

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

**GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE VERİMLİLİK ANALİZİ :
NİJER GÜÇ SİSTEMİ UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Issifa Hamidou TINNI

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Bilim Dalı

AĞUSTOS 2023

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

**GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE VERİMLİLİK ANALİZİ :
NİJER GÜÇ SİSTEMİ UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Issifa Hamidou TINNI

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Bilim Dalı

Tez Danışmanı : Dr.Öğr.Üyesi Türker Fedai ÇAVUŞ

AĞUSTOS 2023

Issifa Hamidou TINNI tarafından hazırlanan “**GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE VERİMLİLİK ANALİZİ: NİJER GÜÇ SİSTEMİ UYGULAMASI**” adlı tez çalışması 16.08.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı **Elektrik Mühendisliği** Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : Dr.Öğr.Üyesi Türker Fedai ÇAVUŞ
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : Dr.Öğr.Üyesi Talha Enes GÜMÜŞ
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : Dr.Öğr. Üyesi Rıfkı TERZİOĞLU
Bolu Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “ Güneş Enerji Sistemlerinde Verimlilik Analizi: Nijer Güç Sistemi Uygulaması ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(16/08/2023).

Issifa Hamidou TINNI



TEŞEKKÜR

Bu tezin yazımı boyunca bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim değerli danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Türker Fedai ÇAVUŞ'a teşekkür ederim. Kendisi her zaman yanımda olarak tavsiye ve yönlendirmeleriyle bana çok yardımcı olmuştur.

Yaptığım güç akış simülasyonu süresince bana yardımcı olan özellikle MATPOWER'ın nasıl çalıştığını daha iyi anlamam konusunda destek veren Dr.Öğr.Üyesi Talha Enes GÜMÜŞ'e teşekkür ediyorum.

Maddi ve manevi desteklerini hep hissettiğim, motivasyon kaynağım olan, zorluklar karşısında devam etmeme ve her zaman kendimi daha iyi bir noktaya taşımam konusunda yanımda olan sevgili aileme çok teşekkür ediyorum.

Ve son olarak, bana bu ülkede, özellikle de Sakarya Üniversitesi'nde eğitimime devam etme şansı verdiği için YTB'ye teşekkür ederim.

Issifa Hamidou TINNI



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	2
1.1.1. Rüzgâr enerjisi	2
1.1.2. Hidrolik veya hidroelektrik enerji.....	3
1.1.3. Jeotermal enerji.....	3
1.1.4. Biyokütle enerjileri	3
1.1.5. Güneş enerjisi	4
1.1.6. Deniz veya okyanus enerjisi	4
1.2. Yenilenebilir Enerjilerin Dünyadaki Durumu	4
1.3. Nijer'in Enerji Durumu	6
1.4. Güneş Enerjisinin Kullanım Alanı	10
1.5. Literatür İncelemesi.....	10
1.6. Çalışmanın Amacı, Materyali ve Metodolojisi	15
1.6.1. Çalışmanın amacı	15
1.6.2. Materyali ve metodolojisi.....	16
2. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELLERİ GENEL BİLGİLER.....	17
2.1. Fotovoltaik Panellerin Üretimi	19
2.2. Güneş Hücreleri.....	22
2.3. Güneş Panelleri Çeşitleri	24
2.4. İnverterler	25
2.4.1. On-grid inverter	26
2.4.2. Off-grid inverter.....	27
2.4.3. Hibrid inverter.....	27
2.4.4. Merkezi inverterler	27
2.4.5. Mikro inverter	28
2.4.6. Dizi inverteri	29
2.5. Şarj Regülatörleri	29
2.6. Aküler	30

3. GÜNEŞ PANELLERİNDE VERİMLİLİK ANALİZİ.....	31
3.1. Güneş Enerjisi.....	31
3.1.1. Güneş ışıınımı bileşenleri.....	35
3.2. Fotovoltaik Hücrelerin Elektriksel Özellikleri	39
3.2.1. Fotovoltaik diyotlar.....	39
3.2.2. Direnç.....	41
3.3. Fotovoltaik Panellerin Paralel Seri Bağlantısı.....	42
3.4. Maksimum Güç Noktaları (MGN)	44
3.5. Çevrenin Güneş Fotovoltaik Panelleri Üzerindeki Etkisi.....	46
3.5.1. Güneş radyasyonunun etkisi	47
3.5.2. Sıcaklık etkisi.....	48
3.5.3. Rüzgâr hızının etkisi	49
3.5.4. Kar ve buzun etkisi	49
3.5.5. Nemin etkisi	49
3.5.6. Toz ve kirin etkisi	50
3.5.7. Gölgelelendirmenin etkisi.....	50
3.6. Maksimum Güç Noktasını Bulmak İçin Yöntemler ve Algoritma.....	50
3.6.1. Değiştir ve gözle algoritmaları (P&O).....	53
3.6.2. Sabit gerilim yöntemi.....	55
3.6.3. Açık devre gerilim yöntemi	55
3.6.4. Kısa devre akım yöntemi	55
3.6.5. Artan İletkenlik Algoritması	56
3.6.6. Bulanık mantık yöntemi.....	57
3.6.7. Yapay sinir ağlarına dayalı yöntemler(YSA)	57
3.7. MGN'lerin Özeti ve Karşılaştırılması	59
3.8. Güneş Takip Sistemleri	60
3.9. Yansıtıcılar Aracılığıyla FV'lerin Verimliliğinin Artırılması	62
3.10. Matlab Modelleme.....	63
4. GÜNEŞ SİSTEMİ TASARIMI	69
4.1. Şebekeden Bağımsız FV Sistemleri	69
4.2. Elektrik Şebekesine Bağlı Güneş Fotovoltaik Sistemleri.....	70
4.3. Elektrik Şebekesine Bağlantı.....	72
4.4. Reaktif Güç Kontrolü	73
4.5. Frekans Kontrolü	74
4.6. Bir FV Sisteminin Tasarımı.....	75
4.6.1. Sayısal tasarım	75
4.6.1.1. Şebekeden bağımsız sistem.....	75
4.6.1.2. Elektrik şebekelerine bağlı sistemler	82
4.6.1.3. Zincir başına minimum hücre sayısı	84
4.6.1.4. Dize başına maksimum hücre sayısı.....	85
4.6.1.5. Paralel zincir sayısı	86
4.6.1.6. Şebeke inverterinin seçimi	86
4.7. Ekonomik Analizi.....	89
4.8. Dijital Tasarım.....	90
4.8.2. Net şimdiki maliyet.....	92
4.9. Fotovoltaik Enerji Santralinin Elektrik Şebekesine Bağlantısı	94

5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	101
KAYNAKLAR	103
EKLER.....	111
ÖZGEÇMİŞ.....	115





KISALTMALAR

MBE	: Mean Bias Error
MPAE	: Mean Percentage Absolute Error
RMSE	: Root Mean Square Error
MPPT	: Maximum Power Point Tracking
MPP	: Maximum Power Point
FV	: Photovoltaic
MGN	: Maksimum Güç Noktası
MGNI	: Maksimum Güç Noktası İzlemesi
DoD	: Depth of Discharge
STC	: Standard Test Conditions
COE	: Cost of Energy
NPC	: Net Present Cost
SGF	: Sermaye Geri kazanım Faktörü
FF	: Doluluk Faktörü



SİMGELER

kWh	: Kilowatt saat
I_{FV}	: Fotovoltaik hücre akımı
R_s	: Seri direnç
R_{sh}	: Şönt direnç
A	: İdeal faktör
k	: Boltzman sabiti
T	: Güneş hücresi çalışma sıcaklığı
q	: Elektron yükü
I_s	: Seri akım
I_d	: Diyot akımı
R_p	: Paralel direnç
V_{oc}	: Açık devre gerilim
I_{cc}	: kısa devre akımı
H	: Küresel güneş radyasyonu
H₀	: Dünya dışı güneş radyasyonu
S	: Güneş ışığını
S₀	: Saat sayısının maksimum güneş radyasyonu
H_d	: Yaygın güneş ışını
N_{pp}	: Paralel bağlı hücre sayısı
N_{ss}	: Seri bağlı hücre sayısı
DC	: Doğru akım
AC	: Alternatif akım
kW	: Kilowatt
W	: Watt
S	: Hücre alanı
H_T	: Güneş radyasyonu
H_p	: Hücre verimliliği



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1. Cihazların sayısı ve güç tüketimlerinin özeti.....	79
Tablo 4.2. Niamey şehrinin ortalama güneş ışınlımı.....	79
Tablo 4.3. Fotovoltaik panele ait teknik veri sayfası.....	80
Tablo 4.4. Akü veri sayfası.....	80
Tablo 4.5. Şebeke invertörü veri sayfası.	87
Tablo 4.6. Watt başına kurulum fiyatı referansı.....	89
Tablo 4.7. 20 MW fotovoltaik tesisin kurulum maliyeti.....	90
Tablo 4.8. HOMER Fotovoltaik Sistemler için ekonomik analiz.	93



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Toplam dünya elektrik enerjisi üretimi [6].	5
Şekil 1.2. Teknolojiye göre yenilenebilir elektrik enerjisi üretimi [6].	6
Şekil 1.3. Nijer'in güneş enerjisi potansiyeli [10].	8
Şekil 1.4. Nijer'in rüzgâr enerjisi potansiyeli [10].	9
Şekil 2.1. Fotovoltaik panellerin farklı kullanımları [34].	19
Şekil 2.2. Elektrik enerjisi santralinde fotovoltaik panellerin yerleşimi [34].	19
Şekil 2.3. Fotovoltaik panellerin farklı kullanımları [36].	20
Şekil 2.4. Silikon kristal üretimi [38].	21
Şekil 2.5. Soğutulmuş ingotun kesilmesi ve taşlanması [36].	21
Şekil 2.6. Silisyum külçelerin doğrudan katılaştırılması [36].	22
Şekil 2.7. FV P-N hücreleri.	23
Şekil 2.8. Bölünmüş hücreli güneş paneli [40].	24
Şekil 2.9. Farklı güneş hücresi türleri [41].	25
Şekil 2.10. Merkezi inverter.	28
Şekil 2.11. Mikro inverter [44].	29
Şekil 3.1. Bir güneş hücresinin elektriksel modeli [45].	40
Şekil 3.2. Tek diyot modeli [18].	41
Şekil 3.3. FV hücresinin akım-gerilim karakteristiği [45].	44
Şekil 3.4. Güneş radyasyonunun FV hücrelerinin gerilimi ve akımı üzerindeki etkisi.	47
Şekil 3.5. Radyasyonun güç üzerindeki etkisi [48].	48
Şekil 3.7. Farklı radyasyon koşullarında maksimum güç noktası [62].	51
Şekil 3.8. Maksimum güç noktası izleme süreci [62].	52
Şekil 3.9. Pertürbasyon ve gözlem algoritmaları (P&O) [62].	54
Şekil 3.10. Pertürbasyon ve gözlem algoritmaları diyagramı [23].	54
Şekil 3.11. Yapay sinir ağlarına dayalı yöntemler(YSA) [48].	58
Şekil 3.12. Tek eksenli güneş takip sistemi [81].	61
Şekil 3.13. İki eksenli güneş takip sistemi [81].	61
Şekil 3.14. Düz yansıtıcı(a) ; Fresnel yansıtıcı(b).	63
Şekil 3.15. Güneş hücresinin eşdeğer devresi.	65
Şekil 3.16. Gerilim-akım eğrisi.	66
Şekil 3.17. Gerilim-güç eğrisi.	66
Şekil 3.18. Akım- gerilim MPPT ile bağlantısı.	67
Şekil 3.19. MGN izlemesi.	67
Şekil 4.1. Şebekeye bağlı FV sistemleri [48].	71
Şekil 4.2. Fotovoltaik paneller arasındaki mesafenin değerlendirilmesi [45].	83

Şekil 4.3. Farklı eğim açıları için modül yüzeyindeki sıcaklık : (a) 15°, (b) 15°, (c) 35° [34].....	84
Şekil 4.4. HOMER güneş enerji benzetimi.....	93
Şekil 4.5: İki baralı ağ.....	94
Şekil 4.6: Niamey şehri dağıtım şebekesinin tek hat şeması.	97
Şekil 4.7. Çeşitli baralardaki gerilim eğilimleri.	99



GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE VERİMLİLİK ANALİZİ: NİJER GÜÇ SİSTEMİ UYGULAMASI

ÖZET

İklim değişikliği ve küresel ısınma, mümkün olan en düşük karbon salınımıyla daha temiz enerji üretimi ve tüketimini tetiklemiştir. Nükleer enerjinin yanı sıra yenilenebilir enerji kaynakları da bu hedefe ulaşmak için uygun yöntemlerdir. Nükleer enerji güvenlik nedeniyle pek çok devlet tarafından rağbet görmese de yenilenebilir enerjiler için bu durum tam tersidir. Yenilenebilir enerjilerin toplam kurulu gücü son yıllarda, özellikle de Kyoto anlaşmasının imzalanması ve "net-sıfır" karbon nötrlüğüne ulaşmayı amaçlayan Paris anlaşmasından bu yana muazzam bir artış göstermiştir. Ancak Nijer gibi ülkeler için yenilenebilir enerjiler ve özellikle de güneş enerjileri sadece elektrik üretiminin en çevre dostu yolu değil, aynı zamanda ulusal enerji üretimlerini en düşük maliyetle artırmanın da en etkili yoludur. Nijer, güneş enerjisi için ideal coğrafi konuma ve Niamey nehri boyunca iyi bir su akışına sahip olmasına rağmen, komşusu Nijerya'nın elektrik ihracatına büyük ölçüde bağımlıdır. Yenilenebilir enerjiler Nijer'in enerji kullanımında çok mütevazı bir paya sahiptir. Güneş ve rüzgâr enerjisi çoğunlukla köylerde ve elektrik şebekesinden uzak bölgelerde merkezi olmayan enerji üretim kaynakları olarak kullanılmaktadır. Nijer'in ilk ve tek güneş enerjisi santrali MALBAZA bölgesinde bulunmaktadır ve 7 MW kapasiteye sahiptir. Güneş enerjisi, elektrik kesintilerinden kaynaklanan enerji açığını kapatmak için elektrik şebekelerine ek olarak çoğunlukla evlerde kullanılmaktadır. Rüzgâr türbinleri, Nijer'in belirli bölgelerdeki iyi rüzgâr koşullarına rağmen esas olarak su pompalamak ve tarım arazilerini sulamak için kullanılırken henüz elektrik üretimi için kullanılmamaktadır. Buna ek olarak 2025 yılına kadar tamamlanması beklenen ve tahmini toplam 130 MW'lık bir üretime sahip bir hidroelektrik baraj projesi de devam etmektedir. Ayrıca Nijer'de elektrik üretim kapasitesini artırmak için güneş enerjisine olan ilgi giderek artmakta ve ülkede mevcut olan farklı yenilenebilir kaynaklardan yararlanmak için çeşitli projeler yürütülmektedir.

Bu tezde, Nijer'in iklim ve çevre koşullarında güneş enerjisi tesislerinin verimliliği üzerine bir çalışma ve analiz gerçekleştirilmiştir. Güneş ışıınımı, rüzgâr, gölgeleme ve sıcaklık gibi güneş hücrelerinin verimliliğini etkileyen ana iklim faktörleri analiz edilmiştir. Bir güneş sistemi tasarlanırken, fotovoltaiik hücrelerin verimini en üst düzeye çıkarmak için akıllıca bir ekipman seçimi yâhücremalıdır. Güneş hücreleri büyük ölçüde güneş ışıınımına bağımlıdır. Zayıf bir ışıınım, güneş hücreleri tarafından sağlanan toplam gücü azaltacaktır. Tıpkı güneş radyasyonu gibi, toz ve gölgeleme de fotovoltaiik hücrelerin verimliliği üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Bu nedenle güneş enerjisi sistemlerinin bu farklı parametreler göz önünde bulundurularak kurulması ve güç çıkışını optimize etmek için ideal yöntemler kullanılması gerekir. Tipik olarak, güneş fotovoltaiik sistemlerinde kullanılan kontrolörler, güneş hücrelerinin gün boyunca mümkün olan maksimum miktarda enerji üretmesini sağlayan güç noktası izleme sistemlerini içerir. Her biri kendi avantaj ve dezavantajlarına sahip çeşitli maksimum güç noktası izleme yöntemleri vardır. Bu tezde maksimum güç noktası

takibinin ana yöntemleri incelenmiş ve işleyiş biçimleri açıklanmıştır. Maksimum güç noktasını izlemenin çok yönlü ve en basit yöntemi, güneş enerjisi tesislerinde de en yaygın olarak kullanılan P&O (perturb and observe – değiştir ve gözle) yöntemidir.

Dış çevre faktörleri güneş hücrelerinin verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğundan enerji santralının yeri iyi seçilmelidir. Özellikle güneş ışıınımı ve iklim koşullarının gelişimine ilişkin olarak bölgenin teknik açıdan incelenmesi gereklidir. Güneş ışıınımı doğrudan çeşitli veri tabanlarından elde edilebilir ancak bu veriler her zaman güneş ışıınımının gerçek değerini tam olarak temsil etmez. Güneş panelleri tarafından alınan güneş ışıınımını elde etmek için, dağınık güneş fraksiyonu ve/veya dağınık güneş katsayısı gibi bazı parametrelerin güneş ışıınımının nihai değerlendirmesine dahil edilmesi gerekir. Parlaklık indeksi, güneş ışıınımının bir kesri olarak ifade edilir. Parlaklık indeksi küresel güneş ışıınımının (H) dünya dışı güneş ışıınımına (H_0) bölünmesiyle, güneşlenme oranı güneşlenme saatlerinin (S) maksimum güneş ışıınımı saatlerine (S_0) bölünmesiyle ve dağınık fraksiyon ise dağınık güneş ışıınımının (H_d) küresel güneş ışıınımına (H) bölünmesiyle elde edilir. Yaygın radyasyonu belirlemenin en yaygın yöntemlerinden biri (H/H_0) veya (S/S_0) katsayılarını kullanmaktır.

Güneş panellerinin her zaman etkin bir şekilde güneşe doğru yönlendirildiğinden emin olmak da önemlidir. PV panellerin her zaman güneşe doğru yönlendirildiğinden emin olmak için sistem, “Tracker” adı verilen güneş takip sistemleri ile donatılmalıdır. Tracker adı verilen bu sistemler, gün boyunca güneşi doğudan batıya doğru takip eden tek eksenli izleyici, yatay tek eksenli izleyici ve eğik eksenli izleyiciyi içerir. Güneş radyasyonundan gelen maksimum enerji, tek eksenli izleme modunda silindirik antenler gün ortasında güneş ışınlarına dik tutulduğunda korunabilir. Güneş ışınlarının silindirik kabul düzlemine göre eğimi ve kosinüs etkisi nedeniyle güneş radyasyonu enerjisi azalır. Yılın mevsimleri boyunca gün içerisinde güneşi doğudan batıya ve kuzeyden güneye takip eden çift eksenli izleme cihazlarıyla mümkün olur. Çift eksenli takip, güneşi bir derece hassasiyetle takip eden iki doğrusal aktüatör motoru tarafından sağlanır.

İhtiyaçlara veya kısıtlamalara bağlı olarak, fotovoltaik tesisler elektrik şebekesine bağlanabilir. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerin toplam gücü son yıllarda istikrarlı bir şekilde artmıştır ve şu anda toplam kurulu fotovoltaik gücün büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemler, kurulu toplam güce bağlı olarak seri veya paralel bağlanmış ve bir veya daha fazla invertöre bağlanmış güneş panellerinden oluşur. Bir fotovoltaik sistem kurulduktan sonra çok az bakım gerektirir ve genellikle arıza sayısı oldukça azdır. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistem, önleyici bakım gerektirmediği için en basit teknik işleme sahip yenilenebilir enerji sistemidir. Üretilen elektrik, sahanın tüketimi için elektrik tedarikinde olduğu gibi otomatik olarak şebekeyi besler. Basit izleme sistemdeki herhangi bir arızayı tespit edebilen sensörler, insan müdahalesinin gerekli olabileceği bazı sahalar dışında, rüzgâr ve yağmur tarafından doğal olarak temizlenir. Ancak ortalama ömrü 8 ila 12 yıl olan invertörün takibi yahücrearak değiştirilmesi gerekmektedir. Elektrik şebekesine bağlı olmayan tesislerin kurulumu bağlı olanlara görece daha basittir. Santral elektrik şebekesine bağlanacaksa, şebekeyle frekans senkronizasyonu, reaktif güç kontrolü ve kararlılık kontrolü gibi bir dizi önlemin alınması gerekir.

Bu tezde, farklı çevresel faktörler ve güneş radyasyonu dikkate alınarak bir güneş enerjisi santralının kurulumu adım adım gerçekleştirilmiştir. Kurulumun ekonomik

analizi önce matematiksel olarak, daha sonra da Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı tarafından geliştirilen bir yenilenebilir enerji simülasyon programı olan HOMER kullanılarak önerilmiştir. Işınım ve ortam sıcaklığının güneş panellerinin güç ve gerilim çıkışı üzerindeki etkisi, Matlab Simulink'te fotovoltaik hücrelerin matematiksel modellemesi kullanılarak analiz edilmiştir.

Fotovoltaik teknolojilerin gelişimi, güneş enerjisi santrallerinin kurulmasını ve elektrik şebekesine entegre edilmesini büyük ölçüde kolaylaştırmıştır. Ancak yeni bir enerji kaynağının mevcut bir elektrik dağıtım şebekesine entegre edilmesi dağıtım şebekesinde bir dizi aksamaya neden olarak kayda değer ölçüde verim kaybına yol açmaktadır. Bu nedenle, bir fotovoltaik güneş enerjisi santrali kurmadan önce, şebekedeki güç kayıplarını ve gerilim transferlerini önlemek için elektrik şebekesinde en uygun konumu belirlemek önemlidir.

Niamey bölgesinde merkezi olmayan bir güneş fotovoltaik enerji santralinin entegrasyonu için ideal konumları belirlemek amacıyla elektrik dağıtım şebekesi üzerinde farklı konumlara bağlı iki elektrik jeneratörünün analizi yapılmıştır. Optimum konumun değerlendirilmesi genel optimizasyon algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilmiş ve ardından güç aktarımı MATPOWER kullanılarak tahmin edilmiştir. Tüm sistem 34 düğümden oluşan IEEE modeline göre referanslamıştır. Sistem, şebeke gerilimi 0,95 ile 1,05 arasında tutularak 3 farklı düğüm üzerinde simüle edilmiştir. Analiz sonuçları; 16, 23 ve 15 numaralı baralara yeni enerji kaynakları ekleyerek şebeke gerilimini iyileştirmenin mümkün olduğunu göstermektedir.



EFFICIENCY ANALYSIS IN SOLAR ENERGY SYSTEMS : NIGER POWER SYSTEM APPLICATION

SUMMARY

Climate change and global warming have prompted the need for cleaner energy production and consumption, with the lowest possible carbon emissions. Along with nuclear power, renewable energies are the most appropriate methods of achieving this goal. If nuclear energy is not too popular with many countries for security reasons, this is completely the opposite for renewable energies. In fact, the total installed capacity of renewable energies has grown enormously in recent years, especially since the signing of the Kyoto treaty and the Paris agreement aiming for "net-zero" carbon neutrality. However, for countries like Niger, renewable energies, and more specifically solar energies, are not only the most environmentally-friendly means of producing electricity, they are also the most effective way of increasing their national energy production at the lowest cost. Indeed, Niger is heavily dependent on electricity exports from its neighbor Nigeria, despite its ideal geographical position for solar energy and the good hydraulic flow along its river. Renewable energies account for a very modest share of Niger's energy mix. Solar and wind power are mainly used as decentralized sources of energy production in villages and areas far from the power grid. Niger's first and only solar power plant is located in the MALBAZA region and has a capacity of 7 MW. However, solar energy is mainly used in domestic households, in addition to the electricity grids, to make up for the energy deficit caused by power cuts. Wind turbines are not yet used for electricity production, despite the good wind conditions in certain regions of Niger. Wind turbines are mainly used for pumping water and irrigating farmland. A hydroelectric dam project is also underway, with an estimated total output of 130 MW, to be completed by 2025. To increase its electricity production capacity, Niger is increasingly interested in solar energy, and several projects are underway to take advantage of the different renewable resources available in the country.

In this thesis a study and analysis of the efficiency of solar installations in general and in the climatic and environmental conditions of Niger was carried out. The main climatic factors impacting solar cell efficiency such as solar irradiation, wind, shading and temperature were analyzed. Depending on needs or constraints, photovoltaic installations may or may not be connected to the electricity grid. When designing a solar system, it's important to choose the right equipment to maximize the efficiency of the photovoltaic cells. Solar cells are highly dependent on solar radiation. A poor beam will reduce the total power delivered by the solar cells. Like solar radiation, dust and shading have a strong impact on the efficiency of photovoltaic cells. So solar systems need to be installed with these parameters in mind, and methods for optimizing power output need to be employed. Typically, the controllers used in photovoltaic solar systems include power point tracking systems, enabling the solar cells to produce the maximum possible energy on any given day. There are several types of maximum power point tracking, each with its own advantages and disadvantages. The main

methods of tracking the maximum power point have been studied and their operation explained in this thesis. The most versatile and simplest method of tracking the maximum power point is the P&O method, which is also the most widely used in solar installations.

It's also important to ensure that the solar photovoltaic panels are always effectively oriented towards the sun. To ensure that the FV panels are always oriented towards the sun, the system must be equipped with solar tracking systems called TRACKERS. The uniaxial tracker, which follows the sun from east to west throughout the day, includes the horizontal uniaxial tracker and the oblique-axis tracker. In uniaxial tracking mode, maximum solar radiation energy can only be maintained when the cylindrical antennas are kept perpendicular to the sun's rays at midday. Solar radiation energy is reduced due to the inclination of the sun's rays to the cylindrical acceptance plane and the cosine effect. Biaxial tracking devices that follow the sun from east to west during the day and from north to south during the seasons of the year. Biaxial tracking is provided by two linear actuator motors that follow the sun with an accuracy of one degree. During the day, it follows the sun from east to west.

As external environmental factors have a major impact on the efficiency of solar cells, the location of the power plant must be well chosen. In general, a technical study of the area is necessary, especially concerning the evolution of solar irradiation and climatic conditions. Solar irradiance can be obtained directly from various databases, but these data do not always accurately represent the true value of solar irradiance. To obtain the solar irradiance received by solar panels, certain parameters such as the diffuse solar fraction and/or the diffuse solar coefficient need to be introduced into the final solar irradiance evaluation. The brightness index is expressed as a fraction of the solar irradiance. The brightness index is the global solar irradiance (H) divided by the extraterrestrial solar irradiance (H_0), the sunshine rate is the number of hours of sunshine (S) divided by the maximum number of hours of solar irradiance (S_0) and the diffuse fraction is the diffuse solar irradiance (H_d) divided by the global solar irradiance (H). One of the most common methods of determining diffuse radiation is to use the coefficients (H/H_0) or (S/S_0).

Grid-independent systems are simpler to install, and are generally used in locations not close to the electricity grid. They are also widely used in urban areas, and in some countries benefit from subsidies for their installation. They are generally accompanied by batteries to ensure autonomy even in times of poor solar irradiation or at night. The installation of solar power plants is a little more complex and requires a good knowledge of the installation site. If the center is to be connected to the grid, a number of precautions need to be taken, such as frequency synchronization with the grid, reactive power control and stability control. Solar power plants are generally not installed with battery storage because of the high cost and rapid deterioration of batteries. Our results show that for an ideal photovoltaic installation, i.e. without taking environmental factors into account, 7 units of 400W solar panels would be needed to meet the energy requirements of a 14440W/h installation. However, 9 units of 400W photovoltaic panels would be needed for the same installation if shading and dust are taken into account. A 20MW installation under the solar irradiation conditions of the city of Niamey shows good energy efficiency, and the plant can pay for itself in 7 years.

In this thesis, the step-by-step installation of a solar power plant, taking into account the different environmental factors and solar radiation, has been carried out. An economic analysis of the installation was proposed first mathematically and then using HOMER, a renewable energy simulation program developed by the International Renewable Energy Agency. The impact of irradiation and ambient temperature on the power and voltage output of the solar cells was analyzed by mathematical modeling of the photovoltaic cells using Matlab Simulink.





1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi, yaşam koşullarının geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için merkezi ve vazgeçilmez unsurlardan biridir. Tüm faaliyet alanları ister sağlık sektörü ister gıda, hayvancılık veya ulaşım sektörü olsun, hepsi doğrudan veya dolaylı olarak elektrik enerjisine bağlıdır. Elektrik üretiminde yenilenebilir enerjinin katkısı fark edilmeden önce, elektrik üretimi ağırlıklı olarak kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar kullanan enerji santralleri tarafından sağlanıyordu. Ancak ilk petrol krizinin petrol fiyatlarının yükselmesine neden olmasından bu yana, pek çok ülke enerji üretimi için alternatif çözümler bulmak zorunda kalmıştır. Fosil yakıtları hammadde olarak kullanan enerji santralleri; kolay uygulanabilir, kolay işletilebilir ve enerji verimliliğinin yüksek olması gibi özellikleri sahiptir. Sonuç olarak dünya genelinde enerji üretiminin ana kaynağı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Öte yandan fosil yakıtlar son derece kirlotici olup CO₂, CO, SO₂ ve (NO)_x gibi çeşitli sera gazı emisyonlarının kaynağıdır ve bu da bugün yaşadığımız küresel ısınma ve iklim değişikliğine neden olmaktadır. Ayrıca bu enerji santrallerinin sayısı dünya çapında oldukça dengesiz bir şekilde dağılmıştır ve bu da genellikle jeopolitik sorunlara neden olmaktadır. Fosil yakıt rezervlerinin özellikle de petrol ya da gazın önümüzdeki yıllar içinde tahmin edilen bir hızla azalmasıyla birlikte tükeneyeceği öngörülmekte ve bu fosil yakıtlara alternatif olarak da diğer enerji kaynaklarına yönelim her geçen gün artmaktadır.

Küresel ısınma ve iklim değişikliği birçok gelişmiş ve sanayileşmiş ülke için endişe kaynağıdır. Bunun için öncelikle sera gazı emisyonlarını azaltmak ve ayrıca elektrik enerjisi üretiminin veya tüketiminin daha ekolojik yollarını bulmak için çeşitli alternatif yollar yoğun bir şekilde araştırılmaktadır. Bunun bir sonucu olarak da araştırmalar yenilenebilir enerjiye doğru kaymaktadır. Bu enerji santrallerinin kurulumu ve imalatları sırasında çoğunlukla sera gazına sebep olsalar da enerji üretimleri sırasında sera gazı emisyonu üretmedikleri, iyi bir karbon geri ödeme süresine sahip oldukları için yeşil enerji olarak adlandırılırlar [1].

Kyoto Protokolü, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesini tamamlayan ve sera gazı emisyonlarını azaltmayı amaçlayan uluslararası bir anlaşmadır. 1997 yılında Japonya'nın Kyoto şehrinde imzalanan ve 2005 yılında yürürlüğe giren bu protokolün amacı, sera gazı emisyonlarını 2008-2012 yılları arasında 1990 yılına göre %5 azaltmaktır. İlk müzakereler sırasında Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Rusya, Avustralya ve Kanada gibi sera gazlarının büyük çoğunluğunu yayan ülkeler protokolü imzalamıştı. Ancak sera gazı emisyonlarının kota sınırına karşı çıktılar ve kendileriyle gelişmekte olan ülkeler arasında adil bir kota istediler. Böylece zengin ülkeler ve G7 ülkeleri arasında “emisyon haklarının” yeniden satılmasını sağlayan bir seçenекle birlikte, nihai anlaşma önerilen emisyon azaltım kotaları aşağı doğru yenilendi [2].

Yenilenebilir enerjilerin çoğu için hammadde kaynakları sınırsızdır çünkü bunlar dünyanın her yerindedir ve sürekli yenilenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çoğu doğrudan veya dolaylı olarak güneşe bağlıdır. Tabii ki tüm yenilenebilir kaynaklar mutlaka güneşe bağlı değildir, örneğin gelgit enerjisi güneş ve ay arasındaki sürekli çekimden kaynaklanır, ayrıca okyanus dalgaları, rüzgarlar ve gelgitler ve ısı farkı okyanusun yüzeyi ile dibi arasında da bir enerji kaynağı olarak kullanılabilecek enerjiyi ortaya çıkarır.

Rüzgâr veya güneş enerjisine dayalı yenilenebilir enerjiler, güneş santralleri veya rüzgâr çiftlikleri şeklinde MW'lık büyük enerji üretim santralleri olabileceği gibi binalara ve evlere entegre edilmiş küçük güçte de tesis edilebilir. Güneş enerjisi teknolojisi, hareketsizliği, boyutu ve fotovoltaik panellerin ağırlığı nedeniyle çok daha fazla kullanılmaktadır. Ek olarak günümüzde yeni fotovoltaik paneller, mimarların büyük binaların planlarında giderek daha sık kullanmasına olanak tanıyan özel tasarımlara sahiptir. Düşük güçlü rüzgâr türbinleri de iyi enerji verimlilikleri nedeniyle bina entegrasyonunda sıklıkla kullanılmaktadır.

1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

1.1.1. Rüzgâr enerjisi

Rüzgâr türbinleri, türbinlerin kanatları sayesinde rüzgârın kinetik enerjisini mekanik enerjiye ve daha sonra rüzgâr türbinine monte edilen jeneratör sayesinde elektrik enerjisine dönüştürür. Rüzgâr türbinleri iki gruba ayrılır. Bunlar dikey eksenli türbinler

ve yatay eksenli türbinlerdir. Rüzgâr türbinlerinin yüksek yatırım maliyeti, düşük kapasite faktörü ve değişken enerji üretimi gibi dezavantajları olsa da sahip olduğu avantajlar daha önemlidir. Öncelikle temiz ve tükenmez bir birincil kaynak kullanırlar, ikincisi geleneksel enerji santrallerine rakip olan bir üretim ve işletme maliyeti, ardından iyi bir enerji verimliliğine ve nispeten düşük bir kurulum ve işletme süresine sahiptirler [3]. Rüzgâr türbinlerinin enerji potansiyeli, büyük ölçüde türbinin boyutuna ve kanatların uzunluğuna bağlıdır. Teorik olarak rüzgâr hızı iki katına çıktığında rüzgâr türbinlerinin potansiyeli sekiz katına çıkar [4].

1.1.2. Hidrolik veya hidroelektrik enerji

Hidrolik barajlar, akan suyun potansiyel enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. Nehir veya barajdan gelen su jeneratörleri çeviren türbinlere gönderilir. Jeneratörler tarafından üretilen enerjinin miktarı büyük ölçüde su akışına bağlıdır, bu nedenle hidrolik santralin kurulacağı yerlerin dikkatlice seçilmesi gerekir. Mevcut hidroelektrik santral türleri; akarsu tipi, barajlı ve gel-git ve depresyon hidroelektrik santrallerdir. Uzun ömürlü olmaları, iyi enerji verimliliği ve bakımları, hidroelektrik santrallerini teknolojik olarak en gelişmiş yenilenebilir enerji kaynakları haline getirmektedir [4].

1.1.3. Jeotermal enerji

Jeotermal enerji santralleri, geleneksel termik santraller gibi çalışır, yani suyun buhara dönüştürülmesi için su ısıtılır ve daha sonra ısınmış su elektrik enerjisi üreten bir jeneratöre bağlı türbinleri döndürür. Bunun dışında jeotermal santraller, yer kabuğunun derinliklerinde biriken su buharı, gaz ve sıcak, kuru kayalarda bulunan termal enerjiyi de kullanır. Jeotermal enerjiler elektrik enerjisi üretiminin yanı sıra evsel veya endüstriyel ısıtma olarak ve kaplıcalarla fizik tedavi için de kullanılmaktadır.

1.1.4. Biyokütle enerjileri

Biyokütle enerjisi elde etmek için kullanılan birincil kaynaklar genellikle bitki atıkları (çoğunlukla tarım alanlarından), hayvan veya insan atıkları ve endüstriyel atıklardır. İlk aşamada, moleküler ağırlığı yüksek katı ve çözünmüş organik maddeler (Selüloz, Nişasta, hemiselüloz, Yağ, Protein vb.) bakterilerin hücre dışı enzimleri tarafından

hidrolize edilir ve daha düşük moleküler ağırlıklı organik maddelere dönüştürülür. Asit üretiminde ikinci adım, düşük moleküler ağırlıklı organik maddelerin asidik bakteriler tarafından çeşitli esansiyel yağ asitlerine ve daha sonra asetik aside dönüştürülmesidir. Son aşamada metan CH_4 üretimi, asit üretim aşamasında üretilen asetik asidin bozulması veya CO_2 ve H_2 'nin sentezi ile gerçekleşir [5]. Elde edilen metan, evsel veya endüstriyel yakıt olarak veya elektrik enerjisi üretimi için kullanılabilir. Biyokütle enerjisi üretimi için gerekli birincil kaynaklar yenilenebilir olsa bile, biyokütle dönüşüm sürecinin sonunda hasat edilen metan gazının sera gazı üretmesi ve bu nedenle kullanılmaları sırasında küresel ısınmaya sebep olması, biyokütle enerjisinin geri planda kalmasına neden olmuştur. Dolayısıyla biyokütle enerjileri yeşil enerji sayılmamaktadır [3].

1.1.5. Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, güneş ışınlarının toplanıp daha sonra elektriğe veya ısıya dönüştürülmesinden oluşur, buna aktif güneş teknolojisi denir. Pasif güneş teknolojileri, ışık ve termal enerjiyi başka bir güce dönüştürmeden güneş ışınlarını toplamaktan oluşur. Elektrik enerjisi üretimi için en çok kullanılan güneş teknolojileri, güneş ışınlarından gelen ışığı fotovoltaik hücreler aracılığıyla elektriğe dönüştüren fotovoltaik panellerdir.

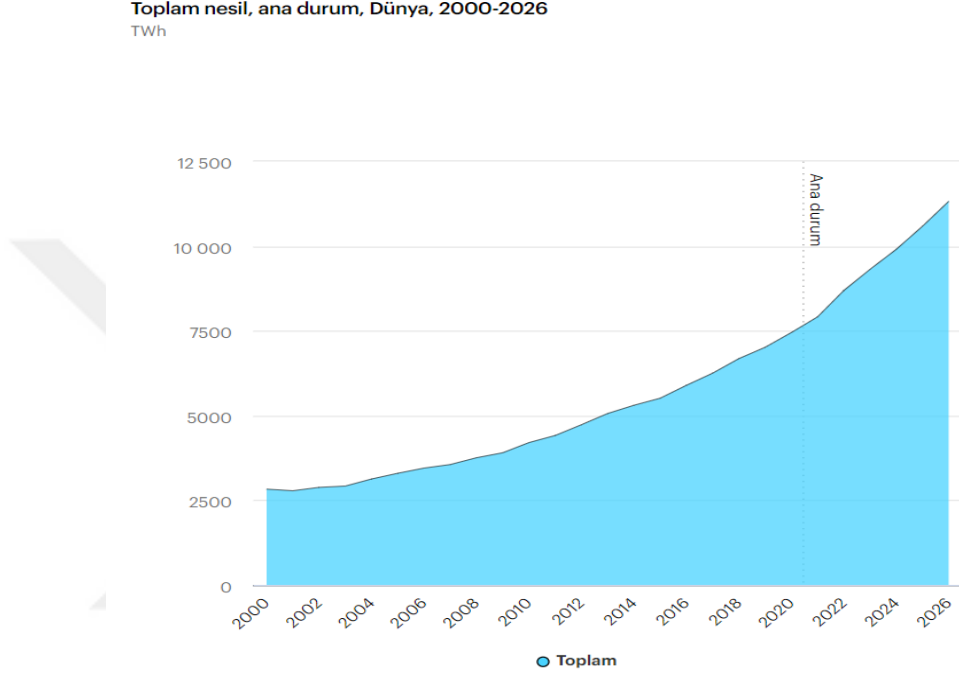
1.1.6. Deniz veya okyanus enerjisi

Denizden veya okyanustan elde edilen tüm yenilenebilir enerjiye okyanus enerjisi denir. Gelgit enerjisi, dalga enerjisi ve okyanus termal enerjisi, okyanus enerjilerini oluşturan ana gruplardır. Dalga enerjisi, okyanus dalga enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle üretilir. Gelgit enerjisi, gelgit hareketini aktive ederek üretilir. Gelgitler, deniz seviyesindeki dikey dalgalanmalara karşı yatay su hareketini ve potansiyel enerjiye karşı kinetik enerjiyi içerir. Okyanusun yüzeyi ile okyanusun derinlikleri arasındaki sıcaklık farkı, başka bir yararlı enerji biçimini toplamak için dönüştürülür [3].

1.2. Yenilenebilir Enerjilerin Dünyadaki Durumu

AEI (American Enterprise Institute) tahminlerine göre, 2021 ve 2026 arasındaki yıllık küresel yenilenebilir enerji kapasitesi ilavelerinin, son beş yılda yenilenebilir enerjinin

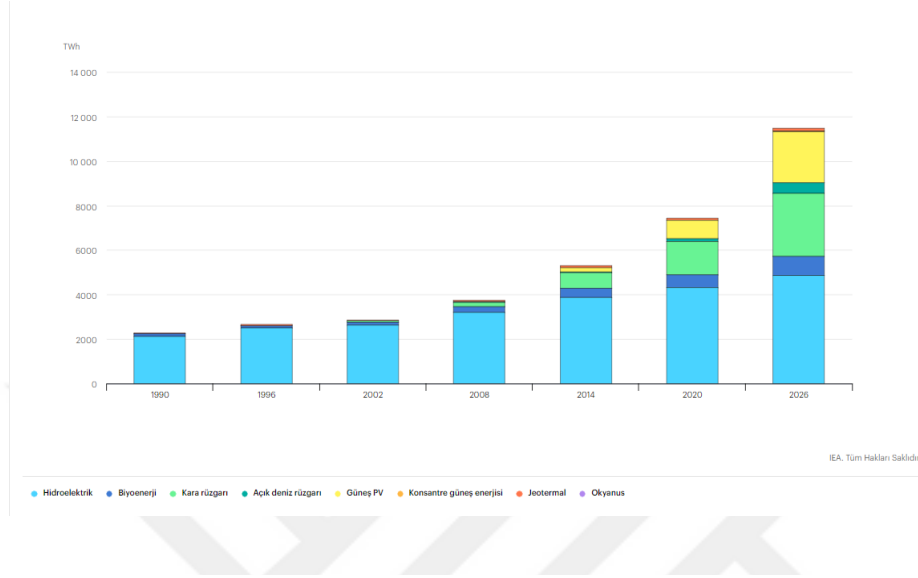
genişlemesinden yaklaşık %60 daha yüksek olan 305 GW'a ulaşması beklenmektedir. Bu genişleme, dünyada 130 ülke tarafından desteklenen net sıfır karbon hedefleri ve güneş fotovoltaik ve rüzgâr enerjisi teknolojilerinin fiyatlarının rekabet gücü ile açıklanabilir. Bununla birlikte yenilenebilir enerjiler, artan emtia ve elektrik fiyatları ve hammadde tedarik sorunlarının yanı sıra finansman, sosyal kabul ve şebeke entegrasyonu gibi birtakım sorunlarla karşı karşıyadır [6].



Şekil 1.1. Toplam dünya elektrik enerjisi üretimi [6].

Brezilya, Amerika Birleşik Devletleri, Çin ve Türkiye'deki şiddetli kuraklık koşulları, küresel hidroelektrik üretimini sınırlandırarak 2001'den beri gözlemlenen yıllık artışı sona erdirdi. 2021'de dünyada rüzgâr türbinlerinin %14 veya yaklaşık 220 TWh artması bekleniyordu ancak Avrupa Birliği'nin zayıf rüzgâr koşulları nedeniyle rüzgâr üretiminde %3 düşüş görmesi beklenmektedir. Yenilenebilir kaynaklarının 2026 yılına kadar küresel elektrik üretiminin yaklaşık %37'sini oluşturarak en büyük üretim kaynağı olması beklenmektedir. Güneş ve rüzgâr yenilenebilir enerjilerinin üretimi iki katından fazla artarak, yenilenebilir enerji sektöründeki payları küresel üretimin yaklaşık %18'ine ulaşarak hidroelektrik enerjisini geride bırakmıştır. Açık deniz rüzgârı, önümüzdeki beş yıl içinde tüm yenilenebilir enerji kaynakları arasında en hızlı büyümeyi (%240) yaşayarak ve 2026 yılına kadar toplam üretimin %1,5'ine ulaşması beklenmektedir [6]. 2020 yılı itibari ile ülkelerin enerji potansiyelleri ve pazar payları

değerlendirildiğinde, Çin, 281993 MW kurulu gücü ile rüzgâr enerjisi açısından dünyanın en büyük payına sahiptir. Amerika Birleşik Devletleri (117.744 MW) ikinci, Almanya (62.184 MW) üçüncü sırada yer alıyor. Türkiye (9.253 MW) en düşük paya sahip ülkeler arasında yer almakta ve Avrupa'da 7., dünyada 13. Sıradadır [3].



Şekil 1.2. Teknolojiye göre yenilenebilir elektrik enerjisi üretimi [6].

Genel olarak, güneş enerjisi tek başına tüm yenilenebilir kapasite ilavelerinin ve yaklaşık 1.100 GW'nin faaliyete geçmesiyle birlikte yaklaşık %60'ını oluşturuyor. Solar FV kapasitesinin önümüzdeki beş yıldaki genişlemesinin, önceki beş yılın neredeyse iki katı olması bekleniyor. Büyük ölçekli projeler, küresel olarak tüm güneş FV ilavelerinin %60'ından fazlasını sağlamaya devam ediyor.

2008 ve 2018 yıllarında neredeyse tüm AB ülkelerinde elektrik talebi yıldan yıla artmıştır. Norveç'te (2018'de %106,82) ve İzlanda'da (2018'de %98,50) elektrik enerjisi üretimi ve tüketimi esas olarak yenilenebilir enerjilerden gelmektedir. 2020'de Avrupa'nın yenilenebilir enerjilerden enerji üretimi ilk kez fosil yakıtlardan sağlanan elektrik üretimini geçti. Elektrik üretiminde fosil yakıtlar %37'ye düşerken, yenilenebilir enerji kaynakları %38'e yükselmiştir.

1.3. Nijer'in Enerji Durumu

Nijer, önemli uranyum rezervlerine sahiptir. Buna ek olarak yaklaşık 90 milyon ton olarak tahmin edilen önemli maden kömürü rezervleri de mevcut olup 2011'den itibaren bölgedeki gaz yataklarından ve petrolden de yararlanılmaya başlanılmıştır.

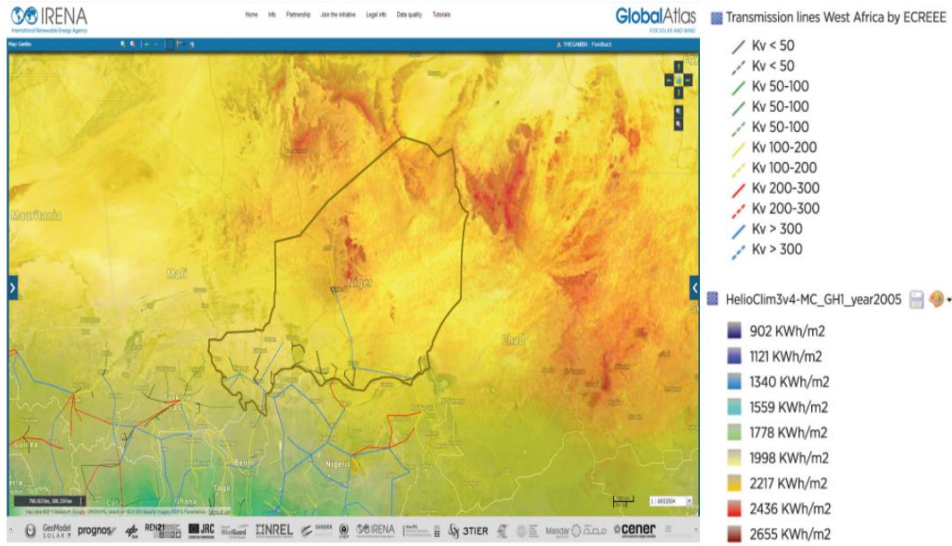
Çoğunlukla çöl iklim rejimine sahip olan Nijer, güneş ışınımı için çok yüksek bir potansiyele ve oldukça iyi bir rüzgâr potansiyeline sahiptir. Nijer'in yenilenebilir enerji kaynaklarından biri, Nijer Nehri'nin iyi bir akış hızına sahip hidrolik enerji potansiyelidir. Ancak tüm bu potansiyel ve enerji kaynaklarına rağmen Nijer, elektrik üretimi için komşusu Nijerya'ya oldukça bağımlıdır. Nitekim Nijer, elektrik tüketiminin %70'inden fazlasını Nijerya'dan ithal etmektedir.

2003 yılında Nijer'de toplam elektrik enerjisi tüketimi 465 GWh'dır. Bunun %40'ı Nijer'de üretilen geri kalan %60'ı Nijerya'dan ithal etmektedir [7]. 2020'de elektrik tüketiminin 1.450 gigawatt saat (GWh) olduğu ve elektrik ithalatının toplam tüketimin yaklaşık %75'i olduğu hesaplanmaktadır. Yerli üretimin %99'u Nijer Eyaleti'ne ait olan Nigerien Electricity Company (Nigelec) ve Nijeren Coal Company (Sonichar) tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu iki şirket, 2020'de sırasıyla 269 GWh ve 64,5 GWh enerji üretmiş, bu üretim ağırlıklı olarak yakıttan, ülkenin kuzeyindeki kömürden üretilmektedir [8].

Sürdürülebilir kalkınma için enerjinin öneminin farkında olan Nijer, Birleşmiş Milletler “Herkes için Sürdürülebilir Enerji” (SEforALL) girişimine katılmıştır. Bu program, 2030 yılına kadar modern enerji hizmetlerine evrensel erişimi sağlamayı; yenilenebilir enerjilerin küresel enerji karışımındaki payını ve enerji verimliliğindeki iyileşme oranını iki katına çıkarmayı hedeflemektedir. 2015 yılında Nijer, “2030 yılına kadar SEforALL, Herkes için Sürdürülebilir Enerji Gündemi Eylem Planı’nı (PAN/SEforALL NIGER) geliştirerek onaylamıştır. Nijer'deki SEforALL Eylem Gündemi, ulusal elektrifikasyon oranını 2030 yılına kadar %65'e (şu anda %13) yükseltmek; biyokütle hariç, ulusal enerji ihtiyacının %30 yenilenebilir enerjiden karşılama hedefini koymuştur. Ulusal Erişim Stratejisine (SNAE) gelince, 2035'te elektrik tüketiminin %85'ini ulusal şebekede (NIGELEC), %5'ini mini şebekelerde ve %10'unu dağıtılmış çözümlerle öngörmektedir. Ayrıca ağ ve mini ağlardan yararlanan lokasyonlarda %81, dağıtık çözümlerle ilgili lokasyonlarda %70 erişim oranını hedeflemektedir [9].

Nijer Ulusal İstatistik Enstitüsü'nün tahminlerine göre, yılda %3.9 olarak tahmin edilen nüfus artışı göz önüne alındığında, Nijer'in 2035 yılında nüfusu 41,5 milyon olacağı tahmin edildiğinden belirlenen hedeflere ulaşmak zor görülmektedir. Elektrifikasyon hedeflerini ulaşmak için, yaklaşık 4,2 milyon yeni ev bağlantısı

oluşturulması gerekeceği öngörülmektedir. Bununla birlikte, 2020'de 460.000 olan bağlantı sayısı ve NIGELEC (ulusal elektrik şirketi) tarafından 2019'daki 45.300 yeni bağlantıya kıyasla yalnızca 84.000 yeni bağlantı yapıldı [8]. Nijer hükümeti ve enerji kurumları tarafından elektrik enerjisinin, özellikle yenilenebilir enerjilerin üretimini ve dağıtımını artırmak ve optimize etmek için önemli çabalar sarf edilse bile, fosil enerji santrallerinin azaltılmasına yönelik düzenlemeler hala çok zor olmaktadır.

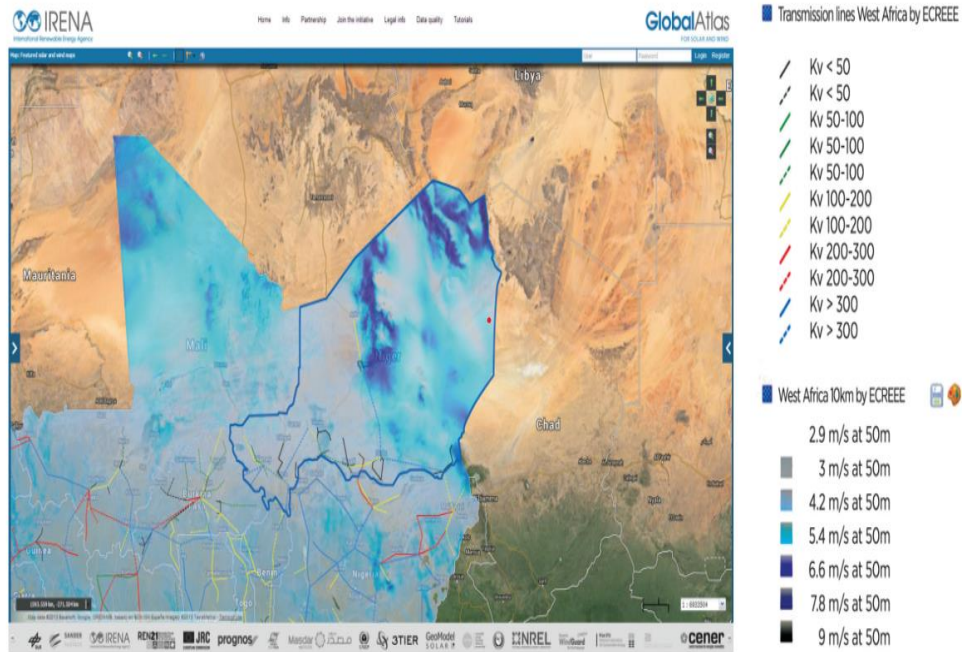


Şekil 1.3. Nijer'in güneş enerjisi potansiyeli [10].

Nijer, bölgesi yıl boyunca bol miktarda güneş radyasyonuna sahiptir. Ortalama güneş radyasyonu günde 5-7 kWh/m2'dir ve güneşlenme süresi günde ortalama 7 ila 10 saattir. Güneşin en yüksek olduğu dönem Nisan-Ağustos ayları arasındadır. En düşük radyasyon değerleri Aralık ve Ocak aylarında gözlenir. Yağışlı mevsim, güçlü güneş radyasyonu ile yaz aylarına denk gelir. Dört meteoroloji istasyonunda güneş radyasyon seviyeleri yüksek olmasına rağmen, sırasıyla Kuzey ve Merkez bölgelerinde yer alan Arlit ve Agadez şehirleri yıl içinde daha fazla değişkenlik göstermektedir. Daha düşük enlemlerde bulunan Niamey ve Zinder şehirleri yıl boyunca daha az değişkenlik göstermekte ve bu nedenle güneş enerjisinden yararlanmak için mükemmel yerler seçeneği olarak karşımıza çıkmaktadır [10]. MALBAZA'da 2020'de 11 GWh/yıl enerji sağlayan 7 MW gücünde ilk güneş enerjisi santralının kurulmasından önce, fotovoltaik güneş enerjisinin en sık kullanımı anten enerji tüketimi için telekomünikasyonda, su pompalamak ve kamu aydınlatmasındaydı. Ancak Gorou Banda güneş enerjisi santrali ve Agadez'deki termal-fotovoltaik santral gibi her ikisi de 20 MW gücünde başka projeler geliştirilmektedir.

Nijer'in hidroelektrik potansiyeli, nehir boyunca üç potansiyel bölgede yaklaşık 400 MW olarak tahmin edilmektedir ve kapasiteleri 278 MW olacaktır. Bunlar 130 MW (630 GWh) ile Kandadji barajı ve sırasıyla 122 MW ve 26 MW ile Gambou ve Dyodyonga barajlarıdır. 8 MW'lık küçük ölçekli hidroelektrik tesisleri de Nijer Nehri'nin dört kolundan (Mékrou, Tapoa, Gorouol, Sirba) yapılması planlanmaktadır. Baraj gerektirmeyen bu nehir akışı teknolojileri, daha ucuz ve kurulumu hızlı olma avantajına sahiptir. Ancak Nijer Nehri'nin kolları, bu teknolojinin kullanımını sınırlayan kuraklık nedeniyle tüm yıl boyunca aynı rejimi göstermemektedir [11] Kandadji hidroelektrik barajının 2025 ile 2026 yılları arasında tamamlanması ile ülkenin elektrik üretimini önemli ölçüde artırırken Nijer'in de ilk hidroelektrik santrali olacaktır.

Nijer'in rüzgâr enerjisinden elektrik üretme deneyimi bulunmamaktadır.



Şekil 1.4. Nijer'in rüzgâr enerjisi potansiyeli [10].

Bununla birlikte, rüzgâr enerjisi potansiyeli Nijer'in kuzey kesiminde daha güçlü ve daha düzenli olarak mevcuttur ve bu nedenle kuzey kesiminde bu potansiyel kullanılabilir. 10 m yükseklikte ortalama rüzgâr hızı 2-6 m/s'dir ve bunun 50 m'de %20-100'e oranında artabileceği düşünülmektedir. Rüzgâr rejimleri sahaya özel olduğundan, daha detaylı saha araştırmaları gerektirir. Ancak ülkenin bazı

bölgelerinde nispeten yüksek rüzgâr hızlarının elektrik üretimi için elverişli olduğu açıktır. Tek handikap, Nijer'in bu bölgelerinin çoğu ıssız veya seyrek nüfuslu ve elektrik altyapısına sahip olmadığı için yatırımların maliyeti yüksek olmaktadır [10].

1.4. Güneş Enerjisinin Kullanım Alanı

Güneş enerjisi, dünya çapında hem teknoloji hem de kurulu güç açısından en çok gelişme kateden yenilenebilir enerjilerden biridir. Elektrik enerjisi üretiminde en yaygın güneş enerjisi teknolojisi; evlerde, binalarda küçük güçlerde elektrik üretimi yapan şebekeden bağımsız veya büyük güçlerde üretim yapan ve şebekeye bağlı olarak kurulmuş tesislerde kullanılan fotovoltaik güneş panelleridir. Günümüzde arabalar, dronlar, ev aletleri, su pompalama cihazları, kamu aydınlatması ve hatta son zamanlarda uçaklar gibi birçok teknoloji fotovoltaik panelleri operasyonları için kullanılmaktadır. Güneş enerjisi ayrıca sıcak su üretimi, ısıtma, kurutma, pişirme, ısı kolektörleri vb. için ısı dönüşümünde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Güneş enerjisine olan ilgi temel olarak, nüfusun çevrenin küresel ısınmaya ve sera gazlarının salınımına karşı korunması konusundaki farkındalığından ve ayrıca güneşin dünyanın hemen her yerinde bulunmasından kaynaklanmaktadır. Bu sebeple şehir merkezlerine en uzak yerlerde bile enerji ve elektrik üretimini teşvik edilmektedir.

Tüm bu avantajlara rağmen, fotovoltaik güneş panelleri, rüzgâr veya hidroelektrik gibi diğer yenilenebilir enerji biçimlerine kıyasla oldukça düşük bir verime ve daha yüksek bir yüzey alanı gereksinimine sahiptir. Bu nedenle, güneş panelleri üretiminin yeni yollarını keşfetmek, fotovoltaik güneş teknolojilerinin verimini en üst düzeye çıkarmak ve yeni kullanım yöntemlerini bulmak için araştırmalar yürütülmektedir.

1.5. Literatür İncelemesi

İklim değişikliği ve fosil kaynaklarla enerji üretme yöntemlerinin yol açtığı sera gazlarının zararlı etkileri nedeniyle, verimlerini, üretim maliyetlerini ve üretim yöntemlerini iyileştirmek için yenilenebilir enerji konusunda birçok çalışma yapılmaktadır.

Souleymane NDOYE, Ibrahima LY; bir telekomünikasyon röle istasyonuna güç sağlamak için bir fotovoltaik sistemin modellemesini ve simülasyonunu

gerçekleştirmişlerdir. Her zaman maksimum verime sahip olmak için, darbe genişlik hücreasyonu tarafından kontrol edilen bir Boost invertere bağlı maksimum güç noktasını izlemek için P&O algoritmasını kullandılar. Çalışmalarında, fotovoltaiik paneldeki hücrelerin gücü ile şebekeye verilen gerçek güç arasında büyük bir sapma olduğunu gösterdiler, P&O algoritması sayesinde sistemleri maksimum güç noktasında kalıcı olarak çalışmaya zorlayarak verimliliği artırdılar [12].

Li Zhengxi, Wang ZeDi; güneş panellerinin yüzeyinde daha fazla güneş radyasyonu almasını sağlamak için güneşin yolunu takip için özerk bir güneş sistemi oluşturdular. Bunu yapmak için, bir step motor ve fotosensörlerle birlikte tek eksenli ve çift eksenli takip sistemlerini tasarladılar ve gelen güneş ışığı ile güneş panelleri tarafından emilen arasındaki farkı belirlemek için tüm sistemleri sağlam bir döngüde programladılar. Güneş ışınları ve fotovoltaiik güneş paneli normal ve paralel olana kadar aradaki fark, eşik değerden büyükse fark değerlendirilecek ve step motorun dönüşü güneş irtifa açısını ve azimut açısı takip etmesini sağladılar. Böylelikle geri besleme ile hataları ortadan kaldırdılar [13].

Gamal M. DOUSOKY, Abou-Hashema; önce Japonya'daki Fukuoka ve Mısır'daki El-Harijah kentleri için güneş panellerinin farklı yön açılarındaki güneş ışıınımını matematiksel olarak hesapladılar ve daha sonra sayısal bir simülasyon yaptılar ve MATLAB yazılımında elde edilen sonuçlarla -90° ila 90° arasındaki farklı açıları hesaplamak için bir algoritma yazdılar. Güneş panellerinin yüzeyindeki güneş ışıınımını en üst düzeye çıkarmak için, tek eksenli bir izleme sistemi ile aylık bir açı değişimi gerçekleştirdiler ve ayrıca tek eksenli izleyiciye sahip izleme sisteminin diğer üçünden daha iyi bir verim sağladığını gösterdikleri daha geleneksel bir deney daha gerçekleştirdiler [14].

Oprea Roxana, Istrate Marcel; fotonların elektriğe dönüşüm oranını arttırmak için fotovoltaiik hücrenin çevresine ayna yerleştirilmesinden oluşan bu çalışmada düşük konsantrasyonlu güneş ışınları yöntemi kullanılmaktadır. Standart bir sistemle aynı miktarda elektrik üretimi için gerekli olan az miktarda fotovoltaiik panel ve düşük üretim ve kurulum maliyetleri nedeniyle daha iyi verimliliği, daha iyi pasif ısı emici, daha iyi alan yönetimi gibi avantajlarının bu tür sistemlerden elde edilebileceğini gösterdiler [15].

Pawel Wegierek, Piotr Billewicz; ortam koşullarının, sıcaklığın, güneş hücrelerinin eğiminin, radyasyon hızının vb. etkilerini binaya entegre edilmiş iki tip fotovoltaik hücrenin (mono-Si'de FV1 tipi HIT-IBC ve monokristal silisyumda FV2 konvansiyonel hücre) çalışmasını incelemişler ve karşılaştırmışlardır.

Laboratuvarındaki iki tip fotovoltaik panel arasındaki karşılaştırmayı, Lublin - Radawiec'in meteorolojik ve aktinometrik istasyonundan elde edilen gerçek metrolojik ve çevresel verilere dayanarak farklı açılarda (0° ila 60°) ve farklı sıcaklıklarda (-20°C ila $+100^{\circ}\text{C}$) gerçekleştirmiştir. Hücrelerin yüzey alanının her iki kurulumda da aynı olduğunu varsayarak, FV1 hücrelerinin verimliliğinin FV2 hücrelerinininkinden % 60 daha yüksek olduğunu göstermişlerdir [16].

Amir Al-AhmedInamuddin ve Fahad A. Al-Sulaiman; fotovoltaik panellerin elektrik çıkış parametreleri üzerindeki toz ve ısrının etkisini literatür incelemeleri ve gerçek yaşam koşullarını dikkate alarak göstermiş ve fotovoltaik sistemin kurulum ortamına uygun çeşitli bakım ve temizlik yöntemlerini ve ne zaman yahücreacağı noktasında sonuçlar sunmuşlardır [17].

H. Yatimi ve E. Aroudam; Matlab/Simulink yazılımını kullanarak, sistemin optimum çalışma koşullarında çıkış değerlerini inceleyebilmek için fotovoltaik panellerin elektrik devrelerinin matematiksel eşdeğerliklerini simüle ettiler. 25°C 'de sabit tutulan bir sıcaklıkta farklı aydınlatma seviyeleri için gerilimin bir fonksiyonu olarak akım ve güçteki değişimlerin önemli bir değişim gösterdiğini, gerilimin aydınlatma ile çok az değiştiğini gösterdiler. 1000 W/m^2 sabit tutulan aydınlatmadaki farklı sıcaklık seviyeleri için gerilimin bir fonksiyonu olarak akım ve güç çok az bir değişim gösterirken, gerilimin sıcaklıkla bir miktar değiştiğini tespit etmişlerdir [18].

Uğur YILMAZ; güneş ve rüzgâr yenilenebilir enerji sistemlerinin verimliliğinin detaylı analizini yapmıştır. HOMER yazılımını kullanarak Türkiye'deki Gökçeada'nın elektrik enerjisi ihtiyacı için çeşitli hibrit sistem senaryoları oluşturmuştur. Ayrıca farklı senaryolara ait ayrıntılı bir ekonomik analiz ve amortisman süresini de hesaplamıştır [2].

T. T. Guingane, Z. Koalaga; çeşitli literatürdeki mevcut gerilim yükseltmeli eviricilerden ilham alarak, güneş panellerinin Maksimum Güç Noktası Takibini (MGNT) yapmak ve bu maksimum güç noktasında çalışmasını sağlamak, verimliliği

artırmak için maksimum güç noktası arama algoritmasını birleştiren yeni bir evirici varyantı oluşturdular. Fotovoltaik panellerin matematiksel ve elektriksel modellerine ve MGNT için P&O algoritmasına eklenen gerilim yükseltmeli dönüştürücü modellerinin MATLAB/SİMULİNK üzerindeki simülasyonuna dayanan çalışmada fotovoltaik hücrelerin verimliliğinde optimum çevre koşullarında bir iyileşme olduğunu gösterdiler [19].

S. V. Mitrofanov ve D. K. Baykasenov; güneş hücrelerinin verimliliğini artırmak için alternatif araçlar inceleyerek, Orenburg Devlet Üniversitesi'nde kurulum testleri yaptılar [20]. Standart bir güneş sistemi izlemesi ve iki eksenli izleme yaparak karşılaştırdılar. Haziran 2019'da kurulan iki eksenli izleme sistemine sahip güneşe doğru sabit bir açıyla yönlendirilen güneş hücrenin kullanımının, sabit güneş hücresini kullanan elektrik üretimine kıyasla elektrik üretiminde %36,1'lik bir artışa yol açtığı sonucuna varmışlardır.

Fisun ÇİFTÇİ; çalışmasında piyasadaki çeşitli fotovoltaik panellerin enerji verimliliğinin bir analizini gerçekleştirdi [21]. Bu çalışma sonrasında farklı fotovoltaik panel türlerini içeren bir senaryoyu simüle ederek, FVSOL yazılımını kullanarak ekonomik bir analiz gerçekleştirdi.

Ceyda Aksoy Tırmıkçı ve Cenk Yavuz; Antalya'da bulunan bir evin elektrik enerjisi ihtiyacı için fotovoltaik panel sayısını hesapladılar. Evde kullanılacak elektrikli cihazları çalıştırmak için gerekli panel sayısını belirlemeden önce Antalya İli için bir yıl boyunca toplam güneş ışınımını değerlendirdiler ve fotovoltaik panellerin optimum yönlendirme açısını hesapladılar [22].

Ahmad Ghamrawi, Rosalie Rouphe; ikinci dereceden bir step-up dönüştürücüyü ve maksimum güç noktasını izlemek için yeni bir algoritmayı birleştirerek fotovoltaik sistemleri bağlamak için yeni bir mimari önermektedir. Kuadratik boost ve klasik boost karşılaştırmasından oluşan laboratuvar testleri yaparak, kuadratik Desteklerin klasik desteklerden daha etkili olduğunu gösterirler [23].

Ceyda Aksoy Tırmıkçı ve Cenk Yavuz; Küresel güneş radyasyonu berraklık indeksi (H), dünya dışı güneş radyasyonu (H_0), güneş ışığı fraksiyonu, güneş ışığı saat sayısı (S), maksimum güneş ışığı saat sayısı (S_0), dağınık fraksiyon, dağınık güneş radyasyonu (H_d) ile ilgili verileri kullanma ve küresel güneş radyasyonu (H),

Sakarya'da (Türkiye) dağınık güneş radyasyonunu elde etmek için yeni regresyon denklemleri oluşturmuşlardır [24].

SAIDI Khadidja, MAAMOUN Mountassar; fotovoltaiik sistem için artan iletkenlik ve MGNT pertürbasyon ve gözlem yöntemlerini karşılaştırmışlardır. İki sistemin çalışmasını açıkladıktan ve matematiksel modellerinin MATLAB/SİMULİNK üzerindeki simülasyonlarını önerdikten sonra, her iki algoritmanın da ikincisine ulaşıldığında maksimum güç noktası etrafında salınımlar sergilediğini, ancak artan iletkenlik yönteminin pertürbasyon ve gözlem (P&O) yönteminden daha verimli olduğunu gösterdiler [25].

C. Aksoy Tırmıkçı ve C. Yavuz; ortalama güneş ışıınımını hesaplamak için yeni bir denklem önermişlerdir. Yılın farklı dönemlerindeki ortalama radyasyonu belirlemek ve tahmin etmek için en uygun denklem seçilerek ve güneş radyasyonu tahminleri kullanarak ve bir yıl devam her ay için fotovoltaiik panellerin optimum eğim aralığını belirledikleri çalışmalarını enerji verimliliği maksimize etmek için MATLAB üzerinde simüle etmişlerdir [26].

Ceyda Aksoy Tırmıkç ve Cenk Yavuz; güneş panellerinin optimum eğimine sahip bir güneş sisteminin yaşam döngüsünü ve iki eksenli güneş izlemeli bir fotovoltaiik sistemi analiz ettiler. İki sistemin sera gazı üretim oranını ve bu sera gazlarının geri ödenmesi için gereken süreyi tahmin etmişlerdi. Güneş takipli fotovoltaiik sistemlerin optimum sabit açılı sistemden daha yüksek bir enerji verimliliğine sahip olduğunu gösterdikten sonra, takipli sistemlerin daha uzun bir ömre ve daha iyi bir karbon geri ödeme süresine sahip olduğunu da göstermişler [27].

Eyüp Akcan, Melih Kuncan ve Mehmet Recep Minaz; elektrik şebekesine bağlı 30 kW'lık bir fotovoltaiik sistemin modellenmesi ve simülasyonu ayrıntılı olarak analiz edilmiştir. Simülasyon, Türkiye'deki Batman şehrinin çevresel ve metrolojik koşulları için FVsyst yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir [28].

Ciprian Cristea, Maria Cristea ve Radu-Adrian Tîrnovan; Romanya'da bir apartmanda çatıya entegre edilmiş 6 kW'lık bir fotovoltaiik sistemin teknik ve ekonomik fizibilitesini belirlemek amacıyla bir olay çalışması yaptılar. Ana güneş paneli teknolojilerini denedikten sonra, polikristalin silisyum fotovoltaiik sistemin ekonomik olarak en uygun seçenek olduğu ortaya koymuşlardır. Farklı sistemler için gerekli tüm

ekipmanların ekonomik analizini yaparak ve PVSOL yazılımında aylık enerji verimliliğini analiz ederek, incelenen 6 sistem için 5'inin ekonomik açıdan karlı olduğu sonucuna varmışlardır [29].

Kangli Wang Yunfeng Ma; elektrik şebekelerine bağlı enerji depolama sistemlerine sahip bir fotovoltaiik sistemin şebeke gerilim kararlılığını incelediler. Sistem şebekeye bağlı modda ise eviricilerin kapalı çevrimde, sistem kontrolün eklendiği akü depolama cihazında çalışıyorsa izole modda çalışmasını sağlayan bir sistem kontrol mekanizması geliştirmişlerdir. Geliştirilmiş V/f, şebekeye bağlı invertörler için bir gerilim referansı sağlamak üzere sabit gerilim genliği ve frekansa sahip bir gerilim kaynağının dışa aktarılmasına izin verir [30].

Melike YALILI KILIÇ ve Sümeyye ADALI; Türkiye'nin Osmangazi ilçesinde üç katlı bir apartmanın enerji ihtiyacına yönelik ekonomik analiz yapmıştır. Çalışmada HOMER yazılımı ve 2020 yılı için elektrik enerjisi fatura verileri kullanılarak bir fotovoltaiik sistemin sonuçlarının modellenmesi ve analizi önerilmiştir. Çalışmanın sonunda sistemin ömrü, enerji verimliliği ve amortismanı tanımlanmıştır [31].

Evren İŞEN ve Ömer KOÇHAN: modellemeyi kolaylaştırmak için panelin eşdeğer devresinin paralel direnci olmadan tek diyotlu bir fotovoltaiik panelin MATLAB/SIMULINK yazılımı altında modellemesini yaptılar. Simülasyonun performansını artırmak için, sistemi maksimum güç noktası P&O yöntemiyle kontrol edilen bir yükseltici dönüştürücüye bağladılar. Elde edilen sonuç daha sonra iki diyotlu bir fotovoltaiik sistemle karşılaştırıldı ve tek diyotlu fotovoltaiik sistem daha basit ve daha hızlı sonuç verse bile iki diyotlu fotovoltaiik sistemlerin çok daha verimli olduğunu gösterdiler [32].

1.6. Çalışmanın Amacı, Materyali ve Metodolojisi

1.6.1. Çalışmanın amacı

İlk olarak, bu tezin amacı fotovoltaiik panellerin verimi üzerinde olumlu veya olumsuz etkisi olan çeşitli faktörleri analiz etmektir. Daha sonra bu faktörler dikkate alınarak, bir fotovoltaiik kurulumun adım adım tekno-ekonomik analizi önerilmektedir. İkinci hedef ise, elektrik şebekesindeki toplam güç kaybını azaltırken fotovoltaiik kurulumları

dağıtım şebekesine entegre etmek üzere en uygun yerleri belirlemek amacıyla Nijer'deki Niamey şehrinin elektrik dağıtım şebekelerini analiz etmektir.

1.6.2. Materyali ve metodolojisi

Yenilenebilir enerjilerle ilgili bilimsel çalışmalar incelendi ve farklı çevre ve iklim koşulları altında çıktılarını incelemek amacıyla gerçek kullanım koşullarında güneş panellerinin akım ve gerilim değerlerinin eşdeğer elektrik devresini simüle etmek amacıyla MATLAB/SIMULINK yazılımı kullanıldı. Niamey şehrinin günlük güneş ışığı verilerini ve bunlara ait matematiksel parametreler kullanılarak orta güçte bir güneş fotovoltaik santralinin çalışmasını modellendi ve simüle edildi.

Yenilenebilir kaynaklar kullanarak bir enerji santrali tasarlamak veya modellemek için HOMER, PV-DesignPro, Hybrid2, PVSOL, RETScreen gibi çeşitli yazılım paketleri mevcuttur. Literatürde en çok kullanılan yazılımlar HOMER ve PVSOL'dur. Bu çalışmada güneş enerjisi santralinin simülasyonu için HOMER yazılımını kullanılmıştır. HOMER yazılımı, yenilenebilir enerjilerle çeşitli elektrik üretim biçimlerinin simülasyonuna ve hatta farklı enerji kaynakları arasında bir karışıma izin verir. Ayrıca literatürdeki ekonomik modeller kullanılarak tesisin kurulum, bakım ve işletme maliyetlerinin ekonomik analizi yapılarak ve tesis tasarımının farklı senaryoları için geri ödeme süreleri analiz edilmiştir.

2. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELLERİ GENEL BİLGİLER

Güneşin insan tarafından enerji olarak kullanılması tarihte çok eskilere dayanmaktadır. Yunanlılar güneş ışınlarının Olimpiyat meşalesini yakmasına olanak tanıyan aynaları kullanmışlardır. 1615'te Salomon Caus, güneş ışınlarıyla ısıtılan havanın kullanılması sayesinde bir güneş enerji pompası icat etmiş ve François Villet adlı bir gözlükçü, nesnelerin fizyonunu gösterdiği bronz bir ayna yapmıştır. 1747'de Georges-Louis Leclerc de Buffon, güneş ışığını bir odak noktasına yoğunlaştıran bir ayna ile deneyler yaparak bir gümüş parçasını eritmeyi başarmıştır. Horace Bénédict de Saussure, yalıtımlı bir kutuda bir soğurucunun üzerine yerleştirilen camla elde edilen sera etkisini kullanarak, 1780'de güneş ışınlarının kalorifik etkilerini incelemesini sağlayan bir ölçüm aleti icat etmiştir. 1878'deki Trocadero Dünya Fuarı'nda Fransız mühendis Augustin Mouchot, güneş yansıtıcılarıyla suyun ısıtılması ve ısıtılan suyun buhar üretmek için kullanılmasından oluşan ilk güneş motorlarından birini sunmuştur.

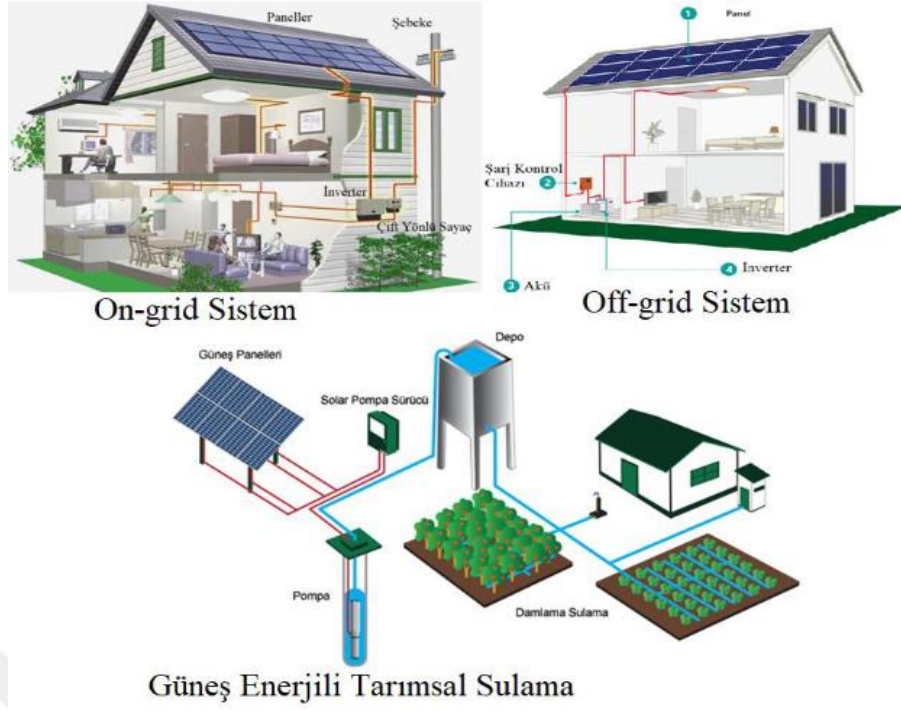
1839'da Edmond Becquerel, güneş ışığının fotovoltaik etki ile elektrik enerjisine dönüşümünü keşfetti ancak bu fiziksel fenomen üzerindeki araştırmaların derinleşmesi bir yüzyıl sonrasına kadar devam etmedi. Düşük verimi ve yüksek yatırımlar gerektirmesi nedeniyle birkaç araştırmacının çalışması başarısız kaldı. Verimi çok düşük olmasına rağmen güneş hücreleri ile elektrik üreten ilk kişi 1916 yılında Robert Andrews Millikan olmuştur. 1954'te ise Gerald Pearson, Darryl Chapin ve Calvin Fuller, katkılı silisyum yani başka bir elementin küçük bir oranını içermesi sayesinde %6'lık bir verime ulaşan hücreler üretmeyi başardılar. İlk güneş panelleri Bell Laboratuvarları tarafından üretildi, ancak çok yüksek üretim maliyetleri nedeniyle bunları çok sayıda üretmek imkansızdı. Uzayın keşfiyle birlikte, fotovoltaik güneş panelleri aracılığıyla dünya yörüngesindeki uydulara güç sağlamak üzere çok büyük yatırımlar yapıldı [33]. Gerçekten de güneş enerjisi, özellikle uzayda güneş enerjisi sürekli, sabit ve sınırsız olduğundan ve çok fazla bakım gerektirmediğinden dolayı nükleer olmayan alternatif tek kaynaktır. 1970'lerde meydana gelen petrol krizinden bu yana birçok ülke başka enerji alternatifleri aramaya başlamış ve fotovoltaik güneş enerjisinin yeryüzünde uygun fiyatlarla kullanımını teşvik etmek için çok büyük yatırımlar, sübvansiyonlar ve indirimler yapılmıştır. 1973'te, fotovoltaik hücrelerle

alışan ilk ev Delaware niversitesi'nde inşa edildi ve 1983'te, ilk fotovoltaiik enerjili araba Avustralya'da 4.000 km yol kat etti.

Fotovoltaiik paneller günümüzde evlere veya elektronik cihazlara entegrasyonu kolaylaştırmak için esnek güneş hücreleri, organik güneş hücreleri veya küçültülmüş boyutta güneş hücreleri gibi çeşitli şekil ve boyutlarda üretilmektedir. Küresel ısınmanın ve sera gazı emisyonlarının zararlı sonuçlarının bilinciyle, yenilenebilir enerjiler enerji üretiminde her zamankinden daha fazla kullanılmaktadır ve bu nedenle üretim maliyetlerini azalmak ve verimliliklerini artırmak için fotovoltaiik güneş enerjisi ile ilgili araştırmalar artarak devam etmektedir.

Elektrik şebekesine bağlı fotovoltaiik tesisler, herhangi bir zamanda ve gerçek zamanlı olarak enerji tüketimini veya enerji satışını analiz etmek için genellikle iki elektrik sayacı veya çift yönlü elektrik sayacı ile donatılmıştır. şebekelere bağlı fotovoltaiik sistemlerde kullanılan inverterler, fotovoltaiik panellerin ve aynı zamanda elektrik şebekesinin maksimum güç noktasında doğru şekilde çalışabilecek şekilde boyutlandırılmıştır. Büyük endüstriyel fotovoltaiik tesisler veya fotovoltaiik santraller, aküler veya elektrik enerjisi koruma sistemlerine ihtiyaç duymazlar, doğrudan trafolarla elektrik şebekesinin yüksek veya orta gerilim hattına bağlanırlar.

şebekeden bağımsız fotovoltaiik sistemler, genellikle fotovoltaiik paneller, aküler ve invertrlerden oluşan kapalı çevrim işletim sistemleridir. Fotovoltaiik paneller tarafından üretilen elektrik, bir yandan doğrudan evin ekipmanı tarafından kullanılırken, diğer yandan daha sonra kullanılmak üzere aküler tarafından depolanır. Çoğu zaman bu tür sistemlerde hücrelerde depolanan enerji gece boyunca kullanılır. şebekeden bağımsız sistemler genellikle elektrik dağıtımından uzak, elektriğin kesintili veya kalitesiz olduğu yerlerde terciin edilir. Fotovoltaiik panellerin verimini artırmak için bu şebekeden bağımsız sistemlere güneş takip sistemleri de eklenebilir. Ancak bu sistemin yatırım maliyetini artırır.



Şekil 2.1. Fotovoltaik panellerin farklı kullanımları [34].



Şekil 2.2. Elektrik enerjisi santralinde fotovoltaik panellerin yerleşimi [34].

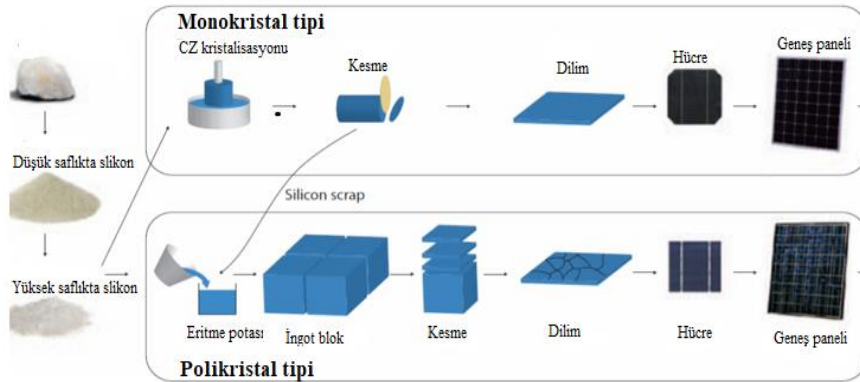
2.1. Fotovoltaik Panellerin Üretimi

Fotovoltaik panellerin çoğu silisyumdan üretilir. Silisyum yeryüzündeki en yaygın elementlerden biridir, ayrıca silisyumun güneş hücreleri için kararlı, toksik olmayan ve dar bant aralıklı enerjili olması gibi avantajları vardır. Silisyum, doğal haliyle (kum ve kayalarda) saf değildir, güneş hücrelerinin yapısında kullanılmak üzere

saflaştırılmalıdır. Saflaştırma işleminin yahücreabilmesi için SiO_2 bileşiğinin yüksek sıcaklıkta ısıtılma işlemi uygulanarak diğer bileşiklerden ayrılması gerekir.

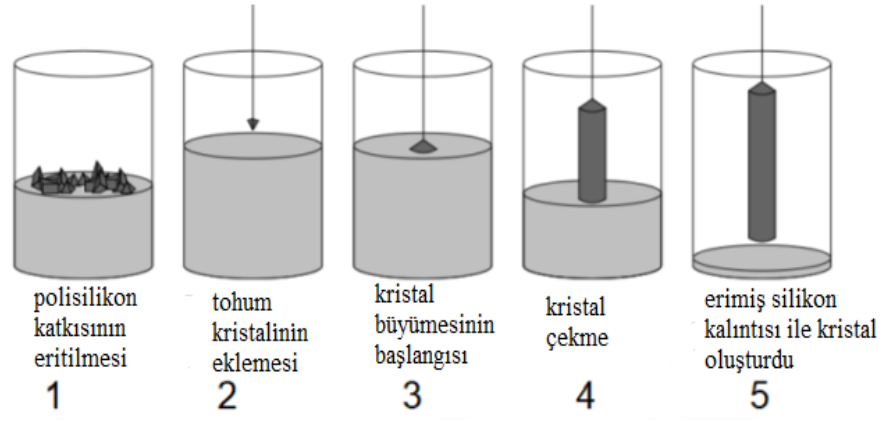
Güneş dereceli kristal silisyum (en az %99,9999 saflık) üretimi için, metalürjik dereceli silisyum (%99), silikanın (SiO_2) karbon (C) ile 1900°C 'ye ısıtılmasıyla elde edilir. Silisyumu şekillendirmek için bir çelik fırın kullanılır. Füzyon sırasında tüm atomların istenilen yapı ve yönelimde mükemmel şekilde hizalanmasına özen gösterilir. Silisyuma pozitif bir elektriksel polarite kazandırmak için Bor eklenir. Silisyum üretimi için genellikle iki yöntem kullanılır, monokristal için Czochralski (CZ) yöntemi ve polikristal için yönlü katılaştırma yöntemi [33].

Monokristal hücreler, tek bir silisyum kristalinden üretilir. Mono silisyum, güneş enerjisini elektrige dönüştürmede daha yüksek bir verime sahiptir. Polisilisyum hücreler, birden fazla silisyum kristalinin bir araya getirilmesiyle üretilir ve polikristal hücrelere farklı silisyum kristalleri tarafından verilen kırık cam görünümü verir [35].

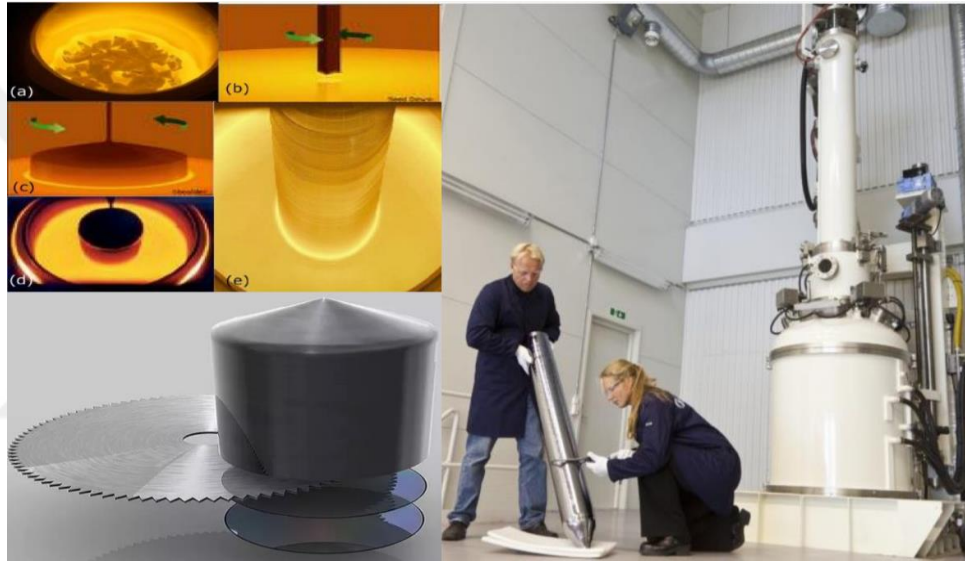


Şekil 2.3. Fotovoltaik panellerin farklı kullanımları [36].

Czochralski yöntemi, saf silisyumdan bir külçe oluşturulan beş adımdan oluşur. İlk olarak, yüksek saflıkta polikristalin silisyum, bir silika potaya yerleştirilir ve daha sonra bir ısıtıcı kullanılarak bir argon atmosferi altında eritilir. Daha sonra eriyiğin sıcaklığı kararlı olduğunda (1412°C), dönen bir monokristal silisyum tohum kristali eriyiğin içine daldırılır. Sıcaklıktaki hafif bir düşüş, tohum kristalinde silisyumun kristalleşmesini başlatır. Tohum kristali yavaşça yukarı doğru çekildiğinde, tohum kristalinde asılı duran silindirik bir silisyum tek kristali oluşmaya başlayacaktır. Ekstraksiyon hızı ve sıcaklık, oryantasyonu ve yapısı tohum kristalininkiyle aynı olan bir silisyum sabit bir çapla ekstrakte edilebilecek şekilde düzenlenir [37].



Şekil 2.4. Silikon kristal üretimi [38].



Şekil 2.5. Soğutulmuş ingotun kesilmesi ve taşlanması [36].

Polikristal güneş hücrelerinin üretimi için kullanılan yönlü katılaştırma yöntemi, silisyum eritilerek ve kristalleri sabit bir yönde yönlendirmek için katılaştırılarak üretilir, bloklar halinde kesilecek ve son olarak ince dilimlenecek dikdörtgen bir polikristalin silisyum külçe üretilir [39].

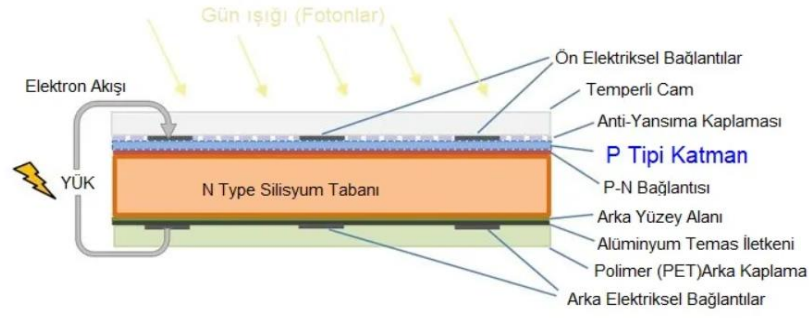


Şekil 2.6. Silisyum külçelerin doğrudan katılaştırılması [36].

2.2. Güneş Hücreleri

Genel olarak güneş hücreleri, baralarda akım toplayan tüm hücreler boyunca küçük gümüş metalik parmak (parmak) yapısına sahiptir. Gelişen teknolojiler ile birçok üretici konvansiyonel şerit baralardan çok telli baralara veya MBB'lere geçiş yapmıştır. Baralar, her hücresinden elektrik alan ve fotovoltaik panel üzerinden elektronları (akım) taşıyan ince teller veya şeritlerdir. Fotovoltaik hücreler daha verimli hale geldikçe daha fazla akım üretir ve son yıllarda çoğu üretici 3 baradan 5 veya 6 baraya geçmiştir. Bazı üreticiler daha da ileri giderek 12 veya 16'ya kadar çok ince yuvarlak kullanan çoklu bara sistemleri geliştirmiştir. Çoklu yuvarlak tel çubuklar, elektronların parmaklar boyunca hareket etmesi için daha kısa bir yol sağlayarak daha düşük direnç ve daha yüksek verimlilik sağlar. Baralar, akımın akması için daha kısa ve daha verimli bir yol sağladığından, çatlakların bir sıcak noktaya dönüşme olasılığı azalır [40].

P tipi (bor katkılı) ve n tipi (fosfor katkılı) silisyumun bağlantısı, güneş ışığı hücresinden geçtiğinde elektronların akmasına izin veren bir elektrik alanı oluşturmaya yardımcı olan p-n bağlantısı adı verilen bir katman oluşturur. Fotovoltaik etki, ışık fotonları (enerji) silisyumdan elektronları serbest bırakarak elektrik akışı oluşturduğunda meydana gelir.



Şekil 2.7. FV P-N hücreleri.

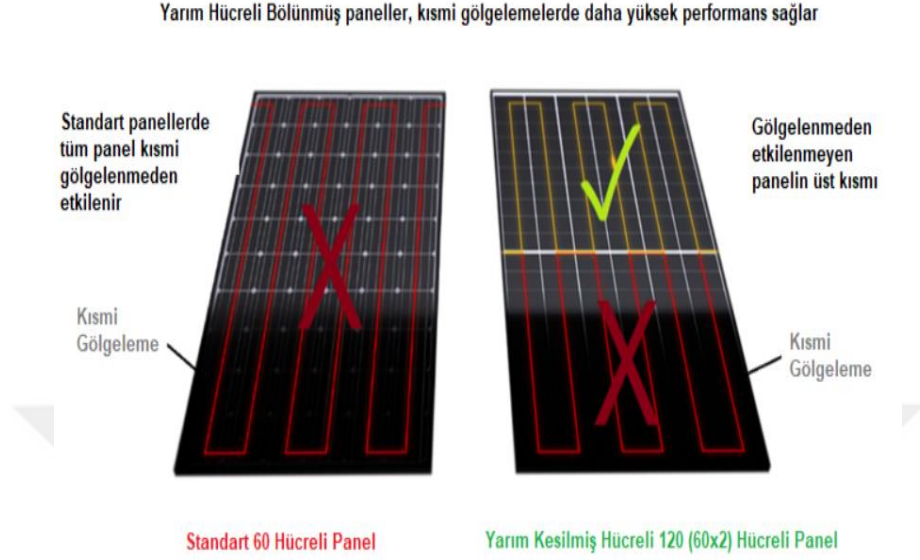
Hücresel bağlantı elde etmek için güneş hücrelerini lehimlemek için metal konnektörler kullanılır. Fotovoltaik paneller, bir matris yapısına entegre edilmiş güneş hücrelerinden oluşur. Standart paneller genellikle üç seri grup halinde 48 veya 60 hücreden oluşur, büyük tesisatlarda kullanılan paneller genellikle 72'den oluşur. Panel hücrelerden yapıldıktan sonra yaklaşık 6-7 mm ince bir cam tabakası oluşur.

Daha sonra hücre içindeki bağlantıları etkinleştirmek için bağlantı kutusu yerleştirilir. Çerçeve monte edildikten sonra hepsi monte edilir. Tüm bir panelin şekli oluşturulur. Çerçeve ayrıca darbe ve hava koşullarına karşı koruma sağlayacak ve ayrıca panelin çeşitli şekillerde monte edilmesini sağlayacaktır. EVA (etilen-vinil asetat), hepsini bir arada tutan yapıştırıcıdır. Hücrelerin kötü hava koşullarından zarar görmemesi için enkapsülenin kalitesinin yüksek olması çok önemlidir [35].

Bir hücre grubu üzerinde gölgeleme olduğunda, akım bypass diyotundan geçtiği için güç çıkışında %30'luk bir azalma olur. Diğer bir deyişle, gölgeleme durumunda tüm hücre devre dışı bırakılmaz.

Gölgelemeden kaynaklanan kayıpları azaltmak için geleneksel tam boyutlu kare hücreler yerine yarı kesilmiş veya yarı boyutlu hücre panelleri geliştirilmiştir. Bu, güneş panelini %50 kapasiteli paralel çalışan iki küçük panele etkili bir şekilde böler. Bunun, baralar (akım toplayıcı) boyunca daha düşük direnç kayıpları nedeniyle artan performans dahil olmak üzere birçok avantajı vardır. Her hücre kendi boyutunun yarısı kadar olduğundan, aynı gerilimde akımın yarısını üretir, yani bara genişliği yarıya indirilebilir, bu da hücre gölgelenmesini, kayıpları azaltır ve verimliliği artırır. Daha düşük akım aynı zamanda daha düşük hücre sıcaklıkları anlamına gelir ve yerel gölgeleme, kir veya hücre hasarı nedeniyle potansiyel sıcak noktaların oluşumunu ve

şiddetini azaltır. Ek olarak, panelin üst ve alt kısmından merkezine olan daha kısa kablo mesafesi verimliliği daha da artırır ve benzer boyuttaki bir panelin güç çıkışını 20W'a kadar artırabilir [40].

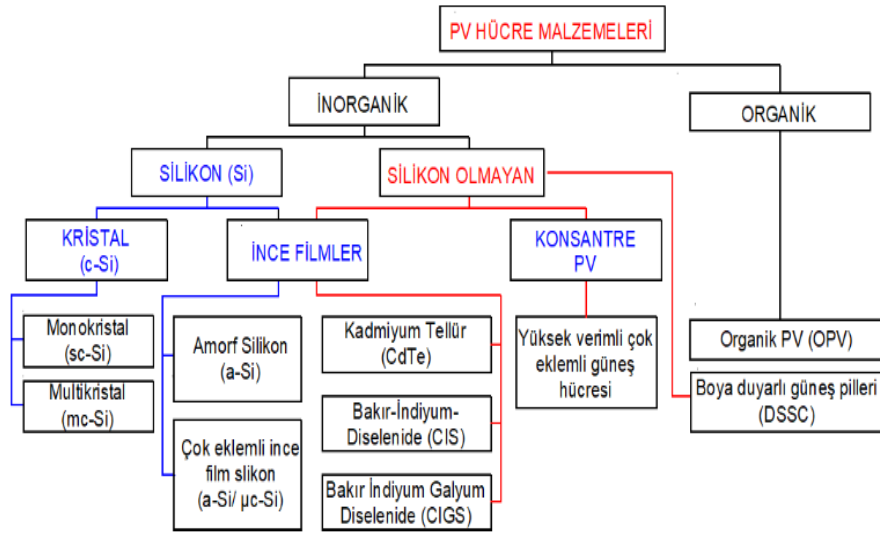


Şekil 2.8. Bölünmüş hücreli güneş paneli [40].

Bu tip fotovoltaik panellerin bir diğer önemli avantajı, panelin üst veya alt kısmındaki kısmi gölgelemenin, panelin güç çıkışını geleneksel tam boyutlu hücrelere sahip bir panel ile aynı miktarda azaltmamasıdır.

2.3. Güneş Panelleri Çeşitleri

Fotovoltaik güneş hücresi teknolojisindeki ilerlemelerle birlikte silisyum tabanlı hücreler dışında birçok güneş hücre türü geliştirilmiştir. Güneş hücreleri, üretimlerinde kullanılan malzemelere göre iki gruba ayrılabilir. Silisyum hücreler, konsantre güneş hücreleri vb. gibi organik olmayan hücreler ve renge duyarlı güneş hücreleri gibi organik hücreler. Şekil 2.9, mevcut farklı güneş hücrelerini göstermektedir.



Şekil 2.9. Farklı güneş hücresi türleri [41].

Monokristal silisyum güneş hücreleri çok iyi verim sunar. Bu verim laboratuvarında %23, üretimde ise %15-21'tür. Polisilisyum veya polikristal silisyum verimleri %19 ile %21 arasındadır. İnce film fotovoltaik hücre verimliliği %10-15 civarındadır. Boya duyarlı güneş hücrelerin dönüşüm verimliliği en iyi ince film hücrelerden daha düşük olmasına rağmen, güneş hücre pazarına sunulabilmeleri için verimliliklerinin artırılmasına yönelik ciddi çalışmalar yürütülmektedir [42].

2.4. İnverterler

İnverter ya da eviriciler, doğru akım (DC) ve düzensiz akımı 220 volt tek fazlı veya 380 volt üç fazlı alternatif akıma (AC) istenilen frekans ve kalitede çeviren cihazlardır. Eviriciler kare dalga, modifiye sinüs dalgası ve tam sinüs dalgası olmaz üzere üç tip çıkış dalgası sağlarlar. Hassas elektronik ve ev aletleri için tam sinüs dalgalı invertör kullanılmalıdır. Aydınlatma ve ısıtma gibi düşük hassasiyetli uygulamalarda kare ve modifiye inverterler kullanılabilir.

Bu cihazların temel ve ortak amacı, fotovoltaik güneş panellerinden veya hücrelerden gelen doğru akımı alternatif akıma dönüştürmek, 230V alternatif akım gerektiren ev aletlerini çalıştırmak veya ulusal elektrik şebekesine enjekte etmektir.

Tam Sinüs Dalgalı İnverterler, gelen gerilimi ve frekansları tam sinüs dalgası olarak verir. Çalışma frekansları 50/60 Hz ve verimleri %89 ile %94 civarındadır.

Kullandığımız tüm elektrikli ekipmanlara güç sağlayan şebeke elektriği, ülkeye bağlı olarak genellikle 50 Hz sinüs dalgası şeklindedir.

Modifiye sinüs olarak da bilinen kare dalga inverter, maksimum güç noktası takibi adı verilen bir algoritmaya sahiptir. Bu algoritma, sistem yükü üzerinde otomatik hesaplamalar yaparak bağlı olduğu cihazlara maksimum verimle ulaşmak ve çalıştırmak için geliştirilmiştir. Bu inverterler, sinüs eğrisindeki kare dalgacıkların sayısını artırarak merdiven davranışı sergilerler. Modifiye edilmiş invertörler saf sinüs dalgası elektriği üretmediğinden, buzdolaplarında, çamaşır makinelerinde, hassas elektronik cihazlar gibi vb. cihazların arızalanmalarına neden olabilirler.

Genel olarak, şebekeye bağlı inverterler "on grid inverter", şebekeye bağlı olmayan inverterler "off grid inverter" ve hibrit inverterler vardır.

2.4.1. On-grid inverter

Güneş enerjisi tesisatı şebekeye bağlandığında kullanılırlar ve üretilen elektriği depolamak için akü yoktur. Ortaya çıkan elektriği şebekeye aktaran inverterlerdir. Şebekeye bağlı inverter merkezi, şebeke (dizi) ve mikro eviricilere ayrılır.

On-grid inverterlerinin amaçları aşağıda verilmiştir.

- Güneş panelleri tarafından üretilen doğru akımı alternatif akıma dönüştürmek
- Şebekeye aynı gerilimde alternatif akım sağlamak.
- Güneş fotovoltaik panellerinin gerilimini ve akımını, I_{mpp} ve V_{mpp} değerlerine mümkün olduğunca yaklaştırarak ve güç çıkışını en üst düzeye çıkaracak şekilde düzenlemek.
- Güneş hücresi sabit bir akım sağlamadığında veya enjekte edilecek akım şebeke akımıyla aynı fazda olmadığında şebekeye akım enjekte edilmesini önlemek.

Son işlev şebekeye müdahale veya bakım yapılması durumunda şebeke üzerinde çalışan teknisyenleri korur. Bu işlev olmadan kaza riski yüksek olacaktır çünkü gün boyunca şebeke bağlantısı kesilmiş olmasına rağmen, bir invertör fotovoltaik güneş panelleri tarafından üretilen akımı şebekeye enjekte edebilir ve böylece teknisyenler için elektrik çarpma tehlikesi yaratabilir. Bunu yapmak için, inverter çalışmak için şebeke akımını kullanır, bu nedenle şebeke akımı olmadan inverter çalışamaz ve güneş panellerini şebekeden izole eder. Bu konfigürasyonda, fotovoltaik güneş enerjisi

sistemi şebeke elektriğinin kesilmesi durumunda yedek olarak kullanılamaz. Bunu başarmak için, adalanma veya acil durum devresi sağlayan hibrit bir invertör gereklidir [43].

2.4.2. Off-grid inverter

Bu tip inverter esas olarak akü sistemlerinde kullanılır. Bu sistemlerde panellerin ürettiği enerji, depolama için doğrudan akülere aktarılır. Bu nedenle, sabit bir elektrik şebekesinden uzakta bulunan kapalı döngü işletim altyapısı veya fotovoltaiik kurulumlar için ideal inverterlerdir.

2.4.3. Hibrid inverter

Hibrit inverterler, fotovoltaiik güneş panellerinin yanı sıra şebeke, jeneratörler veya akümülatörler gibi diğer elektrik enerjisi kaynaklarını da yönetebilen inverterlerdir. Güneş panelleri tarafından üretilen elektriğın veya şebeke tarafından sağlanan elektriğın ne zaman kullanılacağını seçebilir. Merkezi invertörlerle aynı işlevlere sahiptirler, ancak farklı enerji kaynakları arasında geçiş yapabilmeleri gerektiğinden ikincisinden daha fazla özelliğı içerirler. Fotovoltaiik paneller tarafından üretilen anlık gücü, evin anlık tüketimini ve şarj durumunu ve bataryanın özelliklerini dikkate alarak akımı yönlendirerek tesisin enerji ihtiyaçlarını daha iyi analiz etmek için hareket edebilirler.

2.4.4. Merkezi inverterler

Yüksek güçlü fotovoltaiik kurulumlarda merkezi inverterler kullanılmaktadır. Bu tipte tek bir inverter, bazı kW'lık kurulumlar veya hatta MW'a kadar olan kurulumlar için kullanılabilir. Merkezi inverter teknolojisi, diğer inverter tiplerinden farklı olarak inverterden önce buatlarda paneller birleştirildikten sonra inverterin güç bağlantısının ve DC korumasının yapıldığı sistemdir. Diğer eviricilerden farklı olarak merkezi inverterler, kendisine bağlı panel gruplarını tek bir merkezden yönetir. Genel olarak merkezi eviricilerin alçak gerilim değerleri normal dağıtım trafolarının 400V değerlerinden farklı olup 300V, 350V, 400V veya 690V olarak imal edilmektedir. Alçak gerilim seviyesine bağlı olarak bir trafoya daha sonra orta gerilim şebekesine 33 kV - 34,5 kV seviyesinde bağlanır.



Şekil 2.10. Merkezi inverter.

2.4.5. Mikro inverter

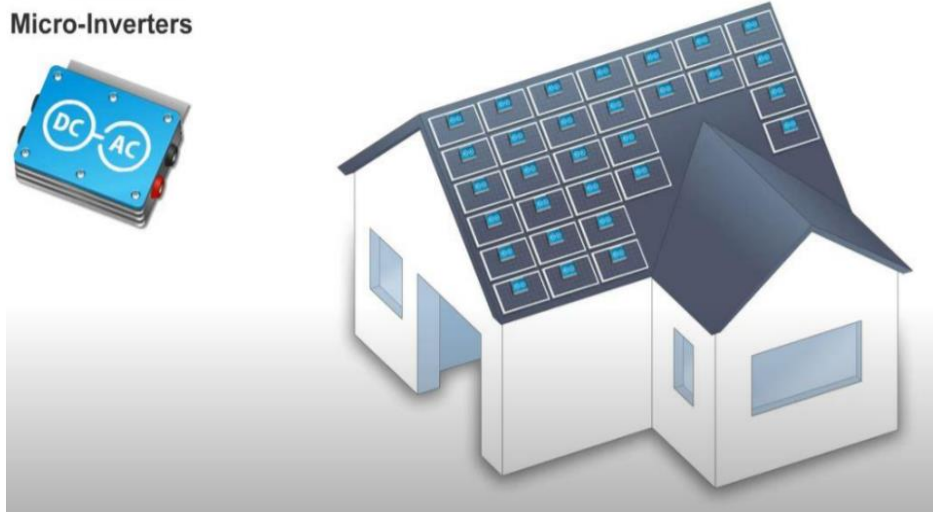
Mikro inverterler, panel arkasına monte edilen invertörlerdir ve ağırlıklı olarak kısmi gölgelemenin çok yoğun olduğu çatı sistemlerinde tercih edilirler. Bağlı olduğu tek bir fotovoltaiik güneş panelinin ürettiği akımı alır ve işler. Ayrıca 2, 3 ve hatta 4 fotovoltaiik güneş paneline bağlanabilen mikro invertörler de bulunmaktadır.

Güneş paneli başına bir mikro inverter ile (veya 2, 3, 4 için), fotovoltaiik kurulumun denetimi, merkezi bir inverterden daha hassastır. Bir arıza durumunda denetim sistemi her bir inverterin etkinliğini görebilir ve eğer bir panel arızalı ise onu daha kolay izole edebilir.

Bir tesisatın panellerinden birinde arıza olması durumunda, merkezi evirici tüm güneş panellerinin maksimum güç noktasını arama eğiliminde olacaktır ve bu nedenle arızalı panel tüm kurulumun yoğunluğunu belirleyeceğinden sistem verim kaybedecektir. Tersine mikro inverterlerin her biri, panelinin maksimum güç noktasını birbirinden bağımsız olarak bulacak ve bu da sistemi daha güvenli ve daha verimli hale getirecektir.

Bununla birlikte, bir kurulumu mikro inverterlerle donatmak kullanıcıya toplamda daha pahalıya mal olacaktır. Buna ek olarak, bir arıza durumunda mikro inverterleri tamir etmenin imkânsız olduğu gerçeği de vardır. Genellikle kabuklar yapıştırılır ve koruyucu reçine tüm bileşenleri kaplar, bu nedenle bir arıza durumunda genellikle değiştirilirler.

Micro-Inverters



Şekil 2.11. Mikro inverter [44].

2.4.6. Dizi inverteri

Dizi inverterler, tek bir FV enerji santralini birkaç parçaya bölme ve her parçanın birbirinden bağımsız olarak güç üretmesini sağlama yeteneğine sahiptir. DC giriş gerilimlerinin izin verdiği gerilim değerine kadar panellerin seri olarak bağlandığı ve her bir fotovoltaiik şebekenin eviriciye doğrudan bağlanmasıyla oluşan sistem dönüştürücüleridir. Seri bağlanacak hücre sayısı nominal DC gerilimine göre belirlenir. Bu, kullanılacak hücrenin nominal besleme geriliminden hesaplanır. Ancak seri bağlanacak hücre sayısı, inverterin maksimum radyasyonda dayanacağı gerilim sınırını aşmamalıdır. Hücreler anma gerilimine göre seri bağlandıktan sonra seri hücreler her DC girişinin gücüne göre paralel bağlanır.

Dizi inverterler, 2 ila 5kW-230V tek fazlı ve 5kW-400V üç fazlı üzerinde evsel kurulumlarda bulunabilir. AC çıkış gücü 30 ila 33 kW olan bazı inverterler, MW seviyelerine ulaşmak için enerji santrallerinde veya endüstrilerde kullanılır.

2.5. Şarj Regülatörleri

Güneş paneli tarafından üretilen enerjinin ürettiği gerilimi sisteme uygun gerilim değerine indiren sistem elemanıdır. Şarj kontrolörleri, darbe genişlik hücreasyonu ve maksimum güç noktası takibi olarak iki gruba ayrılır. En genel tanımıyla yük kontrol cihazları, hücreleri korumak için fotovoltaiik panellerin ürettiği akımı hücrelere göre depolamak ve hücreler dolduğunda FV panellerden gelen akımı kesmekten ibarettir. Diğer bir kullanım nedeni ise aşırı akımlara ve ters akımlara karşı koruma sağlaması

ve hücreler dolduğunda otomatik olarak güç beslemesini kesmesidir. Darbe genişlik hücreasyonu şarj kontrolörleri, maksimum güç noktası cihazlarına kıyasla çok ucuzdur. MGN cihazları ise daha verimli ve daha hızlı şarj işlevine sahiptir. Şarj kontrol cihazları 12V veya 24V ile çalışır. Şarj kontrol cihazı akü gruplarına ve çekilecek akıma göre seçilir. Normal kullanımda akü önce şarj kontrolörlerine bağlanır, ardından panele bağlanır. Bu cihazlar aynı zamanda aküye en uygun özellikler ile gerilimi güvenli bir seviyede tutar. Bazı sistemlerde, güç yükseğe birden fazla şarj cihazı kullanılabilir.

2.6. Aküler

Tüketilmediğinde veya şebekeye enjekte edilmediğinde güneş panellerinde elde edilen enerjiyi depolamak için akü kullanır. Akü, elektriği depolayabilen ve daha sonra bu depolanan elektriği herhangi bir zamanda tedarik edebilen bir depolama cihazıdır. Akü, elektrik enerjisini kimyasal enerji şeklinde depolayan cihazlar olarak da tanımlanabilir. Aküler, bir hücrenin performansını bilmek için kullanılan döngü sayısı, derin döngü, derin deşarj, enerji kesme gerilimi ve şarj gerilimleri ile karakterize edilir. Bir döngü, bir şarj ve bir deşarja karşılık gelir ve Boşalma derinliği (DoD), bir hücrenin maruz kaldığı deşarj oranıdır. %80'lik bir DoD, hücrenin %80 deşarj düzeyine ulaştığı ve bu nedenle yalnızca %20 şarj kaldığı anlamına gelir. Batarya hücrelerinin aşılması gereken maksimum DoD değeri vardır, aksi takdirde performans düşer. En yaygın kullanılan aküler lityum ve kurşun asit akülerdir, ancak güneş enerjisi tesisatlarında kristal aküler, sulu aküler, nikel kadmiyum aküler ve nikel metal hibrit aküler de kullanılmaktadır.

3. GÜNEŞ PANELLERİNDE VERİMLİLİK ANALİZİ

Büyük bir güneş enerjisi santrali veya küçük bir ev tipi güneş enerjisi tesisatı kurarken en önemli parametreler panellerin yönü ve eğimidir. Panellerin enerji verimliliğinin maksimum olması için, fotovoltaik panellerin doğru şekilde yönlendirilmesi ve panellerinin yüzeyinde daha iyi bir güneş ışıınımı elde edilmesi çok önemlidir.

Ancak dünyanın neresinde olduğunuza bağlı olarak, güneş ışıınımı ve saçılması çok farklıdır. Bu nedenle bir fotovoltaik güneş enerjisi kurulumu yapmadan önce, ilk adım, en az bir yıllık bir süre boyunca (büyük güneş enerjisi santralleri için) güneş meteorolojik verilerindeki dalgalanmaları belirlemek ve alanın genel ışıınımını belirlemektir.

3.1. Güneş Enerjisi

Saniyede yaklaşık 600 milyon ton hidrojen birleşerek helyuma dönüşür ve kütle kaybı nedeniyle enerji açığa çıkar. Bu enerji Albert Einstein tarafından da $E = mc^2$ olarak ifade edilmiştir. Bu açığa çıkan enerjinin 2,2 milyarda biri dünyaya ulaşır.

Güneş ışıınlarının tamamı yeryüzüne ulaşmaz, %30'u yansır, %20'si ise atmosferde ve bulutlarda hapsolür. Güneş radyasyonunun kalan %50'si dünya yüzeyine ulaşır. Gezegeni ısıtan bu enerji aynı zamanda rüzgâr hareketlerine ve okyanus dalgalanmalarına da neden olur.

Güneş ışıığının yoğunluğu ve spektral dağılımı, bulunduğu yere, yılın zamanına vs. bağlıdır. Birçok faktöre bağlı olarak değışiklik gösterdikleri için standart bir ışıık kaynağının spektrumları referans olarak alınır. Güneş hücrelerini ölçmek için Airmass 0 ve Airmass 1.5 (Airmass-AM0, AM1,5) olarak adlandırılan iki ortak ışııma spektrumu standart olarak kabul edilmiştir. AM0, atmosferden geçen güneş ışıığını ve AM1.5 ise atmosferden geçen güneş ışıınımının yaklaşık bir buçuk katını temsil eder.

Dünya'ya gelen güneş enerjisi, farklı dalga boylarında radyasyondan oluşur. Bu radyasyonlar spektral olarak üç bölgeye ayrılır. Ultraviyole bölgesi radyasyon

enerjisinin %9'unu oluşturur. Görünür dalga boylarındaki radyasyon, toplam enerjinin %45'ini oluşturur. Kızılötesi dalga boyunun toplam radyasyon enerjisi de %46'dır.

Dünya üzerindeki bir N noktasının enlemi, enlem açısı, saat açısı ω ve güneşin sapma açısı δ biliniyorsa, güneş ışınımının yönü belirlenebilir.

Enlem açısı (ϕ): İncelenen yeri (N) dünyanın merkezine (M) bağlayan çizgi ile dünyanın ekvator düzlemi arasındaki açıdır. (NM) ekvatora göre açıdır, açısal büyüklük kuzey işareti (+) ve güney işareti (-) ile ifade edilir. Kuzey Kutbu için +90 (K), Güney Kutbu için -90 (G) enlem açısının veya coğrafi enlem çemberinin tanımı içindir. Dünyanın herhangi bir yerinde bir gözlemci olduğunu varsayarsak gözlemcinin bulunduğu bu noktaya bir teğet düzlemi yerleştirildiğinde, bir doğrunun bu düzleme teğet noktasının ekvator düzlemi ile yaptığı açı olarak tanımlanır. Ancak dünya küre şeklinde değil, “geoid” şeklindedir. Bu nedenle teğet noktasından geçen dünyaya teğet bir düzlemin normali dünyanın merkezinden geçmez. Enlem açısını bulmak için gözlemci konumundan dünya eksenine paralel (kuzey-güney kutup eksenini) bir doğru çizildiğinde, teğet düzlemi ile bu doğru arasındaki açı bu konumun enlem açısını verir.

Saat açısı (ω): İncelenen yerin boylamı ile güneşi dünyanın merkezine bağlayan çizginin yani güneş ışınlarının boylamı arasındaki açıdır. Güneşin ve uzaysal ekvator düzleminde dikkate alınan noktanın izdüşümlerini alırsak, NM açısı saat açısıdır. Güneş boylamı, düşünülen dünyanın boylamı ile aynı olduğunda, güneş öğleden itibaren ölçülür. (-)'yi öğleden önce ve (+)'yi öğleden sonra aldığımızda her iki boylam da 15 °C arasındadır.

Sapma açısı (δ): Güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Bu açı, dünyanın dönme ekseninin yörünge düzlemine normali ile yaptığı açıdan (23°27') gelir. Ekinoks noktalarında, 21 Mart'ta ilkbahar ekinoksunda (K) ve 22 Eylül'de sonbahar ekinoksunda (G) sapma açısı sıfır olur ve gündönümü noktalarında (Haziran yaz gündönümünde + 23.15°C) mutlak maksimum olur. 22 Aralık kış gündönümünde 21 ve -23.45°C mümkün olmaktadır. Eğim açısı: $-23.45^\circ < \delta < +23.45^\circ$ aralığında değişir.

Zenit açısı (z): Zenit açısı, yatay bir düzlemde doğrudan güneş ışığının yönü ile yatay düzlemin normali arasındaki açıdır. Başka bir deyişle, güneş ışınlarının yatay

düzlemde gelme açısıdır. Güneş ışınları yatay düzleme dik olduğunda $z = 0^\circ$ olur çünkü bu normalle paralellik oluşturur. Gün doğumu ve gün batımında, $z=90^\circ$.

Yükselme açısı (y): Güneşin direkt ışınlarının yatay düzlemle oluşturduğu açıdır. Yükseklik ve başucu açılarının toplamı 90° 'dir. ($z+y=90^\circ$.) O halde $\sin y = \cos z$.

Güneş azimut açısı (γ): Güneşin yönünü tam olarak bilmek için kutupsal koordinat sisteminde azimut açısına da ihtiyaç vardır. Aslında bu üçüncü bir koordinat olarak düşünülebilir. Bu nedenle güneş ışınlarının izdüşümünün güneye yaptığı açıya güney azimut, kuzeyle yaptığı açıya kuzey azimut denir.

Güneş zamanı; gözlemci meridyeni ile yerel zaman tabanlı meridyen arasındaki farkı ve güneş gözlemci meridyenini geçtiğinde dünyanın dönüş hızındaki düzensizlikleri hesaba katmaktır. Güneş zamanının tanımı, güneşin gökyüzündeki görünür açısal hareketine dayanır. Güneş öğleni olarak, Güneş'i tam gözlemcinin görünen meridyeni ile gözlemcinin başucunun, yani gözlemlenen günün güneş yükselme açısının (h) en yüksek değeri aldığı zaman olarak tanımlanır. Böylece, yerel standart zaman ile güneş zamanı arasında bir korelasyon vardır:

$$\text{Güneş saati} = \text{yerel standart saat} \pm 4 (L_{ST} - L_{OC}) + E \quad (3.1)$$

Denklem (3.1) deki yerel standart zaman, gözlemcinin bulunduğu "zaman diliminin" taban meridyenine göre verilir. (+) işareti Greenwich-Meridyeninin (90° Meridyen) batısında, (-) işareti ise doğuda kullanılır [21].

4 : Dereceden dakikaya dönüşüm faktörüdür. Birimi (dakika/derece)

L_{ST} : Bölge zamanı Zaman Meridyeni

L_{OC} : Gözlemci meridyeni

E: Dünyanın düzensiz dönüş hızlarını hesaba katar

$$E = 9,87 \cdot \sin(2B) - 7,5 \cdot \cos(B) - 1,5 \cdot \sin(B) \quad (3.2)$$

$$B = \frac{360(n - 81)}{364} \quad (3.3)$$

n: yıldaki gün sayısı

Güneşin geliş açısı (Θ): Güneş ışınları dünyaya iki şekilde gelir. Atmosferde herhangi bir sapma olmadan gelen ışına doğrudan radyasyon (radyasyon), atmosferden geçerken yansıma veya saçılma nedeniyle yön değiştirerek gelen ışına diffüz radyasyon (radyasyon) denir. Güneş ışınlarının yatay veya eğik düzlemde gelme açısı: [21].

$$\begin{aligned} \cos(\theta) = & \sin\delta \cdot \sin\phi \cdot \cos\beta - \sin\delta \cdot \cos\phi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma + \cos\delta \\ & \cdot \cos\phi \cdot \cos\beta \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\phi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma \\ & \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\beta \cdot \sin\gamma \cdot \sin\omega \end{aligned} \quad (3.4)$$

Θ : Eğik düzlemin normali ile doğrudan güneş ışığı arasındaki açı, geliş açısı olarak da bilinir.

δ : Eğim açısı ($-23,45^\circ < \delta < +23,45^\circ$)

β : Eğik düzlemin zemine göre açısı

γ : Azimut açısı,

ω : saat açısı her $15^\circ\text{C}'$ de bir saate eşittir. Güneş öğle saatlerinde, $\omega=0$

ϕ : Enlem açısı.

Yatay düzlemde gün doğumu ve gün batımında başucu açısı Θ : 90° 'dir. Denklemde $\Theta = \Theta_z$ ve $\beta=15^\circ$ alındığında, gün doğumu ve gün batımı denklemi;

$$\cos\Theta_z = \sin\delta \cdot \sin\phi + \cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \sin\beta \cdot \cos\omega \quad (3.5)$$

Denklemde ω s: gün doğumu ve gün batımı saat açısını göstermek için s ile indekslenir. Gün doğumu için negatif ($-\omega_s$) ve gün batımı için pozitif ($+\omega_s$) alınacaktır. Güneşin doğuş ve batıştaki geliş açısının $\Theta = 90^\circ$ olduğu kabul edilerek eğik bir düzlemde gün doğumu ve gün batımındaki saat açısını hesaplamak için denklem;

$$0 = A - B + C \cdot \cos\omega + D \cdot C + E \cdot \sin\omega \quad (3.6)$$

Burada, yılın belirli bir gününde, dünyanın belirli bir yerinde, yatayla belirli bir açı (β) yapan ve karşı karşıya geleceği eğik bir düzlemin yükselmesi ve ayarlanması A, B, C olarak alınır. D ve E hesaplanacak gün için sabittir ve sadece ω değişken olarak alınmıştır.

$$A = \sin\delta \cdot \sin\phi \cdot \cos\beta$$

$$B = \sin\delta \cdot \cos\phi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma$$

$$C = \cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos\beta \cdot \cos\gamma$$

$$D = \cos\delta \cdot \sin\phi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma$$

$$E = \cos\delta \cdot \sin\beta \cdot \sin\gamma$$

Eğik bir düzlem için saat açısı ω_B ve gün doğumu ve gün batımı saat açıları ω_{Br} et olarak tanımlanacaktır. $\sin^2\beta + \cos^2\beta = 1$ dikkate alındığında

$$\omega_B = \arccos \frac{-b \pm \sqrt{N^2 - 4MP}}{2M} \quad (3.7)$$

Burada,

$$A - B = K; \quad C + D = L; \quad L^2 + E^2 = M; \quad 2K \cdot L = N; \quad K^2 + E^2 = P$$

olur.

3.1.1. Güneş ışıınımı bileşenleri

Işımayı belirlemek için parlaklık indeksi, güneş ışığı oranı, ortam sıcaklığı, bulut örtüsü ve bağıl nem gibi çeşitli parametreler dikkate alınmalıdır ve birçok ülkenin küresel ışıınımına meteorolojik verilerle kolayca erişilebilir.

Toplam ışıınımı değerlendirmek için dağıınık güneş ışıınımını bilmek gerekir. Sistem performansı hakkında bilgi sağlayan eğimli bir yüzey üzerindeki toplam güneş radyasyonu miktarını belirlemek için yaygın güneş radyasyonu verilerine ihtiyaç vardır. Ancak küresel ışıımadan farklı olarak, yaygın güneş ışıınımı yalnızca belirli ülkeler için mevcuttur.

Sonuç olarak, bu dağınık radyasyonu değerlendirebilmek için, dağınık bileşeni tahmin etmek üzere meteorolojik verilere dayanan denklemleri matematiksel olarak geliştirmek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Liu ve Jordan, parlaklık indeksi açısından dağınık fraksiyonu tanımlayan güneş radyasyonu denklemlerini geliştiren ilk kişilerdir ve daha sonra, onların denklemlerinden yararlanarak, diğer birçok araştırmacı dağınık güneş fraksiyonu ve/veya dağınık güneş katsayısı gibi yeni parametreler ekleyerek yeni denklemler geliştirmiştir. Parlaklık indeksi, güneş ışığının bir kesri olarak ifade edilir.

Netlik indeksi, küresel güneş radyasyonunun (H) dünya dışı güneş radyasyonuna (H_0) bölünmesidir, güneş ışığı oranı, güneş ışığının (S) saat sayısının maksimum güneş radyasyonu (S_0) saat sayısına ve dağınık fraksiyona bölünmesidir. Yaygın güneş ışıınının (H_d), küresel güneş ışıınınına (H) bölümüdür. Yayılan radyasyonu belirlemenin en yaygın yöntemlerinden biri (H/H_0) veya (S/S_0) katsayılarını kullanmaktır [24].

- (H/H_0) ile belirleme

$$\frac{H_d}{H} = 0.9576 - 1.0956 \cdot \left(\frac{H}{H_0} \right) \quad (3.8)$$

- (S/S_0) ile belirleme

$$\frac{H_0}{H} = 0.7470 - 0.5512 \cdot \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (3.9)$$

Yukarıdaki iki denklem, yayılan ışınları belirlemek için [2] tarafından önerilen denklemlerdir. Bu denklemler, yazarlar tarafından önerilen tek denklem değildir ve yayılan radyasyonları belirlemeye izin veren diğer birçok denklemden sadece biridir.

Küresel güneş radyasyonu (H) ve güneşlenme saatleri (S) değerleri, Türkiye Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün güneş enerjisi potansiyel atlasından elde edilmektedir. Dünya dışı güneş radyasyonu (H_0) ve mümkün olan maksimum güneşlenme saati (S_0) sırasıyla literatürde bulunan matematiksel ifadelerden hesaplanmıştır.

$$H_0 = \left(\frac{24 \cdot 3600}{\pi} \right) G_{SC} \times \left(1 + 0.33 \cdot \cos \frac{360 \cdot \eta_{\text{gün}}}{\pi} \right) \times \left(\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \right) \times \sin \phi \cdot \sin \delta \quad (3.10)$$

$$S = \frac{2}{15} \omega_s \quad (3.11)$$

G_{SC} : güneş sabitidir (1367 W/m²'ye eşittir)

$\eta_{\text{gün}}$: yıldaki gün sayısıdır

ϕ : enlem

δ : güneş sapması

ω_s : şu şekilde tanımlanan yatay bir yüzey için gün doğumu saat açısıdır:

$$\delta = 23.45 \cdot \sin \left(\frac{\eta_{\text{gün}} + 284}{365} \right) \cdot 365 \quad (3.12)$$

$$\omega_s = \cos^{-1} (-\tan \phi \cdot \tan \delta) \quad (3.13)$$

$c_0, c_1, c_2, c_3, c_4, c_5$ ve c_6 regresyon analiz tekniği ile belirlenen regresyon sabitleri denklemlere eklenerek difüz güneş radyasyonu elde edilir. Daha sonra şehir için seçilen denklemlerin sonuçlarının ortalaması alınır.

- (H/H_0) ile belirleme

$$\frac{H}{H_0} = c_0 + c_1 \cdot \left(\frac{H}{H_0} \right) + c_2 \cdot \left(\frac{H}{H_0} \right)^2 + c_3 \cdot \left(\frac{H}{H_0} \right)^3 \quad (3.14)$$

- (S/S_0) ile belirleme

$$\frac{S}{S_0} = c_0 + c_1 \cdot \left(\frac{S}{S_0} \right) + c_2 \cdot \left(\frac{S}{S_0} \right)^2 + c_3 \cdot \left(\frac{S}{S_0} \right)^3 \quad (3.15)$$

- (H/H_0) ve (S/S_0) ile belirleme

$$\frac{H}{H_0} = c_0 + c_1 \cdot \left(\frac{H}{H_0}\right) + c_2 \cdot \left(\frac{H}{H_0}\right)^2 + c_3 \cdot \left(\frac{H}{H_0}\right)^3 + c_4 \cdot \left(\frac{S}{S_0}\right) + c_5 \cdot \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 + c_6 \cdot \left(\frac{S}{S_0}\right)^3 \quad (3.16)$$

Son olarak, tüm denklemlerin doğruluğunu değerlendirmek için istatistiksel göstergeler kullanılır [24].

- Ortalama Sapma hatası

$$MBE = \frac{1}{x} \sum_{i=1}^x (EV_i - MV_i) \quad (3.17)$$

- Ortalama mutlak yüzde hatası

$$MPAE = \frac{1}{x} \sum_{i=1}^x \left| \frac{EV_i - MV_i}{MV_i} \right| \quad (3.18)$$

- Ortalama mutlak sapma hatası:

$$MABE = \frac{1}{x} \sum_{i=1}^x |EV_i - MV_i| \quad (3.19)$$

- Ortalama Karekök Hatası:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{x} \sum_{i=1}^x (EV_i - MV_i)^2} \quad (3.20)$$

- Belirleme katsayısı (korelasyon katsayısının karesi)

$$R^2 = \frac{\left(\frac{1}{x} \sum_{i=1}^x (EV_i - MV_i) - (MV_i - MV_a) \right)^2}{\sqrt{\left[\frac{1}{x} \sum_{i=1}^x (EV_i - MV_i)^2 \right] - \left[\sum_{i=1}^x (MV_i - MV_a)^2 \right]}} \quad (3.21)$$

- t-istatistiği:

$$t = \sqrt{\frac{(n-1)MBE^2}{RMSE^2 - MBE^2}} \quad (3.22)$$

x örnek boyutudur, n- 1 serbestlik derecesidir, EVi i. tahmin edilen değerdir, MVi i. ölçülen değerdir, EVa tahmin edilen değerlerin ortalamasıdır, MVA ölçülen değerlerin ortalamasıdır.

Drğişkenler arasındaki doğrusal ilişki azaldıkça R², 0 civarında değerler alırken, doğrusal ilişki düzeyi arttıkça R², 1 civarında değerler alır. Denklemler MBE ve RMSE için benzer sonuçlar verdiğinde, daha küçük t değerlerine sahip denklemleri seçmek daha iyidir.

3.2. Fotovoltaik Hücrelerin Elektriksel Özellikleri

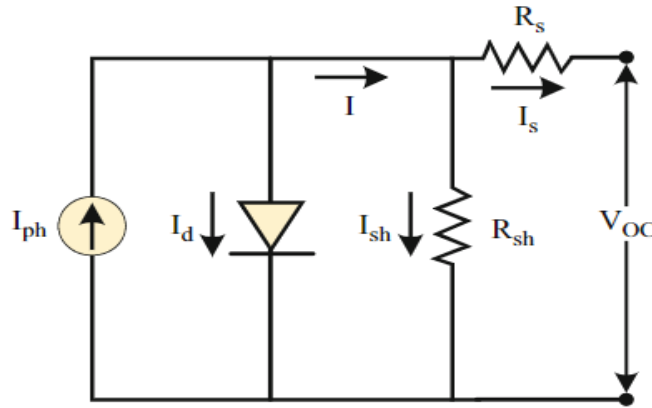
Fotovoltaik hücrelerin elektrik performansını açıklarken kullanılan en önemli iki değişken açık devre gerilimi (V_{CO}) ve kısa devre akımı (I_{sc})'dır. İdeal bir güneş hücresinin kısa devre akımı ve açık devre gerilimi olabildiğince yüksek ve doluluk faktörü olabildiğince 1'e yakın olmalıdır. Fotovoltaik panel verimi ise fotovoltaik çıkış gücünün, fotovoltaik panel alanı ile panel yüzeyine gelen toplam ışık akışının çarpımına oranıdır. Bunun yanında fotovoltaik panellerin birbirleriyle kıyaslanabilmeleri için standart anma koşullarındaki maksimum güç, kısa devre akımı, açık devre gerilimi, maksimum güç noktasındaki akım ve gerilim grafiği, normal işletim fotovoltaik hücre sıcaklığı ve kısa devre akımı ile açık devre gerilimi için sıcaklık katsayılarından yararlanılır.

3.2.1. Fotovoltaik diyotlar

Güneş panellerindeki PN jonksiyonu, bir anoda ve bir katoda sahiptir. Bir diyot gibi ters akımı önlerken akımın tek bir yönde akmasına izin verir. Fotovoltaik güneş panellerinin verimliliği, 1.000 W/m² güneş radyasyonu, 25°C sıcaklık ve 1,5 hava kütlesi oranı (hava kütlesi) gibi standart test koşullarına (STC) göre belirlenir. Sonuç olarak, elektriksel özellikler doğrudan güneş panellerinin yüzeyine düşen ışıkla ilgili olduğundan, ışıyım yoğunluğu gerçek koşullar altında her zaman sabit olmadığından, verimler genellikle veri sayfasında verilenlerden farklıdır. Güneş hücrelerinde akımdaki azalma doğrusaldır, gerilimdeki azalma ise ışığın kullanılabilirliğindeki

azalmaya bağılı olarak logaritmiktir. Bu azalma esas olarak şönt direncin etkisinden kaynaklanmaktadır, çünkü ışık seviyesi azaldığında eşdeğer direnç şönt dirence karşılık gelmektedir. Sonuç olarak, toplam akımın büyük bir kısmı şönt direnç üzerinden akar ve bu da güç kaybını artırır. Kaybın boyutu, güneş hücrelerinde kullanılan malzemelere ve üretim sürecine bağlıdır [45].

İdeal durumlar göz önüne alındığında, bir güneş hücresinin eşdeğer devresi bir diyot ve paralel bir akım kaynağı ile oluşturulabilir. Ancak, gerçek hayattaki durumları karşılamak için eşdeğer devreye bir seri direnç ve bir paralel direnç eklenir. Seri direnç (R_s), hücre bağlantılarından, p-n bağlantısının derinliğinden ve malzeme safsızlığından kaynaklanan direnci telafi eder. R_p (R_{sh}) direnci, p-n bağlantısının kaçak akımından kaynaklanan bir dirençtir ve doğrudan malzeme kalitesiyle ilgilidir [32].



Şekil 3.1. Bir güneş hücresinin elektriksel modeli [45].

$$I = I_{ph} - I_d - I_p \quad (3.23)$$

I_{ph} , ışınlamayla doğru orantılı ışık akımıdır ve hücrenin ışıktan elektrik enerjisi üretme kabiliyetiyle ilgilidir [46].

$$I_{ph} = \frac{G}{G_{nom}} I_{ph(Gnom)} \quad (3.24)$$

Bu denklemde G_{nom} , daha önce de belirtildiği gibi 1000 W/m^2 olan standart test koşulları (STC) altındaki ışınlamay değeriştir. G değişkeni, ışınlamayın anlık değeriştir. $I_{ph}(G_{nom})$ standart test koşulları altında ışık akımının değeriştir [32].

$$I_d = I_0 \left(\exp \left(\frac{qV_d}{aKT} \right) - 1 \right) \quad (3.25)$$

Burada,

I_d : Diyottan geçen akım

I_0 : Diyotun T sıcaklığındaki ters doymunluk akımı

T: K cinsinden mutlak sıcaklık

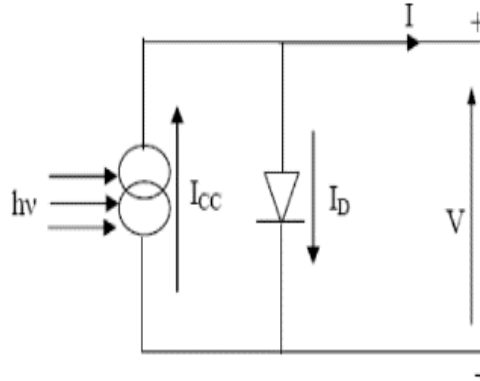
A: Diyotun 1 ile 2 arasında değişen idealite faktörü,

V_d : Diyot gerilimi v

k: Boltzman sabitidir.

3.2.2. Direnç

Aşağıdaki eşdeğer devre ideal bir hücreye aittir. Bu konfigürasyon, biri diyot veya akım kaynağına paralel, diğeri seri bağlı iki dirençle temsil edilebilen hücre kayıplarını veya diğr omik kayıplardan kaynaklanan gerçek kayıpları hesaba katmaz. Hücrenin performansını sınırlayan seri direnç R_s ve paralel direnç R_p , hücredeki dağıtıcı olayları (iç kayıplar) hesaba katmak için modele eklenir.



Şekil 3.2. Tek diyot modeli [18].

R_s : Seri direnç, esas olarak kolektör ızgaralarındaki Joule kayıpları ve yarı iletkenlerin öz direncinin yanı sıra zayıf temaslardan (yarı iletken, elektrotlar) kaynaklanır. Sağlanan gerilim, seri olarak dirençler arasında bölünür ve bu da Ohm etkisi olarak da bilinen ısı şeklinde güç dağılımına yol açar.

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp \left(\frac{q(v + IR_s)}{aKT} \right) - 1 \right] + \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (3.26)$$

I çıkış akımı, I_{ph} akım kaynağının değeri, I_s ters doyma akımı, birim elektrik yükünün değeri devre üzerindeki gerilim, a idealite faktörü, q ($1,60217646 \times 10^{-19}C$) Boltzmann sabiti ($1,3806503 \times 10^{-23}J/K$), T : Çalışma sıcaklığı ve R_{sh} : Eşdeğer devredeki şönt dirençtir.

Eşdeğer seri direnç R_s için önerilen değer, tüm metal kontaklar ideal iletkenler olduğunda sıfırdır; bu nedenle gerilim düşümü meydana gelmez ve güneş hücresi/hücresi tarafından sağlanan tüm gerilim yüke aktarılabilir. Hem R_s hem de R_{sh} 'nin FF üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu unutulmamalıdır [46].

R_{sh} : 'Şönt' olarak bilinen paralel direnç, esas olarak kalınlık, yüzey etkileri ve bağlantı noktasının ideal olmamasından kaynaklanan rekombinasyon kayıplarından kaynaklanır. İdeal olarak, paralel dirençlerin sonsuza eşit olması gerekir ve bu nedenle ideal eşdeğer devrede görünmezler. Bununla birlikte, güneş hücrelerindeki üretim hataları nedeniyle, güneş hücresinin gerçek eşdeğer devresi, küçük akım değerlerini emen nispeten büyük dirençlere sahiptir. Bu akım kaybı, maksimum güç noktasının değerinde bir düşüşe neden olur. Paralel direncin gerilim üzerinde çok az, ancak akım üzerinde büyük bir etkisi vardır. Aşağıdaki denklemde açıklandığı gibi, şönt direncin değeri küçükse akımın değeri önemli ölçüde düşebilir [46].

$$I = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{qv}{aKT}} - 1 \right) + \frac{V}{R_{sh}} \quad (3.27)$$

R_s ve R_{sh} , hücrenin kısa devre akımını bir ışık akımına I_{ph} dönüştürür, bu nedenle eşdeğer elektrik düzenlemesi Şekil 4'te gösterilmiştir:

3.3. Fotovoltaik Panellerin Paralel Seri Bağlantısı

Toplam akımı veya gerilimi arttırmak için FV paneller hedef akım veya gerilime bağlı olarak birbirlerine seri veya paralel bağlanabilir. Aynı FV panelleri kullanıldığında, her hücrede üretilen gerilim veya akımda bir fark yoktur [47]. Bununla birlikte, FV panellerin verimliliğini etkileyen gölgeleme veya belirli yapısal koşullar gibi çevresel

faktörler varsa, FV hücre tarafından üretilecek akım ve gerilimin değeri farklı olacaktır. Özdeş olmayan iki FV panel bağlandığında, düşük akımlı FV panel, FV panelin akımını düşürecek ve özdeş olmayan iki FV panel paralel bağlandığında, düşük gerilimli FV hücre, FV hücresin gerilimini düşürecek, böylece hücresin verimliliği ve güç çıkışı azalacaktır[48]. FV paneller paralel bağlandığında, çıkış akımı her bir FV panel tarafından üretilen akımın toplamına eşit olacağından akım açısından bir kayıp olmaz. Ancak çıkış gerilimi dikkate alındığında, FV panellerin gerilimleri eşit olmadığından eşdeğer gerilimde kayıplar olacaktır. Ayrıca, bir FV dizisinin gerilim grafiği genişletilerek simetrik kesişim noktalarından eşdeğer gerilimin hesaplandığı görülmüştür [49].

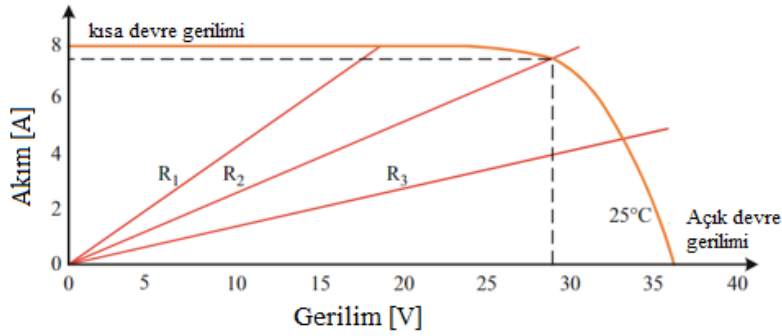
Temel elektrik yasaları dikkate alındığında ve deney düzeneği kurulduğunda, eşdeğer gerilimin yüksek bir değerden başladığı ve bir süre sonra parabolik bir şekilde minimum değere düştüğü gözlemlenebilir. Bu nedenle, farklı gerilimler üreten FV paneller paralel bağlandığında, eşdeğer gerilimin en düşük gerilim değerine eşit olacağı söylenebilir.

FV paneller arasında seri bağlantı yapılırsa, bu sefer toplam akım kaybı olacaktır. Eşdeğer gerilimi bulmak için FV paneller tarafından üretilen gerilimler toplanır. Ancak eşdeğer akım hesaplanırken eşdeğer akım FV paneller arasındaki en düşük akım değeri olacaktır. FV dizide kullanılan FV hücreler gruplar halinde birbirine bağlanırsa bir hücrede meydana gelen düzensizlik sadece o grubu etkileyecek ve verim kaybını azaltacaktır. Bu nedenle panelde grup sayısı arttırılmalıdır [49].

Bir güneş hücresinin çevresel ve termal koşullara nasıl tepki verdiğini gösteren çıkış değerleri I-V ve I-P eğrisi ile gösterilir. I-P eğrisi, yüke uygulanan her gerilim için beklenen güç çıkışını vermek üzere akımın gerilimle çarpıldığı hücre veri sayfasında verilmiştir. Hücresinin durumuna, bulunduğu sıcaklığa, yerleşim düzenine ve üretiminde kullanılan malzemelere bağlı olarak, bir güneş hücresi 0,3 ile 0,7V arasında değişen bir gerilim üretebilir. Bir hücresinin gerilimini seri haldeki hücrelerin N_s sayısı ile ve akımı paralel haldeki hücrelerin N_p sayısı ile çarparak, bir güneş hücresinin akım-gerilim karakteristiklerini elde edebiliriz.

Akım-gerilim (I-V) karakteristik eğrisi, standart test koşulları altında güneş hücresi tarafından üretilen gerilim ve akım arasındaki ilişkiyi göstermek için kullanılan temel bir özelliktir. Güneş hücresi gerilim kontrollü bir akım kaynağı olarak kabul edilebilir,

bu da I-V eğrisinin sabit bir akım değerine sahip olduğu, gerilim değerinin ise bağlanan yüke bağlı olarak değişebileceği anlamına gelir. Şekil 3.3 gösterildiği gibi, aynı güneş hücresine farklı dirençlere sahip yükler bağlanmıştır. I-V eğrisi ile doğrusal dirençli yük arasındaki kesişme noktası, çalışma güç noktasını belirler. Açık devre gerilimi, kısa devre akımı ve maksimum güç noktası bu şekilde dikkate alınması gereken ana noktalar.



Şekil 3.3. FV hücrenin akım-gerilim karakteristiği [45].

Bu eğri, hücreyi değişken bir dirence bağlayarak ve direncini 0 ohm'dan çok büyük bir değere yükselterek çizilebilir. Bu aralıkta direnç, akım akışı ve gerilim düşüşünün çarpımının güneş panelinin maksimum güç noktasını temsil eden maksimum bir değere ulaştığı bir R_2 direnç değerinden geçer. Diyotların I-V karakteristik eğrisi, dirençlerinkinden farklı olarak doğrusal değildir.

3.4. Maksimum Güç Noktaları (MGN)

Devre kısa devre veya açık devre koşullarında çalıştığında, faktörlerden biri sıfır olacağından yüke iletilen yararlı bir güç olmayacaktır. FV teknolojisinde yük, güneş hücresine karşısına bağlanan dirençli yüke bağlı olarak hem akım hem de gerilim sağladığı çalışma noktasını düzenler. Bu nedenle, güneş hücresine artan bir değerde değişken bir direnç uygulandığında, güneş hücresi maksimum değere ulaşana kadar güç çıkışını artırmaya devam eder ve ardından düşmeye başlar. Hücresin mümkün olan en yüksek gücü sağladığı kritik nokta MGN (maksimum güç noktası) olarak adlandırılır.

Bir güneş hücresinin ana temel parametreleri açık devre gerilimi (V_{co}), kısa devre akımı (I_{cc}), doluluk faktörü (FF) ve güneş hücresinin verimliliğidir (η).

- Açık devre gerilimi (V_{co})

Bu, güneş hücresinden geçen akım sıfır olduğunda elde edilen gerilimdir. Bu gerilim, güneş hücresinin dış devresine bağlı yük direnci (R_L) devrenin kendi direncinden büyükse, güneş hücresinin terminalleri boyunca ölçülür. Başka bir deyişle, hücrenin bir yüke bağlı olmadığı veya sonsuz dirençli bir yüke bağlı olduğu zamanki gerilimdir. Bu gerilimin değeri sıcaklıkla azalır ve ışıma ile çok az değişir [48].

- Kısa devre akımı (I_{cc})

Aydınlatılan alana, güneş radyasyonu spektrumuna ve sıcaklığa bağlı olarak, kısa devre akımı güneş hücresinin verebileceği en yüksek akımdır. Seri direnç kayıpları ihmal edilirse, kısa devre akımı, güneş hücresi tarafından düşük veya sıfır empedanslı bir devreye sağlanan akımdır [48].

- Doluluk Faktörü (FF)

Doluluk faktörü esasen fotovoltaiik güneş hücresinin maksimum güç çıkışını açık devre gerilimi ve kısa devre akımının bir fonksiyonu olarak belirlemek için hesaplanan bir güneş hücresi kalitesi ölçüsüdür. Açık devre gerilimi ile kısa devre akımının çarpılmasıyla hücrenin sağlayabileceği maksimum güç P_{max} ile teorik güç (P_t) karşılaştırılarak hesaplanır [48].

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{Co} \cdot I_{cc}} \quad (3.28)$$

Burada $P_{max} = I_{max} \cdot V_{max}$

$$FF = \frac{I_{max} \cdot V_{max}}{V_{co} \cdot I_{cc}} \quad \text{ya da} \quad FF = \frac{\eta \cdot I_{cc} \cdot A_c}{V_{co} \cdot I_{cc}} \quad (3.29)$$

Bu nedenle fil faktörü, gerçek hücre ile $R_s=0$ ve $R_{sh} = \infty$ (ideal hücre) olan bir hücre arasındaki farkı temsil eder. İdeal bir güneş hücresi için dolum faktörü 1'e eşittir. Dolum faktörünün yüksek olması için devreye seri bağlı direnç değeri (R_s), diyot idealite parametresi (A_o), ters doyma akım yoğunluğu değeri (J_o) ve sıcaklık değeri (T) küçük olmalıdır; enerji boşluğu (E_g) ve paralel direnç değeri (R_p) büyük olmalıdır.

Tipik form faktörleri 0,5 ila 0,82 arasında değişir ve 1'e ne kadar yakınsa hücre ideale o kadar yakındır.

- Hücresinin verimliliği (η)

Bu, güneş hücresinin güç dönüştürme kapasitesidir. En önemli parametredir ve $P_{\max}$ hücresi tarafından sağlanan maksimum gücün gelen ışık gücü P_{in} 'e oranı olarak tanımlanır. Verimlilik, form faktörü, kısa devre akımı ve açık devre gerilimi artırılarak geliştirilebilir.

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{FF \cdot V_{co}}{P_{in}} \quad (3.30)$$

P_{in} : W cinsinden hücre tarafından alınan ışık gücünün gelen gücü, W/m^2 cinsinden ölçülen gelen ışığın güneş ışınlamının (G), m^2 cinsinden güneş hücresinin yüzey alanı (A_c) ile çarpımı olarak alınır.

$$P_{in} = G \cdot A_c \quad (3.31)$$

3.5. Çevrenin Güneş Fotovoltaik Panelleri Üzerindeki Etkisi

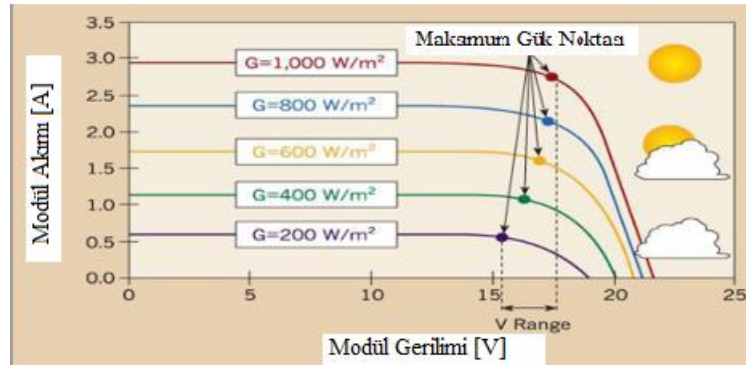
Fotovoltaik güneş enerjisi tesislerinin verimliliği, fotovoltaik panellerin kurulduğu ortama büyük ölçüde bağlıdır. Tesisin konumuna bağlı olarak çeşitli faktörler ve parametreler panellerin enerji üretimi üzerinde doğrudan veya dolaylı bir etkiye sahip olacaktır. Bu parametreler arasında güneş panellerinin verimliliğini etkileyen en önemli parametreler olarak güneş radyasyonunun yoğunluğu ve gün boyunca atmosferik koşullardaki değişikliklere bağlı sıcaklık, rüzgâr hızı, nem ve panellerin sıcaklığı sayılabilir. Bu parametrelere panel eğim açısı, gölgeleme ve diğer kayıpları da eklenir.

Optimum enerji üretim tahminlerini elde etmek için atmosferik değişim üzerindeki çevresel faktörleri dikkate almak önemlidir. Üreticiler tarafından verilen güneş hücrelerinin enerji verimliliği ve verim değerleri, standart test koşulları (STC) olarak adlandırılan $1000 W/m^2$ güneş radyasyonu yoğunluğu, $25^\circ C$ hücre sıcaklığı ve AM1.5 hava kütle oranı gibi laboratuvar testleri sonrasında panelin optimum koşullardaki

elektriksel değerleridir. FV panelin STC dışındaki varyasyonlardaki elektriksel değerleri bilinmemektedir. FV sistemlerin yıllık performansının değerlendirilmesinde doğru yöntemin belirlenmesi için çevresel faktörler dikkate alınmalıdır.

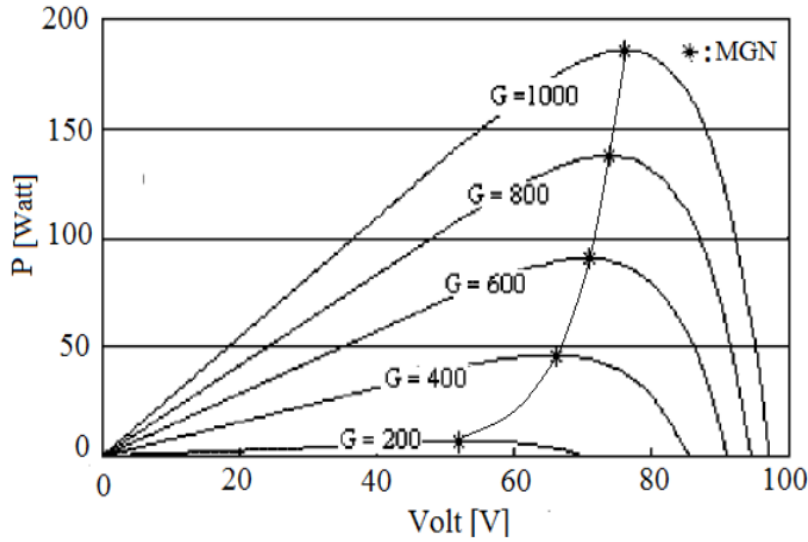
3.5.1. Güneş radyasyonunun etkisi

Fotovoltaik güneş hücreleri tarafından üretilen güç üzerinde en büyük etkiye sahip çevresel parametre şüphesiz güneş ışınımının yoğunluğudur, çünkü bir FV hücresi tarafından üretilen akım miktarı güneşin parlaklığı ile doğru orantılıdır. Pratik çalışma aralığında fotovoltaik hücrelerin foto dönüşüm verimliliği güneş ışınımındaki değişimlerden büyük ölçüde etkilenmez. Ancak bu, metrolojik koşullardan bağımsız olarak aynı gücün elde edileceği anlamına gelmez çünkü bulutlu havalarda güneş hücrelerinin girişinde toplanan enerji, güneşli havalarda elde edilen enerjiye kıyasla düşük olacaktır. Yani bulutlu havalarda giriş enerjisi azalır ve dolayısıyla çıkış gücü de azalır. Aydınlıktaki önemli bir değişiklik akımı önemli ölçüde değiştirse de gerilim neredeyse sabit kalır. Aşağıdaki şekilde görülebileceği gibi, ışınım değiştikçe akım önemli ölçüde değişir, ancak gerilim nispeten sabit kalır. Güneş ışınımı kısa devre akımını (I_{SC}) ve açık devre gerilimini (V_{OC}) de artırdığından, FV sisteminden elde edilen güç artar.



Şekil 3.4. Güneş radyasyonunun FV hücrelerinin gerilimi ve akımı üzerindeki etkisi.

Fotovoltaik hücre üzerine gelen ışık miktarı, yük taşıyıcılarının oluşumunu doğrudan etkiler ve sonuçta hücre tarafından üretilen akımı etkiler. Foto-akımın (FV kısa devre akımı) büyüklüğü güneşin yoğunluğuyla doğru orantılı olarak değişir. Örneğin, %90 güneş yoğunluğundaki (900 W/m^2) kısa devre akımı, %45 güneş yoğunluğundaki (450 W/m^2) kısa devre akımının iki katıdır.



Şekil 3.5. Radyasyonun güç üzerindeki etkisi [48].

Panelden çekilen maksimum güç değeri (MGN) güneşlenme seviyesi ile doğru orantılı olarak değişir. Güneş ışınları yüzeye dik geldiği ve ışınlar atmosferde daha kısa yol aldığı için UV radyasyonu bu durumda en yüksek değere ulaşır. Güneş ışınlarının yeryüzüne geliş açısı, dünyanın güneş etrafındaki yıllık hareketine ve enlemlere göre değişir. Güneşi yılda iki kez dik açıyla alan ekvatorial bölgeler, yüksek enlemlerdeki kutup bölgelerine göre daha fazla güneş radyasyonuna maruz kalır. Ayrıca sıcak enlemlerde, uzun gün ışığına sahip yaz aylarında maksimumdur.

Açık devre geriliminin değeri, artan ışık yoğunluğu ile değişen akımdan daha yavaş artar, çünkü açık devre gerilimi logaritmik olarak kısa devreye ve güneş hücresi diyotunun veya hücrenin doyma akımına bağlıdır.

3.5.2. Sıcaklık etkisi

Güneş ışıınımı gibi sıcaklık da bir güneş hücresinin fotovoltaik ışık dönüştürme sürecini büyük ölçüde etkileyen başlıca faktörlerden biridir. Ortam sıcaklığındaki artışlar hücre sıcaklığında artışa neden olur. FV'lerin kısa devre akımı, sıcaklıktaki istikrarlı bir artışla birlikte artma eğilimindedir. Ancak açık devre gerilimi ve dolum faktörü logaritmik olarak azalır. Sonuç olarak güç çıkışı daha düşük değerlerdedir. Başka bir deyişle, FV'nin sıcaklığı arttıkça, FV'nin güç çıkışı azalır. FV panellerin performansının havanın açık olduğu soğuk havalarda sıcak havalara göre daha yüksek olduğu da görülebilir. Sıcaklıktaki her 1°C'lik artış, çıkışı %0,5 oranında azaltmaktadır [50]. Bu nedenle sıcak ve güneşli iklimlerde en iyi performansı elde etmek için hücre

seviyesinde yüksek açık devre gerilimine ve hücre seviyesinde düşük omik hücre ara bağlantılarına sahip olmak çok önemlidir [51].

Sıcaklığı düşük tutarak yüksek çıkış verimi elde etmek için uzay uygulamalarında kullanılan fotovoltaik güneş panelleri şeffaf bir erimiş silisyum tabakası ile kaplanır. Bu tabaka çok katmanlı filtre özelliğine sahiptir ve ultraviyole ışınların güneş hücresi yüzeyinden yansımaları sağlar.

3.5.3. Rüzgâr hızının etkisi

Daha önce de belirtildiği gibi, fotovoltaik hücrelerin performansı sıcaklıklara karşı çok hassastır. Fotovoltaik hücrelerin sıcaklığı, meteorolojik değişkenler (ortam sıcaklığı, rüzgâr vb.), güneş radyasyonu, hücre malzemesi ve sisteme bağlı özellikler (cam geçirgenliği, plaka emilimi vb.) gibi farklı parametrelerin bir fonksiyonudur [52]. Rüzgâr hızı FV panel sıcaklığını düşürürken, FV hücre sıcaklığı rüzgâr hızına çok duyarlıdır ve rüzgâr yönüne karşı çok duyarlı değildir.

3.5.4. Kar ve buzun etkisi

Fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri, kuruldukları bölgedeki ağır kış koşullarının yıkıcı ve zarar verici etkilerine karşı fiziksel olarak dayanıklı olacak şekilde inşa edilirler. Ancak kar örtüsü, güneş ışınımının fotovoltaik panellere ulaşmasını engeller ve güneş panellerinin yüzey kaplamasının yanı sıra panellerin yerleştirildiği mekanik aksam üzerinde de ek bir yük oluşturur [53]. Sonuç olarak FV sisteminin üretimi ve elektrik enerjisi kazancı azalır. Bu nedenle, FV panellerin yüzeyinden kar ve donun uzaklaştırılması çözülmemiş zorluklardan biri olmaya devam etmektedir [54].

3.5.5. Nem etkisi

Bu konudaki çalışmalar incelendiğinde, özellikle kıyı bölgelerinde nem değerlerindeki dalgalanmaların farklı tipteki panellerde (monokristal-Si, polikristal-Si ve Amorf) enerji üretiminde küçük dalgalanmalara neden olduğu gösterilmiştir [55]. Bir başka çalışmada, bir güneş panelinin farklı nem değerlerinde ürettiği açık devre gerilimi, kapalı devre akımı ve enerji, sıcaklık sabit tutularak laboratuvar ortamında ölçülmüş ve %25 nem değerinde üretilen enerji 47538 watt-saat, %55 nem değerinde ise 30681 watt-saat olarak ölçülmüştür. Nem, özellikle göl kıyısı ve deniz kıyısı gibi alanlarda güneş panellerinin verimliliğinde bir faktör olarak düşünülebilir [56].

3.5.6. Toz ve kirin etkisi

Bu belgede daha önce de belirtildiği gibi, bir FV hücresi tarafından üretilen elektrik enerjisi miktarı, güneş hücrelerine ulaşan güneş radyasyonu ile doğru orantılıdır. Bununla birlikte, toplam güneş radyasyonu atmosferden geçerken, önemli bir yüzdesi toz parçacıkları tarafından saçılır ve bu da FV hücresi üzerindeki güneş radyasyonu ışın bileşenini azaltır[17]. Yapılan çalışmalarda panel yüzeylerinin verimliliğinin esas olarak toz kirlenmesi nedeniyle %4 ila %32 oranında etkilendiği tespit edilmiştir. Bunu rapor eden ilk çalışma 1942 yılında güneş enerjili su ısıtma sistemine sahip bir cihaz üzerinde gerçekleştirilmiş ve tozun (güneş paneli yüzeyindeki kirlenme) verimi %4,7 oranında düşürdüğü gözlemlenmiştir[48]. Yapılan diğer çalışmalarda ise termal kameralar ile güneş paneli üzerinde kuş pislikleri incelendiğinde bunun panelin ilgili bölgesinde panel sıcaklığını 10°C arttırdığı ve panelin verimliliğini olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir [58].

3.5.7. Gölgeleştirmenin etkisi

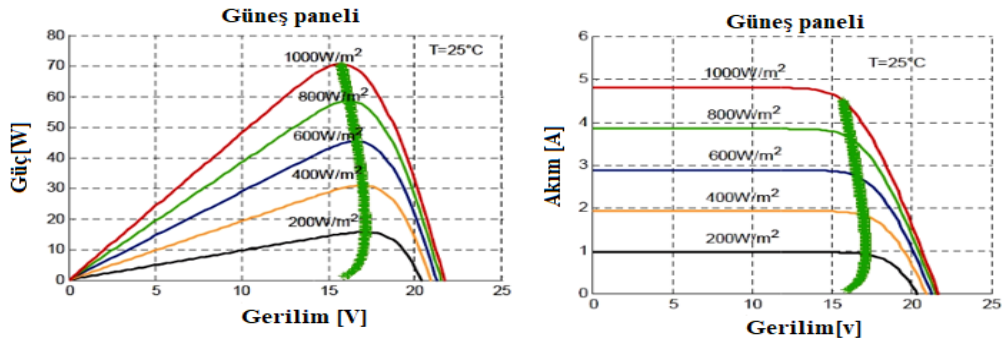
Fotovoltaik panellerin gölgelenmesi panellerin verimini etkiler. Gölgelemeye neden olan faktörler çatıdaki antenler, ağaçlık alanlar, ağaç dalları, dağlar, yüksek binalar gibi çevresel faktörlerdir. Hücre üzerindeki küçük bir gölge bile verimi önemli ölçüde etkiler. Bir hücredeki gölgelenme diğer dizilerdeki hücrelerin performansını da önemli ölçüde etkiler. Dış etkenlerden kaynaklanan gölgelenmeye ek olarak, aynı dizideki panel sırası öndeki panel sırası tarafından gölgelenebilir, bu da verimliliği olumsuz etkiler [59]. Bu nedenle, FV panellerinin güneş ışığı aldığı cephesinde gölgeleme engelleri olmamasına dikkat edilmelidir [60].

3.6. Maksimum Güç Noktasını Bulmak İçin Yöntemler ve Algoritma

Genellikle fotovoltaik sistemler veya rüzgâr jeneratörleri gibi doğrusal olmayan elektrik jeneratörleriyle ilişkilendirilen MGNİ (Maximum Güç Nokta İzlemesi) sistemleri, maksimum gücü aktarmak için jeneratör ve yükü arasında mükemmel bir eşleşme sağlarken maksimum güç noktasını (MGN) aramaya izin veren çoğu yeni invertör ve şarj kontrol cihazına entegre edilmiş güç elektroniği cihazlarıdır. Kaynak ve yük sabit özelliklere sahipse, maksimum güç noktasının altındaki çıkış gerilimini hesaplamak ve izlemek kolaydır. Güneş hücreleri gerilim kontrollü güç kaynakları

olduğundan, güneş dizisinin maksimum dizi akımını elde eden uygun bir gerilimde çalıştırılmasını sağlayan bir tekniğe sahip olmak önemlidir. V_{mpp} olarak adlandırılan bu gerilim ve I_{mp} olarak adlandırılan karşılık gelen akım, I-V eğrisi üzerindeki maksimum güç noktasının (MGN) düzlem koordinatlarıdır [45]. İlk MGNİ kontrol algoritmaları çok basitti. Gerçekten de, o dönemde mevcut olan mikro denetleyicilerin kapasiteleri düşüktü ve özellikle uzaya yönelik uygulamalar, sıcaklık ve aydınlatma değişimleri açısından karasal uygulamalara göre çok daha az kısıtlamaya sahipti. Başlangıçta fotovoltaiklere uygulanan prensibi ilk olarak A.F. Boehringer tarafından tanımlanmıştır [61]. Bu kontrol, sistemin maksimum güç noktasında tutulmasını sağlayan uyarlanabilir bir kontrol algoritmasına dayanmaktadır.

Fotovoltaikler söz konusu olduğunda, hücrelerin özellikleri güneş ışığı, ortam sıcaklığı vb. gibi çeşitli faktörlere bağlı olduğundan bu yaklaşım daha karmaşıktır. Bu nedenle, herhangi bir zamanda optimum çalışma noktasını izlemek ve çalıştırmak için optimizasyon cihazları ve teknikleri birkaç yıldır geliştirilmekte ve üzerinde çalışılmaktadır. Bir MGNİ kontrolörü, yükü (örneğin bir batarya) ve fotovoltaik paneli birbirine bağlayan statik dönüştürücünün, yüke her zaman maksimum güç sağlayacak şekilde kontrol edilmesini sağlar [62].

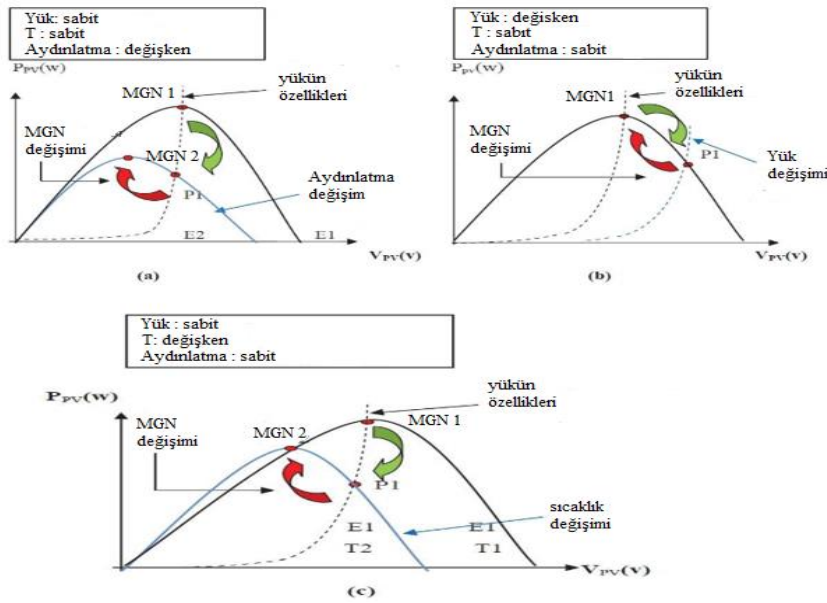


Şekil 3.6. Farklı radyasyon koşullarında maksimum güç noktası [62].

Yukarıdaki Şekil 3.6 şematik diyagram, fotovoltaik panel ile DC çıkış yükü arasında bulunan fotovoltaik bir hücreye aittir. Çoğu zaman gerilimi dalgalanmalarına dayanamayan bir yük için enerji depolamak amacıyla kullanılan bir bataryaya güç sağlamak için kullanılan bu yapı, daha yaygın olarak otonom sistem olarak da adlandırılır. Bu eşleştirme aşaması, bir güneş fotovoltaik panelinin sağlayabileceği MGN'yı aramasını sağlayan bir Maksimum Güç Noktası İzleme komutuna sahiptir.

Arama algoritması, seçilen uygulama türüne ve aranan performansa bağlı olarak az ya da çok karmaşık olabilir. Bununla birlikte sonuçta tüm verimli algoritmalar, ilgili güç dönüştürücünün döngüsel oranının değişimi üzerinde oynamalıdır [62].

Maksimum güç noktası takibinin işleyişini daha iyi anlamak için, bozulma durumunu gösteren aşağıdaki üç şekle başvuruyoruz. Bozulmanın türüne bağlı olarak, çalışma noktası maksimum güç noktası MGN1'den optimumdan az ya da çok uzak olan yeni bir çalışma noktası P1'e değişir. Güneş ışığındaki bir değişim için olan (a) durumunda, yeni maksimum güç noktası MGN'ye yakınsamak için görev döngüsünün değerini yeniden ayarlamak yeterlidir. Yükteki bir değişim için olan (b) durumunda, çalışma noktasında bir değişiklik de gözlemlenebilir ve bir kontrolün etkisi sayesinde yeni bir optimum konuma geri döndürülebilir. Son durumda (c), FV'nin çalışma sıcaklığındaki değişimler nedeniyle çalışma noktasında bir değişiklik meydana gelebilir, ancak kontrol seviyesinde de hareket etmek gerekir.



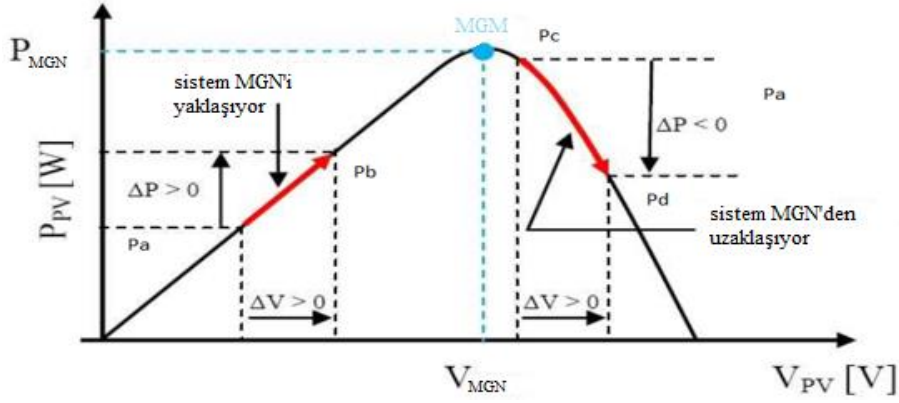
Şekil 3.7. Maksimum güç noktası izleme süreci [62].

Makalelerde en çok incelenen veya gerçek yaşam koşullarında en çok kullanılan maksimum güç noktası izleme algoritmaları; sabit gerilim çalışmasına dayalı olanlar [64], açık devre gerilimi veya kısa devre akımının ölçümüne dayalı algoritmalar [65, 66]. P&O gibi güç ölçümüne dayalı daha verimli algoritmalar [68], iletkenlik artışı yöntemi [70] ve Hill Climbing yöntemi [71]. Bununla birlikte literatürde bulanık mantık [72] veya yapay sinir ağları üzerine [73] daha az yaygın yöntemler de vardır.

Bunlar da verimli algoritmalar ancak uygulanması daha fazla hesaplama gücü ve zaman gerektirir.

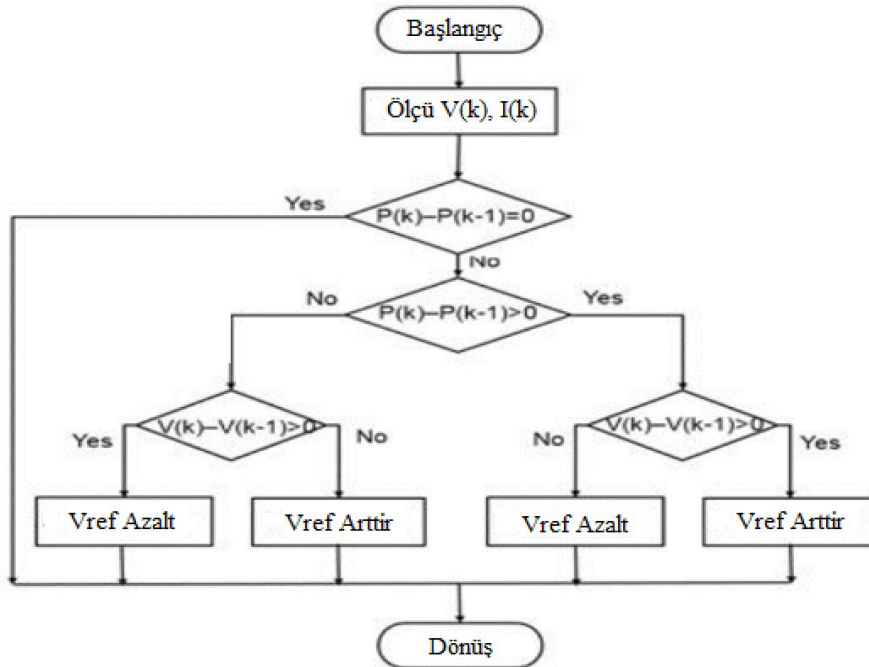
3.6.1. Değiştir ve gözle algoritmaları (P&O)

P&O kontrol algoritması, basitliği ve iyi performansı nedeniyle en yaygın kullanılan MPPT izleme tekniklerinden biridir. FV hücrenin çalışma gerilimini başlangıç değeri etrafında küçük bir miktar periyodik olarak bozmaktan ve ardından üretilen elektrik gücünün değişiminin davranışını gözlemlemekten oluşur [74]. Bir FV hücresinde, gerilimdeki bir artış güçte bir artışa yol açarsa, güç tekrar düşmeye başlayana kadar gerilim artmaya devam eder. Gerilim arttıkça çıkış gücü azalmaya başladığında, kontrolör MGN'ye zaten ulaşıldığını anlar [45]. FV sistem kontrolörü, her kontrol periyodunda FV dizisinin çıkışını değiştirmek için daha küçük bir adım uzunluğu kullanır, yön artırılabilir veya azaltılabilir ve kontrol nesnesi FV dizisinin çıkış gerilimi veya akımı olabilir, bu sürece "bozulma" denir. Çalışan fotovoltaiik hücre gücünün başlangıç noktasının P_a olduğunu varsayarsak, gerilim arttıkça, çalışma noktası bir sonraki artışta yeni MGN P_b 'ye hareket edecektir, bu sırada $\Delta P = (P_b - P_a) > 0$, gerilimlerin "pertürbasyonunun" doğru yönde olduğunu gösterir ve böylece orijinal yöne göre pertürbasyona devam edebilir; Aksine, başlangıç güç noktası P_c ise, $\Delta P = (P_d - P_c) < 0$ bozulması ve daha önce açıklanan aynı mantığa dayanarak "bozucu" gerilimin yanlış yönde olduğunu gösterir, bu anda, sistemin çalışma noktasının ters yönde eğrinin tepesine doğru yükselmesini sağlamak için bozucunun yönü değiştirilir. Böylece kontrol süreci, sistemin sürekli olarak maksimum güç noktasının P_{max} değerine yakın çalışmasını sağlamak için FV bataryanın çalışma noktası gerilimindeki değişimi analiz etmek üzere sürekli olarak tekrarlanacaktır [74].



Şekil 3.8. Pertürbasyon ve gözlem algoritmaları (P&O) [62].

Ancak, bu yaklaşımla ilgili çeşitli sorunlar bulunmaktadır. En büyük zorluk bozucu etkinin hassas seçimidir. Küçük bir bozulma sistemin tepki süresini azaltır, ancak büyük bir bozulma kararlı durumda MGM etrafında salınımlara neden olur. Geleneksel P&O'nun performansını iyileştirmek için çeşitli geleneksel değişken adımlı P&O yöntemleri önerilmiştir. Bununla birlikte, iklim koşullarındaki hızlı değişimler sırasında verimlilikleri düşük kalmakta, hatta bu geçici aşamalar sırasında kontrolün sapmasına neden olabilmektedir [23].



Şekil 3.9. Pertürbasyon ve gözlem algoritmaları diyagramı [23].

Yukarıdaki şekil, her bir gerilim bozukluğundan sonra güç gelişiminin analiz edildiği bir P&O MGNİ kontrolüyle ilişkili klasik algoritmayı temsil etmektedir. Bu tür bir kontrol için, her andaki FV gücünü belirlemek üzere iki sensöre (FV akımı ve gerilimi) ihtiyaç vardır.

3.6.2. Sabit gerilim yöntemi

Bu yöntem, kolay periyodik varsayımlar gerektiren en basit tekniktir. Yöntem, çalışma geriliminin değerinin tasarımcı tarafından sağlanan sabit mevsimsel değerlerle değiştirilmesine dayanır, buna ek olarak sıcaklık etkisine büyük ölçüde bağımlıdır. Bu nedenle FV hücreleri soğuk mevsimde (kış) yüksek gerilimde, sıcak mevsimde (yaz) nispeten düşük gerilimde ve sonbahar ve ilkbaharda bu ikisinin arasında çalışır. Bu yöntemde güneş dizisinin konumu ihmal edilebilir, bir ışıyım dalgalanmasına sahip olmadığı sürece etkili değildir [45].

3.6.3. Açık devre gerilim yöntemi

Bu yöntem, ışıyım ve özellikle sıcaklıktaki değişiklikleri yansıtmak için FV hücre geriliminin otomatik olarak ayarlanmasına dayanır. Bu durumda gerilim değişimi, açık devre geriliminin doğrusal bir fonksiyonunu takip eder. Bu durumda, hücrenin açık devre gerilimi, V_{oc} , ölçülür ve ardından denklemde gösterildiği gibi V_{mp} 'yi elde etmek için bir sabit K ile çarpılır:

$$VMPP = K \cdot V_{oc} \quad (3.32)$$

Burada K , 0,73 ile 0,8 arasında değişen bir orantı sabitidir. Bu yöntem MGN etrafında güçte büyük salınımlara neden olur ve V_{oc} ölçümü gerektirir.

3.6.4. Kısa devre akım yöntemi

Bu yöntem, I_{sc} 'nin bir fonksiyonu olarak I_{MPP} 'nin aşağıdaki ilişkiye göre ayarlanması ile açık devre gerilim yöntemine benzer:

$$IMPP = \alpha \cdot I_{sc} \quad (3.33)$$

Burada α , 0,85 ile 0,92 arasında bir orantı sabitidir. Bu yöntem de MGN etrafında güçte büyük salınımlara neden olur ve α değerine çok duyarlıdır. Ayrıca, I_{SC} 'nin ölçülmesini gerektirir.

3.6.5. Artan İletkenlik Algoritması

Bu yöntem artan iletkenlik algoritması kullandığı için çok verimlidir. Artan iletkenlik algoritması P-V eğrisinin eğimini tespit eder ve MGN, P-V eğrisinin tepe noktası aranarak izlenir. Bu algoritma MGN için anlık iletkenlik I/V ve iletkenlik dI/dV değerlerini kullanır. Denklem (3.34), (3.36) ile ifade edilen iki değer arasındaki ilişkiye dayanarak, FV hücrenin P-V eğrisindeki çalışma noktasının yeri belirlenebilir, yani denklem (3.34) FV hücrenin MGN'de çalıştığını gösterirken, denklem (3.35) ve (3.36) FV hücrenin P-V eğrisinde sırasıyla MGN'nin solunda ve sağında çalıştığını gösterir.

$$\frac{d_i}{d_v} = -\frac{I}{V} \quad (3.34)$$

$$\frac{d_i}{d_v} > -\frac{I}{V} \quad (3.35)$$

$$\frac{d_i}{d_v} < -\frac{I}{V} \quad (3.36)$$

Yukarıdaki denklemler, MGN'de P-V eğrisinin eğiminin sıfır olduğu kavramdan elde edilir, yani [75] :

$$\frac{d_p}{d_v} = 0 \quad (3.37)$$

Denklem (3.37) yeniden yazıldığında aşağıdaki denklem elde edilir:

$$I_e + V \frac{d_i}{d_v} = 0 \quad (3.38)$$

Klasik artan iletkenlik algoritmasında, MGN'yi tespit etmek için denklem (3.38) kullanılır ve FV hücrenin gerilimi ve akımı MGN kontrolörü tarafından ölçülür.

Denklem (3.35) sağlanırsa, eviricinin görev döngüsü azaltılmalıdır ve denklem (3.36) sağlanırsa tam tersi olurken, denklem (3.38) sağlanırsa görev döngüsünde herhangi bir değişiklik yapılmayacaktır [75].

3.6.6. Bulanık mantık yöntemi

Doğrusal olmayan sistemlere çok iyi uyarlanmış bir yöntemdir ve incelenen sistemle ilgili bir veri tabanı bilgisi gerektirir. Bu algoritmanın çalışması üç aşamaya ayrılmıştır. İlk olarak bulanıklaştırma, fiziksel girdi verilerinin bulanık kümelere dönüştürülmesini sağlar. Çıkarım aşamasında kararlar alınır: üyelik kuralları tanımlanarak girdiler ve çıktılar arasında mantıksal ilişkiler kurulur. Bir dizi çıkarım kuralı oluşturulur. Son olarak, bulanıklaştırmada, bulanık çıktı alt kümeleri, kontrol işlemi için yararlı olan sayısal bir değere dönüştürülür [76]. Bu yöntem sağlamdır ve sistem hakkında matematiksel bilgi gerektirmez. Bu yöntemin avantajı ani hava değişikliklerine hızlı tepki vermesidir ancak uygulanması karmaşıktır [77].

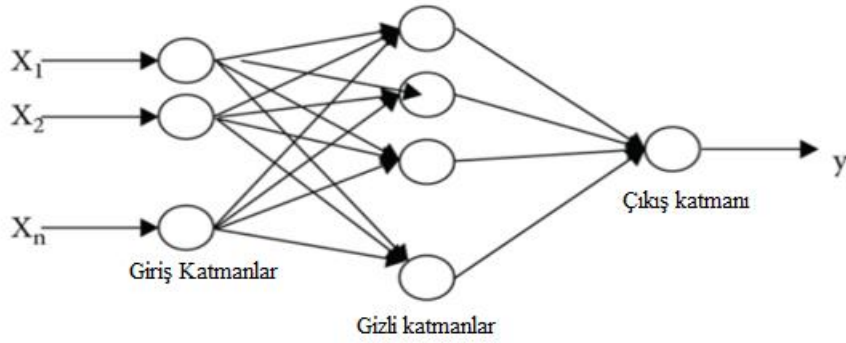
3.6.7. Yapay sinir ağlarına dayalı yöntemler(YSA)

Yukarıda bahsedilen maksimum güç noktası izleme yöntemleri, tüm FV hücre ve hücrelerin aynı ışıma sahip olduğu homojen çalışma koşullarına uygulanabilen yöntemler iken, güneş ışıyımındaki hızlı değişimler ve diğer çevresel faktörlerin etkileri bunu bozmakta ve verimliliği düşürmektedir [78]. Sıcaklık ve güneş radyasyonu, çoğu MGN araştırma yönteminde kullanılan ana giriş kriterleridir. Ancak nem, rüzgâr ve hücre sıcaklığı parametrelerinin etkisi de son derece önemlidir. MPP takip algoritmalarında güneş radyasyonu, sıcaklık, rüzgâr, nem ve hücre sıcaklığının FV paneller üzerindeki etkisinin dikkate alınması, analiz edilmesi ve incelenmesi panel verimliliğinin tahmin edilmesinde daha verimli sonuçlar verecektir.

Yapay sinir ağları (Artificial Neural Networks-ANN), insan beynindeki nöronal hücrelerin yapısına dayanmaktadır ve günümüzde birçok alanda bir araç olarak kullanılmaya başlanmıştır. YSA 'lar, kendilerine özgü topolojik ve sezgisel yapıları nedeniyle günümüzde mühendislik ve tıbbın birçok alanında kullanılmaktadır [78].

YSA yapısı genellikle bir giriş katmanı, bir çıkış katmanı ve bazen de gizli katmanlardan oluşur. YSA 'nın giriş katmanı, sistemde verilerin alındığı ilk katmandır. Bu katmanda alınan veriye bir eşik değeri eklenir ve ağırlık katsayıları ile çarpılarak sonraki gizli katmanlara gönderilir. Bir gizli katman bir veya daha fazla katmandan

oluşabilir. Bu katmanda giriş katmanı verileri toplanır ve aktivasyon fonksiyonu uygulanır. Çıktı katmanında işlenen veriler değerlendirilerek çıktı elde edilir.



Şekil 3.10. Yapay sinir ağlarına dayalı yöntemler(YSA) [48].

Bu basit formda olduğu gibi, her nöron bir önceki katmandaki diğer nöronlara uyarlanabilir sinaptik ağırlıklarla bağlanır. Bilgi genellikle bir dizi bağlantı ağırlığı olarak saklanır (muhtemelen biyolojik sinir sistemlerindeki sinapsların aktivitesine karşılık gelir). Eğitim süreci, uygun bir öğrenme yöntemi kullanarak bağlantı ağırlıklarını düzenlemeye çalışır. Ağın kullanıldığı eğitim moduna bağlı olarak, ağa istenen çıktı ile bir girdi sunulur ve ağ istenen çıktıyı üretmeye çalışmak için ağırlıkları ayarlar. Eğitimden önce rastgele ve anlamsız olan ağırlıklar, eğitimden sonra anlamlı bilgiler içerir [48].

YSA'lar eğitildikten sonra veriler eksik bilgi içerse bile çıktı üretebilir. Bir veya daha fazla YSA hücresinin bozulması, çıktı üretmesini engellemez. Bir ağ zaman içinde yavaş ve göreceli olarak bozulmaya uğrar; YSA'lar olaylardan öğrenebilir ve benzer olaylar hakkında yorum yaparak karar verebilir. YSA'lar aynı anda birden fazla görevi yerine getirme gücüne sahiptir. Ancak tüm bu avantajlarına rağmen YSA'ların bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Yapıları gereği, YSA'lar paralel işlem gücüne sahip işlemcilerle ihtiyaç duyarlar; bu nedenle, uygulamaları büyük ölçüde kullanılan donanıma bağlıdır. YSA'lar bir probleme çözüm ürettiklerinde, problemi neden veya nasıl çözdüklerine dair herhangi bir detay veya fikir vermezler; bu da ağa olan güveni azaltan bir faktördür. YSA'ların yapısını belirlemek için belirli bir kural yoktur. Uygun ağ yapısına deneyim ve deneme yanılma yoluyla ulaşılır. YSA'lar sayısal bilgilerle çalışabilir, yani problemler YSA'ya beslenmeden önce sayısal değerlere dönüştürülmelidir. Örnekler üzerindeki ağ hatasının belirli bir değerin altına

düşürülmesi öğrenmenin tamamlandığı anlamına gelir. Bu değer bize optimal sonuçlar vermez [78].

3.7. MGN'lerin Özeti ve Karşılaştırılması

MGN algoritmalarını karşılaştırmak için uygulama kolaylığı, yakınsama hızı, maliyet, veri tabanı ön bilgisi, gerekli sensör sayısı, maksimum güç noktasına en hızlı yakınsama ve değişen hava koşullarına iyi yanıt verme gibi çeşitli kriterler kullanılabilir. Üretilen güç kayıplarını azaltır ve FV sisteminin verimliliğini artırır [79]. Bulanık mantık yöntemi, maksimum güç noktasına hızlı yakınsaması ile karakterize edilir. Öte yandan, bu yöntemin dezavantajı kurulum ve uygulamanın karmaşıklığıdır. Bu durumda, kontrol süreci için incelenen her bir fotovoltaik hücre türü için özel bir veri tabanı gereklidir ve bu da maksimum güç noktası izleme sistemine bir sınırlama getirir. P&O ve iletkenlik iyileştirme yöntemleri, yerleşim alanlarındaki fotovoltaik kurulumlar için uygundur [80]. Bu nedenle, maksimum güç noktasını uygulaması kolay algoritmalar kullanarak hızlı ve düzenli bir şekilde takip etmek ve bu nokta etrafındaki dalgalanmaları en aza indirmek önemlidir. Bu, maksimum güç noktası etrafında büyük güç salınımlarına neden olan açık devre gerilimi ve kısa devre akımı yöntemleriyle mümkün değildir. Öte yandan, iletkenlik büyüme yöntemindeki türev işlemi kararsız sonuçlara yol açabilir. Bağımsız bir FV sistemi durumunda ve farklı hava koşulları altında maksimum güç noktasını izlemek için çeşitli algoritmaların değerlendirilmesinin sonuçları, P&O tekniğinin en uygun olduğunu ve büyük hava değişimlerinde hızlı dinamik performans sergilediğini göstermektedir. Farklı algoritmalar arasında yapılan bir başka karşılaştırma, P&O yönteminin düşük maliyeti, uygulama kolaylığı ve basit yapısı ile karakterize olduğunu göstermektedir. Öldürücülük iyileştirme algoritması, ışıınım hızla değiştiğinde iyi sonuçlar verir. Öte yandan, P&O algoritmasından daha karmaşıktır ve bu da yürütme süresini artırmaktadır [79]. Sonuç olarak her MGN yönteminin avantajları ve dezavantajları olduğu ve seçimin söz konusu fotovoltaik tesisin türüne bağlı olduğu sonucuna varabiliriz.

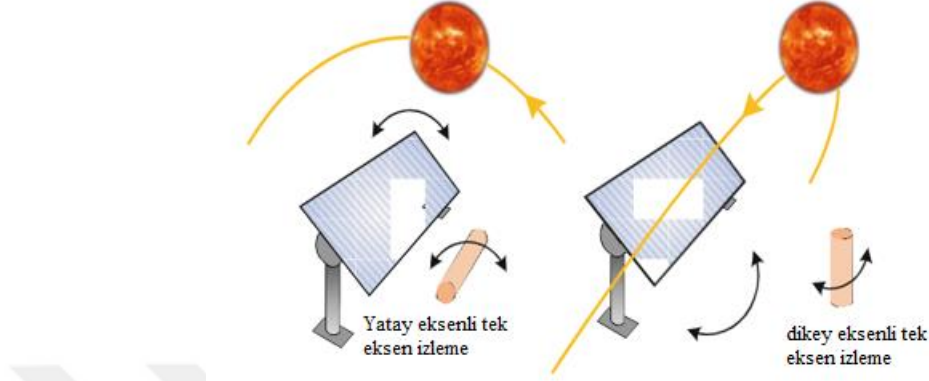
3.8. Güneş Takip Sistemleri

Bu tezde daha önce de belirtildiği gibi, fotovoltaik güneş panellerinin üretim verimliliği büyük ölçüde FV yüzeyi tarafından alınan güneş radyasyonuna bağlıdır. Bununla birlikte, dünyanın dönüşü ve devri nedeniyle güneşin geliş açısı sürekli değişmektedir, bu da sabit bir FV sisteminde panel yüzeyinin her zaman verimli bir şekilde güneş radyasyonu almayacağı anlamına gelir. Bu durumun üstesinden gelmek ve güneş enerjisi üretim sisteminin sabit bir konumu için üretim verimliliğini artırmak için, güneş FV panellerinin her zaman güneşe doğru etkili bir şekilde yönlendirilmesi sağlanmalıdır. Fotovoltaik panellerin her zaman güneşe bakabilmesini sağlamak için sistem, daha yaygın olarak “Tracker” olarak bilinen güneş takip sistemleri ile desteklenmelidir. Güneşi takip eden bir aktüatör üzerine monte edilen fotovoltaik hücre aracılığıyla gün sonunda daha fazla enerji toplamak mümkündür. İki tip güneş takipçisi vardır:

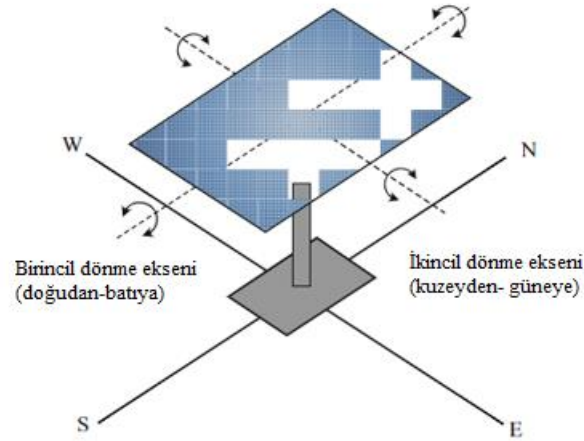
Gün boyunca güneşi doğudan batıya doğru izleyen tek eksenli izleyici. Bu sistem, yatay tek eksenli izleme ve eğik eksenli izlemeyi içerir. Tek eksenli izleme modunda, maksimum güneş ısı radyasyon enerjisi yalnızca silindirik çanaklar öğle saatlerinde güneş ışınlarına dik tutulduğunda korunabilir. Güneş ışınlarının silindirik kabul düzlemine eğimi ve kosinüs etkisi nedeniyle güneş ısı radyasyon enerjisi azalır [14].

İkincisi, gün boyunca güneşi doğudan batıya ve yılın mevsimlerinde kuzeyden güneye takip eden çift eksenli takip cihazlarıdır. Çift eksenli izleme, güneşi bir derece hassasiyetle izleyen iki doğrusal aktüatör motoru (bazı makalelerde kutup eksenli izleme ve ufuk koordinat sisteminin çift eksenli izlemesi olarak adlandırılır) tarafından sağlanır. Gün boyunca güneşi doğudan batıya izler. Geceleri, ertesi sabahın güneşine göre konumlanmak için doğuya döner [46]. Başka bir deyişle, izleyicinin bir eksenli dünyanın kuzey kutbunu gösterir, bu da dünyanın dönüş eksenine paraleldir ve kutup eksenli olarak adlandırılır, diğer eksen ise deklinasyon eksenli olarak adlandırılır. Kutup eksenine dik olan alıcı, yüzeyi kutup eksenli etrafında döndürür, dönüş hızını dünyanın dönüş açısıyla aynı hıza ayarlar, ancak güneşin görsel hareketini takip etmek için ters yönde bir ayarlama yapar [13]. Daha eski takip cihazlarında, dönüş ve ertesi gün için yeniden konumlandırma küçük bir nikel-kadmiyum hücre kullanılarak gün batımından sonra gerçekleştirilirdi. Ancak daha yeni takip cihazlarında, dönme işlemi alacakaranlıkta ve/veya şafağın loş ışığında gerçekleştirilerek hücre ihtiyacı ortadan

kaldırılmıştır. Koyu bir bulut güneşi gizlediğinde, takip cihazı bir sonraki en parlak nesneyi hedefleyebilir, bu da genellikle bir bulutun kenarıdır. Bulut kaybolduğunda, izleyici tekrar güneşi hedef alır ve bu böyle devam eder [46].



Şekil 3.11. Tek eksenli güneş takip sistemi [81].



Şekil 3.12. İki eksenli güneş takip sistemi [81].

Çift eksenli güneş takip cihazları daha iyi hücre verimliliği sunmasına ve güneş ışığından daha fazla enerji toplamasına rağmen, tek eksenli güneş takip cihazlarına göre çok daha pahalıdır ve daha karmaşık bir mekanizma kullanır. Daha fazla sayıda hareketli parça nedeniyle, çift eksenli izleyiciler mekanik aşınma ve yıpranmaya karşı da savunmasızdır, bu da bakım ve onarım maliyetlerini artırır. Çalışma mekanizmasına bağlı olarak, güneş takip cihazları manuel veya otomatik olabilir. Manuel izleyiciler manuel olarak hareket ettirilir ve güneş hüccresinü gün boyunca hareket ettirmek için uzman personel gerektirir, bu da işletme maliyetini artırır. Bu sistemler, istihdam oranlarının ve işçilik maliyetlerinin düşük olduğu gelişmekte olan veya az gelişmiş

lkeler için uygundur. Otomatik sistemler pasif ve aktif sistemler olarak ikiye ayrılır. Pasif izleme sistemleri genellikle dönme ekseninin içinde düşük kaynama noktasına sahip bir sıvı içerir. Sıvı, güneş ısısının etkisiyle buharlaşarak eksende bir dengesizliğe yol açar ve bu da hücresin hareket etmesine neden olur. Buna karşılık, aktif izleme sistemleri hücresi hareket ettirmek için elektrik motorları veya hidrolik silindirler kullanır [45].

3.9. Yansıtıcılar Aracılığıyla FV'lerin Verimliliğinin Artırılması

Güneş yansıtıcılarının kullanımı, FV yüzeyine gelen güneş radyasyonunu artırmak ve böylece enerji üretiminin verimliliğini artırmak için kullanılan bir tekniktir. Burada işleyişleri oldukça benzer olmasına rağmen, bir sıvıyı ısıtmak için kullanılan termal enerji üretimi için solar termal sistemlerde kullanılan güneş reflektrlerinden değil ışığı fotovoltaik hücreler üzerinde yoğunlaştırmak için tasarlanmış bir dizi optik cihazdan oluşan fotovoltaik hücreler üzerindeki ışık akısının yoğunlaştırılmasından bahsedilmektedir. Bu cihaz, yoğunlaştırıcının yansıtıcı yüzeyleri tarafından yansıtılan ışınları bir alıcıya yönlendirmek için kullanır. Yoğunlaştırıcılar sağladıkları konsantrasyon faktörüne göre sınıflandırılır. Faktörün 100'den az olması düşük konsantrasyonu, 100 ila 300 arasında olması orta konsantrasyonu ve 300 ila 1000 arasında olması yüksek konsantrasyonu gösterir. Orta ve yüksek yansıtıcı akı konsantratörleri, aynalar yerine Fresnel lensleri kullandıkları için düşük konsantrasyonlu konsantratrlerden daha pahalıdır ve ayrıca bu teknolojiler, kurulumun karmaşıklığını ve maliyetini artıran yüksek soğutma ve hassasiyetli güneş izleyicileri gerektirir. Son olarak ışık akısı yoğunlaştırıcılarla aynı rolü oynayan düz yansıtıcı teknolojisi, özellikle bu teknoloji önceki teknolojilere kıyasla düşük üretim maliyetleri ve karmaşıklığı ile karakterize edildiğinden, alternatif bir çözüm olarak düşünülebilir [77].

İsveç'te bir FV reflektör sisteminin verimliliği üzerine yapılan bir çalışmaya göre, yılda birkaç kez ayarlanabilen bir geometriye sahip ve reflektör uzunluğu FV hücrenin 1,6 katı olan düz reflektörler eklenerek yıllık FV retimi %20-25 oranında artırılabilir. Aynı çalışmaya göre, reflektrsz (optimize edilmemiş) sabit bir FV geometrisine kıyasla yılda 2 ila 8 kez ayarlama ile ışınım kazancı %40'a kadar artırılabilir [82].



Şekil 3.13. Düz yansıtıcı(a) ; Fresnel yansıtıcı(b).

3.10. Matlab Modelleme

Matlab Simulink üzerinde bir güneş hücresinin çalışmasını modellemek, FV verimini olumlu veya olumsuz yönde etkileyebilecek farklı unsurlar üzerinde oynama olanağına sahip olarak hücrenin elektrik çıkış değerlerinin farklı kullanım koşullarındaki davranışını algılamaya olanak tanır.

Güneş hücrelerinin en yaygın elektrik modelleri tek diyotlu, iki diyotlu ve üç diyotlu modellerdir. Tek diyot modeli, basitlik ve doğruluk arasında iyi bir uzlaşma sunan modeldir ve yukarıda şekil 10'da sunulan model, simüle etmeye karar verdiğimiz modeldir. Matlab'da bir FV hücresini simüle etmek için aşağıdaki denklemler sayısal olarak modellenmelidir [32]:

$$I_m = (I_{sc} + K_i dT) \frac{G}{G_n} \quad (3.39)$$

$$I_0 = \frac{I_{sc} + K_i dT}{\exp \left[\frac{V_{oc} K_v dT}{V_t a} \right] - 1} \quad (3.40)$$

Burada I_{sc} kısa devre akımı, K_i kısa devre sıcaklık katsayısı, K_v açık devre sıcaklık katsayısı, T sıcaklık, V_{oc} açık devre gerilimi, G güneş ışıınımı ve G_n nominal güneş ışıınımıdır.

Bu nedenle FV alanının gerilim-akım karakteristiği denklemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

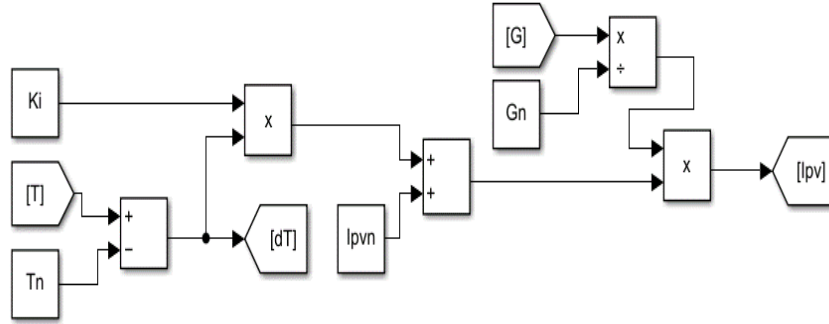
$$I = N_{pp}I_{ph} - N_{pp}I_0 \left[\exp \left(\frac{V + (R_s N_{ss}/N_{pp})I}{V_{ta}} \right) - 1 \right] - \frac{V + (R_s N_{ss}/N_{pp})I}{R_p N_{ss}/N_{pp}} \quad (3.41)$$

İhmaller yapılarak denklem aşağıdaki şekilde yazılabilir.

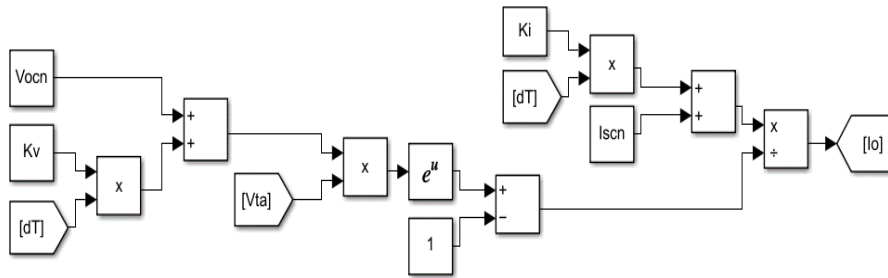
$$I_m = N_{pp}I_{ph} - N_{pp}I_0 \left[\exp \left(\frac{V + (R_s N_{ss}/N_{pp})I}{V_{ta}} \right) - 1 \right] \quad (3.42)$$

Burada N_{pp} ve N_{ss} sırasıyla paralel ve seri hücre sayısıdır.

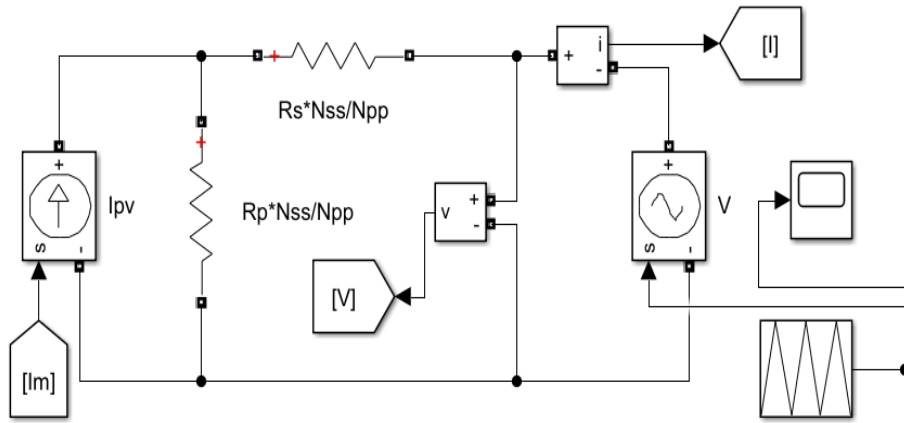
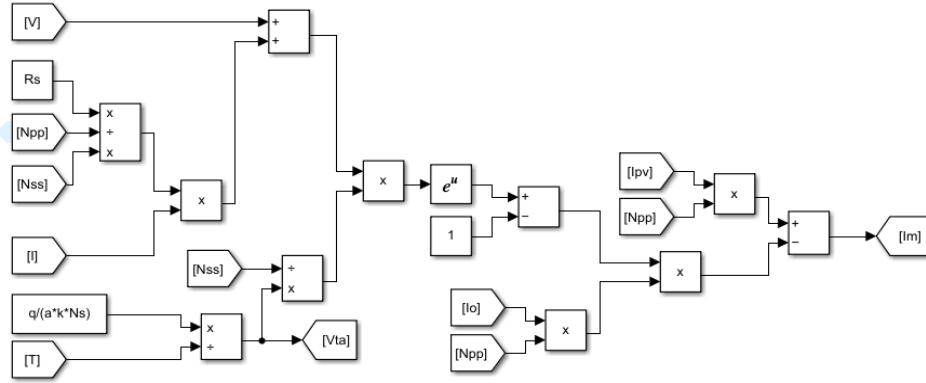
- I_{FV}



- I_0

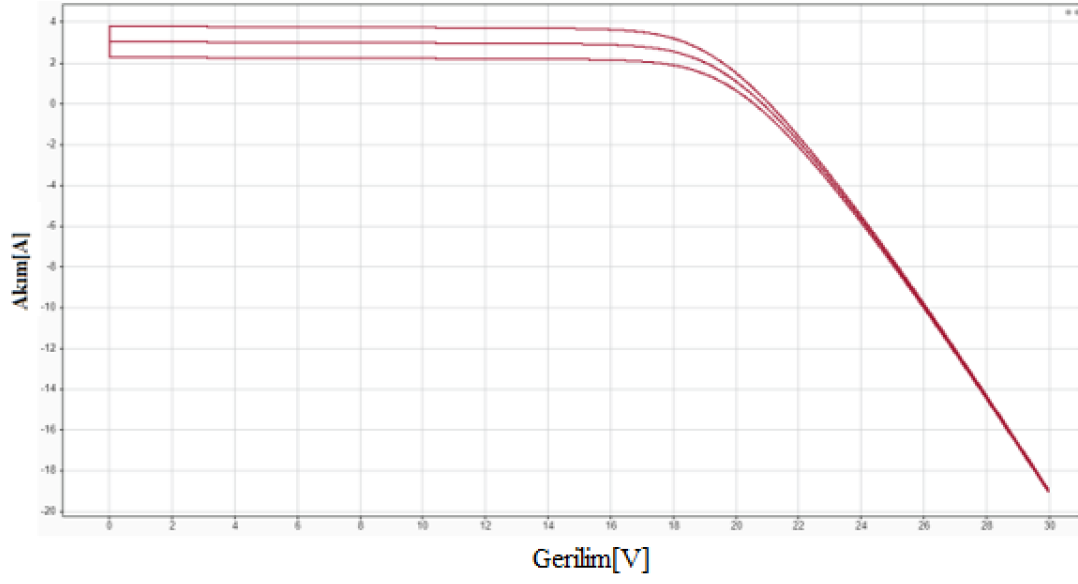


- I_m

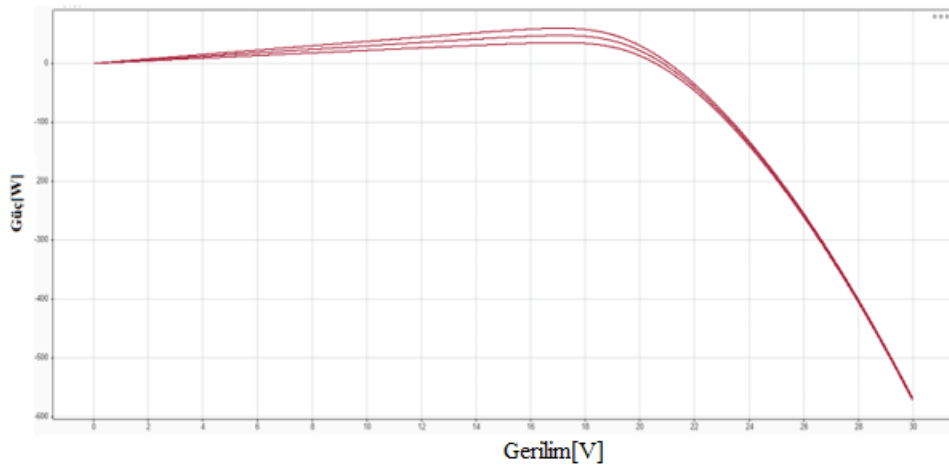


Şekil 3.14. Güneş hücresinin eşdeğer devresi.

Modellemenin ardından aşağıdaki gerilim-akım ve gerilim-güç Şekil 3.15 ve Şekil 3.16 gösterdiğini gibi eğriler çizdirilebilir.

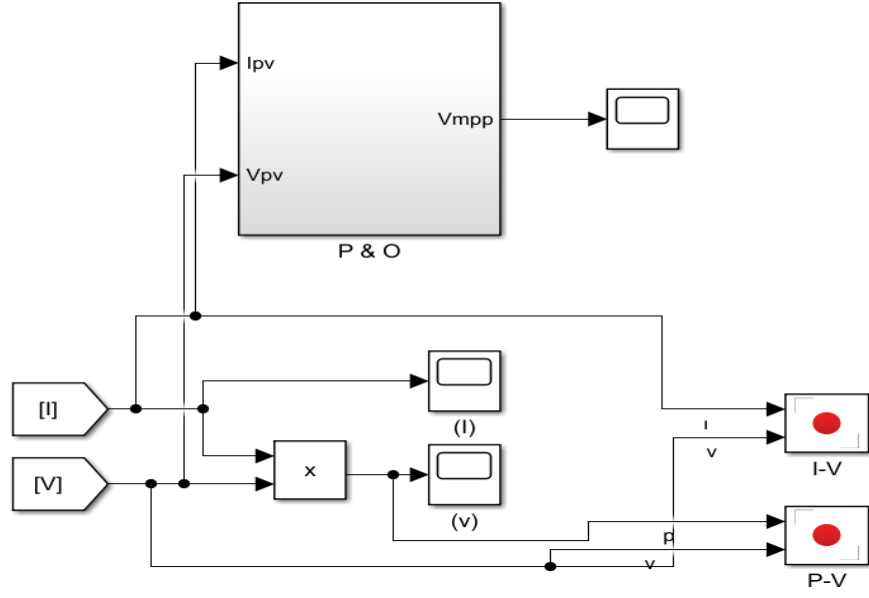


Şekil 3.15. Gerilim-akım eğrisi.

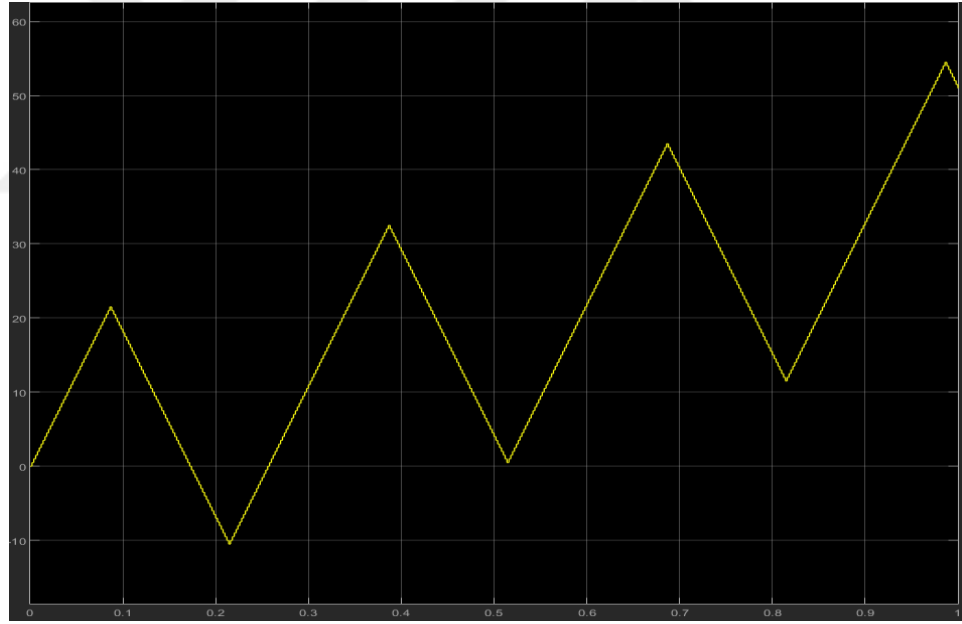


Şekil 3.16. Gerilim-güç eğrisi.

Bu simülasyon sayesinde, seri ve paralel dirençlerdeki değişimler, sıcaklıktaki değişiklikler, aydınlatmadaki değişiklikler vb. gibi FV hücrelerinin verimini etkileyen farklı faktörleri analiz etmek de mümkündür.



Şekil 3.17. Akım- gerilim MPPT ile bağlantısı.



Şekil 3.18. MGN izlemesi.



4. GÜNEŞ SİSTEMİ TASARIMI

Bir güneş fotovoltaik sistemi tasarlanırken yukarıda açıklanan tüm faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Seçilen alanda bir sistemin uygulanabilirliğini teyit etmek için sistemin yer seçimi dikkatle incelenmelidir ve bu, evsel kullanımlarda FV kurulumları için de geçerlidir. Bundan sonra ise FV sistemin tamamen otonom mu olacağı, yani akülerle mi çalışacağı ve şebekeyle bağlantısının kesilip kesilmeyeceği veya FV sistemin şebekeye bağlı hibrit bir sistem mi olacağı belirlenmelidir.

FV sistemler ya birincil enerji kaynağı olarak ya da şebeke sorunları veya elektrik kesintileri durumunda devreye girecek ikincil bir kaynak olarak ya da fosil veya yenilenebilir kaynaklı başka bir kaynağı tamamlayıcı bir kaynak olarak kullanılabilir ve böylece hibrit bir sistem oluşturabilir. Bağımsız FV sistemleri için tasarım, güneşli dönemlerde FV tarafından sağlanan enerji ile bulutlu veya yağmurlu hava gibi kötü hava koşullarında veya enerji açığını kapatabilecek başka bir kaynağın bulunmadığı gece saatlerinde bataryalar tarafından üretilen enerji arasında bir denge kuracak şekilde yapılmalıdır. Bu endişe her zaman başka bir kaynağa bağlı olan ve sadece ikincil veya yedek kaynak olarak kullanılan FV sistemleri için ortaya çıkmaz. Ancak sistem şebekeye bağlanacaksa, özellikle de büyük güneş enerjisi santralleri için, şebeke ile güneş enerjisi santralinin birbirine bağlanmasını sağlayacak önlemler alınmalıdır.

4.1. Şebekeden Bağımsız FV Sistemleri

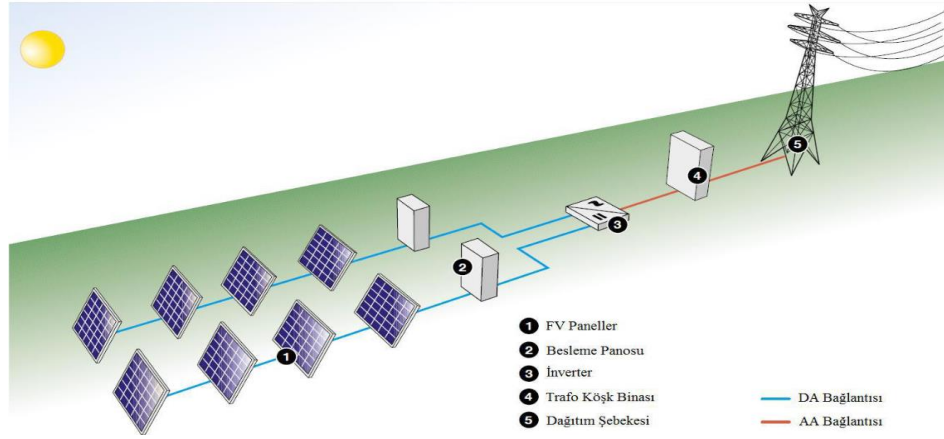
Akümülatörler (kuru aküler, asit aküler, jel aküler veya lityum-iyon aküler) genellikle güneş ışığının yetersiz olduğu zamanlarda veya özellikle geceleri kullanılmak üzere sistemde bulundurulurken, şebekeden bağımsız FV sistemlerde istenen enerji miktarını karşılamak için enerji kaynağı olarak fotovoltaik paneller kullanılır. Fotovoltaik paneller gün içerisinde elektrik enerjisi üreterek akümülatörde depolar ve ihtiyaç duyulan enerji akümülatörden çekilir. Akünün aşırı şarj veya deşarj edilerek zarar görmesini engellemek için kullanılan şarj kontrol ünitesi, akünün durumuna göre ya fotovoltaik panellerden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu AC güç gerektiren uygulamalarda, sisteme bir invertör eklenir ve bataryadan

gelen DC gerilimi, ülkeye bağlı olarak çoğu kurulumda 220 V - 50 Hz sinüs dalgasına dönüştürülür. Ayrıca uygulamanın türüne göre sisteme çeşitli destekleyici elektronik devreler de eklenebilmektedir. Bazı sistemlerde FV panellerin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici (MGNI) cihaza dahil edilir. şebekeden bağımsız FV kurulumların kullanıldığı sulama pompaları gibi bazı sistemlerde ise anlık üretilen DC gücün kullanılması durumunda ak  bankasına ihtiyaç duyulmamaktadır [48].

4.2. Elektrik şebekesine Bağlı Güneş Fotovoltaik Sistemleri

şebekeye bağlı FV sistemler, uygun bir DC/AC dönüşüm mekanizması aracılığıyla elektrik şebekesine entegre edilen FV sistemlerdir ve yerel yüklere hizmet eden ve daha sonra şebekeye satış yapan küçük evsel tesisler de olabilir. Bu sistemler için öncelik, gün boyunca elektrikli ekipmanların enerji ihtiyaçlarını karşılamaktır ve herhangi bir ek enerji durumunda da şebeke beslenir. Bu nedenle bu sistemler enerji ihtiyacı, alan ve b t  e sınırlamalarına göre tasarlanabilir. Buna ek olarak, kamu hizmeti, sistem sahibine her iki yöndeki enerji akışını hesaplayabilen bir akıllı sayaç sağlar ve aylık kümülatif akışa bağlı olarak müşteri ödeme yapar veya ödeme alır [45].

şebeke bağlantılı FV sistemler, doğrudan şebekeye bağlanarak ürettiği enerjinin tamamını şebekenin bulunduğu yerdeki iletim veya dağıtım hattına aktaran tesisler de olabilir. Bu şekilde üretim yapan fotovoltaik santrallerin bir depolama ünitesine ihtiyacı yoktur. Dolayısıyla şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerin iki şekilde tasarlanabileceği söylenebilir. İlkinde, doğru akım alternatif akıma dönüştürülür ve tek yönlü bir sayaç aracılığıyla doğrudan şebekeye aktarılır. İkincisinde ise elektrik tüketiminin olduğu (mesken, konut ve sanayi vb.) ve farklı yüklerin aynı anda beslendiği yerlerde inverterden sonra çift yönlü bir sayaç kullanılır.



Şekil 3.19. Şebekeye bağlı FV sistemleri [48].

Santraller, FV panellerin çıkışlarının bağlandığı ve koruma elemanlarının yanı sıra anahtarlar ve manyetik kaçak akım röleleri gibi anahtarlama ve koruma elemanlarının bulunduğu kısımlar olan besleyici panellerden oluşur. Şebeke bağlantılı inverterler, FV panellerin ürettiği doğru akımı alternatif akıma çeviren anahtarlama elemanlarından oluşan cihazlardır. Piyasada bulunan invertörlerin verimliliği yaklaşık %98'dir. Yüksek verimlilikleri nedeniyle fotovoltaik enerji santrallerinde inverter olarak tam sinüs dalgalı inverterler tercih edilmektedir. Bu tez çalışmasının önceki bölümlerinde açıklandığı gibi şebeke bağlantılı inverterler güç çıkışlarına bağlı olarak merkezi inverterler ve seri inverterler olmak üzere iki gruba ayrılır. Merkezi inverterler genellikle tüm FV panellerin bir arada gruplandığı ve tek bir inverteri beslediği yüksek güçlü sistemlerdir. Şebeke inverterinde ise her bir FV panelin çıkışı bir invertere beslenir ve çıkışlar toplanarak dağıtılır. Tek fazlı ve üç fazlı olmak üzere iki tür şebeke inverteri vardır. FV enerji santrallerinde transformatör, AG dağıtım panosu ve OG panosu (transformatör koruma hücresi, ölçüm hücresi ve devre kesicili çıkış hücresi) transformatör köşk binasında yer alır [48].

Şebekeye bağlı FV sistemler, çeşitli avantajları nedeniyle güneş enerjisi endüstrisinde en büyük pazar payına sahiptir, ilk olarak bu sistemler için batarya gibi enerji depolama cihazlarına gerek yoktur (bataryalar sistemin maliyetini artırır ve projenin ömrü boyunca değiştirilmesi gerekir) ikinci olarak şebekeye bağlı sistemlerin maksimum veya minimum gücü yoktur. Güçleri konut uygulamalarında birkaç kW'tan büyük ölçekli enerji santrallerinde birkaç GW'a kadar değişebilir ve son olarak bu sistemlerin çoğu, geri ödeme süresini 5-10 yıla kadar kısaltan vergi kredileri veya yüksek tarife garantileri ile sübvans edilir.

4.3. Elektrik Şebekesine Bağlantı

FV sistemlerinin elektrik şebekesine giderek daha fazla nüfuz etmesi, elektrik sistemi için birçok zorluğu beraberinde getirmektedir. Dağıtım şebekesi üzerindeki istenmeyen etkileri, güvenilirlik ve istikrar sorunları anlamına gelmektedir. Başlıca zorluklar şunlardır: gerilim dalgalanmaları, frekans değişimleri, ters güç akışı nedeniyle dağıtım fiderinde aşırı gerilim, FV sistemlerinden aralıklı güç üretimi, inverterler tarafından üretilen akım ve gerilim harmonikleri ve dağıtım transformatörünün düşük güç faktörü durumu [83].

Büyük bir enerji santralini elektrik şebekesine bağlarken dikkate alınması gereken ilk unsur senkronizasyondur. Senkronizasyon, güneş fotovoltaik panellerinin doğru akımından türetilen alternatif akımın elektrik şebekesine enjeksiyonu için ön koşuldur. Senkronizasyon için, AC güç çıkışının gerilim genliği, frekansı, faz açısı, faz sırası ve dalga şekli genel şebeke değerleriyle eşleşmelidir [45].

FV sistemleri inverterin çıkış tarafında bir senkronizasyon anahtarı vardır. Yenilenebilir enerji santralini şebekeye bağlamak için temel kurallar aşağıdaki gibi olmalıdır:

- İlk olarak, gerilim genlikleri ve frekansları istenen yük akışını sağlamak için uygun olmalıdır. Gerilim kontrolü, transformatör dönüş hızının ve/veya invertör ateşleme açısının kapalı döngü kontrol sistemi ile sağlanır.
- Frekans, şebeke frekansı ile aynı olmalıdır aksi takdirde sistem çalışmayacaktır. Doğru frekans elde etmek için şebeke frekansı inverterin anahtarlama frekansı için bir referans olarak kullanılmalıdır.

Senkronizasyon şalterleri gerilim ve akım sensörleri içerir. Bu sensörlerle, şalterin kapatılması için doğru anı belirlemek amacıyla yenilenebilir enerji sisteminin ve şebekenin gerilimleri ve akımları izlenir. Otomatik koruma devresinin bir parçası olarak, şalterin yanlış zamanda kapatılmaya çalışılması önlenir. Senkronizasyon şalterinin şebekenin kapatılmasına izin vermesi için dört koşul vardır; ilk olarak yenilenebilir enerji sisteminin frekansı şebeke frekansına mümkün olduğunca yakın olmalıdır. Tercihen yaklaşık 1/3 hertz daha yüksek olmalıdır, daha sonra terminal gerilim genliği uygun olmalıdır. Yenilenebilir sistemin gerilim genliğinin şebeke gerilim genliğinden yüzde birkaç daha yüksek olması tercih edilebilir. İki sistemin faz

dizileri aynı olmalı ve son olarak iki sistemin faz açısı farkları 5 dereceden az olmalıdır [46].

Şebekelerle iyi bir senkronizasyon sağlamak için iyi bir invertör seçimi de gereklidir, çünkü inverter şebekeye bağlı FV sisteminin kalbidir ve şebekeye beslenen gücün kalitesinden sorumludur. İnverterler, doğru akımı alternatif akıma dönüştürürken doğrusal olmayan yüklerin varlığında sisteme harmonikler de katar. Harmonik akımlar gerilim düşüşüne ve besleme geriliminde bozulmaya neden olur. Harmonikler ayrıca güç sisteminde rezonansa neden olarak arızaya, ömrün kısalmasına veya elektrikli ekipmanlarda kalıcı hasara yol açabilir [84].

İnverterler ayrıca adalanmayı da tespit edebilmelidir. Adalanma, elektrik şebekesi mevcut olmadığında bile güneş enerjisi sistemi yüke güç vermeye devam ettiğinde meydana gelir. Adalanma, onarım veya bakım çalışması yaparken bir devrenin hala canlı olduğunu fark edemeyebilecek kamu hizmeti çalışanları için tehlikeli olabilir. Bu nedenle solar inverter adalaşmayı algılamalı ve şebeke kapatıldığında fotovoltaiik sistemin bağlantısını kesmelidir. Fotovoltaiik sistemin bu işlevi "anti-adalanma" olarak bilinir. Bu etkiler FV sisteminin boyutuna ve konumuna bağlıdır [85].

4.4. Reaktif Güç Kontrolü

Reaktif güç kontrolü ve güç faktörü regülasyonu fotovoltaiik sistemler için belki de en önemli iki kısıtlamadır. Güç faktörünün, yer değiştirme güç faktörü ve bozulma güç faktörü olmak üzere katkıda bulunan iki bileşeni vardır. Yer değiştirme güç faktörü, bir güç sistemindeki reaktif güç unsurları (hem parazittik hem de kasıtlı) nedeniyle oluşan akım ve gerilim arasındaki faz açısı farkının kosinüsüdür. Reaktif güç sağlamak için güç sistemi bileşenlerinde taşınan fazla akımı tanımlar. Bu akımlar gerçek güç taşımazlar, bu nedenle gerçek güç iletimine katkıda bulunmadan akımı işgal ederler. Bozulma güç faktörü ise harmonikler nedeniyle güç sistemi bileşenlerinde taşınan aşırı akımlara atfedilir. Bu harmonikler de gerçek güç taşımaz, bu nedenle bozulma güç faktörü aynı zamanda kabul edilebilir akımın gerçek güç taşımayan akımlar tarafından işgalini de tanımlar. Bu iki faktörün çarpımı gerçek güç faktörünü verir [86].

Fotovoltaiik invertörler genellikle birim güç faktörü ile çalışır. Bir teşvik programı kapsamında, küçük konut FV sistemlerinin sahipleri, kilovolt-amper-saat değil, kilovat-saat cinsinden çıktılarına göre vergilendirilmektedir. Bu nedenle FV

inverterlerini aktif güç çıkışı ve dolayısıyla verimliliklerini en üst düzeye çıkaran bir birim güç faktöründe çalıştırmayı tercih ederler. Sonuç olarak FV sistemi tarafından karşılanan reaktif güç talebi minimumdur. Bu nedenle şebeke dağıtım transformatörünü düşük güç faktöründe çalışmaya zorlayan reaktif gücün çoğunu sağlamaktan sorumludur [84].

Fotovoltaik sistemlerin elektrik şebekesine girişine ilişkin IEEE 519 Standardı ve Yönetmeliği, elektrik sağlayıcıları için izin verilen maksimum gerilim bozulma limitlerini ve FV müşterisinin elektrik şebekesine bağlanması için izin verilen maksimum akım bozulma limitlerini tanımlamaktadır. Bir sisteme eklenen harmonikler yalnızca yük tarafından belirlenemeyeceğinden, uygun ekipman olmadan doğrusal olmayan kaynak takibi çok zor olabilir. Çoğu kamu kuruluşu, güç faktörü kabul edilemez sınırların altına düştüğünde ücret almaktadır. Bununla birlikte, piyasada bulunan şebekeye bağlı birçok FV inverter artık IEEE 519 ile uyumlu harmonik azaltma teknikleriyle donatılmıştır. Ve IEEE 1547'ye uygun olarak, inverter birlik güç faktöründe çalışacak şekilde tasarlanmalı, böylece şebekeye verilen reaktif güç en aza indirilmelidir. Eviricilerin ayrıca, besleyici kısa devre akımına bağlı olarak, FV tarafından sağlanan akımın toplam harmonik bozulmasını minimum değerde tutması gerekir. Şebeke gerilimi kontrol etmek ve şebekeden FV sistemine reaktif güç enjekte edilmesini önlemek için reaktif güç kontrolü gibi şebekeye bağlı FV sistemlerinin güç faktörünün optimum kontrolü için çeşitli algoritmalar önerilmiştir [85].

4.5. Frekans Kontrolü

UL 1741-1999'a göre, tüm evirici parametreleri %2'den az frekans hatasına sahip olmalıdır ve frekans ölçümleri için hata 0,1 Hz'den az olmalıdır. IEEE 1547'ye göre, FV'ler çalışması için kararlı bir frekans gereklidir ve frekansı kararsız hale gelirse eviricinin şebekeyle bağlantısını bir kez kesmesi gerekir. Yoğun saatlerde, güç üretim kaynaklarına olan talep yüksektir ve bu da frekansın düşmesine neden olur. Nominal frekansı yeniden sağlamak için şebekeye hızlı bir şekilde gerçek güç sağlanmalıdır.

Sabit bir frekansı (tipik olarak 50 veya 60 Hz) korumak için, aktif arzın herhangi bir zamanda yük talebine eşit olması gerekir. Çoğu geleneksel üretim kaynağı, sistem frekansının çok fazla düşmesini önlemek için birkaç saniyelik dengesizlikten sonra

anında devreye girmesi gereken aktif güç rezervlerine sahiptir [85]. Şebekelere bağlı FV sistem kurulumlarının miktarı arttıkça, FV sistemler tarafından sunulan elektrik talebinin göreceli miktarı da artacak ve şebekenin çalışması FV üretimindeki stokastik dalgalanmalara daha fazla maruz kalacaktır. Şebekede aralıklı bir frekans yükselmesi sırasında evirici, istikrarlı bir frekans geri gelene kadar şebekeye giden güç çıkışını kademeli olarak azaltacak şekilde tasarlanabilir. FV tesisi (depolamalı) ile şebeke arasında iki yönlü iletişimin kullanılması söz konusudur [85].

4.6. Bir FV Sisteminin Tasarımı

4.6.1. Sayısal tasarım

4.6.1.1. Şebekeden bağımsız sistem

Elektrik şebekesine bağlı olmayan ev tesisatları için ilk adım, evde kullanılan farklı ekipmanların günlük enerji tüketimini tanımlamaktır. Bu işlem, farklı ekipmanların, elektrik güçlerinin ve kullanımda oldukları saatlerin listelenmesini içerir. Günlük enerji tüketimini tanımladıktan sonra, fotovoltaik sistemi oluşturacak ekipmanın mantıklı bir seçimini yapmak gerekir.

Şehrin güneş radyasyonu verileri biliniyorsa, bir güneş fotovoltaik panelinin üretebileceği Enerjiyi tahmin etmek için aşağıdaki denklem kullanılabilir.

$$E_p = S \cdot \eta_p \cdot H_T \quad (3.43)$$

Burada S , η_p ve H_T sırasıyla hücre alanı, ortalama hücre verimliliği ve toplam güneş radyasyonudur. S ve η_p , FV hücrelerinin teknik özelliklerinden elde edilmiştir. Bazı literatürlerde, yukarıdaki denkleme toz ve gölgelenmenin etkisinin yanı sıra η_d , η_e olarak belirtilen inverter verimliliği de eklenmiştir [22].

$$E_p = S \cdot \eta_p \cdot H_T \cdot \eta_d \cdot \eta_e \quad (3.44)$$

$$H_T = H_b \cdot R_b \cdot H_d \cdot R_d \cdot H \cdot \rho_g \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (3.45)$$

Güneş ışıınının değeriendirilmesi bölümünde ayrıntılı olarak açıklanan bu denklemde, $H_b \cdot R_b$ ve $H_d \cdot R_d$ sırasıyla ışıın başına güneş ışıınınını ve eğimli yüzey üzerindeki dağınık güneş ışıınınını temsil etmektedir. Son küresel güneş radyasyonu, ρ_g zemin yansıtma katsayısı ve β yüzeyin eğim açısıdır [22].

Şebekeden bağımsız bir FV sisteminin tasarımındaki bir sonraki adım, sistemler için gerekli olan depolama bataryalarının kapasitesini belirlemektir. DC ve AC yüklerini beslemek için bataryalardan gereken toplam enerji aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir [45].

$$E_{\text{hücre}} = E_{\text{DC}} \frac{E_{\text{AC}}}{\eta_{\text{inverter}}} \quad (3.46)$$

Tasarım sürecindeki bir sonraki adım, depolama bataryalarını ve inverteri boyutlandırmak için sistemin çalışma gerilimini belirlemektir. Belgede daha önce açıklandığı gibi, tüm bataryalar gerilimlerine (V) ve kapasitelerine (A) göre sınıflandırılır. Şebekeden bağımsız sistemler için nominal gerilimler 12, 24 ve 48 kV'tur. 12 V akü 750 W'a kadar olan sistemler için kullanılır, 24 V akü 1500 W'a kadar çalışabilir ve 48 V akü 3000 W'a kadar olan sistemler için tasarlanmıştır. Akülerin seri bağlantısında akım miktarı aynı kalır. Bu rakamların DC cihazlarının güç değerlerine göre de belirlendiğini belirtmek önemlidir. Örneğin, sistemdeki DC elektrikli cihazlar 12 V olarak derecelendirilmişse, tasarımcı sistemi cihazların nominal çalışma gerilimi etrafında tasarlamalıdır. Aksi takdirde, akü gerilimini çalışma gerilimine aktarmak için buck veya boost dönüştürücülere (buck dönüştürücüler gerilimi düşürürken boost dönüştürücüler gerilimi yükseltir) ihtiyaç duyulacaktır, bu da kayıpları ve maliyetleri artırır. Daha yüksek bir gerilim kullanmak kablolardan geçen akımı önemli ölçüde azaltır, bu da kablo kesitini ve omik kayıpları azaltır. Böylece, sistem gerilimi ne kadar yüksek olursa, sistem akımı o kadar düşük olur; sonuç olarak sistem kayıpları da o kadar düşük olur.

Sistem gerilimi belirlendikten sonra Wh cinsinden ölçülen enerji talebi Ah cinsinden ölçülen batarya kapasitesi cinsinden tahmin edilebilir. Bu adımda, batarya deşarj süreciyle ilişkili kayıpların yanı sıra bataryanın iyi çalışma koşullarını korumak için aşamayacağı izin verilen maksimum deşarj derinliği (DoD) de dikkate alınmalıdır. Bu durumda kurşun-asit akülerin deşarj derinliğinin %80'ini aşmadığı, lityum-iyon

akülerin ise tamamen deşarj olabileceği unutulmamalıdır. Dolayısıyla, deşarj derinliği ne kadar yüksek olursa, aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi, akülerin ömrü o kadar kısa, ancak başlangıç maliyeti o kadar düşük olur.

$$\text{Akü grubu kapasitesi} = \frac{E_{\text{kritik ay}} \cdot \text{Aktif Günleri}}{\text{DoD} \cdot \text{Akü sistemi gerilimi}} \quad (3.47)$$

Burada $E_{\text{kritik ay}}$, kritik ay boyunca günlük toplam enerji tüketimidir. Kritik ay, güneş ışınımının yılın en düşük olduğu aydır. Bu ay, batarya grubunun ihtiyaçlarının en yüksek olduğu zaman olduğu için dikkate alınır, bu nedenle batarya grubunun gerekli maksimum kapasitesini hesaba katmak, hesaplamayı optimize etmeye ve bataryayı uygun şekilde boyutlandırmaya olanak tanır [45].

Fotovoltaik sistemler tasarlanırken en önemli parametrelerden biri FV panellerin boyutlandırılmasıdır. Sistemin güneş hücreleri, boyutlandırılan sistemlerin ve bataryaların elektrik ihtiyaçlarını şarj etmek için yeterli enerji sağlayacak ve şarj işlemi sırasındaki enerji kayıplarını (batarya verimliliği olarak adlandırılır) karşılayacak şekilde boyutlandırılmalıdır. Fotovoltaik hücrelerin boyutlandırılması için bataryaların ve inverterlerin elektriksel özelliklerinin yanı sıra çevre koşulları da dikkate alınarak aşağıdaki denklemler kullanılabilir.

$$P_{1FV} = \frac{E_{\text{kritik ay}}}{\eta_{\text{akü}} \cdot \text{GTI}_{\text{kritik ay}}} \quad (3.48)$$

Burada $E_{\text{kritik ay}}$ kritik aydaki günlük enerji tüketimi, $\eta_{\text{Akü}}$ batarya verimliliği ve GTI o aydaki güneş radyasyonu değeridir [45]

Elektrik yükünü karşılamak için güneş hücrelerinin gücünü hesaplama sürecine sıcaklık ve kir kayıpları dahil edilerek, güneş hücrelerinin nihai güç değeri aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir [45].

$$P_{FV} = \frac{P_{1FV}}{\eta_{\text{ısıtma}} \cdot \eta_{\text{kirin}}} \quad (3.49)$$

Bununla birlikte, literatürde yüke hizmet etmesi gereken güneş panellerinin güç oranını belirlemek için tüketilen toplam enerjiye %30 eklemek ve ardından pik güneş

saati sayısına bölmek gibi başka yöntemler de vardır. Ancak sonuçta sistem için gerekli panel sayısını elde etmek için elde edilen güç oranını seçilen güneş hücrenin gücüne bölmek yeterlidir.

Bir FV sisteminin tasarımındaki son unsur invertörün boyutlandırılmasıdır. İnverterin gücü aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.

$$P_{\text{inverter}} = \text{Anlık güç} \cdot 1,25 \quad (3.50)$$

Bu nedenle, bir güneş FV sistemi için uygun bir inverter seçmek için belirli koşulların karşılanması gerekir [45] :

- Nominal DC giriş gerilimi akü bankası gerilimine eşit olmalıdır.
- Nominal AC çıkış frekansı ve gerilimi, AC yüklerinin nominal AC çıkış frekansı ve gerilimine eşit olmalıdır.
- İnverterin nominal gücü, aynı anda çalışması beklenen yükün maksimum kümülatif gücünden daha büyük olmalıdır.
- Çıkış dalga biçimini seçmek için yük özellikleri kontrol edilmelidir.
- Endüksiyon motorları ve/veya hassas makineler kullanıldığında, saf sinüs dalgalı bir inverter kullanılmalıdır.
- Motorlar kullanıldığında, inverterin çok kısa bir süre için nominal çalışma akımının 2 ila 5 katı arasında değişen motorun tepe veya ani akımını idare etmesi gerekir. Modern inverterlerin çoğunun endüksiyon motorlarının beklenen ani akımlarını karşılayacak şekilde tasarlandığı unutulmamalıdır.
- Motor hızını kontrol etmek için Değişken Frekanslı Sürücü (VFD) teknolojisi kullanıldığında, ani akım ihmal edilebilir.

Örneğin, Niamey şehrinde bulunan ve akülerle 3 gün boyunca otonom olarak çalışması gereken ve tüketimi aşağıdaki tabloda gösterildiği gibi olan bir ev için bir FV sistemi tasarlamamız gerekiyorsa, aşağıdaki Tablo 3.1 incelenerek tasarıma başlanabilir.

Tablo 3.1. Cihazların sayısı ve güç tüketimlerinin özeti.

Cihaz	Miktar	Nominal güç(W)	Çalışma süresi	Cosφ	Enerji kullanımı (Wh)
Lamba	10	20	12	1	2400
Tavan vantilatörü	4	75	18	1	5400
Buzdolabı	1	500	9,6	-	4800
Bilgisayar	3	60	8	1	1440
Televizyon	1	50	8	1	400
Toplam	19	1230	-	-	14440

Tablo 3.2. Niamey şehrinin ortalama güneş ışınlımı.

AY	Oc	Şu	Ma	Nı	Ma	Ha	Te	Ağ	Ey	Ek	Ka	Ar
Netlik endeksi	0,615	0,630	0,620	0,604	0,601	0,577	0,545	0,530	0,577	0,623	0,663	0,661
Günlük radyasyonu kWh/m ²	5,177	5,803	6,238	6,377	6,381	6,087	5,743	5,574	5,871	5,867	5,685	5,377

Tablo 3.3. Fotovoltaik panele ait teknik veri sayfası.

Monokristalin	
Maksimum güç (P_{max})	400 Wp
Tolerans	+3%
Açık devre gerilimi (V_{oc})	51,6 V
Kısa devre akımı (I_{sc})	9,95 A
Maksimum güç gerilimi (v_{max})	42 V
Maksimum güç akımı (I_{max})	9,53 A
Hücre verimliliği	18,38%
Maksimum sistem gerilimi	1500
Çalışma sıcaklığı	-40°C-85°C
Boyutlar	2172×1002×40 mm
Sıcaklık katsayısı	-0,38°C

Toplam enerji tüketimi 2.2kWh'ı aştığı için bu sistemin gerilimi 48V olur. 2400W/48V'luk bir inverterin %98 verimlilikte olduğu kabul edilir.

Tablo 3.4. Akü veri sayfası.

Kurşun-asit akü	
Nominal gerilim	12v
Amper Kapasitesi	100Ah
Maksimum DoD	80%
Şarj-deşarj verimliliği	90%

Niamey şehrinin en düşük ışıma koşullarında güneş hücreleri tarafından sağlanabilecek güç 2.070,86 W olacaktır.

$$E_p = S \cdot \eta_p \cdot H_T \quad E_p = ((2172 \times 1002) / 10000) 18,38 \times 5.177$$

$$EP = 2.070,86W.$$

Akülerin kapasitesi aşağıdaki şekilde hesaplanan 1151.15Ah olacaktır:

$$E_{hücre} = E_{DC} \frac{E_{AC}}{\eta_{inverter}} \quad E_{batteries} = 0 + \frac{14440}{0,98}$$

$$= 14.734,70 \text{ Wh}$$

$$\text{Akü grubu kapasitesi} = \frac{E_{kritik \text{ ay}} \times \text{Aktif Günleri}}{\text{DoD} \times \text{Akü sistemi gerilim}} \quad \text{Akü grubu kapasitesi} = \frac{14734,70 \cdot 3}{0,8 \times 48}$$

$$= 1.151,15Ah$$

Bu sistemde kullanılan aküler 12V olup sistem gerilimi 48V'dur. Sistem gerilimine ulaşmak için paralel bağlı 4'lü akü grupları kullanılmalıdır. Bu sistem için toplam 12 adet 100Ah/12V aküye ihtiyaç duyulacaktır.

Gerekli güneş fotovoltaik hücrelerinin sayısı 9 x 400W FV'dir.

$$P_{1FV} = \frac{E_{Kritik \text{ ay}}}{\eta_{Akü} \cdot GTI_{Kritik \text{ ay}}} \quad P_{1FV} = \frac{14734,70}{0,90 \cdot 5,377}$$

$$= 3.044,79 \text{ w}$$

25°C ortam sıcaklığında çalışma ve gölgeleme ve kir nedeniyle %2 verimlilik kaybı ve 60°C güneş hücresi sıcaklığı ve -%38/°C güç katsayısı için şunu hesaplayabiliriz: 60-25=35°C, termal kayıplar 35x-0,38=%13,3 olacaktır. Termal verimlilik η_{termik} 100-13,3=86,3 ve kir kayıpları η_{dirt} 100-2 = %98 olacaktır. Böylece güneş hücrenin vermesi gereken güç :

$$P_{FV} = \frac{P_{1FV}}{\eta_{ısıtma} \cdot \eta_{kirin}} \quad P_{FV} = \frac{3044,79}{0,863 \cdot 0,98}$$

$$= 3.600,15W$$

$$N^{oFV} = \frac{P_{FV}}{FV_{gücü}} \quad N^{oFV} = \frac{3600,15}{400} = 9 \text{ fotovoltaik panel}$$

Ancak, güneş hücrelerinin sıcaklık kayıplarını, gölgelenmeyi ve kiri hesaba katmazsak, bu sistem için gereken fotovoltaik panel sayısı 400W'lık 9 fotovoltaik panel olacaktır.

$$N^o_{FV} = \frac{\text{toplam tüketim enerji}}{E_p} \quad N^o = \frac{14440}{2070,86}$$

=6.97 $\approx$ 7 adet 400 W'lık güneş paneli

4.6.1.2. Elektrik şebekelerine bağlı sistemler

Büyük ölçekli enerji santralleri veya orta ölçekli şebekeye bağlı fotovoltaik sistemler tasarlanırken coğrafi, çevresel ve iklimsel çalışmalar büyük bir dikkatle yürütülmelidir. Güneş FV panellerinin gücünün seçimi, eğimleri ve sistem ekipmanının seçimi saha değerlendirme çalışmalarına bağlıdır. FV sistemine güneş takip sistemleri veya yansıtıcı aynalar gibi hücrelerin verimliliğini artırabilecek cihazların eşlik etmesi seçimi de sistemin kurulacağı sahada yürütülen teknik çalışmalara bağlıdır, çünkü saha zaten açık gökyüzü veya iyi ışıma gibi çok iyi hava koşullarına sahipse veya hava koşulları sistemin kurulması için yeterince iyi değilse, aşağıdaki faktörleri dikkate almak önemlidir. Eğer saha açık gökyüzü veya iyi ışıma gibi çok iyi hava koşullarına zaten sahipse veya arazinin durumu veya gölgelenmeye neden olabilecek ağaçların veya binaların olmaması gibi coğrafi koşullar avantajlıysa, özellikle bu ekipmanlar bir FV tesisinin kurulum maliyetini önemli ölçüde artırdığı için güneş takip sistemleri veya yansıtıcılar kullanmak için bir neden yoktur.

İnverter, kablolama, koruma ekipmanı, gölgeleme analizi, topraklama, net ölçüm, depolama tesisleri vb. de tasarım aşamasında belirlenir. Bu adımlar, tasarlanan sistemin amaçlandığı gibi çalıştığından ve istenen faydaları sağladığından emin olmak için kapsamlı hesaplamalar ve dikkatli muhakeme gerektirir. Sistem tasarlandıktan sonra, tasarlanan sistemin performansını analiz etmek için bir simülasyon gerçekleştirilir. Performans analizi enerji çıkışını, sistem kayıplarını ve performans oranını veya verimliliği değerlendirmelidir [45].

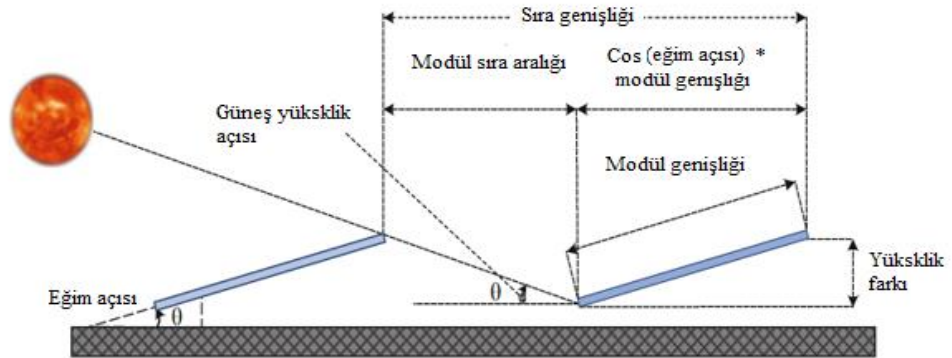
Bu nedenle, şebekeye bağlı FV sistemlerin tasarımında ilk adım saha seçimi olmalıdır. Saha seçimi, sahanın büyüklüğünü ve sahanın taşıyabileceği FV panellerinin sayısını ve konumunu belirlemeyi amaçlamaktadır. Yer seçimi sırasında güneş panelleri arasındaki mesafe de belirlenmelidir. Bu nedenle, FV panelleri arasındaki boşluğu belirlemek için güneş hücrelerinin eğiminin yanı sıra güneş yolu verileri(azumit) de belirlenmelidir. FV hücreleri arasındaki mesafe aşağıdaki denklemle hesaplanabilir, bu denklem aynı zamanda direkler, ağaçlar veya binalar gibi belirli nesnelerin

gölgesinin uzunluğunu hesaplamak için de kullanılabilir, böylece tasarımcı olası gölgeleme alanlarından kaçınabilir.

$$D = H \frac{\cos \alpha}{\tan \beta} \quad (3.51)$$

D paneller arasındaki minimum mesafeyi, H panelin yüksekliğini, α güneş azimutu ile panel azimutu arasındaki açıyı ve β güneş irtifa açısını temsil eder [45].

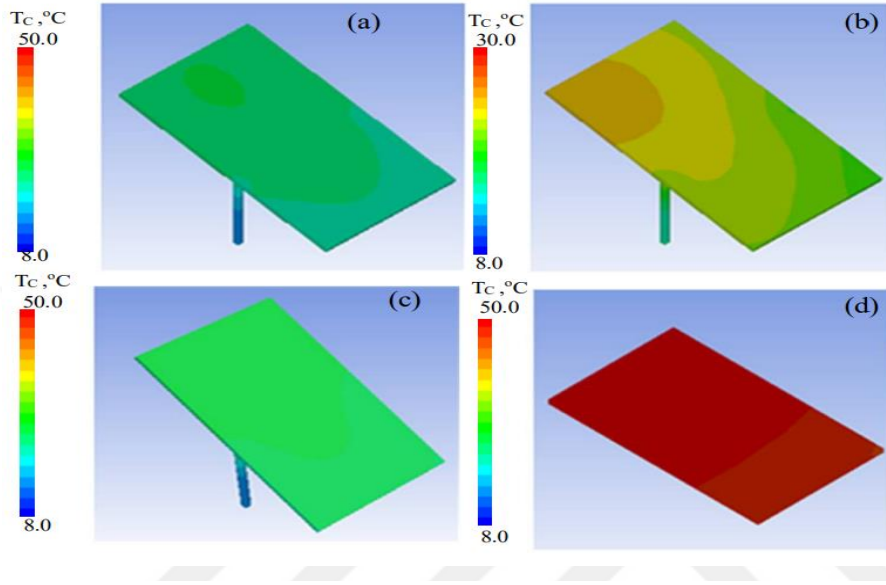
Nesnelerin ve binaların gölgelenmesi güneş hücrelerinin verimliliğini olumsuz etkileyen tek faktör değildir, ayrıca güneş panellerinin gölgelenmesi de dikkate alınmalıdır. Bu nedenle bir hücrenin komşu hücreler tarafından gölgelenmesini önlemek için güneş panelleri minimum D mesafesine yerleştirilmelidir. α ve β değerleri günün saatine ve yılın ayına bağlı olarak değişir. Bunlar genellikle bir güneş yolu diyagramı kullanılarak belirlenir. H dizisinin yüksekliği, sırasıyla sahanın enleminin ve gerekli gücün bir fonksiyonu olan eğime ve hücrelerin boyutuna bağlıdır. Hücre boyutu ne kadar büyük olursa, H değeri de o kadar yüksek olur [45].



Şekil 3.20. Fotovoltaik paneller arasındaki mesafenin değerlendirilmesi [45].

Bu tür sistemlerde sıcaklığın FV panelleri üzerindeki etkisi dikkate alınmalıdır çünkü yukarıda da belirtildiği gibi sıcaklığın FV verimliliği üzerinde doğrudan bir etkisi vardır ve bu husus panellerin destekleyici yapılara monte edilmesi gereken FV sistemleri için daha da önemlidir. Sıcaklık düzenlemesi için önemli parametrelerden biri hücrenin montaj koşullarıyla ilgilidir. Genel olarak, hücrenin üst yüzeyi iyi soğutulur. Ancak, hücrenin alt yüzeyinden ısı transferi montaj konfigürasyonuna bağlı olarak değişebilir. Her iki taraftan hava akışına izin veren koşullar altında hücre sıcaklığı en düşük seviyededir. Hücrenin altındaki hava akışı kısıtlandığında, sıcaklıkta

yaklaşık 2-4°C'lik bir artış olur. Öte yandan, hücre yatay olarak monte edildiğinde veya hücrenin alt yüzeyi yalıtıldığında (duvara monte konfigürasyon), zayıf ısı transferi hücre sıcaklığında yaklaşık 10 °C'lik ek bir artışa yol açar. Bu nedenle, tıpkı ısıtım, rüzgar hızı, ortam sıcaklığı veya gölgeleme gibi, montaj koşulları da önemli bir rol oynar ve hücre sıcaklığında yaklaşık (% 3,8 - 6,5) ek bir artışa yol açabilir [38].



Şekil 3.21. Farklı eğim açıları için modül yüzeyindeki sıcaklık : (a) 15°, (b) 15°, (c) 35° [34].

Sahanın alanı, kurulacak güç ve iklim ve çevre koşulları ile ilgili olarak fotovoltaik panellerin gücü seçildikten sonra, güneş hücrelerinin seri ve paralel konfigürasyonu seçilen invertere göre dikkatlice belirlenmelidir. Paralel bağlı minimum ve maksimum dizi sayısını ve her bir dizideki hücre sayısını veya (FV kaynak devresi) seçmek için inverter veri sayfasıyla birlikte verilen ayrıntılı bilgiler kullanılmalıdır.

4.6.1.3. Zincir başına minimum hücre sayısı

İnverterdeki güç elektroniği elemanlarının minimum gerilim gereksinimlerini sağlamak üzere invertere yeterli gerilim sağlamak için sıcaklık, gerilim düşüşü ve bozulma gibi her türlü kayıp dikkate alınmalıdır. Bu nedenle dizi başına minimum hücre sayısı, seçilen hücrelerin V_{mpp} değerine beklenen en yüksek çalışma sıcaklığına ve bir güvenlik bozulma faktörüne göre hesaplanır. Güvenlik bozulma faktörü, inverterin kullanım ömrü boyunca (genellikle 10 yıl olarak tahmin edilir) hücrelerin

olası bozulmasını simüle etmek için kullanılır. Bu nedenle, dizi başına minimum hücre sayısı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır:

$$\text{Minimum zincir gerilimi} \geq 120\% \cdot \text{minimum inverter giriş gerilimi}$$

%120, inverterin 10 yıllık kullanım ömrü boyunca olası gerilim düşüşünün üstesinden gelmek için eklenir. Her bir dizideki minimum hücre sayısı aşağıdaki denklemden hesaplanabilir:

$$= \frac{120\% \cdot \text{minimum inverter giriş gerilimi}}{\text{her hücrenin gerçek MGN gerilimi}} \quad (3.52)$$

Her bir hücrenin gerçek MGN gerilimi aşağıdaki denklemlerle elde edilir.

$$= V_{\text{mpp}} \text{ STC} \cdot [(VTC \cdot (T_{\text{rise}} + T_{\text{max}} - 25)) + 100\%], \quad (3.53)$$

$V_{\text{mpp}} \text{ STC}$ standart test koşulları altında ölçülen maksimum güç noktasındaki gerilim (V), VTC gerilim sıcaklık katsayısı ($\%/^{\circ}\text{C}$), T_{rise} montaj sisteminin sıcaklık artışı ($^{\circ}\text{C}$) ve T_{max} beklenen maksimum sıcaklıktır ($^{\circ}\text{C}$).

T_{rise} faktörü aşağıdaki yöntemle elde edilebilir [87]:

- Direk montajının T -yükseltmesi yaklaşık 29°C 'ye eşdeğerdir
- Zemin montajının T yükselmesi yaklaşık 30°C 'ye eşdeğerdir.
- Eğimli çatının T yükselmesi yaklaşık 32°C 'ye eşdeğerdir
- Düz bir çatının T yükselmesi yaklaşık 36°C 'ye eşdeğerdir

4.6.1.4. Dize başına maksimum hücre sayısı

Soğuk ortamların neden olabileceği kablodaki gerilim artışı, inverterin maksimum giriş gerilimini aşmamalıdır. Bu nedenle, eviricinin çalışmayı durdurmasına neden olacak aşırı gerilim hatalarını önlemek için mümkün olan en düşük sıcaklık istenir. Dizi başına minimum hücre sayısı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır:

$$\text{Maksimum zincir gerilimi} \leq \text{inverterin maksimum giriş gerilimi.}$$

Her bir zincirdeki maksimum hücre sayısı aşağıdaki denklemden hesaplanabilir:

$$= \frac{\text{inverterin maksimum giriş gerilimi}}{\text{her hücresin gerçek OC gerilimi}} \quad (3.54)$$

Her bir hücresin gerçek OC gerilim değeri aşağıdaki denklemle elde edilir.

$$= V_{ocSTC} \cdot [(V_{TC} \cdot (T_{min} - 25)) + 100\%] \quad (3.55)$$

V_{ocSTC} standart test koşulları altındaki açık devre gerilimi (V), V_{TC} gerilimin sıcaklık katsayısı (%/°C) ve T_{min} beklenen minimum sıcaklıktır (°C).

4.6.1.5. Paralel zincir sayısı

Dizi başına maksimum ve minimum hücre sayısı belirlendikten sonra, paralel dizilerin sayısı her zaman inverter üreticisi tarafından sağlanan giriş DC akımının nominal aralığı kontrol edilerek hesaplanabilir. Dizi sayısı aşağıdaki denklemle elde edilebilir.

$$= \frac{\text{İnverterin nominal giriş akımı}}{I_{MGN} \text{ hücre}} \quad (3.56)$$

4.6.1.6. Şebeke inverterinin seçimi

Eviricinin sahip olması gereken saf sinüzoidal çıkış sinyaline ek olarak, şebeke senkronizasyonu için yukarıda açıklandığı gibi şebekenin de uyumlu olması gerekir. Şebeke senkronizasyonundan sonraki mikro saniyeler içinde inverterin çıkış gerilimi şebeke geriliminden yüksek olmalıdır. Sistemdeki tüm kayıplar (sıcaklık, toz, gerilim düşüşü ve dengesizlik) nedeniyle, FV hücrenin nominal gücü ile inverter arasındaki oran olan en iyi DC/AC oranını belirlemek için birçok çalışma yapılmıştır. Bu oran, sağlanan enerji maliyetini (LCOE) en üst düzeye çıkarmak ve sistemin başlangıç maliyetini en aza indirmek için yapılan ekonomik çalışmalara dayanarak 1 ile 1,3 arasında değişmektedir. Sistemin DC/AC oranı 1'in altında olduğunda, hücreler tarafından üretilen tüm enerji şebekeye verilir. Oran 1'den büyük olduğunda, tepe enerjisinin bir kısmı evirici tarafından kırılır ve kayıp olarak kabul edilir. Optimum DC/AC oranı, evirici ve hücre maliyetleri gibi faktörlere bağlı olarak değişir [45].

Örneğin, herhangi bir depolama sistemi kullanmadan Niamey şehir şebekesine bağlı 20MW'lık bir FV sistemi tasarlamak istendiğini varsayalım. Güneş panelleri 320 eğimli bir metal yapı üzerine monte edilerek daha önce kullanılanlarla aynı fotovoltaiik paneller kullanılacaktır. Kullanılan invertör ile ilgili bilgiler aşağıdaki tabloda açıklanmıştır.

Tablo 3.5. Şebeke invertörü veri sayfası.

Equinox 1MW	
Giriş (DC)	
Maksimum DC gerilimi	1000 V
Maksimum DC akım	1844 A
MPPT gerilim aralığı	615~850
MPPT dallarının sayısı	1
DC çıkışı	15
AC çıkış	
Maksimum AC gücü	1000 kW
Nominal AC gerilim	400 V
Maksimum AC akımı	1443 A
Frekans	50, 60 Hz
cosφ	0,99
Harmonik bozulma oranı (THD)	<3%
Besleme fazı sayısı	3
Maksimum verimlilik	98,7

Güneşin konumunu gerçek zamanlı olarak hesaplayan web sitesine [88] başvurarak Niamey şehrinin azimuth değerini 58° ve güneşin yüksekliğini 30° olarak belirlendi. Fotovoltaik panellerin montaj yapısının varsayılan yüksekliği 15 m'dir.

İlk olarak, panel sayısını belirlenir.

Daha önce Niamey şehrinin Tablo 4'teki iklim koşulları altında 400W güneş panelleri tarafından üretilen gücü hesaplamış EP=2070,86W.

$$N^{\circ}FV = \frac{20000000}{2070,86}$$

N° FV=9658 olarak bulunmuştu.

Montaj yapısının aynı anda birden fazla paneli barındırabileceği unutulmamalıdır. Bu nedenle farklı paneller arasındaki mesafe :

$$D = H \frac{\cos \alpha}{\tan \beta} \quad D = 15 \cdot \frac{\cos (58)}{\tan (30)}$$

$$D=13,76 \approx 14 \text{ m}$$

Aynı sıraya monte edilebilecek minimum ve maksimum hücre sayısını belirleyelim. Ama önce santralin bulunduğu şehrin maksimum ve minimum sıcaklıkları belirlenir. Niamey şehri için bu sıcaklıklar ortalama 20 yıl boyunca 11,6° ve 45° aralığında değişmiştir.

➤ Zincir başına minimum FV sayısı:

$$\text{Hücre geriliminin gerçek MGN'si} = V_{mpp} \cdot T \cdot C \cdot [(V_{TC} \cdot (T_{rise} + T_{max} - 25)) + 100\%],$$

Panellerimiz eğimli bir yapı üzerine monte edileceği için açısı $T_{rise}=30^{\circ}$ [87]

$$= 48 \cdot [(-0,38\% \cdot (30 + 45 - 25)) + 100\%]$$

Hücre geriliminin gerçek MGN'si = 38,88 V

Yani:

$$= \frac{120\% \cdot \text{inverter minimum giriş gerilim}}{\text{FV geriliminin gerçek MGN}} \cdot \frac{120 \cdot 250}{38,88}$$

Dize başına minimum hücre sayısı 7,71= 8 hücre.

➤ Zincir başına maksimum hücre sayısı.

$$V_{oc} \cdot T \cdot C \cdot [(V_{TC} \times (T_{min} - 25)) + 100\%]$$

$$51,6 \cdot [(-0,38\% \cdot (11,6 - 25)) + 100\%] = 54,22V$$

Dize başına maksimum sayı

$$= \frac{\text{inverterin maksimum giriş gerilimi}}{\text{her hücrenin gerçek OC gerilimi}} = \frac{1000}{54,22} = 18,44$$

Dizi başına maksimum hücre sayısı 19 FV hücresidir.

➤ Paralel dizi sayısı

Her bir dizide paralel olarak bağlanacak panel sayısı hesaplanan minimum ve maksimum arasında olmalıdır (bizim durumumuzda 8 ila 19 hücre arasında), bu da mevcut alana ve bütçeye bağlı olarak 8 ila 19 panel arasında herhangi bir fotovoltaik panel grubu seçebileceğimiz anlamına gelir. Bir sonraki adım, bir sıraya bağlanabilecek dizi sayısını belirlemek olacaktır, bunun için denklem 58'i kullanacağız.

$$= \frac{\text{inverterin nominal giriş akımı}}{I_{MGN} \text{ hücre}} = \frac{1844}{9,53} = 193,49$$

Her bir invertere paralel olarak bağlanabilecek dizi sayısı 194 dizidir.

4.7. Ekonomik Analizi

Şebekeye bağlı bir fotovoltaik enerji santralinin kurulum maliyeti sosyal, çevresel veya maddi olabilecek çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilir. Santralimizin kurulum maliyetlerine ilişkin bir tahmin oluşturmak için gerekli alanın maliyetlerinin yanı sıra panel ve tüm kurulumun bakım maliyetlerini dikkate almıyoruz. Kurulu watt başına referans fiyatlar aşağıdaki tabloda listelenmiştir.

Tablo 3.6. Watt başına kurulum fiyatı referansı.

Cins	(\$/watt)
Fotovoltaik paneller	0,34
İnverter	0,10
Mekanik konstrüksiyon	0,14
Elektrik ve montaj ekipmanları	0,16
Diğer	0,06
Toplam	0,8

Yukarıdaki Tablo 3.6 fiyat referanslarına göre 20 MW için kurulum maliyetleri aşağıdaki tabloda açıklandığı gibi 16.000.000 \$ olacaktır:

Tablo 3.7. 20 MW fotovoltaik tesisin kurulum maliyeti.

Cins	(\$/watt)	Dolar(\$)/20MW
Fotovoltaik paneller	0,34	6 800 000
İnverter	0,10	2 000 000
Mekanik konstrüksiyon	0,14	2 800 000
Elektrik ve montaj ekipmanları	0,16	3 200 000
Diğer	0,06	1 200 000
Toplam	0,8	16 000 000

Şebekeye bağlı büyük enerji santralleri genellikle enerji depolama sistemlerine ihtiyaç duymadığından, bu kurulum için gereken bataryaların kurulum maliyetlerini hesaplanmamıştır. Ayrıca bu çalışmanın bir sonraki bölümünde göreceğimiz gibi, bataryaların sisteme dahil edilmesi kurulum maliyetlerini de büyük ölçüde artıracaktır.

4.8. Dijital Tasarım

Bir fotovoltaik sistemi tasarlamak veya simüle etmek için en bilinenleri HOMER ve PVSIS olmak üzere çeşitli yazılım paketleri mevcuttur. Tasarımımız için, tasarlanacak elektrik profili, güneş radyasyonu verileri ve tasarım maliyetleri gibi girilebilecek veriler açısından iyi bir esneklik sunan Homer'ı kullandık. Homer, enerji üretim ve dağıtım sistemlerinin karşılaştırmalı ekonomik analizini yapmak ve sistemleri mevcut maliyetlerine göre sıralamak için Ulusal Enerji Laboratuvarı tarafından geliştirilmiş bir yazılım paketidir. Homer ile gerçeğe mümkün olduğunca yakın sonuçlar elde etmek için belirli parametrelerin değerlerini değiştirerek duyarlılık analizi yapmak da mümkündür. Yazılım tarafından önerilen her sonuç analiz edilir ve en iyi sonucu vermek için optimize edilir. Yazılım tarafından önerilen tüm parametreler uygunluğa ve üretim sistemine göre değiştirilebildiğinden, tesisin konumuna bakılmaksızın

normal veya hibrit bir yenilenebilir enerji üretim sisteminin eksiksiz bir analizini yapmak mümkündür. Yazılımın ekonomik modeli aşağıdaki kavramlara dayanmaktadır:

4.8.1. Bir değere getirilmiş enerji maliyeti (COE)

HOMER, bir değere getirilmiş enerji maliyeti (COE) sistem tarafından üretilen faydalı elektrik enerjisinin kWh başına ortalama maliyeti olarak tanımlar ve bunu ilişkisine göre hesaplar [2];

$$COE = \frac{C_{ann_tot} - C_{boiler} \cdot H_{served}}{E_{seved}} \quad (3.57)$$

C_{boiler} kazanın marjinal maliyetidir, bu da kazanın termal enerjisinin marjinal maliyetidir. HOMER bu değeri düzeltilmiş enerji maliyetini hesaplamak için kullanır, H_{served} sunulan termal yüküdür, yani yıl boyunca termal yüke hizmet eden toplam termal enerji miktarıdır ve E_{seved} sunulan toplam elektrik yüküdür, yani yıl boyunca birincil ve farklılaştırılabilir yüklere hizmet eden toplam enerji miktarı artı şebekeye satılan enerji miktarıdır. HOMER programı sunulan toplam elektrik yükünü aşağıdaki denklemi kullanarak hesaplar:

$$E_{seved} = E_{prim_AC} + E_{prim_DC} + E_{grid_sal} \quad (3.58)$$

$$COE = \frac{C_{ann_tot}}{E_{prim_AC} + E_{prim_DC} + E_{grid_sal}} \quad (3.59)$$

Rüzgar veya fotovoltaik sistemler gibi termal yüke hizmet etmeyen sistemler için, hizmet edilen termal yük H_{served} veya $H_{thermal}$ sıfırdır. Böylece, çalışmamızda, bir değere getirilmiş enerji maliyeti (COE) aşağıdaki denklemle elde edilecektir. Burada $C_{(ann_tot)}$ yıllık maliyet (\$/yıl), $E_{(prim_AC)}$ AC tarafından sağlanan yük miktarı (kWh/yıl), $E_{(prim_DC)}$ DC tarafından sağlanan yük miktarı (kWh/yıl) ve $E_{(grid_sal)}$ şebekeye yapılan toplam satış miktarıdır (kWh/yıl). Toplam yıllık maliyet, her bir sistem unsurunun yıllık maliyeti ile diğer yıllık maliyetlerin toplamıdır. Bu önemli bir büyüklüktür çünkü HOMER bu değeri düzeltilmiş enerji maliyetini ve mevcut net toplam maliyeti hesaplamak için kullanır.

4.8.2. Net şimdiki maliyet

Net şimdiki maliyet (NPC), projenin ömrü boyunca sistemin kurulum ve işletim maliyetidir ve HOMER'in birincil ekonomik sonucudur. Tüm sistemler net bugünkü maliyetlerine göre sıralanır ve diğer tüm ekonomik sonuçlar net bugünkü maliyeti elde etmek için hesaplanır [2].

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann_tot}}{SGF(i, R_{proj})} \quad (3.60)$$

C_(ann_tot) toplam yıllık maliyet (\$/yıl), SGF sermaye geri kazanım faktörü, i reel faiz oranı (%) ve R_proj proje ömrüdür (yıl). Sermaye geri kazanım faktörü, yıllık gelir harcama akışının bugünkü değerini hesaplamak için kullanılır ve aşağıdaki denklemlerle hesaplanır.

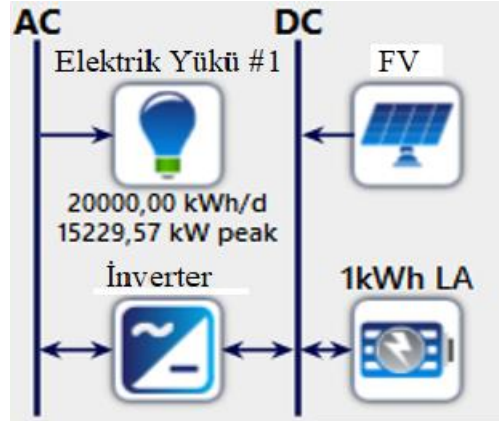
$$SGF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (3.61)$$

Burada i reel faiz oranı (%) ve N yıl sayısıdır. Çalışmamızda sistemin ömrünün 25 yıl olduğu varsayılmıştır.

HOMER programında 20 MW'lık bir tesisin hesaplanması için güneş radyasyonu referansı olarak Tablo 4'ü ve fotovoltaik panellerin kurulum maliyetlerinin değerlendirilmesi için Tablo 8'i kullandık.

Kullandığımız güneş ışınımı koşulları altında, program 20 000 kW elektrik üretimini karşılamak için toplam 21,355 kW fotovoltaik kapasite önermektedir. Kurulumun toplam maliyeti, 25 yıllık kullanım ömrü varsayıldığında, 76.250.285,16 \$ olup, bunun 49.524.906,20 \$'ı yıllık bakım maliyetleri dahil güneş panelleri, 20.621.552,6 \$'ı bataryalar ve 6.103.826,87 \$'ı inverter içindir. Sonuçlar, 6,93 yıl sonra 0,72\$'lık tahmini düzeltilmiş enerji maliyeti ile yatırımın geri dönüşünün mümkün olduğunu gösterirken, işletme maliyetlerinin 4.256.917 \$ olduğu tahmin edilmektedir. Batarya depolamanın büyük ticari FV tesislerine entegrasyonunun, ilgili finansal maliyetler göz önüne alındığında tamamen alakasız olduğu görülebilir. Batarya depolama kullanmak yerine, geceleri enerji üretimini devralmak veya bulutlu veya güneşli günlerde enerji eksikliğini tamamlamak için dizel jeneratörler, kömür yakıtlı

jeneratörler veya rüzgâr türbinleri gibi diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının bir karışımını kullanmak en mantıklı seçim olacaktır.



Şekil 3.22. HOMER güneş enerji benzetimi.

Tablo 3.8. HOMER Fotovoltaik Sistemler için ekonomik analiz.

Ekipman	Sermaye (\$)	Yenileme (\$)	İşletme ve bakım (\$)	bezin(\$)	toplam (\$)
Fotovoltaik paneller	8 114 889,97	0,00	41 410 016,22	0,00	49 524 906,20
İnverter	3 707 432,27	0,00	2 396 394,60	0,00	6 103 826,87
Akü	9 396 600,00	8 301 310,01	4 049 156,73	0,00	20 621 552,10
Sistem	21 218 922,24	8 301 310,01	47 855 567,56	0,00	76 250 285,16

Nijer'in fotovoltaik enerji üretim potansiyeli çok yüksektir ve bu da şebekeler için fotovoltaik enerji santrallerinin inşasına yönelik farklı projeleri açıklamaktadır. Örneğin DOSSO bölgesinde tahmini maliyeti 13,3 milyon Euro olan 10 MW'lık bir güneş enerjisi santralının inşasına yönelik projeler, 39.9 milyon Euro maliyetli 30 MW'lık MARADI enerji santrali ve 27.7 milyon dolarlık kurulum maliyetiyle 7 MW'lık hâlihazırda hizmet veren MALBAZA enerji santrali.

Bu projelerden MALBAZA elektrik santralının en az elektrik gücüne sahip olmasına rağmen en yüksek kurulum maliyetine sahip olduğu görülebilir; bu da kasabanın uzak konumu veya kurulumun ilk maliyetini artıran diğer pratik olmayan hususlarla açıklanabilir.

Sistemin özeti

Güneş panelleri (kW): 21,355

Bataryalar (adet): 31.322

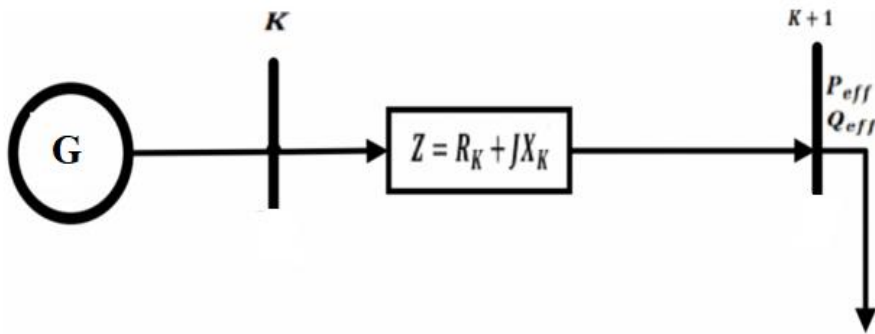
İnverter (kW): 3,707

Net şimdiki maliyet: 76.250.285,16 \$

Düzeltilmiş enerji maliyeti: 0,72 \$

4.9. Fotovoltaik Enerji Santralının Elektrik Şebekesine Bağlantısı

Yeni bir enerji kaynağının dağıtım şebekesine entegre edilmesi, şebekenin bütünlüğünü ve sorunsuz çalışmasını sağlamak için belirli adımların atılmasını gerektirir. Bir fotovoltaik tesisi şebekelere bağlamak için, elektrik şebekesiyle iyi bir uyumluluk sağlamak amacıyla güç, frekans, reaktif güç ve harmoniklerin kontrolü dikkatlice yapılmalıdır.



Şekil 3.23. İki baralı ağ.

k-bara besleme sistemi için Z matrisinin formatı şöyledir [89]

$$Z_{bus} = \begin{pmatrix} Z_1 & \cdots & Z_{1K} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{1K} & \cdots & Z_{KK} \end{pmatrix} \quad (3.62)$$

Bir dağıtım sisteminin i-j notunda birkaç baraya sahip olduğu varsayıldığında, her bir bara V_i üzerindeki gerilim aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$V_i = \sum_{i=1}^K Z_{ij} \cdot I_i \quad (3.63)$$

(n) bara boyunca aktif ve reaktif güç kayıpları P_{loss} ve Q_{loss} ile temsil edilir ve aşağıdaki gibi hesaplanır [89]:

$$P_{loss}(n) = R(n) \cdot \left((P_j^2 + Q_j^2) / |V_j|^2 \right) \quad (3.64)$$

$$Q_{loss}(n) = X(n) \cdot \left((P_j^2 + Q_j^2) / |V_j|^2 \right) \quad (3.65)$$

$R(n)$ ve $X(n)$ sırasıyla dalın direncini ve reaktansını temsil eder.

Bir k-bus besleme sistemi için toplam aktif güç kayıpları, tüm branşman bölümlerinin kayıpları toplanarak hesaplanabilir ve aşağıdaki gibi verilebilir.

$$P_{Total_loss} = \sum_{n=1}^K P_{loss}(n) \quad (3.66)$$

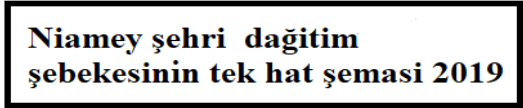
$$Q_{Total_loss} = \sum_{n=1}^K Q_{loss}(n) \quad (3.67)$$

Niamey'in dağıtım şebekesi 132 kV'luk bir hat üzerinden Nijerya'ya bağlıdır. Niamey şebekesindeki ulusal elektrik üretimi 40, 40 ve 16 MW'luk 3 dizel jeneratör tarafından sağlanmakta, enerjinin geri kalanı Nijerya'dan ithal edilmektedir. Dağıtım şebekeleri genellikle orta gerilim seviyelerinde çalışmakta ve yüksek gerilimde çalışan iletim sistemlerine bağlanmaktadır. Ayrıca tüketiciye orta gerilim seviyelerinde enerji iletilir. Düşük gerilim ve yüksek akım nedeniyle, elektrik dağıtım sistemindeki hat

kayıpları elektrik iletim sistemindekenden daha yüksektir. Bu durum enerji maliyetlerini artırmakta ve elektrik dağıtım sistemindeki baraların gerilim profilini olumsuz etkilemektedir.

Dağıtım şebekesindeki aktif güç kayıpları sistem verimliliğini azaltır ve gerilim profilini olumsuz etkiler. Sonuç olarak, sistem kayıplarının en aza indirilmesi dağıtım sistemi tasarımı ve planlamasında önemlidir. Dağıtık üretim tesislerinin elektrik dağıtım sistemine yerleştirilmesi, verimlilik, gerilim ve kararlılık iyileştirmeleri açısından sistem gelişimine katkıda bulunur. Dağıtık üretim ile dağıtım sisteminde gerilim profili iyileştikçe, kararlılık veya iyileştirme için kullanılan cihazlara olan ihtiyaç azalır.



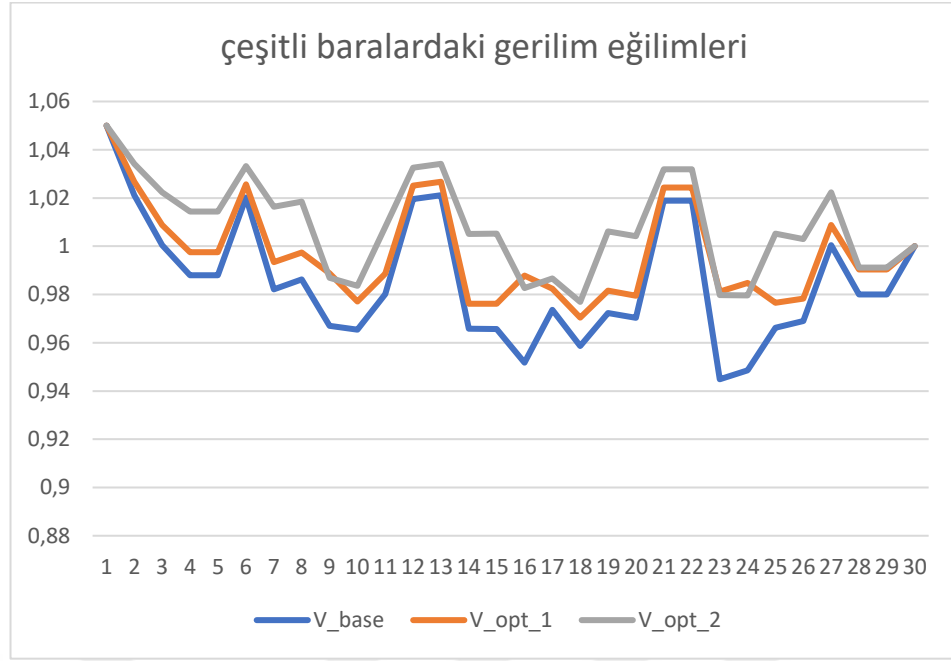


Şekil 3.24. Niamey şehri dağıtım şebekesinin tek hat şeması.

Bu nedenle, yeni bir elektrik üretim sistemini şebekeye entegre ederken, sistem gerilimini en aza indirmek ve böylece enerji kayıplarını en aza indirmek için optimum konumu seçebilmek önemlidir. Fotovoltaik ve rüzgar türbinleri gibi yenilenebilir kaynakları kullanan bir elektrik üretim sistemini entegre etmek için optimum konumları değerlendirmek üzere çeşitli optimizasyon yöntemleri mevcuttur. Güneş enerjisi santralimizi Niamey şehir şebekesine entegre etmek için optimum konumu değerlendirmek amacıyla, şebeke gerilimini 0,90 ile 1,10 pu arasında tutan genetik bir optimizasyon algoritması kullandık.

Algoritma başlatıldıktan sonra her kromozomun uygunluk değeri hesaplanır, ardından mevcut popülasyonun ebeveynleri orantılı bir seçimle belirlenir. Seçim yapıldıktan sonra, çaprazlama operatörü kullanılarak yeni bir nesil oluşturmak için rastgele iki ebeveyn seçilir. Daha sonra sonuçların küçük değişikliklerini değerlendirmek için bazı mutasyon operasyonları gerçekleştirilerek eski kromozom popülasyonu yeni bir kromozom popülasyonu ile değiştirilir. Önceki adımlar, tüm ebeveynler çiftleştirilene kadar tekrarlanır ve eski kromozom popülasyonu yeni bir kromozomla değiştirilir. Yeni popülasyondaki her kromozomun uygunluk değeri yeniden hesaplanır ve önceden belirlenmiş sınır nesil sayısına ulaşırsa algoritma amacına ulaşmış olur ve durur. Eğer öyle değilse, algoritma yeni bir popülasyon oluşturacak ve en uygun sonuçları elde edene kadar süreci tekrarlayacaktır. Bu algoritma, Niamey şehrinin elektrik dağıtım ağındaki güneş enerjisi sisteminin en uygun konumunu değerlendirmek için kullanılmıştır.

16 ve 23 numaralı baralar, FV tesisinin entegrasyonu için olası en uygun konumlar olarak seçilmiştir. Düğüm 16'ya 47 MW'lık bir jeneratör ve düğüm 23'e 15 MW'lık başka bir jeneratör bağlanmıştır. Sistemdeki güç transferi MATPOWER kullanılarak ve 34 numaralı baranın IEEE dağıtım sistemine atıfta bulunularak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.25. Çeşitli baralardaki gerilim eğilimleri.

Şekil 3.25, elde edilen sonuçlara göre, 47,07 MW'lık bir FV'nin dağıtım şebekesine entegrasyonu için (16) numaralı bara tek bir FV'yi almak için en uygun olanıdır. Bu durumda sistemdeki toplam kayıp 2,67 kW olacaktır. Öte yandan, dağıtım şebekesine iki FV'nin entegrasyonu için (15 ve 23) numaralı baralar en uygun baralardır. Bara 23'e 3,5 MW'lık bir FV'nin ve bara 15'e 49,9 MW'lık bir FV'nin entegre edilmesiyle sistemdeki toplam kayıp 1,137 kW'a düşmüştür. Sistemdeki toplam kayıplar, şebekeye ikiden fazla FV'nin entegre edilmesiyle çok az değişmektedir. Bu nedenle, 3 veya daha fazla FV'nin entegrasyonu ihmal edilmiştir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sıcak iklime sahip ülkeler genellikle fotovoltaik kurulumlar için ideal ortamlardır. Ancak güneş panelleri de yüksek sıcaklıklara karşı çok hassastır, bu da çıkış gücünü ve verimliliklerini azaltabilir. Bu nedenle, maksimum enerji verimini sağlamak için kurulum sahası dikkatle seçilmelidir. Güneş panellerinin verimliliğini artırmak için, doğru ekipman seçimi ve maksimum güç noktasını izlemek için doğru algoritma seçimi şarttır. Bazı ülkelerde güneş enerjisinin maliyeti fosil yakıt bazlı elektrik üretim yöntemleriyle eşit seviyeye ulaşmış olsa da güneş panellerinin mevcut verimliliği göz önüne alındığında ilk kurulum maliyetleri hala çok yüksektir. Güneş enerjisi santralleriyle ilgili en büyük endişe, güneş ışınımının kesintili olması yani istikrarlı olmamasıdır; bu da bazı durumlarda fotovoltaik tesislere depolama bataryalarının eşlik etmesi gerektiği anlamına gelmektedir. Ancak büyük ölçekli fotovoltaik tesislerde batarya kullanmak hem ekonomik hem de çevresel açıdan dezavantajlıdır. Akülerin yükdek maliyeti, düşük elektrik depolama kapasiteleri ve kronik olarak değiştirilmeleri, büyük fotovoltaik tesislerin genellikle yenilenebilir olsun ya da olmasın başka bir enerji kaynağına bağlı olarak hibrit biçimde tasarlandığı anlamına gelmektedir.

Fotovoltaik tesislerin tahmini ömrü 20 ila 30 yıl arasındadır ve bu süre zarfında, çalışma sırasında herhangi bir sera gazı üretmedikleri için çevre üzerindeki olumsuz etkileri minimum düzeydedir. Bununla birlikte, bazı fotovoltaik ekipmanların düzenli olarak değiştirilmesi, üretimi ve geri dönüşüm yöntemleri çevre üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Bunlar arasında bataryalar ve regülatörler yer almaktadır.

Fotovoltaik tesislerin kullanım ömrü sonu yönetimi son yıllarda çok tartışılan bir konudur. Güneş paneli geri dönüşüm teknikleri çok az ilgi gören bir konudur ve fotovoltaik tesislerin kullanım ömrünün sonuna gelmiş ekipmanları tanımlayan uluslararası standartlar henüz birçok ülkede yürürlükte değildir. Örneğin Avrupa'da, güneş panellerinin geri dönüşümü enerji üreticisi tarafından gerçekleştirilmelidir. Ancak fotovoltaik panel üreticileri 20 yıllık kullanımdan sonra %80'lik bir verimlilik garantisi vermektedir, bu da fotovoltaik panellerin sökülmesi ve geri

dönüştürülmesinin, panellerin orijinal verimliliklerinin %80'inde çalışmaya devam ettiği göz önüne alındığında, beklentilerine ve enerji gereksinimlerine bağlı olarak enerji üreticisinin takdirine bırakıldığı anlamına gelmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın Fotovoltaik Güç Sistemleri Programı (IEA FVPS) ve Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı'na (IRENA) göre, 2030 yılına kadar fotovoltaik tesislerden kaynaklanan atıkların yılda 1,7 ila 8 milyon ton arasında, 2050 yılına kadar ise yılda 60 ila 78 milyon ton arasında olacağı tahmin edilmektedir. Bu nedenle, fotovoltaik panellerin imha edilmesinin yaratabileceği çevresel etkiyi azaltmak amacıyla kullanım ömürlerinin sonunda geri dönüştürülmeleri için modern ve etkili teknikler bulmak çok önemlidir. Güneş panellerinin geri dönüşümü için termal, mekanik ve kimyasal yöntemler mevcut olup, geri kazanım oranları cam için neredeyse %90 ve yarı iletken malzemeler için yaklaşık %95'tir [90].

Nijer'in çevresel koşullarında, bir fotovoltaik tesisin ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen, kurulumun hızlı bir şekilde karlı hale getirilebileceğini ve amorti edilebileceğini görebiliriz. Buna ek olarak, güneş takip sistemleri veya ışık akısı yoğunlaştırıcıları kullanarak enerji verimini önemli ölçüde artırma olasılığı vardır, ancak bu kurulum maliyetlerini de artıracaktır. Nijer'in coğrafi konumu yıl boyunca iyi bir güneş ışımasını sağlayarak fotovoltaik tesisler için idealdir ve bu da ülkenin güneş enerjisi tesislerine artan ilgisini açıklamaktadır. Yenilenebilir enerjiler, özellikle de güneş ve hidrolik enerji, ülkenin ulusal elektrik üretim kapasitesini artırması ve dışa bağımlılığını azaltması için çok iyi bir yoldur.

Niamey bölgesinde bir güneş fotovoltaik enerji santralinin entegrasyonu için ideal konumları belirlemek amacıyla elektrik dağıtım şebekesi üzerinde farklı konumlara bağlı iki elektrik jeneratörünün analizi yapılmıştır. Optimum konumun değerlendirilmesi genel optimizasyon algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilmiş ve ardından güç aktarımı MATPOWER kullanılarak tahmin edilmiştir. Tüm sistem 34 düğümden oluşan IEEE modeline göre referanslamıştır. 47,07 MW'lık bir FV'nin dağıtım şebekesine entegrasyonu için 16 numaralı bara tek bir FV'yi almak için en uygun olanıdır. Bu durumda sistemdeki toplam kayıp 2,67 kW olacaktır. Öte yandan, dağıtım şebekesine iki FV'nin entegrasyonu için 15 ve 23 numaralı baralar en uygun baralardır. Bara 23'e 3,5 MW'lık bir FV'nin ve bara 15'e 49,9 MW'lık bir FV'nin entegre edilmesiyle sistemdeki toplam kayıp 1,137 kW'a düşmüştür

KAYNAKLAR

- [1] Bp Statistical Review Of World Energy (2022). Statistical Review Of World Energy 2022.
- [2] Uğur Yılmaz (2008). Gökçeada'da Yenilenebilir Enerji Kaynaklarıyla Elektrik Üretimi. [Yüksek Lisans Tez] İstanbul Teknik Üniversitesi, Ss. 75-88, 2008.
- [3] İ. Akdoğan Ve B. Kovancılar (2021). Avrupa Birliği Ve Türkiye'de Çevre Dostu Yenilenebilir Enerji Politikalarının Teşvik Türleri Açısından Değerlendirilmesi. Evaluation Of Eco-Friendly Renewable Energy Policies In The European Union And Turkey In Terms Of Incentive Types. Doi: 10.2021/Yayına.
- [4] M. Önal (2020) Sürdürülebilir Kalkınmada Yenilenebilir Enerjinin Önemi: Türkiye Üzerine Bir Değerlendirme The Importance Of Renewable Energy In Sustainable Development: AN ASSESSMENT ON TURKEY, 2020.
- [5] H. Deviren, C. İlkiliç, Ve S. Aydın (2017). Biyogaz Üretiminde Kullanılabilen Materyaller Ve Biyogazın Kullanım Alanları, 2017.
- [6] IEA (2022, 29 Haziran). Renewable electricity renewables. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5ae32253-7409-4f9a-a91d-1493ffb9777a/Renewables2021-Analysisandforecastto2026.pdf>
- [7] Cri De Cigogne (2022, 04 Temmuz). Bilan Énergétique Du Niger. <https://Cridecigogne.Org/Content/Bilan-Energetique-Du-Niger>
- [8] P.-M. Cussagnet, (2022, 04 Temmuz). Le Niger, laboratoire de l'électrification durable en afrique subsaharienne. <https://Africa-Energy-Portal.Org>
- [9] Republique Du Niger Ministère De L'énergie (2019). Prospectus D'investissement De L'énergie Durable Pour Tous (Seforall) Du Niger, 2019.
- [10] Republique du Niger (2014). Évaluation De L'état De Préparation Aux Énergies Renouvelables, 2014.
- [11] Paner (2015). Plan d'Actions National Des Energies Renouvelables (PANER) NIGER, 2015.
- [12] S. Ndoye, F. Idrissa BARRO, O. Habiboulahi LEMRABOTT, Ve G. Sissoko (2009). Modelisation Et Simulation Sous Matlab/Simulink De La Chaine D'alimentation D'une Station Relais De Telecommunications En Energie Solaire Photovoltaïque Dans Une Zone Isolee Du Reseau Electrique.

- [13] L. Zhengxi Vd (2015). The Control Method And Design Of Photovoltaic Tracking System Proceedings. *Institute Of Electrical And Electronics Engineers Inc.* Nis. 2016, Ss. 838-841. Doi: 10.1109/ISDEA.2015.210.
- [14] Gamal M. Dousoky, Abou-Hashema M. EL-SAYED, Ve Masahito SHOYAMA (2011). Maximizing Energy-Efficiency İn Single-Axis Solar Trackers For Photovoltaic Panels. *IEEE 8th International Conference On Power Electronics And ECCE Asia*, 2011.
- [15] I. M. M. D. A. D. Oprea Roxana (2018). Efficiency Analysis Of Solar Radiation Concentration Technique For A Low Concentration Photovoltaic System. *EPE 2018 : Proceedings Of The 2018 International Conference And Expositions On Electrical And Power Engineering 2018*.
- [16] P. B., J. P., J. PPaweá Wçgierek. (2017). International Conference On Electromagnetic Devices And Processes İn Environment Protection With Seminar Applications Of Superconductors (ELMECO & Aos): Nałęczów (Lublin), Poland, December 3-6, 2017. 2017.
- [17] A. A. Al-Ahmed Inamuddin Fahad Al-Sulaiman Firoz Khan Editors (2017). Green Energy And Technology The Effects Of Dust And Heat On Photovoltaic Modules: Impacts And Solutions, 2022.
- [18] H. Yatimi, E. Aroudam, Ve M. Louzazni(2014). Modeling And Simulation Of Photovoltaic Module Using MATLAB/SIMULINK Modélisation Et Simulation Du Module Photovoltaïque Sous MATLAB/SIMULINK. *EDP Sciences*, 2014, Doi: 10.1051/C.
- [19] T. T. Guingane, Z. Koalaga, E. Simonguy, F. Zougmore, Ve D. Bonkougou (2017). Modélisation Et Simulation D'un Champ Photovoltaïque Utilisant Un Convertisseur Élévateur De Tension (Boost) Avec Le Logiciel MATLAB /SIMULINK. 2017, Doi: 10.18145/Jitipee.V1i2.80.G59i.
- [20] D. K. B. S. V. Mitrofanov (2020). Proceedings, 2020 International Conference On Industrial Engineering, Applications And Manufacturing (ICIEAM): Sochi, Russia, May 18-22, 2020. 2020.
- [21] Fisun Çiftçi (2016). Güneş Enerji Sistemlerinde Farklı Cins Panellerle Maliyet Ve Güç Analizinin Yapılması. [Yüksek Lisans Tezi], Bahçeşehir Üniversitesi.
- [22] Ceyda Aksoy Tirmikçi And Cenk Yavuz (2019). Determining The Number Of Solar Modules Of A 1 KW Solar Energy System İn Antalya Turkey. Doi: 10.33793/Acperpro.
- [23] A. Ghamrawi, R. Roupheal, J.-P. Gaubert, Ve D. Mehdi (2021) Amélioration Du Rendement D'un Système Solaire Photovoltaïque: Architecture Et Commande, 2021.
- [24] C. A. Tirmikçi Ve C. Yavuz (2018). Establishing New Regression Equations For Obtaining The Diffuse Solar Radiation İn Sakarya (Turkey). *Tehnicki Vjesnik*, C. 25, Ss. 503-508, Eyl. 2018, Doi: 10.17559/TV-20170202131249.

- [25] IEEE-Tunisia Section (2017, 23-25, Mart). IEEE Power & Energy Society. Tunisia Chapter, Ve Institute Of Electrical And Electronics Engineers, GECS'2017: International Conference On Green Energy & Conversion Systems : 23-25 March, 2017, Hammamet, Tunisia.
- [26] C. Aksoy Tırmıkçı Ve C. Yavuz (2018). Determining Optimum Tilt Angles Of Solar Surfaces İn Sakarya, Turkey. Theor Appl Climatol, C. 133, Sy 1-2, Ss. 15-22, Tem. 2018, Doi: 10.1007/S00704-017-2174-X.
- [27] C. Aksoy Tırmıkçı Ve C. Yavuz (2018). Environmental Life Cycle Analysis Of A Fixed FV Energy System And A Two-Axis Sun Tracking FV Energy System İn A Low-Energy House İn Turkey. Smart And Sustainable Built Environment, C. 8, Sy 5, Ss. 391-399, Eyl. 2019, Doi: 10.1108/SASBE-11-2018-0058.
- [28] E. Akcan, M. Kuncan, Ve M. R. Minaz (2020). FVsyst Yazılımı İle 30 KW Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi Ve Simülasyonu. *European Journal Of Science And Technology*, Ss. 248-261, Nis. 2020, Doi: 10.31590/Ejosat.685909.
- [29] C. Cristea, M. Cristea, Ve R. A. Tirnovan (2021). Techno-Economic Assessment Of Grid-Connected Residential Rooftop Photovoltaic Systems Using Various Photovoltaic Technologies: A Case Study İn The Northwestern Romania. *SIELMEN 2021 - Proceedings Of The 11th International Conference On Electromechanical And Energy Systems, Institute Of Electrical And Electronics Engineers Inc.*, 2021, Ss. 408-412. Doi: 10.1109/SIELMEN53755.2021.9600429.
- [30] Tianjin Da Xue Vd. (2018). China International Conference On Electricity Distribution : Proceedings : 17-19 September 2018, Tianjin, China.
- [31] M. Yalılı Kılıç Ve S. Adalı (2021). Bir Apartmanın Elektrik İhtiyacının Fotovoltaik Enerji Sistemiyle Karşılanması. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Ara. 2021, Doi: 10.17798/Bitlisfen.943628.
- [32] E. İşen Ömer Koçhan Bandırma (2019). Fotovoltaik Panelin Tek Diyotlu Modellenmesi Single Diode Modeling Of Photovoltaic Panel Article History, 2019.
- [33] T. Saga (2022). Advances İn Crystalline Silicon Solar Cell Technology For İndustrial Mass Production. *NPG Asia Materials* 2010 2:3, C. 2, Sy 3, Ss. 96-102, Tem. 2010, Doi: 10.1038/Asiamat.2010.82.
- [34] Gökhan Çayır (2022). Fotovoltaik Güneş Enerji Sistemlerinin Uygulama Alanları Verimliliği Ve Maliyet Analzi. [Yüksek Lisans Tezi] Adıyaman Üniversitesi.
- [35] My Enerji Solar Güneş (2022, 01 Ağustos). Panelleri nasıl üretilir? 2020 güneş panelleri. <https://www.Myenerjisolar.Com/Gunes-Panelleri-Nasil-Uretilir/>
- [36] Prof.Dr. İlkey Şişman. (2020) Güneş Panellerinin Temeller. [Ders Not] Sakarya Üniversitesi 2020.

- [37] Researchgate (2022, 02 Ağustos). Les récents développements en modélisation des écoulements dans les procédés de croissance cristalline. https://www.Researchgate.Net/Publication/299484870_Les_Recents_Developpements_En_Modelisation_Des_Ecoulements_Dans_Les_Procedes_De_Croissance_Cristalline#Pf1
- [38] Y. Abou Jieb Eklas Hossain Fundamentals (2022). Photovoltaic Systems, 2022.
- [39] Researchgate (2022, 02 Ağustos). Etude de la solidification directionnelle en creuset du silicium en vue d'un usage solaire. https://www.Researchgate.Net/Publication/46155871_Etude_De_La_Solidification_Directionnelle_En_Creuset_Du_Silicium_En_Vue_D'un_Usage_Solaire
- [40] Kaangokay (2022, 04 Ağustos). Types De Cellules Solaires Photovoltaïques. <http://Kaangokay.Com/Fotovoltaiik-Gunes-Hucresi-Turleri/>
- [41] Telat Türkyılmaz (2020). Geliştirilen Yeni Bir Yazılım İlerüzgar Ve Güneş Enerji Sistemlerinin Analizi Ve Uygulaması. [Doktora Tezi] Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Ss. 48-49, 2020.
- [42] A. Mohammad Bagher (2015). Types Of Solar Cells And Application. *American Journal Of Optics And Photonics* C. 3, Sy 5, S. 94, 2015, Doi: 10.11648/J.Ajop.20150305.17.
- [43] Civisol (2022, 08 Kasım). Les Onduleurs Solaires De A-Z. <https://Www.Civisol.Fr/Info/9-Les-Onduleurs-Solaires-De-A-A-Z>
- [44] Prof.Dr. Mehmet Bayrak (2021). Rüzgar Ve Güneş Enerji Sistemleri. [Ders Not] Sakarya Üniversitesi.
- [45] Y. Abou Jieb Eklas Hossain (2022). Fundamentals of Photovoltaic Systems, 2022.
- [46] M. R. Patel ve O. Beik (2021). Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis, and Operation, 2021.
- [47] D. Doç Ve O. Bingöl (2022). Uzay Kafes Çatı Sistemlerinde Fotovoltaik Panellerden Genetik Algoritma İle Maksimum Elektrik Enerjisi Elde Edilmesi Berkay Kiriş.
- [48] Yasin İçel (2019) Güneş Enerji Sistemlerinin Performans Tahmini İçin Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi Ve Verimliliğin İncelenmesi. [Doktora Tezi] İnönü Üniversitesi.
- [49] N. D. Kaushika Ve A. K. Rai (2007). An Investigation Of Mismatch Losses İn Solar Photovoltaic Cell Networks. *Energy*, C. 32, Sy 5, Ss. 755-759, May. 2007, Doi: 10.1016/J.ENERGY.2006.06.017.
- [50] F. M. Işık Ve H. Söze (2023) Improving The Energy Performance Of A Convention Center Building. *Journal Of Building Energy & Environment*, C. 3, Sy 1, Ss. 16-52, 2023.

- [51] Jan Haschke, Johannes P.Seif, Yannick Riesen, Ve Andrea Tomasi (2017). Energy Yield İn Hot & Sunny Climates: Impact Of Silicon Solar Cell Architecture And Cell Interconnection. *2017 IEEE 44th Photovoltaic Specialist Conference, FVSC 2017*, Institute Of Electrical And Electronics Engineers Inc., 2017, Ss. 3435-3438. Doi: 10.1109/FVSC.2017.8366703.
- [52] J. K. Kaldellis, M. Kapsali, Ve K. A. Kavadias (2014). Temperature And Wind Speed İmpact On The Efficiency Of FV İnstallations. Experience Obtained From Outdoor Measurements İn Greece. *Renew Energy*, C. 66, Ss. 612-624, Haz. 2014, Doi: 10.1016/J.Renene.2013.12.041.
- [53] B. P. Jelle (2013). The Challenge Of Removing Snow Downfall On Photovoltaic Solar Cell Roofs İn Order To Maximize Solar Energy Efficiency Research Opportunities For The Future. *Energy Build*, C. 67, Ss. 334-351, Ara. 2013, Doi: 10.1016/J.ENBUILD.2013.08.010.
- [54] Erman Erhan (2019). Fotovoltaik Güneş Enerji Sistemlerinin Güç Çıkışının Sürdürülebilirliği Üzerinde Kar Yağışının Etkisinin İncelenmesi, 2019.
- [55] M. Kumar Panjwani Ve G. Bukshsh Narejo (2023). Effect Of Humidity On The Efficiency Of Solar Cell (Photovoltaic). *International Journal Of Engineering Research And General Science*. C. 2, Sy 4, 2023.
- [56] M. Ross (1995). Snow And Ice Accumulation On Photovoltaic Arrays: An Assessment Of The TN Conseil Passive Melting Technology. *Natural Resources Canada*, 1995.
- [57] F. M. Zaihidee, S. Mekhilef, M. Seyedmahmoudian, Ve B. Horan(2016). Dust As An Unalterable Deteriorative Factor Affecting FV Panel's Efficiency: Why And How. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, C. 65, Ss. 1267-1278, Kas. 2016, Doi: 10.1016/J.Rser.2016.06.068.
- [58] L. Dorobantu, M. O. Popescu, C. Popescu, Ve A. Craciunescu (2017) The Effect Of Surface İmpurities On Photovoltaic Panels. *European Association For The Development Of Renewable Energies, Environment And Power Quality* Doi: 10.24084/Repqj09.405.
- [59] J. K. Kaldellis Ve A. Kokala (2010). Quantifying The Decrease Of The Photovoltaic Panels' Energy Yield Due To Phenomena Of Natural Air Pollution Disposal. *Energy*, C. 35, Sy 12, Ss. 4862-4869, 2010, Doi: 10.1016/J.Energy.2010.09.002.
- [60] F. Zagury Ve F. Goutail (2003) Spectral Analysis Of Extinguished Sunlight. *New Astronomy*, C. 8, Sy 6, Ss. 537-548, Ağu. 2003, Doi: 10.1016/S1384-1076(03)00047-2.
- [61] Karim Al Aziz (2018). La Commande D'un Système Photovoltaïque D'un Satellite.
- [62] Aziz Toulart Rachid Aili (2014). Modélisation Et Simulation Sous Matalab/Simulink D'un Photovoltaïque Adapté

- [63] M. A. Elgendy, B. Zahawi, Ve D. J. Atkinson (2010). Comparison Of Directly Connected And Constant Voltage Controlled Photovoltaic Pumping Systems. *IEEE Trans Sustain Energy*, C. 1, Sy 3, Ss. 184-192, Eki. 2010, Doi: 10.1109/TSTE.2010.2052936.
- [64] A. W. Leedy, L. Guo, Ve K. A. Aganah (2012). A Constant Voltage MPPT Method For A Solar Powered Boost Converter With DC Motor Load. *Proceedings Of IEEE Southeastcon*, 2012, Doi: 10.1109/SECON.2012.6196885..
- [65] D.-Y. Lee, H.-J. Noh, D.-S. Hyun, Ve I. Choy (2003). An Improved MPPT Converter Using Current Compensation Method For Small Scaled FV-Applications.
- [66] T. Noguchi, S. Togashi, Ve R. Nakamoto (2002). Short-Current Pulse-Based Maximum-Power-Point Tracking Method For Multiple Photovoltaic-And-Converter Module System.
- [67] K. L. Lian, J. H. Jhang, Ve I. S. Tian (2014). A Maximum Power Point Tracking Method Based On Perturb-And-Observe Combined With Particle Swarm Optimization. *IEEE J Photovolt*, C. 4, Sy 2, Ss. 626-633, Mar. 2014, Doi: 10.1109/JPHOTOV.2013.2297513.
- [68] M. Killi Ve S. Samanta (2015). Modified Perturb And Observe MPPT Algorithm For Drift Avoidance İn Photovoltaic Systems. *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, C. 62, Sy 9, Ss. 5549-5559, Eyl. 2015, Doi: 10.1109/TIE.2015.2407854.
- [69] Institute Of Electrical And Electronics Engineers (2014, 01-04, Haziran). IEEE Industrial Electronics Society, Ve Boğaziçi Üniversitesi, 2014 IEEE 23rd International Symposium On Industrial Electronics (ISIE): Proceedings : Grand Cevahir Hotel And Convention Center Istambul, Turkey : 01-04 June, 2014.
- [70] A. IEEE Industrial Electronics Society (2013, 10-14, Kasım). Conference (39th : 2013 : Vienna, Technische Universität Wien, Austrian Institute Of Technology, IEEE Industrial Electronics Society, Ve Institute Of Electrical And Electronics Engineers, IECON 2013-39th Annual Conference Of The IEEE Industrial Electronics Society : Proceedings : Austria Center Vienna, Vienna, Austria, 10-14 November, 2013.
- [71] W. Xiao Ve W. G. Dunford (2004). A Modified Adaptive Hill Climbing MPPT Method For Photovoltaic Power Systems. *PESC Record - IEEE Annual Power Electronics Specialists Conference*, C. 3, Ss. 1957-1963, 2004, Doi: 10.1109/PESC.2004.1355417.
- [72] B. Boukezata, A. Chaoui, J. P. Gaubert, Ve M. Hachemi (2016). An İmproved Fuzzy Logic Control MPPT Based P&O Method To Solve Fast İrradiation Change Problem. *Journal Of Renewable And Sustainable Energy*, C. 8, Sy 4, Tem. 2016, Doi: 10.1063/1.4960409.

- [73] K. Punitha, D. Devaraj, Ve S. Sakthivel (2016). Artificial Neural Network Based Modified Incremental Conductance Algorithm For Maximum Power Point Tracking In Photovoltaic System Under Partial Shading Conditions. *Energy*, C. 62, Ss. 330-340, Ara. 2013, Doi: 10.1016/J.ENERGY.2013.08.022.
- [74] S. Q. Li, B. Zhang, T. J. Xu, Ve J. Yang (2014). A New MPPT Control Method Of Photovoltaic Grid-Connected Inverter System. *26th Chinese Control And Decision Conference*, CCDC 2014, IEEE Computer Society, 2014, Ss. 2753-2757. Doi: 10.1109/CCDC.2014.6852640.
- [75] L. Shang, H. Guo, Ve W. Zhu (2020). An Improved MPPT Control Strategy Based On Incremental Conductance Algorithm. *Protection And Control Of Modern Power Systems*, C. 5, Sy 1, Ss. 1-8, Ara. 2020, Doi: 10.1186/S41601-020-00161-Z/FIGURES/11.
- [76] C. R. Algarín, J. T. Giraldo, Ve O. R. Álvarez (2017). Fuzzy Logic Based MPPT Controller For A FV System. *Energies (Basel)*, C. 10, Sy 12, Ara. 2017, Doi: 10.3390/En10122036.
- [77] Christine Abdel Nour (2022). Modélisation D'une Installation Photovoltaïque Avec Réflecteurs En Vue De L'intégration Dans Un Réseau Intelligent. *HAL*, Ss. 38-125, 2020, 08 Haziran 2022.
- [78] Y. Icel, M. S. Mamis, A. Bugutekin, Ve M. Ismail Gursoy (2019). Photovoltaic Panel Efficiency Estimation With Artificial Neural Networks: Samples Of Adiyaman, Malatya, And Sanliurfa. *International Journal Of Photoenergy*, C. 2019, 2019, Doi: 10.1155/2019/6289021.
- [79] H. J. El-Khozondar, R. J. El-Khozondar, K. Matter, Ve T. Suntio (2016). A Review Study Of Photovoltaic Array Maximum Power Tracking Algorithms. *Renewables: Wind, Water, And Solar* 2016 3:1, C. 3, Sy 1, Ss. 1-8, Şub. 2016, Doi: 10.1186/S40807-016-0022-8.
- [80] S. E. Babaa, M. Armstrong, Ve V. Pickert (2014). Overview Of Maximum Power Point Tracking Control Methods For FV Systems. *Journal Of Power And Energy Engineering*, C. 02, Sy 08, Ss. 59-72, 2014, Doi: 10.4236/Jpee.2014.28006.
- [81] Christine Abdel Nour (2020). Modélisation D'une Installation Photovoltaïque Avec Réflecteurs En Vue De L'intégration Dans Un Réseau Intelligent.
- [82] Osti (2023, 20 Şubat). Réflecteurs boosters pour modules FV en suède. <https://www.Osti.Gov/Etdeweb/Biblio/20082584>
- [83] K. Zeb Vd. (2018). A Comprehensive Review On Inverter Topologies And Control Strategies For Grid Connected Photovoltaic System. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, C. 94, Ss. 1120-1141, Eki. 2018, Doi: 10.1016/J.RSER.2018.06.053.

- [84] Institute Of Electrical And Electronics Engineers Kolkata Section (2014, 18-20, Aralık) National Power Systems Conference 18-20 Dec. 2014, Guwahati, India. Ve NPSC 18-20 Dec. 2014, Guwahati, India. Eighteenth National Power Systems Conference (NPSC) 18-20 Dec. 2014, Guwahati, India.
- [85] K. Zeb Vd. (2018). A Comprehensive Review On Inverter Topologies And Control Strategies For Grid Connected Photovoltaic System. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, C. 94. Elsevier Ltd, Ss. 1120-1141, 01 Ekim 2018. Doi: 10.1016/J.Rser.2018.06.053.
- [86] M. Obi Ve R. Bass (2016). Trends And Challenges Of Grid-Connected Photovoltaic Systems - A Review. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, C. 58. Elsevier Ltd, Ss. 1082-1094, 01 Mayıs 2016. Doi: 10.1016/J.Rser.2015.12.289.
- [87] Ashrae (2023, 26 Mart). Conditions climatiques de conception ashrae. <http://Ashrae-Meteo.Info/V2.0/#>
- [88] Sunearthtools (2023, Mart Temmuz). Calcul de la position du soleil dans le ciel pour chaque localisation à importe quel moment. https://www.sunearthtools.com/Dp/Tools/Pos_Sun.php?Lang=Fr
- [89] M. D. Hraiz, J. A. M. García, R. Jiménez Castañeda, ve H. Muhsen (2020). Optimal FV Size and Location to Reduce Active Power Losses while Achieving Very High Penetration Level with Improvement in Voltage Profile Using Modified Jaya Algorithm *IEEE J Photovolt*, c. 10, sy 4, ss. 1166-1174, Tem. 2020, doi: 10.1109/JPHOTOV.2020.2995580.
- [90] S. O. T. S. And H. U. Keiichi Komoto (2018). Recycling Of FV Modules And Its Environmental Impacts.

EKLER

EK A. Sera gazı emisyonları

Tablo A.1. Son yıllarda ülkelere göre enerji üretiminden kaynaklanan karbondioksit üretiminin gelişimi [1].

Dünya durumu	milyon ton karbondioksit					Büyütme oranı		
	2017	2018	2019	2020	2021	2021	2020-2021	Paylaş
Toplam kuzey Amerika	6019.4	6174.5	6001.6	5295.6	5602.2	6.1%	-1.2%	16.5%
Toplam orta Amerika	1283.4	1246.0	1228.5	1094.6	1213.1	11.1%	-0.1%	3.6%
Toplam avrupa	4277.5	4244.4	4073.7	3608.3	3793.7	5.4%	-1.9%	11.2%
Toplam CIS	2016.2	2117.7	2103.9	1984.5	2132.5	7.7%	0.4%	6.3%
Toplam Orta Doğu	2078.5	2124.2	2121.1	2044.0	2117.2	3.9%	1.8%	6.2%
Toplam Afrika	1264.7	1276.4	1317.1	1222.6	1290.7	5.9%	1.6%	3.8%
Toplam Asya Pasifik	16486.7	16965.4	17249.9	16829.0	17734.6	5.7%	1.8%	52.3%
Toplam Dünya	33426.4	34148.5	34095.8	32078.5	33884.1	5.9%	0.6%	100.0%
OECD dahil	12346.5	12459.4	12083.5	10744.7	11292.5	5.4%	-1.3%	33.3%
OECD hariç	21079.9	21689.2	22012.3	21333.9	22591.5	6.2%	1.7%	66.7%
OECD hariç	21079.9	21689.2	22012.3	21333.9	22591.5	6.2%	1.7%	66.7%

Tablo A.2. Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi [1].

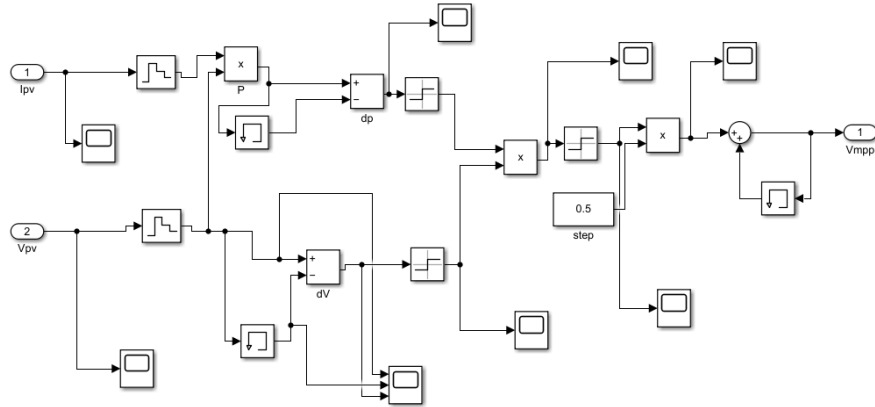
Dünya durumu	Terawatt saat					Yıllık büyüme oranı		
	2017	2018	2019	2020	2021	2021	2011-2021	Paylaşım 2021
Toplam kuzey Amerika	483.6	523.0	562.5	633.2	714.1	13.1%	11.9%	19.5%
Toplam orta Amerika	140.6	159.6	181.6	199.1	229.3	15.5%	15.7%	6.3%
Toplam avrupa	718.3	758.4	837.8	922.7	946.5	2.9%	9.6%	25.9%
Toplam CIS	2.1	2.5	3.8	6.8	9.6	41.6%	30.6%	0.3%
Toplam Orta Doğu	4.7	7.2	12.1	15.7	18.5	18.6%	39.4%	0.5%
Toplam Afrika	27.9	33.0	40.5	45.4	49.0	8.1%	21.7%	1.3%
Toplam Asya Pasifik	805.1	1005.5	1160.9	1323.7	1690.1	28.0%	21.8%	46.2%
Toplam Dünya	2182.3	2489.2	2799.2	3146.6	3657.2	16.5%	14.9%	100.0%
OECD dahil	1351.0	1453.5	1592.3	1766.1	1910.1	8.4%	11.0%	52.2%
OECD hariç	831.3	1035.7	1206.9	1380.5	1747.2	26.9%	22.2%	47.8%
Avrupa Birliği	580.9	597.5	655.9	710.6	730.2	3.0%	8.1%	20.0%

EK B. MATLAB model değişken parametreleri

Bir fotovoltaiik hücreyi matematiksel olarak simüle ederken, çeşitli parametrelerin ve değişkenlerin dikkate alınması gerekir. Simülasyonumuzda kullanılan parametreler aşağıdaki şekilde açıklanmıştır.

```
1 Npp=1; % number of PV panels in parallel
2 Nss=1; % number of PV panels in series
3 Rs=0.38572;
4 Rp=153.5644;
5 Ki=0.0024;
6 Kv=-0.08;
7 Tn=298.15;
8 Gn=1000;
9 Ipvn=3.8128;
10 Vocn=21.1;
11 Iscn=3.8;
12 Ns=36;
13 A=268.2578758;
14 k = 1.3806503e-23; %Boltzmann [J/K]
15 q = 1.60217646e-19; %Electron charge [C]
16 a = 0.97484;
```

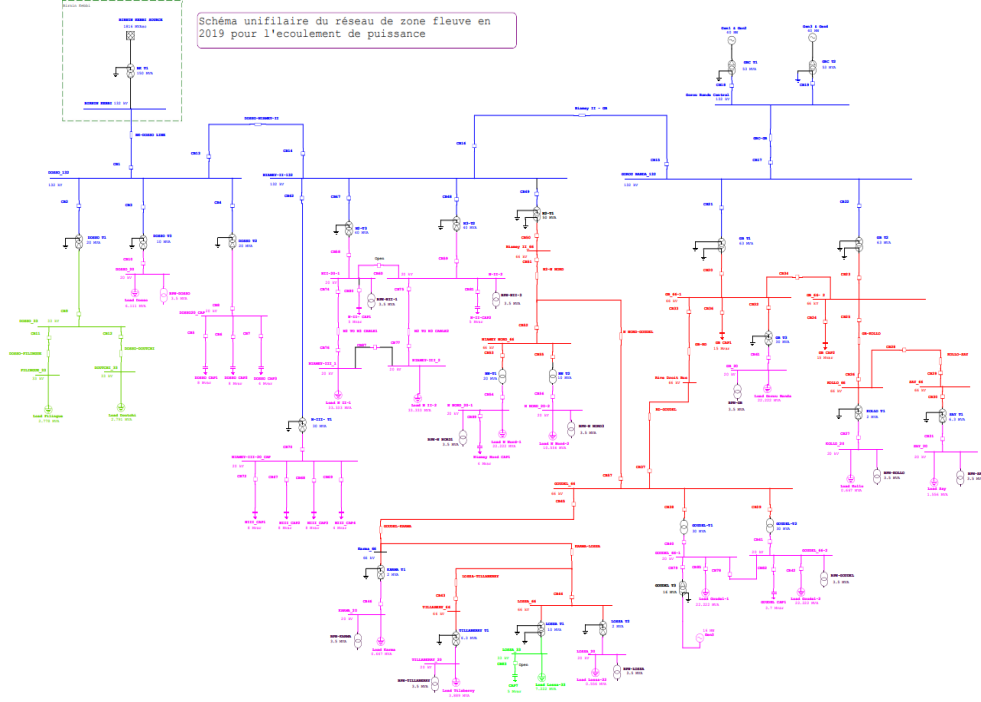
şekil B.1. MATLAB model değişken parametreleri.



şekil B.2. Maksimum güç noktası P&O kontrol algoritması.

EK C. FV Şebeke bağlantısı.

Aşağıdaki şekil Niamey şehri için dağıtım şebekesinin tek hat şemasını göstermektedir. Dağıtım şebekesi 3 dizel jeneratöre bağlı 30 baradan oluşmaktadır.



Şekil B.3. NIAMEY'nin şebeke tek hat şeması.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Issifa Hamidou TINNI

ÖĞRENİM DURUMU :

- **Lisans** : 2018 AUBE NOUVELLE Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstriyel Elektrik
- **Yükseklisans** : 2023, Sakarya Üniversitesi, Elektrik & Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Bilim Dalı

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- ISSIFA HAMIDOU TINNI, Türker Fedai ÇAVUŞ 2023, ANALYSIS OF NIGER'S RENEWABLE ENERGY POTENTIAL, *Brilliant Engineering*