miktarlarda rüzgar hızından etkilenmektedir. Rüzgar hızı arttığında güneş panellerinin sıcaklığı düşer ve üretilen güç miktarı artar. Rüzgar hızı değişirken güneş paneli yüzeyinden ısı transferi gerçekleşir.



Şekil 2.47. Rüzgar hızına bağlı güneş paneli sıcaklığı (Singh ve Singh, 2021)

Şekil 2.47’de rüzgar hızı değişimi olarak bir güneş panelinin sıcaklık değişimini göstermektedir (Singh ve Singh, 2021). Rüzgar hızı güneş panellerinin sıcaklığını düşürür. Yeterli miktarda rüzgar hızı panellerde biriken tozun temizlenmesine yardımcı olur. Sonuç olarak sıcaklığın düşürülmesi ve tozun uzaklaştırılması nedeniyle panelin verimliliği artar (Pradhan ve Panda, 2017).

2.7.7. Eğim Açısı

Güneş panellerinin yüksek performans göstermesi için ışınımın panel yüzeyine 90° açıyla gelmesi gerekir (Atılım, 2019). FV sistemin performansını analiz ederken güneş panelinin sabitleme ve oryantasyonu göz önünde bulundurulması gereken bir diğer faktördür. Optimum yönlendirme için FV paneller güneşe bakacak şekilde tutulur (Pradhan ve Panda, 2017). Bir panelin eğim açısı bir FV panel ile yatay bir yüzey arasındaki açıdır. Küçük ölçekli FV sistemler için paneller genellikle belirli bir eğimde sabitlenir.

En uygun eğim açısını belirlemek için kullanılabilecek farklı güneş paneli eğim açısı formülleri veya hesaplama yöntemleri mevcuttur.

i. Hesaplama Yöntemi: Bu yöntemde kurulum yerinin enlemine göre güneş panelinin eğim açısı ayarlanır. Bu yöntemde eğim açısı genellikle $\delta = \Phi \pm 15^\circ$ olarak ayarlanır. Burada Φ enlem açısı, kış dönemi için “+” ve yaz dönemi için “-” alınır. Mart ve Eylül

aylarında eğim açısı enlem açısı ile hemen hemen aynı olacaktır. Yaz aylarında eğim azaltılır kış aylarında ise artırılır (Vidyanandan, 2017). PV*SOL yazılımı iklim verilerinde Edremit ilçesi için enlem açısı 39,59° olarak belirlenmiştir.

Yaz için eğim açısı, $\delta = 39,59^\circ + 15^\circ = 54,59^\circ$

Kış için eğim açısı, $\delta = 39,59^\circ - 15^\circ = 24,59^\circ$

Yıllık ortalama eğim açısı, $\delta = \left(\frac{\text{Yaz için eğim açısı} + \text{Kış için eğim açısı}}{2} \right) = 39,59^\circ$

ii. Hesaplama Yöntemi: Bu yöntem standart prosedürün daha verimli bir çeşididir. Enlemi 0,9 ile çarpıp ardından 29° eklenir. Bu teknik kışın güneş panelleri için en uygun eğim açısını belirlemektedir (Bolt, 2023).

- Kış için: Eğim açısı, $\delta = (\text{enlem} \times 0,9) + 29^\circ$
- Yaz için: Eğim açısı, $\delta = (\text{enlem} \times 0,9) - 23,5^\circ$
- İlkbahar ve sonbahar için: Eğim açısı, $\delta = \text{enlem} - 2,5^\circ$

Kış için eğim açısı, $\delta = (39,59^\circ \times 0,9) + 29^\circ = 64,63^\circ$

Kış için eğim açısı, $\delta = (39,59^\circ \times 0,9) - 23,5^\circ = 12,13^\circ$

İlkbahar ve sonbahar için eğim açısı, $\delta = 39,59^\circ - 2,5^\circ = 37,1^\circ$

Yıllık ortalama eğim açısı, $\delta = \left(\frac{\text{Yaz için eğim açısı} + \text{Kış için eğim açısı}}{2} \right) = 38,38^\circ$

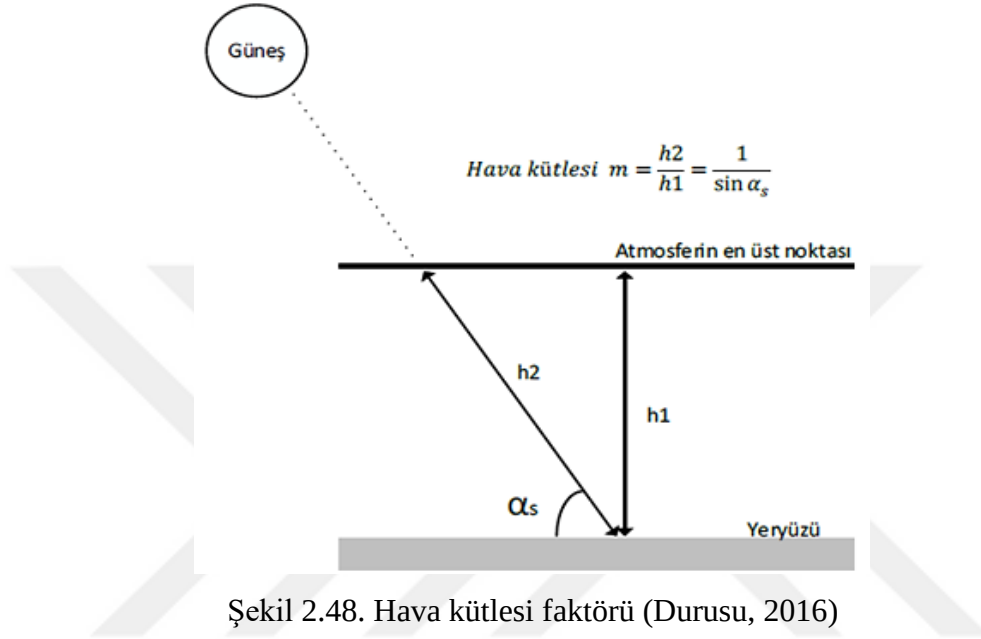
Her iki yöntemde Edremit ilçesi için yıllık ortalama eğim açısı sırasıyla 39,59° ve 38,38° olarak hesaplanmıştır. Ancak Edremit ilçesi için PVsyst yazılımı optimum eğim açısını 32° olarak hesaplamıştır.

2.7.8. Nem

Sıcak ve nemli iklim koşullarında FV paneller nem değişimine maruz kalması durumunda nem hücrenin içine girdiğinde ara yüzey yapışkan bağını zayıflatarak hücrenin bozulmasına neden olur. Yüksek sıcaklık ve atmosferde hakim olan su buharında nem artar ve panellerin bozulmasına neden olur (Pradhan ve Panda, 2017).

2.7.9. Hava Kütlesi Faktörü

Atmosferde güneş ışınımının aldığı yola göre ışınımın azalma miktarına hava kütlesi (air mass) faktörü denir. Hava kütlesi faktörünün 1 olduğu (güneşin tam tepede olduğu) ve havanın açık olduğu bir günde atmosfer dışına gelen ışınımın yaklaşık %70'i dünyaya ulaşabilmektedir. Şekil 2.48'de hava kütlesi faktörü gösterilmektedir (Durusu, 2016).



3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN SINIFLANDIRILMASI

İhtiyaç duyulan elektrik enerjisini sağlamak için fotovoltaik sistem uygulamaları hemen hemen her yerde kurulabilir. Güneş panellerinden elde edilen enerji doğrudan veya bataryalarda depolanıp kullanılabilir. Depolanan enerjiden gece veya güneşin olmadığı durumlarda yararlanmak mümkündür (Atılım, 2019). FV sistemler binalarda veya açık arazilerde kurulabilir.

3.1. Kurulum Yerlerine Göre FV Sistemler

FV sistemlerin farklı şekiller ve yerlerde kurulması mümkündür. Bu sistemlerin kurulum şekli aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Çatılarda uygulanacak FV sistemler
- Cephelerde uygulanacak FV sistemler
- Binaların diğer bölümlerinde uygulanacak FV sistemler
- Açık arazide kurulan FV sistemler

3.1.1. Çatılarda Kurulan FV Sistemler

FV paneller çatıların tiplerine göre uygulanır. Eğer çatılar eğimli ise, ince film panel uygulanması düşünülebilir. Eğimli çatılarda paneller ek bir yapı ile çatılara entegre edilir. Çatılarda eğim söz konusu değilse, paneller optimum bir eğim açısı ile entegre edilerek kurulabilir (Atılım, 2019). Düz çatı tipi sistemler açık arazi sistemleri ile aynı eğim açısı ile kurulması gereken sistemlerdir.



Şekil 3.1. Eğimli çatıya monte edilen FV sistemler (Yücel, 2016)

Panellerin çatılara kolay monte edilmesi, toprak alana ihtiyaç duyulmaması ve kurulumun daha kolay ve hızlı imkanı sunması, çatı tipi uygulamalarının avantajları olarak söylenebilir. Dezavantajları ise, ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlamak için bazen çatı alanlarının yetersiz kalması ve çatılardaki baca, anten ve havalandırma boruları gibi gölge kaynaklı bazı engellerin bulunmasıdır. Bu engeller panellerin verimlerini etkileyebilir (Şençiçek, 2017). Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de FV sistemin eğimli çatı örneği ve düz çatı örneği sırasıyla gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Düz çatıya monte edilen FV sistemler (Şençiçek, 2017)

3.1.2. Cephelerde Kurulan FV Sistemler

Cephe tipi sistemlerde FV paneller doğrudan bina katmanında kurulur. Cepheler binaları dış faktörlerden koruyan katmandır. Cephelerde kurulan FV paneller genelde dikey olarak kurulur. Kurulum sırasında cephelere entegre edilen FV panellerin arka kısımlarında oluşan sıcaklık göz önünde bulundurulmalıdır. Havalandırılan sistemlerde ısıya duyarlı kristal silisyum FV paneller uygundur. Havalandırılmayan sistemlerde ise, Amorf Silisyum FV paneller tercih edilmelidir (Yücel, 2016). Şekil 3.3’de bina cephelerine monte edilen FV sistem örneği gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Bina cephelerine monte edilen FV sistem (Atlım, 2019)

3.1.3. Binaların Diğer Yapılarına Uygulanacak FV Sistemler

FV sistemler binaların çatıları ve cephelerinin dışında, merdiven korkuluğu, saçak, bahçe duvarı, balkon korkuluğu, pencere panjurları ve diğer gölgeleme elemanlarında kurulabilir. Balkon korkuluklarında şeffaf cam, yarı saydam ve renkli FV paneller kullanılmaktadır (Yücel, 2016). Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’de balkon korkuluklarında FV sistemin kurulumu ve sundurma çatı alanına kurulan FV sistemler sırasıyla gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Balkon korkuluklarında FV sistemin kurulumu (Ceylan, 2018)



Şekil 3.5. Sundurma çatı üzerinde kurulan FV sistem

3.1.4. Açık Arazide Kurulan FV Sistemler

Açık alan tipi FV sistemlerde paneller Alüminyum profilleri üzerine monte edilir. Bu tip monte edilmiş sistemler en yaygın kullanılan sistemlerdir. Açık alan uygulamalarında paneller hava koşullarına dayanıklı olmalı ve konstrüksiyonlar sağlam monte edilmelidir (Şençiçek, 2017). Şekil 3.6’da Açık arazi tipi Fotovoltaik sistem örneği gösterilmiştir.

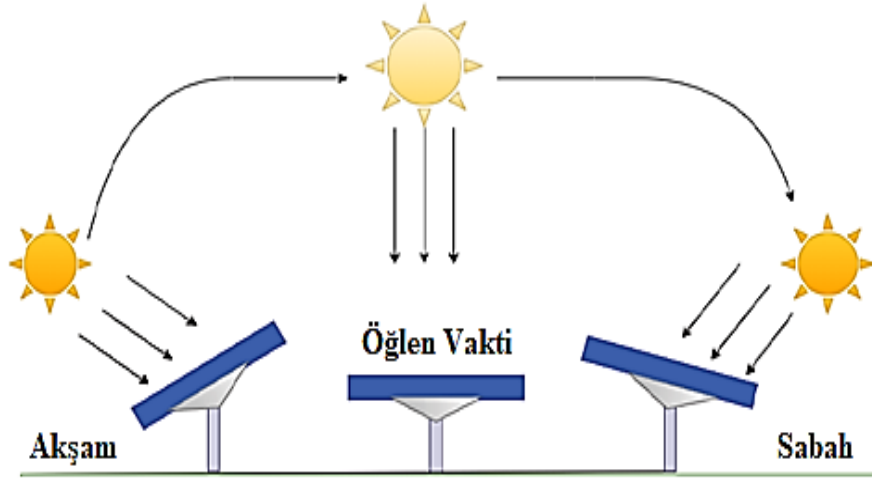


Şekil 3.6. Açık arazi tipi Fotovoltaik sistem örneği (Atlım, 2019)

Radyo, televizyon ve GSM operatör istasyonlarında, deniz fenerlerinde, orman gözetleme kulelerinde ve bunlar gibi farklı yerlerde 7/24 FV sistemlerden faydalanmak mümkündür. Bunların dışında trafik lambalarında, dekoratif aydınlatma sistemlerinde, reklam panolarında vb. gibi yerlerde FV paneller kullanılarak enerji tedariki sağlanır. Ayrıca günlük hayatta kullanılan örneğin kol saatleri, hesap makineleri gibi aletler, aksesuarlar vs. gibi aletlerde FV uygulamalardan yararlanılır (Atılım, 2019).

3.2. Güneş İzleme Teknolojisine Göre Fotovoltaik Sistemler

Küresel enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bu durum yatırımcıları yeni üretim tesisleri kurmaya sevk etmektedir. Verimli bir santral kurmak için en önemli faktör santrallerin daha verimli bir şekilde tasarlanıp kurulmasıdır. FV santraller düşünüldüğünde güneşin tüm gün verimli kullanılması FV panellerin enerji üretimini önemli ölçüde artırmaktadır. Bu nedenle güneş takipli sistemler FV panellerin verimliliğini artırmak için anahtar bileşenlerdir (Alici ve diğ., 2021). Şekil 3.7’de güneş takipli FV sistemlerin çalışma prensibi gösterilmektedir.

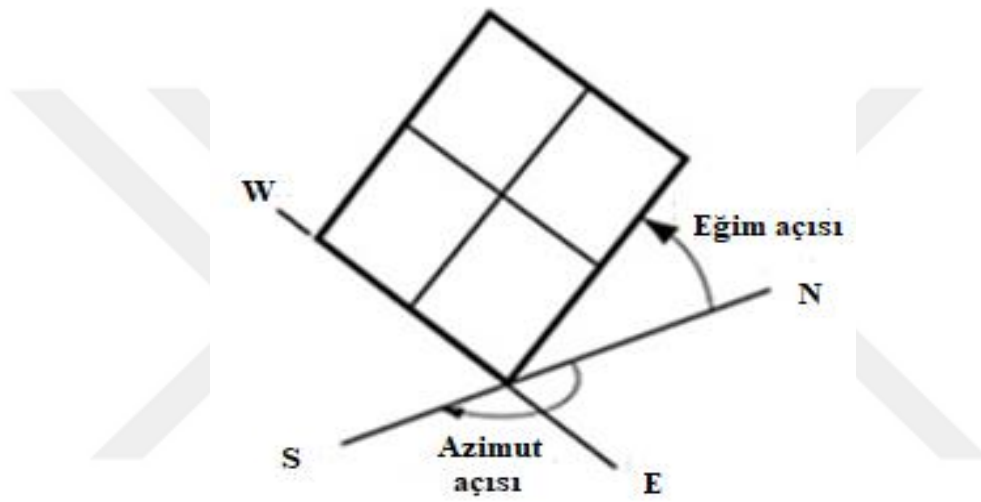


Şekil 3.7. Güneş takipli FV sistem

Güneş takipli sistemler FV dizi tarafından alınan ışıınımı en üst düzeye çıkarmak amacıyla FV paneller sürekli olarak güneşe bakacak şekilde hareket ettirmeyi amaçlayan özel cihazlardır. Bir güneş takip sistemi FV paneller derin döngülü şarj edilebilir bataryalar, şarj kontrol cihazı, motorlar ve izleme kontrol cihazı gibi bileşenlerden oluşmaktadır (Cardeña ve Luque, 2018). Güneş ışınlarına duyarlı sensörler yardımıyla güneşin hareketini takip eden sistemlere güneş takip sistemleri denir (Alici ve diğ., 2021). Güneş takip sistemleri güneş enerjisi kullanım verimliliğine göre üç gruba ayrılabilir.

3.2.1. Sabit Açılı Güneş Takip Sistemleri

Güneş ışığının bir panel üzerine dik bir açıyla gelmesi durumunda maksimum güç elde edilmektedir. Sabit açılı FV sistem kurulumu için fizibilite çalışmaları FV panellere yansıyan güneş ışınımı miktarının optimal açısı belirlenerek hesaplanır. Panel bu hesaplanan açiya göre ayarlanır ve sabitlenecek şekilde monte edilir. Bu sistemler güneşin hareketine göre yön değiştirmedigi ve hep aynı pozisyonda kaldığı için verimi diğer güneş takip sistemlerine göre daha düşüktür. Sabit açılı güneş sistemi Şekil 3.8'de gösterilmiştir (Alici ve diğ., 2021).

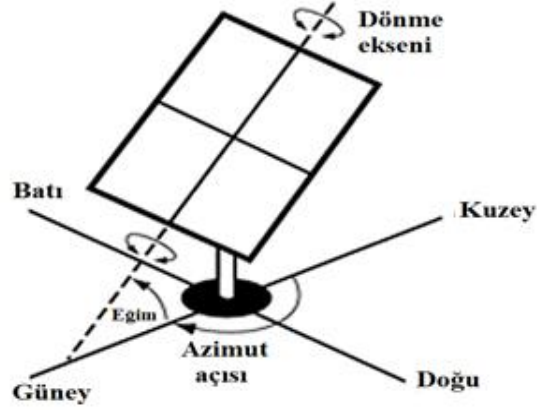


Şekil 3.8. Sabit açılı güneş takip sistemi (Fouad ve diğ., 2017)

3.2.2. Tek Eksenli Güneş Takip Sistemleri

Bu kontrol sistemlerinde panel sadece tek eksenle hareket eder. Güneş takip sistemi sayesinde verimliliği yaklaşık %25-30 oranında artırmak mümkündür. Tek eksenli kontrol sistemlerinde panel kuzey güney hattına yerleştirilir ve hareketi doğu batı ekseninde yapılır. Böylece panel daha doğru bir açı elde etmek için gün boyunca güneşi takip eder. Gün boyunca güneşi en iyi açıyla alan panel, enerji üretimini artıracığından bu sistem sabit açılı güneş sistemine göre daha verimlidir. Tek eksenli sistemler iki eksenli sistemlere göre daha uygun maliyetlidir. Ancak verimlilik açısından daha düşük verime sahiptir (Alici ve diğ., 2021). Bu sistemler paneli güneş konumuna göre yaklaşık bir yörüngede hareket ettirmek için eğimli bir FV panel montajı ve bir elektrik motoru kullanmaktadır. Dönme eksenini yatay, dikey veya eğik olabilir (Cardeña ve Luque, 2018). Şekil 3.9'da tek eksenli güneş takip sistemi görülmektedir. Bu sistemin ana dezavantajı,

yıllık hareket değil, sadece günlük hareket sırasında güneşi takip edebilmesi, sistem veriminin büyük oranda azalmasıdır (Hafez ve diğ., 2018).



Şekil 3.9. Tek eksenli güneş takip sistemi (Awasthi ve diğ., 2020)

3.2.3. Çift Eksenli Güneş Takip Sistemleri

Çift eksenli güneş takip sistemi döndürülmesi için iki eksen kullanılarak güneşi iki farklı eksenle izleyen bir tekniktir. Bu tipteki güneş takip sistemi genellikle hem yatay hem de dikey eksenlere sahiptir. Çift eksenli güneş takip kullanan aktif sistemlerde genellikle dört LDR, iki motor ve bir kontrol cihazı kullanılır. Dört LDR sistemde farklı dönüş yönlerine yerleştirilir ve kontrol cihazı LDR'lerden gelen sinyalleri algıladığında her motor sistemi bir eksenle döndürülür (Hafez ve diğ., 2018). Genellikle birbirine dik olan iki dönme eksenini içerir. Bu sistemler daha karmaşık bir kontrol sistemi gerektirir ve tek eksenli takip sistemlerine göre daha pahalı ve daha verimlidir.



Şekil 3.10. Çift eksenli güneş takip sistemi (Hafez ve diğ., 2018)

Çift eksenli güneş takip sistemine sahip paneller, sabit optimum eğim açılı panellerden %25–45 daha fazla güç üretmektedir (Fouad ve diğ., 2017). Çift eksenli takip sistemleri kullanılarak maksimum enerji elde edilebilir. Çünkü sistemin hareket serbestliği kuzey-güney ve doğu-batı nedeniyle sistem gün boyunca güneş ışınlarına en verimli şekilde bakar (Cardeña ve Luque, 2018). Şekil 3.10'da çift eksenli güneş takip sistemi gösterilmektedir.

3.3. Şebeke ile Etkileşimine Göre FV Sistemler

Güneş ışınlamını doğrudan elektriğe dönüştüren fotovoltaik sistemler sensörler veya ev aydınlatması gibi yüklere güç sağlayan küçük sistemlerden daha büyük sistemlere kadar çok çeşitli uygulamalar için kullanılabilir. Bu kullanım çeşitliliğine rağmen temel sistem konfigürasyonu oldukça basittir. Sistemin kalbi sistemin gerekli güç kapasitesini toplayan FV panellerdir (Pearsall, 2017). FV enerji sistemlerinin kurulumunu yapmadan önce kurulumun yapılacağı coğrafi konumun çevresel faktörleri göz önünde bulundurulmalıdır. FV sistem kurulumu yapıldıktan sonra sistemin doğru çalışıp çalışmaması, yüksek verimliliğin sağlanması ve ekipmanların arıza tespiti gibi ayrıntılara dikkat edilmesi gerekmektedir (Ceylan, 2017). Elektrik enerjisi üretimine bağlı olarak güç çıkışını artırmak için FV paneller bir araya getirilerek diziler oluşturulur. FV sistemler genellikle fonksiyonel ve operasyonel ihtiyaçlarına ve bileşen konfigürasyonlarına göre sınıflandırılır. Bu sistemler şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız ve hibrit sistemler olmak üzere üç kategoriye ayrılır (Sumathi ve diğ., 2015).

3.3.1. Şebekeden Bağımsız FV Sistemler

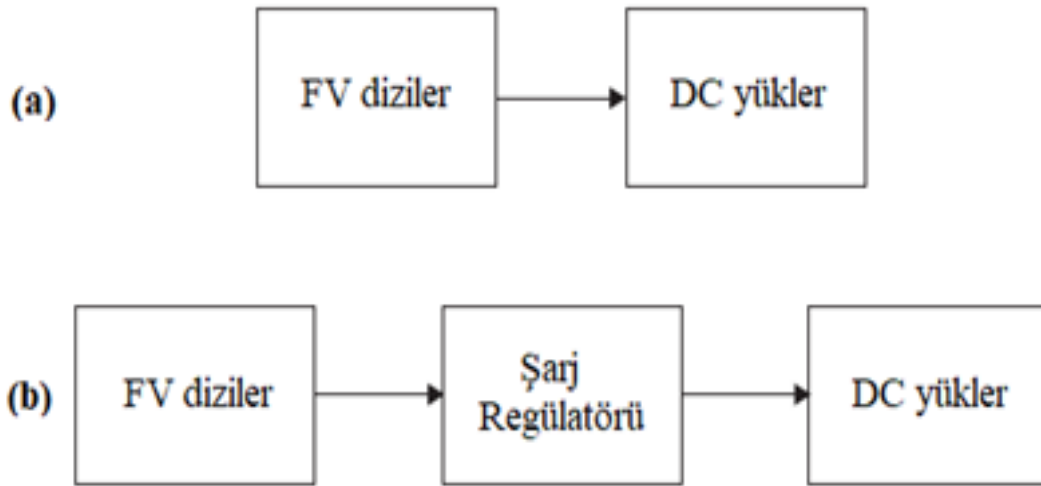
Şebekeden bağımsız FV sistemler tek başına çalışacak şekilde kurulur. Genellikle yılın en kötü koşullarında çalışacak şekilde boyutlandırılmaları gerekir (White, 2015). Şebekeden bağımsız FV sistemler genelde elektrik şebekesine erişimi olmayan çok uzak bölgelerde kullanılır. Bu sistemler doğrudan yüke bağlı depolamasız FV sistemler ve depolamalı FV sistemler olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir.

3.3.1.1. Doğrudan Bağlı FV Sistemler

Doğrudan yüke bağlı bir FV sistem Şekil 3.11'de görüldüğü gibi bir DC yüküne güç sağlamak için elektrik üreten FV panellerden oluşur. Doğrudan yüke bağlı bir sistem

herhangi bir akümülatöre veya şebekeye bağlı değildir. Bir veya daha fazla güneş paneli bağlantı kesme anahtarı, aşırı akım koruması ve elektrik yükü içerir. Bu sistemler sadece gündüz saatlerinde kullanılmaktadır. Doğrudan bağlı DC yüklere örnek olarak LED'ler, güneş enerjili su pompaları, fanlar, buzdolapları, floresan lambalar, radyolar ve TV'ler verilebilir (Mohanty ve diğ., 2016).

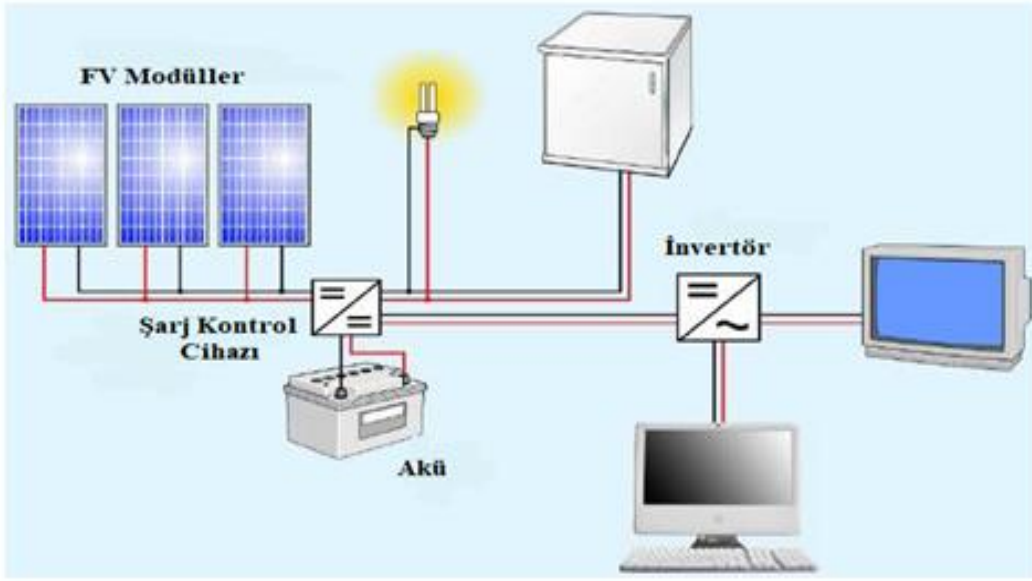
Doğrudan yüke bağlı FV sistemlere bir örnek olarak tarımsal sulama uygulamalarında pompalama amacıyla kullanılabilir. Pompanın kapasitesine bağlı olarak paneller seri veya paralel olarak farklı yapılarda bağlanır. Böyle bir uygulamada artı ve eksi besleme arasına aşırı gerilim koruyucusu bağlanarak yıldırım darbelerine karşı koruma sağlamaktadır (Sumathi ve diğ., 2015). Şekil 3.11'de (a) doğrudan yüke bağlı FV sistem ve Şekil 3.11'de (b) şarj kontrol cihazı içeren FV sistemin şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.11. (a) Doğrudan yüke bağlı FV sistem, (b) şarj kontrol cihazı içeren FV sistem (Qazi, 2017)

3.3.1.2. Depolamalı FV Sistemler

Şekil 3.12'de görülen şebekeden bağımsız FV sistemler panellerin ürettiği enerjiyi gün boyunca depolayarak panellerin enerji üretmediği gece saatlerinde veya bulutlu günlerde kullanılmaktadır. Şebekeden bağımsız enerji depolamalı sistem doğrudan yüke bağlı FV sisteme göre daha fazla bileşene sahiptir. Şebekeden bağımsız FV sistemler genellikle dört bileşenden oluşur. Bunlar FV panel, şarj kontrol cihazı, evirici ve batarya olarak sıralanabilir.



Şekil 3.12. Depolamalı şebekeden bağımsız FV sistemin şeması (Koca, 2019)

Şebekeden bağımsız FV sistemlerin avantajları ve dezavantajları aşağıdaki gibidir (Qazi, 2017).

Avantajları;

- Harici enerji kaynaklarından bağımsızlık
- Yüksek elektrik şebekesi ücretlerinden kullanıcılar için tasarruf sağlamak
- Düşük bakım maliyeti
- Çevre dostu
- Ek FV panelleri ve bataryalar İLE kolay genişleme imkanı

Dezavantajları;

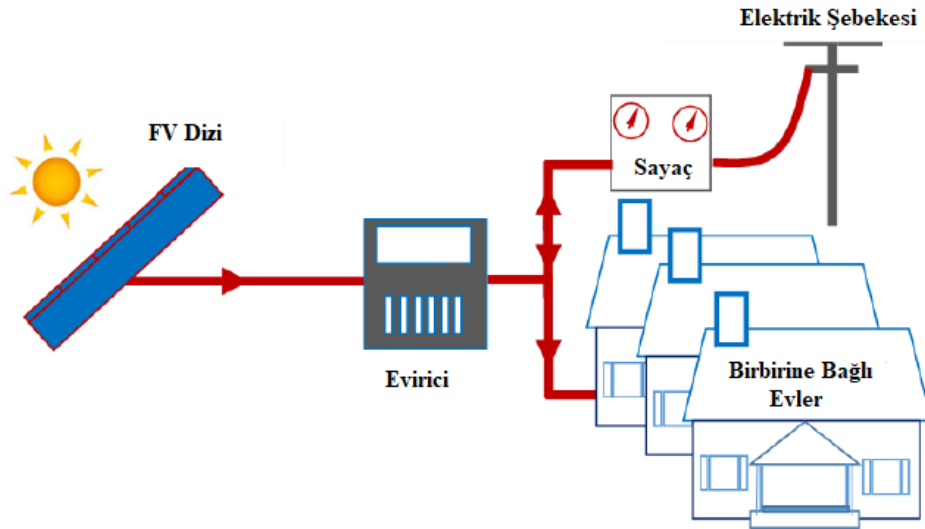
- Güneşe bağımlılık
- Yüksek başlangıç yatırımı
- Batarya asidi saçılması ve dökülmelerinden kaynaklanan olası tehlikeler

3.3.2. Şebekeye Bağlı FV Sistemler

Şebeke bağlantılı FV sistemler paneller ve şebekeye bağlı eviriciden oluşur. Güneş panelleri üretilen DC gerilimi şebekeye uyacak şekilde doğrudan AC gerilime dönüştüren

eviriciyi beslemektedir. Bu evirici güneş panelleri tarafından üretilen enerji fazlalığını şebekeye verir (Qazi, 2017). Bu sistemlerde güneş panellerinden veya bataryalardan gelen enerji yükü besleyecek düzeyin altında ise, ihtiyaç olan fazla enerji şebekeden alınmaktadır. Aynı zamanda üretilecek fazla enerji uyumlu bir evirici ve çift yönlü sayaç kullanılarak şebekeye aktarmaktadır (Koçhan, 2019). Şebeke bağlantılı FV sistemlerde genelde bataryalar kullanılmaz. Eğer depolama sistemi kullanılacaksa bataryalarda depolanan enerji evirici aracılığıyla AC'ye dönüştürülerek yerel şebekeye aktarılır. Bu sistemlerde ani durumlarda sistemi muhafaza eden kaçak akım röleleri, termik-manyetik şalter, faz koruma röleleri vb. gibi şalt malzemeleri mevcuttur (Ceylan, 2017).

Şebekeye bağlı FV sistemler birkaç kW güce sahip küçük konut veya megawatt düzeyinde büyük ölçekli ticari FV sistemler olabilir. Aynı zamanda şebeke bağlantılı sistemlere depolama sistemleri de entegre edilebilir. Şebekeye bağlı FV sistemler veya santraller binalarda veya açık alanlarda kurulabilir (Satpathy ve Pamuru, 2020). Şekil 3.13'de şebekeye bağlı FV sistemin şematik şekli verilmiştir.



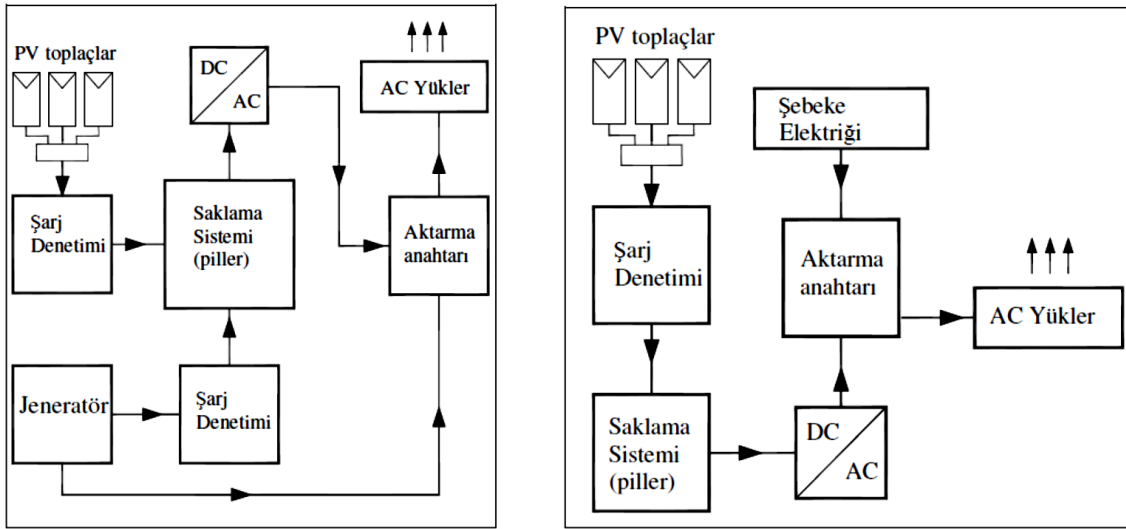
Şekil 3.13. Şebekeye bağlı FV sistem (Diyoke ve diğ., 2023)

3.3.3. Karma (Hibrit) FV Sistemler

Hibrit FV sistemler FV sistemler ile dizel veya gaz jeneratörleri, rüzgar türbinleri ve hidrolik santraller gibi diğer enerji üreten birimlerin bir kombinasyonudur (Laetitia, 2018). Farklı elektrik üretim yöntemlerini optimize etmek için hibrit sistemler tipik olarak bağımsız ve şebekeye bağlı FV sistemlerden daha karmaşık denetleme

gerektirmektedir. Örneğin bir FV/dizel sistemi durumunda batarya belirli bir deşarj seviyesine ulaştığında dizel motor çalıştırılır ve batarya yeterli şarj durumuna ulaştığında tekrar durdurulur (Jäger ve diğ., 2014).

Karma sistemlerde ihtiyaç duyulan enerjinin tedarikinde FV sistemlerin yanı sıra geleneksel sistemlerden veya şebekeden faydalanılabilir. Jeneratör gibi kaynakların kullanıldığı hibrit sistemler genelde çok uzak yerleşim bölgelerinde ve elektrik şebekesinin olmadığı alanlarda kullanılmaktadır (Yücel, 2016). Şekil 3.14’de hibrit FV sistemlerin örnekleri verilmiştir.



Şekil 3.14. Hibrit (karma) FV sistemler (Yücel, 2016)

4. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN BOYUTLANDIRILMASI

FV sistemlerin tasarımı sistemin kurulacağı konuma ait günlük ve yıllık güneş ışıınımı seviyeleri, ortam sıcaklıkları ve rüzgar hızı gibi metrolojik verilerin kesin değerlendirilmesiyle başlar. Günlük elektrik enerjisi ihtiyacının yanı sıra bu parametrelerin iyi bilinmesi doğru bir sistem tasarımını sağlayabilir. Aşağıdaki alt bölümler sistemdeki her bir bileşenin tasarımını ve boyutlandırılmasını tanıtmaktadır (Mahmood, 2019).

4.1. FV Dizinin Boyutlandırılması

FV dizinin boyutu Denklem (4.1) kullanılarak hesaplanabilir (Basaran ve Sezen, 2018).

$$A_{pv} = \frac{E_d}{H_{avg} \times \eta_{pv} \times \eta_B \times \eta_{inv} \times T_{cf}} \quad (4.1)$$

A_{pv} , m² cinsinden gerekli FV tesisin alanı, E_d kWh/gün cinsinden günlük elektrik enerjisi talebi, H_{avg} kWh/m²-gün cinsinden günlük mevcut ortalama güneş ışıınımı, η_{pv} FV panelin % cinsinden verimi, η_b % olarak batarya verimliliği, η_{inv} % cinsinden evirici verimliliği, T_{cf} kristalin Silikon için normal olarak C° başına %(-0,5-0,4) olarak alınan sıcaklık düzeltme faktörüdür (Ghafoor ve Munir, 2015; El-houari ve diğ., 2019).

FV sistemin nominal gücü P_{pv} Denklem (4.2) kullanılarak hesaplanabilir.

$$P_{FV} = A_{FV} \times H_{sc} \times \eta_{FV} \quad (4.2)$$

H_{sc} , Standart güneş ışıınımıdır (1000 W/m²)

FV dizinin seri, paralel ve sistemin toplam panel sayısı sırasıyla Denklem (4.3), (4.4) ve (4.5)'den yararlanılarak elde edilir (Musa ve diğ., 2013).

$$\text{Seri panel sayısı: } N_{sp} = \frac{V_{sis}}{V_{panel}} \quad (4.3)$$

$$\text{Paralel panel sayısı: } N_{pp} = \frac{P_{pv}}{N_{ms} \times P_{panel}} \quad (4.4)$$

$$\text{Sistemin toplam panel sayısı: } N_{tp} = N_{sp} \times N_{pp} \quad (4.5)$$

4.2. Depolama Ünitesinin Boyutlandırılması

Güneş enerjisinin gün içinde sınırlı sürede erişilebilir olması, elektrik üretiminin sürdürülebilirliğini sağlamak için batarya sisteminin tasarımını zorunlu kılmaktadır. Sonuç olarak bulutlu gün sayısı, batarya verimliliği, evirici verimliliği, deşarj derinliği (DOD) ve elektrik yükünün boyutu gibi batarya sistemini tasarlarken çeşitli parametreler dikkate alınmalıdır (Akinsipe ve diğ., 2020). Batarya güneşli saatlerde enerji depoladığı ve gece kullanımına izin verdiği için şebekeden bağımsız FV sistemlerde önemli bir bileşendir. Batarya grubu kapasitesi evirici, batarya verimliliği ve bataryanın deşarj derinliğine bağlıdır. Buna göre batarya grubu kapasitesi Denklem (4.6) kullanılarak hesaplanabilir (El-houari ve diğ., 2019).

$$C_x = \frac{E_d \times N_{cd}}{\eta_b \times \eta_{inv} \times dod} \quad (4.6)$$

Burada, C_x depolama ünitesi kapasitesi, (DOD) izin verilen maksimum batarya deşarj derinliği ve N_{cd} bulutlu gün sayısıdır.

Sistemin ihtiyaç duyulacağı toplam batarya sayısı, toplam seri batarya sayısı ve toplam paralel batarya sayısı sırasıyla Denklem (4.7), (4.8) ve (4.9) kullanılarak elde edilir (Mahmood, 2019).

$$\text{Toplam gerekli batarya sayısı: } N_{tb} = \frac{C_x}{C_b} \quad (4.7)$$

$$\text{Seri batarya sayısı: } N_{bs} = \frac{V_{sys}}{V_b} \quad (4.8)$$

$$\text{Paralel batarya sayısı: } N_{bp} = \frac{N_{tb}}{N_{bs}} \quad (4.9)$$

4.3. Şarj Kontrol Cihazının Boyutlandırılması

Şarj kontrol cihazı FV dizi ve bataryalar arasındaki gerilimi eşleştirmede çok önemli rol oynamaktadır. Şarj kontrol cihazı FV dizinin gerilimine uyacak şekilde seçilir. Şarj kontrol cihazı FV dizi akımına uygun yeterli akım kapasitesine sahip olmalıdır (Jogunuri ve diğ., 2017).

Şarj kontrol cihazının anma akımı Denklem (4.10) kullanılarak elde edilir.

$$I_{rated} = N_{bp} \times I_{sc} \times f_{safety} \quad (4.10)$$

Burada, I_{rated} şarj kontrol cihazının anma akımı, N_{bp} paralel batarya sayısı, I_{sc} kısa devre akımı ve f_{safety} şarj kontrol cihazının güvenlik faktörüdür ve genellikle 1.25 seçilir.

4.4. Eviricinin Boyutlandırılması

DC-AC evirici AC yüklerini beslemek için kullanılır. Evirici kapasitesi yükün maksimum AC gücünden en az %10-25 daha fazlasına ayarlanmalıdır. Ayrıca evirici buzdolabı ve çamaşır makinesi gibi elektrik motorlarını korumak için herhangi bir güç dalgalanmasına karşı korumalıdır (El Shenawy ve diğ., 2017). Tipik olarak evirici kapasitesi aynı anda çalışan tüm yüklerin toplamı ve aşırı gerilim korumasını sağlamak için endüktif yüklerin toplam gücünün 3,5 katı olarak alınır. Ayrıca eviricinin güvenli bir şekilde çalışması için genelde ekstra %25 güvenlik faktörü ile çarpılır (Pal ve diğ., 2015).

Evirici sistem yüklerinin beklenen maksimum gücünü kaldırabilmelidir. Eviricinin DC giriş gerilimi batarya grubu geriliminin çıkışıyla uyumlu olmalıdır. Çıkış AC yüklerine uyumlu tek fazlı veya üç fazlı 230/400 ve 50 Hz olacaktır (Shukla ve diğ., 2016).

$$P_{total} = P_{res} + P_{ind}$$

Evirici tarafından verilmesi gereken güç P_{inv} Denklem (4.11) kullanılarak elde edilir (Pal ve diğ., 2015).

$$P_{inv} = P_{total} + 3,5 \times P_{ind} \quad (4.11)$$

Eviricinin güç değeri (P_{out}), evirici tarafından çıkış olarak verilen aktif güç ile ilgilidir. Eviricinin güç değerini belirlemek için Denklem (4.12)'den yararlanılır.

$$PF = \frac{\text{Verilebilir aktif güç}}{\text{Evirici güç değeri}} = \frac{P_{inv}}{P_{KVA}} \quad (4.12)$$

Burada "aktif güç" yükü çalıştıran güçtür. Eviricinin çıkış gücü Denklem (4.13) kullanılarak elde edilir.

$$P_{KVA} = \frac{P_{inv}}{PF} \quad (4.13)$$

4.5. Sistem Kablolarının Boyutlandırılması

FV sistemin güvenilirliği ve performansı için seçilen kablounun boyutu ve türü çok önemlidir. FV paneller ve bataryalar arasındaki bağlantı kabloları paneller tarafından üretilen nominal akımın taşıma kapasitesine sahip olmalıdır (Jogunuri ve diğ., 2017). Kablo kesit alanı Denklem (4.14) kullanılarak belirlenir.

$$A_c = \frac{\rho \times l \times I}{V_d} \times 2 \quad (4.14)$$

Burada, l kablounun uzunluğu, ρ kablounun öz direnci (bakır için $\rho = 1,724 \times 10^{-8} \Omega m$), V_d , gerilim düşümüdür. Gerilim düşümü AC ve DC her iki durumda %4'ü geçmemelidir.

4.6. FV Paneller ile Depolama Ünitesi Arasındaki Kablo Boyutunun Belirlenmesi

Şarj kontrol cihazının anma akımı (I_{rated}) bulunarak Denklem (4.14)'de I yerine yazılır (Musa ve diğ., 2013).

$$A = \frac{\rho \times l \times I}{V_d} \times 2 = \frac{\rho \times l \times I_{rated}}{V_d} \times 2 \quad (4.15)$$

4.7. Depolama Ünitesi ile Evirici Arasındaki Kablo Boyutunun Belirlenmesi

Tam yük beslemesinde bataryadan çekilen maksimum akım (I_{max}) Denklem (4.16) kullanılarak bulunur (Jogunuri ve diğ., 2017).

$$I_{max} = \frac{P_{inv(KVA)}}{\eta_{inv} \times V_{sys}} \Rightarrow A = \frac{\rho \times l \times I_{max}}{V_d} \times 2 \quad (4.16)$$

4.8. Evirici ile Yük Arasındaki Kablo Boyutunun Belirlenmesi

Faz üzerinde tam yükte eviriciden gelen maksimum akımı bulmak için, Denklem (4.17)'den yararlanılır (Musa ve diğ., 2013).

$$I_{faz} = \frac{P_{inv(KVA)}}{V_{out(AC)} \times \sqrt{3}} \Rightarrow A = \frac{\rho \times l \times I_{phase}}{V_d} \times 2 \quad (4.17)$$

4.9. Kablo Özellikleri

FV sistemlerde kullanılan kabloların gerilim, akım ve aşırı ortam koşullarına

dayanabilmesi için dikkatli bir şekilde seçilmesi gerekir. Ayrıca FV dizi şarj kontrol cihazı, bataryalar ve diğer bileşenler arasındaki kablo bağlantılarında güç kaybı meydana gelir. Bu kayıpların mümkün olduğunca minimum düzeyde tutulması gerekir. Ancak bu kayıpları sistem için %3'ün altında tutmak zordur (Fouad ve diğ., 2017).

Kablolardaki güç kayıplarını hesaplamak için çeşitli denklemler kullanılabilir. Önerilen denklemlerden biri aşağıda Denklem (4.18)'de gösterilmiştir.

$$P_{\text{loss}} = \frac{2 \times \rho \times l \times p^2}{V_0 \times A \times \cos^2 \theta} \quad (4.18)$$

P_{loss} : kablolarda meydana gelen güç kaybıdır,

ρ : İletkenin özgül direncidir,

l : Kaynak ve yük arasındaki mesafedir,

p : Yükün güç tüketimidir

V_0 : Kaynak gerilimidir,

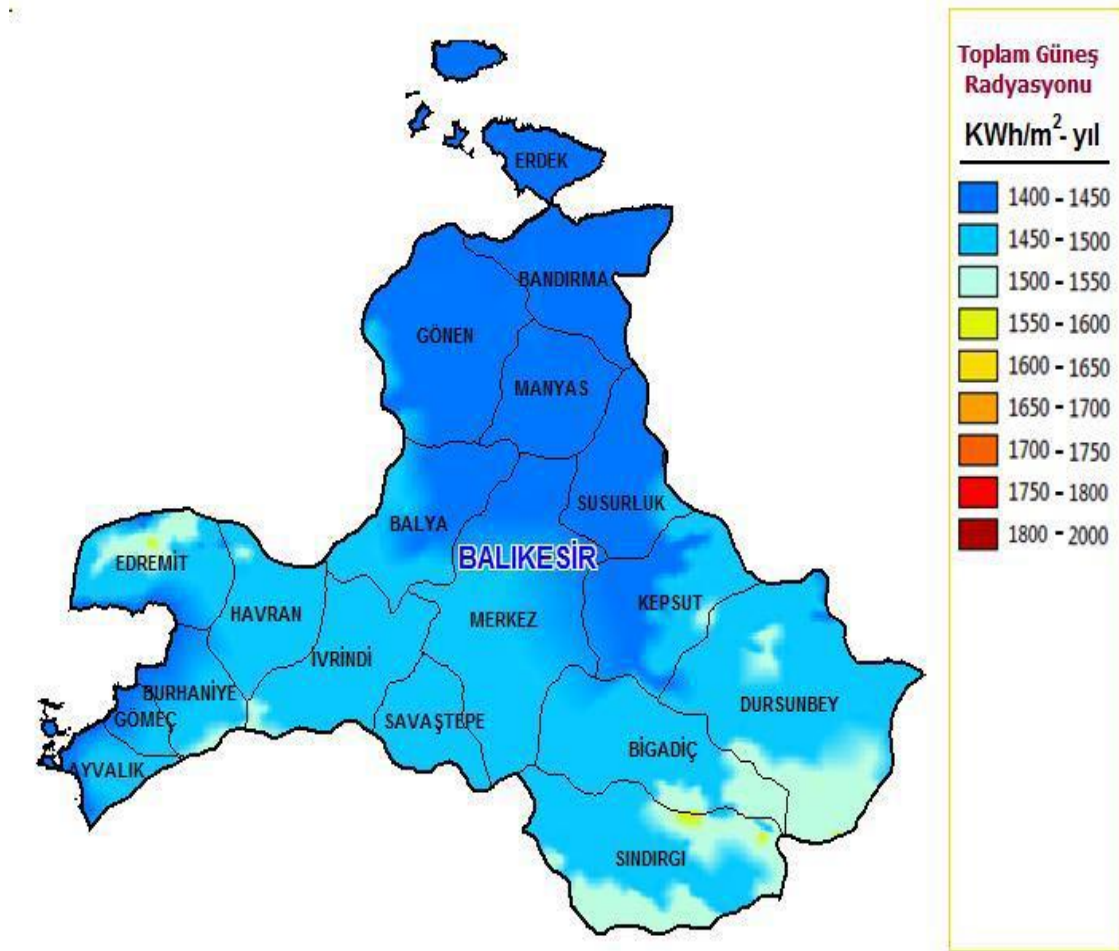
A : İletkenin kesitidir

$\cos \theta$: Yükün güç faktörüdür.

5. EDREMIT İLÇESİNDE YER ALAN KONUT İÇİN DEPOLAMALI ŞEBEKE BAĞLANTILI FV SİSTEM MODELLEMESİ

5.1. Balıkesir İli Güneş Enerjisi Potansiyeli

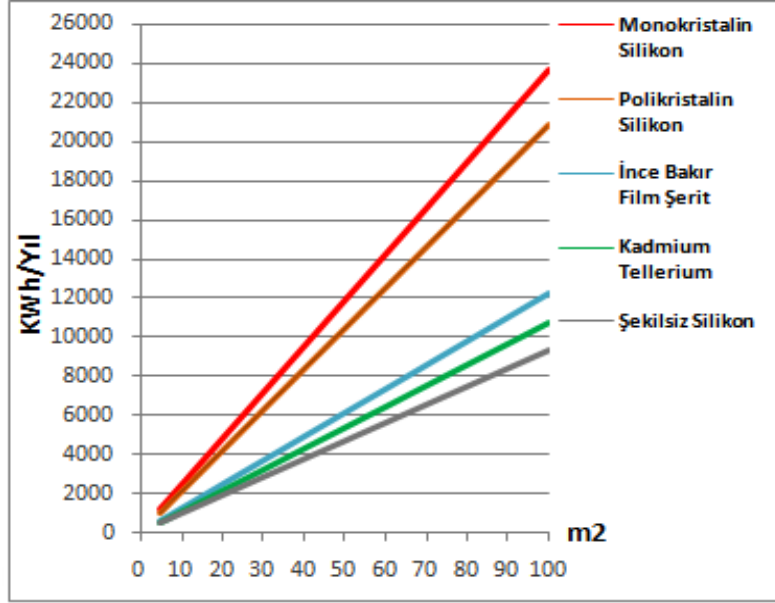
Balıkesir ilinin güneş radyasyonu haritası Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Balıkesir ilinin senelik ortalama 1400-1500 kWh/m² güneş radyasyon potansiyeline sahip olduğu görülmektedir (Beyoğlu, 2011).



Şekil 5.1. Balıkesir ili güneş enerjisi potansiyeli (URL-6)

Balıkesir ili güneş ışıınımı değerlerinin Türkiye'nin bazı illere kıyasla daha düşük ve güneşlenme süresinin dah az olduğu dolayısıyla daha az güneş enerji potansiyeline sahip olduğu görülmektedir (Beyoğlu, 2011).

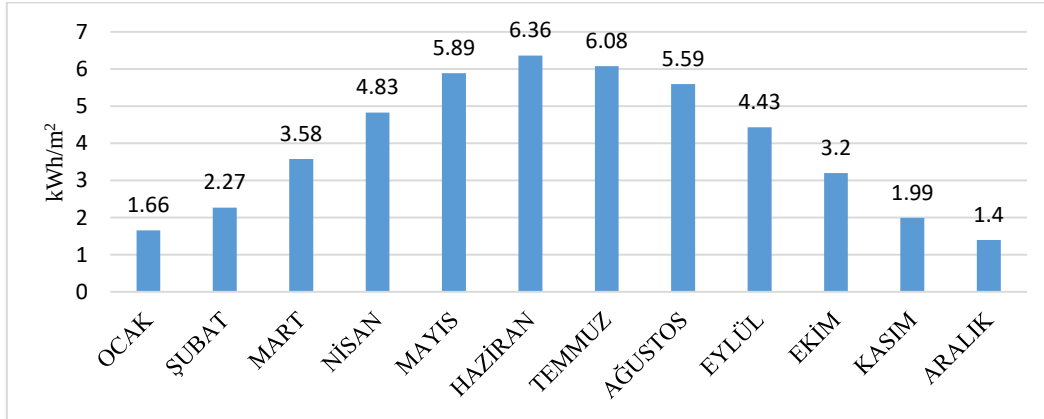
Balıkesir ili güneş enerjisi potansiyeline bağlı olarak farklı FV tiplere göre m² başına üretilebilecek enerji miktarı (kWh-yıl) Şekil 5.2’de verilmiştir (Beyoğlu, 2011).



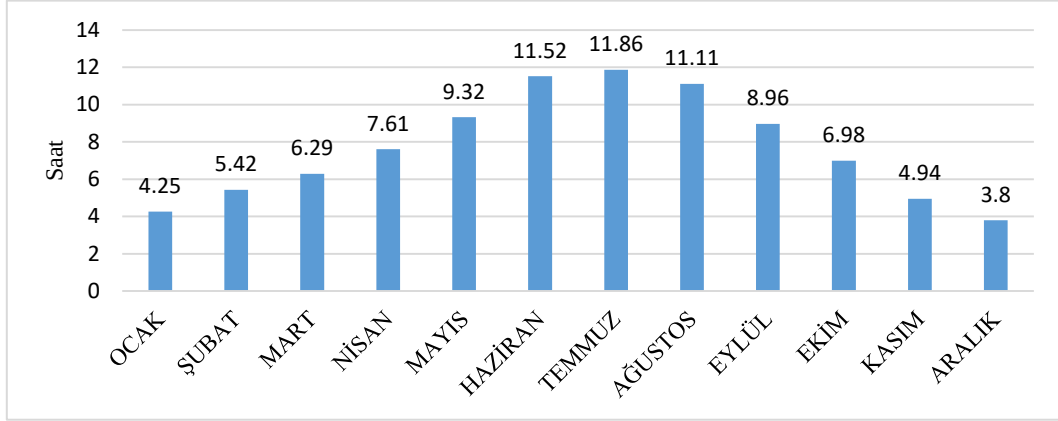
Şekil 5.2. Balıkesir ili farklı FV hücre tipleri için metrekare başına elde edilen yıllık enerji miktarı (URL-6)

5.2. Edremit İlçesi Güneş Enerjisi Potansiyeli

Edremit Marmara bölgesinin güneyinde yer alan Balıkesir iline ait bir ilçedir. Edremit'in yüzölçümü 708 km²'dir. Edremit ilçesi enlem 39°35'56"N ve boylam 27°1'19"E koordinatlarında yer almaktadır. Şekil 5.3'de Edremit ilçesinin aylara göre günlük ışıınım değerleri verilmiştir. Haziran ayı en yüksek küresel ışıınım değerine sahiptir. Edremit'in ortalama günlük radyasyon şiddeti 3,94 kWh/m² ve senelik ışıınım değeri ise 1.439,1 kWh/m² olarak belirlenmiştir. Ayrıca Şekil 5.4'de Edremit ilçesinin aylara göre güneşlenme süreleri saat olarak verilmiştir. Edremit'in aylara göre günlük güneşlenme süresi 7,38 saat-gün, senelik ortalama güneşlenme süresi ise 2695,54 saat-yıl olarak görülmektedir.



Şekil 5.3. Edremit ilçesi ortalama günlük ışıınım şiddeti (URL-6)



Şekil 5.4. Edremit ilçesi aylık bazda günlük güneşlenme süreleri (URL-6)

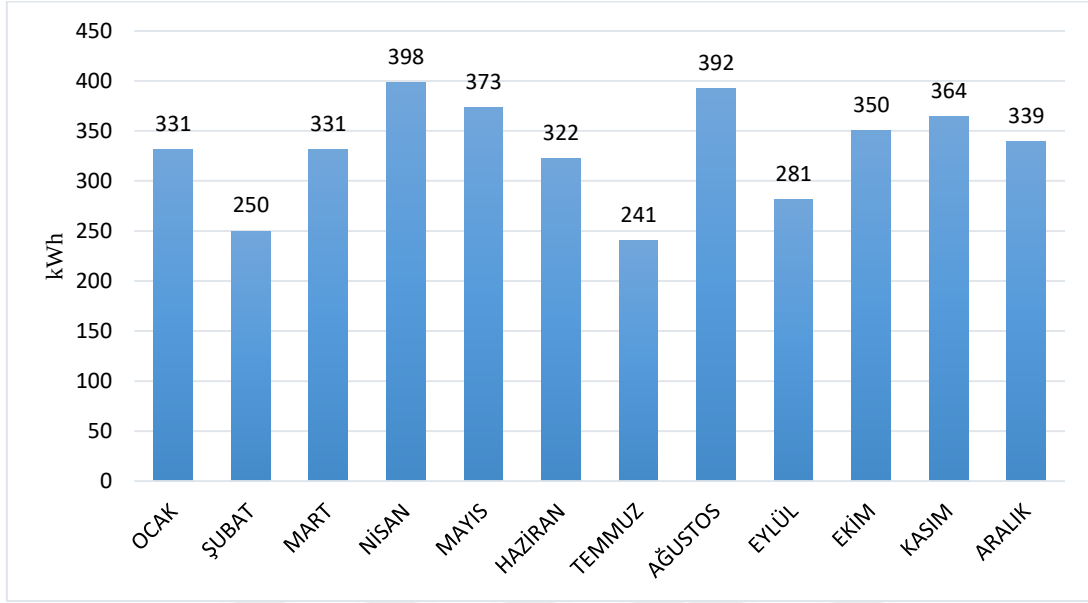
5.3. Ele Alınan Konutun Elektrik Tüketim Verileri

Bu çalışmada konut sahibinin izni ile elektrik dağıtım şirketinden (UEDAŞ) temin edilen elektrik tüketim verileri (3.973 kWh) göz önünde bulundurularak tasarımı gerçekleştirilmiştir. Edremit ilçesinde bulunan konutun 2017 yılı için elektrik tüketim değerleri ve grafiği sırasıyla Tablo 5.1 ve Şekil 5.5’de verilmiştir. Bu tez çalışmasında Balıkesir ili Edremit ilçesinde bulunan konut için batarya sistemini içeren şebeke bağlantılı bir FV sistem tasarlanmıştır. Tasarım işlemi PV*SOL Premium 2021 ve PVsyst 7.3 yazılımları aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

5.1. Konutun 2017 yılı için aylık bazda tüketim miktarı

Aylar	2017 yılı aylık bazda Enerji tüketimi (kWh)
Ocak	331
Şubat	250
Mart	331
Nisan	398
Mayıs	373
Haziran	322
Temmuz	242
Ağustos	392
Eylül	281
Ekim	350
Kasım	364
Aralık	339
Toplam	3.973

FV sistem Kurulumu için konutun çatısı uygun görülmüştür. Konutun tüketim ve üretim dengesinin sağlanması için sistem boyutu tahmin edilmiştir. Konutun yıllık enerji tüketimi verileri göz önünde bulundurularak batarya sistemini içeren şebekeye bağlı FV sistemin simülasyonu yapılmıştır.



Şekil 5.5. Konutun 2017 yılı için aylık bazda enerji tüketim grafiği

5.4. FV Sistemler Tasarımında Kullanılan Yazılımlar

FV sistemler sistem tipine, konuma ve uygulamaya göre seçilmesi gereken farklı bileşenleri içerir. FV sistemin ana bileşenleri şarj kontrol cihazı, evirici, batarya grubu ve yüklerdir. FV sistem tasarlanırken dikkate alınması gereken birçok parametre mevcuttur. FV sistemin simülasyon programları evirici tasarımı, verim hesaplaması, gölgeleme analizi, güneş radyasyonu, panel planlaması ve FV montaj sistemi gibi FV sistemin tüm tasarımını bağımsız olarak planlama imkanı sunar.

FV simülasyon programlarının çok çeşidi mevcuttur. Bu programlar genel veya profesyonel olarak kullanılabilir. Bu yazılım programlarının bazıları RETscree, HOMER, System Advisor Model (SAM), PV*SOL, PVsyst–Pvsyst, PV F-Chart ve Solargis olarak sıralanabilir.

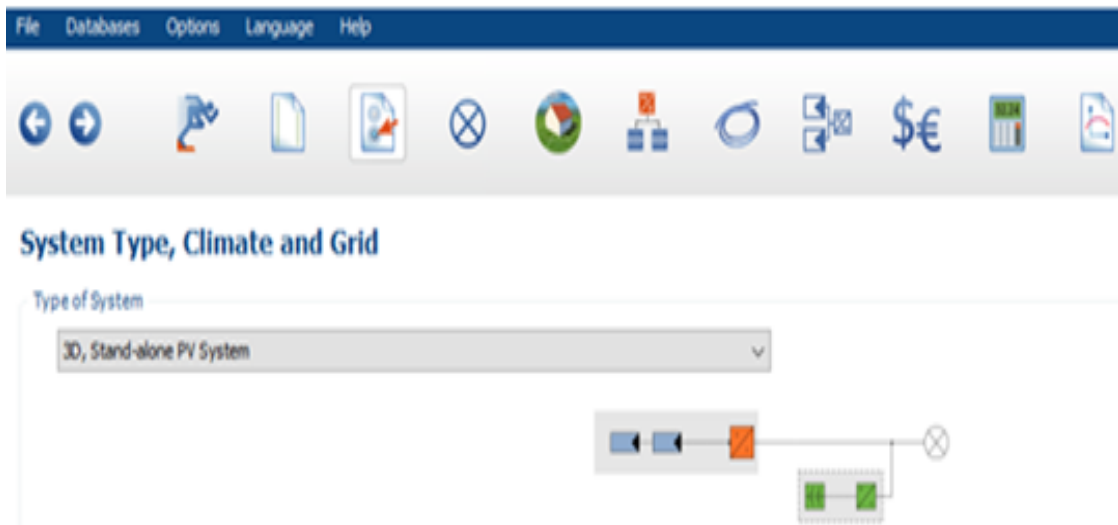
Günümüzde FV enerji sistemlerin tasarımı için birçok çeşit simülasyon programları kullanılmaktadır. Bu programlar yardımıyla şebeke bağlantılı güneş enerji sistemleri, şebekeden bağımsız güneş enerji sistemleri ve FV sulama sistemleri gibi 3 boyutlu

tasarımlar yapılabilir. Bu programlar sayesinde FV sistem kullanıcıları kurulacağı yerin coğrafi konumuna, enerji ihtiyacına ve sistem güvenilirliği gibi farklı parametrelerini göz önünde bulundurmalıdır. Uygun sistem bileşenleri seçilerek sistem performans analizleri yapılmaktadır (Ceylan, 2017).

Bu çalışmanın tasarımı PV*SOL premium 2021 ve PVsyst 7.3 yazılımları vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. PV*SOL 1998 yılında Almanya'da Valentin Energy Software tarafından geliştirilmiştir. PV*SOL veritabanındaki tüm gereksinimleri değiştirme ve kendi FV sistemlerini oluşturma yeteneğine sahiptir (Bhattarai, 2016). MeteoSyn iklim veritabanı FV sistemlerin kurulacağı yerlerin iklim verilerini sağlamaktadır. İklim veri tabanı devamlı güncelleştirilmektedir (Ceylan, 2018). PV*SOL programı üç boyutlu menü navigasyonunu bulundurmaktadır. Bu menü cephe, arazi, panel yerleştirme sahası, biçimi ve kablo planı olarak farklı kategoriden oluşur. FV sistem tasarımını gerçekleştirebilmek için sırasına göre harita tabanı kısmından konumun enlemi ve boylamı, FV panellerin özellikleri, kapasitesi, montaj, evirici sayısı, dizilişi, kablo uzunluğu, kesitleri, ve 3 boyutlu görsel seçeneği gibi adımlar takip edilmektedir (Ceylan, 2017).

5.4.1. PV*SOL Yazılımı Kullanımı

PV*SOL yazılım programının arayüzünde dokuz pencere mevcuttur. Yapılacak projelerin türlerine göre diğer pencereler otomatik olarak eklenebilmektedir. Şekil 5.6'da PV*SOL programının ara yüzü görülmektedir.

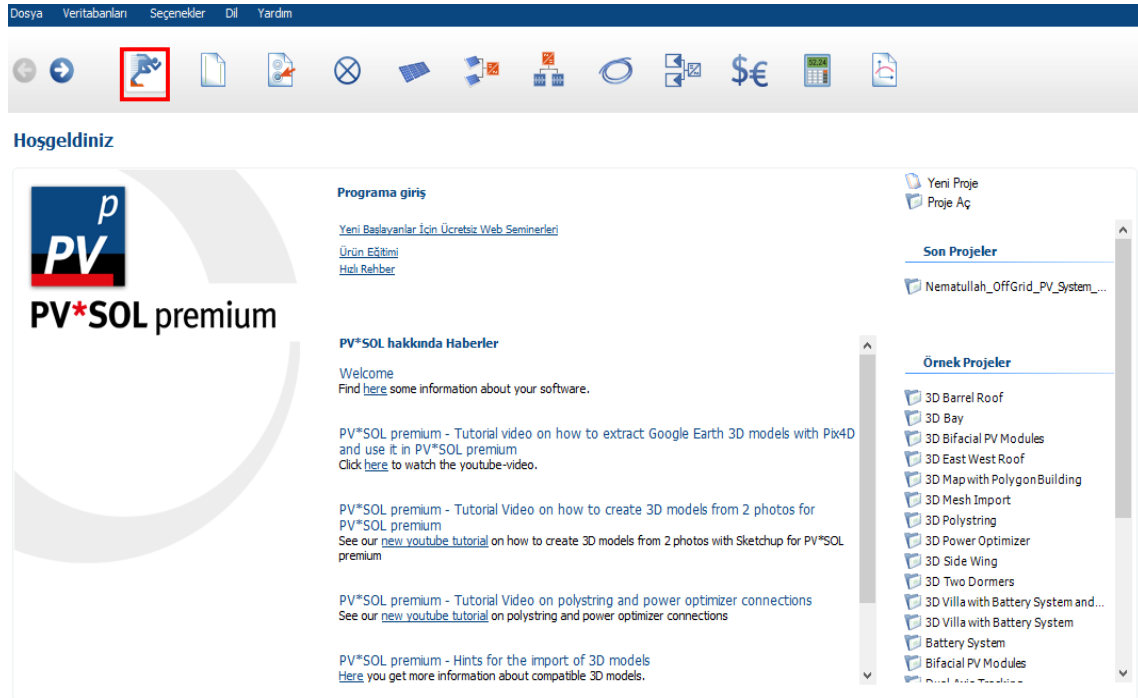


Şekil 5.6. PV*SOL premium programının ara yüzü

Arayüz pencereleri şu şekilde sıralanabilir;

- Hoşgeldiniz penceresi
- Proje verileri penceresi
- Sistem türü, iklim ve şebeke
- Tüketim penceresi
- FV paneller penceresi
- Eviriciler penceresi
- Batarya sistemi penceresi
- Kablolar penceresi
- Planlar ve parça listeleri penceresi
- Finansal analiz penceresi
- Sonuçlar penceresi
- Sunum penceresi

Hoşgeldiniz penceresi: Programın başlangıç penceresidir. Yazılım hakkında eğitici videolar, notlar, bilgi siteleri ve yardımcı linkler bu pencerede bulunmaktadır. Yeni proje oluşturma, daha önce kaydedilmiş proje açma ve son yapılan projeler de bu pencerede yer almaktadır (Ceylan, 2018). Şekil 5.7’de hoşgeldiniz penceresi gösterilmektedir.



Şekil 5.7. Hoşgeldiniz penceresi

Proje verileri penceresi: Bu pencere projenin genel bilgilerinin girildiği yerdir. Proje numarası, proje tasarımcısı, müşteri bilgileri, firma ismi, telefon ve adres gibi iletişim bilgileri, projenin yapıldığı tarih, proje ismi, proje ile ilgili resim ve projenin açıklama kısmı gibi bilgiler bu pencerede bulunmaktadır (URL-1). Şekil 5.8’de proje verileri penceresi gösterilmiştir.

Şekil 5.8. Proje verileri penceresi

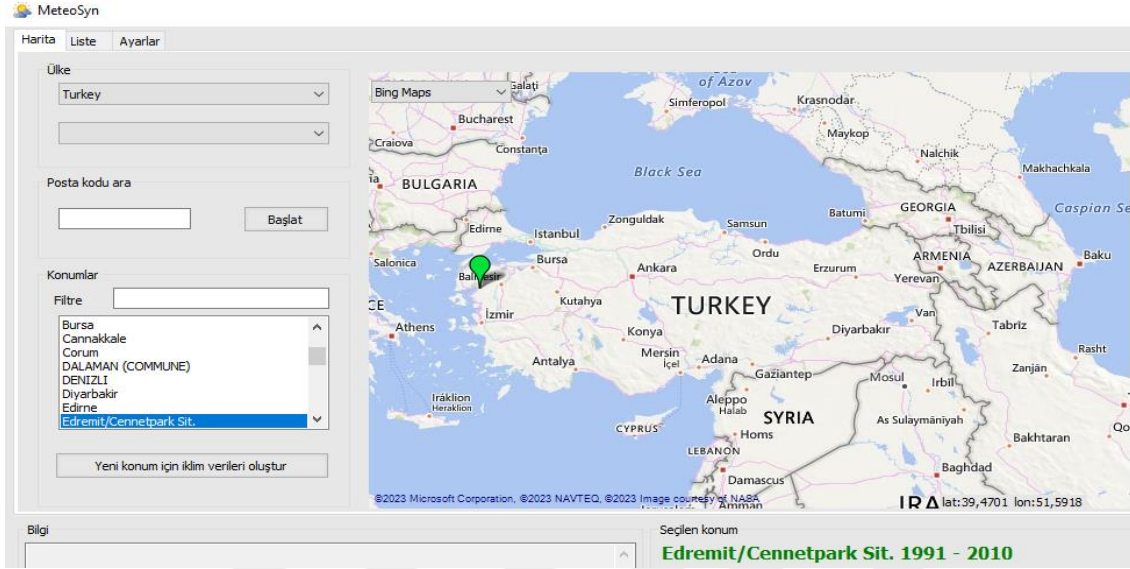
Sistem türü, iklim ve şebeke: Bu pencerede FV sistemin tipi (şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız vs.), FV sistemin kurulacağı yerin konumu ve iklim bilgileri gibi parametreler girilmektedir. Projede üç boyutlu tasarım yapıp yapılmayacağı bu pencerede seçilmektedir (URL-1). Şekil 5.9’da sistem türü, iklim ve şebeke penceresi gösterilmektedir.

İklim verileri			
Ülke	Konum		
Turkey	Edremit/Cennetpark Sit. (1991-2010)		
Enlem	39° 35' 10" (39,59°)	Küresel ışınlamaların yıllık toplamı	1470 kWh/m ²
Boylam	27° 0' 50" (27,01°)	Yıllık Ortalama Sıcaklık	16 °C
Saat Dilimi	UTC+2		
Zaman dilimi	1991 - 2010		

AC Şebekesi	
Gerilim (N-L1)	230 V
Faz Adeti	1-fazlı
cos φ	1
Maksimum Güç Sınırlaması	Hayır

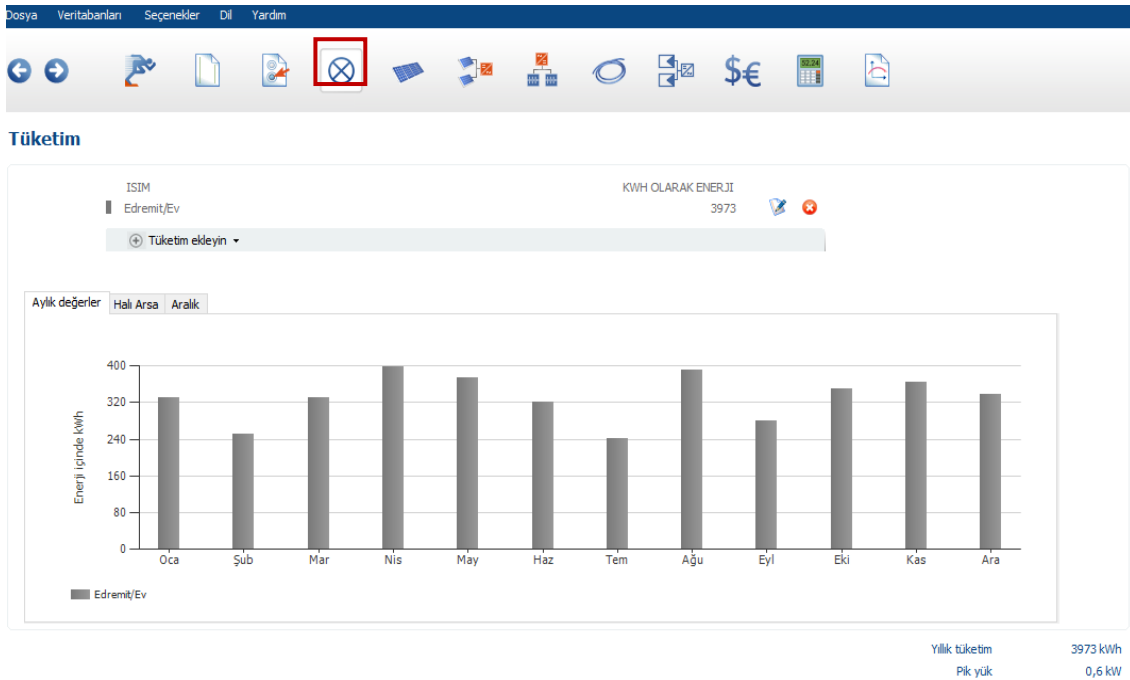
Şekil 5.9. Sistem türü, iklim ve şebeke penceresi

Eğer iklim veri tabanında sistemin kurulacağı yerin verileri mevcut değilse, harita üzerinden "İklim veri seçimini aç" seçilerek yazılımın MeteoSyn uygulamasına geçiş yapılmaktadır. Yeni açılan pencerede "yeni konum için iklim verileri oluştur" bölümünden yeni konumun verileri eklenmektedir (URL-1). Şekil 5.10'da MeteoSyn harita tabanı üzerinden konum koordinatları gösterilmektedir.



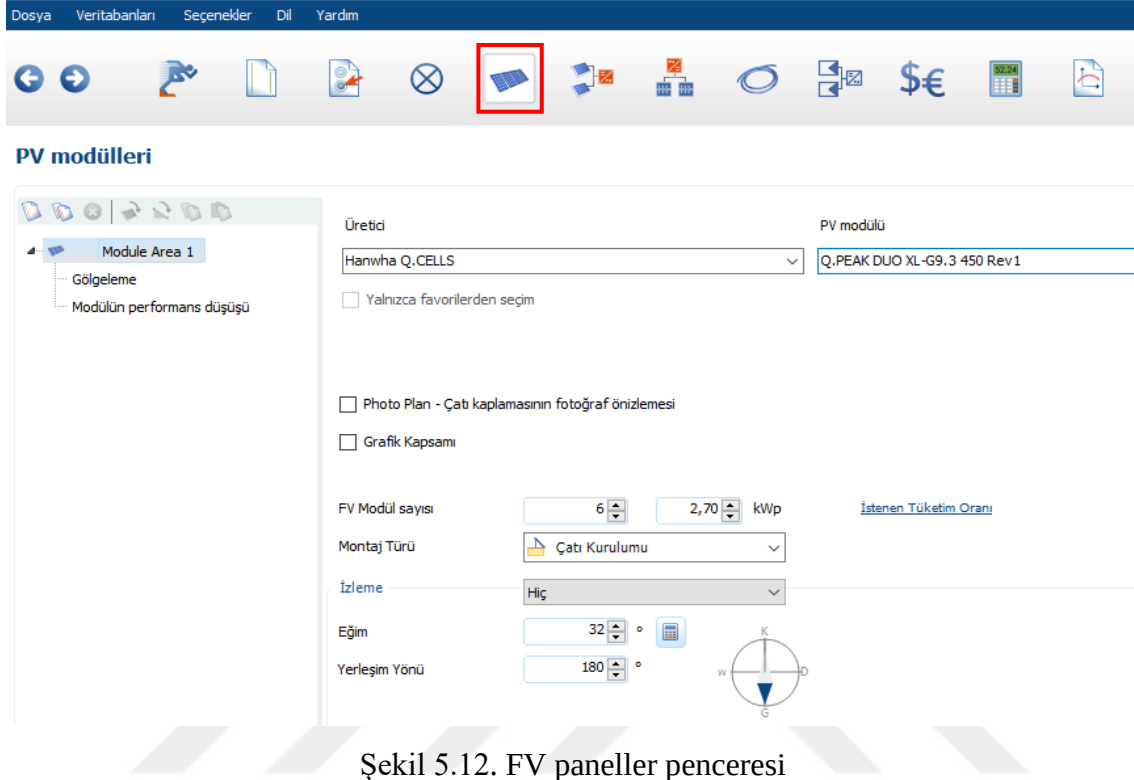
Şekil 5.10. MeteoSyn harita tabanı üzerinden yeni konumun koordinatları

Tüketim penceresi: Bu pencerede enerji tüketiminin günlük, aylık veya yıllık veri profili oluşturulmaktadır. Şekil 5.11'de tüketim penceresi gösterilmektedir.



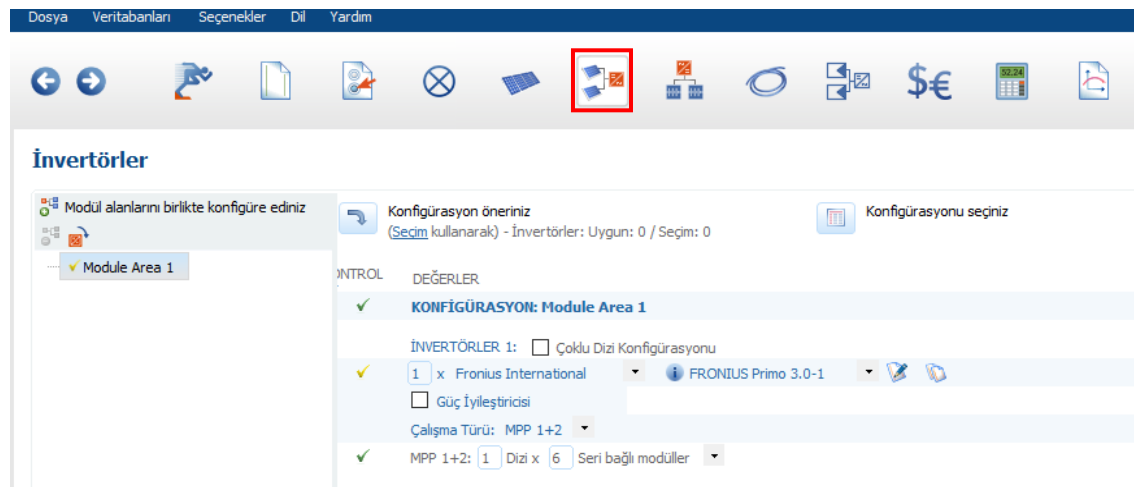
Şekil 5.11. Tüketim penceresi

FV paneller penceresi: Bu pencere tasarlanacak sistem için FV panel ve sayısı, montaj türü, güneş takip sistemi olup olmadığı, eğim açısı ve yerleşim yönü gibi farklı seçenekleri bulundurmaktadır. FV paneller penceresi Şekil 5.12’de görülmektedir.



Şekil 5.12. FV paneller penceresi

Eviriciler penceresi: PV*SOL yazılımının bu bölümünde tasarlanacak FV sisteme uygun evirici seçilmektedir. Konfigürasyon kısmında evirici seçimi yapılarak otomatik olarak eviricinin uygun olup olmadığı gösterilmektedir. Şekil 5.13’de eviriciler penceresi görülmektedir.



Şekil 5.13. Eviriciler penceresi

Batarya sistemi penceresi: Depolamalı FV sistemler için bu pencerede sisteme uygun batarya türü ve batarya sayısı belirlenmektedir. Ayrıca batarya ve işlevselliği hakkında genel bilgiyi içermektedir. Batarya sistemi penceresi Şekil 5.14’de görülmektedir.

Akü sistemi

Akü Eviricili Akü Sistemi

Üretici: HOPPECKE Akü sistemi (Şebekeye bağlı): SMA Sunny Island 4.4M + sun / power: Akü Sistemi Sayısı: 1

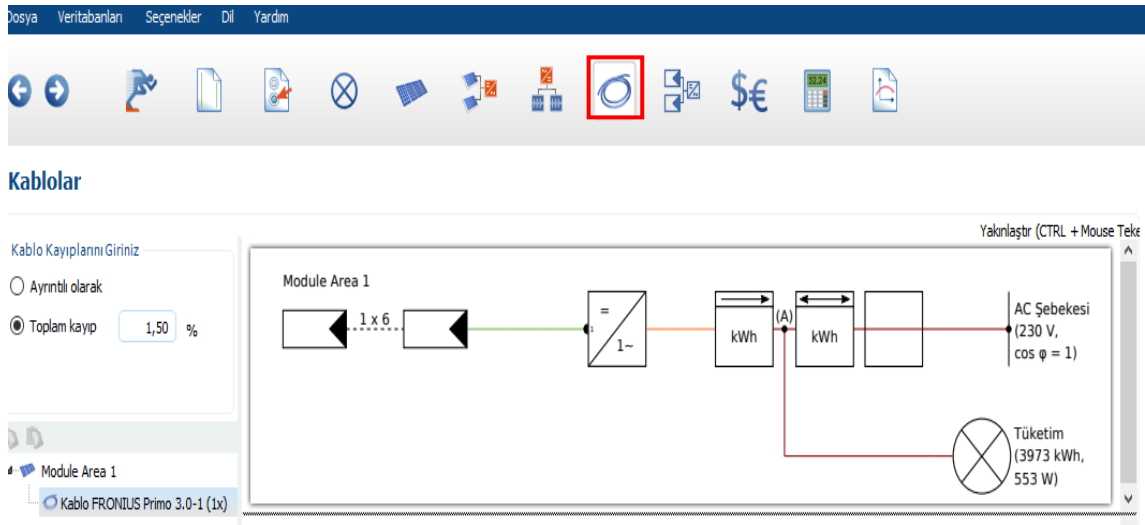
☐ Yalnızca favorilerden seçim

Akü Eviricisi	
Bağlantı Türü	AC kuplajı
Nominal Çıkış	3,6 kW
Şarj Gücü	3,6 kW
Deşarj gücü	3,6 kW
Minimum SOC	10 %
Maksimum SOC	100 %

Akü	
İsim	HOPPECKE, sun / powerpack premium
Nominal Gerilim	51,2 V
Tür	Lityum-Demir-Fosfat
Sayı aküler	1
Akü gerilimi	51,2 V
Akü Kapasitesi C10	98 Ah

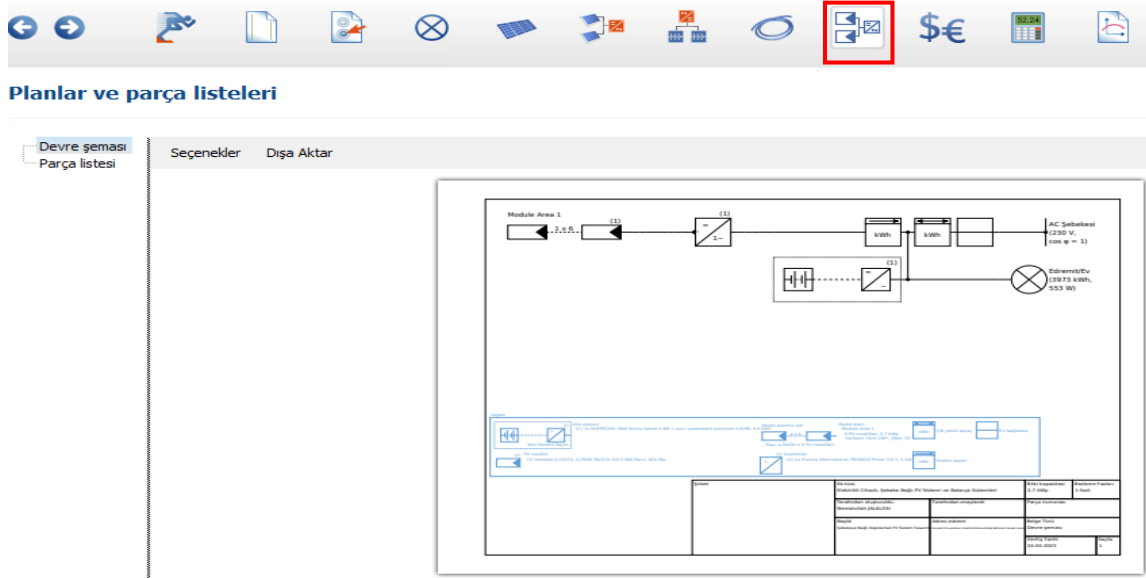
Şekil 5.14. Depolama sistemi penceresi

Kablo penceresi: Bu pencerede tasarlanan FV sistemin kablo bilgileri ve kayıpları girilmektedir. Kablo kayıpları bir değer şeklinde genel kayıp veya ayrıntılı bir şekilde girilip yazılım tarafından hesaplanabilmektedir. Şekil 5.15’de kablo penceresi gösterilmektedir.



Şekil 5.15. Kablo penceresi

Planlar ve parça listeleri penceresi: Bu pencerede FV sistemin şematik devre diyagramı ve panel yerleşiminin boyutlandırma değerleri gösterilmektedir. Veri girişi dışa aktarma yoluyla farklı formatlara aktarılabilir. Plana bağlı olarak dışa aktarma için farklı biçimleri (PDF, PNG, SVG) mevcuttur. Şekil 5.16’da FV sistemin devre diyagramı görülmektedir.

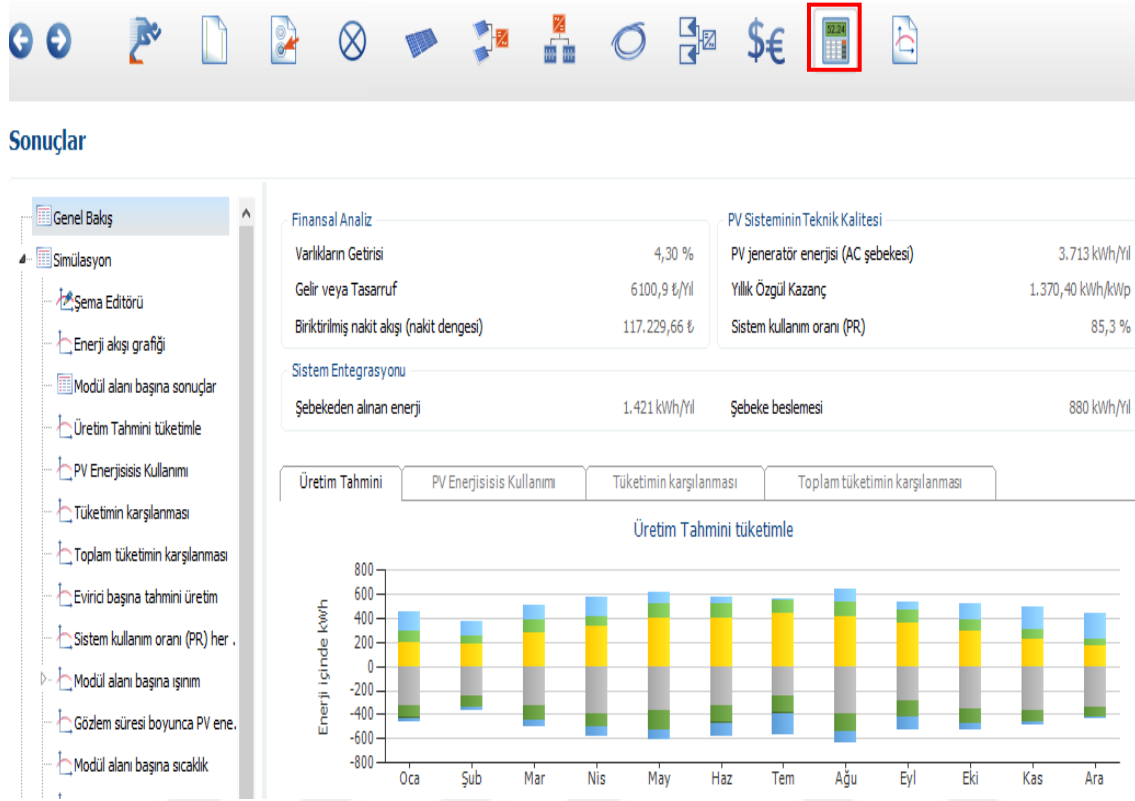


Şekil 5.16. FV sistemin devre diyagramı

Finansal analizi penceresi: Bu kısımda ekonomik analiz maliyetinin bilgileri, sistemin ömrü, faiz oranı, panel, evirici ve batarya fiyatları gösterilmektedir. Ayrıca kurulum, bakım ve kablo maliyet değerlerini de içermektedir. Şekil 5.17’de finansal analiz penceresi gösterilmektedir.

Şekil 5.17. Finansal analizi penceresi

Sonuç penceresi: Bu pencere yapılan simülasyonu çalıştırma ve sonuçlandırma görevi yapmaktadır. Şekil 5.18’de sonuç penceresi görülmektedir.



Şekil 5.18. Sonuç penceresi

Sunum penceresi: Müşteri teklifi için en önemli bilgileri ve sistem tasarımının belgelemesini içeren bir sunumdur. Bu pencerede analiz sonuçları Word, Excel veya pdf formatında dışa aktarılabilir.

5.4.2. PVsyst Yazılımı Kullanımı

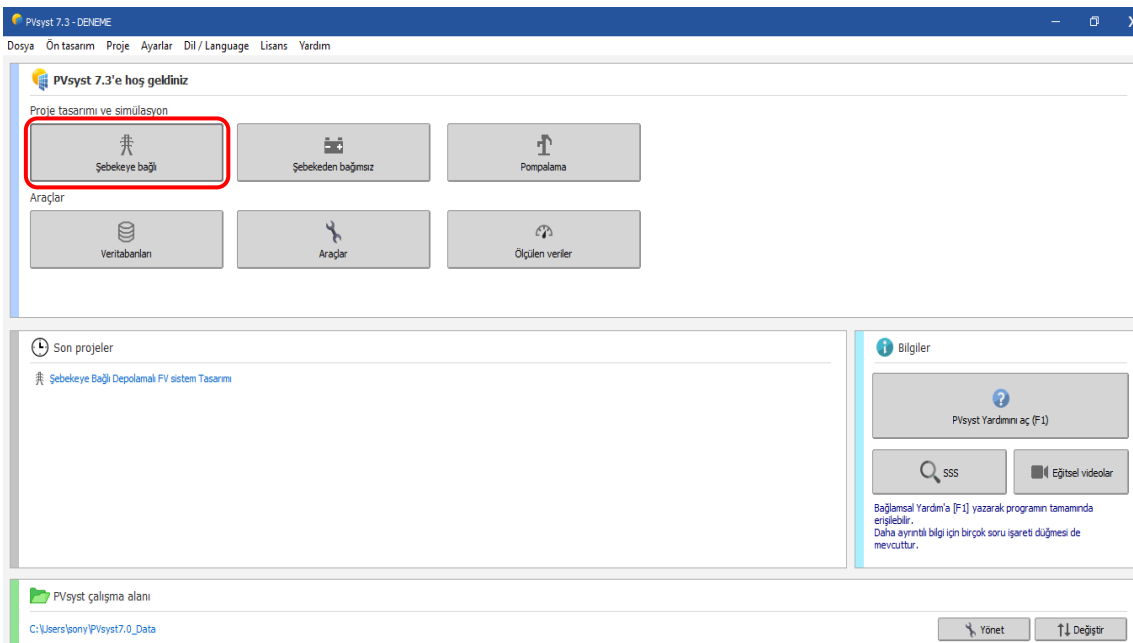
PVsyst enerji verimini tahmin etmenin yanı sıra FV sistemlerin incelenmesi, boyutlandırılması ve veri analizi için bir PC yazılım paketidir. Şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız ve su pompalama gibi farklı FV sistemleri simüle eder. Kapsamlı meteoroloji ve FV sistem bileşenleri veritabanlarının yanı sıra genel güneş enerjisi araçlarını içermektedir. PVsyst eksiksiz bir araç seti ile hassas bir FV sistemin çalışmasına odaklanmaktadır (Birkeland, 2018). PVsyst kullanıcıların güneş enerjisi sistemleri hakkında belirli verileri girmesine izin verip çeşitli koşullar altında bir enerji sisteminin performansını simüle edebilir. PVsyst programı açıldığında Şekil 5.19'da görüldüğü gibi ana ekrana girilir. Bu ana ekranda dört ana bölüme erişim sağlanır.

Proje tasarımı ve simülasyonu: Programın ana parçasıdır ve bir projenin tüm çalışması için kullanılır. Meteorolojik verilerin seçimini, sistem tasarımını, gölgeleme çalışmalarını, kayıpların belirlenmesini ve ekonomik değerlendirmeyi içerir.

Son projeler: Son projelerin hızlı bir şekilde bulunmasını ve değiştirilmesini sağlar.

Dokümantasyon: PDF eğitimleri, eğitsel videolar ve bir SSS yardımıyla farklı simülasyonların uygulamalarına yardımcı olur.

Pvsyst kullanıcısı çalışma alanı: kullanıcı tarafından oluşturulan tüm verileri içerir.

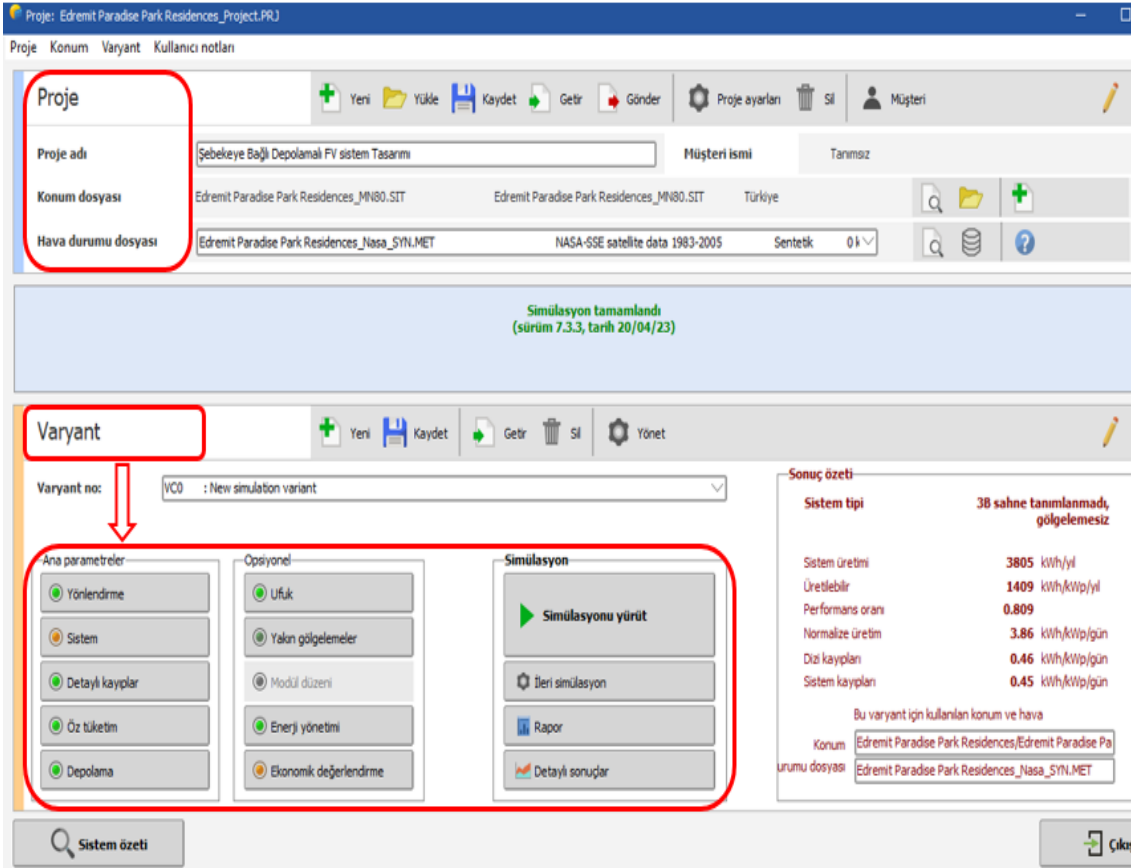


Şekil 5.19. PVsyst 7.3 arayüzü

Tasarım mühendisleri için veri analizi, benzetim ve boyutlandırma için oldukça faydalı araçları içeren bir programdır. En yeni PVsyst Sürümü olan 7.3 İngilizce, Çince, Fransızca, Japonca, Almanca, Korece, İspanyolca, Portekizce, Türkçe ve İtalyanca gibi birçok dilde arayüzünü kullandırma imkânı sağlamaktadır (Köprü, 2016).

PVsyst 7.3 sürümünün giriş ekranı iki ana başlıktan oluşur. Projelendirme ve simülasyon başlık altında şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız ve su pompalama seçim olanakları mevcuttur. Ayrıca Araçlar başlığı altında veritabanları, araçlar ve ölçülen veriler gibi seçenekler sunulmaktadır. Programın ön panel görüntüsü Şekil 5.19'da gösterilmiştir. Panel üzerinden proje başlığı altında projenin adı, tesisin konumu ve tesisin konumuna bağlı iklim verileri girilmektedir. Ayrıca ana parametreler kısmında yön, eğim açısı,

güneş paneli ve evirici tipinin seçimi, DC giriş gücü ve bağlantı şekli gibi veriler girilerek tesise ait AC çıkış gücünün günlük, aylık ve yıllık raporları alınır. Raporlar W, kW yada MW olarak farklı birim güçlere bağlı alınır. Rapor sonuçları isteğe bağlı tablo veya grafik şeklinde program çıktısı olarak da sunulmaktadır (Atılım, 2019). Bu çalışmada şebeke bağlantılı FV sistem ele alındığı için "şebekeye bağlı" seçeneği seçildiğinde Şekil 5.20'de görüldüğü üzere proje yönetim panosu açılmaktadır.



Şekil 5.20. PVsyst 7.3 programının ön panel görüntüsü

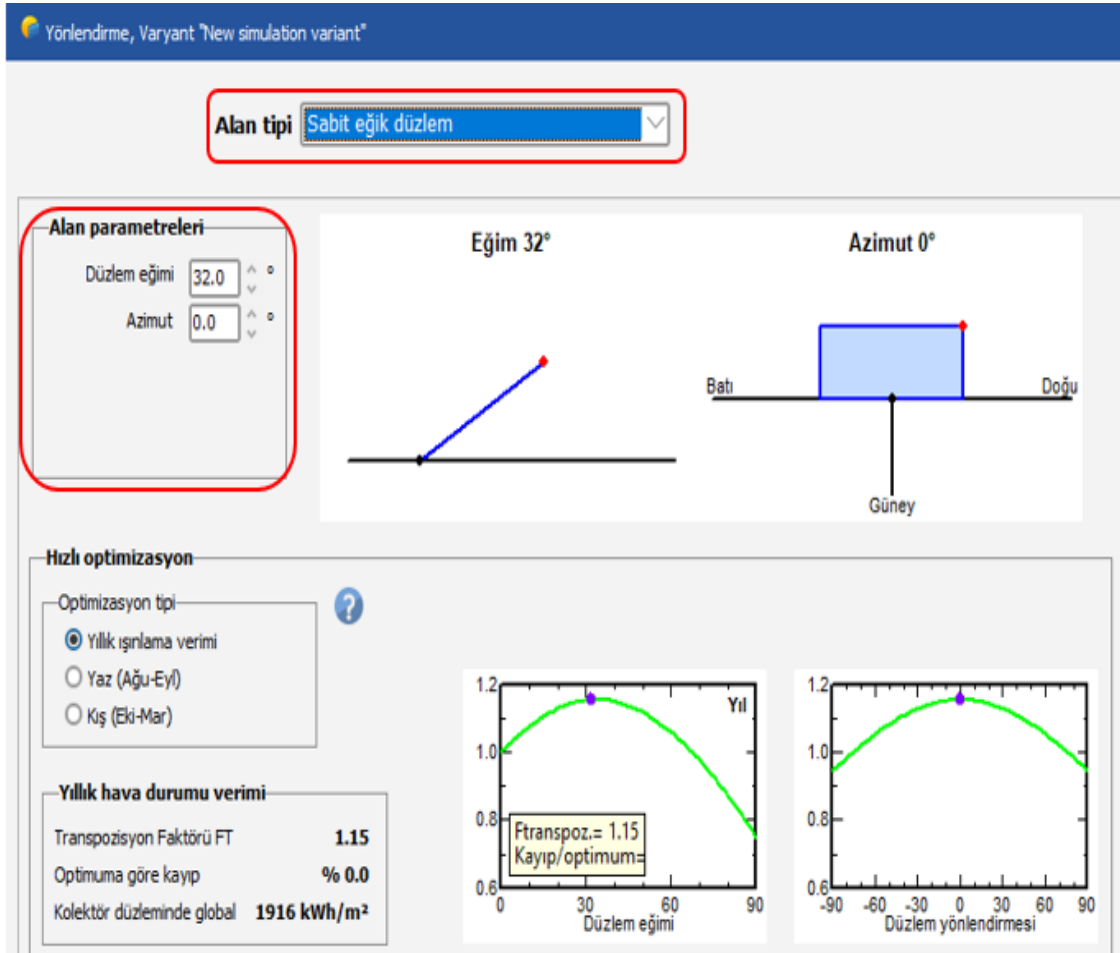
Bu panonun iki bölümden oluşmaktadır:

Proje: Projenin adını, sistemin coğrafi konumunu, meteorolojik verileri içeren bir dosya referansını ve Albedo tanımı gibi bazı genel parametreleri ve boyutlandırma koşullarını içerir. Burada coğrafi konum ve meteorolojik veriler belirtilerek proje oluşturulur. Saha ve projenin meteorolojik girdisi tanımlandıktan sonra değişkeni oluşturmaya geçilir.

Değişken: Sistemin bir simülasyon hesaplamasıyla sonuçlanacak tüm ayrıntılı tanımlarını içeren bölümdür. Bu tanımlar güneş panellerinin ve eviricilerin seçimini ve sayısını, geometrik düzeni ve olası gölgelemeleri, elektrik bağlantılarını, farklı ekonomik

senaryoları vb. içerir. FV panellerin yönü, gerekli güç veya kullanılabilir alan ve kullanılması istenilen FV paneller ve eviricilerin türü dahil olmak üzere temel bir sistem değişkeni tanımlanır. PVSyst bu seçim için temel bir konfigürasyon önermekte ve ilk hesaplama için gerekli olan tüm parametreler için makul varsayılan değerler belirlemektedir. Gölgelemeler, belirli kayıp parametreleri, ekonomik değerlendirme vb. gibi sistemin değişkenleri kademeli olarak tanımlanarak simülasyonu yapılır.

Oryantasyon tanımlama: Yönlendirme üzerine tıklandığında Şekil 5.21’de görüldüğü üzere kurulum için alan tipi, eğim ve azimut açıları için değerlerin sağlanması gereken oryantasyon iletişim kutusu görülmektedir.



Şekil 5.21. Yönlendirme penceresi

Sistem tanımlama: "Yönlendirme" penceresinde eğim açısı ve azimut açısı değerleri ayarlandıktan sonra "sistem" seçeneği üzerine tıklanarak yeni bir pencere açılmaktadır. Bu pencerede enerji ihtiyacına göre uygun güneş paneli ve evirici seçilmektedir. Şekil 5.22’de sistem bileşenlerini tanımlama penceresi gösterilmiştir.

Alt dizinin ismi ve yönü

İsim

PV Array

Yön

Sabit eğik düzlem

Eğim

32°

Azmut

0°

Ön boyutlandırma yardımı

Boyutlandırmasız

Planlanan gücü giriniz

2.7 kWp

Boyutlandır

... veya mevcut alan(modül)

13 m²

PV modül seçimi

Mevcut

Filtre

Tüm PV modüller

Gereken tahmini modül sayısı

6

Hanwha Q Cells

450 Wp 37V

Si-mono

Q Peak Duo-XL-G9.3-450

2020 yılından beri

Datasheets 2020

Optimizer kullan

Gerilim boyutlama : Vmpp (60°C)

38.8 V

Voc (-10°C)

58.4 V

İnvertör seçimi

Mevcut

Çıkış gerilimi 230 V Mono 50Hz

50 Hz

60 Hz

Fronius International

3.0 kW

80 - 800 V

TL

50/60Hz

Primo 3.0-1

2015 yılından beri

İnvertör sayısı

1

Çalışma gerilimi:

80-800 V

İnvertör global gücü

3.0 kWac

Multi-MPPT kullanımı

Maksimum giriş gerilimi:

1000 V

2 MPPT ile invertör

İnvertörde güç paylaşımı

Dizi boyutlandırması

Modül ve zincir sayısı

Seri mod. sayısı

6

3 ile 17 arasında

Zincir sayısı

1

tek olanak 1

Aşın yük kaybı

0.0 %

Nom. güç oranı

0.90

Panel sayısı

6

Yüzey

13 m²

İşletme koşulları

Vmpp (60°C)

233 V

Vmpp (20°C)

271 V

Voc (-10°C)

351 V

Yüzey ısıranı

1000 W/m²

İmp (STC)

10.2 A

Isc (STC)

10.7 A

Isc (STC'de)

10.7 A

İnvertör gücü hafifçe yüksek.

Veri maks

STC

Maksimum işletme gücü

2.6 kW

(1048 W/m² için ve 50°C)

Alan nominal gücü (STC)

2.7 kWp

Global sistem özeti

Panel sayısı

6

Panel yüzeyi

13 m²

İnvertör sayısı

1

PV nominal gücü

2.7 kWp

Nominal AC gücü

3.0 kWac

Nom. güç oranı

0.900

Şekil 5.22. Sistem bileşenlerini tanımlama penceresi

Panel tipi ve evirici tanımlandıktan sonra sırasıyla sistem kayıpları, öz tüketim, depolama, ufuk, gölgelemeler ve ekonomik değerlendirme analizleri yapıldıktan sonra proje simülasyonu hazır olacaktır. Şekil 5.23'de sistem parametreleri analiz penceresi görülmektedir.

Proje

Yeni

Yükle

Kaydet

Getir

Gönder

Proje ayarları

Sil

İkisi

Proje adı

Şebekeye Bağlı Depolamalı FV sistem Tasarımı

Hüsteri ismi

Tanısız

Konum dosyası

Edremit Paradise Park Residences_MN80.SIT

Edremit Paradise Park Residences_MN80.SIT

Türkiye

Hava durumu dosyası

Edremit Paradise Park Residences_Nasa_51YIL.MET

NASA-SSE satellite data 1983-2005

Sentetik

01

Simülasyon tamamlandı

(sürüm 7.3.3, tarih 20/04/23)

Varyant

Yeni

Kaydet

Getir

Sil

Yönet

Varyant no:

VC0 : New simulation variant

Ana parametreler

Yönlendirme

Sistem

Detaylı kayıplar

Öz tüketim

Depolama

Opsiyonel

Ufuk

Yakın gölgelemeler

Modül düzeni

Enerji yönetimi

Ekonomik değerlendirme

Simülasyon

Simülasyonu yürüt

İleri simülasyon

Rapor

Detaylı sonuçlar

Sonuç özeti

Sistem tipi

Sistem üretimi

Üretilebilir

Performans oranı

Normalize üretim

Dizi kayıpları

Sistem kayıpları

Şekil 5.23. Sistem parametreleri analiz penceresi

5.5. PV*SOL Simülasyon Sonuçları

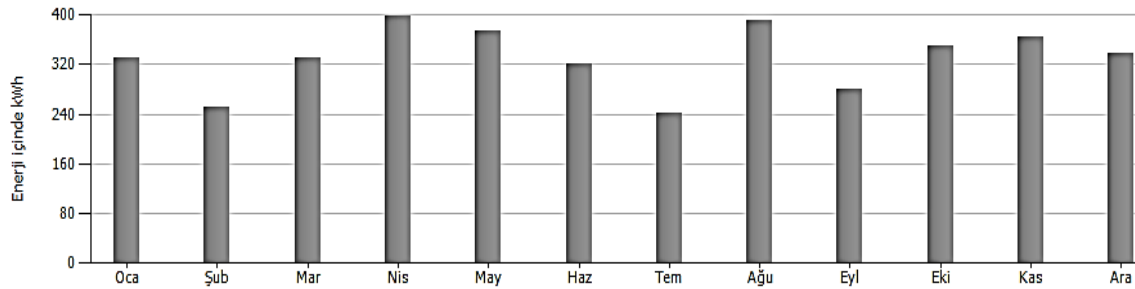
Bu çalışmada tasarlanan sistemin hem PV*SOL hemde PVsyst programları simülasyonunda aynı FV panel, evirici ve batarya tipleri kullanılmıştır.

5.5.1. Sistem Türü, İklim ve Şebeke Verilerinin Tanımlanması

Sistem türü olarak batarya sistemini içeren şebekeye bağlı tek fazlı FV sistem seçilmiştir. PV*SOL yazılımı içinde sağlanan iklim verileri, meteoSyn veritabanına dayanmaktadır. Edremit ilçesi Cennetpark sitesine bağlı (1991-2010) iklim verileri MeteoSyn veritabanı aracılığıyla sağlanmış olup küresel yatay ışınlamaların yıllık toplamı 1.470 kWh/m^2 olarak hesaplanmıştır.

5.5.2. Tüketim Verilerinin Tanımlanması

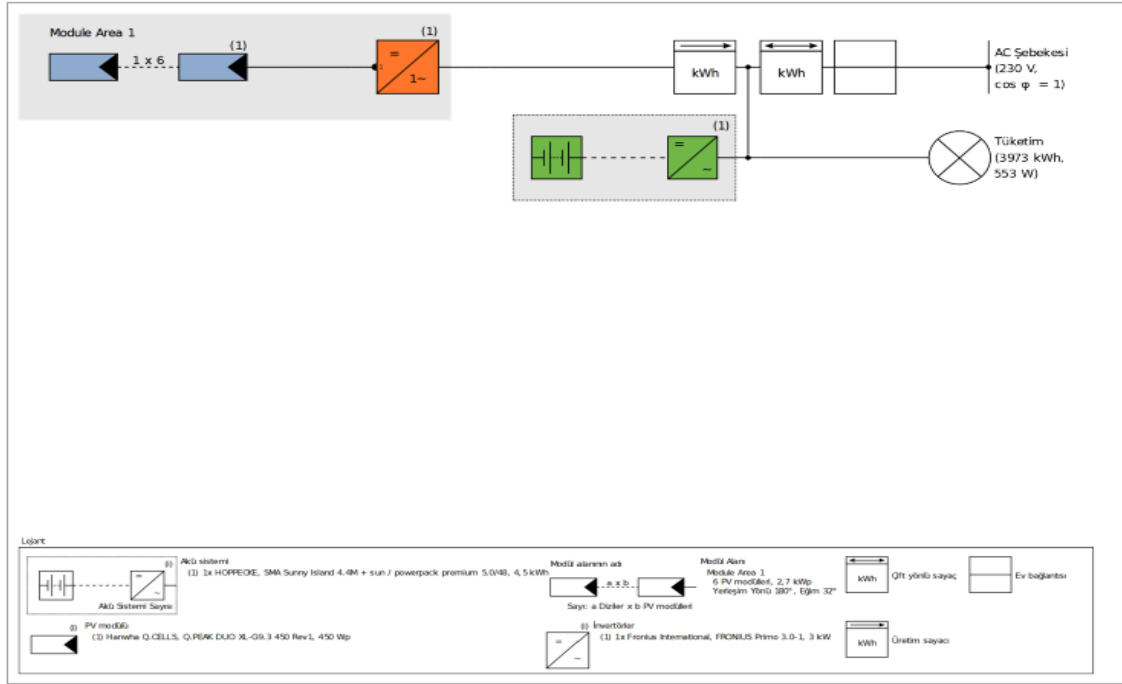
Konutun 2017 yılı elektrik Tüketimi 3.973 kWh 'tir. PV*SOL programı, yıllık toplam enerji tüketim miktarını aylara göre dağıtmıştır. Şekil 5.24'de bu tez kapsamında ele alınan konutun Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. (UEDAŞ)'den temin edilen 2017 yılına ait aylık elektrik tüketim verileri gösterilmektedir. PV*SOL yazılımının oluşturduğu aylık dağılım grafiğine göre en yüksek enerji tüketim miktarı 398 kWh olup Nisan ayında görülmektedir. En düşük enerji tüketim miktarı ise 241 kWh olup Temmuz ayında görülmektedir.



Şekil 5.24. Konutun 2017 yılı yıllık enerji tüketiminin aylara göre dağılımı

5.5.3. Güneş Panelinin Tanımlanması

Hanwha Q.CELLS üretici firmasının 6 adet Q.PEAK DUO XL-G9.3 450 güneş paneli seçilmiştir. PV*SOL programı, tasarladığı sistemin FV jeneratör çıkışını $2,7 \text{ kWp}$, kapsadığı alanı $13,4 \text{ m}^2$, eğim açısını 32° ve yerleşim yönünü güneşe 180° olarak hesaplamıştır. Tasarlanmış sistemin şematik diyagramı Şekil 5.25'de gösterilmektedir.



Şekil 5.25. Tasarlanan sistemin şematik diyagramı

Tablo 5.2’de Q.PEAK DUO XL-G9.3 450 güneş paneli karakteristik özellikleri verilmiştir.

Tablo 5.2. Q.PEAK DUO XL-G9.3 450 FV panelin karakteristik özellikleri

Üretici Firma	Hanwha Q.CELLS
Panel modeli	Q.PEAK DUO XL-G9.3 450
Hücre tipi ve hücre sayısı	Monokristalli Si, 156
Boyutlar (Boy x En), Ağırlık	2,163 x 1,030 (m), 25,5 kg
MPP Gerilimi	44,34 V
MPP Akımı	10,15 A
Nominal Çıkış	450 W
Verim	20,2 %
Açık Devre Gerilimi	53,18 V
Kısa Devre Akımı	10,65 A
Doluluk Faktörü	79,46 %
Gerilim Katsayısı	-143,5 mV/K
Akım katsayısı	4,3 mA/K
Çıkış katsayısı	%(-0,35)/K

5.5.4. Eviricinin Tanımlanması

Evirici konfigürasyonu seçiminde en uygunu Fronius International üretici firmasının bir adet FRONIUS Primo 3.0-1 modeli seçilmiştir. FRONIUS Primo 3.0-1 eviricinin karakteristik özellikleri Tablo 5.3’de gösterilmiştir.

Tablo 5.3. FRONIUS Primo 3.0-1 eviricinin karakteristik özellikleri

Üretici Firma	Fronius International
Evirici modeli	FRONIUS Primo 3.0-1
Maksimum giriş akımı	36 A
Maksimum giriş gerilimi	1000 V
Nominal giriş gerilimi	700 V
DC giriş sayısı	4
Nominal DC çıkışı	3,07 kW
Nominal AC güç	3 kW
Maksimum DC gücü	3,3 kW
Maksimum AC gücü	3 KVA
Nominal güç oranı (DC:AC)	0.90
Maksimum verimliliği	%98
MPP İzleyici	
MPP izleyici sayısı	2
Maksimum giriş akımı	18 A
Maksimum giriş gücü	3,08 kW
Maks. ve min. MPP gerilimleri	80-800 V

5.5.5. Depolama Sisteminin Tanımlanması

Tasarlanmış bu FV sistem için HOPPECKE üretici firmasının sun/powerpack premium 5.0/48 batarya modeli seçilmiştir. HOPPECKE Powerpack Premium, daha uzun hizmet ömrü için tasarlanmış yenilikçi bir çözümdür. Bu lityum-iyon bataryalar kurşun bataryalara göre çok daha yüksek bir döngü hizmet ömrü sunmaktadır. Powerpack premium, çalıştırma ve kurulum sırasında en yüksek güvenliği garanti eden HOPPECKE tarafından özel olarak geliştirilmiş ve kanıtlanmış bir batarya yönetim sistemi içerir

(URL-2). Tablo 5.4’de sun/powerpack premium 5.0/48 bataryanın karakteristik özellikleri verilmiştir.

Tablo 5.4. Sun/powerpack premium 5.0/48 batarya özellikleri

Üretici firma	HOPPECKE
Batarya modeli	sun/powerpack premium 5.0/48
Nominal çıkış	3,6 kW
Maks. şarj gücü	3,6 kW
Maks. deşarj gücü	3,6 kW
Kapasite	98 Ah
Bataryanın DC gerilimi	51,2 V
Boyutlar (boy x en x yükseklik), ağırlık	35 x 50 x 60 (cm), 85 kg
Batarya tipi	Lityum-Demir-Fosfat (Lityum-İyon)

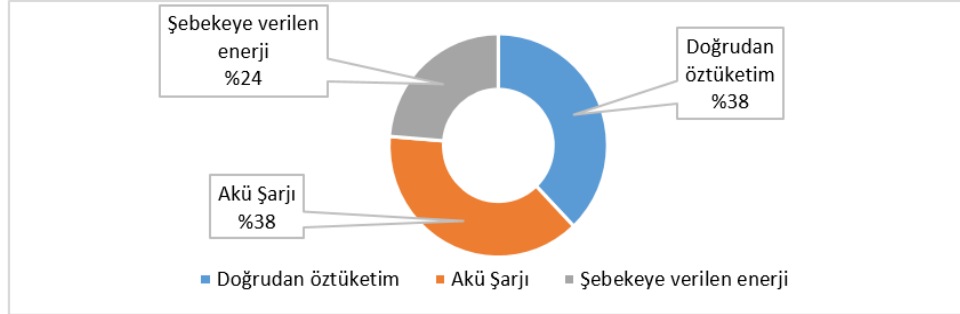
5.5.6. FV Sistem Simülasyon Sonuçları

Gerçekleştirilmiş şebekeye bağlı depolamalı FV sistemin simülasyon sonuçları Tablo 5.5’de gösterilmektedir.

Tablo 5.5. FV sistemin simülasyon sonuçları

FV jeneratör çıkışı	2,7 kWp
Sistem performansı	% 85,3
FV jeneratörün ürettiği enerji	3.713 kWh/yıl
Doğrudan öz tüketim	1.406 kWh/yıl
Batarya şarjı	1.426 kWh/yıl
Şebekeye verilen enerji	880 kWh/yıl
Önlenen CO ₂ emisyonu	1.611 kg/yıl
Global yatay ışınlama	1.470 kWh/m ²

Ayrıca üretilen enerjinin yüzdesi olarak gösterimi Şekil 5.26’da görülmektedir. Görüldüğü üzere üretilen enerjinin %24’ü şebekeye verilmişken, %38’i doğrudan kullanılmış olup %38’i bataryada depolanmıştır.



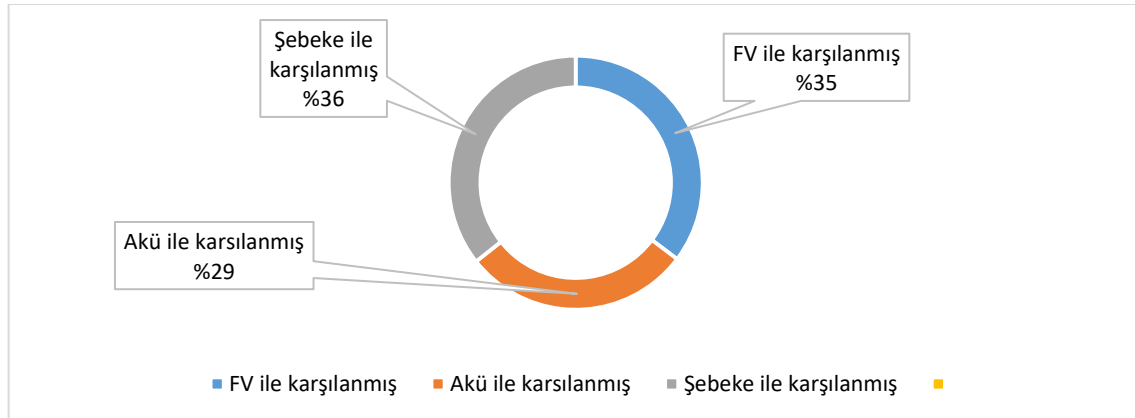
Şekil 5.26. FV jeneratör enerjisi

5.5.7. Tüketici Simülasyon Sonuçları

Tablo 5.6’da tüketicinin FV jeneratör, batarya ve şebekeden karşılanmış toplam tüketim verileri gösterilmektedir.

Tablo 5.6. Tüketicinin toplam tüketim verileri

Tüketici	3.973 kWh/yıl
Bekleme konumundaki tüketim (evirici)	13 kWh/yıl
Toplam tüketim	3.986 kWh/yıl
FV sistem ile karşılanmış	1.406 kWh/yıl
Batarya ile karşılanmış	1.159 kWh/yıl
Şebeke ile karşılanmış	1.421 kWh/yıl



Şekil 5.27. Tüketicinin toplam tüketim miktarı

Tüketicinin tüketim miktarının yüzde olarak gösterimi Şekil 5.27’de görülmektedir. Görüldüğü üzere tüketicinin %36’ı şebeke ile karşılanmışken, %35’i doğrudan FV modüllerden karşılanmış olup %29’u batarya ile sağlanmıştır.

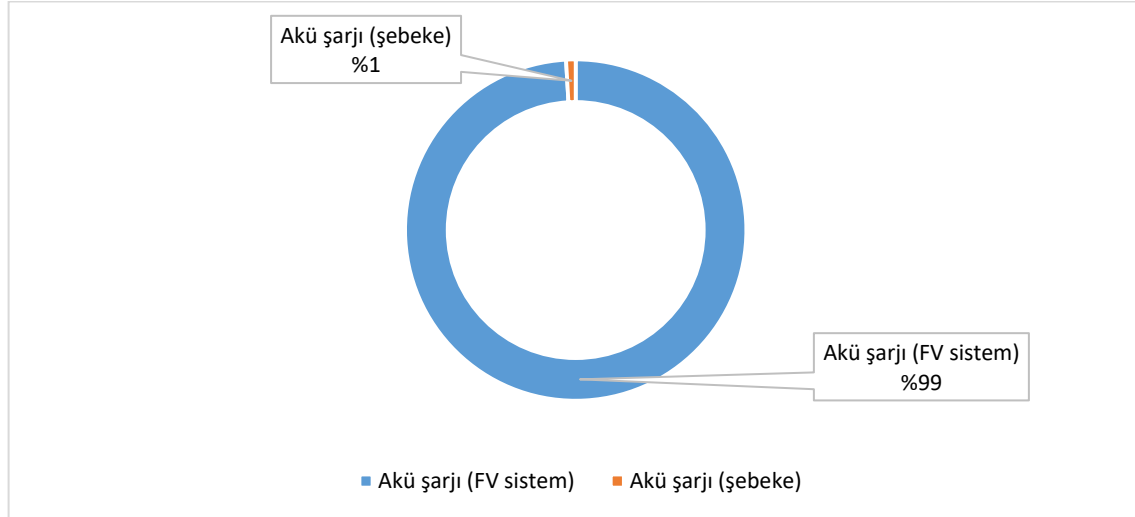
5.5.8. Depolama Sisteminin Simülasyon Sonuçları

Tablo 5.7’de görüldüğü üzere batarya yılda toplam 1.439 kWh enerjiyi depolamıştır. Depolanan enerjinin 1.426 kWh’ı FV panellerden ve 13 kWh şebekeden alınmıştır.

Tablo 5.7. Batarya şarjı ile ilgili veriler

Batarya şarjı (Toplam)	1.439 kWh/yıl
Batarya şarjı (FV sistem)	1.426 kWh/yıl
Batarya şarjı (Şebeke)	13 kWh/yıl
Şarj/Deşarj nedeniyle kayıplar	263 kWh/yıl
Batarya kayıpları	9 kWh/yıl
Batarya ömrü	19 yıl

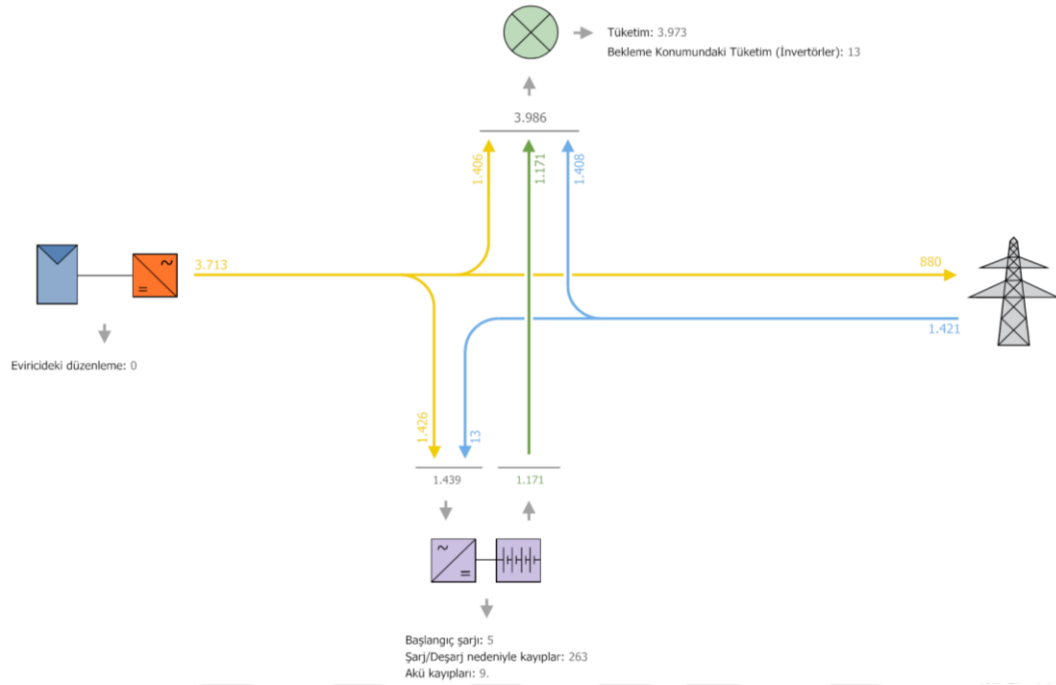
Batarya şarjının yüzdesel olarak gösterimi Şekil 5.28’de görülmektedir. Görüldüğü gibi bataryanın %99’u FV sistem ve %1’i şebeke ile şarj edilmiştir.



Şekil 5.28. Toplam batarya şarjı

Şekil 5.29’da görüldüğü üzere FV jeneratör yıllık 3.713 kWh enerjiyi üretmiştir. Bu üretilen enerjinin 1.406 kWh/yıl miktarı doğrudan tüketiciye aktarılmışken, 880 kWh/yıl şebekeye verilmiştir. Ayrıca FV jeneratörün ürettiği 1.426 kWh/yıl enerji bataryada

depolanmıştır. Aynı şekilde 1.421 kWh/yıl enerji miktarı şebekeden alınmış olup 1.408 kWh/yıl doğrudan tüketiciye ve 13 kWh/yıl bataryada depolanmıştır.



Şekil 5.29. Enerji akışı grafiği

Aylık bazda tüketicinin FV sistem, şebeke ve batarya ile karşılandığı enerji miktarı Tablo 5.8’de verilmiştir.

Tablo 5.8. Aylık bazda tüketimin karşılandığı enerji miktarı

Aylar	Tüketici (kWh)	Evirici tüketim (kWh)	FV ile karşılanmış (kWh)	Şebeke ile karşılanmış (kWh)	Batarya ile karşılanmış (kWh)
Ocak	331	1,2	80,8	168,6	82,8
Şubat	250	1,1	70,4	112,7	67,9
Mart	331	1,1	113,3	120,6	98,2
Nisan	398	1	151	160,1	88
Mayıs	373	1,1	160,4	90,7	122,9
Haziran	322	1,1	147,5	58,2	117,3
Temmuz	242	1,1	115,2	11,4	116,5
Ağustos	392	1,1	169,1	101,9	122,1
Eylül	281	0,9	113,3	59,9	108,7
Ekim	350	1,1	115,8	134,6	100,6
Kasım	364	1,1	94,6	188,4	82,1
Aralık	339	1,2	75,1	201,2	63,9
Toplam	3.973	13,1	1.406,5	1.408,3	1.171

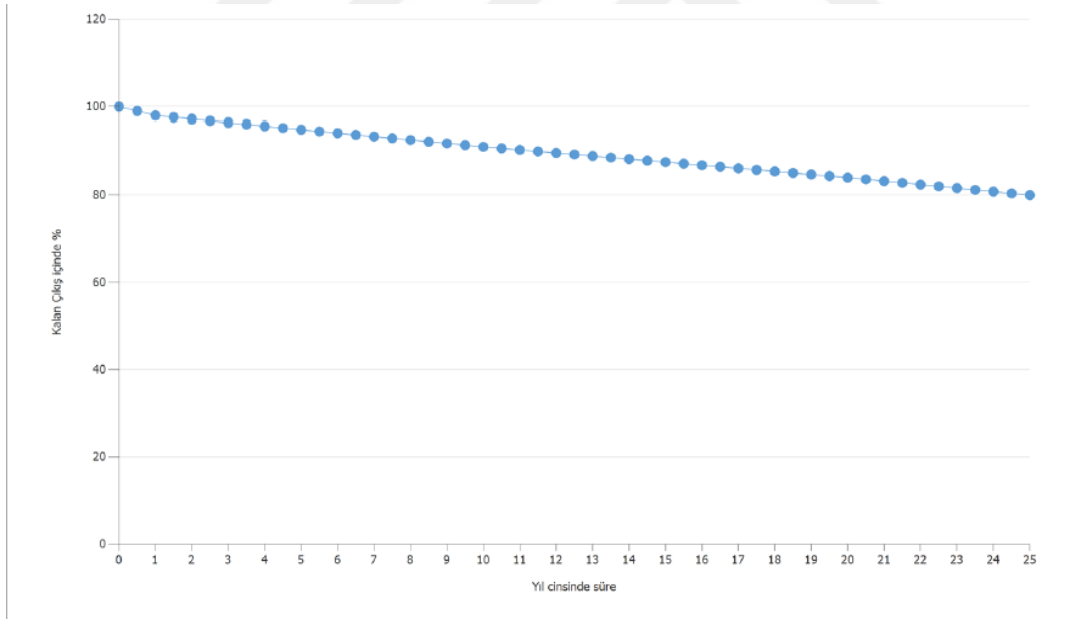
5.5.9. Panel Yaşlanma Verileri

Panellerin ürettiği enerji birçok faktörden etkilendiği için %100 verimle elde edilememektedir. Güneş panellerinin verimliliği çevresel kayıplar, sistem kayıpları, eğim ve yön kayıpları, panel kayıpları ve termal kayıplar gibi birçok kayba bağlıdır (Köprü, 2016). Panelin yaşlanma verileri Tablo 5.9’da gösterilmiştir.

Tablo 5.9. Panelin yaşlanma verileri

1 yıl sonraki güç çıkışı	%98
10 yıl sonraki güç çıkışı	%91
20 yıl sonraki güç çıkışı	%84
25 yıl sonraki güç çıkışı	%80

Güneş panellerinin ürettiği enerjinin mümkün olduğunca az kayıpla elde edilmesi ve bu kayıplara neden olan faktörlerin ortadan kaldırılması gerekir. Ayrıca Şekil 5.30’da modülün grafiksel performans verileri gösterilmektedir.



Şekil 5.30. Panelin performans verileri

5.5.10. Finansal Analiz Sonuçları

Finansal analiz, tasarlanan FV sistemin gerçekleştirilmesi için gerekli yatırımın belirlenmesine yardımcı olur. Kurulum maliyeti, üretim değeri, işletme ve bakım maliyeti, yatırımın geri dönüşü ve amortisman süresi gibi bilgiler finansal analiz ile elde

edilmektedir. Finansal analiz, güneş enerjisi sistemine yatırım yapıp yapmama konusunda karar vermede yardımcı olur. PV*SOL yazılımı, bir FV sistemin mali yönlerini analiz etmek için kullanılabilir. Finansal parametreler yazılıma girilir. Diğer parametreler arasında enerji dengesi ve konsept dahilinde besleme, üçüncü bir tarafa satılan elektriğin fiyatı, net ölçüm tarifeleri ve enerji fiyatı için enflasyon oranı yer alır. Bu çalışma için tasarlanan FV sistem simülasyonu, 20 yılı kapsayan mali analizleri içermektedir.

Bu çalışmada tasarlanan sistemin ekonomik analizi için İstanbul ili Pendik ilçesinde hizmet veren İpekler Elektrik Enerji Firması ile görüşülmüştür. Tablo 5.10'da görüldüğü üzere İpekler Elektrik Enerji Firmasından kWp başına fiyat alınmıştır. FV jeneratörün çıkış gücü 2,7 kWp ve depolamalı sistem olduğu için kWp başına düşen fiyat 3.000 \$ olarak alınmış olup finansal analiz gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5.10. Sistemin kWp başına düşen maliyet verisi

kWh aralığı	Depolamasız sistemin kWh başındaki fiyatı	Depolamalı sistemin kWh başındaki fiyatı
0-5 kWp	1.500 \$	3.000 \$
5-10 kWp	1.250 \$	2.500 \$
10-30 kWp	1.000 \$	2.000 \$

Tablo 5.11. Sistemin ekonomik parametreleri

Sistemin devreye alınması	13.04.2023
Elektrik Tarife geçerliliği	13.04.2023 - 12.04.2048
Değerlendirme dönemi	20 yıl
FV jeneratör çıkışı	2,7 kWp
Tanımlanan yatırım giderleri	59.430 ₺/kWp
Toplam yatırım maliyeti	160.461,00 ₺
Anaparaya uygulanan faiz	%0
Yıllık giderler	0 ₺/yıl
Amortisman süresi	15,4 yıl
Enerji fiyatı için enflasyon oranı	%8/yıl

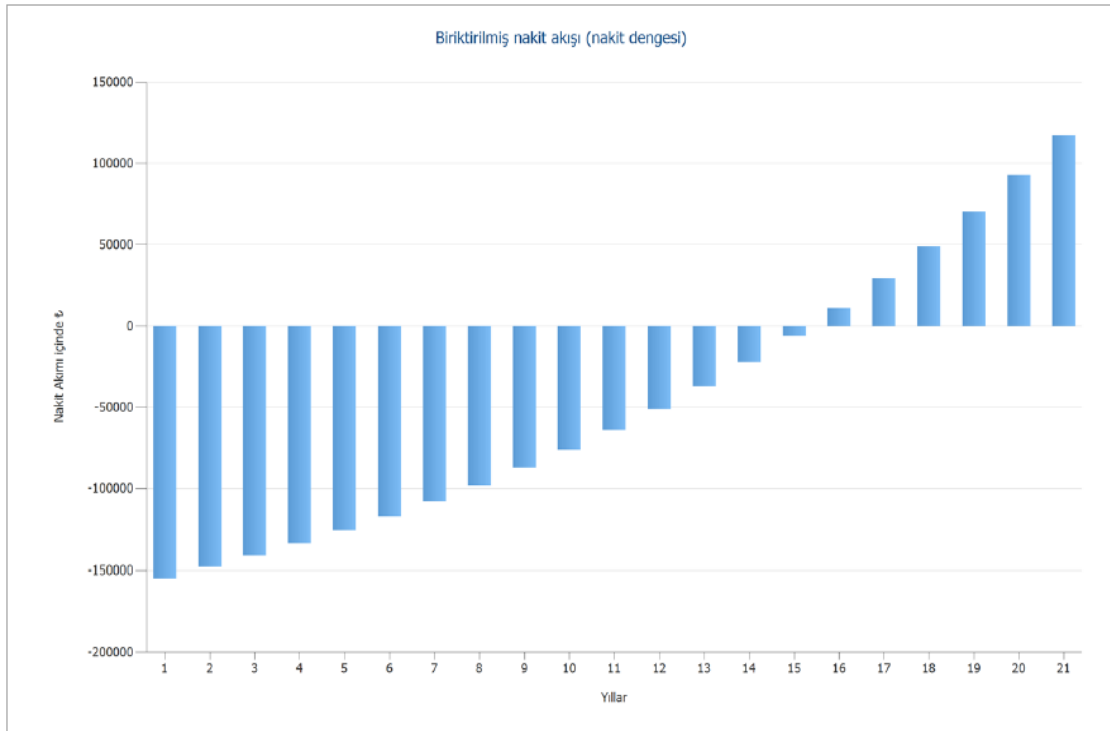
Finansal analiz için 13.04.2023 tarihinde 1 ABD dolarının kur değeri 19,81 Türk Lirası olup hesaplamaya katılmıştır. Tablo 5.11’de sistemin ekonomik parametreleri gösterilmektedir. FV sistem küçük güçlü olduğundan yıllık bakım ve işletme maliyetleri ihmal edilmiştir.

Finansal analizde T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından onaylanan ve 1 Nisan 2023 tarihinden itibaren uygulanacak tarife değerleri uygulanmıştır. Tablo 5.12’de EPDK 2023/2 Konut şebeke tarifesı verilmiştir. Mesken (8 kWh/gün) üstü olduğu için tarife 1,987 ₺/kWh olarak uygulanmıştır.

Tablo 5.12. EPDK 2023/2 Konut şebeke tarifesı

Enerji fiyatı	1,987 ₺/kWh
Özel besleme ücreti	1,2085 ₺/kWh

FV sistemlerin ortalama geri ödeme süresi 7-10 yıldır. Ancak güneş enerjisi maliyetlerine, elektrik tarifesine ve mevcut teşviklere bağlı olarak değişebilir. Bu çalışmada tasarlanan sistem depolamalı (batarya) olduğu için ilk yatırım maliyeti yüksek olmaktadır. Bu nedenle geri ödeme süresi 15,4 yıl olarak ortaya çıkmaktadır. Şekil 5.31’de biriktirilmiş nakit akışı veya geri ödeme süresi görülmektedir.



Şekil 5.31. Biriktirilmiş nakit akış

5.6. PVsyst Simülasyon Sonuçları

PVsyst içinde sağlanan iklim verileri meteonorm, NASA-SE, PVGIS TMY, Solcast TMY, ve SloarAnywhere®TGY gibi farklı veritabanına sahiptir. Bahsi geçen konut için NASA SSE (1983-2005) uydu iklim verileri kullanılmıştır. PVsyst yazılımında coğrafi konum verileri PV*SOL'da girilen iklim verileri ile aynıdır. PVsyst yazılımında küresel ışınlamaların yıllık toplamı 1.533,4 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Zemin yansıtma katsayısı (Albedo) değeri her iki yazılımda 0.20 olarak alınmıştır. Aylık bazda kullanıcıya FV sistemin sağladığı enerji, şebekeye verilen enerji ve şebekeden gelen enerji miktarı verileri kWh olarak Tablo 5.13'de görülmektedir.

Tablo 5.13. Aylık bazda FV sistemin enerji verileri

Aylar	GlobHor Işınlama (kWh/m ²)	Dizi çıkışı (kWh)	Kullanıcı ihtiyacı (kWh)	Güneşten gelen (kWh)	Şebekeye verilen (kWh)	Şebekeden gelen (kWh)
Ocak	53.3	224.6	331.0	168.5	29.2	162.5
Şubat	66.6	243.0	250.0	151.3	62.1	98.7
Mart	112.5	352.8	331.0	210.4	105.7	120.6
Nisan	142.2	381.1	398.0	243.4	99.8	154.6
Mayıs	188.5	446.1	373.0	269.1	132.6	103.9
Haziran	211.8	469.8	322.0	254.1	170.4	67.9
Temmuz	221.0	495.5	242.0	223.9	222.1	18.1
Ağustos	192.2	476.0	392.0	280.6	153.3	111.4
Eylül	146.4	418.4	281.0	225.5	151.3	55.5
Ekim	95.8	319.3	350.0	208.0	76.9	142.0
Kasım	59.1	231.7	364.0	171.0	32.6	193.0
Aralık	44.0	187.3	339.0	145.2	16.9	193.8
Yıl	1533.5	4245.6	3973.0	2550.9	1253.1	1422.1

Tasarlanan sistemin genel sonuçları Tablo 5.14'de verilmiştir.

Tablo 5.14. PVsyst simülasyonu genel sonuçları

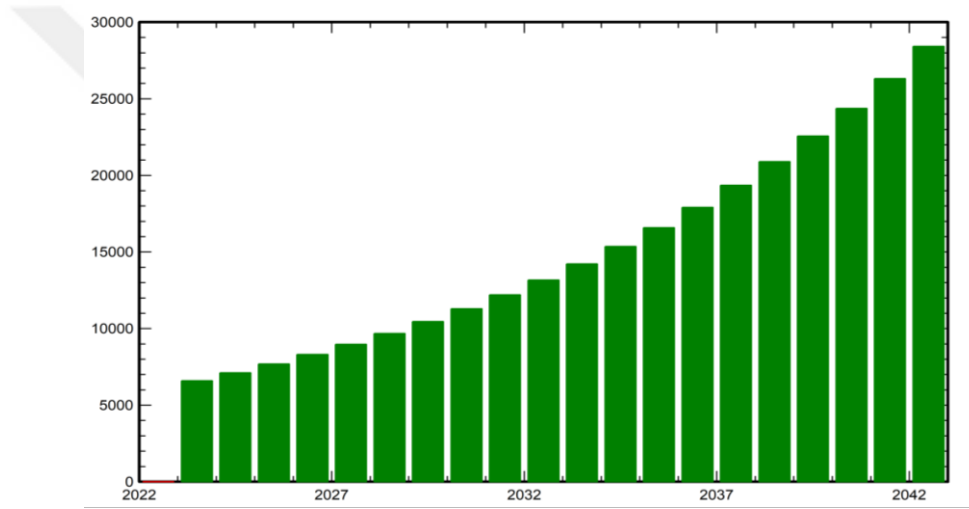
İhtiyaç duyulan enerji	3.973 kWh/yıl
FV sistemden üretilen enerji	3.805,18 kWh/yıl
Doğrudan öztüketim enerjisi	1.768,54 kWh/yıl
FV sistemden bataryaya giden enerji	783,46 kWh/yıl
Şebekeye verilen enerji	1.253 kWh/yıl
Şebekeden alınan enerji	1.421 kWh/yıl
Performans oranı	%80,9
Geri ödeme süresi	14,1 yıl

Sitemin yıllık diğer giderleri olmadığı için toplam yatırım maliyeti ile amortismanla toplam tabi maliyeti aynıdır. Sistemin toplam maliyeti ve kWh başına düşen maliyet miktarı Tablo 5.15’de verilmiştir.

Tablo 5.15. Sistemin toplam maliyeti

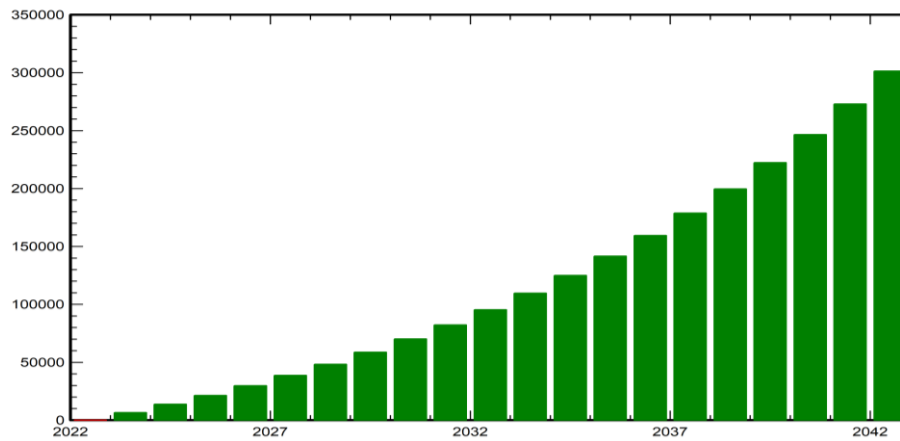
Toplam yatırım maliyeti	160.461 ₺
Amortismanla tabi toplam miktar	160.461 ₺
kWp başına maliyet	59.430 ₺/kWp

Ekonomik değerlendirme sonucunda elektrik tasarrufu ve şebekeye satılan enerjiden elde edilen yıllık net karı TL olarak Şekil 5.32’de görülmektedir.



Şekil 5. 32. Yıllık net kar

Ekonomik değerlendirmede ayrıca 20. yıla kadar biriktirilmiş toplam nakit akış TL olarak Şekil 5.33’de görülmektedir.



Şekil 5.33. Toplam birikmiş nakit akış

5.7. PV*SOL ile PVsyst Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Hem PV*SOL hem de PVsyst yazılımı fotovoltaik sistemlerin tasarımları için mükemmel yazılım programlarıdır. PV*SOL premium ile, yakındaki nesnelerden gelen gölgelemenin fotovoltaik performansı üzerindeki sonuçları doğru bir şekilde doğrulamak için 3B nesneleri konumlandırmak ve tahmin etmek mümkündür. PV*SOL ile birkaç panelli sistemlerden büyük ticari sistemlere ve 100.000 modüle kadar büyük güneş enerjisi sistemlerine kadar her türlü modern FV sistemi tasarlanabilir (PV*SOL Software, 2023). Tablo 5.16'da PV*SOL premium ve PVsyst programları simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.16. PV*SOL ve PVsyst simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması

Parametreler	PV*SOL simülasyon sonucu	PVsyst simülasyon sonucu
İklim veritabanı	meteoSyn	meteonorm, NASA-SE, PVGIS TMY, Solcast TMY
FV jeneratör enerjisi	3.713 kWh	3.805 kWh
FV jeneratör çıkışı	2,7 kWp	2,7 kWp
Doğrudan öz tüketim	1.406 kWh	1.768,54 kWh
Batarya şarjı	1.426 kWh	783,46 kWh
Şebeke beslemesi	880 kWh	1.253 kWh
Performans oranı	%85,3	%80,9
Geri ödeme süresi	15,4 yıl	14,1 yıl
Önlenen CO ₂ emisyonu	1.611 kg/yıl	1.713 kg/yıl
Azimut açısı	180° (Güney)	0° (Güney)
Global yatay ışıınım	1.470 kWh/m ²	1.533,5 kWh/m ²
Satılan enerji (ilk yılda)	1.084,32 ₺	1.514 ₺/yıl
Elektrik tasarrufu (ilk yılda)	4.836,33 ₺	5.071 ₺
Satılan enerji (20. yılda)	4.199,46 ₺	6.535 ₺
Elektrik tasarrufu (20. yılda)	18.455,54 ₺	28.420 ₺
Birikmiş toplam nakit akışı (20. yılda)	92.968 ₺	140.895 ₺

PVsyst, şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız FV sistemler ve FV sulama sistemleri gibi fotovoltaik sistem tasarımlarının yapılmasına ve sonuçlarının incelenmesine yardımcı olan bir FV sistem simülasyon programıdır. Bu program daha detaylı hesaplamalara ve farklı parametrelerin kullanılmasına olanak sağlar. Ayrıca, bu programın FV paneller ve

eviriciler gibi fotovoltatik sistem bileşenlerinin özelliklerini içeren veri tabanına erişimi çok kolaydır. PVsyst, mühendisler, uzmanlar ve araştırmacılar tarafından kullanılmak üzere tasarlanmış bir yazılımdır. PVsyst, kişisel verilerin yanı sıra bir düzine farklı kaynaktan iklim verilerini içe aktarabilir (PVsyst Software, 2023).



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Balıkesir ili Edremit ilçesinde bulunan tipik bir konutun elektrik dağıtım şirketinden temin edilen gerçek aylık enerji tüketim verileri esas alınarak yıllık ölçekte öztüketime tamamlanmasını karşılayacak nitelikte şebeke bağlantılı ve depolamalı bir FV sistem tasarlanmıştır. PV*SOL ve PVsyst yazılımları aracılığıyla gerçekleştirilen tasarım ve simülasyon süreçleri detaylı olarak ele alınmıştır. Çalışmanın başlıca bulguları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Ele alınan konutun yıllık elektrik tüketimi 3.973 kWh'dir. FV sistemin PV*SOL ve PVsyst yazılımları ile gerçekleştirilen benzetim çalışmaları sonucunda tahmin edilen yıllık elektrik üretim miktarları sırasıyla 3.713 kWh ve 3.805 kWh olmuştur. Konutun gerçek yıllık elektrik tüketimi ile karşılaştırıldığında, tasarlanan FV sistemin bu tüketime yaklaşık %95'ini karşıladığı görülmektedir. Bu durum önerilen tasarım yönteminin geçerliliğini ortaya koymaktadır.
- Benzetim sonuçları incelendiğinde, Balıkesir ili Edremit ilçesi için 1 kWp'lik bir fotovoltaik sistemden PV*SOL yazılımına göre bir yılda yaklaşık 1.370,40 kWh, PVsyst yazılımına göre 1.409,0 kWh elektrik enerjisi üretileceği tahmin edilmektedir. PV*SOL ve PVsyst yazılımları tarafından hesaplanan performans oranı değerleri ise sırasıyla %85,3 ve %80,9 olmuştur. Bu özgül kazanç ve performans oranı değerleri Balıkesir ili Edremit ilçesi özelinde FV sistemlerin teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilir olduğunu göstermektedir.
- Benzetim çalışmalarında, tasarlanan FV sistemin bütün donanımları ve ekonomik parametreleri aynı olacak şekilde belirlenmiştir. Bununla birlikte yazılımların enerji üretim tahminlerinde ve buna bağlı diğer parametrelerde bir miktar farklılıkların olduğu gözlemlenmiştir. Bu farklılıkların, yazılımların esas aldığı iklim veri tabanlarındaki ve hesaplamalarda kullandıkları algoritmalarındaki farklılıklardan meydana geldiği değerlendirilmektedir.
- Tasarlanan FV sistem sayesinde yılda yaklaşık 1650 Ton CO₂'nin doğaya salımı önlenmektedir. FV sistemlerin yaygınlaşmasının CO₂ emisyonunun azaltılmasında önemli bir rol üstlenebileceği değerlendirilmektedir.
- Tasarlanan FV sistemin amortisman süresi her iki yazılım tarafından yaklaşık 15 yıl olarak hesaplanmıştır. Tablo 5.10'da verilen maliyetler dikkate alındığında batarya

sisteminin neden olduğu maliyet artışının amortisman süresinin artmasında önemli rol oynadığı değerlendirilmektedir.



KAYNAKLAR

- Ahmad, A., Maqbool, S., (2019). Square Wave Inverters -A performance Comparison with Pure Sine wave Inverters. *Int. J. Research in Electronics and Computer Engineering (IJRECE)*, (s. 4).
- Akinsipe, O.C., Moya, D., Kaparaju, P., (2020). Design and economic analysis of an off-grid solar PV in Jos-Nigeria. *J. Cleaner Production*, 33.
- Al Dulaimi, N.H., (2016/2017). Design of an Off-Grid Solar PV System for a Rural Shelter. German Jordanian University, *School of Natural Resources Engineering and Management Department of Energy Engineering*, Amman, Jordan.
- Alici, H., Esenboga, B., Oktem, I., Demirdelen, T., Tumay, M., (2021). Designing and Performance Analysis of Solar Tracker System: a Case Study of Çukurova Region. Azar, Kamal, (Ed.), *Design, Analysis and Applications of Renewable Energy Systems* (165-184). London, United Kingdom: Mara Conner.
- Atlım, F., (2019). Balıkesir İlindeki PV Sistemlerin Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 561272.
- Awasthi, A., Shukla, A.K., Manohar S.R., Dondariya, C., Shukla, K.N., Porwal, D., Richhariya, G., (2020). Review on sun tracking technology in solar PV system. *J. Energy Reports*, 6(2020), 392–405.
- Basaran, K., Sezen, G., F., (2018). Economic Analysis of an off-Grid Photovoltaic System, *International Congress on Energy Research*, Alanya/Turkey, 31 October-2 November 2018.
- Batmaz, E.B., (2018). Güneş Enerji Sistemlerinde Meteorolojik Parametrelerin Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 526808.
- Bayram, S., (2015). Güneş Enerjisi Uygulaması: Gebze Yöresinde Bir Fabrika Fizibilitesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 415410.
- Beyoğlu, M.F., (2011). Balıkesir İlinde Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi ile Sabit Eksenli PV Sistemin Verimlerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 299362.
- Bhattarai, A., (2016). Performance and cost analysis of solar photovoltaics tracking systems operating in different weather conditions. Master's thesis, Lappeenranta University of Technology, Faculty of Technology Electrical Engineering, Lappeenranta, Finland.
- Bilü, A.C., (2018). Fotovoltaik Sistemlerin Fizibilitesi için Yeni Bir Arayüzün Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri

Enstitüsü, İstanbul, 495285.

- Birkeland, R., (2018). Modelling and simulation of BIPV installations in Norway. Master's Thesis, University of Agder, Faculty of Engineering and Science, Kristiansand, Norway.
- Bolt, O. (2023). How to Calculate Solar Panel Tilt Angle?. Dwarka/Delhi, <https://energytheory.com/how-to-calculate-solar-panel-tilt-angle/>, (Ziyaret tarihi: 11 Temmuz 2023)
- Cardena, J.R., Luque, R.L., (2018). Design Principles of Photovoltaic Irrigation Systems. Yahyaoui, (Ed.), *Advances in Renewable Energies and Power Technologies* (295-333). Amsterdam, Netherlands, Katie Hammon.
- Ceylan, O., (2017). Fotovoltaik Programlarının Simülasyon Sonuçlarının Doğruluğunun İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 487731.
- Ceylan, M., (2018). Kampüs Binalarında Şebekeden Bağımsız Bir Çatı Üstü Fotovoltaik Sistem Tasarımı ve Benzetimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul, 513510.
- Çelik, A., (2021). Analysis of Energy Supply, Installed Power and Renewable Capacity in the World, the EU and Turkey, *Düzce University Journal of Science & Technology*, 9, 500-519, 10.29130/dubited.827250.
- Dale, S., (2022). bp Statistical Review of World Energy 2022 71st edition, The British Petroleum, 60.
- Dileep, D.K., Bharath, K.R., (2018). A Brief Study of Solar Home Inverters, *International Conference on Control, Power, Communication and Computing Technologies (ICCPCT)*.
- Diyoke C., Ngwaka u., Ugwu K., (2023), A comprehensive analysis on the grid-tied solar photovoltaics for clean energy mix and supply in Nigeria's on-grid power, *Journal of Energy Systems*, 7(1), 1-17, DOI: 10.30521/jes.988844.
- Durak, F.S., (2016). Fotovoltaik Sistemlerin Ekonomik Analizi: Malatyadaki Bir Kamu Binası Örneği. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 444296.
- Durusu, A., (2016). Fotovoltaik Güneş Santral Tasarımı ve Saha Optimizasyonu için Yeni Bir Yaklaşım. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 432042.
- El-houari, H., Allouhi, A., Rehman, S., Buker, M.S., Kousksou, T., Jamil, A., El Amrani, B., (2019). Design, Simulation, and Economic Optimization of an Off-Grid Photovoltaic System for Rural Electrification. *energies (MDPI)*, 12(4735), 16.

- El Shenawy, E.T., Hegazy, A. H., Abdellatef, M., (2017). Design and Optimization of Stand-alone PV System for Egyptian Rural Communities. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(20), 10433-10446.
- Eremkere, M., (2019). Fotovoltaik Tasarımların Teknik, Ekonomik ve Çevresel Açılardan Analizi: Tekirdağ Bağcılık Araştırma Enstitüsü Üzüm Suyu İşleme Tesis Çatısı Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 576820.
- Fouada, M.M., Shihata, L.A., Morgana, E.I., (2017). An integrated review of factors influencing the performance of photovoltaic panels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80(2017), 1499–1511.
- Ghafoor, A., Munir, A., (2015). Design and economics analysis of an off-grid PV system for household electrification. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42(2015), 496–502.
- Goswami, D.Y., Kreith, F., (2016). *Energy Efficiency and Renewable Energy (2nd edi.)*. Taylor & Francis Group, LLC: New York, NY, United States.
- Gümüş, F., (2015). Edremit Körfezi Enerji Potansiyeli & Enerji Kaynakları ve Geleceğin Teknolojisi, MB Yayınları, 74.
- Hafez, A.Z., Yousef, A., M., Haraga, N.M., (2018). Solar tracking systems: Technologies and trackers drive types – A review. *J. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91(2018), 754–782.
- IEA, IRENA, UNSD, World Bank, WHO, (2021). *Tracking SDG7 The Energy Progress Report.*, IEA, IRENA, UN, World Bank and WHO, 234.
- Ifeagwu N.E., Alor, M., Ugwu C.I., (2016). Performance Analysis of better Designed Pure Sine Wave Inverter in Mitigating Frequent Power Outages in Nigerian Homes. *Int. J. Trend in Research and Development (IJTRD)*, 3(4), 5.
- Jäger, K., Isabella, O., Smets, A.H.M., Van Swaaij, R.A.C.M.M., Zeman, M., (2014). *Solar Energy Fundamentals, Technology and Systems (1st ed.)*. Delft, the Netherlands.
- Jana, J., Samanta, H., Bhattacharya, K.D., Saha, H., (2016). A Four Stage Battery Charge Controller Working on a Novel Maximum Power Point Tracking Based Algorithm for Solar PV System. *IEEE*, 4.
- Jogunuri, S., Kumar, R., Kumar, D., (2017). Sizing an Off-Grid Photovoltaic System (A Case Study), *International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)*, Godhra, India.

- Kampouris, K.P., (2020). Energy storage systems review and case study in the residential sector, *J. Earth and Environmental Science*, 410(2020), 12. doi:10.1088/1755-1315/410/1/012033
- Kamran, M., Mudassar, M., Fazal, M.R., Asghar, M.U., Bilal, M., Asghar, R., (2020). Implementation of improved Perturb & Observe MPPT technique with confined search space for standalone photovoltaic system. *J. King Saud University*, 32(2020), 432-441.
- Kavak, K., Hakyemez, c., Şentürk, Z., Arıkan, E., Çelen, E., Kardeş, Y., Emecan, M., (2022), *Enerji Görünümü Aralık 2022, Türkiye Sınai Kalkınma Bankası(TSKB)*, 30.
- Keskin, E., (2012). Türkiye İklim Koşullarında Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Tasarım ve Maliyet Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 321347.
- Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y., Uğurlu, İ., (2018). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 59(692), 86-114.
- Koca, T.F., (2019). Silisyum Güneş Pillerinin Fotovoltaik Özelliklerine Etkin Eden Çevresel Etkilerin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 569771.
- Koçhan, Ö., (2019). Evsel Uygulamalar için Güneş Enerji Sisteminin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, kırkırelü üniversitesi, fen bilimleri enstitüsü, Kırklareli, 550455.
- Köprü, M.A., (2016). Fotovoltaik Sistemlerde Kablo Kayıplarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 424183.
- Küçük, S., (2019). Off Grid Güneş Sistemleri İçin Yeni Bir Projelendirme Aracı Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 595059
- Küçükgöze, Ö.M., (2016). Erzincan İlinde Güneş Enerjili Elektrik Üretim Sisteminin Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan, 449218.
- Kulworawanichpong, T., Mwambeleko, J.J., (2015). Design and costing of a stand-alone solar photovoltaic system for a Tanzanian rural household. *J. Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 12(2015), 53–59.
- Laetitia, U., (2018). Design Simulation and Evaluation of Photovoltaic Plant. Master Degree Thesis, Near East University, Institute of Applied Science, Nicosia.
- Mahmood, A.L., (2019). Design and Simulation of Stand-alone PV System for Electronic and Communications Engineering Department Laboratories in Al-Nahrain

University. *J. EAI endorsed transactions on energy web*, 10. doi: 10.4108/eai.13-7-2018.156438

- Majaw, T., Deka, R., Roy, S., Goswami, B., (2018). Solar Charge Controllers using MPPT and PWM: A Review. *ADB U J. of Electrical and Electronics Engineering (AJEEE)*, 2(1), 4.
- Mayo, M. (2018). Design and Optimisation of Off-grid Solar PV Systems for an Indigenous Peoples Community in the PH, *University of Calgary*, doi:10.11575/PRISM/33114, 114.
- Mohanty, P., Muneer, T., Kolhe, M., (2016). *Solar Photovoltaic System Applications (1st ed.)*. Springer Cham, Heidelberg New York Dordrecht London: Springer International Publishing Switzerland.
- Musa, I.M., Ibrahim U.H., Abubakar, H. (2013). Design Of An Off Grid Photovoltaic System: A Case Study Of Government Technical College, Wudil, Kano State. *Int. J. of Scientific & Technology Research*, 2(12), 175-181.
- Oğuz, D., (2018). Güneş Enerjisi Sistemleri ve EMF Ölçümleri Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 526810.
- Özçelik, Ö., (2018). Güneş Enerji Sistemleri ve Güneş Yatırımları İçin Doğru ve Güvenilir Bir Yol Haritası Oluşturulması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 527866.
- Öztürk, C., (2020). Güneş Enerji Sistemlerinde Verim Analizi ve Enerji Kayıplarının Tespiti. Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep, 621591.
- Pal, A.M., Das, S., Raju, N.B., (2015). Designing of a Standalone Photovoltaic System for a Residential Building in Gurgaon, India. *J. Sustainable Energy*, 3(1), 14-24. DOI:10.12691/rse-3-1-3
- Pantelimon, R.F., Adam, M., Andrușcă, M., Pancu, C., (2013). Aspects Regarding Solar Battery Charge Controllers, the *8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering*, Bucharest, Romania, May 23-25, 2013.
- Pearsall, N.M., (2017). The Performance of Photovoltaic (PV) Systems. Elsevier, United Kingdom & United State.
- Pradhan, A., Panda, B., (2017). Analysis of Ten External Factors Affecting the Performance of PV System. *International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)*, 3093-3098.
- PV*SOL, PV*SOL Software <https://Valentin-Software.com/en/products/pvsol-premium/> (Ziyaret tarihi: 4 Mayıs 2023)

PVsyst, “PVsyst Software” <https://www.pvsyst.com/>, (Ziyaret tarihi: 4 Mayıs 2023)

Qazi, S., (2017). Fundamentals of Standalone Photovoltaic Systems. Reading, (Ed.), *Standalone Photovoltaic (PV) Systems for Disaster Relief and Remote Areas* (31-82). Amsterdam-Netherlands, Joe Hayton.

Ridha, H.M., Gomes, C., Hizam, H., Ahmadipour, M., Heidari, A.A., Chen, H., (2021). Multi-objective optimization and multi-criteria decision-making methods for optimal design of standalone photovoltaic system: A comprehensive review. *J. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135(2021), 23. 110202

Satpathy, R., Pamuru, V., (2020). Off-grid solar photovoltaic systems. Reading, (Ed.), *Solar PV Power, Design, Manufacturing and Applications from Sand to Systems*, (267-315), London-United Kingdom, San Diego-United States, Brian Romer.

Şençiçek, H., (2017). Yüzer ve Arazi Kurulumu Fotovoltaik Sistemlerin Teknik ve Ekonomik Açısından İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul, 503182.

Sezen, S., (2015). Üç Fazlı Şebeke Bağlantılı Çok Seviyeli Evirici Kullanarak Aktif Filtreleme Yeteneğine Sahip Fotovoltaik Sistemin Tasarımı ve Uygulaması. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 398889.

Shukla, A.K., Sudhakar, K., Baredar, P., (2016). Design, simulation and economic analysis of standalone roof top solar PV system in India. *J. Solar Energy*, 136(2016), 437-449.

Singh, A.K., Singh, R.R., (2021). An Overview of Factors Influencing Solar Power Efficiency and Strategies for Enhancing. *J. Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT)*, 6.

Singla, A., Singh, K., Yadav, V.K., (2016). Environmental Effects on Performance of Solar Photovoltaic Module. *IEEE*, 6.

Sumathi, S. Kumar, L.A. Surekha, P., (2015). *Solar PV and Wind Energy Conversion Systems (2015th edi.)*. Springer Cham, Heidelberg New York Dordrecht London: Springer International Publishing Switzerland.

URL-1:<https://help.valentin-software.com/pvsol/en/pages/>, (Ziyaret Tarihi: 6 Mayıs 2023)

URL-2:<https://www.europe-solarstore.com/hoppecke-powerpack-premium-5-0-48-v.html> (Ziyaret tarihi: 5 Mayıs 2023)

URL-3:<https://www.iea.org/reports/renewable-electricity>, (Ziyaret Tarihi: 7 Mayıs 2023)

URL-4:<https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>, (Ziyaret

Tarihi: 8 Mayıs 2023).

URL-5:<https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>, (Ziyaret tarihi: 6 Temmuz 2023)

URL-6:<https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/10.aspx>, (Ziyaret tarihi: 7 Temmuz 2023)

Uwibambe, J., (2017). Design of Photovoltaic System for Rural Electrification in Rwanda. *Agder University, Faculty of Engineering and Science Department of Renewable Energy*, Norway.

Valentin, S., (2012). *PV*SOL Pro Version 5.5 Design and Simulation of Photovoltaic Systems*. Berlin-Germany.

Vidyanandan, K.V., (2017). An Overview of Factors Affecting the Performance of Solar PV Systems. *IEEE*, 7.

Victron Energy (2020). Which solar charge controller: PWM or MPPT?. Netherlands, <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Technical-Information-Which-solar-charge-controller-PWM-or-MPPT.pdf>, (Ziyaret tarihi: 10 Temmuz 2023)

White, S., (2015). *Solar Photovoltaic Basics*. New York, NY 10017, Routledge.

Yasko, M.A., (2018). Fotovoltaik Sistemlerde Düşürücü Tip DA-DA Dönüştürücülü Maksimum Güç Noktası İzleyicisinin Analizi, Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 536807.

Yücel, Y., (2016). Güneş Enerjisinden Yararlanmak Amacıyla Fotovoltaik Sistemlerin Binalardaki Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 454800.



EKLER

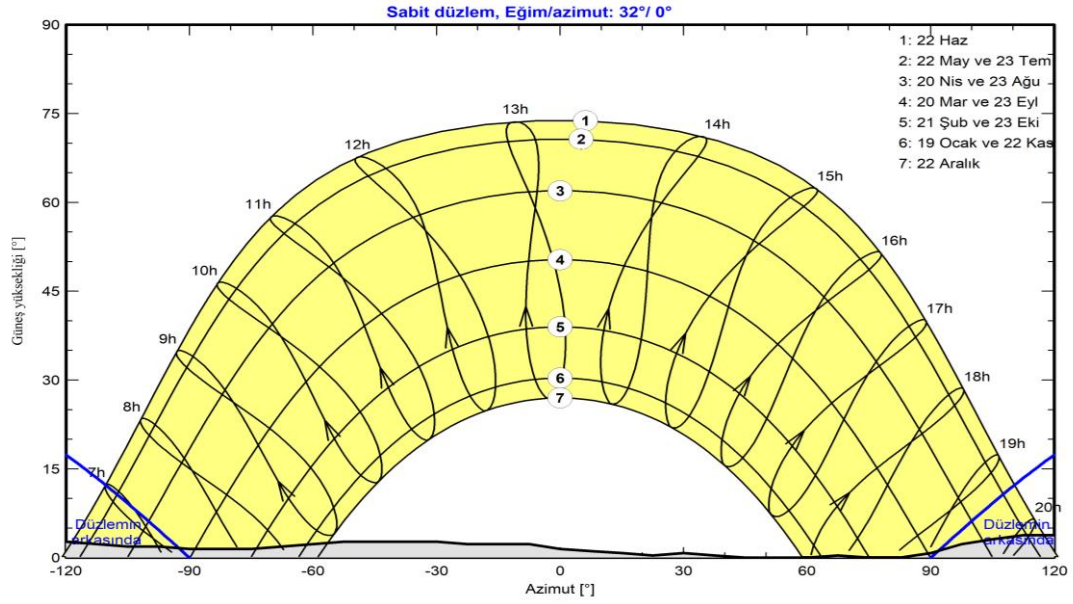
EK-A

PV*SOL Yazılımının Simülasyon Sonuçları

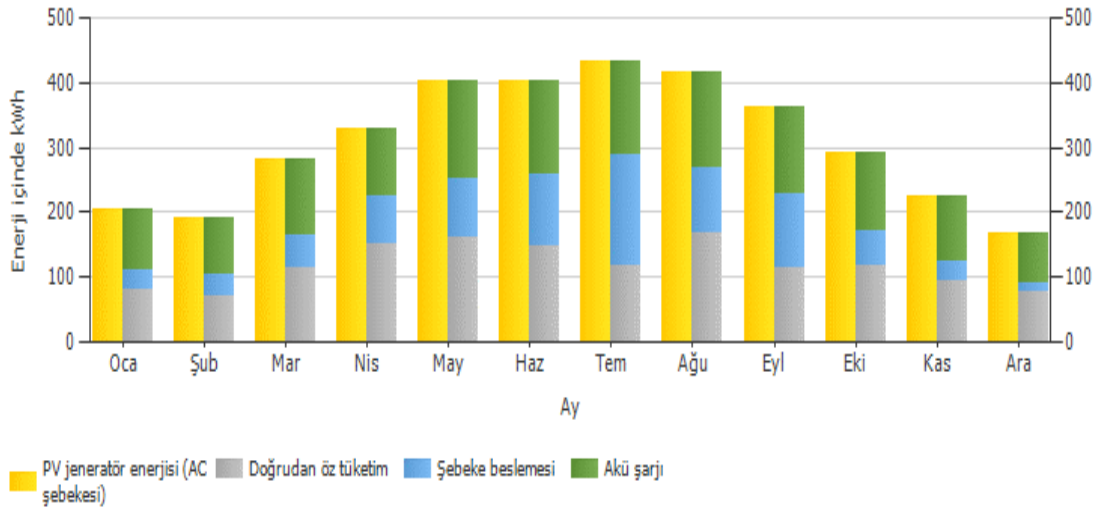
Horizon ve güneş yörüngesi (yükseklik/azimut) tanımlama verileri

Ufuk profili

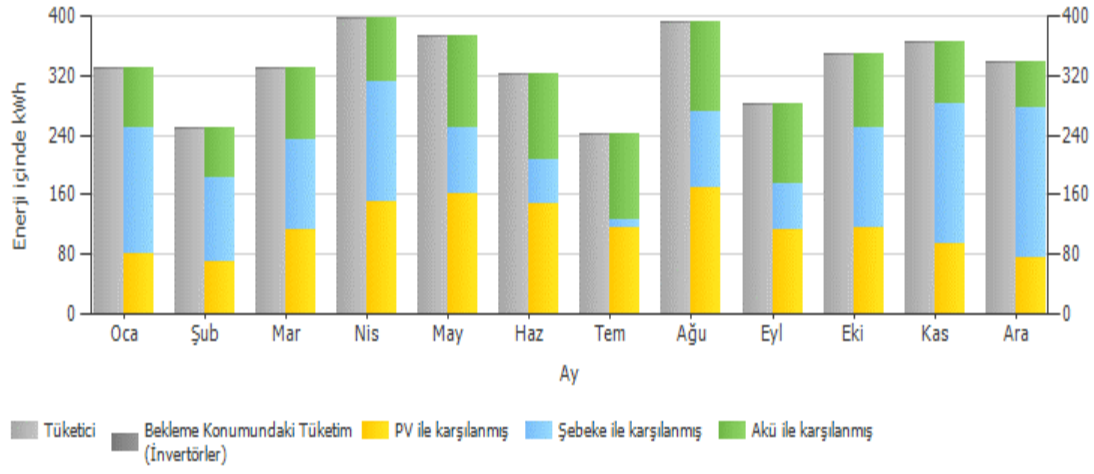
Azimut [°]	-180	-173	-165	-158	-150	-143	-135	-128	-120	-113	-105
Yükseklik [°]	6.1	5.3	5.3	4.6	4.2	4.2	2.3	2.7	2.7	2.3	1.9
Azimut [°]	-98	-90	-75	-68	-60	-53	-30	-23	-8	0	8
Yükseklik [°]	1.9	1.5	1.5	1.9	2.3	2.7	2.7	2.3	2.3	1.5	1.1
Azimut [°]	15	23	30	38	45	60	68	75	83	90	98
Yükseklik [°]	0.8	0.4	0.8	0.4	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.8	2.3
Azimut [°]	105	113	120	128	135	143	150	158	165	173	180
Yükseklik [°]	3.1	3.8	3.8	5.3	5.7	5.3	3.8	4.6	4.2	4.6	6.1



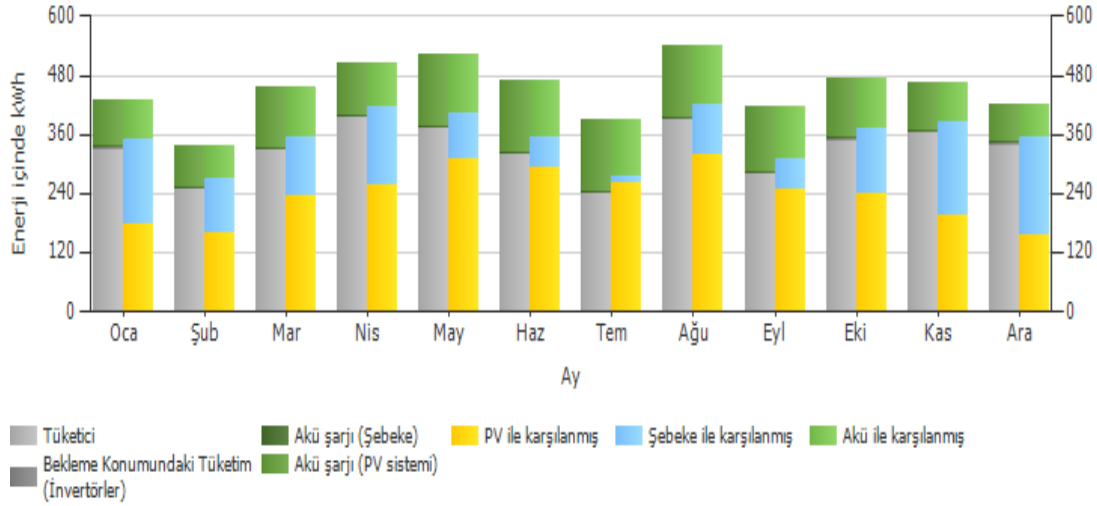
FV enerji kullanımı verileri



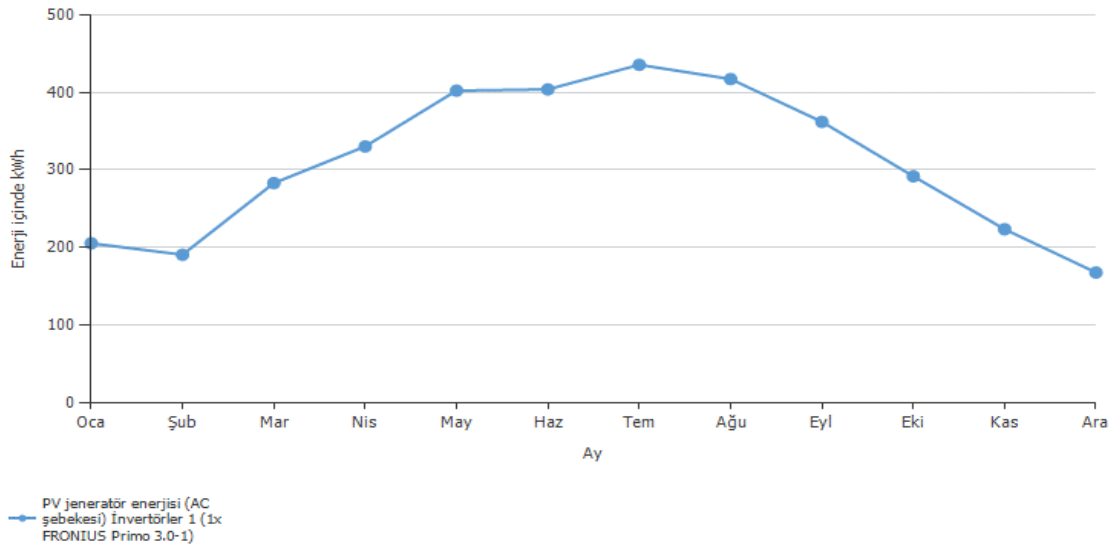
Konut tüketiminin karşılanması



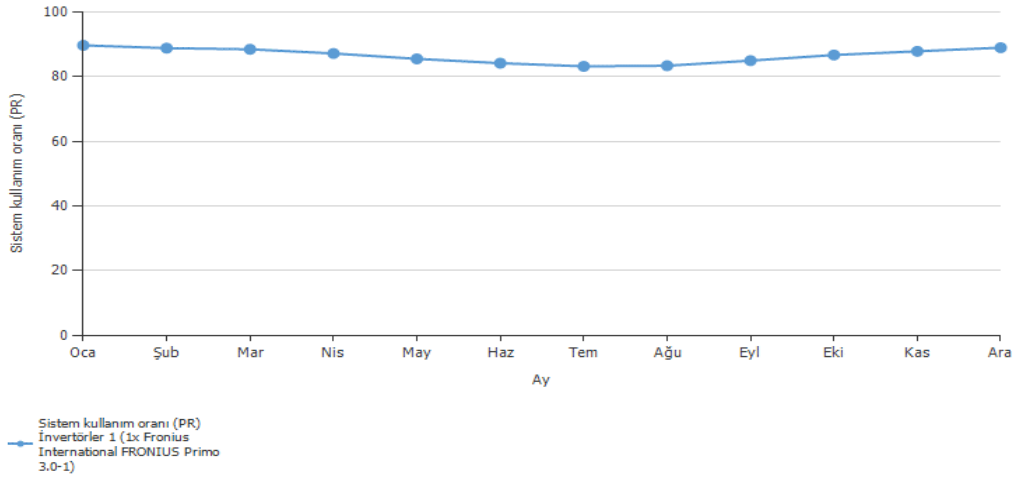
Konutun toplam tüketiminin karşılanması



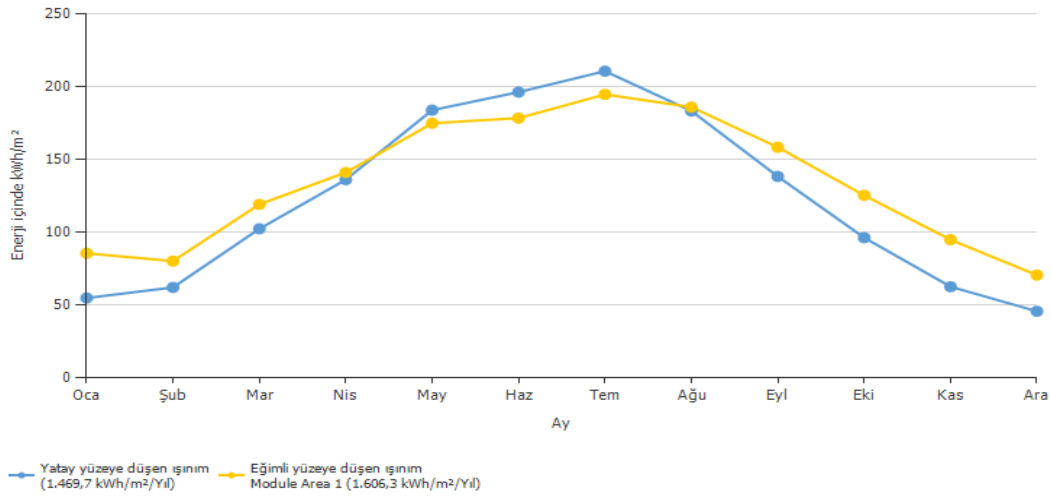
Evirici başına tahmini üretim verileri



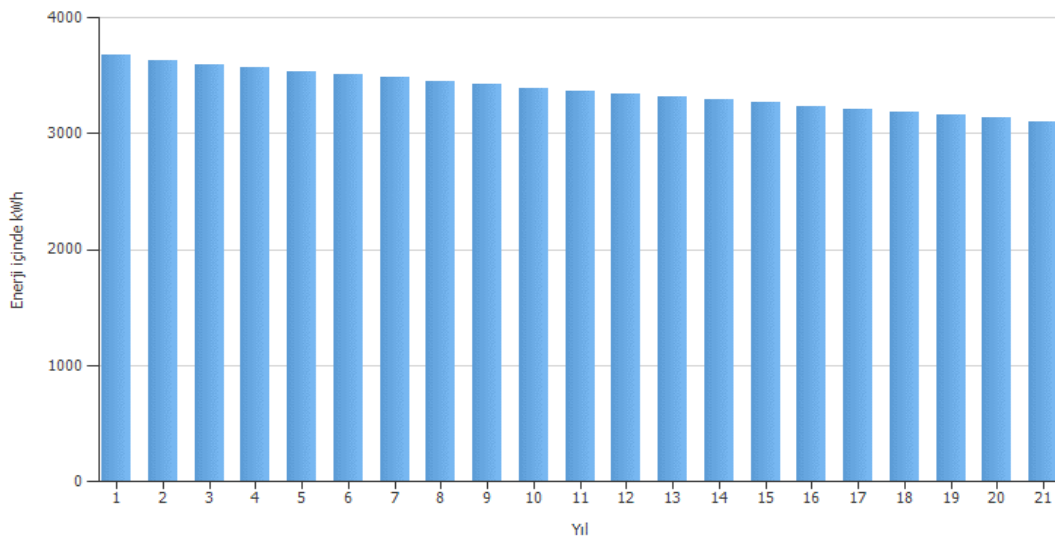
Tasarlanan sistemin performans oranı verileri



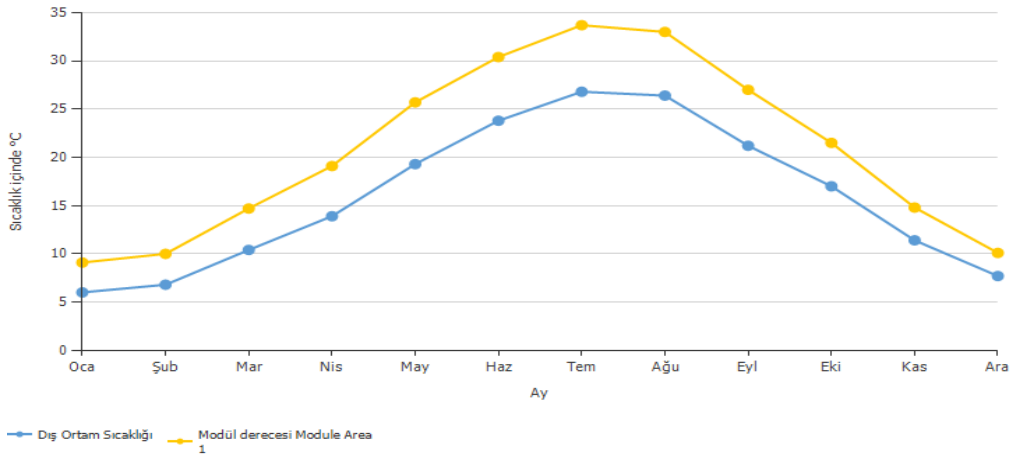
Tasarlanan sistem için seçilen FV panel alanı başına ışıınım verileri



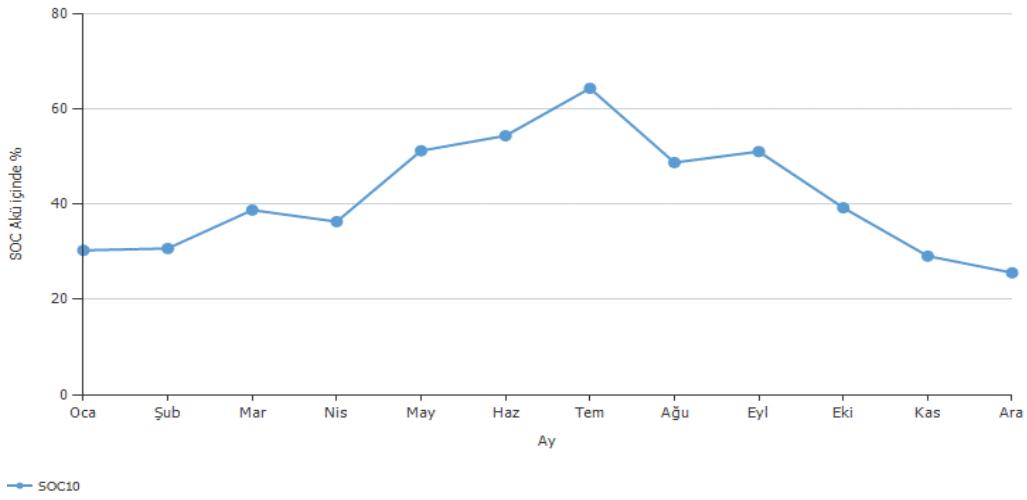
Değirlendirme süresi (20 yıl) boyunca FV sistem enerjisi verileri



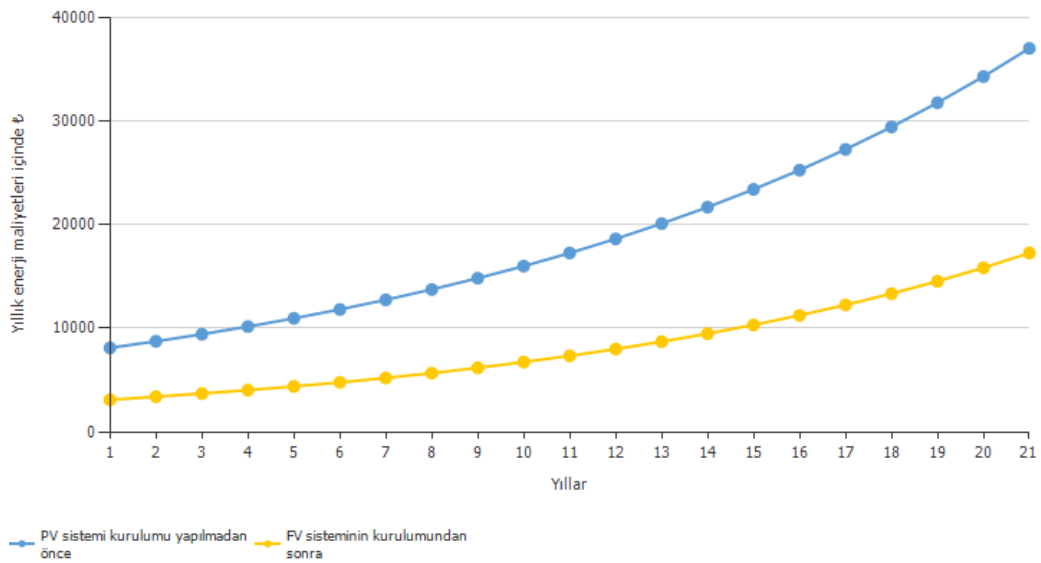
Tasarlanan sistem için seçilen FV panel alanı başına sıcaklık verileri



Bataryanın şarj durumu (SoC) değerleri



FV sistem kurulumu yapılmadan önce ve sonrası için enerji maliyetlerinin geliştirilmesi



Değerlendirme süresi (20 yıl) boyunca FV sistemin nakit akış tablosu

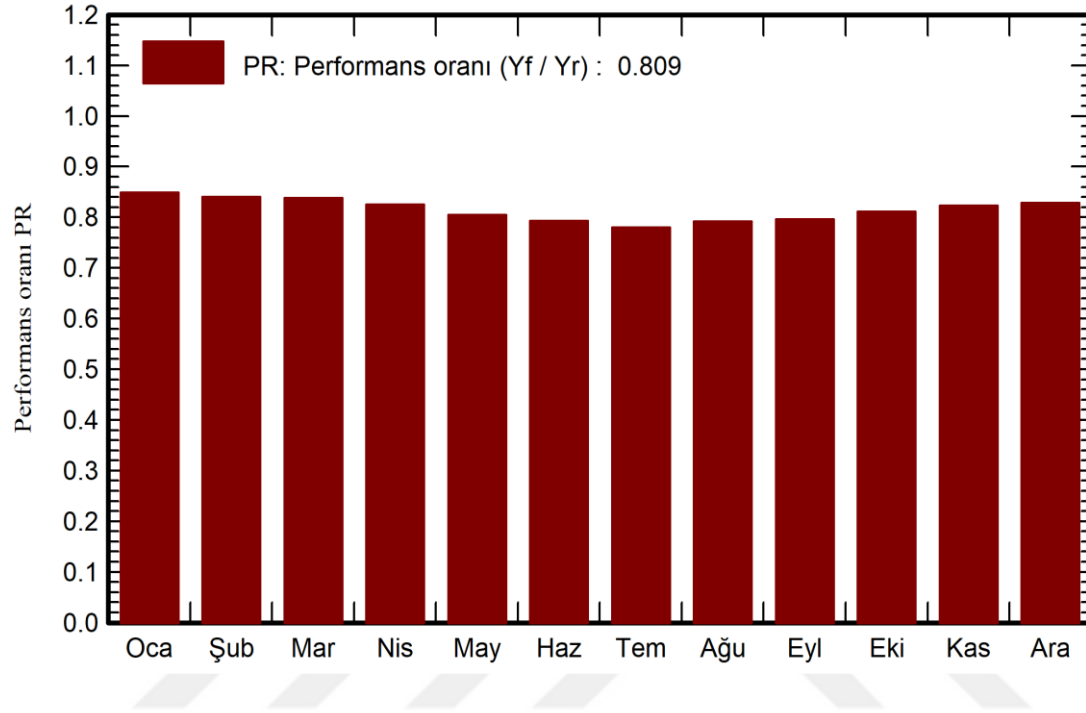
Nakit akış tablosu

	Yıl 1	Yıl 2	Yıl 3	Yıl 4	Yıl 5
Yatırımlar	-₺160.461,00	₺0,00	₺0,00	₺0,00	₺0,00
şebekeye beslemeden gelir	₺1.034,52	₺1.156,88	₺1.242,93	₺1.335,28	₺1.434,41
Elektrik tasarrufu	₺4.836,33	₺5.344,65	₺5.726,21	₺6.134,62	₺6.571,73
Yıllık nakit akışı	-₺154.590,16	₺6.501,53	₺6.969,14	₺7.469,90	₺8.006,13
Biriktirilmiş nakit akışı (nakit dengesi)	-₺154.590,16	-₺148.088,62	-₺141.119,48	-₺133.649,58	-₺125.643,44
	Yıl 6	Yıl 7	Yıl 8	Yıl 9	Yıl 10
Yatırımlar	₺0,00	₺0,00	₺0,00	₺0,00	₺0,00
şebekeye beslemeden gelir	₺1.540,79	₺1.654,95	₺1.777,44	₺1.908,87	₺2.049,87
Elektrik tasarrufu	₺7.039,51	₺7.540,07	₺8.075,68	₺8.648,72	₺9.261,77
Yıllık nakit akışı	₺8.580,29	₺9.195,02	₺9.853,11	₺10.557,59	₺11.311,63
Biriktirilmiş nakit akışı (nakit dengesi)	-₺117.063,15	-₺107.868,13	-₺98.015,02	-₺87.457,43	-₺76.145,80
	Yıl 11	Yıl 12	Yıl 13	Yıl 14	Yıl 15
Yatırımlar	₺0,00	₺0,00	₺0,00	₺0,00	₺0,00
şebekeye beslemeden gelir	₺2.201,94	₺2.366,29	₺2.542,76	₺2.732,22	₺2.935,62
Elektrik tasarrufu	₺9.922,16	₺10.633,16	₺11.394,41	₺12.209,42	₺13.081,90
Yıllık nakit akışı	₺12.124,10	₺12.999,45	₺13.937,17	₺14.941,64	₺16.017,52
Biriktirilmiş nakit akışı (nakit dengesi)	-₺64.021,70	-₺51.022,25	-₺37.085,07	-₺22.143,43	-₺6.125,92
	Yıl 16	Yıl 17	Yıl 18	Yıl 19	Yıl 20
Yatırımlar	₺0,00	₺0,00	₺0,00	₺0,00	₺0,00
şebekeye beslemeden gelir	₺3.153,95	₺3.388,31	₺3.639,84	₺3.909,78	₺4.199,46
Elektrik tasarrufu	₺14.015,83	₺15.015,48	₺16.085,36	₺17.230,33	₺18.455,54
Yıllık nakit akışı	₺17.169,79	₺18.403,79	₺19.725,20	₺21.140,11	₺22.655,01
Biriktirilmiş nakit akışı (nakit dengesi)	₺11.043,87	₺29.447,66	₺49.172,86	₺70.312,97	₺92.967,98
	Yıl 21				
Yatırımlar	₺0,00				
şebekeye beslemeden gelir	₺4.507,96				
Elektrik tasarrufu	₺19.753,72				
Yıllık nakit akışı	₺24.261,68				
Biriktirilmiş nakit akışı (nakit dengesi)	₺117.229,66				

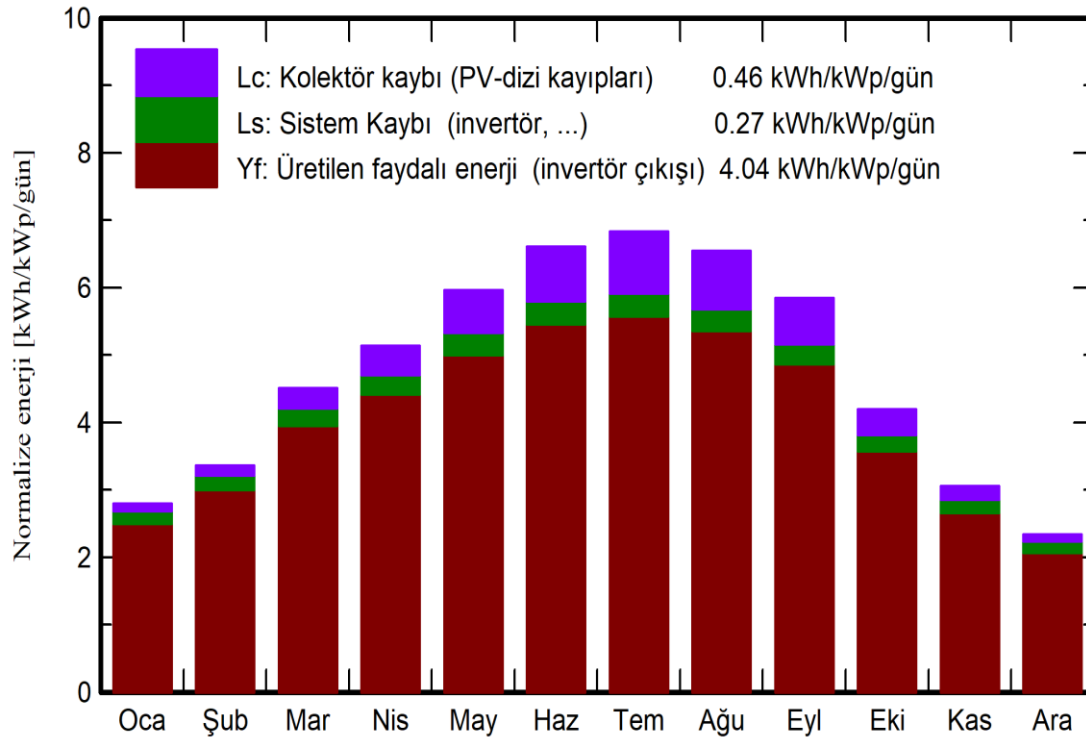
EK-B

PVsyst Yazılımının Simülasyon Sonuçları

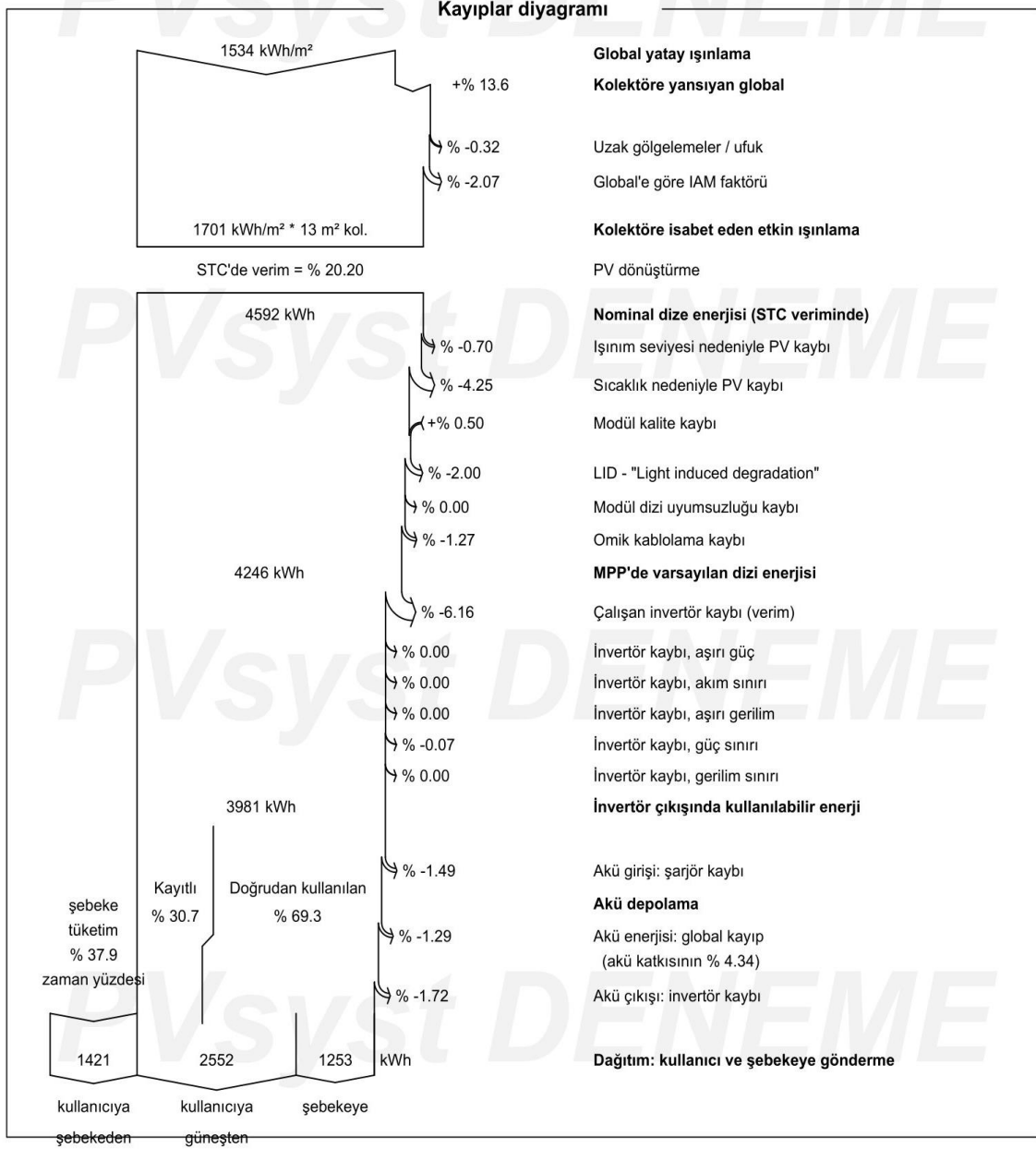
FV sistemin performans oranı



kWp başına normalize üretim verileri



Tasarlanan FV sistemin kayıplar diyagramı



FV sistemin finansal analiz verileri

Finansal analiz									
Detaylı ekonomik sonuçlar (TRY)									
Yıl	Elektrik satışı	İşletme gider.	Amortis. payı	Vergi. tabi gelir	Vergiler	Net kâr	Öz tüketim tasarrufu	Birikmiş kâr	% itfa
0	0	0	0	0	0	0	0	0	% 0.0
1	1514	0	0	1514	0	1514	5071	6585	% 4.1
2	1635	0	0	1635	0	1635	5477	13697	% 8.5
3	1766	0	0	1766	0	1766	5915	21378	% 13.3
4	1908	0	0	1908	0	1908	6388	29674	% 18.5
5	2060	0	0	2060	0	2060	6899	38633	% 24.1
6	2225	0	0	2225	0	2225	7451	48309	% 30.1
7	2403	0	0	2403	0	2403	8047	58759	% 36.6
8	2595	0	0	2595	0	2595	8691	70045	% 43.7
9	2803	0	0	2803	0	2803	9386	82234	% 51.2
10	3027	0	0	3027	0	3027	10137	95398	% 59.5
11	3269	0	0	3269	0	3269	10948	109615	% 68.3
12	3531	0	0	3531	0	3531	11824	124970	% 77.9
13	3813	0	0	3813	0	3813	12770	141553	% 88.2
14	4118	0	0	4118	0	4118	13791	159462	% 99.4
15	4448	0	0	4448	0	4448	14894	178804	% 111.4
16	4804	0	0	4804	0	4804	16086	199694	% 124.5
17	5188	0	0	5188	0	5188	17373	222255	% 138.5
18	5603	0	0	5603	0	5603	18763	246621	% 153.7
19	6051	0	0	6051	0	6051	20264	272936	% 170.1
20	6535	0	0	6535	0	6535	21885	301356	% 187.8
Toplam	69299	0	0	69299	0	69299	232057	301356	% 187.8

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

Jalalzai, N., (2022). Boost Dönüştürücü Devresinin Durum-Uzay Ortalama Tekniğine Dayalı Geçici-Hal ve Sürekli Hal Analizi. *International Marmara Sciences Congress (Imascon 2022 Spring)*, p. 622-627, Kocaeli, Türkiye, 13 – 14 May 2022.



ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Afganistan'ın Wardak ilinde tamamladı. 2012 yılında girdiği Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümünden 2019 yılında Elektrik ve Elektronik Mühendisi olarak mezun oldu. 2019 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans yapmaktadır.

