



**ORTA YÜKSEKLİKTE DAĞLIK BÖLGELERDE KURULAN
FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN PERFORMANSINI
BELİRLEYEN PARAMETRELERİN ETKİ
ORANLARININ ARAŞTIRILMASI**

Volkan BAŞAY



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ORTA YÜKSEKLİKTE DAĞLIK BÖLGELERDE KURULAN
FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN PERFORMANSINI BELİRLEYEN
PARAMETRELERİN ETKİ ORANLARININ ARAŞTIRILMASI**

VOLKAN BAŞAY

Prof. Dr. Güneş YILMAZ

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA 2019

TEZ ONAYI

Volkan BAŞAY tarafından hazırlanan “Orta Yükseklikte Dağlık Bölgelerde Kurulan Fotovoltaik Sistemlerin Performansını Belirleyen Parametrelerin Etki Oranlarının Araştırılması” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Güneş YILMAZ

Başkan : Prof. Dr. Güneş YILMAZ

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Esin Karpat

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ömer Zor

Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü
16.07.19 (Tarih)

U. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

04/07/2019

İmza
Volkan BAŞAY

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ORTA YÜKSEKLİKTE DAĞLIK BÖLGELERDE KURULAN FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN PERFORMANSINI BELİRLEYEN PARAMETRELERİN ETKİ ORANLARININ ARAŞTIRILMASI

VOLKAN BAŞAY

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Güneş YILMAZ

Dünyanın artan nüfusu ve hızlı kalkınma isteği enerji ihtiyacının gün geçtikçe artmasına sebep olmuştur. Dünya yeni kaynak arayışına girmiştir. Bunun başlıca sebeplerinden birincisi artan enerji ihtiyacı ile enerjinin çoğunluğunun sağlandığı fosil enerji kaynaklarının hem azalmaya başlaması hem de fiyatlarının artması, ikincisi ise bu kaynakların ekolojik denge üzerinde ciddi tahribata ve çevre kirliliğine neden olmasıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi hem kaynağının sınırsız olması hem de çevre dostu olması yönünden ön plana çıkmıştır. Güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddeler güneş pilleridir. Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani güneş pillerinin üzerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Bu tez çalışmasında güneş pillerinin verimine etki eden parametreler araştırılmış olup farklı ortam koşullarında güneş pillerinin verimi hesaplanmıştır. Güneş pillerinin verimine etki eden parametreler; ışınım şiddeti, güneş pili sıcaklığı, havanın nem oranı, güneş pili azimut açısı ve güneş pilinin tozlanma miktarıdır. Ayrıca doğal koşullardan olumsuz etkilenen güneş pillerinden maksimum verimi sağlayabilmek için MPPT yöntemleri araştırılmış ve yöntemlerin hangi durumlarda birbirlerine göre daha iyi ya da daha kötü sonuçlarının olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, güneş enerjisi sisteminden maksimum verim elde etme yolları araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, güneş pili verimliliği, MPPT yöntemleri, MPPT tasarımı.

2019, xi + 60 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF THE IMPACT RATES OF PARAMETERS DETERMINING THE PERFORMANCE OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN MIDDLE-HEIGHT MOUNTAINOUS REGIONS

VOLKAN BAŞAY

Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electronics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Güneş YILMAZ

Energy needs have been increasing day by day, with the increasing population of the world and the demand for rapid development. The world has been searching for new resources. The first reason for this is that the fossil energy sources where most of the energy is supplied with increased energy needs and in the prices of fossil energy sources are increasing, and the second is that these sources cause serious damage and environmental pollution on the ecological balance. Renewable energy sources, solar energy source is both unlimited and environmentally friendly has come to the forefront. Solar cells are semiconductor materials that convert sunlight directly into electrical energy. Solar cells work based on photovoltaic principle, that is, when the light falls on the sun's cells electrical voltage occurs at the ends. In this study, the parameters affecting the efficiency of solar cells were investigated and the efficiency of solar cells were calculated in different ambient conditions. The parameters that affect the efficiency of solar cells; radiation intensity, solar cell temperature, air humidity, solar azimuth angle and the solar cell is the amount of pollination. In addition, MPPT methods have been investigated to achieve maximum efficiency from solar cells that are adversely affected by natural conditions and it has been determined in which case the methods have better or worse results than each other. As a result, ways to achieve maximum efficiency from the solar power system have been research.

Key words : Solar energy, solar battery efficiency, MPPT methods, MPPT design.

2019, xi + 60 pages

TEŐEKKÖR

Akademik alıőmam boyunca ilminden ve tecrübelerinden faydalandığım değerli hocam Prof. Dr. Güneş YILMAZ'a teőekkürlerimi bir bor bilirim ve bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan aileme ve dostlarıma teőekkürlerimi sunarım.

Volkan BAŞAY

04/07/2019



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Güneş Pillerinin Özellikleri	4
2.1.1. Güneş Pillerinin Çeşitleri	5
2.1.2. Güneş Pili Eşdeğer Şeması	7
2.1.3. Akım, Gerilim ve Güç Karakteristikleri	9
2.2. Güneş Pillerinin Verimliliğini ve Ömrünü Belirleyen Etkenler	11
2.2.1. Güneş Pillerinin Verimliliğini Belirleyen Etkenler	11
2.2.2. Güneş Enerjisi Santralının Ömrünü Belirleyen Etkenler	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM	23
3.1. Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT) Teknikleri	23
3.1.1. Değiştir ve Gözle (P&O) Yöntemi	24
3.1.2. Artımlı İletkenlik (IC) Yöntemi	26
3.1.3. Bulanık Mantık (FLC) Yöntemi	28
3.1.4. Akım Süpürme Yöntemi	31
3.1.5. Açık Devre Gerilimi (OCV) Yöntemi	33
3.1.6. Kısa Devre Akımı (SCC) Yöntemi	33
3.1.7. Beta (β) Yöntemi	34
3.1.8. Yapay Sinir Ağı (ANN) Yöntemi	36
3.2. MPPT Tasarımı	39
3.2.1. MPPT'nin Tasarım Adımları	39
3.2.2. Kontrolör Topolojisi	41
3.3. MPPT Yöntemlerinin Avantajları ve Dezavantajları	42
3.3.1. Değiştir ve Gözle ile Artımlı İletkenlik Yöntemleri	42
3.3.2. Bulanık Mantık Yöntemi	42
3.3.3. Akım Süpürme Yöntemi	42

3.3.4. Açık Devre Gerilimi (OCV) Yöntemi	43
3.3.5. Kısa Devre Akımı (SCC) Yöntemi	43
3.3.6. Beta (β) Yöntemi	43
3.3.7. Yapay Sinir Ağı (ANN) Yöntemi	44
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	45
4.1. Güneş Pillerinin Verimine Etki Eden Parametreler	45
4.1.1. Güneş Işıma Şiddetinin Verime Etkisi	45
4.1.2. Sıcaklığın Verime Etkisi	46
4.1.3. Rüzgâr, Nem, Tozlanma ve Yağış Etkisi	48
4.1.4. Sistem Kayıpları	50
4.1.5. Azimut Açısının Verime Etkisi	51
4.1.6. MPPT Yöntemlerinin Karşılaştırılması	52
5. SONUÇ	54
KAYNAKLAR	56
EKLER	58
EK 1	58
ÖZGEÇMİŞ	60

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
V_{OC}	Açık Devre Gerilimi
k_v	Açık Devre Gerilimi Yönteminin Orantı Sabiti
w_i	Ağırlık Sabiti
w_{ij}	Ağırlık Sabiti
I	Akım
A,b	Arıza Modu Sabiti
L	Azınlık Taşıyıcı Difüzyon Uzunluğu
rh	Bağıl Nem
E_g	Bant Aralığı
β_a	Beta Yönteminin Aralık Değeri
β	Beta Yönteminin Beta Parametresi
β_{mak}	Beta Yönteminin Çalışma Koşulları Maksimum Aralığı
β_{min}	Beta Yönteminin Çalışma Koşulları Minimum Aralığı
β_g	Beta Yönteminin Ortalama Aralık Değeri
k	Boltzmann Sabiti
R_D	Bozulma Oranı
P_{act}	Çalışma Koşullarında Elde Edilen Güç
$V_{Çıkış}$	Çıkış Gerilimi
P_m	Çıkış Gücüne Sıcaklık Etkisi
I_d	Diyot Akımı
C	Diyot Sabiti
FF	Doldurma Faktörü
Q	Elektrik Yükü
Φ	Enlem
C_p	Entegrasyon Sabiti
X_{old}	Eski Adım Boyutu
I_{pv}	Fotovoltaik Akım
N_D	Fotovoltaik Doping
V_{pv}	Fotovoltaik Gerilim
P_{pv}	Fotovoltaik Güç
A	Fotovoltaik Yüzey Alanı
V	Gerilim
ϵ	Gerilim Düşümü
Ge	Germanyum
$V_{Giriş}$	Giriş Gerilimi
P	Güç
X	Güneş Işığı Yoğunluğu
E(k)	Hata İşlevi
e	Hata İşareti
l	Hat Uzunluğu
I_L	Işınımına Bağlı Akım Kaynağı Akımı
P_{in}	Işınımına Bağlı Pil Gücü

g	Işınlama Seviyesi
N	İçsel Taşıyıcı Konsantrasyonu
q	İletken Kesiti
I_{SC}	Kısa Devre Akımı
k_i	Kısa Devre Akımı Yönteminin Orantı Sabiti
I_{MPP}	Maksimum Çekilen Akım
V_{MPP}	Maksimum Çekilen Gerilim
P_{max}	Maksimum Çekilen Güç
E_v	Maksimum İletim Bandı Enerjisi
E_c	Minimum İletim Bandı Enerjisi
k_b	Ölçek Faktörü
χ	Öz İletkenlik
I_{ref}	Referans Akımı
V_{ref}	Referans Gerilimi
δ	Sapma
R_{Sh}	Seri Bağlı Direnç
N_S	Seri Bağlı Fotovoltaik Hücre Sayısı
T	Sıcaklık
Si	Silisyum
D	Silikon İçin Azınlık Taşıyıcısının Yaygınlığı
n_i	Silikon İçin İçsel Taşıyıcı Konsantrasyonu
Γ	Verim
X_{new}	Yeni Adım Boyutu
α	Yükseklik
$I(t)$	Zaman Bağlı Akım
$V(t)$	Zaman Bağlı Gerilim
$P(t)$	Zamana Bağlı Güç
$f(t)$	Zamana Bağlı Fonksiyon

Kısaltmalar	Açıklama
a-Si	Amorphous Silica (Amorf Silisyum)
ADC	Analog Digital Converter (Analog Sayısal Dönüştürücü)
IC	Incremental Conductance Method (Artımlı İletkenlik Yöntemi)
CIS	Copper Indium Diselenid (Bakır İndiyum Diselenid)
FLC	Fuzzy Logic Controller (Bulanık Mantık Denetleyicisi)
UVA	Ultraviyole A (Dalga Boyu Aralığı: 320 nm-400 nm)
UVB	Ultraviyole B (Dalga Boyu Aralığı: 280 nm-320 nm)
UVC	Ultraviyole C (Dalga Boyu Aralığı: 200 nm-280 nm)
PWM	Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
P&O	Perturb and Observe Method (Değiştir ve Gözle Yöntemi)
DC-DC	Direct Current - Direct Current (Doğru Akım- Doğru Akım)
İEİ	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EVA	Ethylene Vinyl Acetate (Etilen Vinil Asetat)
$R_{D,Eyring}$	Eyring Bozulma Modeli
PV	Photovoltaic (Fotovoltaik)
PVGIS	Photovoltaic Geographic Information System (Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi)
GES	Güneş Enerji Santrali
AM	Air Mass (Hava Kütle Katsayısı)
CdTe	Cadmium Telluride (Kadmiyum Tellür)
OCV	Open Circuit Voltage (Açık Devre Gerilimi)
SCC	Short-Circuit Current (Kısa Devre Akımı)
MPP	Maximum Power Point (Maksimum Güç Noktası)
MPPT	Maximum Power Point Tracking (Maksimum Güç Noktası Takibi)
NB	Negative Big (Negatif Büyük)
NS	Negative Small (Negatif Küçük)
PI	Proportional Integral Controller (Oransal Integral Denetleyici)
$R_{D,Peck}$	Peck Bozulma Modeli
PB	Positive Big (Pozitif Büyük)
PS	Positive Small (Pozitif Küçük)
HRA	Hour Angle (Saat Açısı)
STC	Standard Test Conditions (Standart Test Koşulları)
TCO	Transparent Conducting Oxide (Saydam oksit iletken)
ZE	Zero (Sıfır)
UV	Ultraviolet (Ultraviyole)
ANN	Artificial Neural Network (Yapay Sinir Ağı)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Panellerin paralel ve seri bağlanması ile fotovoltaik sistem oluşturma	4
Şekil 2.2.	Elektron ile boşluk çiftinin oluşumu	8
Şekil 2.3.	Güneş pili elektriksel eşdeğeri	9
Şekil 2.4.	Standart bir PV pilin I-V ile P-V karakteristikleri	10
Şekil 2.5.	Güneş pilinin farklı ışınım şiddetlerinde ürettiği I-V eğrileri	14
Şekil 2.6.	Sıcaklığın güneş pillerinin I-V seviyelerine etkisi	15
Şekil 2.7.	Azimut açısı	16
Şekil 2.8.	Fotovoltaik panel garanti süreleri	17
Şekil 2.9.	Kristal güneş pillerinin UV spektrum duyarlılığı	19
Şekil 2.10.	Sıcaklığın I-V seviyelerine etkisi	21
Şekil 2.11.	Sıcaklığın farklı yapıdaki panellerin ömrüne etkisi	22
Şekil 3.1.	MPPT kontrollü ve kontrolsüz elde edilen enerji	23
Şekil 3.2.	Değiştir ve gözle yönteminin akış şeması	25
Şekil 3.3.	MPP'nin P&O yöntemiyle hızlı güneş ışınlanması değişiklikleri altında sapması	26
Şekil 3.4.	Artımlı iletkenlik yönteminin akış şeması	28
Şekil 3.5.	FLC üyelik işlevleri örneği	29
Şekil 3.6.	Bulanık mantık denetleyicisi	30
Şekil 3.7.	Bulanık mantık yönteminin akış şeması	30
Şekil 3.8.	Akım süpürme yönteminin akış şeması	32
Şekil 3.9.	Beta yönteminin akış şeması	35
Şekil 3.10.	Elektrik nöron akış şeması	37
Şekil 3.11.	Sinir ağı akış şeması	37
Şekil 3.12.	MPPT akış şeması	39
Şekil 3.13.	Boost dönüştürücü devresi	40
Şekil 4.1.	Orta yükseklikte dağlık bölgenin aylık ışınım şiddeti ile güneşlenme süresi	45
Şekil 4.2.	Aynı konumda bulunan farklı rakımlardaki bölgelerin aylık sıcaklık ortalaması	47
Şekil 4.3.	Nem ve sıcaklığın çıkış gücüne etkisi	49
Şekil 4.4.	Aynı konumda bulunan farklı rakımlardaki bölgelerin aylık ortalama nem konsantrasyonu miktarı	49

- Şekil 4.5. Orta yükseklikte dağlık bölgenin aylık optimum panel eğim açıları 51
- Şekil 4.6. MPPT kullanılmayan sistem ile MPPT yöntemleri kullanılarak yapılan sistemlerin karşılaştırılması 53



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Bulanık mantık denetimi kural çizelgesi	29
Çizelge 3.2. g ve T için β değerleri	36
Çizelge 4.1. MPPT yöntemlerinin karşılaştırılması	52



1. GİRİŞ

Dünyada insanoğlunun yaşamını sürdürebilmesi için gerekli olan en önemli etkenlerden biri enerjidir. Artan nüfus ile hızlı kalkınma isteği sonucu enerji ihtiyacının gün geçtikçe artmasına neden olmuştur. Enerji üretimi ve tüketimi, milletlerin refah seviyesini gösteren bir ölçüt haline gelmiştir. Ülkelerin ekonomilerinin büyümesi, yaşam kalitesinin artması, rekabet gücünün yükselmesi ve bunların tamamını sürdürebilir kılması, teknolojik gelişmişlik düzeyleri ile doğrudan ilişkilidir. Teknolojinin gelişmiş ve sürdürülebilir olması için enerjiye ihtiyaç vardır. Fakat artan teknolojik gelişmelerle ve büyüyen ekonomilerle enerji ihtiyacının karşılanması günümüz dünyasında önemli bir sorun oluşturmaktadır.

Yapılan çalışmalarda dünyadaki enerji tüketiminin yılda yaklaşık %1,5 artış gösterdiği ve 2030 yılında enerji tüketiminin günümüze oranla %19,5 artacağı öngörülmektedir. Günümüzde ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin büyük bir kısmı fosil kaynaklardan karşılanmaktadır. Bu nedenle dünya yeni kaynak arayışına girmiştir. Bunun başlıca sebeplerinden birincisi artan enerji ihtiyacı ile enerjinin çoğunluğunun sağlandığı fosil enerji kaynaklarının hem azalması hem de fiyatlarının artması, ikincisi ise bu kaynakların ekolojik denge üzerinde ciddi tahribata ve çevre kirliliğine neden olmasıdır. Son yıllarda küresel ısınmanın hat safhalara ulaşması ve iklim değişikliğinin doğal afetlere zemin hazırlaması çevre tahribatının en somut örneklerindedir.

Enerji üretimi açısından ülkemiz yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden ihtiyaç duyulan enerjinin bir kısmı ithal edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının sağlanması enerji üretimine yardımcı olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sınırsız olması ve çevreye zarar vermemesi önemli olmakla birlikte ekonomik gelişim için dışa bağımlılığın azalmasını da sağlamaktadır (Saner 2015).

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan hidrojen gazının helyuma dönüşmesi ile açığa çıkan radyoaktif ışınım enerjisidir. Atmosferin dışında güneş enerjisinin şiddeti, yaklaşık olarak 1370 W/m^2 civarında olup atmosferin etkisinden dolayı yeryüzüne $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerlerde ulaşmaktadır. Bu enerjinin dünyaya gelen ufak bir kısmı bile, insanlığın mevcut enerji tüketiminden daha fazladır (Çalışkan 2011).

Dünyanın kendi eksenini etrafındaki hareketinden ve atmosferik olaylardan güneş enerjisinin sürdürülebilirliği kesintiye uğramasına rağmen, enerji üretiminde güneş enerjisinin payı her geçen gün artış göstermektedir. Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren aygıtlar fotovoltaik panel (güneş pili) olarak adlandırılır. Bu fotovoltaik (PV) panelleri kullanarak kurulan sistemlerin avantajları ve dezavantajları aşağıda sıralanmıştır (Baş 2016).

Avantajları

- Enerji ihtiyacını güneşten sağladıkları için yakıt maliyeti yoktur.
- Kaynağı sınırsızdır ve sistem uzun ömürlüdür.
- Sadece genel bakım ve kontrole ihtiyaç olduğu için işletme maliyeti düşüktür.
- Çevre dostu olduğundan çevreyi kirletmez.
- Elektrik şebekesinin olmadığı yerlerde elektrikten yararlanabilmeyi sağlamaktadır.
- Enerji üretildiği yerlerde kullanılacağından dağıtım maliyeti olmayacaktır.

Dezavantajları

- Kurulum için yatırım maliyetleri yüksektir.
- Yaz aylarına göre kış aylarındaki enerji üretimi oldukça düşüktür.
- Hava karardığında enerji üretilmemektedir.

Yaygınlaşan fotovoltaik sistemlerde yatırım maliyetinin geri kazanımı için kurulan sistemden maksimum verim sağlanması büyük önem kazanmıştır. Fotovoltaik sistemlerin verimliliği sadece sistemin kurulumuyla ilgili değildir. Fotovoltaik sistemin verimini belirleyebilmek için ortam koşullarını hesaba katmak gereklidir. Bir fotovoltaik sistemin verimi deniz seviyesindeki bölgelerde, dağlık bölgelerde veya yayla bölgelerinde farklılık göstermektedir. Verimlilik gibi sistemin ömrü de ortam koşullarından etkilenmektedir. Fotovoltaik sistemin verimliliğinin maksimuma ulaşmasını sağlamak için araştırmalar yapılmaktadır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Madde, yörüngelerinde elektronları bulduran ve pozitif yüklü çekirdeğe sahip yapıdır. Elektronlar, buldukları yörüngelerin yarıçaplarıyla orantılı olarak potansiyel enerji ve kinetik enerji taşırlar. Yörüngelerinin birincisinde 2, ikincide 8 ve üçüncüde 18 elektron buldurabilirler. Elektronların bulunduğu bölgeye enerji bandı adı verilir. Dışarıdan enerji alan bir elektron bir üst seviyedeki banda çıkabilir. Enerjisi daha az olan banda geçen elektron da dışarıya enerji yayar. Maddenin son yörüngesinde bulunan elektronlarına valans elektronları denir ve cisimlerin kimyasal bileşikler yapmalarına yardımcı olurlar. Son yörüngesi dolmamış bir atomun, bir başka maddeye ait komşu atomdan elektron kapmaya eğilimi vardır. Maddenin iç yörüngelerinde bulunan elektronlar ise çekirdeğe çok sıkı bağlıdırlar.

Elektronlar, yörüngelerini korudukları müddetçe ne enerji yayarlar ne de enerjiyi absorbe eder. Bir elektron, uyarımla, atomu terk edecek enerji kazanıp ayrılabilir ve pozitif iyon şekline geçebilir.

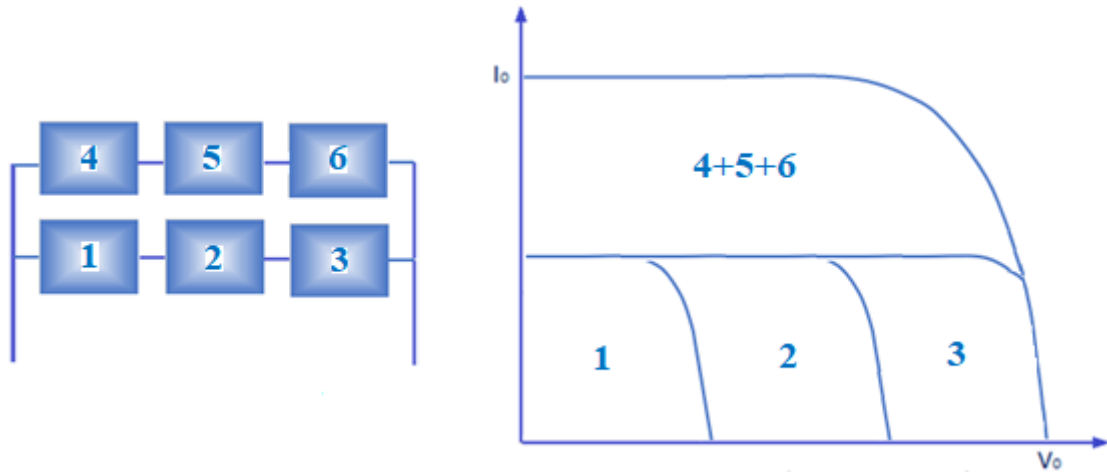
Atomlar, birbirlerine çok yakındırlar ve elektronlar, birbirine yakın enerjileri temsil eden enerji bantları üzerinde bulunurlar. En yüksek enerjiye sahip iki enerji bandı değerlik bandı ile iletim bandıdır. Bu bantlar, katı elektronların sahip olamayacağı enerjileri belirleyen bir bölge ile ayrılır. Bu bölgeye bant aralığı (E_g) ya da yasak boşluk denir. Bu bölgenin enerjisi, maksimum değerlik bandı enerjisi (E_v) ve minimum iletim bandı enerjisi (E_c) farkıdır (Karamanav 2007).

Bütün materyaller; elektrik enerjisine gösterdikleri tepkiye bağlı olarak başlıca 3 gruba ayrılırlar. Bu gruplar; iletken, yalıtkan ve yarıiletken olarak tanımlanır. Maddelerin iletken, yalıtkan veya yarıiletken olarak sınıflandırılmasında enerji bantları oldukça etkindir. Enerji bandı bir yalıtıkanda çok geniştir ve çok az sayıda serbest elektron içerir. Dolayısıyla serbest elektronlar, iletkenlik bandına atlayamazlar. Bir iletkende ise; valans bandı ile iletkenlik bandı adeta birbirine girmiştir. Dolayısıyla harici bir enerji uygulanmaksızın valans elektronların çoğu iletkenlik bandına atlayabilir. Yarıiletken bir maddenin enerji aralığı; yalıtıkana göre daha dar, iletkenine göre daha geniştir.

Yarıiletken atomlardan en çok kullanılanları silisyum (Si) ile germanyum (Ge) atomlarıdır. 300 K'de Si için yasak boşluk $E_{g(Si)}=1,12$ eV ve Ge için yasak boşluk $E_{g(Ge)}=0,6$ eV'dir.

2.1 Güneş Pillerinin Özellikleri

Güneş pilleri yarıiletken maddelerden oluşmaktadır. Çalışma prensibi, yüzeylerine gelen güneş ışınımını doğrudan elektrik enerjisine çevirebilmeleridir. Genel olarak güneş pillerinin şekilleri kare, dikdörtgen ve daire biçiminde olup kalınlıkları ise 0,2 ile 0,4 mm arasındadır. Fotovoltaik ilkeye göre çalışmaktadır. Güneş ışınımını alarak elektrik gerilimi meydana getirirler. İdeal şartlar altında ışınım şiddetleri 1000 W/m^2 civarındadır. Bölgeye bağlı olarak her 1m^2 'ye düşen güneş enerjisi miktarı yılda 800 kWh ile 2600 kWh arasında değişmektedir. Bu enerji, güneş pilinin üretim tekniği ile üretim malzemesine bağlı olarak %5 ile %60 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir. Şekil 2.1'den de görüleceği üzere güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir. (Karamanav 2007).



Şekil 2.1. Panellerin paralel ve seri bağlanması ile fotovoltaik sistem oluşturma

Güneş pilleri seri bağlanarak her bir güneş pilinin ürettiği akımlar birleştirilir ve istenilen akım seviyesine ulaşılır. Güneş pilleri paralel bağladıklarında ise güneş pillerin gerilimleri birleştirilir ve istenilen gerilim seviyesi elde edilir.

2.1.1 Güneş Pili Çeşitleri

Teknolojik gelişmeler ile güneş pili üretimi için farklı yapılarda malzemeler ve farklı üretim teknikleri geliştirilmiştir. Buna göre en çok kullanılanlar aşağıda verilmiştir.

Fotovoltaik pillerin en çok kullanılanları;

- Monokristal Silikon (Tekli Kristal Silikon)
- Polikristal Silikon (Çoklu Kristal Silikon)
- Thin Film (İnce Film)

Monokristal silisyum güneş pilleri: Chrozalski kristal çekme tekniği ilk ticari güneş pillerinin üretim tekniğidir. Bu teknikte tek kristal yapılu silisyum kullanılmaktadır. Fotovoltaik üretiminde en çok kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Bu yöntemde saf silisyumu elde etmek için silisyum oksit çeşitli kimyasal ve termal reaksiyonlardan geçirilerek ark fırınlarında üretilir. Üretilen tek kristal yapılu bir silisyum parçası sıvı haldeki silisyumun içine batırılır. Daha sonra soğutularak parçalara bölünür ve işlenerek istenilen güneş pili elde edilir. Monokristal silisyum güneş pilleri genellikle 100x100 mm, 125x125 mm veya 156x156 mm boyutlarda ve 36, 54, 60 ya da 72 seri hücre birleştirilerek üretilirler. Laboratuvar ortamında %20'lik bir verime sahiptirler fakat doğal koşullar altında verimleri genellikle %15-18 arasındadır. Hem verimleri %1 ile %3 arasında daha fazladır hem de ömürleri diğer güneş panellerine göre daha uzundur. Saf kristalden üretildikleri için pahalıdır. Sistem maliyetini geri ödeme süresi 4 ile 6 yıl arasındadır. Monokristal güneş panellerinin renkleri diğer güneş panellerine oranla daha koyu ve lacivert tonlardadır (Karamanav 2007).

Polikristal silisyum güneş pilleri: Çok kristalli malzemelerin yapısal, elektriksel ve optiksel özellikleri özdeştir. Yapıları damarlı olup damarların büyüklükleri kristalin kalitesi ile doğru orantılıdır. Önce büyütülüp daha sonra 200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlenen tek kristal silisyum bloklardan üretilen güneş pillerdir. Çok kristalli silisyum malzemelerin üretim teknolojileri tek kristalli malzemelere göre daha az enerji gerektirir ve üretimi daha basittir. Çok kristalli silisyumun güneş pillerinin maliyeti

oldukça düşüktür. Bunun başlıca sebebi polikristal üretiminde saf kristallerin kullanılmamasıdır (Demir 2002).

Çok kristalli silisyum malzemenin üretiminde genellikle “dökme” yöntemi kullanılır. Çok kristalli silisyum malzemenin hazırlanış biçimi tek kristalli malzemedeki gibi yapılır. Eriyik haldeki yarıiletken silisyum, kalıplara dökülerek soğutulmaya bırakılır. Elde edilen bloklar genellikle kare şeklinde dilimlenir. Bu teknoloji ile üretilen malzemelerin maliyeti oldukça düşüktür ama verimlilikleri de daha azdır.

Verimleri %12 ile %15 arasında değişmektedir, şu an ki teknolojiye laboratuvar ortamında verimi %16,2 seviyesine ulaşmıştır. Yatırım maliyetini geri ödeme süresi 2 ile 4,5 yıl arasında değişir. Polikristal güneş pillerinde 20 yıllık bir sürede yaklaşık %14 verim kaybı meydana gelir.

İnce film güneş pilleri: İnce filmin güneş pilleri çok ince imal edildiklerinden dolayı hem ışığı geçiren kaplama malzemesi olarak hem de enerji üreten ürün olarak kullanılmaktadır. İnce film hücrelerin üretim şekli ihtiyaca göre yapılır ve daha sonra yarıiletken malzemeyle kaplanır. Toplu üretime uygundur. İstenildiğinde farklı dalga boylarındaki ışıktan elektrik üretebilecek biçimde katmanlar şeklinde üretilebilir. İnce filmler güneş pilleri kristal silisyum güneş pillerinden %10 ile %15 daha fazla enerji üretmektedir. Ayrıca yeni teknolojiye 0,5µm kalınlığında üretilmektedirler. İnce film güneş pilleri aşağıdaki üç yöntem ile üretilir;

- Püskürtmeli yöntem
- Buharlı çöküntü yöntemi
- Katot tonlanması yöntemi

Üretim yöntemlerinden en çok kullanılan püskürtmeli yöntemdir. Bu yöntemde ilk olarak önde bulunan alt malzemenin üzerine saydam oksit iletken (TCO) püskürtülür. Bu malzemenin şeritler şeklinde lazer ile kesimi yapılır. Daha sonra üzerine güneş hücresi püskürtülmesi yapılır. Tortu haline gelen güneş hücresi katmanları altta bulunan iletken

okside paralel olacak biçimde yeniden kesilir. Son yapılan işlem ise en alttaki bölüme metal iletken püskürtülmesidir, bu şekilde birbirine seri bağlı hücre grupları üretilir.

İnce film güneş pillerinin üretiminde kullanılan malzemeler;

- Amorf Silisyum (a-Si)
- Bakır İndiyum Galyum Selenit (CIS)
- Kadmiyum Tellür (CdTe)
- Elektroliz Banyosu

Teorik olarak hesaplandığında 1 µm kalınlığındaki ince filmin ışığın enerjiye dönüşmesi için yeterli olduğu kabul edilirken pratik olarak 5µm kalınlığında üretilir ve satılır. Monokristal ve polikristal hücrelerin yüzeyleri kirliliğe karşı hassas olmasına karşın ince film hücrelerin kirlilik toleransı çok daha yüksektir (Ardağ 2012).

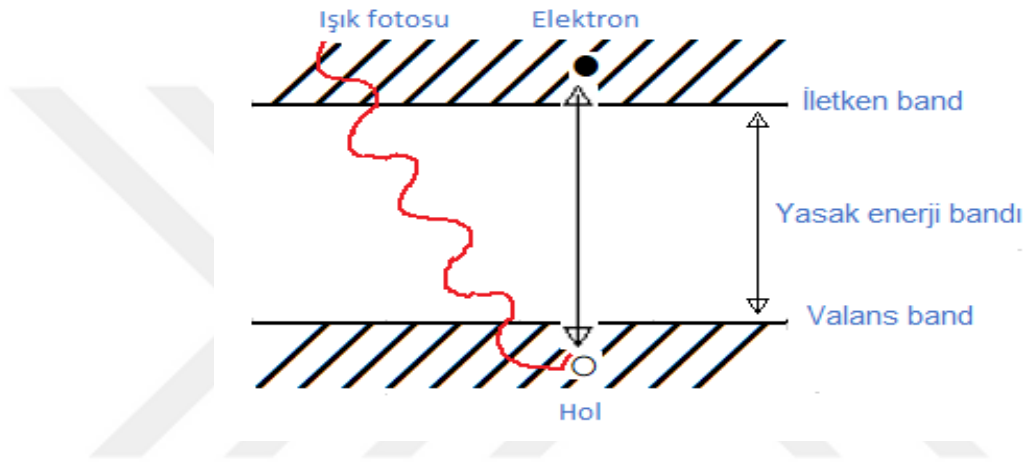
İnce film hücrelerin verimlilikleri kristal silisyum hücrelere göre düşüktür, lakin ışınımın az olduğu veya yüksek sıcaklığın olduğu koşullardaki performansı kristal silisyum hücrelerinkinden daha iyidir. Ayrıca bulutlu havalarda da enerji üretimine devam edebilirler. Hücre şekillerinden dolayı gölgelenmeden daha az etkilenirler. Kristal silisyum güneş pilleriyle kıyaslandığında, daha az enerji ve hammaddeyle üretilmektedir (Gemicioğlu 2011).

İnce film güneş pillerinden yapılan elektronik hesap makineleri flüoresan lâmba ışığında bile enerji üretebilmektedirler. İnce film silisyum güneş pilleri ışığın mor renklerine daha hassastır. Tabanında cam veya şeffaf plastik kullanıldığında mor ışıkları süzer, kırmızı ışıkları iletir (Ardağ 2012).

2.1.2. Güneş Pili Eşdeğer Şeması

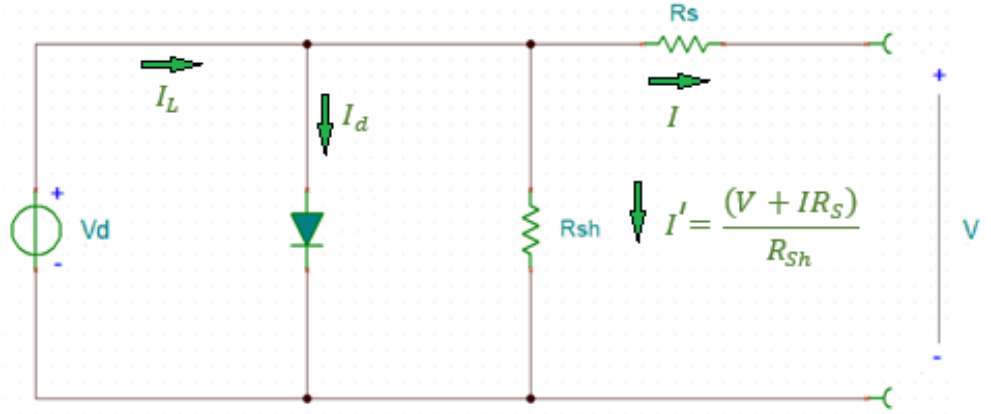
Güneş pillerinde güneş ışınımından elektrik akımının oluşması iki kısımdan meydana gelir. P ve N tipi yarıiletkenler yasak enerji bandı ile birbirlerinden ayrılırlar. P tipi ve N tipi yarıiletken malzemelerin arasına güneş ışınımı düşmesi sonucunda yarıiletken malzemelerin üzerinde Şekil 2.2'de gösterildiği gibi elektronlar ve boşluklar (hol)

birbirinden ayrılmaktadır. Oluşan elektronların enerjisi yasak enerji bandının enerjisinden daha yüksektir ve elektronlar atlayarak iletkenlik bandına geçer. Bu atlama ile N tipi yarıiletken bölgede bir adet fazla elektron, P tipi yarıiletken bölgede ise bir adet fazla boşluk meydana gelir. Oluşan elektrik alan sayesinde elektron ve boşluklar birbirinden tamamen ayrılır. Fotovoltaik olay ile ayrılan elektronlar N tipi yarıiletken bölgede, ayrılan boşluklar ise P tipi yarıiletken bölgede toplanır. Yarıiletken malzemelerin iç yüzeylerinde ise bu olay, elektrik alan olmadığı için birbirinden ayrılan elektron ve boşluk çiftleri tekrar birleşirler (Twidell ve Weir 2006).



Şekil 2.2. Elektron ile boşluk çiftinin oluşumu

Güneş pilinin öngerilimlenmesi sayesinde N tipi yarıiletkendeki elektronlar ile P tipi yarıiletkendeki boşluklar arasında etkileşim başlar, böylece elektronlar güneş pili elektrik devresi sayesinde boşluklara doğru hareket ederek elektrik akımını oluşturur. Güneş pili elektriksel eşdeğer devresi ışınımına bağlı bir akım kaynağı, bu akım kaynağına paralel bağlı diyot ile direnç ve tüm bunlara seri bağlı direnç ile Şekil 2.3'te modellenmiştir (Twidell ve Weir 2006).



Şekil 2.3. Güneş pili eşdeğer devresi

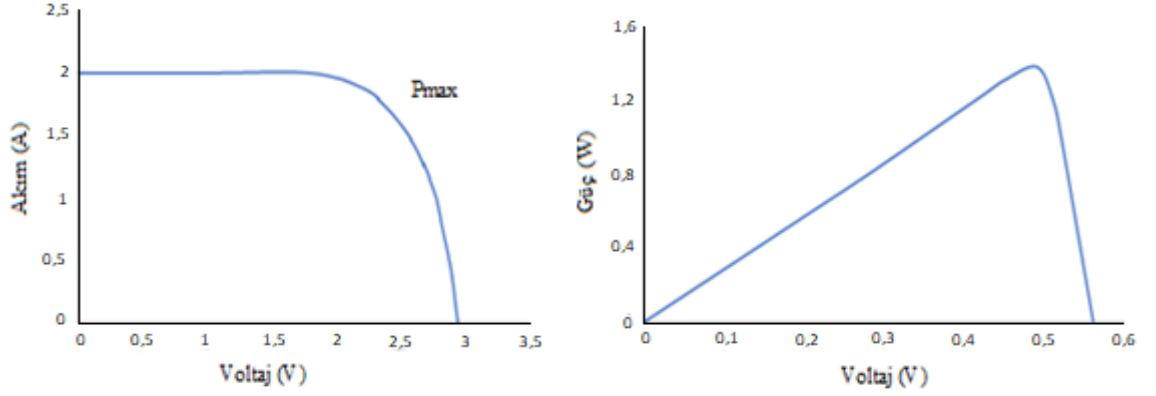
Güneş pili eşdeğer devre çözüldüğünde denklem 2.1 elde edilmektedir.

$$I = I_L - I_d - \frac{(V + IR_S)}{R_{Sh}} \quad (2.1)$$

Yukarıdaki denklemde ‘V’ yük gerilimini, ‘I’ yük akımını, ‘ I_L ’ ışınımına bağlı akım kaynağı akımını, ‘ I_d ’ diyotun akımını, ‘ R_S ’ seri bağlı direnci ve ‘ R_{Sh} ’ paralel bağlı direnci ifade etmektedir. Bu denklem ile güneş pilinden elde edilen akım (I) değeri hesaplanabilmektedir (Twidell ve Weir 2006).

2.1.3. Akım, Gerilim ve Güç Karakteristikleri

Fotovoltaik panellerin testleri üreten firmalar tarafından 25°C ortam sıcaklığında 1000W/m² ışınım şiddeti altında gerçekleştirilmektedir. Testlerde açık devre gerilimi (V_{OC}), kısa devre akımı (I_{SC}), maksimum güç noktası (MPP) akımı (I_{MPP}) ve MPP gerilimi (V_{MPP}) ölçülerek panellerin dokümanları oluşturulmaktadır. Bu koşullar altında normal bir güneş pilinin açık devre gerilimi yaklaşık 0,6 V kısa devre akımı ise yaklaşık 2.75 A civarındadır. Şekil 2.4’te fotovoltaik panele ait I-V ve P-V karakteristikleri gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Standart bir PV pilin I-V ile P-V karakteristikleri (Çalışkan 2011)

Fotovoltaik paneller Şekil 2.4'ten görüleceği üzere maksimum güç noktasına kadar sabit akım kaynağı gibi davranır, maksimum güç noktasından sonra ise gerilim kaynağı gibi davranmaktadırlar (Çalışkan 2011).

Kısa devre akımı, güneş hücresindeki gerilim sıfır olduğunda (yani, güneş hücresi kısa devre olduğunda) güneş hücresindeki akımdır. Genellikle I_{SC} olarak yazılır. İdeal bir güneş pilinin kısa devre akımı ve ışık kaynaklı akımı aynıdır. Bu nedenle, kısa devre akımı güneş pilinden alınabilecek en büyük akımdır. Açık devre gerilimi, V_{OC} , bir güneş pilinden elde edilebilecek maksimum gerilimdir ve bu, sıfır akımda meydana gelir.

Denklem 2.2, güneş hücresi denklemindeki akım değeri sıfıra eşitlenerek bulunur:

$$V_{OC} = \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{I_L}{I_0} + 1\right) \quad (2.2)$$

Kısa devre akımı ve açık devre gerilimi, bir güneş pilindeki maksimum akım ve gerilimdir. Bununla birlikte, bu çalışma noktalarının ikisinde de güneş pilinden gelen güç sıfırdır. "FF" kısaltması ile daha yaygın olarak bilinen "doldurma faktörü", V_{OC} ve I_{SC} ile birlikte, bir güneş pilinde maksimum gücü belirleyen bir parametredir. FF, güneş pilinden V_{OC} ve I_{SC} ürününe maksimum gücün oranı olarak tanımlanır ve denklem 2.3 ile hesaplanır (Anonim 2019).

$$FF = \frac{V_{MP}I_{MP}}{V_{OC}I_{SC}} \quad (2.3)$$

2.2.1. Güneş Pillerinin Verimliliğini Belirleyen Etkenler

Dünyada güneş, rüzgâr, jeotermal gibi çevre dostu yenilenebilir kaynaklar tercih edilmeye başlanmıştır. Tercih edilen yenilenebilir enerji kaynaklarından maksimum verimi elde etmek ayrıca önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi, dünyadaki enerji talebini karşılayabilecek oranda sınırsıza yakın olması ve çevre kirliliğine sebep olmaması vb. avantajlarından dolayı ön plana çıkmıştır. Bu bölümde güneş pillerinin verimliliğini belirleyen etkenlerden bahsedilecektir (Karimov ve ark. 2005).

Verimlilik, güneş pillerinin performanslarını kıyaslamak için kullanılan en yaygın parametredir. Verimlilik, güneş pilinin ürettiği enerjinin güneşten gelen ışınım enerjisine oranı olarak tanımlanır. Güneş pilinin verimliliği güneş ışınım yoğunluğuna, güneş pilinin sıcaklığına ve güneş ışınımının gelme açısına bağlıdır. Bu sebeple, bir cihazın performansını belirlerken ortam koşulları dikkate alınmalıdır. Yeryüzünde kullanılan güneş pilleri, 1,5 hava kütle katsayısı (AM) ve 25°C sıcaklıkta ölçülür. Uzayda kullanılmak için tasarlanan güneş pilleri ise 0 AM koşulları altında ölçülür.

Bir güneş pilinin elektriğe dönüştürülen güneş ışınımı denklem 2.4 ile verimliliği de denklem 2.5 ile tanımlanır:

$$P_{max} = V_{OC} I_{SC} FF \quad (2.4)$$

□

$$\eta = \frac{V_{OC} I_{SC} FF}{P_{in}} \quad (2.5)$$

Burada:

V_{OC} açık devre gerilimi,

I_{SC} kısa devre akımı,

FF doldurma faktörü,

η verimliliktir (Anonim 2019).

İdeal koşullar altında bir güneş panelinin verim oranı hücre verimi ile panel camı veriminin toplamına eşittir. Bir güneş panelinin etiketinde yazan değerler her zaman standart test koşullarında (STC) ölçülmüş değerlerdir. Standart test koşulları; 1000W/ m² ışınım miktarı, hava kütle katsayısının (AM) 1,5 olduğu ve sıcaklığın 25 °C olduğu koşullardır. Güneş panelinin kurulacağı yerdeki değerleri STC değerlerinden daha iyi ya da daha kötü ise panelin güç çıkışının etikette belirtilen değerden eksik ya da fazla çıkması oldukça normaldir. Etiket değerleri arasında panelin kısa devre akımı da belirtilmektedir. Bunun sebebi güneş panelinden elde edilecek en büyük akım seviyesinin kısa devre akımı olmasıdır. Bir güneş panelinin verimliliğini hesaplamanın en basit yolu panelin çıkışına ampermetre bağlayarak çıkış akımını ölçmek ve ölçülen akım değerini ideal koşullar altında panelin üreteceği akıma oranlamaktır (Ardağ 2012).

Güneş pillerinin ömrüne en çok etki eden parametreler;

- Güneş ışınım şiddeti etkisi
- Sıcaklık etkisi
- Güneş pilinin azimut açısı

Bir güneş pilinde meydana gelen ışık yoğunluğunun değiştirilmesi, kısa devre akımı, açık devre gerilimi, FF, seri ve şönt dirençlerinin etkinliği ve etkisi gibi tüm güneş hücresi parametrelerini değiştirir. Güneş koşulunda (1,5 AM) çalışacak şekilde tasarlanan bir PV paneline "düz plaka" paneli, konsantre güneş ışığını kullananlara ise yoğunlaştırıcılar (konsantratör) denir.

Bir yoğunlaştırıcı 1 günden büyük aydınlatma altında çalışacak şekilde tasarlanmış bir güneş hücresidir. Olay güneş ışığı, yüksek yoğunluklu bir ışık ışınının küçük bir güneş hücresinde parlayacağı şekilde optik elemanlar tarafından odaklanır veya yönlendirilir. Yoğunlaştırıcılar, bir güneş pilinden daha yüksek bir verimlilik potansiyeli ve daha düşük maliyet olasılığı dahil olmak üzere çeşitli potansiyel avantajlara sahiptir. Bir güneş pilinden gelen kısa devre akımı, ışık yoğunluğuna doğrusal olarak bağlıdır; öyle ki, 10 güneş altında çalışan bir cihaz, bir güneş operasyonu altında aynı aygıtla 10 kez kısa devre akımına sahip olacaktır. Bununla birlikte, bu etki verimlilik artışı sağlamaz çünkü olay gücü, yoğunlaştırıcı ile birlikte doğrusal olarak da artar. Bunun

yerine, verimlilik avantajları, açık devre geriliminin kısa devre üzerindeki logaritmik bağımlılığından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle V_{OC} , denklem 2.6'da gösterildiği gibi, ışık yoğunluğuyla logaritmik olarak artar;

$$V_{OC} = \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{XI_{SC}}{I_0}\right) = \frac{nkT}{q} \left[\ln\left(\frac{I_{SC}}{I_0}\right) + \ln X \right] \quad (2.6)$$

Burada:

T sıcaklık,

I_{SC} kısa devre akımı,

I_0 güneş pili akımı,

X güneş ışığının yoğunluğu,

q elektrik yükü,

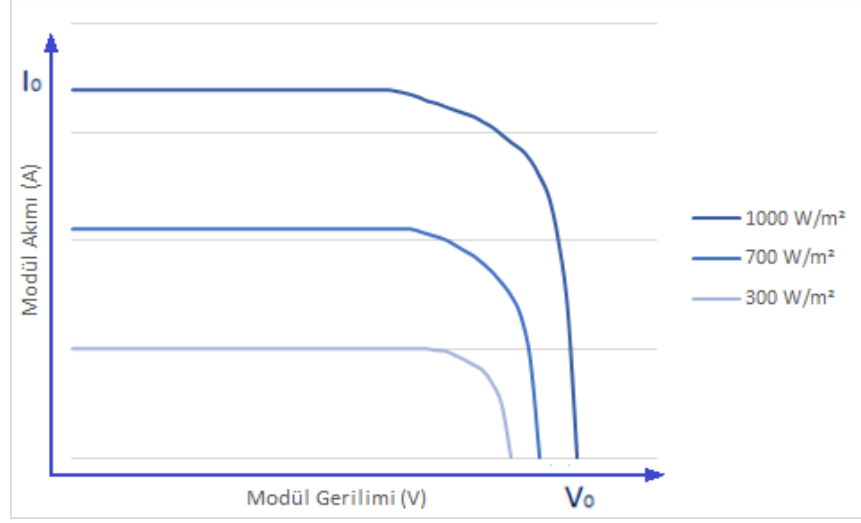
k boltzmann sabitidir.

Yukarıdaki denklemden ışık yoğunluğunun iki katına ($X=2$) V_{OC} 'de 18 mV yükselmesine neden olur.

Konsantre bir PV sisteminin maliyeti, sadece küçük bir güneş hücresi alanına ihtiyaç duyulduğundan, karşılık gelen düz plaka PV sisteminden daha düşük olabilir.

Konsantrasyonun verimlilik faydaları, kısa devre akımı arttıkça seri dirençteki kayıplar azaltılabilir ve ayrıca güneş hücresinin artan sıcaklık çalışmasıyla azaltılabilir. Kısa devre akımından kaynaklanan kayıplar akımın karesine bağlı olduğundan, seri dirençten kaynaklanan güç kaybı yoğunlaştırıcının karesi kadar artar (Anonim 2019).

PV sistemlerde güneş ışınımı panel verimi üzerinde en büyük etkiye sahiptir. Şekil 2.5'de farklı ışınım şiddetlerinde güneş pillerinin I-V üretimlerinin değişimi gösterilmektedir. Türkiye için toplam yıllık ortalama güneşlenme süresi Elektrik İşleri Etüt İdaresi (İEİ) tarafından 2735 saat (günlük toplam 7,49 saat); yıllık toplam ışınım şiddeti 1523 kWh/m² (günlük toplam 4,17 kWh/m²) olarak belirtilmiştir. Genellikle her 1000 metre yükseklikte güneş enerji miktarı %9-%11 artmaktadır (Anonim 2018a).



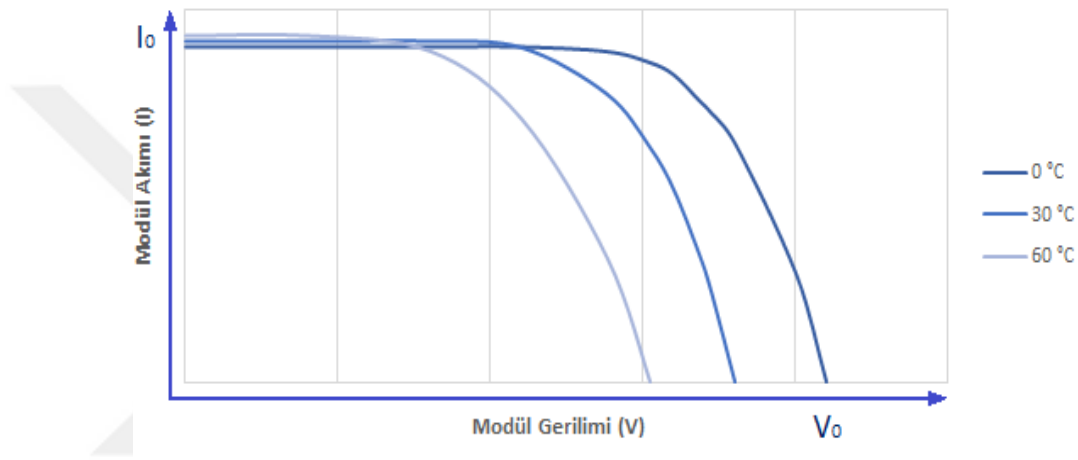
Şekil 2.5. Güneş pilinin farklı ışınım şiddetlerinde ürettiği I-V eğrileri (Köse 2015)

Fotovoltaik panel verimini kısmi gölgelenme durumu önemli ölçüde etkilemektedir. Panel üzerine gölgelenme olduğu zaman kısa devre akımı sıfır olmaktadır. Fotovoltaik sistem tarafından üretilen akım gölgelenmiş olan hücrenin üzerinden akmaktadır. Bu nedenle, fotovoltaik sistemin toplam çıkış gerilimi, gölgeli panelden dolayı azalacak ve farklı verim tepeleri oluşacaktır. PV sistemin kurulacağı bölgenin gölgelenmeye maruz kalıp kalmayacağı belirlenmelidir. Gölgelenmeye maruz kalmamak bölgelerde geleneksel MPP izleyiciler veya global MPP izleyiciler kullanma yerine maksimum güç noktası takibi (MPPT) izleyicilerinin kullanılması daha uygundur. MPPT izleyicileri fotovoltaik panelin ürettiği gerilimi ve akımı yükten bağımsız olarak kontrol ederek maksimum güç noktası izleme işlemini yapmaktadırlar. Bu nedenle MPPT izleyiciler ile fotovoltaik paneller maksimum güç noktasında sürekli çalışacaklardır ve kısmi gölgelemenin olduğu bölgelerde en iyi performansı elde edeceklerdir. Ancak bu yöntemin kısmi gölgeleme oluşmayan bölgelerde hem kendi sisteminden oluşan kayıplardan dolayı performansının düştüğü hem de maliyetinin diğer yöntemlerden yüksek olduğu belirlenmiştir. MPPT yöntemlerinin gölgelenmenin fazla olduğu sistemlerde kullanılması uygun olacaktır (Boztepe 2017).

Yarıiletken maddeler sıcaklıktan etkilenmektedir. Güneş pilleri de yarıiletken malzemelerden üretildiklerinden dolayı sıcaklığa karşı çok hassastırlar. Güneş pilleri sıcaklık artışı sonucu yarıiletkenin bant boşluğunu azaltacak, böylece yarıiletken

malzeme olumsuz etkilenecektir. Bant boşluğunda gerçekleşen düşüş malzemedeki elektronların enerjisini arttıracaktır. Bağ kırılmak için daha düşük enerji yeterli olacaktır.

Bir güneş pilinde, artan sıcaklıktan en çok etkilenen parametre açık devre gerilimi değeri olacaktır. Artan sıcaklığın güneş pillerine etkisi Şekil 2.6'da gösterilmektedir. Her 1°C'lik sıcaklık artışı kristal silikon güneş pillerinde gücün %0,5 oranında azalmasına neden olmakta, amorf silikon güneş pillerinde ise gücün %0,2 oranında azalmasına neden olmaktadır (Köse 2015).



Şekil 2.6. Sıcaklığın güneş pillerinin I-V seviyelerine etkisi (Köse 2015)

I_0 'ın sıcaklık bağımlılığı nedeniyle açık devre gerilimi sıcaklık ile azalır. Bir p-n kavşağının bir yanından I_0 denklemi şu şekilde verilir;

$$I_0 = qA \frac{Dn_i^2}{LN_D} \quad (2.7)$$

Burada:

q, elektrik yükü,

A, fotovoltaik yüzey alan,

D, silikon için verilen azınlık taşıyıcısının yaygınlığı,

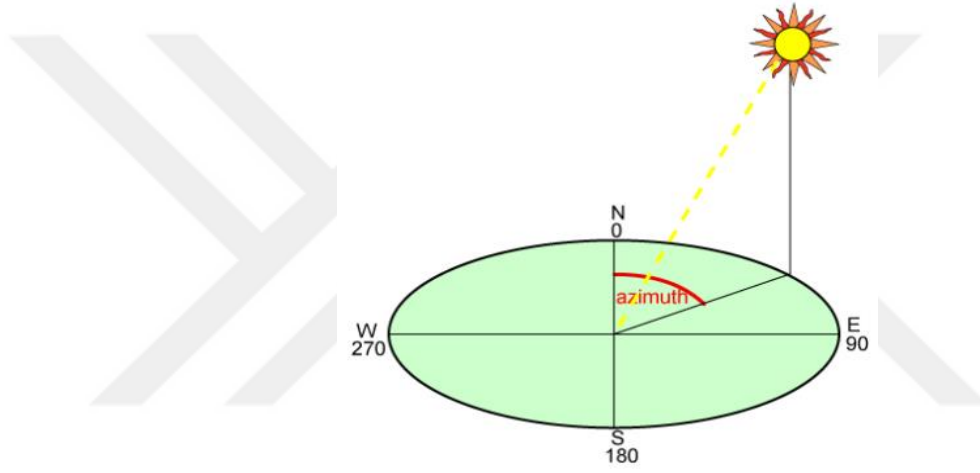
L, azınlık taşıyıcı difüzyon uzunluğu,

N_D , fotovoltaik doping,

n_i , silikon için verilen içsel taşıyıcı konsantrasyonudur (Anonim 2019).

Azimet, bir gök cisminin gözlemciye göre istikâmetinin ufuktaki kuzey veya güney noktasından açisal uzaklık olarak ifadesidir. Gök cismini kesen dikey dairenin ufka değdiği noktanın referans noktasına (kuzey veya güney noktası) açisal mesafesidir.

Azimet açısı, güneş ışığının geldiği pusula yönüdür. Öğle saatlerinde güneşin konumu, kuzey yarımkürede güneyde ve güney yarımkürede kuzeydedir. Ekinokslarda, güneş doğuya doğar ve enlemesine bakılmaksızın batıya yerleşir, böylece azimet açıları güneş doğarken 90° ve günbatımında 270° olur. Şekil 2.7’de azimet açısının Kuzey = 0° ve Güney = 180° deki durumu gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Azimet açısı (Anonim 2019)

Azimet, aşağıdaki parametrelerden hesaplanır:

$$Azimuth = \frac{\cos^{-1}[\sin\delta\cos\omega - \cos\delta\sin\omega\cos(HRA)]}{\cos\alpha} \quad (2.8)$$

Burada:

α , yükseklik,

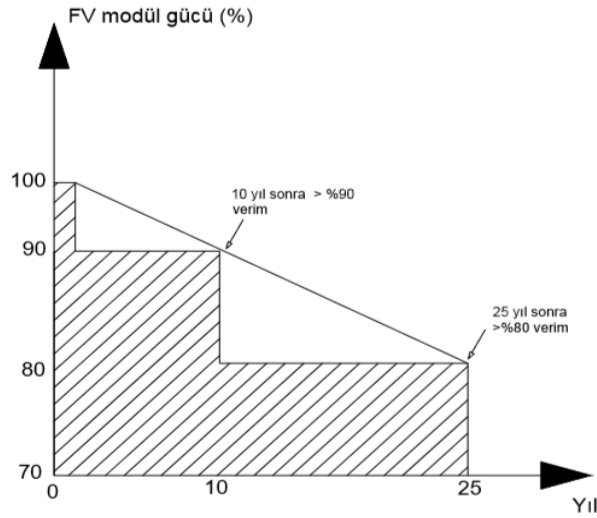
Φ , enlem,

δ , sapma

HRA, saat açısıdır (Anonim 2019).

2.2.2. Güneş Enerjisi Santralının Ömrünü Belirleyen Etkenler

Enerji ömrü terminolojisi, garanti çalışma ömrü boyunca panellerin üretimini bekleyeceği enerjinin tahminidir. Bozulma olayının anlaşılması önemlidir, çünkü sonunda sistemin başarısız olmasına neden olabilirler. Genellikle güneş panelleri için, %20'lik bir düşüş bir başarısızlık olarak kabul edilir, ancak başarısızlığın oranı hakkında bir fikir birliği yoktur. Çünkü %40 oranında bozulmuş yüksek verimli bir panel, daha düşük verim ile çalışan bir teknolojideki bozulmuş olmayan bir panelden daha yüksek bir verimliliğe sahip olabilir. Deneyler ve modellemeler ile bozulmanın ana nedenleri belirlenirse bulunacak sonuçlar ömür boyu iyileştirmelere yol açabilir. Bu nedenle sistemde tasarım kısmı çok önemlidir. Genel olarak fotovoltaik panellerin garanti süreleri Şekil 2.8'de görüleceği üzere iki farklı biçimde verilmektedir. Biri doğrusal azalmayı ifade etmekte diğeri ise 10. yıl ve 25. yıl sonundaki azalma ile ifade edilmektedir (Jordan ve Kurtz 2012)



Şekil 2.8. Fotovoltaik panel garanti süreleri (Boztepe 2017)

Bu bölümde güneş enerji santralının ömrüne etki eden parametrelerden bahsedilecektir. PV panel ömrünü etkileyen parametreler aşağıda verilmiştir.

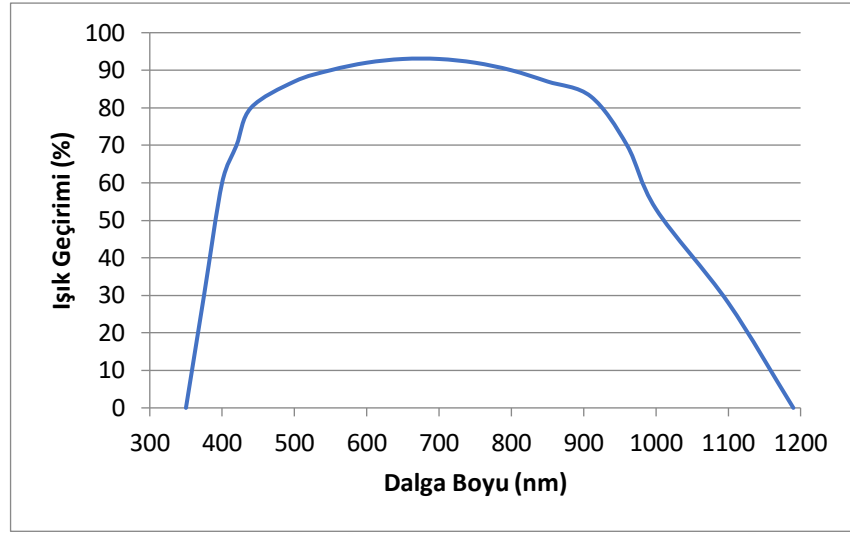
Güneş pillerinin ömürlerine en çok etki eden parametreler;

- Ultraviyole ışınım etkisi
- Nem etkisi
- Sıcaklık etkisi

Deniz seviyesine göre yüksekliğin artması ile yer yüzeyine ulaşan güneş enerjisinin miktarı da artmaktadır. Güneş ışınım enerjisi her 1000 metre yükseklikte %9-%11 artar. Güneş spektrumu farklı dalga boyu aralıkları içerir. Bu farklı dalga boylarından ultraviyole (UV) ışık (200 nm-400 nm), görünür ışık (400 nm-750 nm) ve kızılötesi ışık (750 nm ~ 1 mikron) güneşin spektral ışınımının çoğunluğunu oluşturmaktadır. Kabul edilen hava kütlesi (AM) değeri 1.5G olarak gösterilmektedir. Güneş ışınımındaki UV ışık yoğunluğu iklim ve yükseklik etkisiyle yaklaşık olarak %3 ila %5 oranında değişmektedir. UV ışınım güneş ışınımının sadece küçük bir parçasıdır. UV dalga boyu 3 farklı aralığa bölünmüştür; UVA (320 nm-400 nm), UVB (280 nm-320 nm) ve UVC (200 nm-280 nm). Her bir aralıktaki UV dalga boyunun malzemeye yapacağı etki farklıdır. Doğada bulunan birçok bileşen UV ışınımından kolayca etkilenebilmektedir. Yıllık UV ışınım dozu genel olarak alçak irtifa bölgelerinde yaklaşık 100 kWh/m²'ye ve yayla bölgelerinde (deniz seviyesinden 3000 metre yüksekte) 150 kWh/m²'ye ulaşabilmektedir.

Fotovoltaik paneller solar ışınım koşullarında çalıştıkları için güneş ışığında bulunan UV ışını, panellerde bulunan polimerik malzemelerin bozulmasına neden olabilmektedir. Genellikle PV paneller UVA ve UVB dalga boyu aralıklarından etkilenmekte olup uzun süre UV ışınımına maruz kaldıklarında yapılarında bozulmalar meydana gelebilmektedir. Meydana gelen bozulmalar, PV panellerin I-V özelliklerinin değişip değişmediği kontrol edilerek teyit edilebilmektedir (Dunn ve ark. 2013).

Her güneş panelinin UV ışınından etkilenmesi aynı olmamaktadır. İnce film (Amorf) güneş pilleri, monokristal ile polikristal güneş pillerine göre daha az UV ışınından etkilenmektedir. Şekil 2.9'da kristal güneş pillerinin UV spektruma duyarlılığı incelenmiştir.



Şekil 2.9. Kristal güneş pillerinin UV spektrum duyarlılığı (Anonim 2018b)

Ayrıca PV paneller UV şartlandırma deneyine tabi tutularak üretilmiştir. UV şartlandırma deneyinde panelin sıcaklığı, UV ışığı ile ışınladığı sırada $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de olduğu ve 280 nm ve 385 nm arasında dalga boyu aralığında UV ışımaya maruz bırakılarak dayanıklılık testi yapılmıştır.

PV panel; cam kaplama, fiberglass (EVA), güneş pili hücresi, fiberglass (EVA), arka örtü (Tedlar) tabakalarından oluşmaktadır. Nem, hava geçiren arka tabakaları veya etilen vinil asetat (EVA) tabakaları aracılığıyla fotovoltaik (PV) panele yayılabilir. Ortamdaki nem, korozyona neden olabilecek elektrokimyasal reaksiyonlara yol açabilir. Nemin etkisiyle PV panellerin ömrü hızla kısalmaktadır. Eğer nem polimere nüfuz etmeye başlarsa ve güneş hücresine ulaşırsa, ara yüzey yapıştırıcı bağlarını zayıflatabilir, bu da PV panelin yapısının bozulmasıyla sonuçlanabilir (Viana ve ark. 2018). Uzmanlar oluşabilecek bozulmalar hakkında araştırmalar yapmıştır. Bunlar korozyona maruz kalan PV panellerinin bozulmasını incelemek için Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) 61215 standardının belirlediği yaş sıcaklık testleridir (damp-heat test-DH). Bu standart yüksek neme sahip ortamlara maruz kalmanın yapışma mukavemeti kaybını daha da şiddetlendireceğini ve EVA'nın hücreden ayrılmasını kolaylaştırdığını ve bunun da şebeke korozyonu ile sonuçlandığını belirtmiştir (Quintana ve ark. 2002). Bu nedenle, şebeke korozyonunun PV panellerin bozulmasına etkisini anlamak için, çevredeki ortamın sıcaklığını ve nem içeriğini nasıl etkilediğini anlamak gerekir. Orta yükseklikte

(835 metre yükseklikte) dağlık bölgede kurulan güneş enerji santraline (GES) ait PV paneller DH testine maruz bırakılmıştır. Yaş sıcaklık testinde paneller 1000 saat boyunca 85°C'de ve %85 rh bağıl neme maruz bırakılarak test edilmiştir.

Yukarıda belirtildiği gibi, PV paneller ortam sıcaklığı ve nem oranı ile bozulmaktadır; dahası, bu faktörler bozulmayı hızlandırabilmektedir. Bu bozulma ise esas olarak korozyondan kaynaklanmaktadır (Viana ve ark. 2018). Bir PV paneldeki nem konsantrasyonu tek tip değildir. Bu nedenle, neme bağlı bozulmayı tahmin etmek zordur.

Escobar ve Meeker, iki bozulma modelini önermiştir. Bunlar Eyring ve Peck modellerinin varyasyonlarıdır. Eyring modeline dayanan bozulma modeli ($R_{D,Eyring}$) aşağıda bulunan denklem 2.9 ile ifade edilir:

$$R_{D,Eyring} = A \exp\left(\frac{-Ea}{kT} - \frac{b}{rh}\right) \quad (2.9)$$

Denklemden bulunan Ea bozulma işleminin (eV) termal aktivasyon enerjisidir, k boltzmann sabiti ($8,62 \times 10^{-5}$ eV/K), T sıcaklık ($^{\circ}$ K) ve rh nispi nemdir (%). A ve b , arıza moduna bağlı iki sabittir. PV panellerdeki rh , ortam iklimi, malzeme (kapsülleyici, arka tabaka) özelliklerine ve çalışma koşullarına bağlıdır. Tüm bilgiler mevcutsa, arka kapsülleyicideki nem konsantrasyonu difüzyon modeli kullanılarak bu denklem hesaplanabilir.

Peck modeline dayanan diğer bozulma modeli ($R_{D,Peck}$) aşağıdaki gibi denklem 2.10 ile ifade edilir:

$$R_{D,Eyring} = B \exp\left(-\frac{Ea}{kT}\right) (rh)^n \quad (2.10)$$

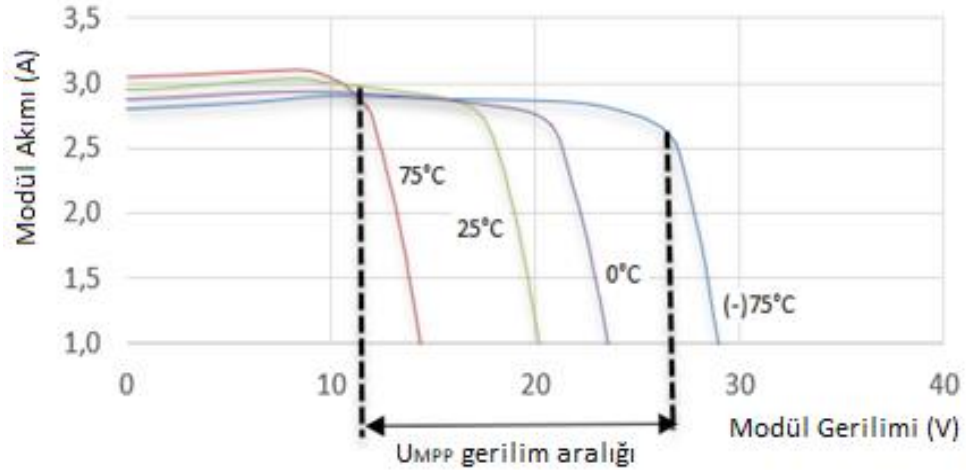
Burada B ve n , başarısızlığa bağlı iki sabittir. Denklem 2.9'daki Ea ile denklem 2.10'daki n 'yi elde etmek için, aşağıdaki denklemler 2.11 kullanılarak logaritmik bir ifade elde edilebilir:

$$\ln(R_{D,Eyring}) = \ln(A) - \left(\frac{Ea}{kT}\right) - \left(\frac{b}{rh}\right)$$

$$\ln(R_{D,Peck}) = \ln(B) - \left(\frac{Ea}{kT}\right) - n \ln(rh) \quad (2.11)$$

Nemin etkisinin ne kadar olacağını belirlemek için PV panellere hızlandırılmış testler uygulanmış ve testlerin sonucunda; P_{max} 'ın zamanın bir fonksiyonu olarak değiştiği belirlenmiştir ve bu fonksiyona göre P_{max} zaman içinde doğrusal olarak azalacaktır. Peck modeli ve Eyring modeli ile bulunan 10 yıllık bozulma oranı birbirlerine yakın bulunmuştur (Huelsmann ve ark. 2012).

PV paneller sıcaklıktan olumsuz etkilenmektedir. Üretilen paneller 25°C sıcaklık, 1,5 AM ortam basıncı ve 1000 W/m² güneş radyasyonu bulunan ortamda test edilir. PV paneller üzerinde sıcaklığın oluşmasının sebebi panellerin veriminin %100 olmamasıdır, bundan dolayı verime dönüştürülemeyen enerji ısı enerjisine dönüşmektedir. Panellerin ısınması gelirmişti oldukça azaltmaktadır. Gerilimin azalması neticesinde panelin çıkış gücünde azalma oluşur ve bu nedenden dolayı Şekil 2.10'dan da görüleceği gibi verim kaybı meydana gelmektedir.

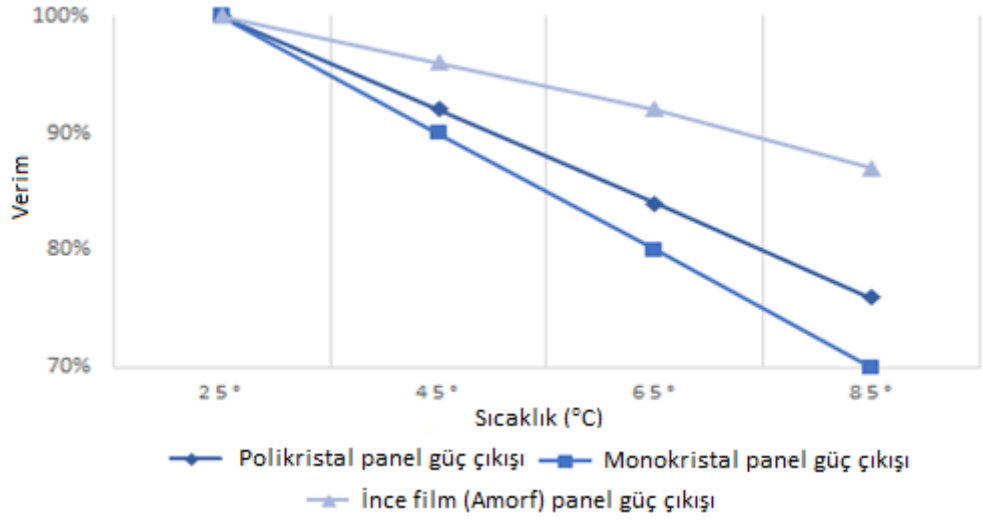


Şekil 2.10. Sıcaklığın I-V seviyelerine etkisi

PV panelin sıcaklığı, UV ışık ışınlaması kadar ömür için bir başka önemli faktördür. PV paneller fazla sıcaklığa maruz kaldıklarında yapılarında bozulmalar meydana gelmektedir. Güneş Enerji Santralının kurulacağı bölgenin seçiminde ortam sıcaklığı bu

açından oldukça önemlidir. Sistem için doğal hava soğutma ya da cebri hava soğutmalı sistem kurulması gerekmektedir (Anonim 2017).

İdeal olmayan koşulların farklı yapıda bulunan fotovoltaik panellere etkisi de farklı olmaktadır (Özçelik 2016). Şekil 2.11’de sıcaklık değişimine göre farklı yapıdaki panellerin verim kayıpları incelenmiştir. İnce film panellerin sıcaklığa dayanıklılık açısından diğer yapıdaki panellerden avantajlı olduğu gözlenmiştir.

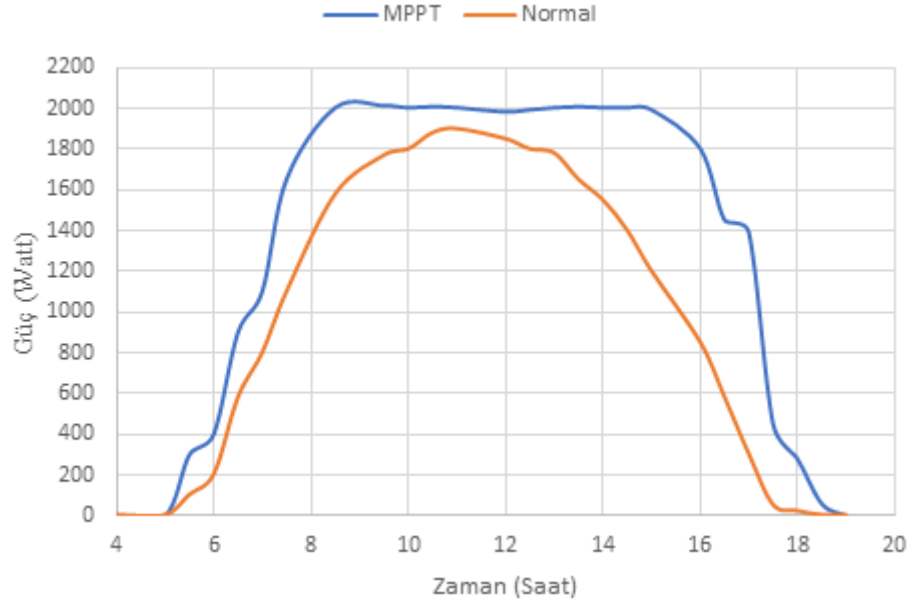


Şekil 2.11. Sıcaklığın farklı yapıdaki panellerin ömrüne etkisi

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT) Teknikleri

Fotovoltaik sistemlerde gerilim ve akım takibi yapılarak panellerden maksimum güç çekilmesini sağlayan işleme maksimum güç noktası takibi (MPPT) adı verilir. Maksimum güç noktası takibinin yapılmasının amacı, PV sistemlerden maksimum gücü elde ederek sistemin verimini mümkün olan en üst seviyeye çıkarmaktır. PV paneller hakkında günümüz araştırmalarının büyük bölümü, paneller tarafından üretilen enerji nasıl daha verimli hale getirilebilir üzerinedir. Fotovoltaik panellerin maksimum güç noktası ışınım miktarı, panel sıcaklığı, panellerin güneş alma açısı, panel yaşlanması, panel yüzeyinin kirliliği vb. dış etkenler ile değişmektedir. Maksimum güç noktası izleme yöntemine bağlı olarak panel gerilim ve akım bilgisi değerlendirilir ve böylece güç dönüştürücüsünün bilgisi ile panel çıkış gücü maksimum seviyede olacak şekilde hesaplanır. Bir MPPT yöntemi, güneş panelinin maksimum performansını mümkün olduğunca en iyi seviyede olmasını, olduğunca hızlı ve güvenilir bir şekilde izlenmesini sağlar. Şekil 3.1’de MPPT kontrolü kullanılan fotovoltaik sistemin güç çıkışı ile MPPT kontrolü kullanılmayan fotovoltaik sistemin güç çıkışı karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.1. MPPT kontrollü ve kontrolsüz elde edilen enerji

MPPT yöntemleri sayesinde panellerden elde edilen güç kontrolsüz duruma göre yaklaşık %30 oranında artmıştır (Özdemir 2017). Şekil 3.1’den görüleceği üzere MPPT yöntemi

ile gün içerisinde elde edilen enerjinin daha fazla olduğu ve maksimum ışınım seviyesinden düşük değerlerde bile panellerden maksimuma yakın gücün sağlanabildiği görülmektedir.

Yıllar içinde MPPT tekniklerinin her biri avantajları ve dezavantajları ile çeşitli algoritmalarını geliştirmiştir. Bu bölümde, en çok kullanılan yöntemler hakkında bilgi verilmektedir. 3.1.1. bölüm Değiştir ve Gözle Yöntemi, 3.1.2. bölüm Artımlı İletkenlik Yöntemi, 3.1.3. bölüm Bulanık Mantık Yöntemi, 3.1.4. bölüm Akım Süpürme Yöntemi, 3.1.5. bölüm Açık Devre Gerilimi (OCV) Yöntemi, 3.1.6. bölüm Kısa Devre Akımı (SCC) Yöntemi, 3.1.7. bölüm Beta (β) Yöntemi ve 3.1.8. bölüm Yapay Sinir Ağı (ANN) Yöntemi hakkında inceleme sonuçlarının bilgisi verilmektedir. Bölümün amacı, MPPT tekniklerini değerlendirerek uygulamamız için en uygun olanı seçebilmemizi sağlamaktır.

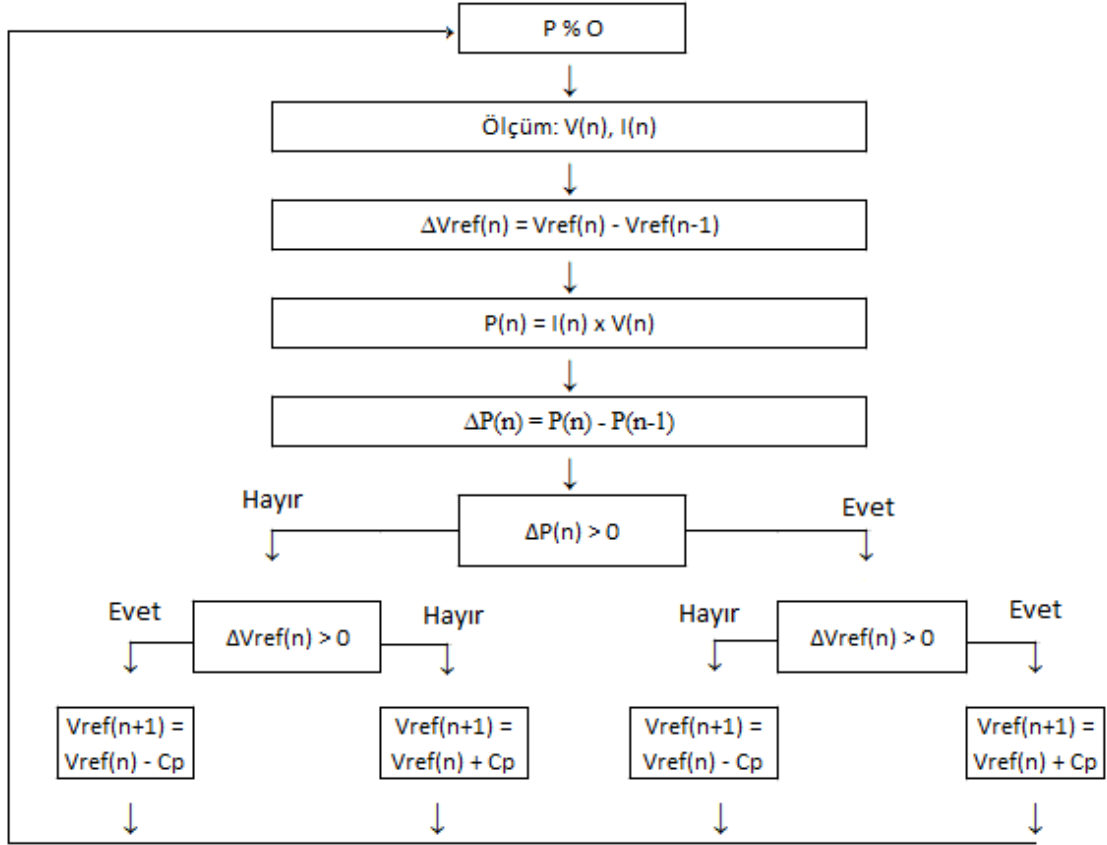
Sistemin verimliliğini bulmak için kullanılan formül denklem 3.1'de belirtilmiştir; burada P_{act} çalışma koşullarında güneş panelinden elde edilen gücü, P_{max} ise teorik olarak elde edilebilen maksimum gücü ifade etmektedir.

$$\eta = \frac{P_{act}}{P_{max}} 100\% \quad (3.1)$$

3.1.1. Değiştir ve Gözle (P&O) Yöntemi

En çok tercih edilen yöntem P&O yöntemidir. P&O yöntemi, güç dönüştürücüsünü kontrol ederek görev döngüsünü denetler ve bu şekilde MPP'ye uygulayabilmek için P-V karakteristik üzerinde olumlu adımlar atar. Aslında yapılan pertürbasyon işlemidir. Pertürbasyon işlemi, tam olarak çözümlenemeyen problemin, bu probleme bağlı başka bir problemde yola çıkılarak çözümlenmeye çalışılmasıdır. Yöntemin süreci doğru akım-doğru akım (DC-DC) dönüştürücüyü başlangıç görev döngüsü ile çalıştırarak başlar, devamında görev döngüsünü belirli bir adım genişliği ile artırır ve güç her adımın eklenmesiyle takip edilir. Bu pertürbasyon ile farklı bir çıkış gücü elde edilir ve yeni bir çalışma noktası bulunur. Bu çıkış gücünün mevcut çıkış gücünden daha büyük olması durumunda, bulunan çalışma noktası yeni çalışma noktası olarak ayarlanır. Daha düşük

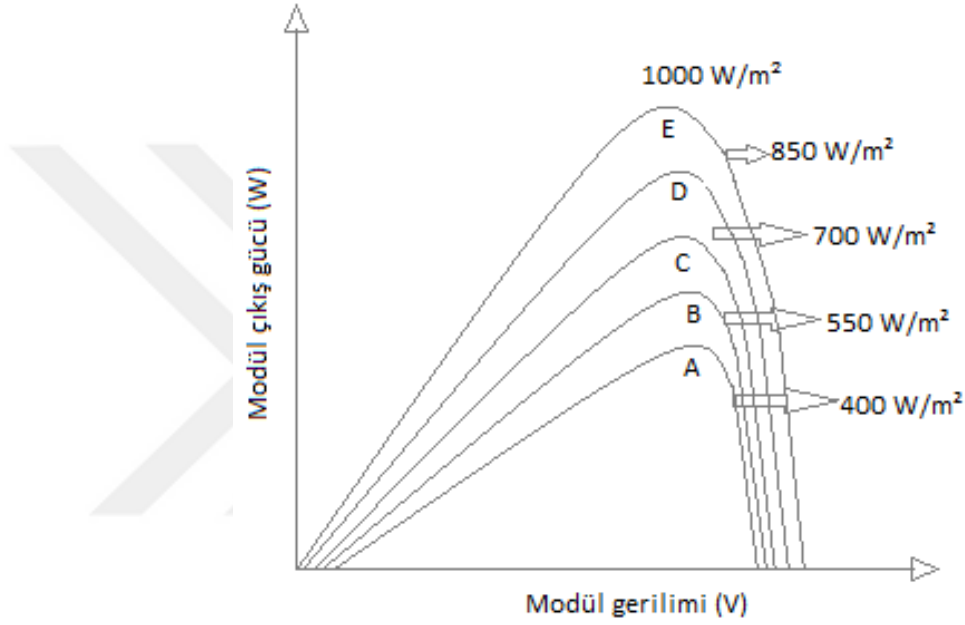
olması durumunda, mevcut olan akım yönüne bağlı olarak daha düşük veya daha yüksek bir çalışma gerilimine ayarlanır. Şekil 3.2'de P&O yöntemin bir akış şeması bulunmaktadır. P&O yöntemi ile %96,5 ve %99,5 gibi verimlilikler elde edilebilmektedir (Morales 2010).



Şekil 3.2. Değiştir ve gözle yönteminin akış şeması

Bu akış şeması ile çalışma gerilimi her MPPT döngüsü ile değiştirilir. En hızlı bir biçimde MPP'ye ulaşıldığında, gerilim ideal çalışma gerilimi etrafında salınır. Bu, tek bir pertürbasyonun adım genişliğine bağlı bir güç kaybına neden olur, yani adım ne kadar büyük olursa, maksimum güç geriliminin etrafındaki salınımlar o kadar büyük olur ve tersi de geçerlidir (Knopf 1999). Adım genişliği büyük olursa, MPPT algoritması, istikrarlı koşullar altında oluşan kayıpların ortadan kaldırılması ile çalışma koşullarındaki ani değişikliklere hızlı bir şekilde tepki verecektir. Adım genişliği çok küçük olursa, istikrarlı koşullar altındaki kayıplar azalacak, ancak sistem sadece sıcaklık ve güneş ışınlarındaki hızlı değişikliklere yavaş tepki verebilecektir. Her sistemin kendine özgü farklı adım genişliği vardır ve deneysel olarak belirlenmelidir.

P&O yönteminin bir dezavantajı, güneş ışınımında oluşacak ani bir artış olması durumunda, çalışma geriliminde bir önceki pertürbasyona göre artış meydana gelmiş gibi tepki vermesidir (Hannes Knopf,(1999). Bu nedenle, maksimum gücün ters yönü bir öncekiyle aynı yönde olacaktır. Şekil 3.3 aynı yönde oluşan sürekli pertürbasyonun, MPP geriliminden uzak bir çalışma gerilimine yol açacağını göstermektedir. Işınım miktarındaki değişiklik azaldığında veya durduğunda MPPT normal davranışına geri dönecektir (Chapman ve ESRAM 2007).



Şekil 3.3. MPP'nin P&O yöntemiyle hızlı güneş ışınlaması değişiklikleri altında sapması (Chapman ve ESRAM 2007)

3.1.2. Artımlı İletkenlik (IC) Yöntemi

Bu teknik ilk olarak gerilimin güce göre türevine dayandırılmıştır. IC yönteminde hem akım değeri hem de gerilim değeri ölçülür, buradan güce göre türev hesaplanır. Yöntem, MPP'de türevin sıfıra eşit olması gerçeğine dayanır, bu denklem 3.2'de ifade edilmiştir (Chapman ve ESRAM 2007).

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dV} &= 0 & \text{MPP} \\ \frac{dP}{dV} &> 0 & \text{MPP'nin sol tarafı} \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\frac{dP}{dV} < 0 \quad \text{MPP'nin sağ tarafı}$$

3.2'de açıklanan denklemlerden elde edilen sonuca dayanarak, darbe genişlik modülasyonu (PWM) işaretinin genişliği ayarlanır, böylece güneş panelinin çalışma noktası MPP'ye doğru yönelmiş olur.

Daha sonra bu teknik daha ayrıntılı hale getirilerek artımlı iletkenlik yöntemi elde edilir. Bu yöntem dP/dV yönteminden meydana gelmiştir. Çünkü güç, akım ile gerilimin çarpımına eşittir ve gerilime göre gücün türevi denklem 3.3'te gösterilmiştir (Chapman ve Esham 2007).

$$\frac{dP}{dV} = V \frac{dI}{dV} + I \frac{dV}{dV} = V \frac{dI}{dV} + I \quad (3.3)$$

3.2'de verilen denklem kümesiyle 3.3'ü birleştirilerek denklem 3.4 elde edilir.

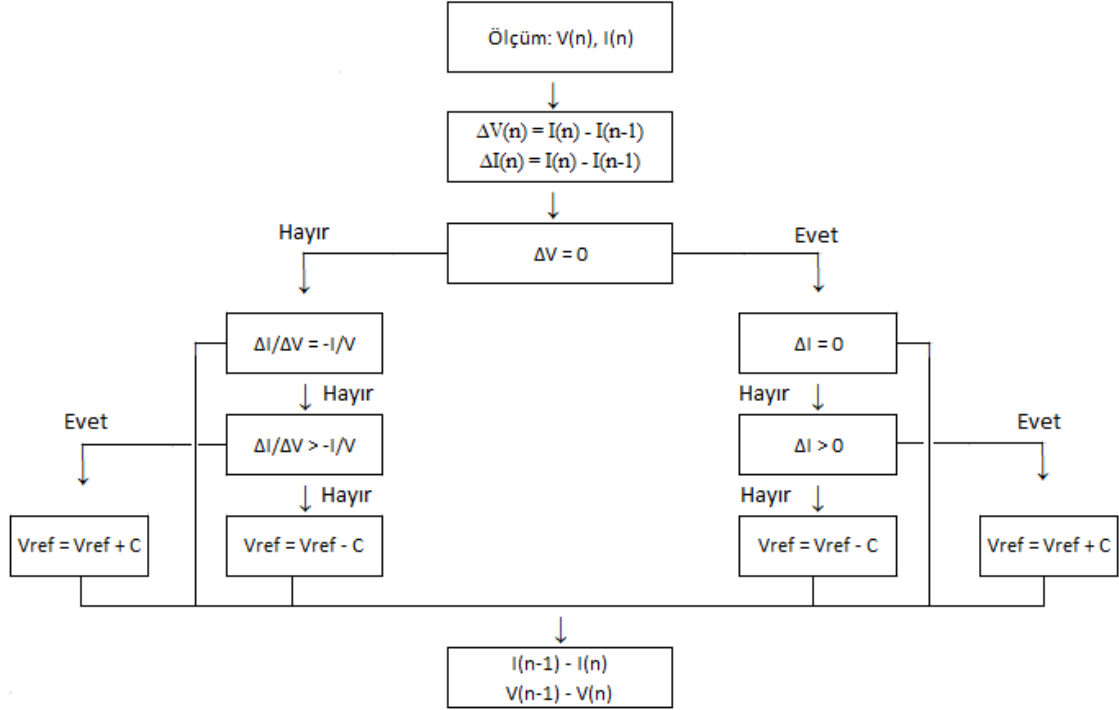
$$\begin{aligned} \frac{dI}{dV} &= -\frac{I}{V} & \text{MPP} \\ \frac{dI}{dV} &> -\frac{I}{V} & \text{MPP'nin sol tarafı} \\ \frac{dI}{dV} &< -\frac{I}{V} & \text{MPP'nin sağ tarafı} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Bu denklemlerin yardımıyla bir sonraki çalışma noktası belirlenir. Böylece artımlı iletkenlik yönteminin akış şeması Şekil 3.4 bulunur.

Bir oransal integral denetleyicisi (PI denetleyicisi), artımlı iletkenlik yöntemini uygulamanın etkili bir yoludur. Bu PI denetleyici için bir giriş olarak, denklem 3.5'te gösterildiği gibi bir hata işareti oluşturulur.

$$e = \frac{dI}{dV} + \frac{I}{V} \quad (3.5)$$

PI denetleyicisi hata işaretini sıfıra indirir, bu da çalışma noktasının MPP'de olduğu anlamına gelir. IC yönteminin verimliliği P&O'dan daha yüksektir, genellikle %98,5 ile %98,2'lik arası bir verimlilik sağlamaktadır. P&O yöntemine göre daha masraflıdır (Ropp ve Hohm 2000).



Şekil 3.4. Artımlı iletkenlik yönteminin akış şeması

3.1.3. Bulanık Mantık (FLC) Yöntemi

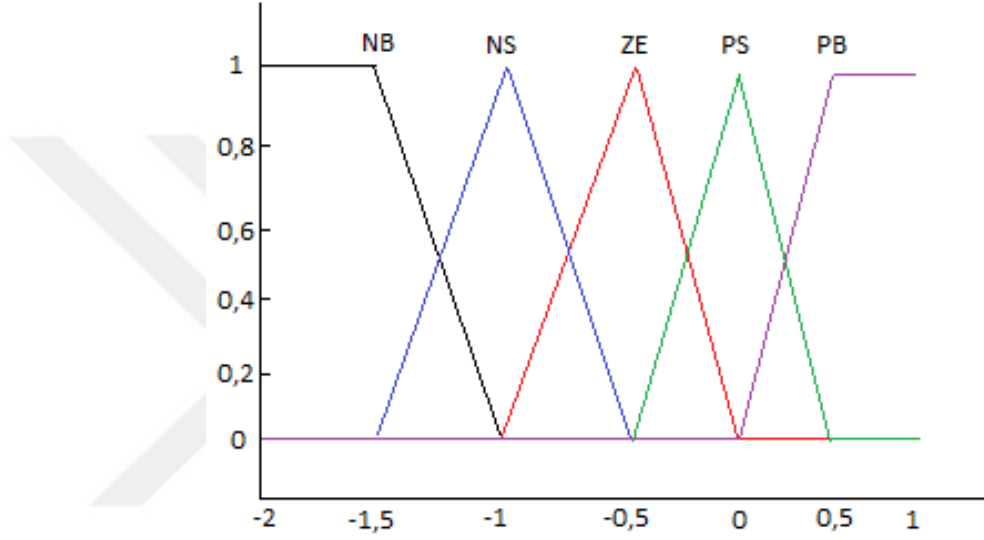
Başka ilginç izci yöntemi bulanık mantıktır. Bulanık mantık, belirsizliklerin anlatımı ve belirsizliklerle çalışabilmesi için kurulmuş matematiksel düzendir. Bu kontrol sistemi ile belirsizlik ortamın da akıl yürütme mantığı ile değerlendirilme yapılarak yaklaşık sonuçların elde edilmesi amaçlanır. Bulanık mantık denetimi bir sonraki işletim noktasına karar vermek için kural çizelgesi kullanır. Aşağıdaki gibi hesaplamalar denklem 3.7 ile denklem 3.8'deki hata işlevine dayanmaktadır (Soufi ve ark. 2014).

$$E(k) = \frac{P(n) - P(n-1)}{V(n) - V(n-1)} = \frac{\Delta I}{\Delta V} + \frac{I}{V} \quad (3.7)$$

Hata işlevindeki değişiklik sabittir:

$$\Delta E(k) = E(n) - E(n - 1) \quad (3.8)$$

Bu değerler hesaplandıktan sonra sınıflandırılır. Bu sınıflar; negatif büyük (NB), negatif küçük (NS), sıfır (ZE), pozitif küçük (PS) ve pozitif büyük (PB). Bu sınıflandırma Şekil 3.5'te gösterilen üyelik fonksiyonu kullanılarak yapılır.



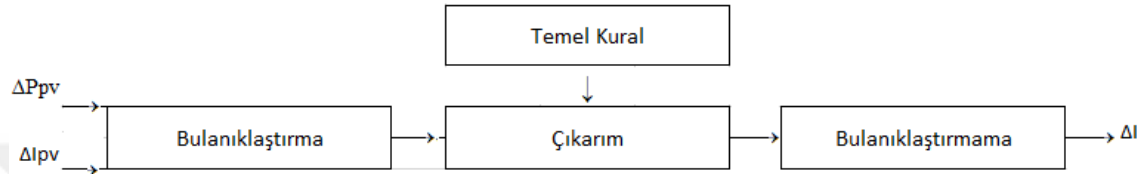
Şekil 3.5. FLC üyelik fonksiyonu (Chapman ve Eşram 2007)

Çizelge 3.1: Bulanık mantık denetimi için kural çizelgesi (Chapman ve Eşram 2007)

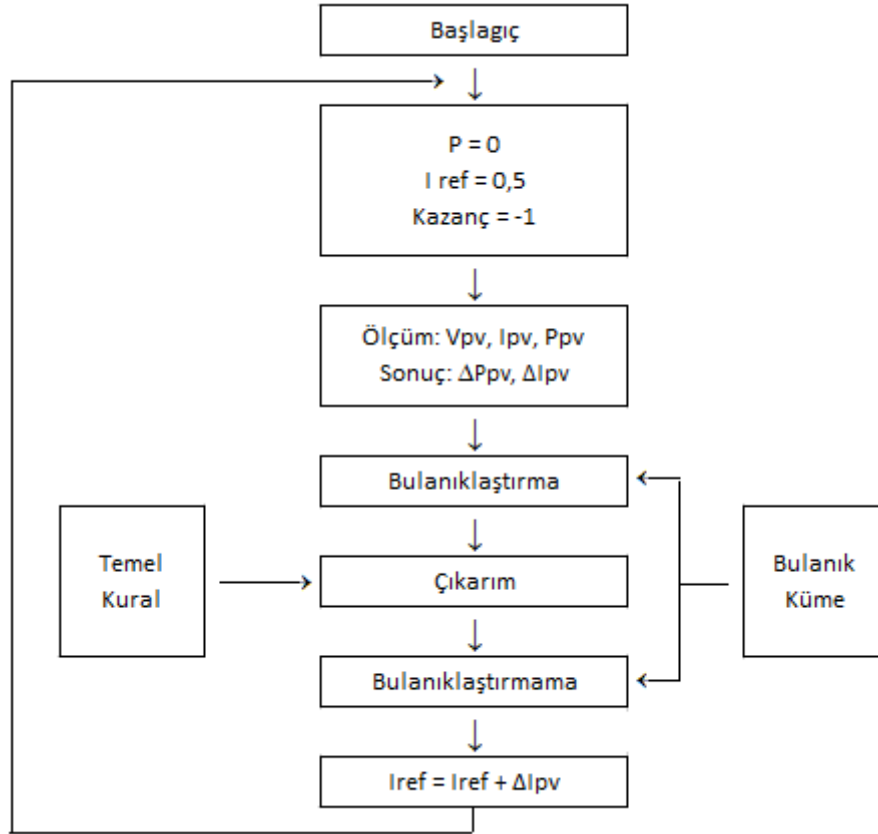
<u>E/dE</u>	<u>NB</u>	<u>NS</u>	<u>ZE</u>	<u>PS</u>	<u>PB</u>
<u>NB</u>	NB	NS	ZE	PS	PB
<u>NS</u>	NB	NS	ZE	PS	PB
<u>ZE</u>	NB	NS	ZE	PS	PB
<u>PS</u>	NB	NS	ZE	PS	PB
<u>PB</u>	NB	NS	ZE	PS	PB

Sınıflandırma işleminden sonra, bu kural çizelgesinin incelenmesi sonucu karar verilir. Çizelge 3.1'de kural çizelgesinin bir örneği gösterilmektedir. Verilen karardan sonra durulaştırma (defuzzication) katyonu oluşur ve yeni çalışma noktası hesaplanır.

Bu yöntemin dezavantajı, yöntem aşamalarının birer birer ayarlanması gerektiğidir. Üye fonksiyonları ve sistemin geri kalanı parametrelere göre ayarlanır. Yüksek değerde verimlilik sağlamak için sistem hakkında daha çok bilgiye ihtiyaç vardır. Bu sorun, uyarlanabilir bulanık mantık yöntemini kullanarak çözümlenebilir (Soufi ve ark. 2014). Bununla birlikte, bulanık mantık kontrolünün karmaşıklığı, durulaştırma aşamasında ve uyarlanabilir bulanık mantık kontrolü aşamasında daha da yüksek bir karmaşıklığa sahiptir.



Şekil 3.6. Bulanık mantık denetleyicisi



Şekil 3.7. Bulanık mantık yönteminin akış şeması

3.1.4. Akım Süpürme Yöntemi

Güneş panellerinden MPP elde etmek için başka uygulanabilir yöntem akım süpürme yöntemidir. Akım süpürme yöntemi, mevcut çalışma koşulları altında güneş panellerinin I-V karakteristiğini elde eder (Chapman ve ESRAM 2007). Bu yöntem, güneş paneli akımını önceden belirlenmiş bir zaman fonksiyonu olarak yönlendirir:

$$i(t) = f(t) \quad (3.9)$$

Daha sonra, güneş panelinin gerilimi ölçülür ve anlık güç denklem 3.10 ile hesaplanır:

$$p(t) = v(t) i(t) = v(t) f(t) \quad (3.10)$$

Zamana bağlı olarak P(t)'nin türevinin sıfıra eşit olması durumunda maksimum güç elde edilecektir.

$$\frac{dp(t)}{dt} = v(t) \frac{df(t)}{dt} + f(t) \frac{dv(t)}{dt} = 0 \quad (3.11)$$

$F(t) = k \frac{df}{dt}$ seçilebilir, burada k bir sabittir ve $df(t)/dt$, akım süpürme yönteminin dalga biçimi aralığında sıfır olmadığından denklem 3.11 basitleştirilebilir.

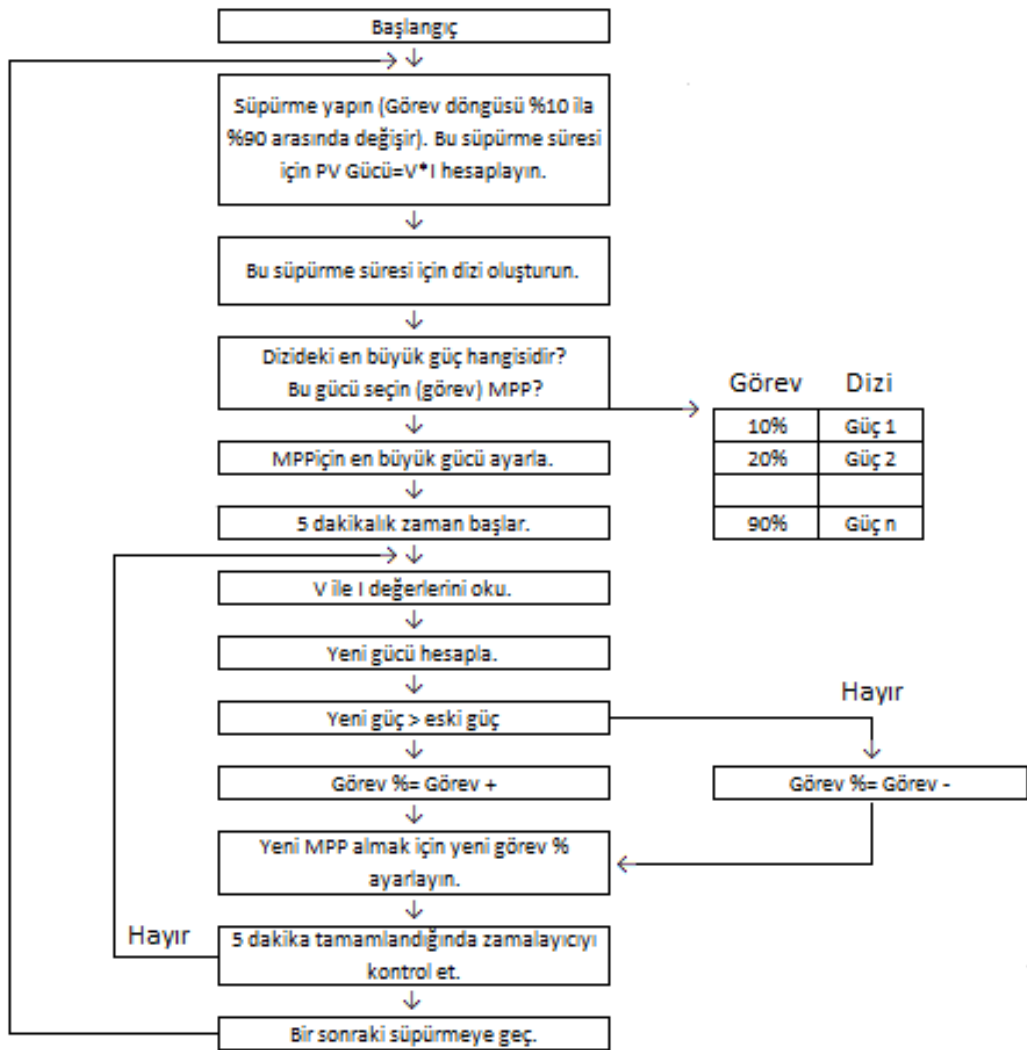
$$\frac{dp(t)}{dt} = k x \frac{dv(t)}{dt} + v(t) = 0 \quad (3.12)$$

Denklem 3.12 çözülerek maksimum gücü belirlenebilir. Denklem 3.12'nin bir diğer avantajı, maksimum güç geriliminde ifade edilmesidir. F(t) ise şu şekilde çözülebilir,

$$f(t) = c e^{\frac{t}{k}} \quad (3.13)$$

C'nin değerini güneş panelinden elde edilen maksimum akım olarak düşünürsek ve k değerini negatif alırsak f(t) bir kondansatörün bir dirençle boşalmasını açıklamaktadır. Bu şekilde kondansatörü boşaltarak istenen akım süpürme yöntemi formunu üretebiliriz.

Akım süpürme yöntemi güneş paneli akımını yönlendirir, bu nedenle akım süpürme sırasında güç çıkışında azalmalar meydana gelecektir. Akım süpürme yöntemi, güneş panelinin I-V karakteristiğini belirleyerek maksimum çalışma gerilimi belirlenir. Kontrol bölümü, yeni bir maksimum çalışma gerilimi belirleyene kadar güneş panelinin çalışma gerilimi olarak bu hesaplanan gerilimi tutar. Dolayısıyla, akım süpürme yöntemi sürekli olarak gerçekleşmez, periyodik olarak gerçekleştirilir. Üretilen güç ile akım süpürme gerçekleştiğindeki güç kaybını oranlayarak akım süpürme yönteminin süresini belirlemek gerekir (Ermis ve Bodur 1994).



Şekil 3.8. Akım süpürme yönteminin akış şeması

5 dk tamamladıktan sonra yeni MPP almak için bir sonraki akım süpürme yapılır ve bu döngü her 5 dk için tekrarlanır (Hatkar ve Hatkar 2014).

3.1.5. Açık Devre Gerilimi (OCV) Yöntemi

OCV yöntemi, MPP'yi takip edebilmek için önceki PV elektrik parametrelerine ihtiyaç duyduğundan dolayı yöntem olarak kabul edilir. Bu yöntemin diğer adı sabit gerilim yöntemidir.

OCV yöntemi, açık devre gerilimi (V_{OC}) ile MPP'deki gerilim (V_{MPP}) arasındaki orantılı ilişkiye dayanır (Huang ve Hsu 2016). Değişen çevre koşulları altında saklanır ve denklem 3.14 ile belirlenebilir:

$$V_{mpp} \approx k_v V_{OC} \quad (3.14)$$

k_v orantılılık sabitidir. k_v 'nin güneş pili teknolojisinde, FF faktörüne veya atmosfer koşullarına bağlı olması nedeniyle hem V_{OC} hem de V_{MPP} ışınlama ve sıcaklık koşullarından önce hesabının yapılması gerekir. Polikristal PV paneller için yaklaşık olarak k_v değeri 0,7 veya 0,8'dir. İstisna da olsa bazen k_v değeri 0,9 değerine ulaşabilir (Huang ve Hsu 2016). Bu nedenle, V_{OC} ölçülerek ve denklem 3.14'ü uygulayarak, MPP'deki gerilim elde edilebilir. V_{MPP} 'nin geniş bir ışınım ve sıcaklık seviyeleri aralığında nispeten sabit kalması gerekir. Bu yöntemde son olarak, MPPT denetleyicisi dönüştürücünün görev oranını belirler.

Dezavantaj ise bu yöntemin gerçek MPP sağlamamasıdır, çünkü denklem 3.14 sadece bir yaklaşımdır. Buna ek olarak, kısmi gölgelenme altında pek güvenilir değildir. Ayrıca V_{OC} değeri yükü ayırarak elde edilir, bu da bir açık devreye neden olur. Böylece, sistemde güç kaybı oluşur (Agarwal, S., & Jamil, M. 2015).

3.1.6. Kısa Devre Akımı (SCC) Yöntemi

SCC yönteminin OCV yöntemine benzer olduğu düşünüldüğünden dolayı yöntem olarak veya sabit akım yöntemi olarak da adlandırılır (Agarwal, S., & Jamil, M. 2015). SCC yöntemi, kısa devre akımı (I_{SC}) ile MPP'nin elde ettiği (I_{MPP}) akım arasındaki doğrusal ilişkiyi izler. I_{MPP} değişen atmosferik koşullar altında denklem 3.15 ile elde edilmektedir.

$$I_{mpp} = k_i I_{SC} \quad (3.15)$$

k_i orantılılık sabitidir. k_v ile aynı şekilde, OCV yönteminde, bu sabit FF faktörüne veya atmosfer koşullarına bağlıdır. Değeri yaklaşık olarak 0,78 ve 0,92 arasında değişmektedir ve değeri hesaplamak oldukça zordur. Bu nedenle, hücre teknolojisine bağlı olarak 0,7 ve 0,9 arasında bir aralık önerilmektedir. OCV yönteminde olduğu gibi I_{SC} 'yi ölçerek ve denklem 4.15'i uygulayarak MPP'deki akım elde edilebilir. I_{SC} değeri, görev oranı ile dönüştürücü anahtarının darbelerini kontrol ederek alınır. Akım, I_{MPP} 'ye ulaşılan kadar geri besleme döngüsü tarafından kontrol edilir.

SCC yöntemi, karmaşık olmadığı için çok kolay uygulanabilmektedir ve MPP'nin çok hassas olmayan izleme yöntemleri için uygundur. Dezavantajı ise bu yöntemin doğru bir MPP sağlamamasıdır, çünkü denklem 3.15 sadece bir yaklaşımdır. Bununla birlikte, bu yöntem OCV tekniğinden daha doğru sonuçlar verir. Ayrıca, PV paneli kısa devre yapılır, bu yüzden güç kayıpları oluşur.

Kısmi gölgelendirme durumu ise bu yöntemde sorunlara neden olabilir, çünkü birden fazla yerel maksimum görünebilir. Oluşan güç kaybını önlemek için k_i , PV gerilimini açık devreden kısa devreye periyodik olarak süpürerek günceller (Huang ve Hsu 2016).

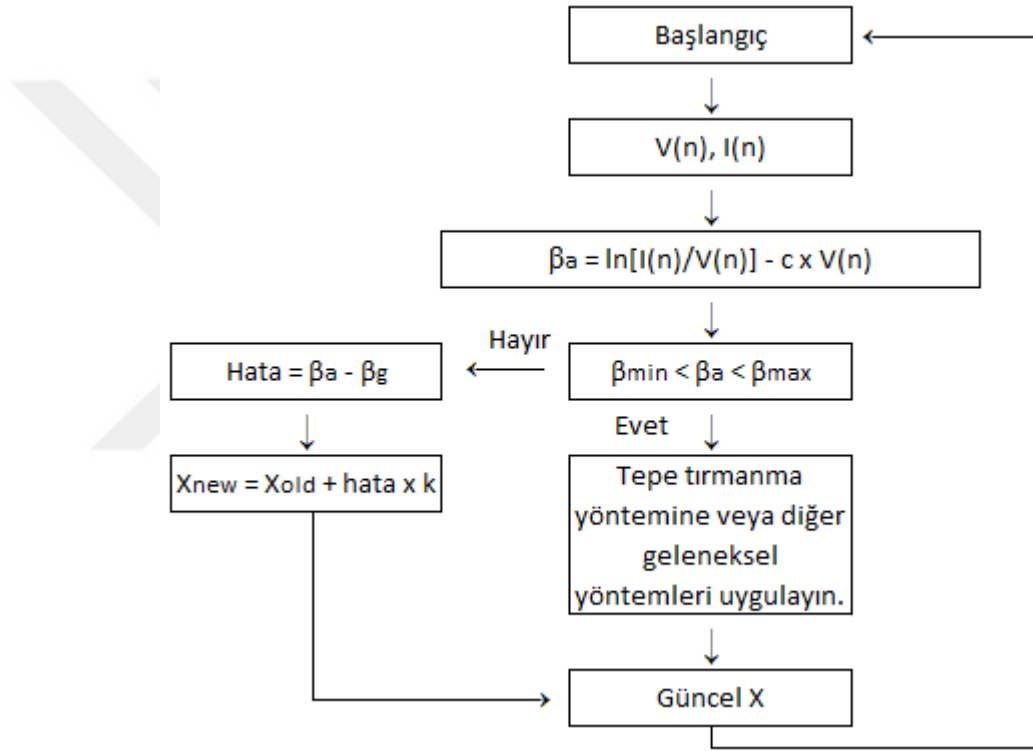
3.1.7. Beta (β) Yöntemi

Beta (β) yöntemi, bir ara değişken olan beta'nın denklem 3.16 tanımlandığı gibi MPP'ye yaklaşmak için bir parametre olarak kullanıldığı bir yöntemdir (Li ve ark. 2015).

$$\beta = \ln\left(\frac{I_{pv}}{V_{pv}}\right) - c V_{pv} \quad (3.16)$$

I_{pv} ve V_{pv} güncel PV akımı ve gerilimidir, $c=q/(nN_sKT)$ olarak tanımlanan diyot sabitidir; burada q temel yüküdür, n diyot idealite faktörüdür, N_s seri olarak bağlanan PV hücrelerinin sayısıdır, K Boltzman sabittir ve T Kelvin cinsinden sıcaklıktır.

Bu yöntemin akış diyagramı Şekil 4.9'da görülebilir. I_{pv} ve V_{pv} 'yi ölçerek β_a 'nın akım değeri periyodik olarak hesaplanır. β_a aralıkta ise (β_{min} , β_{mak}), çalışma noktasının MPP'ye yakın olduğu anlamına gelir, böylece, sabit adımlı yöntemlerden birinin, MPP'de doğru olarak çalışmasını arttırmak ve sabit durumdaki salınımları azaltmak için uygulandığı ikinci aşama başlatılır. Aksi takdirde, çalışma noktası hala MPP'den uzaktır, bu nedenle ilk aşama devam ederek değişken boyutlu adımlar uygulanır. Adım boyutu değerini hesaplamak için, β_a ile ortalama aralık değeri (β_g) arasındaki fark tarafından oluşturulan hata, denklem 3.17' de görüldüğü gibi hesaplanır (Li ve ark. 2015).



Şekil 3.9 Beta yönteminin akış şeması

$$X_{new} = X_{old} + (\beta_a - \beta_g) x k_b \quad (3.17)$$

Burada X_{new} ve X_{old} sırasıyla yeni ve eski adım boyutlarıdır ve k_b ölçek faktörüdür. Bu nedenle, yukarıda bahsedilen süreci doğru uygulamak için aralık (β_{min} , β_{max}) hesaplanmalıdır. β aralığı çalışma koşullarına, ışınlamaya (g) ve sıcaklığa (T) bağlıdır, çünkü MPP onlara göre değişim gösterir. β aralığı dardır, çünkü β , MPP etrafında uzaklaşmaz, sıcaklık olmasa da ışınlamadan nispeten bağımsızdır. Bu nedenle, bilinen

PV dizisi parametreleri ve farklı g ve T koşulları sayesinde, Çizelge 3.2’de gösterildiği gibi farklı değerler hesaplanır ve beta aralığı ayarlanır (Li ve ark. 2015).

Çizelge 3.2: g ve T için β değerleri

Numara	Işınlama	Sıcaklık	B
1	1000W/m ²	45°C	-15,4505
2	1000W/m ²	5°C	-18,3431
3	300W/m ²	45°C	-15,9587
4	300W/m ²	5°C	-19,0214

Kısaca yöntem, β değerini hesaplayarak, çalışma noktasına hızlı bir şekilde MPP'ye yaklaşılabılır, büyük tekrarlar adımları uygulanabilir ve daha sonra, geleneksel yöntemlerden birine geçilerek, küçük sabit adımlar ile tam MPP elde edilebilir.

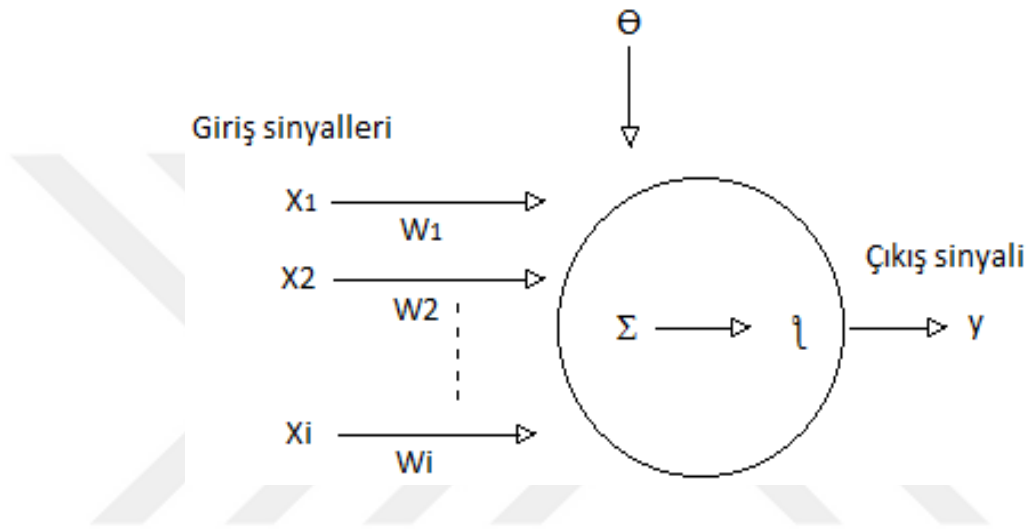
Beta yönteminin avantajı, mevcut MPPT yöntemleri arasındaki iki genel problemi çözmesidir. Bir yandan, sabit durumdaki salınımlar ile geçici durumdaki davranış arasındaki geçiş elde edilir ve diğer taraftan ise doğruluk ve hesaplama karmaşıklığını düzenler. β değerinde çalışarak, sabit adımlı yöntemler ve kombinasyon nedeniyle hızlı bir izleme hızı elde edilir. Bu yöntemin uygulanması karmaşık sayılmaz. Bununla birlikte, değiştir ve gözle veya artımlı iletkenlik gibi diğer geleneksel yöntemlerle iş birliği yapılması gereklidir ve PV dizisinin parametrelerini bilmek zorunludur (Li ve ark. 2015).

3.1.8. Yapay Sinir Ağı (ANN) Yöntemi

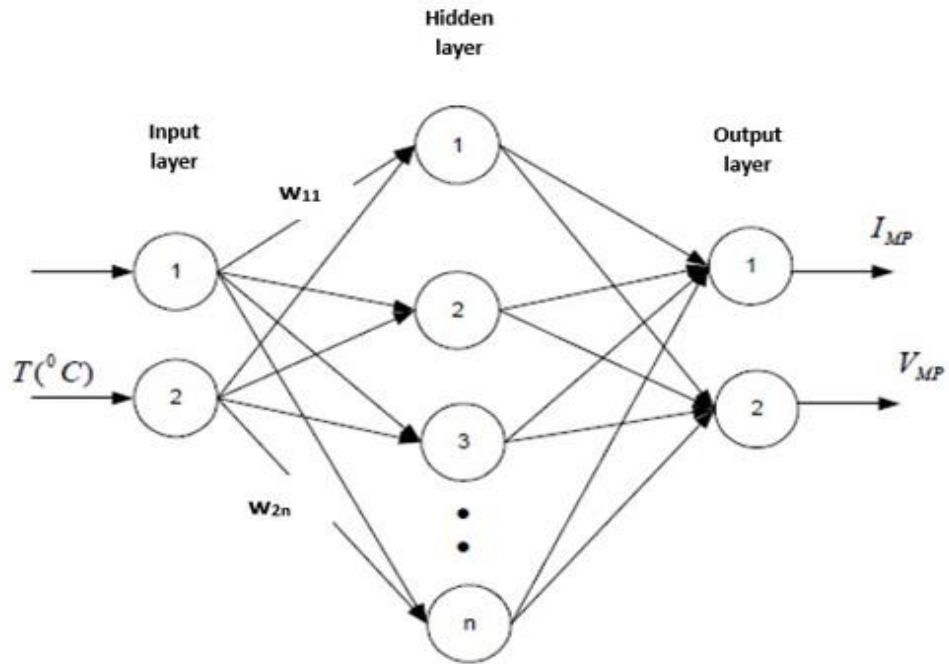
ANN yöntemi, yapay zekâ yöntemi veya dolaylı yöntem olarak adlandırılır. Aynı zamanda en çok bilinen yöntemlerden biridir.

ANN yöntemi merkezi sinir sistemine dayanır. Bu yöntem, karmaşık ve doğrusal olmayan işlevlerle modellenen ve ağırlıkları (w_i) PV sisteminin giriş ve çıkışlarını bir süre inceledikten sonra belirleyen bir dizi elektrik nöronuna dayanmaktadır. Bu nedenle, ANN yönteminin, ağırlıklarının merkezi sinir ağı sabit duruma ulaşana kadar güncellendiği bir uyumluluk süresine ihtiyacı vardır. Ağırlık (w_{ij}) nöron j ile ilgili olarak girişine karşılık gelmektedir (Reisi ve ark. 2013).

ANN genellikle üç bölümden oluşur: giriş bölümü, gizli bölüm ve çıkış bölümüdür. Düğüm sayısı ise sisteme bağlı olarak değişmektedir. PV sistemleri; nöronların girişleri, V_{OC} , I_{SC} , sıcaklık (T) veya ışınlama (g) gibi atmosferik koşulların verilerine bağlıdır. Bu kontrol biriminin çıkışı, MPP'ye yakın çalışma noktasını korumak için akım veya gerilim dönüştürücünün referans işaretidir. Şekil 3.10'da olduğu gibi giriş ve çıkışları olan bir nöron akış şeması oluşur ve Şekil 3.11'de sinir ağı bağlantıları görülebilir (Eltawil ve Zhao, Z. 2013).



Şekil 3.10. Elektrik nöron akış şeması



Şekil 3.11. Sinir ağı akış şeması

ANN yönteminin avantajlarından biri PV sistem parametrelerini tam olarak bilmeden çok doğru bir MPPT sağlayabilen bir yöntem olmasıdır. Bununla birlikte, her ANN uygulandığında tam PV dizisine periyodik uygulanmalıdır, çünkü atmosferik koşullardaki değişimler, PV dizisinin davranışında değişikliklere neden olur (Reisi ve ark. 2013).

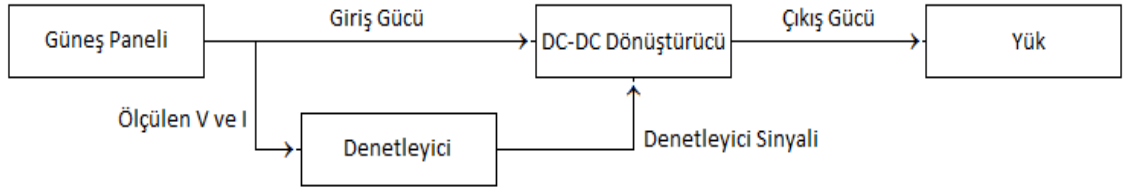


3.2. MPPT Tasarımı

Bir MPPT denetleyiciyi başarılı bir şekilde tasarlamak için, önce bir MPPT'nin genel yapısının belirlenmesi gerekir, daha sonra da alt sistemler hakkında kapsamlı bilgiye sahip olmamız gerekmektedir.

3.2.1. MPPT'nin Tasarım Adımları

Şekil 3.12'de MPPT yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem, yüke bağlı güneş paneli sisteminin akış şemasını göstermektedir. Bu şema dört bölümden oluşmaktadır; güneş paneli, DC-DC dönüştürücü, MPPT denetleyicisi ve yük. DC-DC güç dönüştürücü, güneş panellerinin gerilimini piller için gereken gerilim seviyesine dönüştürür. Ayrıca güneş panellerinin ideal çalışma noktasını belirler.



Şekil 3.12: MPPT akış şeması

Güneş panelinin, elektriksel eşdeğer devresi; ışınımına bağlı bir akım kaynağı, bu akım kaynağına paralel bağlı diyot ile direnç ve tüm bunlara seri bağlı direnç (bkz. Şekil 2.3) ile modellenmiştir (Twidell ve Weir 2006). Güneş paneli modelinden görülebileceği üzere iç empedans esas olarak bir diyottan oluşur.

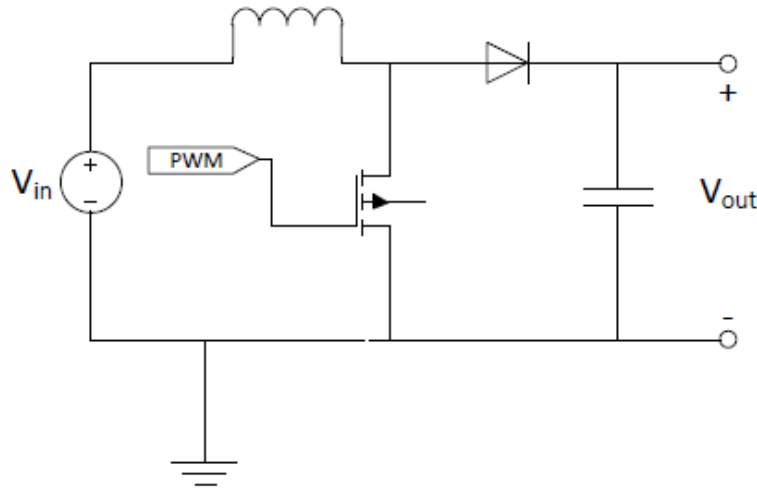
İç empedans ideal çalışma noktasını belirlemektedir ve diyot doğrusal olmayan bir devre elemanıdır, bu yüzden bir güneş panelinin I-V karakteristiği doğrusal değildir. Görülebileceği gibi (bkz. Şekil 2.4), PV karakteristiği belirli bir gerilimde maksimuma sahiptir. Bu gerilim maksimum güç noktası (MPP) olarak bilinir.

Bir güneş panelinin MPP'si çeşitli faktörlere, yani ışınım miktarına, sıcaklığa ve panelin gölgelenmesine bağlıdır. Tüm bu faktörler MPP'nin seviyesi üzerinde bir etkisi vardır. Bu

nedenle, bir güneş panelinin MPP'si sürekli değişir ve maksimum güç çıkışını elde etmek için bir maksimum güç noktası izleme (MPPT) gerekmektedir.

DC-DC dönüştürücü (Boost dönüştürücü), giriş DC gerilimini başka bir DC gerilimine dönüştürür. Kullanılan dönüştürücü, pilleri şarj etmek için gereken gerilim, fotovoltaik panelin çıkış geriliminden daha yüksek olduğu için bir destek dönüştürücüsüdür. Aşağıdaki Şekil 3.13, boost dönüştürücüsünün şemasını gösterir. Boost dönüştürücüde bulunan üç ana bileşen; indüktör, mosfet anahtarlama cihazı ve diyottur. Anahtar açıkken, kaynaktan gelen akım indüktörü şarj eder. Anahtar kapatıldığında, indüktörde depolanan enerji kaynağa eklenir ve böylece çıkış gerilimini artırır. Giriş ve çıkış gerilimi arasındaki oranın belirlenmesi gerekir bu görev PWM döngüsüyle Şekil 3.13'teki devre ile elde edilir. İdeal bir anahtarlama cihazı durumunda ve kayıplar ihmal edildiğinde, $V_{Giriş}$ ve $V_{Çıkış}$ arasındaki oran denklem 3.17 ile hesaplanabilir. Bu formülde, D PWM işaretinin görev döngüsünü temsil eder ve 0 ile 1 arasında bir değere sahiptir. Denklem 3.17'de görüldüğü gibi, $V_{Çıkış}$ görev döngüsü arttıkça artar. MPPT'nin çalışma noktasını ayarlamak için bu özelliği kullanacağız.

$$\frac{V_{Çıkış}}{V_{Giriş}} = \frac{1}{1 - D} \quad (3.17)$$



Şekil 3.13: Boost dönüştürücü devresi

MPPT denetleyicisi, MPP'yi bulmak için algoritmayı yürütür. Kontrolörün girişi, güneş panelinin ölçülen çıkış gerilimi ve akımıdır. Bu değer, çıkış geriliminin ve akımın gerçek değeri değildir, ancak gerçek değer 0 ile 5 V arasında bir değere dönüştürülmüştür. Bu girdilere dayanarak, algoritma hesaplamalarını gerçekleştirir. Kontrolörün çıkışı, DC-DC dönüştürücünün anahtarlama cihazını kullanan PWM'nin ayarlanmış görev döngüsüdür. Farklı bir görev döngüsü farklı bir çalışma noktasına neden olur. Bu hesaplamalara ek olarak, kontrolör ayrıca ölçülen çıkış gerilimini ve akımını belirler. Bu değerler, ne kadar enerjinin üretildiğini izlemek ve sistemdeki hataları tespit etmek için kullanılır.

3.2.2. Kontrolör Topolojisi

MPPT'nin tasarım adımları belirledikten sonra denetleyicinin içinde bulunan işlevlerin bilgisine sahip olmamız gerekiyor. Denetleyicinin önemli iki işlevi vardır ve bunlar; analog-sayısal dönüştürücü ve PWM dönüştürücüdür.

Analog-sayısal dönüştürücünün (ADC) ana görevi, güneş panelinin çıkış gerilimini ve akımını temsil eden ve denetleyicinin hesaplamalarını gerçekleştirebileceği ikili sayılara dönüştüren 0 ila 5 V arasındaki giriş işaretlerini ölçmektir. Bu ölçümler ve dönüşümler mümkün olduğunca doğru olmalıdır, çünkü yanlış ölçümler ve dönüşümler MPP'nin yanlış izlenmesine neden olabilmektedir. Ayrıca kullanılan ADC çözünürlüğünün artması daha hassas ölçüm sonuçlarını bulmamızı sağlayacaktır, böylece daha doğru gerilim değerleri ve daha verimli bir MPPT'ye olanak sunacaktır.

PWM dönüştürücü, DC-DC dönüştürücünün çıkış gerilimini, çıkış yükünden bağımsız olarak nominal gerilimde tutmak için kullanılır. Geleneksel bir DC-DC dönüştürücüde, çıkış gerilimi yükteki değişikliklere göre değişir. Değişen yüklerin neden olduğu etkiyi geçersiz kılmak için, PWM jeneratör çıkış gerilimini çıkışa bağlı yükün değerine göre düzeltir.

3.3. MPPT Yöntemlerinin Avantajları ve Dezavantajları

3.3.1. Değiştir ve Gözle ile Artımlı İletkenlik Yöntemleri

Değiştir ve gözle yöntemi ile artımlı iletkenlik yöntemi MPP'yi bulmak için P-V karakteristiği üzerinde adımlar atan yöntemlerdir. Bu yöntemlerin ikisi de yerel bir maksimumu küresel bir maksimumdan ayırt edemedikleri ve hızla değişen ışınlama koşullarında MPP'yi izleyemeyecekleri dezavantajına sahiptir. Avantajları ise karmaşıklıklarının düşük olması ve verimliliklerinin diğer MPPT izleme yöntemleri ile karşılaştırılabilir olmasıdır. İki yöntemi de uyarlanabilir hale getirerek yakınsama hızı arttırılıyor ve böylece verimlilikleri de artıyor.

3.3.2. Bulanık Mantık Yöntemi

Bulanık mantık yöntemi, bir sonraki çalışma noktasına karar vermek için ye işlevlerini ve kural çizelgesini kullanır. Bulanık mantık kontrolünün dezavantajı, ayarlanması ve yüksek verimlilik elde etmek için sistem hakkında çok fazla bilgiye ihtiyaç duyulmasıdır. Bu dezavantaj, uyarlanabilir hale getirilerek aşılabilir. Ancak, bu çok yüksek bir karmaşıklık anlamına gelmektedir. Bulanık mantık kontrolünün avantajı ise P&O ile IC yöntemlerinden biraz daha yüksek verimliliklerin elde edilebilmesidir, ancak bu daha yüksek bir karmaşıklık oluşturacak ve maliyetin artmasına sebep olacaktır.

3.3.3. Akım Süpürme Yöntemi

Akım süpürme yöntemi, mevcut çalışma koşullarında güneş panelinin I-V karakteristiğini elde eder. Buna göre I-V karakteristiğine dayanarak, MPP'yi bulabilir. Bu yöntemin dezavantajı, akım süpürme sırasında g çıkışının azaltılmasıdır. Ayrıca, karmaşıklık yüksek ve yakınsama hızı yavaştır. Yöntemin avantajı, genel bir maksimum bulabilmesidir. Bu nedenlerden dolayı, mevcut süpürme yöntemi MPP'yi sürekli izlemek için kullanılmamalıdır, ancak diğer yöntemlerin tamamlayıcısı olarak kullanılmalıdır.

3.3.4. Açık Devre Gerilimi (OCV) Yöntemi

OCV yöntemi, MPP'yi izleyebilmek için sistemin elektrik parametrelerine ihtiyaç duymaktadır. Bu yöntemin dezavantajı, bu tekniğin gerçek MPP sağlamamasıdır. Buna ek olarak, kısmi gölgeleme altında güvenilir değildir. Ayrıca, açık devre gerilimi algoritmaları gücü elde etmek için yükü ayırır, bu da bir açık devreye neden olur. Böylece bazı güç kaybı meydana gelir.

3.3.5. Kısa Devre Akımı (SCC) Yöntemi

SCC yöntemi, OCV tekniğine çok benzerdir. Bu yöntemde kısmi gölgelendirme sorunlara neden olabilir, çünkü birden fazla yerel maksimum görünebilir. Böylece güç kaybını önlemek için k_i , PV gerilimini açık devreden kısa devreye periyodik olarak süpürerek güncellenir. OCV ile SCC yöntemlerinin ikisinde de oluşan güç kaybından dolayı modifiye edilmiş açık devre gerilim yöntemi ile kısa devre akım yöntemi geliştirilerek güç kaybını en aza indirilmiştir.

Modifiye açık devre gerilimi ve modifiye kısa devre akımı yöntemlerinde, oluşacak enerji kaybını önlemek için pilot hücreler seçilir. Ölçümler gerçek PV dizisi içindeki hücrelerden aynı özelliklere sahip küçük bir güneş hücresinde alınır. Bu nedenle, PV sisteminin her an bağlantısının kesilmesine gerek kalmamaktadır. Burada önemli olan kısım seçilecek olan pilot hücrelerin gerçek güneş hücrelerine mümkün olduğunca benzer olmasıdır.

3.3.6. Beta (β) Yöntemi

Beta yöntemi, P&O ve IC yöntemleri gibi geleneksel yöntemdir, temelde aynı sorunu paylaşır: sürekli durum ve geçici yanıt arasındaki değiş tokuştur. Beta yöntemi, P&O ve IC yöntemlerinin yanında MPP'ye destek olarak uyarılırken, izlemenin ilk adımlarında değişken bir görev oranı adımı boyutuna dayandığından önerilmektedir. Beta modelinde iki farklı parçası bulunur. İlk olarak, Beta parça bloğu değişken adımın gerekip gerekmediğini veya başka bir şekilde sabit adımın gerekip gerekmediğini belirlemek için hesaplanır ve P&O ile IC parça bloğu etkinleştirilir. Bununla birlikte, Beta kontrolü

değişken atmosferik koşullar altında çalışabilmelidir. Beta yöntemi, modifiye P&O ve IC yöntemlerinin daha doğru bir şekilde gerçekleştirildiği ışınlama varyasyonları haricinde MPP'nin diğer yöntemlere göre daha iyi izlenmesini sağlar. Bu nedenle beta yöntemi her koşulda altında çalışabilir ama uygulaması karmaşıktır.

3.3.7. Yapay Sinir Ağı (ANN) Yöntemi

Yapay sinir ağı yöntemi merkezi sinir sistemine dayanır. Bu teknik, karmaşık ve doğrusal olmayan işlevlerle modellenen ve ağırlıkları (w_i) PV sisteminin giriş ve çıkışlarını bir süre inceleyerek belirlenen bir dizi elektrik nöronuna dayanmaktadır. ANN genellikle üç katmandan oluşur; giriş kısmı, gizli ve çıkış katmanları ve düğüm sayısı kısmıdır. ANN yönteminin avantajları arasında PV sistem parametrelerini tam olarak bilmeden çok doğru bir MPPT sağlayabilen bir yöntem olduğudur. Bununla birlikte, her ANN, uygulandığı tam PV dizisine göre ve ayrıca periyodik olarak ayarlanmalıdır, çünkü atmosferik koşullardaki varyasyonlar, PV dizisinin davranışında değişikliklere neden olmaktadır.

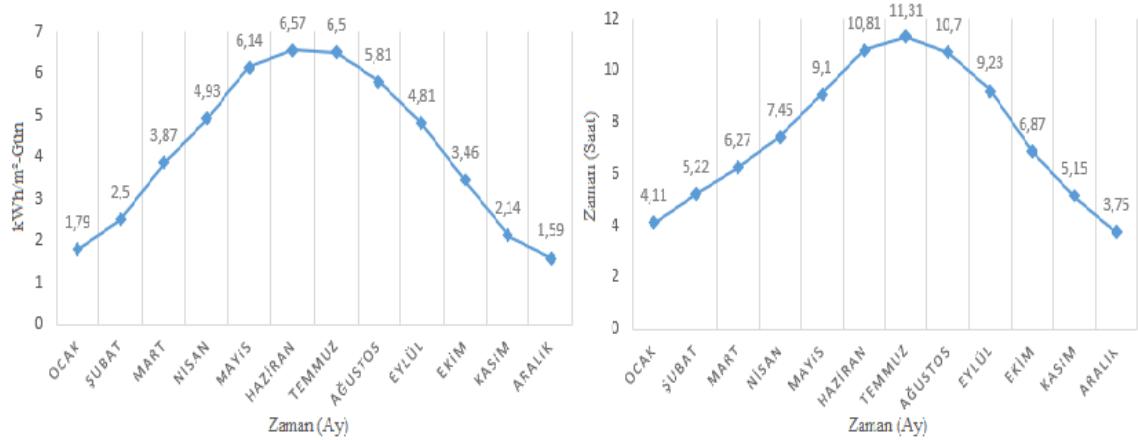
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

GES sisteminin verimliliği panellerin yapısına, eğim açlarına, gelen ışınımın şiddetine, sıcaklığına, yüzeylerinin tozlanmasına, ayrıca ortamdaki rüzgârın hızına, nem oranına, kurulan sistemden kaynaklanan kayıplar gibi birçok faktöre bağlıdır. Aslında GES'i etkileyen iki çeşit etmen vardır. Panel yüzeyine gelen ışınım şiddeti, panellerin sıcaklığı, panellerin gölgeleme oranı ve panellerin kirlenme oranı GES'ler için çevresel faktörler olarak kabul edilir. Çevresel faktörler bulunduğu bölgedeki yerel koşullarla ilgilidir. Bazı kayıp faktörleri de sistemi tasarımı aşamasındaki GES'in kurulumu ile ilgilidir. Bunlar ise panel yapısı, panellerin eğim açıları ile sistem kayıplarıdır. Çevresel faktörlerden kaynaklanacak verim düşüşü MPPT yöntemleri sayesinde en aza indirilebilmektedir. Bu bölümde çevresel faktörlerin neler olduğundan ve MPPT yöntemlerinin verimliliğe ne kadar olumlu etki yapacağı incelenmektedir.

4.1. Güneş Pillerinin Verimine Etki Eden Parametreler

4.1.1. Güneş Işıma Şiddetinin Verime Etkisi

PV sistemlerde güneş ışınımı panel verimi üzerinde en büyük etkiye sahiptir. Orta yükseklikte dağlık bölge için toplam yıllık ortalama güneşlenme süresi İEİ tarafından 2735 saat (günlük toplam 7,49 saat); yıllık toplam ışınım şiddeti 1523 kWh/m² (günlük toplam 4,17 kWh/m²) olarak belirtilmiştir. Şekil 4.1'de orta yükseklikte dağlık bölgeye ulaşan ortalama aylık ışınım şiddeti ile aylık güneşlenme süreleri belirlenmiştir.



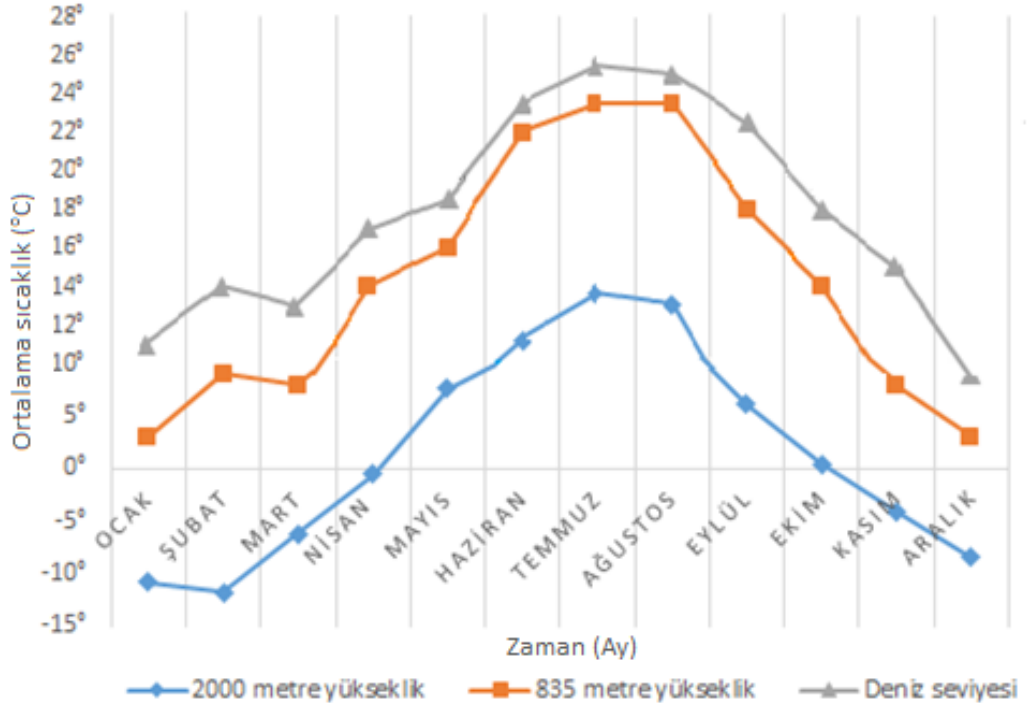
Şekil 4.1. Orta yükseklikte dağlık bölgenin aylık ışınım şiddeti ile güneşlenme süresi

Deniz seviyesine göre yüksekliğin artması ile yer yüzeyine ulaşan güneş enerjisinin miktarı da artmaktadır. Güneş pilleri güneş ışı nım şiddetine göre (bkz. Şekil 2.5) farklı çıkış gücü elde etmektedirler. Genellikle her 1.000 metre yükseklikte güneş enerji miktarı %9-%11 artmaktadır. GES'in kurulacağı bölge olan orta yükseklikte dağlık bölgenin konumunun yüksek olması da verimlilik için olumlu etki yapacaktır.

Ayrıca fotovoltaik panel verimini kısmi gölgeleme durumu önemli ölçüde değiştirebilir. Kısmi gölgeleme durumunda; gölgenin düştüğü paneldeki kısa devre akımı sıfır olmaktadır. Fotovoltaik sistem tarafından üretilen akım gölgelemiş olan hücrenin üzerinden akmaktadır. Fotovoltaik sistemin toplam çıkış gerilimi, gölgeli hücreden dolayı azalacak ve farklı verim tepeleri meydana gelecektir. Bu yüzden bölgenin gölgelemeye maruz kalıp kalmayacağı nın belirlenmesine dikkat edilmelidir. Gölgeleme sorununun olduğu bölgelerde MPPT yöntemlerinin kullanılması daha uygundur. MPPT, fotovoltaik panelin gerilim ve akımını yükten bağımsız olarak kontrol ederek güç noktası izleme işlemini gerçekleştirmektedir. Bu sebeple MPPT ile fotovoltaik panellerin maksimum güç noktasında sürekli çalışması sağlanabildiği için kısmi gölgelemenin olduğu bölgelerde en iyi performansı sağlamaktadır.

4.1.2. Sıcaklığın Verime Etkisi

PV panellerin verimi sıcaklıktan olumsuz etkilenmektedir. Üretilen paneller 25°C sıcaklık, 1,5 AM hava kütle katsayısı ve 1.000 W/m² güneş radyasyonu bulunan ortamda test edilir. PV paneller üzerinde sıcaklığın oluşmasının sebebi panellerin veriminin %100 olmamasıdır, bundan dolayı verime dönüştürülemeyen enerji ısıya dönüşmektedir. Panellerin ısınması gerilimi oldukça azaltmaktadır (bkz. Şekil 2.5). Şekil 4.2.'de Bursa yöresinde aynı konumda bulunan farklı rakımlardaki bölgelerin aylık ortalama sıcaklıkları belirlenmiştir.



Şekil 4.2. Aynı konumda bulunan farklı rakımlardaki bölgelerin aylık sıcaklık ortalaması

Şekil 4.2'deki bulgulara göre en yüksek sıcaklık ortalamasına sahip bölgenin deniz seviyesi olduğu ve yüksek sıcaklığın panel verimine olumsuz etki etmesinden dolayı en az verimle çalışacak panellerin deniz seviyesinde bulunan panellerin olduğu sonucuna varılmıştır. Uzun vadede ise yüksek sıcaklık miktarlarının güneş panellerinin ömrüne yapacağı olumsuz etki hesaplandığında deniz seviyesinde bulunan panellerin 835 metre yükseklikte bulunan güneş panellerine göre ömürlerinin %10 daha az olacağı tespit edilmiştir.

Sıcaklığın güneş pili verimine anlık etkisi aşağıdaki gibi ölçülmüş ve hesaplanmıştır:

835 metre yükseklikte bulunan 265W gücündeki polikristal güneş pillerinin verimi %16,2'dir. Çıkış gücüne sıcaklık etkisi yaklaşık olarak (P_m): $-0,00398 \text{ } 1/^\circ\text{C}$ kabul edilmektedir. Havanın en sıcak olduğu zaman olan 12.00'de ortam sıcaklığı 32°C , güneş pili sıcaklığı da $49,9^\circ\text{C}$ 'dir. Güneş pili verimi hesabı;

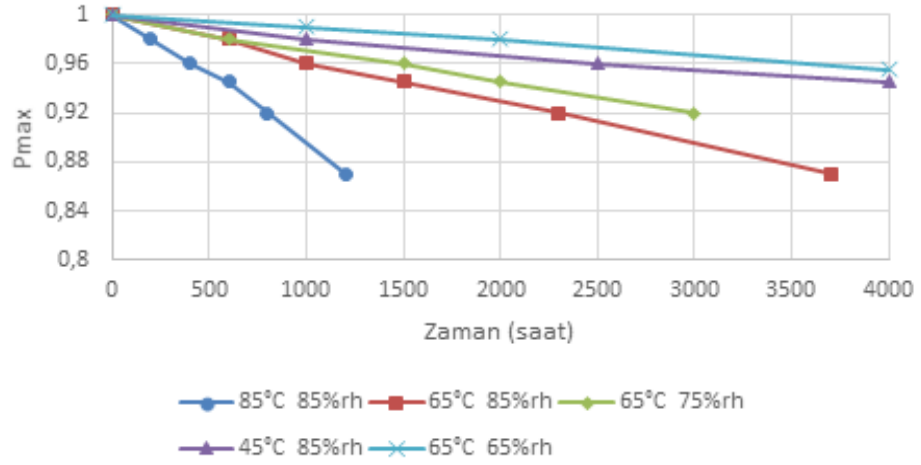
Güneş pilinin gücü $(1 - P_m (\text{güneş pili sıcaklığı} - \text{ortam sıcaklığı})) = 265\text{W} (1 - 0,00398 (49,9-32)) = 246,12\text{W}$ olacak yani güneş pili verimi de %15,04 seviyesine düşmektedir.

Sıcaklığın düştüğü durumlarda ise sıcaklığın etkisi ters etki yapacak ve verimi arttıracaktır. Güneş pilleri için ideal olan, sıcaklığın az ve güneş radyasyonunun çok olduğu koşullardır (Anonim 2017).

4.1.3. Rüzgâr, Nem, Tozlanma ve Yağış Etkisi

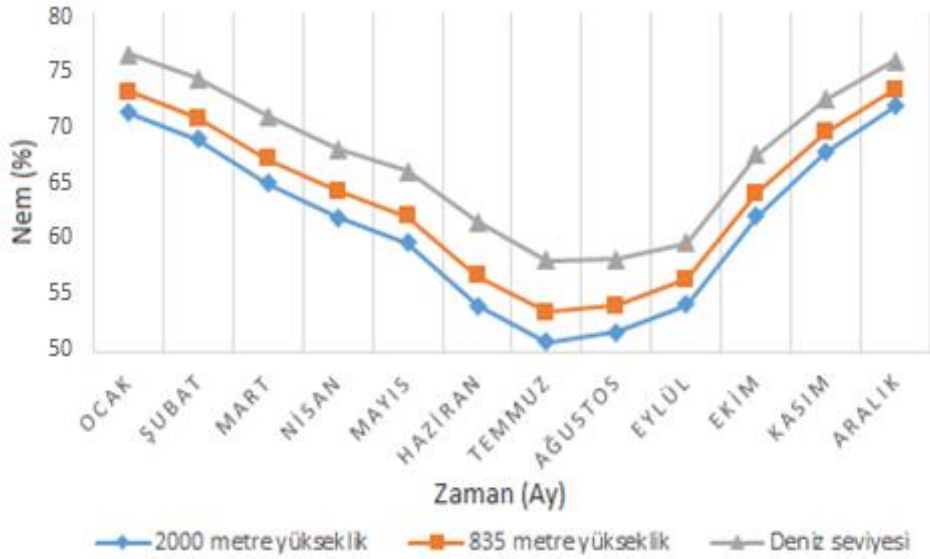
PV panelin verimliliği ortamda bulunan nem oranına, rüzgâr hızına, panellerin tozlanmasına ve kurulacak bölgedeki yağış miktarına göre de değişmektedir. Bu sebepten santralin kurulacağı bölgenin coğrafi koşulları sistem verimliliği açısından oldukça önemlidir. Söz konusu bölge için Meteorolojik Veri İşlem Dairesi Başkanlığı Veri Kontrol ve İstatistik Şube Müdürlüğü İstatistik Birimi'nin verileri incelenmiştir. Kurulum yapılacak bölgenin ortalama rüzgâr hızı 1.8 – 2,3 m/s olduğu tespit edilmiştir. Bölgede rüzgârın hızı ile rakım yüksekliğinden kaynaklanan düşük hava sıcaklığı bir arada düşünüldüğünde fotovoltaik panellerin verimliliğine olumsuz yönde etki eden sıcaklık sorununu yok etmek için ekstra önlem almaya gerek kalmamaktadır. Paneller tozlanmadan dolayı da verim kaybı yaşamaktadır. Tozlanmadan kaynaklanan verim kaybı tozun cinsi ile en son düşen yağmurdan sonra geçen zamana ve temizlik programına bağlıdır. Bölgenin kurulduğu bölge şehirden uzak olması sebebiyle havada bulunan toz miktarı bakımından temizdir. Bitki örtüsü ise bozkır olduğu için diğer bitki örtülerine sahip bölgelere kıyasla polenden kaynaklanan tozlanma miktarı daha az olacaktır. Ayrıca bölgeye yıllık ortalama 600-650 mm yağmur düşmekte olup yağışlar daha çok polenler gibi bahar aylarında görülmektedir. Tüm bu koşullar göz önüne alındığında bölgede panellerin tozlanması neredeyse yok denecek kadar az olacaktır. Bölgenin yıllık ortalama kar ile örtülü gün verileri ise 4,04 – 17,4 gün arasındadır. Bu oran denize kıyısı olmayan bölgelere göre ülkemiz şartlarında iyi sayılabilmektedir (Anonim 2016).

Bölgenin bir başka önemli seçilme sebebi ise bölgenin nem oranıdır. Atmosferde bulunan nem miktarı arttığında güneş ışınımının etkisini azaltmaktadır. Orta yükseklikte dağlık bölge Bursa yöresinde en az nem oranına sahip bölgelerdendir. Nem ile sıcaklığa bağlı olarak güneş panellerinin çıkış gücü Şekil 4.3'ten de görüleceği üzere olumsuz etkilenmektedir.



Şekil 4.3. Nem ve sıcaklığın çıkış gücüne etkisi (Twidell ve Weir 2006)

Santralin kurulduğu bölge olan orta yükseklikte dağlık bölgenin 1 yıl boyunca aylık ortalama nem konsantrasyonu Şekil 4.4.'te gösterilmiştir. GES'nin kurulacağı orta yükseklikte dağlık bölgede nem oranı %62,8 – %66,6 aralığında bulunmaktadır (Anonim 2018b).



Şekil 4.4. Aynı konumda bulunan farklı rakımlardaki bölgelerin aylık ortalama nem konsantrasyonu miktarı

Şekil 4.4'teki sonuçlara göre havada en fazla nem konsantrasyonuna sahip bölgenin deniz seviyesi olduğu ve havada bulunan nemin, güneş ışınımının güneş panellerine ulaşımına yapacağı olumsuz etkiden dolayı en az verimle çalışacak panellerin deniz seviyesinde bulunan paneller olduğu sonucuna varılmıştır. Nem zamanla güneş panellerinin yapısına

etki ederek güneş panellerinin ömrünü azaltmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucu, 835 metre yükseklikte bulunan güneş pillerinin ömrünün deniz seviyesinde bulunan güneş pillerinin ömründen %5,6 daha uzun olacağı ve 2000 metre yükseklikte bulunan güneş pillerinin ömrünün deniz seviyesinde bulunan güneş pillerinin ömründen %7,8 daha uzun olacağı sonucuna varılmıştır.

4.1.4. Sistem Kayıpları

Sistem kayıplarının olmasının sebepleri arasında panellerin uyumsuzluğu, kablo kayıpları, invertör kayıpları vb. sebepler vardır. Fotovoltaik paneller, birbirlerine seri ve paralel şekilde bağlanarak invertörün girişine istenen seviyede DC gerilim ve akım vermektedir (bkz. Şekil 2.1). Tüm panellerin güçlerinin toplamı sistem oluşturulduktan sonraki güçlerin toplamından büyüktür. Aradaki fark sistemin verimine bağlıdır. Ayrıca panellerin I-V çıkışlarında ideal uyum yoktur. Bu üretim ve malzeme kaynaklı olabilir. Bu yüzden sistemde kullanılan panellerin birbirleriyle olan uyumluluğuna dikkat edilmelidir.

Santral kurulurken kabloların seçimi de çok önemlidir. Kablolar akım taşıma kapasitesi ve gerilim düşümü hesabı yapılarak belirlenmektedir. Gerilim düşümü hesabı bilgisi aşağıda verilmiştir.

1 fazlı (220 V) sistemler için;

$$\epsilon(\%) = \frac{200 I P}{\chi q V^2} = \frac{2 \cdot 10^5 I P}{56 q 220^2} = 0,074 \frac{I P}{q}$$

3 fazlı (380 V) sistemler için;

$$\epsilon(\%) = \frac{100 I P}{\chi q U^2} = \frac{10^5 I P}{56 q 380^2} = 0,0124 \frac{I P}{q}$$

$\epsilon[\%]$ =Gerilim Düşümü (yüzde) q =İletken kesiti (mm^2)

P =Aktif Güç (kW) χ =Öz iletkenlik ($\text{m}/\Omega\text{mm}^2$)

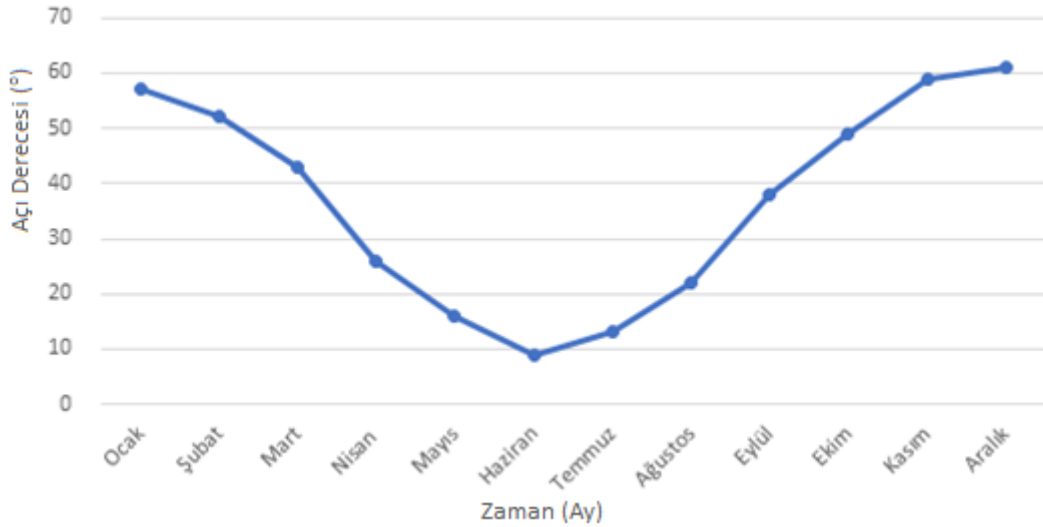
U =Faz arası Gerilim (V)
 l =Hat Uzunluğu (m)

$\chi(\text{Cu})=56 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$
 $\chi(\text{Al})=35 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$

İnvertörlerden kaynaklanan kayıplar ise invertörün geriliminde DC-AC dönüştürme sırasında oluşan kayıplardır. İnvertörler, dönüştürme işlemi sırasında verimde genellikle %0,3- %1 arasında bir azalma meydana getirmektedir. Bu yüzden invertör seçimi de çok önemlidir (Henze ve ark. 2009).

4.1.5 Azimut Açısının Verime Etkisi

Kuzey yarımkürede bulunan Ülkemizdeki PV panellerin yüzey azimut açıları sıfır olacak şekilde güneye dönük yatay biçimde yerleştirilmesi sistem verimliliği için daha uygun olmaktadır. PVGIS tarafından orta yükseklikte dağlık bölge için panellerin ortalama aylık ve saatlik optimum eğim açıları tespit edilmiştir. Bu tespit yapılırken gün içindeki farklı saatlerde eğim açısı değerleri göz önünde tutulmuştur ve Şekil 4.5'te her ay için optimum eğim açısı belirlenmiştir. Daha sonra da panel eğim açısının her ay ayarlanabilmesinin zor olacağı düşünülerek yıllık optimum eğim açısı (GES bölgesi için, $\alpha=32^\circ$) belirlenmiştir.



Şekil 4.5. Orta yükseklikte dağlık bölgenin aylık optimum panel eğim açıları

Şekil 4.5'teki sonuçlar ile aylık eğitim açısı kontrolü olan sistemin, yıllık eğitim açısı kontrolü olan sisteme göre kış aylarında yaklaşık %5, yaz aylarında yaklaşık %20'lik bir kazanç farkı oluşturduğu tespit edilmiştir (Anonim 2018b).

4.1.6. MPPT Yöntemlerinin Karşılaştırılması

MPPT yöntemlerinin her birinin avantajları ile dezavantajları bölüm 3.3'te belirlenmiştir. Belirlemelere göre MPPT yöntemleri arasında üç farklı özellikte karşılaştırma yapılmış olup Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

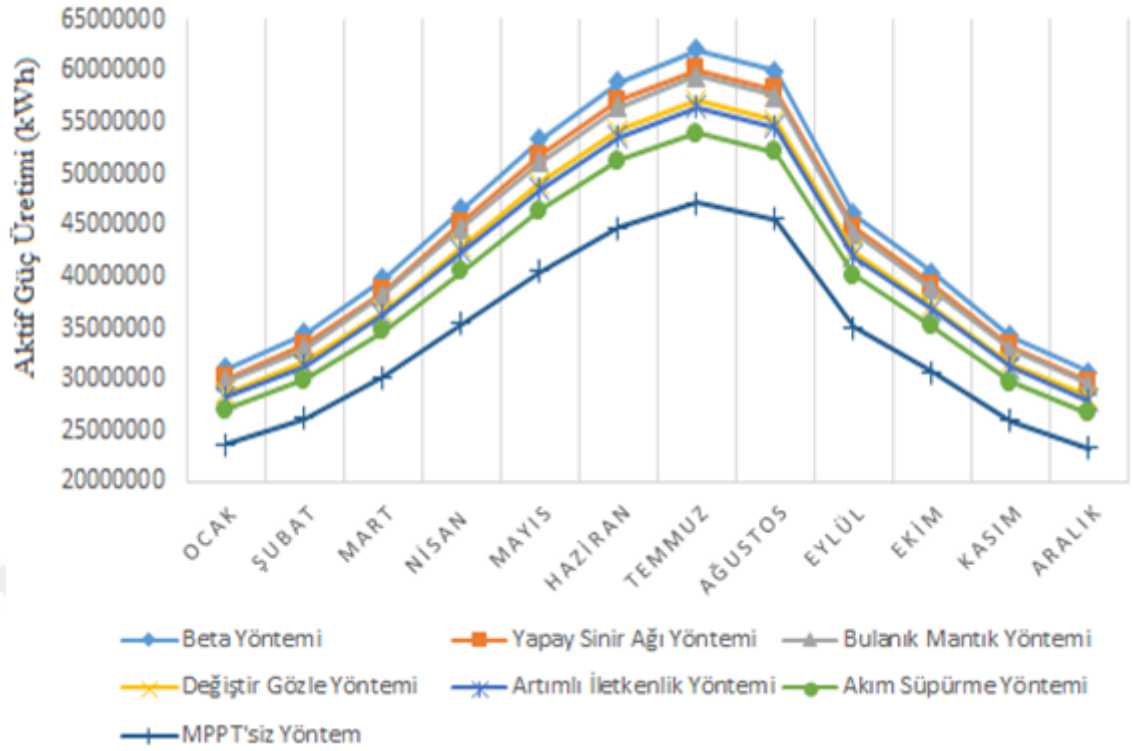
Çizelge 4.1: MPPT yöntemlerinin karşılaştırılması

MPPT Yöntemi	Hızlı Değişen Işınım Seviyesi Tepkisi	Kısmen Gölge Durum Tepkisi	Karmaşıklık ve Maliyet Miktarı
Değiştir ve Gözle	Orta	Orta	Az
Artımlı İletkenlik	Orta	Orta	Az
Bulanık Mantık	İyi	İyi	Çok
Akım Süpürme	Kötü	Kötü	Çok
Açık Devre Gerilimi	Kötü	Kötü	Az
Kısa Devre Akımı	Kötü	Kötü	Az
Beta	Çok İyi	Çok İyi	Çok
Yapay Sınır Ağı	İyi	İyi	Az

Not: Seviyeler 'Çok Kötü: 0-%40, Kötü: %41-%60, Orta: %61-%80, İyi: %81-%90, Çok İyi: %91-%100' ve 'Az: 0-%70, Çok: %71-%100' aralığındadır.

Çizelge 4.1'de elde edilen bilgilere göre hızlı değişen ışınım seviyelerine ve kısmen gölge şartlarda en hızlı ve doğru cevabı veren MPPT yönteminin beta yöntemi olduğu, lakin beta yönteminin karmaşıklığı ve maliyetinin de yüksek olduğu tespit edilmiştir.

GES'in kurulacağı bölgede MPPT yöntemi olmadan kurulacak sistem ile MPPT yöntemleri kullanılarak yapılacak sistemlerin verimliliklerinin tespiti Şekil 4.6'da yapılmıştır.



Şekil 4.6. MPPT kullanılmayan sistem ile MPPT yöntemleri kullanılarak yapılan sistemlerin karşılaştırılması

Şekil 4.6'da bir yıl boyunca GES'in her ay üreteceği aktif enerji miktarı bulunmuş olup bulunan sonuçlara göre en verimli MPPT yönteminin beta yöntemi olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca yapay sinir ağları yöntemi ile bulanık mantık yöntemlerinin de verimlerinin yüksek olduğu belirlenmiştir. Beta yöntemi kullanılarak tasarlanan GES'in, MPPT yöntemi kullanılmadan tasarlanan GES'e göre %31,5 daha fazla verim ile çalışacağını tespit edilmiştir.

5. SONUÇ

Güneş ışınımından elektrik enerjisini üreten materyallere güneş pilleri denilmektedir. Güneş pillerinin laboratuvar ortamında verimlilikleri üretim tekniğine bağlı olarak maksimum seviyededir ve ömürleri de sınırsızdır. Lakin güneş pilleri ortam koşullarından olumsuz etkilenebilmektedir. Bu yüzden doğal koşullarda güneş pillerinin verimlilik seviyeleri araştırılmıştır. Güneş pilinin verimliliği; güneş ışınım miktarına, güneş pilinin sıcaklığına, güneşin gelme açısına, tozlanma miktarına ve nem miktarına bağlı olarak değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Tüm bu etkenlerden dolayı güneş enerji sisteminin kurulacağı bölgenin özelliklerinin önceden araştırılması oldukça önemlidir. Bursa yöresinde aynı enlemde fakat farklı rakım seviyelerinde bulunan üç bölgenin sıcaklıkları ve nem konsantrasyonları karşılaştırılmıştır. Orta yükseklikte dağlık bölgede bulunan güneş pilinin ortam sıcaklığının maksimum seviyede olduğu zamandaki güneş pili veriminin %16,2'den %15,04 seviyesine düşeceği belirlenmiştir. Yani orta yükseklikte dağlık bölgede sıcaklıktan dolayı verim düşüklüğü az miktarda olmaktadır. Nem konsantrasyonu olarak deniz seviyesinde bulunan bölgenin nem oranının diğer bölgelere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiş olup deniz seviyesinde bulunan güneş pillerinin orta yükseklikte bulunan güneş pillerine oranla ömrünün %5,6 daha az olacağı ve 2000 metre yükseklikte bulunan güneş pillerine oranla da ömrünün %7,8 daha az olacağı sonucuna varılmıştır. Güneş ışınım miktarı ise orta yükseklikte dağlık bölgede yükseltiden dolayı deniz seviyesine oranla daha fazla olmaktadır. Orta yükseklikte dağlık bölgenin güneş ışınım miktarı 2000 metre yükseklikteki bölgeye göre daha az olacaktır, lakin 2000 metre yüksekliğin maruz kaldığı UV ışın miktarının çok yüksek olması güneş pillerinin ömrünü olumsuz yönde etkileyecek ve bu sebeple uzun vadede güneş pillerinin verimliliği düşünüldüğünde orta yükseklikte dağlık bölgede bulunan güneş pillerinin verimliliği daha fazla olacaktır. Güneş pillerinin güneş ışınımına göre olması gereken azimut açısı hem yıllık (32°) hem de aylık (bkz. Şekil 4.5) olarak tespit edilmiştir. Aylık olarak ayarlanan güneş pillerinin yıllık olarak ayarlanacak güneş pillerine oranla kış aylarında yaklaşık %5, yaz aylarında ise yaklaşık %20 oranında daha fazla ışınım elde edeceği belirlenmiştir.

Günümüz dünyasında doğal koşullardan olumsuz etkilenen güneş pillerinden maksimum verimi sağlayabilmek için MPPT yöntemleri kullanılmaktadır. MPPT yöntemlerinin neler

olduğu belirlenmiş ve belirlenen MPPT yöntemleri üzerinde araştırmalar yapılmış olup yöntemlerin hangi durumlarda birbirlerine göre daha iyi ya da daha kötü sonuçlarının olduğu tespit edilmiştir (bkz. Çizelge 4.1). Sonuçlara göre sekiz adet farklı MPPT yöntemlerinin içerisinde en yararlı olacak MPPT yönteminin beta yöntemi olduğu sonucuna (bkz. Şekil 4.6) varılmıştır. Beta yönteminin hızlı değişen işınım seviyesine karşı diğer yöntemlere oranla daha hızlı ve daha doğru sonuçlar verebileceği, kısmen gölgeli durumlarda da üreteceği enerji miktarının maksimum güç seviyesine daha yakın sonuçlar verebileceğinin tespiti yapılmıştır. Beta yönteminin anlaşılabilirlik açısından iyi olmadığı ve sistemin kurulum maliyeti açısından da uygun olmadığı tespit edilmiş olsa da verime yapacağı olumlu katkılar göz önünde bulundurulduğunda MPPT yöntemleri içinde en yararlı olacak yöntemin beta yöntemi olduğu sonucuna varılmıştır. Beta yöntemini kullanılan güneş enerji sistemi ile MPPT yöntemi kullanılmayan güneş enerjisi sistemi karşılaştırılmış ve beta yönteminin MPPT yöntemi kullanılmayan sisteme oranla %31,5 daha fazla aktif güç ürettiği bilgisine ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Agarwal, S., & Jamil, M. 2015.** A comparison of photovoltaic maximum power point techniques. Annual IEEE India Conference, India.
- Anonim, 2016.** Meteorolojik Veri İşlem Dairesi Başkanlığı-Veri Kontrol ve İstatistik Şube Müdürlüğü İstatistik Birimi, Yıllık Toplam Yağış Verileri, Rüzgâr Yön ve Hızı, Hava Kirliliği.
- Anonim, 2017.** Solar radyasyonun ölçülmesi. Güneş enerjisi föy 1, Kırklareli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Kırklareli.
- Anonim, 2018a.** Yenilenebilir enerji. <http://www.eie.gov.tr/mycalculator/default.aspx> - (Erişim tarihi:14.09.1018)
- Anonim, 2018b.** Fotovoltaik tahmini. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> - (Erişim tarihi:14.09.1018)
- Anonim, 2019.** Güneş pili verimliliği. <https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/solar-cell-efficiency> - (Erişim tarihi:21.02.1019)
- Ardağ, Y. 2012.** Güneş pili karakteristiklerinin incelenmesi. *Yüksek lisans tezi*, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Baş, H.C. 2016.** Fotovoltaik sistemlerin performans değerlendirmesi. *Bitirme tezi*, Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Karabük.
- Boztepe M. 2017.** Fotovoltaik güç sistemlerinde verimliliği etkileyen parametreler, EMO İzmir Şubesi Aylık Bülteni, İzmir.
- Chapman, P.L., ESRAM, T. 2007.** Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques. IEEE Transactions on Energy Conversion, U.S.A.
- Çalışkan, E. 2011.** Fotovoltaik sistemler için DSP temelli güneş çeviricisi tasarımı ve uygulaması. *Yüksek lisans tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demir, O. 2002.** Güneş pilleri, *Seminer*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Dunn, L., Gostein, M., Stueve B. 2013.** Literature review of the effects of UV exposure on PV modules. Atonometrics, Inc, U.S.A.
- Eltawil, M.A., Zhao, Z. 2013.** MPPT techniques for photovoltaic applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Egypt.
- Ermis, M., Bodur, M. 1994.** Maximum power point tracking for low-power photovoltaic solar panels. In 7th Mediterranean Electrotechnical Conference, Turkey.
- Gemicioğlu, A.G. 2011.** Türkiye’de enerji verimliliği açısından PV sistemlerin performansının değerlendirilmesinde kullanılabilecek bir yaklaşım. *Yüksek lisans tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hatkar, C., Hatkar, R. 2014.** Study Of Maximum Power Point Tracking Algorithms And Identification Of Peak Power Using Combined Algorithm For Photovoltaic System, India.
- Henze N., Sahan B., Koirala B. (2009).** Study on MPP Mismatch losses in Photovoltaic Applications, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg.
- Huang, Y.P., ve Hsu, S.Y. 2016.** A performance evaluation model of a high concentration photovoltaic module with a fractional open circuit voltage-based maximum power point tracking algorithm. Computers & Electrical Engineering. Taiwan.

- Huelsmann, P. Weiss, K.A., Köhl, M. 2012.** Temperature-dependent water vapour and oxygen permeation through different polymeric materials used in photovoltaic modules. *Progress in Photovoltaics: Res. Appl.*, U.S.A.
- Jordan D.C., Kurtz S. R. 2012.** Photovoltaic degradation rates - An analytical review, U.S.A.
- Karamanav, M. 2007.** Güneş enerjisi ve güneş pilleri. *Yüksek lisans tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Karimov K. S. ve ark. 2005.** A simple photovoltaic tracking system, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Pakistan.
- Knopf, H. 1999.** Analysis, simulation and evaluation of maximum power point tracking methods for a solar powered vehicle. *Master's degree*. Portland State University, U.S.A.
- Köse E. 2015.** Güneş pillerinin enerji dönüşüm kalitesini etkileyen önemli faktörlerin değerlendirilmesi. VI. enerji verimliliği, kalitesi sempozyumu ve sergisi, Sakarya.
- Li, X., Wen, H., Zhao, C. 2015.** Improved Beta parameter based MPPT method in Photovoltaic system. 9th International Conference on IEEE, South Korea.
- Morales, D.S. 2010.** Maximum power point tracing algorithms for photovoltaic applications. *Master's thesis*, Aalto University, Finland.
- Beyit, O., Dervişoğulları Ş. 2008.** Güneş Pilleri ve Güneş Enerji Sistemleri, Kıbrıs Türk Elektrik Mühendisleri Birliği, Kıbrıs.
- Özçelik, S. 2016.** Fotovoltaik (PV) teknolojileri, Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi, Ankara.
- Özdemir, S. 2007.** Fotovoltaik sistemler için mikrodenetleyicili en yüksek güç noktasını izleyen bir konvertörün gerçekleştirilmesi. *Yüksek lisans tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Quintana, M.A. ve ark. 2002.** Conference record of the 29th IEEE photovoltaic specialists conference, New Orleans, U.S.A.
- Reisi, A.R., Moradi, M.H., Jamasb, S. 2013.** Classification and comparison of maximum power point tracking techniques for photovoltaic system: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Iran.
- Ropp, M.E., Hohm, D. P. 2000.** Comparative study of maximum power point tracking algorithms using an experimental, programmable, maximum power point tracking test bed. In *Conference Record of the Twenty-Eighth IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, U.S.A.
- Saner, H.S. 2015.** Türkiye'de güneş enerjisi santrallerinin yer seçimi ve çevresel etkileri: arapınar ve Karaman Enerji İhtisas Endüstri bölgeleri örneklerinin değerlendirilmesi. *Yüksek lisans tezi*, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Soufi, Y. ve ark. 2014.** Maximum Power Point Tracking using Fuzzy Logic Control for Photovoltaic Systems, U.S.A.
- Twidell, J., Weir T. 2006.** Renewable energy resources. - Second edition, Taylor & Francis Group, London and New York, America.
- Viana, M.M. ve ark. 2018.** The causes and effects of degradation of encapsulant ethylene vinyl acetate copolymer (EVA) in crystalline silicon photovoltaic modules: A review. Brazil.

EKLER

EK 1

Orta yükseklikte (835 metre yükseklikte) dağlık b6lgede bulunan Orhaneli G6neş Enerji Santrali fotoğrafları



G6neş enerji santrali



G6neş enerji santralinin invert6rleri



Güneş enerji santralinin trafo merkezi

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Volkan BAŞAY
Doğum Yeri ve Tarihi : Orhaneli – 1988
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : T.S.Y. Anadolu Lisesi 2006
Lisans : Bülent Ecevit Üniversitesi
Elektrik Elektronik Mühendisliği 2012
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi
Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Daiichi Arge A.Ş. 2018
İletişim (e-posta) : volkanbasay@hotmail.com
Yayımları* :

Başay, V., Akyüz, C., Yılmaz, G. 2018. Uludağ çevresinde ormanlık ve orta yükseklikte dağlık bölgelerde kurulan güneş enerjisi santralının verimliliğini belirleyen etkenler. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 24 Sayı 1, Bursa.

Başay, V., Eken, R., Yılmaz, G. 2019. Orta yükseklikte dağlık bölgelerde kurulan güneş enerjisi santralinde fotovoltaik modüllerin yaşlanmasının araştırılması. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Bursa.