

T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ SANTRALLERİNDE VERİM ARTTIRMA TEKNİKLERİ

YILDIRIM ÖZÜPAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MALATYA

HAZİRAN 2016

Tez Başlığı: Güneş Santrallerinde Verim Arttırma Teknikleri

Tezi Hazırlayan: Yıldırım ÖZÜPAK

Sınav Tarihi: 29.06.2016

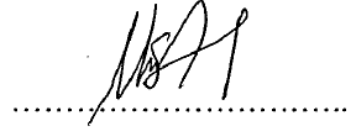
Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Elektrik-Elektronik Mühendisliğ Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jüri Üyeleri

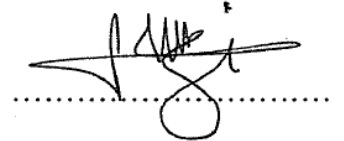
Tez Danışmanı **Prof. Dr. Mehmet Salih MAMIŐ**
İnönü Üniversitesi



Üye **Prof. Dr. Müslüm ARKAN**
İnönü Üniversitesi



Üye **Yrd. Doç. Dr. Fevzi HANSU**
Siirt Üniversitesi



İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. Alaattin ESEN

Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında sunduğum “Güneş Santrallerinde Verim Arttırma Teknikleri” başlıklı bu çalışmanın tarafımdan yazıldığını bilimsel ahlak geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Yıldırım ÖZÜPAK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ SANTRALLERİNDE VERİM ARTTIRMA TEKNİKLERİ

Yıldırım ÖZÜPAK

İnönü Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

73+XIV sayfa

2016

Danışman: Prof. Dr. Mehmet Salih MAMİŞ

Fosil yakıtların sınırlı olması, çevreyi kirletmesi ve iklim değişikliğine yol açması nedeniyle alternatif enerji kaynaklarından biri olan fotovoltaik sistemler (PV) ile elektrik üretimi üzerine araştırma ve geliştirme çalışmaları son yıllarda oldukça yoğunlaşmış ve birçok güneş enerji santrali kurulmaya başlanmıştır. Bu doğrultuda güneş enerji santrallerindeki kayıpları azaltmak ve bu santrallerden maksimum verimlilik elde etmek için çalışmalar önem kazanmıştır.

Bu tezde güneş panellerinde verimi etkileyen yöntemler; Güneş Takip Sistemi (GTS), sıcaklık etkisi, tozlanma etkisi deneysel olarak incelenmiş ve sistemden yüke maksimum güç aktarımını sağlayan çeşitli Maksimum Güç Noktası Takip sistem (MGNT) yöntemlerinin performans üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Güneş takip sisteminde gün içerisinde farklı açılarla yeryüzüne ulaşan güneş ışınımının açıları bir takip edici yardımıyla belirlenerek, tespit edilen bu açılarla panellerin konumlandırılması sağlanmıştır. Bu şekilde Dünya'nın doğu-batı ekseninde günlük hareketi sonucu oluşan ışınımın yön değiştirmesinin güneş enerji sistemi üzerindeki zayıflatıcı etkileri azaltılmıştır. Bu sistem, PV panellerinin bir MATLAB simülasyon modeli oluşturulmuş ve PV panel çıkışına MGNT kontrol ünitesi eklenerek MGNT ile çıkış gücü kontrol edilmesi sağlanmış ve MGNT kontrol ünitesi sayesinde panelin çıkışından yüke aktarılan gücün maksimum noktada olması sağlanmıştır.

Çalışma kapsamında fotovoltaik yapılarda verimliliği azaltan yukarıda belirttiğimiz önemli unsurların güneş takip sistemi ve maksimum güç noktası takip sistemi ile minimal seviyelere çekilmesiyle bu sistemlerin elektriksel etkinlikleri artırılmıştır. Paneldeki yüksek sıcaklık ve panel yüzeyindeki tozlanmanın da panellerin verimliliğindeki azaltıcı etkisi ortaya çıkarılmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER: PV, Güneş Tkip Sistem (GTS), Maksimum Güç Noktası Takip Sistemi (MGNT), MMN, Güneş Paneli, DC/DC Dönüştürücü, MATLAB/Simulink.

ABSTARCT

M. Sc. Thesis

EFFICIENCY IMPROVEMENT IN SOLAR POWER STATIONS

Yıldırım ÖZÜPAK

İnönü University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering

73+XIV pages

2016

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet Salih MAMİŞ

Due to limited potential of fossil resources and climate change as a result of pollution in environment photovoltaic (PV) systems has been gained more importance as an alternative energy source and many power plants has been built in recent years. To reduce the losses and to achieve maximum efficiency in solar power plants work in this direction has gained importance.

In this thesis, the methods that affect the efficiency of solar panels; Solar Tracking System (STS), temperature and pollution effects are examined experimentally and the impact of various Maximum Power Point Tracking (MPPT) methods enable the maximum power transfer to the load on the performance of system is investigated. The angle of solar radiation reaching the Earth at different angles during the day in the sun tracking system is detected by a tracker and positioning of the panel is done in this respect. Thus, weakening effect on the system due to the change in the direction of radiation in east-west axis as a result of the world's daily action is reduced. A MATLAB simulation model is constructed for the system. The output power is controlled by connecting an MPPT control unit to the output of PV panels and maximum power is delivered to the load from the output of the panel.

By applying solar tracking and maximum power point tracking, the effect of above discussed features are minimized and the efficiency of photovoltaic systems the efficiency has been increased. The effects of panel surface dusting and temperature on reducing the efficiency of is examined.

KEYWORDS : PV ,MPP,STS,DC/DC Converter, Matlab/Simulink, Maximum power point tracking, Maximum Power Point, Solar Cell..

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında yardım, öneri ve desteğini esirgmeden beni yönlendiren; bilgi ve birikimlerini bana aktaran ve değerli zamanını ayıran danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet Salih MAMİŞ'e;

Fotovoltaik sistemlerde maksimum güç noktası takibi sistemi adlı 2013/04 nolu proje kapsamında bize destek veren imkan sağlayan İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetimi birimine;

Sistemin Montajı ve kurulumu ve diğer teknik çalışmalar esnasında bizden desteğini esirgemeyen Tekniker Erdem ERDEM Bey'e;

Benden hiçbir konuda yardımını esirgemeyen değerli arkadaşım Yavuz SAV'a;

Yüksek Lisans Eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerini bizlerle paylaşan Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölüm Başkanlığında görev yapan öğretim üyelerine;

Beni her zaman destekleyen, Lisans eğitimim boyunca ve Yüksek Lisans çalışmalarım süresince de benden desteklerini esirgemeyen değerli abilerime;

teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. VERİM ARTTIRMA TEKNİKLERİ.....	5
2.1. Maksimum Güç Noktası Takip Sistemi.....	5
2.1.1. Değiştir-Gözle Metodu	6
2.1.2. Artan İletkenlik Metodu.....	8
2.1.3. Sabit Gerilim Metodu	9
2.1.4. Sabit Akım Metodu.....	10
2.2. Şebeke Bağlantılı Bir PV Sistemdeki Kayıplar	12
2.2.1. Işıma Kayıpları	13
2.2.1.1. Panel Açısı	13
2.2.1.2. Spektral Etki	13
2.2.1.3. Yansımalar	13
2.2.1.4. Gölge Etkisi	14
2.2.1.5. Panel Yüzeyindeki Tozlanma ve Karlanmanın Etkisi	17
2.2.2. Sistem Özelliklerinin Kayıpları	17
2.2.2.1. PV Hücre Teknolojisi	17
2.2.2.2. Işıma Etkisi	18
2.2.2.3. Sıcaklık Etkisi	19
2.2.2.4. Kablolar	21
2.2.3. İnverter Etkisi	21
2.2.3.1. DC/AC Çevrimin Verim Etkisi.....	21
2.2.3.2. Güç Sınırlanmasının Etkisi	21
2.2.3.3. MGNT Etkisi	22
2.3. Güneş Takip Sistemleri.....	23
2.3.1. Panellerin Sabit Eğim Açısıyla Yerleştirilmesi	23
2.3.2. Sabit Panellerin Yansıtıcılarla Birlikte Kullanımı	24
2.3.3. Güneş Panellerinin Tek Eksende Hareket Edebilir Şekilde Yerleştirilmesi.....	25
2.3.4. Güneş Panellerinin Çift Eksende Hareket Edebilir Şekilde Yerleştirilmesi.....	26

2.3.5. Güneş Takip Kontrolörleri.....	27
2.3.6. Kontrol Yöntemine Göre Takip Sistemleri.....	28
2.3.6.1. Pasif Kontrol.....	28
2.3.6.2. Aktif Kontrol.....	29
3. GÜNEŞ PİLLERİ VE KULLANILAN TOPOLOJİ.....	31
3.1. Güneş Pili Eşdeğer Devresi.....	31
3.2. Güneş Pili Karakteristiği.....	32
3.3. Güneş Pili Üretim Teknolojisi.....	33
3.3.1. Kristal Silisyum Güneş Pilleri.....	33
3.3.2. Ribbon Silisyum Güneş Pilleri.....	33
3.3.3. Polikristal Silisyum Güneş Pilleri.....	33
3.3.4. İnce Film Güneş Piller.....	33
3.3.5. Amorf Silisyum Güneş Pilleri.....	34
3.3.6. Diğer Yapılar.....	34
3.4. Işınım ve Sıcaklığın Etkisi.....	34
3.5 İstenen Güç ile Üretilen Güç Arasındaki Uyumsuzluğun Giderilmesi.....	35
3.6. Dönüştürücü Karakteristiği ve Yük Eşleştirme.....	37
3.6.1. Boost Topolojisi.....	37
3.6.1.1. Topolojinin Genel Yapısı.....	37
3.6.1.2. Çıkış Gerilimi Değeri.....	38
3.6.1.3. Kapasite ve Endüktans Değerleri.....	39
3.6.1.4. Yük Direnci Değeri.....	39
3.6.2. Buck Topolojisi.....	40
3.6.2.1. Topolojinin Genel Yapısı.....	40
3.6.2.2. Çıkış Gerilimi Değeri.....	41
3.6.2.3. Kapasite ve Endüktans Değerleri.....	41
3.6.2.4. Yük Direnci Değeri.....	41
3.6.3. Buck – Boost Dönüştürücü Karşılaştırılması.....	41
3.6.4. Yük Eşleştirme.....	43
4. BENZETİM VE DENEYSEL SONUÇLAR.....	44
4.1. Sistemin Kurulması.....	44
4.1.1. Panelin Yüzey Temizliğinin Verimliliğe Etkisi.....	46
4.1.2. Sıcaklığın PV Panelin Verimine Etkisi.....	48
4.1.3. Güneş Takip Sisteminin PV Panelin Verimliliğine Etkisi.....	50

4.2. MGNT için MATLAB Benzetim Uygulaması	56
4.2.1. PV Sistemin MGNT Olmadan Çalışması	56
4.2.2. PV Sistemin MGNT Varken Çalışması	59
4.2.3. Uygulama Sonuçlarının Karşılaştırılması	60
5. SONUÇLAR.....	62
KAYNAKLAR.....	64
EKLER	67
ÖZGEÇMİŞ.....	73

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. MGNT varken ve MGNT yokken elde edilen güçlerin karşılaştırması [4]	5
Şekil 2.2. Değiştir-gözle algoritması akış diyagramı [4].....	6
Şekil 2.3. P&O MGN'den uzaklaşma hatası [5]	7
Şekil 2.4. Artan iletkenlik akış diyagramı [9]	9
Şekil 2.5. Sabit gerilim algoritması akış diyagramı [9].....	10
Şekil 2.6. Sabit akım algoritması akış diyagramı [10]	11
Şekil 2.7. Bir PV sistemdeki kayıplar [10].....	12
Şekil 2.8. Dört farklı Güneş paneline ait spektrum tepkiler [10]	13
Şekil 2.9. Kristal Silisyuma ait güneş pilinin tabakalarına ait özellikler.....	14
Şekil 2.10. Bir meskenin damındaki gölgeleme [12]	15
Şekil 2.11. Güneş panellerine ait gölgeden kaynaklanan farklı ışınım değerleri için Güç-Gerilim grafiği [12]	16
Şekil 2.12. Sabah saatlerinden itibaren gölgeleme maruz kalan bir sistemin Yerel ve Evensel MGN'leri [12]	16
Şekil 2.13. Güneş hücrelerine ait 9 adet katalogun spektral verileri [15]	19
Şekil 2.14. PV sistem için farklı ortam koşullarında güç-gerilim karakteristikleri [16]	20
Şekil 2.15. Tipik bir inverter toplam verim eğrisi [23]	22
Şekil 2.16. Güneş panelinin sabit açı ile yerleştirilmesi [27]	23
Şekil 2.17. PV panel verimlerinin eğim açısına bağlı olarak aylık göreceli değerleri [28].....	24
Şekil 2.18. Sabit panellerin yansıtıcı ile birlikte kullanımı [29].....	24
Şekil 2.19. PV panellerin tek ekseninde dönebilir şekilde yerleştirilmesi [29].....	25
Şekil 2.20. PV panel için sabit açılı panelin açıları [30]	25
Şekil 2.21. Panellerin çift ekseninde hareket edebilir şekilde yerleştirilmesi [31].....	26
Şekil 2.22. Sabit panellerin ve güneşe göre konumlandırılan hareketli panellerin mevsimsel enerji çıktıları [31]	27
Şekil 2.23. Hareketli fotometre [33].....	27
Şekil 2.24. Gölgelemeli fotometre [33]	28
Şekil 2.26. Aktif kontrol sistemi [33].....	29
Şekil 3.1. Güneş pili eşdeğer devresi [34]	31
Şekil 3.2. Güneş piline ait I-V ve P-V grafiği [34].....	32
Şekil 3.3. Işınımın I-V ve P-V eğrisine etkisi [35].....	35
Şekil 3.6. PV modülün değişken direnç ile bağlanması	35

Şekil 3.7. I-V eğrisinin değişik direnç değerlerinde simülasyonu [37]	36
Şekil 3.8. Boost topolojisi [38]	37
Şekil 3.9. Boost topolojisi dalga formları [38]	38
Şekil 3.10. Buck topolojisi	40
Şekil 3.11. Buck topolojisi dalga formları [38]	40
Şekil 3.12. Topoloji verimlerinin karşılaştırılması	42
Şekil 3.13. PV tarafından görülen empedans	43
Şekil 4.1. Deneyde kullanılan sistemin simülatörü	44
Şekil 4.2. Deneyde kullanılan pano	45
Şekil 4.3. Yüzeyi temiz panel çıktıları	47
Şekil 4.4 Yüzeyi 10g tozla kaplı panel çıktıları.....	47
Şekil 4.5. Tozlanmanın panelin çıkış gücü üzerindeki etkisi.....	48
Şekil 4.6. Isıtılan panel çıktıları.....	49
Şekil 4.7. Normal panel çıktıları.....	49
Şekil 4.8. Isının panelin çıkış gücü üzerindeki etkisi	50
Şekil 4.8. Güneş takip sisteminin bağlı olduğu panel çıktıları	51
Şekil 4.9. Güneş takip sisteminin bağlı olmadığı panel çıktıları	51
Şekil 4.10. Güneş takip sisteminin panelin çıkış gücü üzerindeki etkisi.....	52
Şekil 4.11. Kısmi gölgeli panel ait çıktıları	54
Şekil 4.12. Gölgesiz panele ait çıktıları	54
Şekil 4.13. Gölgelemenin panelin çıkış gücüne etkisi.....	55
Şekil 4.14. PV sistem için MATLAB simülasyonunda kullanılan devre	57
Şekil 4.15. MGNT olmadan yapılan ilk uygulama sonuçları	58
Şekil 4.16. MGNT olmadan yapılan ikinci uygulama sonuçları	58
Şekil 4.15 ve 4.16'dan görüldüğü üzere ışıma miktarının düşmesinin PV sistemin çıkış akımında azaltıcı bir etki oluşturmuştur. Bu durum güç kaybına verim düşümüne neden olmaktadır.....	58
Şekil 4.17. uygulamada kullanılan MGNT kontrol ünitesi	59
Şekil 4.19. MGNT kullanılarak yapılan ikinci uygulamanın akım ve güç grafikleri.....	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Türkiye'ye ait Güneş Enerjisi potansiyeli aylık ortalama değerleri (EİE) [2].....	2
Çizelge 1.2. Türkiye'ye ait yıllık Güneş Enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [2]	2
Çizelge 2.1. Değiştir-gözle değişim verileri.....	7
Çizelge 4.1. Projede kullanılan mevcut makine-teçhizat listesi	46
Çizelge 4.2. Güneş Takip Sisteminin panellerin çıkış güçleri üzerindeki etkisinin karşılaştırılması.....	52
Çizelge 4.3. Güneş panelinin üzerine düşen gölge miktarı ve kaybedilen gücün yüzdesi	53
Çizelge 4.3. PV paneline ait elektriksel değerler.....	56
Çizelge 4.4. Farklı ışıma durumları için sonuçların karşılaştırılması.....	61

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler Açıklama

dk	Dakika
D	Doluluk Oranı
EJ	Exa Joule
f	Frekans
I	Akım
J	Joule
K	Boltzman Sabiti($1,38 \times 10^{-23}$ Joule / °K)
kJ	Kilo Joule
kW	KiloWatt
kWh	Kilowatt saat
m²	metrekare
MVA	Mega Voltamper
MW	Megawatt
P	Güç
q	Elektron yükü ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Coulomb)
R	Direnç
s	Saniye
T	Sıcaklık
t	Süre
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TWh	Terrawatt saat
V	Voltaj
W	Watt
π	Pi Sayısı (3,14)
Ω	Ohm

Kısaltmalar Açıklama

DiE	Devlet İstatistik Enstitüsü
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
STS	Solar Taakip Sistemi

MGNT

Maksimum Güç Noktası Takibi

OECD

İktisadi Kalkınma ve İşbirliği Örgütü

PV

Fotovoltaik Pil

UPA

Uygulama Programı Arabirimi

GTS

Güneş Takip Sistemi

PO

Performans Oranı

MGN

Maksimum Güç Noktası

1. GİRİŞ

Fosil yakıtların hızlı tüketilmesi, kısıtlı olması, çevreyi kirletmesi ve iklim değişikliğine neden olması sebebiyle günümüzde somut önlemler alınması gerekliliği ülkeleri yenilenebilir enerji kaynakları kullanımına yöneltmiştir. Çevre kirliliği nedeniyle ekonomik değerlendirmeler sonucunda ucuz ve temiz enerji elde etme fikri yenilenebilir enerji kaynakları alanında çalışmalar ciddi anlamda hız kazanmıştır. Özellikle son yıllarda Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme alanında yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretimi çok büyük önem kazanmıştır. Güneş ve rüzgâr yenilenebilir enerji kaynaklarından en yaygın olanlarıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının, mümkün olan en yüksek düzeyde kullanımını bir tercih olmaktan çıkıp bir zorunluluk haline geldiği herkesçe kabul edilen bir gerçektir. Son 25 yılda gerek rüzgâr enerjisi gerekse PV yöntemle elektrik enerjisi elde edilmesi konusunda, gelen talebin de etkisi ile önemli teknolojik gelişmeler yaşanmıştır. Türkiye iklim kuşağı olarak bu kaynaklar yönünden zengin olmasına rağmen, toplam enerji üretimi içerisinde bu kaynaklarla enerji üretimi miktarı dünya ortalamasının çok altındadır. Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) 2009-2015 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi; EİE tarafından ışınım miktarı verilerinden yararlanarak yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin yıllık güneşlenme süresi 2641 saat (günlük toplam 7.3 saat) ortalama toplam ışınım miktarının 1310 kWh/m²-yıl (günlük ışınım miktarı 3.66 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir [1]. Türkiye güneş enerji potansiyelinin aylara göre güneşlenme süresi değerleri ise Çizelge 1.1'de sunulmuştur. Güney Doğu Anadolu Bölgesi Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi takip etmektedir. Güneşlenme süresi ve enerjisi potansiyeli değerlerinin bölgelere göre dağılımı da Çizelge 1.2'de sunulmuştur. Ama daha sonra yapılan çalışmalar sayesinde bu değerlerin Türkiye'nin gerçek güneşlenme potansiyelinden daha az olduğu ortaya çıkmıştır. EİE ve DMİ 1992 yılından bu yana güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı bir şekilde ölçülmesi amacıyla güneş enerjisi ölçümleri yapmaktadırlar. Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, eski değerlere oranla Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin %20-25 kadar daha fazla olacağı tahmin edilmektedir. Güneş enerji sistemlerinin iki ana problemi bulunmaktadır. Özellikle ışınım miktarının düşük olduğu şartlarda elektrik enerjisi çevrim verimi düşüktür (% 9-21) ve Güneş hücreleri tarafından elde edilen çıkış gücü hava şartlarına bağlı olarak sürekli bir değişkenlik göstermektedir [2].

Çizelge 1.1. Türkiye'ye ait Güneş Enerjisi potansiyeli aylık ortalama değerleri (EİE) [2]

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ
	(Kcal/cm ² -ay)	(KWh/m ² -ay)	(Saat/ay)
OCAK	4.45	51.75	103
ŞUBAT	5.44	63.27	115
MART	8.31	96.65	165
NİSAN	10.51	122.23	197
MAYIS	13.23	153.86	273
HAZİRAN	14.51	168.75	325
TEMMUZ	15.08	175.38	365
AĞUSTOS	13.62	158.4	343
EYLÜL	10.6	123.28	280
EKİM	7.73	89.9	214
KASIM	5.23	60.82	157
ARALIK	4.03	46.87	103
TOPLAM	112.74	1311	2640
ORTALAM	308 cal/cm²-gün	3.6 kWh/m²-gün	7.2 saat/gün

Çizelge 1.2. Türkiye'ye ait yıllık Güneş Enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [2]

BÖLGELER	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m ² -yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

Önemli bir alternatif enerji kaynağı olan güneş enerjisinden direkt elektrik enerjisi üreten sistemler oldukça yeni olmasına rağmen ısıtma ve sıcak su elde etmek amacıyla çok eski tarihlerden bu yana Güneş enerjisinden yararlanılmaktadır. Güneş pilleri olarak adlandırılan bu dönüştürücü sistemler başlangıç olarak uzay çalışmaları için geliştirilmiş; daha sonra şebekeden bağımsız olan, deniz fenerleri, gözetleme kuleleri, telekomünikasyon istasyonları gibi güç üretim merkezine uzak olan yerlerde enerji ihtiyacını karşılamak üzere kullanılmaya başlanmıştır [3]. Güneş enerjisi sistemleri ile şebekeden bağımsız halde herhangi bir yük beslenebildiği gibi enterkonnekte sisteme bağlanmak suretiyle de enerji üretimi yapabilmektedir. Güneş hücresi yapılarının kurulum maliyetlerinin yüksek, verimlerinin düşük olması nedeniyle birim enerji fiyatı, enterkonnekte sistemden alınabilecek enerjinin birim enerji fiyatından daha pahalıdır. Bu olumsuz durumu gidermek için yani PV sistem yapılarında verimliliğin artırılması için günümüzde birçok metod geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam edilmektedir.

Güneş hücreleri foton enerjisini kullanarak güneş ışımından elektrik enerjisi elde ederler. Bu yapılarda elde edilen elektriksel çıkış panel tarafından emilen güneş ışınımı miktarı ile doğru orantılıdır. Dünyanın günlük hareketinden dolayı güneş ışınları gün içerisinde farklı açılarla yeryüzüne ulaşmaktadır. Bundan dolayı PV sistemin maksimum verimlilikle çalışmasını sağlamak ve elektrik enerji çıktısı elde etmek için güneş ışınlarını takip eden bir sistem kullanılmaktadır. Güneş ışınımını takip edip ışınımlardan maksimum seviyede yararlanmayı amaçlayan bu sisteme güneş takip sistemi (GTS) denmektedir [3].

Güneş hücreleri doğru akım üreten yapılar olup hücrelerin akım-gerilim seviyeleri bu hücrelerin birbirine seri veya paralel bağlanması ile değiştirilebilir. Güneş paneli, birden çok güneş hücresinin birbirleriyle seri veya paralel bağlanmasıyla oluşturulmuş yapıya denilmektedir. Güneş panellerinden güneş ışınımının olmadığı zaman dilimlerinde enerji elde edilemediğinden ve bu zaman dilimlerinde sistemin enerji devamlılığının sağlanması için gün içerisinde üretilen ihtiyaç fazlası enerjinin depolanması gerekmektedir. Akümülatörler elektrik enerjisinin depo edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. İhtiyaç fazlası enerjinin depolanması esnasında akümülatörler yük gerilimlerinde çalışmaya zorlandığından, akümülatörlere güneş panellerinden maksimum güç aktarımı yapılamamaktadır [3].

Bu çalışmada güneş enerji santrallerinde verimliliği etkileyen unsurlar incelenmiş ve güneş santrallerinde verimliliği arttırmaya yönelik teknikler üzerinde durulmuştur. Güneş enerji santrallerini oluşturan bileşenlerde görülmesi muhtemel yapısal, tasarımsal ve çevreden kaynaklanan sistem kayıpları üzerinde durulmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde; maksimum güç noktası takibi (MGNT) algoritmaları ve güneş enerji santrallerinin verimliliğini arttırmaya yönelik teknikler üzerinde durulmuştur ve bu konuyla ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu bölümde PV panellerinin bir MATLAB simülasyon modeli oluşturularak PV panel çıkışına MGNT kontrol ünitesi eklenmiş ve MGNT'nin çıkış gücü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca güneş enerji santrallerinin dahilinde bulunan modüllere düşen ışınım, gölgelenme, tozlanma, yansıma, spektrum, sıcaklık, uyumsuzluk, DC kablo kayıpları, inverter, AC kablo kayıpları gibi kayıplar incelenmiş ve literatür araştırması yapılarak bu kayıpların verimliliğe etkisi açıklanmıştır. Güneş takip sistemleri ve bu takip sistemlerinin eksenel kontrolleri üzerinde durulmuştur.

Çalışmanın üçüncü bölümünde; PV panellerin çalışma ilkesi ve karakteristikleri üzerinde durulmuştur ve güneş pilinin sayısal modeli elde edilmiştir. Ayrıca kullanılan dönüştürücüler ve karakteristikleri ve yük eşleştirmeleri üzerinde durulmuştur.

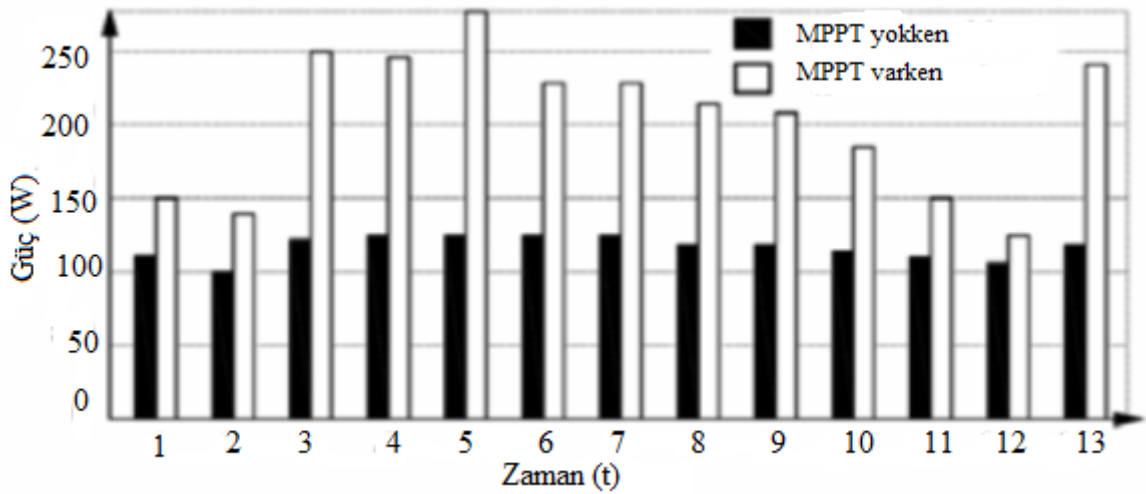
Çalışmanın dördüncü bölümünde; güneş takip sisteminin (hareketli ve hareketsiz sistemin) verimlilik üzerindeki etkisini araştırmak için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Güneş takip sisteminin bağlı olduğu bir panel ve güneş takip sisteminin bağlı olmadığı hareketsiz bir panel karşılaştırılarak bu iki panelin verimliliğe etkisi, kurulan deney düzeneği ve deney sonuçları verilmiştir. Kurulan sistemde ayrıca ısı ve tozlanma etkisinde incelenmiş ve bu iki etkenin verimliliğe etkisi ile ilgili veriler elde edilmiş ve grafiğe aktarılmıştır.

Son bölümünde tez çalışmasından çıkarılan sonuçlar ve daha sonra yapılacak akademik çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. VERİM ARTTIRMA TEKNİKLERİ

2.1. Maksimum Güç Noktası Takip Sistemi

MGNT PV panel çıkışındaki güç dönüştürücüsünün denetim yapısıdır. Güneşin verebileceği enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülebilme oranları PV panel verimini ifade eder. Bu oran kullanılan Güneş pilinin kalitesine ve yapısına bağlı olarak %16-21 civarında değişmektedir. Fakat pillerin karakteristik özelliğinden dolayı akım gerilim oranı dengelenmediğinde bu verim oranı düşmektedir. Bunun için kısıtlı enerjiyi etkili bir şekilde yüke aktarmak araştırmacıların ve yatırımcıların ilgi odağı haline gelmiştir. MGNT kontrol tekniği güneş panellerinin daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayan bir metottür. Bu metod panelden elde edilen gücün en yüksek olduğu noktayı yakalayan bir denetim yapısıdır. Işıma, sıcaklık, PV panel eğimi, PV panel yaşlanması gibi çevresel şartlar ve yapısal özellikler bu noktayı değiştirebilmektedir. Bu işlemi gerçekleştirebilmek için denetim mekanizması denetim tekniğine bağlı olarak PV panel değişkenlerini değerlendirip güç dönüştürücüsünün referansını gücün en yüksek olduğu noktaya ulaşmayı sağlayacak şekilde değiştirir. MGNT kontrol mekanizması sayesinde elde edilen çıkış gücü kontrolsüz olarak elde edilen güce oranla %45'ler civarında artırılabilir [4].



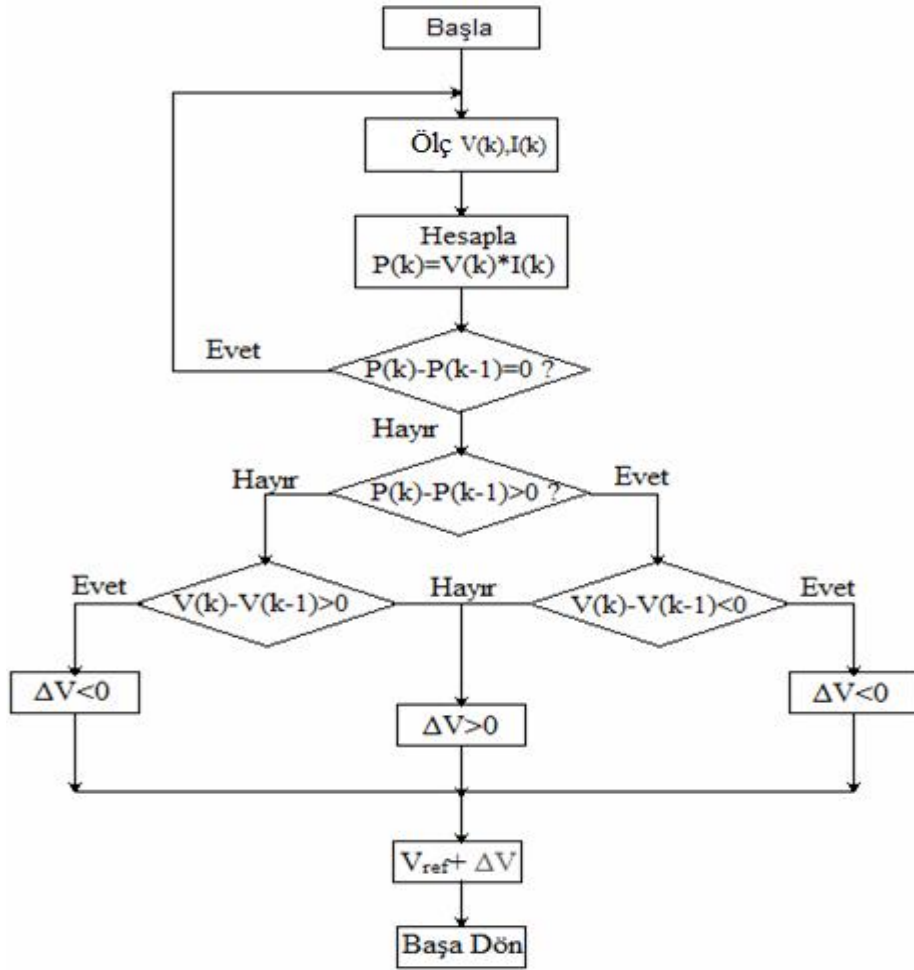
Şekil 2.1. MGNT varken ve MGNT yokken elde edilen güçlerin karşılaştırması [4]

Elde edilen güç, ışınım ve sıcaklığa bağlı olarak yalnızca uygun akım-gerilim değerinde en yüksek değere ulaşır. Farklı çevre şartları için günümüzde birçok MGNT denetim tekniği kullanılmaktadır. Bu denetim teknikleri “*dolaylı denetim*” ve “*doğrudan denetim*” olarak iki ana grupta ele alınabilir. Dolaylı denetim tekniğinde PV panelin çıkış gücü sürekli olarak hesaplanmaz. Burada referans denetim sinyalinin oluşturulması işlemi PV

hücre özelliğine bağlı olarak örnekleme PV hücresi yardımı ile modül açık devre gerilimi, modül kısa devre akımı, ışınım şiddeti, modül sıcaklığı gibi değerlerinin okunması ile yapılır. Doğrudan denetim tekniği ile oluşturulan sistemler sürekli olarak PV çıkış gücünü okuyarak önceki çıkış gücü ile karşılaştırıp MGNT noktasına ulaşmayı sağlayacak dönüştürücü referans sinyalini oluşturur. Çalışmanın bu kısmında kullanışlı ve çeşitli MGNT kontrol teknikleri hakkında bilgi verilmiştir.

2.1.1. Değişir-Gözle Metodu

En yaygın kullanılan denetim metotlarından biridir. Değişir-gözle (P&O) yönteminde PV panelin çıkış gücü sürekli olarak takip edilir ve kontrol değişkeninin yani gerilim değişiminin hareketi ile gücün hareketi arasında bir bağıntı kurularak referansın azaltılmasına ya da artırılmasına karar verilir. P&O algoritması tepeye tırmanma (hill climbing) algoritması adı ile de bilinir. P&O algoritmaları sayısal devrelerle kolayca uygulanabilir [4]. Maksimum güç noktasını bulmak için akım ve gerilim değerlerini bilmek yeterli olmaktadır.



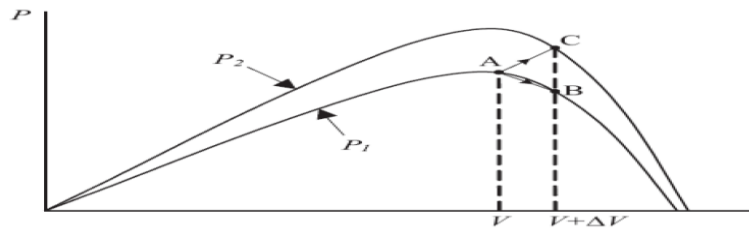
Şekil 2.2. Değişir-gözle algoritması akış diyagramı [4]

PV panelin çıkış gücünün ve referansın değiştirilmesi aşağıdaki Çizelge 2.1.'de verilmiştir [4].

Çizelge 2.1. Değiştir-gözle değişim verileri

Referans değişimi	Güçteki değişim	Bir sonraki ref. değişimi
Pozitif	Pozitif	Pozitif
Pozitif	Negatif	Negatif
Negatif	Pozitif	Negatif
Negatif	Negatif	Pozitif

Çizelge 2.1'de verilen algoritmalar referansa göre gücün değişimi esas alınarak oluşturulmuştur. P&O algoritması ile MGN bulmak için güce göre gerilim ya da güce göre akım değişimi esas alınarak da uygulanabilir. Karşılaştırma işlemi sonucunda maksimum güç noktasına ulaşmayı sağlayacak bir sonraki darbe genişlik oranına karar verilir. Bu algoritmanın dezavantajı; atmosferik koşulların hızla değişimine karşı tepkisinin yavaş olması ve ani değişimlerde maksimum güç noktasını yanlış yönde arama gibi etkenlerdir. Sistem sürekli olarak değiştir-gözle işlemini yaptığından maksimum güç noktasına ulaştığında bu noktada sabitlenmez. Maksimum güç noktası etrafında sürekli olarak osilasyon yapar. Bu durum sistemde bir miktar güç kaybına neden olur [5]. Değiştir-gözle metodu Şekil 2.3'te verildiği ve karşılaştırmada da görüldüğü gibi hızlı değişen atmosfer koşullarında başarısız olabilmektedir. A noktasından başlayarak, eğer atmosfer koşulları sabit kalırsa, PV gerilimi V 'deki ΔV kadar değiştirme B noktasına geçirecek ve değiştirme güçteki düşüş nedeniyle tersine dönecektir. Bununla birlikte eğer ışınım artarsa ve bir örnekleme zamanında güç eğrisi P_1 'den P_2 'ye geçerse çalışma noktası A'dan C'ye geçecektir. Bu güçte artış göstermektedir ve değiştirme aynı yönde devam edecektir. Bu nedenle çalışma noktası maksimum güç noktasından uzaklaşacak ve eğer ışınım düzenli olarak artarsa maksimum güç noktasından uzaklaşmaya devam edecektir [5].



Şekil 2.3. P&O MGN'den uzaklaşma hatası [5]

2.1.2. Artan İletkenlik Metodu

Artan iletkenlik algoritması değiştirme olmaksızın dP/dV hesabıyla PV dizisinin artan iletkenliğini kullanarak P&O algoritmasının kısıtlamalarını aşmaya çalışmaktadır. Bunu maksimum g noktasındaki $dP/dV = 0$ ifadesini kullanarak yapmaktadır. Bu şart ile başlayarak maksimum g noktasında $dI/dV = -I/V$ olduğunu göstermek mümkündür. Böylece artan iletkenlik maksimum g noktasının yakalandığını belirleyebilir ve çalışma noktasında uyarma durdurulabilir. Eğer durum sağlanmamışsa yn dI/dV ve $-I/V$ arasındaki ilişki kullanılarak hesaplanabilir [6]. Artan iletkenlik metodu PV dizi g eğrisinin eğiminin maksimum g noktasında sıfır olması, maksimum g noktasının solunda pozitif ve sağında ise negatif olması üzerine kuruludur [7].

$dP/dV = 0$, maksimum g noktasında

$dP/dV > 0$, maksimum g noktasının solunda (2.1)

$dP/dV < 0$, maksimum g noktasının sağında

Bu denklemler kullanılarak aşağıdaki çıkarımlarda bulunabilir.

$\Delta I/\Delta V = -I/V$, maksimum g noktasında

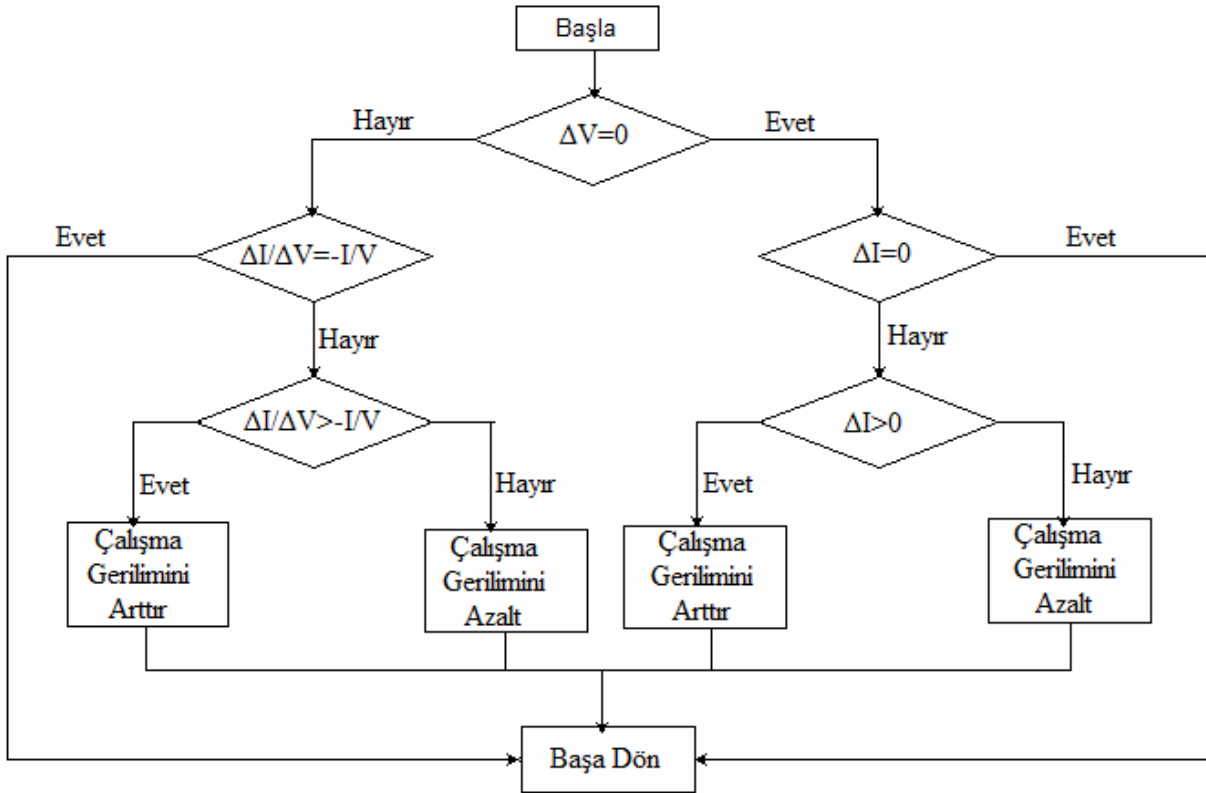
$\Delta I/\Delta V > -I/V$, maksimum g noktasının solunda (2.2)

$\Delta I/\Delta V < -I/V$, maksimum g noktasının sağında

MGN böylece şekil 2.4 teki akış diyagramında görüldüğü gibi anlık iletkenlik (I/V) ile artan iletkenlik ($\Delta I/\Delta V$) karşılaştırılması ile yakalanabilir. V_{ref} PV dizisinin çalışmaya zorlandığı referans gerilimi göstermektedir. Maksimum g noktasında V_{ref} V_{MPP} 'ye eşittir. Maksimum g noktasına bir kez ulaşıldığında PV dizisi çalışmasını atmosferik durumlarda ve maksimum g noktasındaki değişimi gösteren ΔI 'da değişim olduğu sürece bu noktada korumaktadır. Algoritma V_{ref} 'i arttırarak veya azaltarak yeni maksimum g noktası değerini yakalar. Artım büyüklüğü maksimum g noktasında ne kadar hızlı yakalanacağını belirlemektedir. Hızlı yakalama büyük artım ile sağlanabilir fakat sistem tam olarak maksimum g noktasında çalışmayabilir ve bu nokta çevresinde dalgalanabilir [7]. Artan iletkenlik algoritması yoluyla maksimum g noktasına ne zaman ulaşıldığının bilinmesi teorik olarak mümkündür, böylece değiştirmenin ne zaman kesileceği de bilinmektedir. Artan iletkenlik metodu hızlı değişen atmosfer koşullarında iyi performans sağlamaktadır [8]. Bu algoritmanın P&O'ya göre avantajı; P&O'nin maksimum g noktasının etrafında dalgalandığı yerde, maksimum g noktasına ulaşıldığının belirlenebilmesidir. Ayrıca artan

iletkenlik hızlıca artan ve azalan ışınım şartlarında P&O'den daha yüksek doğrulukla yakalamaktadır. Bu algoritmanın dezavantajı artan karmaşıklığıdır. Bu ölçüm zamanını arttırır ve dizi gerilim ve akımının örnekleme frekansını yavaşlatmaktadır [8].

Anlık PV dizi gerilim ve akımının ölçümü iki algılayıcı gerektirmektedir. Artan iletkenlik metodu DSP ve mikro kontrolcü kontroller için çok uygundur. Böylece gerilim ve akımın önceki değerleri kolayca tutulabilir ve her döngüde tüm kararlar verilir [9]. İki model MGNT kontrol algoritması (I_{Cb}), sabit gerilim ve artan iletkenlik metotlarını birleştirmektedir. Işınım tanımlanmış ışınım derecesinin %30'unun altındayken sabit gerilim metodu kullanılırken diğer tarafta artan iletkenlik metodu kullanılmaktadır.

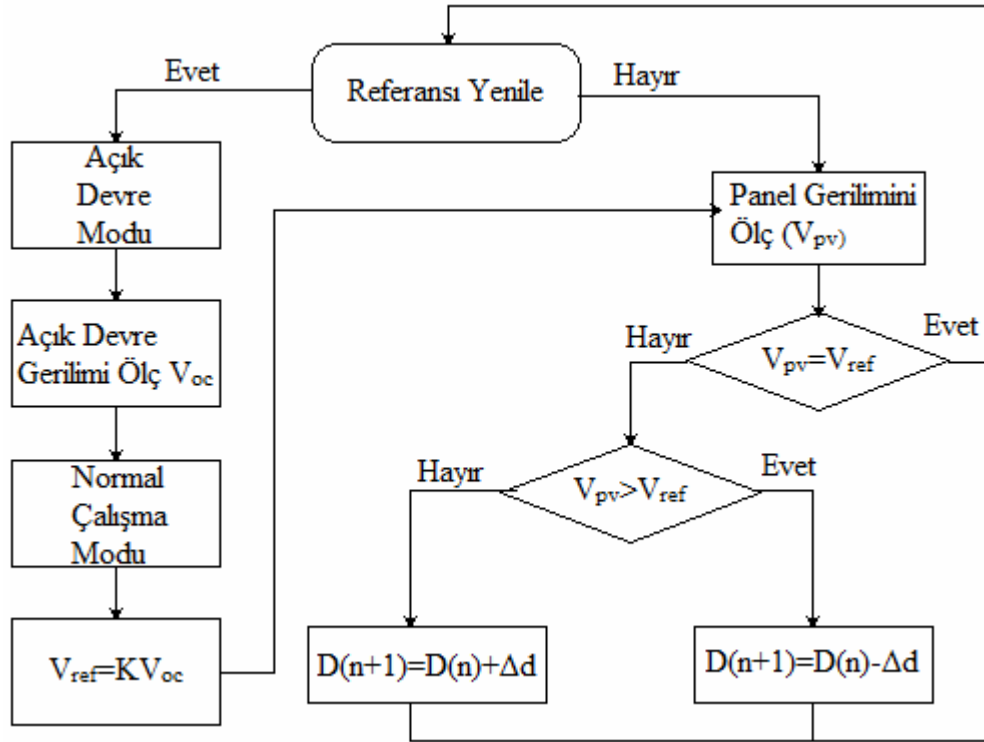


Şekil 2.4. Artan iletkenlik akış diyagramı [9]

2.1.3. Sabit Gerilim Metodu

Sabit gerilim algoritmasında güneş paneli geçici olarak MGNT'den ayrılarak açık devre gerilimi ölçülür ve $V_{MGN} = KV_{oc}$ denkleminde maksimum güç noktası gerilimi hesaplanır. Hesaplanan bu değere panel gerilimi ayarlanarak MGN'de çalışma sağlanmış olur. Bu işlem periyodik olarak tekrarlanarak MGN'nin pozisyonu sürekli takip edilir. Bu yöntemin uygulaması oldukça basit olmasına rağmen, K sabitinin optimal değerini belirlemek zordur. Literatürde K değerinin %73-80 arasında değiştiği ortaya konulmuştur [9]. Sabit gerilim

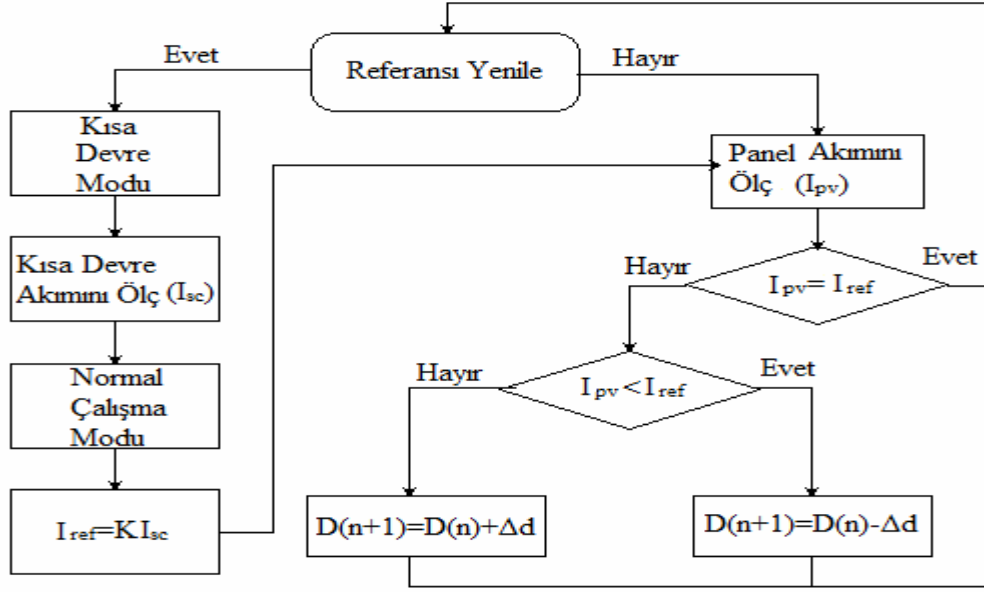
kontrolü analog donanımlarla kolayca gerçekleştirilebilir. Ancak, bu yöntemin MGN izleme yeteneği diğer denetim tekniklerine oranla daha düşüktür. Bunun nedeni daha önce belirtilen K sabitinin optimal değerinin elde edilme zorluğu ve daha da önemlisi açık devre geriliminin ölçülebilmesi için PV gücün ani olarak kesilmesini gerektirmesidir [9].



Şekil 2.5. Sabit gerilim algoritması akış diyagramı [9]

2.1.4. Sabit Akım Metodu

Sabit gerilim algoritması için yukarıda belirtilen yaklaşım aynı şekilde sabit akım için de gerçekleştirilebilir. Sabit akım algoritmasında maksimum çalışma noktasındaki akım ile kısa devre akımı arasındaki oran kontrol edilerek işlem yapılır. Bu yöntemi gerçekleştirmek için PV panel çıkışına veya konvertör girişine konulan bir anahtar kullanılır. Bu anahtar ani olarak kapatılarak kısa devre akım değeri ölçülür ve K sabiti kullanılarak çalışma noktasındaki gerilim belirlenmiş olur. Bu işlem periyodik olarak tekrar edilir. Doğal olarak, sabit gerilim yöntemi daha çok tercih edilmektedir. Çünkü gerilimi ölçmek akıma nazaran daha kolaydır. Ayrıca, paneli açık devre durumuna getirmek basit bir işlemdir. Panel uçlarını kısa devre etmek ise pratik olarak çoğu zaman mümkün olmayabilir [10].



Şekil 2.6. Sabit akım algoritması akış diyagramı [10]

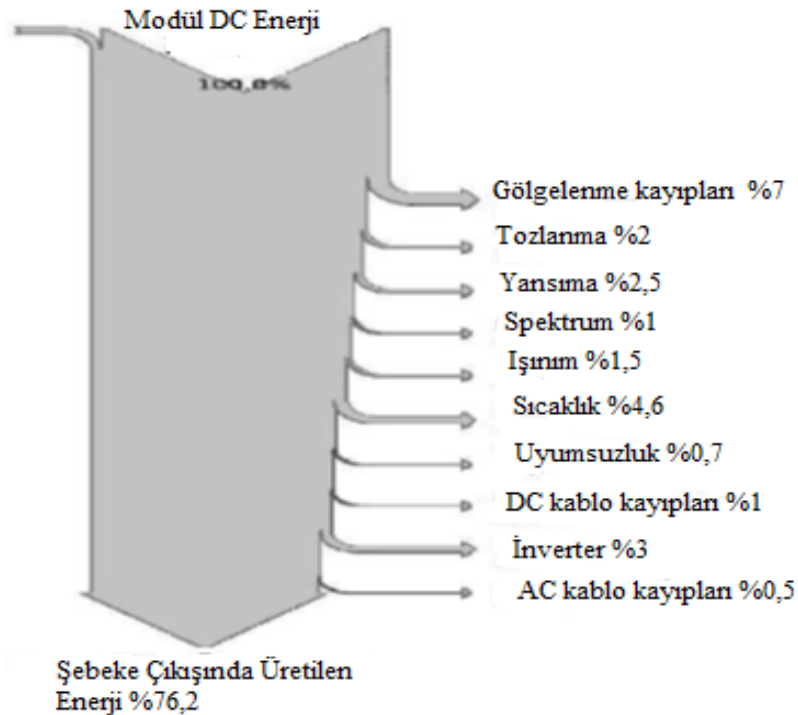
2.2. Şebeke Bağlantılı Bir PV Sistemdeki Kayıplar

AC çıkışlı (Şebeke bağlantılı) fotovoltaik sistemlerde çevresel ve donanımsal gibi birçok etken elde edilen enerjiyi etkilemektedir. Fotovoltaik bir yapının performansı Performans Oranı (PO) denilen değişken ile incelenir [10]. Bir PV sistemin performans oranı(PO), sistemin şebeke çıkışında elde edilen gücün Standart Test Koşulları - STK (ışınım=1.000 W/m², Güneş hücresi sıcaklığı =25°C ve Hava Kütlesi-HK 1.5) şartlarında panellerden elde edilen enerjiye oranıdır.

$$PO = \frac{\text{Elde edilen Enerji (AC Çıkış)}}{\text{Referans Enerji}} \quad (2.3)$$

$$PO = \frac{\text{Elde Edilen Enerji (AC Çıkış)}}{(\text{Güneş Işınımı}) \times (\text{Penel Alanı}) \times (\text{Hücre Verimi})} \quad (2.4)$$

Şebeke bağlantılı PV sisteminin çıkış enerjisi, PV hücreler tarafından üretilen enerjiden sistemde kaybolan enerjinin çıkarılmasıyla elde edilir. Bir PV sistemin Performans Oranının (PO) yüksek olması için sistemdeki kayıpların minimal düzede olması gerekir. Şebekeye bağlı bir Güneş enerji santralindeki kayıplar aşağıda Şekil 2.7’de sunulmuştur.



Şekil 2.7. Bir PV sistemdeki kayıplar [10]

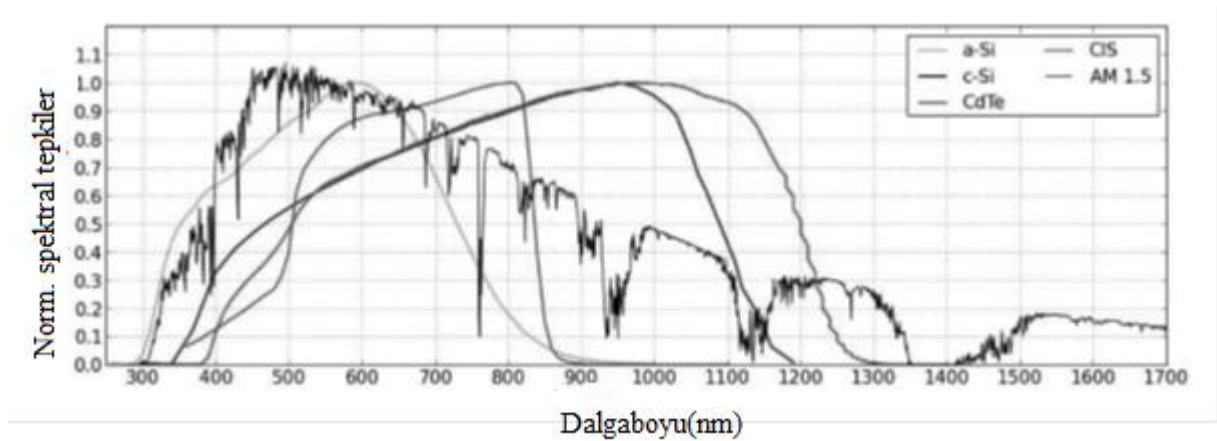
2.2.1. Işıma Kayıpları

2.2.1.1. Panel Açısı

Güneş panelinin yatayla yaptığı açıdır. Güneşten gelen ışının panel yüzeyine eğik açıyla düşmesi sonucu oluşan kayıplardır.

2.2.1.2. Spektral Etki

Gözkyüzünün (Hava Kütlesi 1.5) teorik olarak kabul edilen spektrumu, bir yıl süreyle gözlemlenen güneş ışınımının spektrumuna oranla farklılık göstermektedir. Bu farklılık göz önünde bulundurularak, güneş panelinin yapıldığı maddenin teknik özelliklerine bağlı olarak güneş paneline bir yıl boyunca düşen toplam ışınım bir katsayı ile çarpılarak belli oranlarda düşürülür. Şekil 2.8’de dört farklı PV teknolojisi kullanılarak üretilen Güneş panellerine ait spektrum tepkiler grafikte sunulmuştur.



Şekil 2.8. Dört farklı Güneş paneline ait spektrum tepkiler [10]

Spektral tepki aralıkları Şekil 2.8’den görüldüğü üzere c-Si (Kristal Silisyum) ve CIS (Bakır İndiyum Selenür) teknolojilerinde diğer teknolojilere oranla daha geniştir. 340-850 nm dalgaboyunda osilasyon yapan ve diğerlerine oranla spektral tepkisi daha dar olan paneller CdTe (Kadmiyum Tellürid) ve a-Si teknolojisiyle üretilen güneş panelleridir. [10]

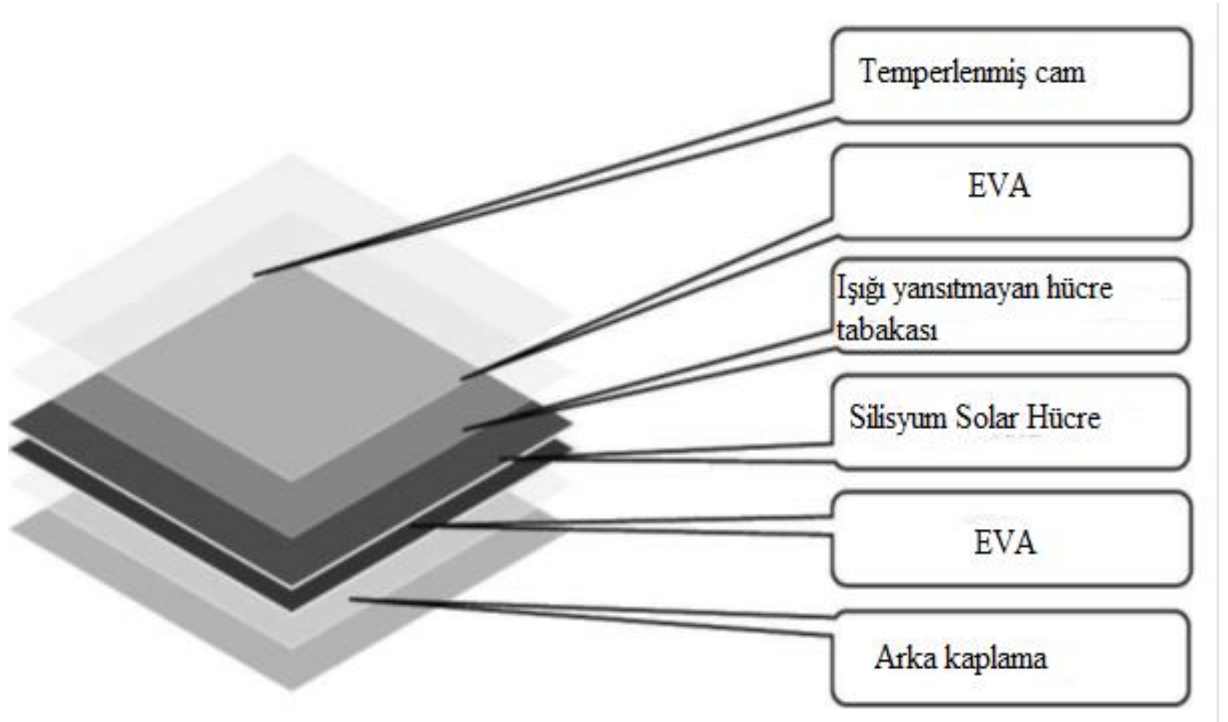
2.2.1.3. Yansımalar

Panel yüzeyine gelen güneş ışınımının bir bölümü panel tarafından absorbe edilmeden yansımaya kırılırlar. Işınımın panel yüzeyinden absorbe edilmeyip geri yansması sonucu kayıplar oluşur, bu kayıplara yansımadan kaynaklanan kayıplar denir.

PV sistemlerde paneller tarafından absorbe edilen ışının bir bölümünden elektrik enerjisi elde edilir. Panellerin verimini; malzemenin teknolojisi, yüzeyden yansıyan ışın miktarı, iletim kayıpları ve panel tarafından soğurulan güneş ışınımı etkiler. Kristal silisyum, diğer yapılara oranlara ışığı daha çok soğurur. Burada Kristal silisyum piller kullanılarak ışınımı maksimum derecede soğurup, yansımaya mümkün olan en az seviyeye indirme amaçlanmaktadır. Güneş pilleri, ışınımı daha fazla absorbe etmek ve panel yüzeyinden yansımaları en az seviyeye indirmek için farklı tabakalardan oluşturulur. Yansımaya en az seviyeye indirmek ve ışınımı soğurmayı maksimum seviyeye getirmek için güneş hücrelerinin yüzeyleri temperli cam ile kaplanır. Işığın geri yansımalarını önlemek içinde bu hücreler yansımaya engelleyen bir kaplama ile kaplanır. Panelin *Kırılma İndeksi* ve panele gelen ışınımın panel ile yaptığı açı geri yansıyan Güneş ışınımının şiddetinin değişmesinde önemli iki faktördür. Güneş hücrelerine gelen ışığın %4'ü normal şartlarda geri yansıtılır [11]. Aşağıda Şekil 2.9'da Kristal Silisyuma ait güneş pilinin tabakalarına ait özellikler verilmiştir.

2.2.1.4. Gölge Etkisi

Gölgelenme etkisi, bir güneş panelinin gölgede kalan kısmıyla gölgelenmeyen kısmı arasındaki ışınım farkıyla ortaya çıkan kayıplara gölge etkisi denir. İki çeşit gölgelenme etkisi vardır:



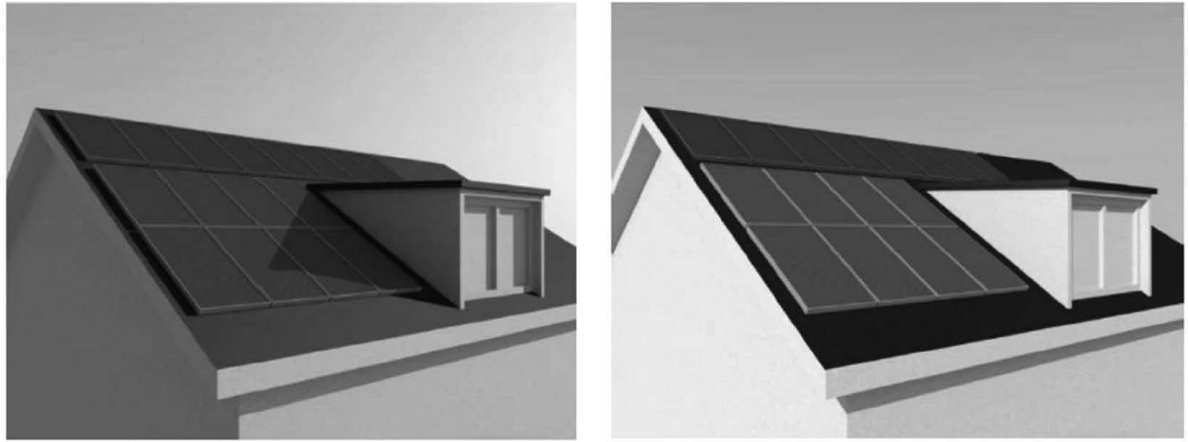
Şekil 2.9. Kristal Silisyuma ait güneş pilinin tabakalarına ait özellikler

Çevreden kaynaklanan Gölgeleme

PV santralin tesis edildiği bölgedeki dağ tepe gibi doğal gölgelemelerdir.

Modül Sırası Gölgelemesi

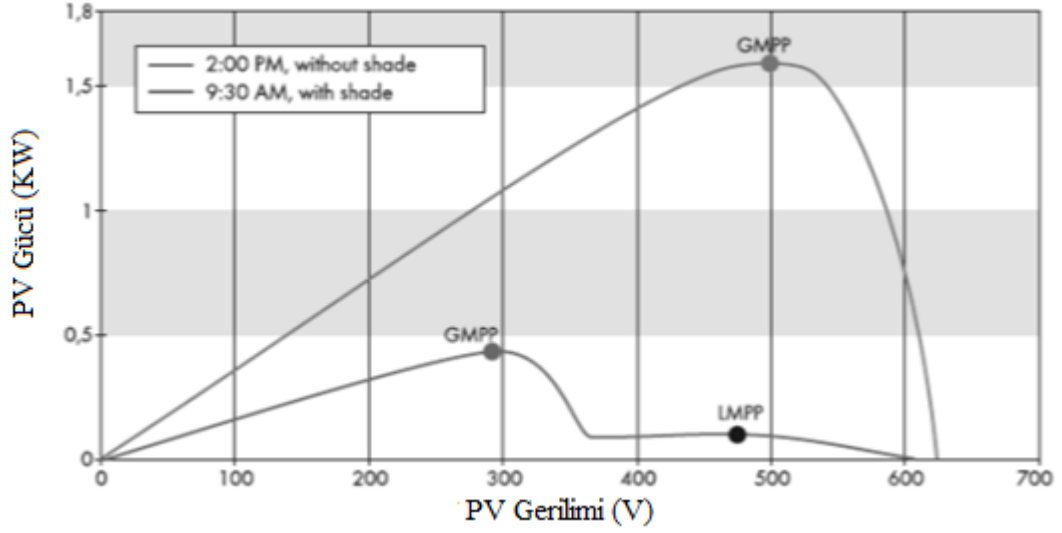
Ard arda ya da yan yana dizilen panellerden Güneşin açısına bağlı olarak öndeki bir panelin arkasındaki veya yanındaki bir paneli gölgede bırakmasıdır. Güneş enerji sistemlerinin neredeyse hepsinin PO oranını ciddi bir şekilde etkileyen tasarımsal faktörlerden bir tanesi de gölgelemedir. Yıllık ve günlük, Güneşin konumu sürekli değişim halindedir. Bu sürekli hareketten dolayı gölgeler ve gölgelerin yönleri sürekli değişmektedir. Bundan dolayı gölgelemenin güneş hücreleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve ölçmekte zorluk teşkil etmektedir. Özellikle gölge kaynağı olan etkenlerin kendi içerisindeki sürekli durum değişimi olan bir durum için. Gölge faktörü güneş enerji sisteminde önemli bir yer almaktadır. Nedeniyse güneş panellerinde ufakta olsa bir gölgelemenin panellerin toplam çıkış gücü üzerinde önemli bir düşüşe sebep olabilmesidir [11]. Her güneş panelinin en verimli çalıştığı bir güç noktası vardır, Maksimum Güç Noktası (MGN) denilen panelin çalışma noktası. PV sistemlerde ışınımına bağlı olarak çalışırlar ve ışınım miktarına bağlı olarak enerji elde ederler. PV panellerden herhangi birinin gölgelemesiyle birden fazla maksimum çalışma noktası oluşur ve bu da ciddi bir verim kaybına neden olur [12]. Şekil 2.10 bir meskenin damındaki gölgelemeye aittir.



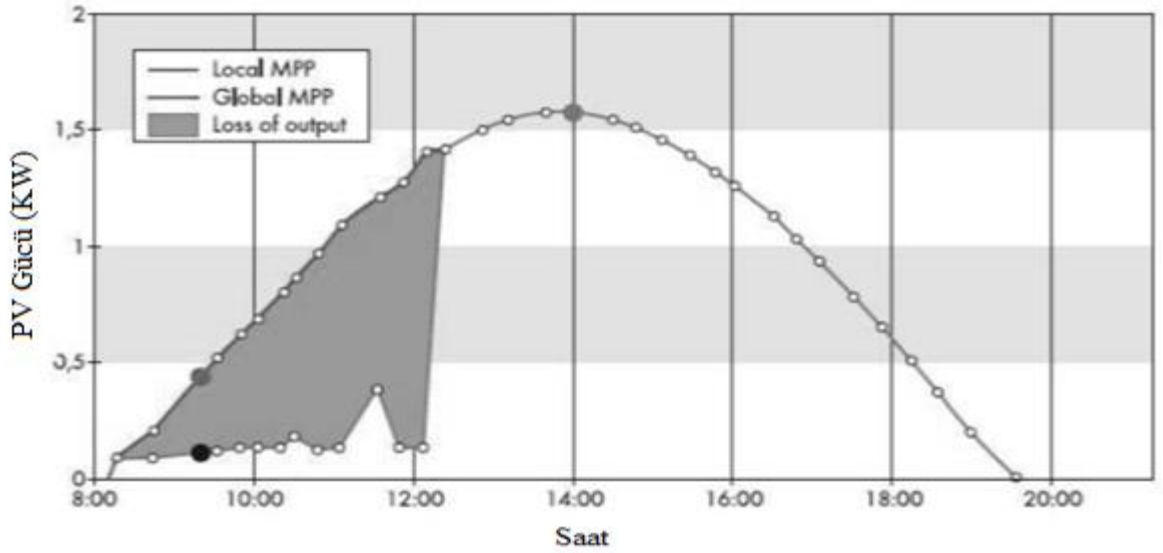
Şekil 2.10. Bir meskenin damındaki gölgeleme [12]

Aşağıdaki grafiklere bakıldığında iki ayrı maksimum çalışma noktası olduğu görülmektedir. Bunlar; Lokal MGN (LMGN) ve Global MGN (GMGN) noktasıdır. AC bağlantılı inverterlerde MGN izleme yapan MGNT üniteleri mevcuttur. Bu kontrol üniteleri sayesinde panel çıkışındaki gücün sürekli maksimum noktada olması sağlanır ve panelden

maksimum verimlilik elde edilir. Bir mikrokontrolör tarafından kontrol edilen bu üniteler sayesinde güneş pillerinden elde edilen gücün maksimum noktada olması sağlanır. Bir güneş enerji sistemine ait gölgeleme kaynaklı farklı ışınım değerleri için Şekil 2.11 ve 2.12’de çıkış gerilimi- çıkış gücü eğrisine ait grafikler sunulmuştur.



Şekil 2.11. Güneş panellerine ait gölgeleme kaynaklı farklı ışınım değerleri için Güç-Gerilim grafiği [12]



Şekil 2.12. Sabah saatlerinden itibaren gölgeleme maruz kalan bir sistemin Yerel ve Evrensel MGN'leri [12]

2.2.1.5. Panel Yüzeyindeki Tozlanma ve Karlanmanın Etkisi

Güneş panellerinin mevsime bağlı olarak yüzeylerinin zamanla tozlanması ve karla kaplanmasıyla panellere Güneşten gelen ışınımın azalması sonucu meydana gelen sistem kayıplarıdır. Tozlanma üzerine yapılan literatür araştırmalarına göre, az yağışlı yerlerde kurulan güneş enerji sistemlerinde panellerin yüzeyleri daha çok tozlanır. Aşırı tozlanma durumunda %14 lük verim kaybı meydana gelmektedir [13]. Bu kayıpları önlemenin yolu panel yüzeylerini periyodik olarak temizlemektir. Ancak su sıkıntısı çekilen alanlarda kurulan büyük güçteki Güneş Enerji Santrallerinde yüzey temizliği yapmak daha zor ve maliyetlidir. Panellerin yatay eksenle yaptığı açı eğer 16° dereceden fazlaysa yağın yağmur suyuyla panel yüzeyinin tozdan temizlendiği kabul edilebilir. Bu şartlarda panelin yüzey kirliliğiyle verimindeki düşüş %6 olarak varsayılır [13]. Panelin eğim açısı 16° 'den daha küçükse veya sistemin kurulduğu bölgeye düşen yağış az ya da çok aralıklı ise bölgedeki arazilerde tarımsal ve endüstriyel tozlanmadan dolayı panel yüzeyleri daha çok kire maruz kalıyorsa bu oran (%6) artar. Ancak periyodik yüzey temizliği yapılan bir PV sistemde tozlanma kayıpları %5 civarındadır [13]. PV panel çıkışlarında karlanmadan dolayı verim düşüşü olmaktadır. Özellikle kar yağışının çok yaşandığı bölgelerde. Karlanmanın verim üzerindeki etkisini tahmin edebilmek için Güneş enerji sistemlerinin kurulduğu birçok Avrupa ülkesinde *Kar Örtüsü Haritaları* kullanılmaktadır [14]. Ancak sadece yatay eksenle 0° derece açı ile kurulan Güneş enerji santrallerinde muhtemel olan kardan dolayı verim düşümü oranı elde edilebilir. Kardan kaynaklı verim kayıpları; eğimli yüzeylerde sadece tahminlere dayanmaktadır. Şöyleki; eğim açısına göre kardan kaynaklı kayıplar %1.5 ile %3 aralığında değiştiği tahmin edilmektedir [14].

2.2.2. Sistem Özelliklerinin Kayıpları

2.2.2.1. PV Hücre Teknolojisi

Kırılmalar, güneş hücrelerinin gerçek değerleri ve etiket değerleri kıyaslandığında ortaya çıkan farklar güneş pillerinin yapıldığı teknolojik özelliklerden kaynaklanmaktadır. Akım-gerilim (I-V) eğrilerindeki maksimum güç noktası, güneş hücrelerinden elde edilen gücün Standart Test Koşullarındaki değerini göstermektedir [15]. Ancak güneş hücrelerinin performans değerlerinin gerçek zamanlı saha şartlarındaki değerlerinden farklılıklar arz etmesi çıkış güçlerinin farklılıklar göstermesine neden olmaktadır. Bu durum elde edilmesi beklenen güçten daha az bir güç elde edilmesine neden olmaktadır.

2.2.2.2. Işıma Etkisi

Standart Test Koşullarında ışınım değeri $1000W/m^2$ 'dir. Güneş panellerine STK şartlarındaki ışınımından daha düşük ışınım gelmesi sonucu panel güç çıkışlarında kayıplar oluşur. Bu yüzden yatırımcılar ve tasarımcılar, kuracakları sistemde kullanmak istedikleri güneş hücresinin teknik özelliklerini araştırılırken, ürünlerle ilgili katalogları iyice inceleyip bu kataloglardan faydalanırlar. Burada önem teşkil eden değişkenler: PV hücresinden elde edilen çıkış gücünün değeri (Maksimum Güç, M_p), Standart Test Koşullarındaki verim (η_{STK}) ve PV hücresinin Standart Test Koşullarındaki oranla daha az ışıma şartlarındaki diğer değişkenleridir [15]. Güneş hücrelerinde, hücre sıcaklığının ($T_{hücre}=25^\circ C$) ve Hava Kütlesinin (H.K. 1.5) kabul edildiği şartlarda ışınımın değişmesiyle elde edilen verim,

Genel formülü:

$$\eta_{rl(I)} = \frac{\eta(I)}{\eta(I_{STK})} \quad (2.5)$$

$$\eta(I) = \frac{P(I)}{I \cdot A_{pv}} \quad (2.6)$$

Burada

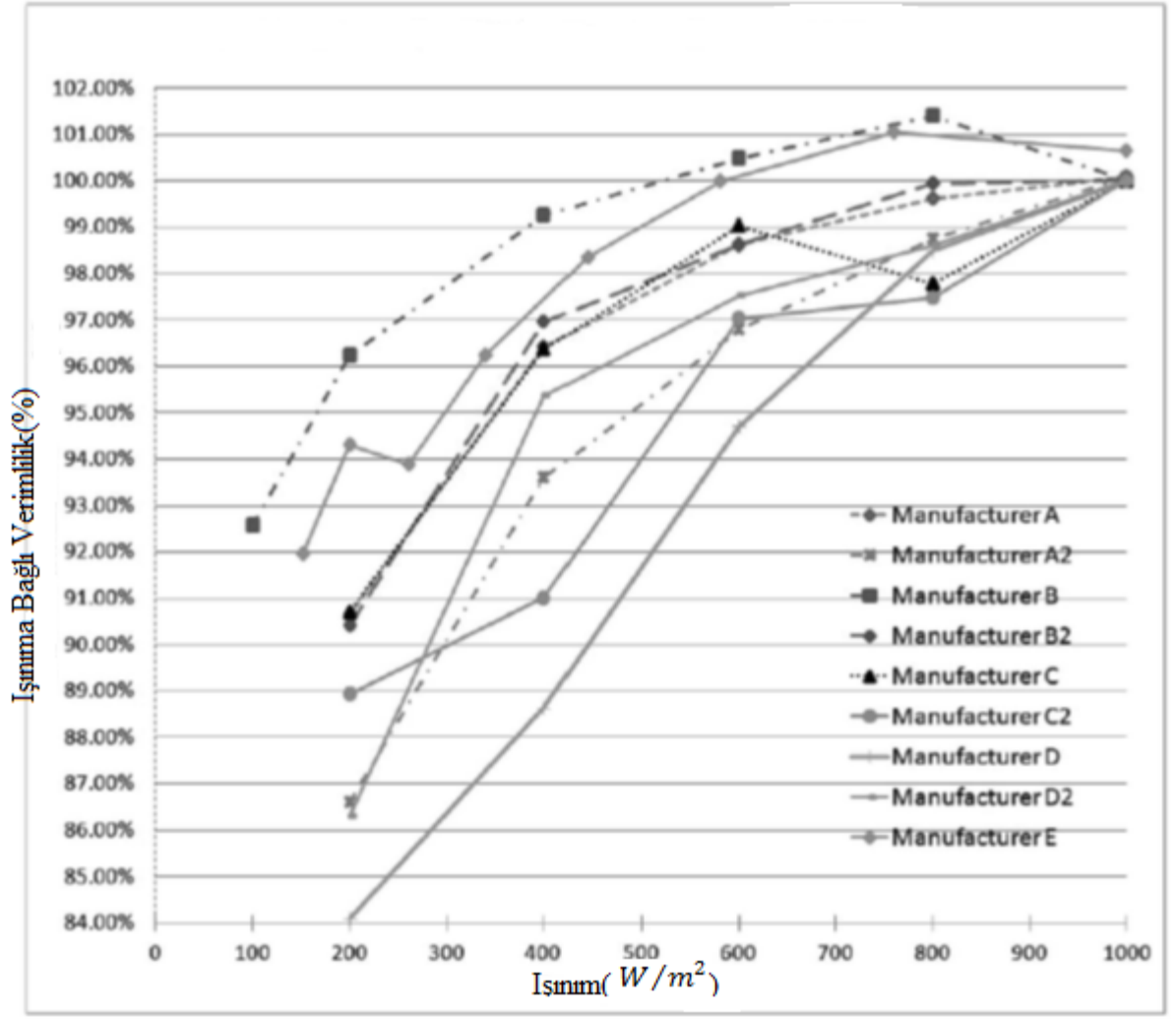
A_{pv} PV hücre alanı ve

I Işınımdır.

Standart Test Koşullarındaki değer, I_{STK} eğer $P(I)$: I formülündeki I yerine konulursa elde edilir.

$$\eta_{rl(G)} = \frac{P(I)/I}{P(I_{STK})/I_{STK}} = \frac{P(I)}{I \cdot (\eta_{STK})} \quad (2.7)$$

Literatür araştırmasında Güneş hücresi üreten otuz firmaya ait ve piyasada en yaygın kullanılan 120 farklı panele ait veriler incelenmiştir [15]. Düşük ışıma ait veriler incelendiğinde bunların 69'unun performansında bu verilere rastlanmaktadır. Bu 69 adet katalogdan sadece 28'inde EN50380 standardına uygun bir biçimde verim düşüşünden bahsedilmektedir. Aşağıdaki Şekil 2.12'de görüleceği üzere söz konusu güneş hücrelerine ait 9 adet kataloğun verileri sunulmuştur.



Şekil 2.13. Güneş hücrelerine ait 9 adet katalogun spektral verileri [15]

2.2.2.3. Sıcaklık Etkisi

Bir güneş panelinde panelden elde edilen güç panel sıcaklığıyla ters orantılı olarak artar veya azalır. Panelin sıcaklığı, optimum sıcaklık olarak kabul edilen $25^{\circ}C$ 'den daha yüksek olursa panelin çıkış gücü düşer. Bir PV sistemde panel sıcaklığının artması önemli derecede kayıplara neden olmaktadır. Bir güneş panelinin nominal çalışması olarak kabul edilen durumlar; ışınım $1000 W/m^2$, rüzgâr esiş hızı $1m/s$ ve hava sıcaklığının $25^{\circ}C$ olduğu şartlardır. Güneş hücrelerinin kataloglarından bu değerlere ulaşılabilir. Bir PV sistem için ışınım $800 W/m^2$ ve bir ortamda herhangi bir sıcaklıkta hücre sıcaklığını bulmak için şu denklemler kullanılır [16].

$$\frac{T_a}{U_L} = \frac{T_c \cdot HN\dot{C}T - T_a}{G_t HN\dot{C}T} \quad (2.8)$$

T_a : Hücresinin emme katsayısı

U_L : Kayıp katsayısı

$T_c \cdot HN\dot{C}T$: Hücre kataloğunda gösterilen $HN\dot{C}T$ değeri

T_a : $HN\dot{C}T$ şartlarında hava sıcaklığı (25°C)

$G_t \cdot HN\dot{C}T$: $HN\dot{C}T$ şartlarında Güneşten gelen ışıma (1000 W/m^2), güneş hücresi tarafından soğurulan ışınının, hücre yüzeyine düşen ışınımına oranına emme sabiti denir[16].

$$T_c = T_a + G_t \left(\frac{T_a}{U_L} \right) \cdot \left(1 - \frac{\mu}{T_a} \right) \quad (2.9)$$

T_c : Hücre sıcaklığı

T_a : Ortam sıcaklığı

G_t : Işınım değeri (1000 W/m^2)

μ : Hücre verimi

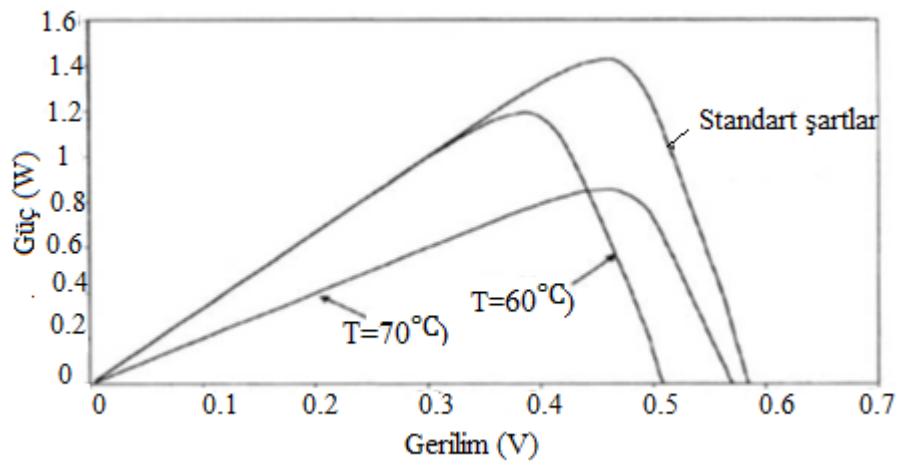
Sıcaktan kaynaklanan kayıplar modül sıcaklığı kullanılarak aşağıda verilen eşitliklerden bulunabilir:

$$\% \text{Kayıp} = (T_c - T_{ref}) \cdot \text{Sıcaklık Katsayısı} \quad (2.10)$$

T_c : Hücre sıcaklığı

T_{ref} : Modülün referans sıcaklığı

Bir güneş hücresinden Standart Test Şartlarında elde edilen güç sıcaklığın fazla olduğu bir ortama oranla elde edilen güçten %30'dan daha fazla olabilir.



Şekil 2.14. PV sistem için farklı ortam koşullarında güç-gerilim karakteristikleri [16]

2.2.2.4. Kablolar

Güneş enerji sistemlerinde DC ve AC kablolar kullanılır. Bu kablolarda meydana gelen kayıplar endüktif direnç üzerinden olur. Güneş enerji sisteminin tasarlanması ve kurulması önemli etkenlere bağlıdır. Bu etkenlerden bir tanesinde kablo boyutlarıdır. Seri ve paralel bağlı olan güneş hücreleri DC kablolar aracılığıyla invertere bağlanmak durumundadırlar. İletkenin boyutları belirlenirken, iletken kablonun akım taşıma dayanıklılığı ve hat boyunca meydana gelebilecek voltaj düşümü göz önünde bulundurulur [17]. DC ve AC taraflarında tölere edilebilir voltaj düşümünün sınırları %1.5-3.5 arasındadır [18].

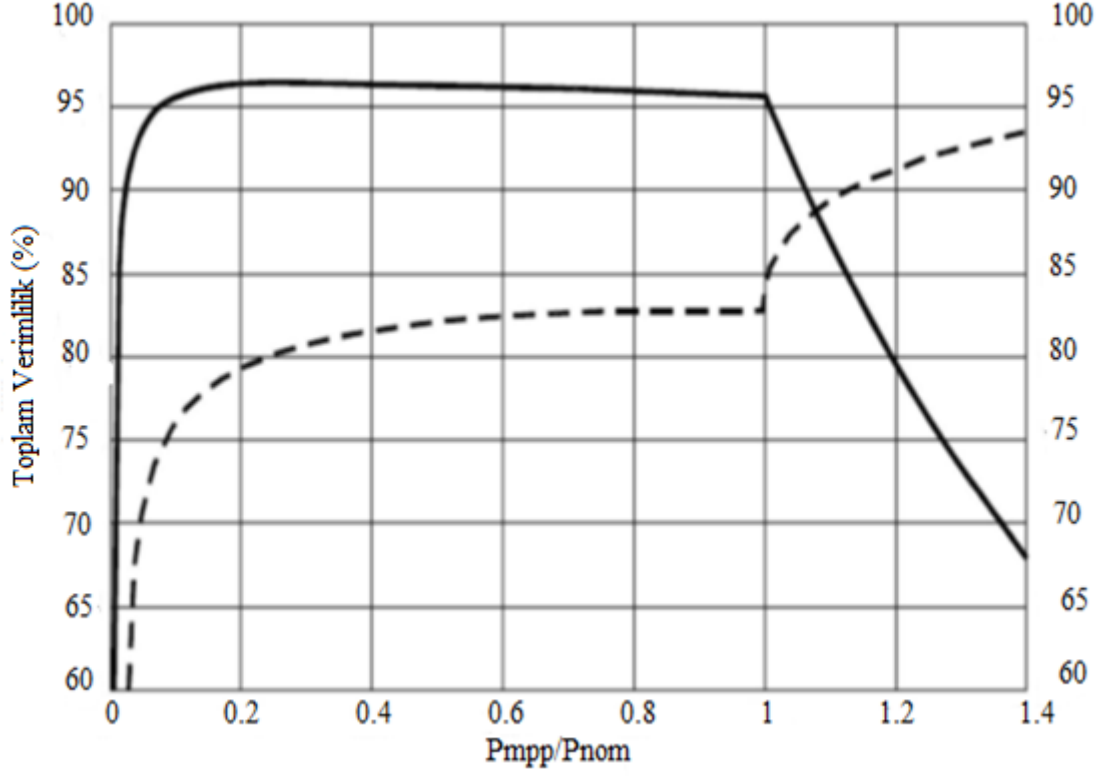
2.2.3. İnverter Etkisi

2.2.3.1. DC/AC Çevrimin Verim Etkisi

İnverterden kaynaklanan kayıpların etkisi hesaplanırken yedek konumdaki enerji tüketimleri de göz önünde bulundurularak inverterin randıman grafiğine göre hesaplanır [19]. PV sistemlerde kullanılan dönüştürücünün yapısı, manyetik unsurlar, kondansatörlerin iletim ve anahtarlama gibi tepki süreleri ve fotovoltaik inverter içeriğinde kullanılan yarı iletken inverterdeki DC/AC dönüşüm kayıplarını önemli bir şekilde etkilemektedir [20]. 148 V DC giriş voltaj genliğindeki bir fotovoltaik inverterin verimi %0.35–%1.2 oranlarında düşer. Ancak bir inverterin veriminde, Güneşten gelen ışınımın düşük olması kontrol ünitesinin güç tüketiminden ve açma-kapama sırasındaki kayıplarından dolayı %6 civarında düşüş gösterebilmesi mümkündür [21].

2.2.3.2. Güç Sınırlanmasının Etkisi

İnverter verimini, Standart Test Koşullarındaki hücrenin çıkış gücünün, inverterin AC çıkış gücüne oranı etkiler. Aynı zamanda inverterin elde edilen gücün tamamının şebekeye aktarılmamasına neden olabilir. Güneş hücrelerinin Standart Test Koşullarındaki nominal güç çıkışlarına erişilemeyeceğine dair bir algı olduğu için inverter güçleri güneş hücrelerinin gücünden daha düşük seçilir. Bu algı a-Si ve CdTe gibi düşük sıcaklık sabit katsayılarına ait teknolojik yapılarla üretilen hücrelerde azımsanmayacak bir güç kaybına neden olmaktadır. [22]. İnverterlerin verimleri günümüzde %99 oranlarında seyretmektedir. %35–60 arasındaki kısmi yüklerde İnverterler bu verimlere ulaşmaktadır. Elde edilen AC çıkış gücü DC giriş gücüne yüksek olan inverterler bu orandan dolayı daha verimli çalışabilmektedirler.



Şekil 2.15. Tipik bir inverter toplam verim eğrisi [23]

2.2.3.3. MGNT Etkisi

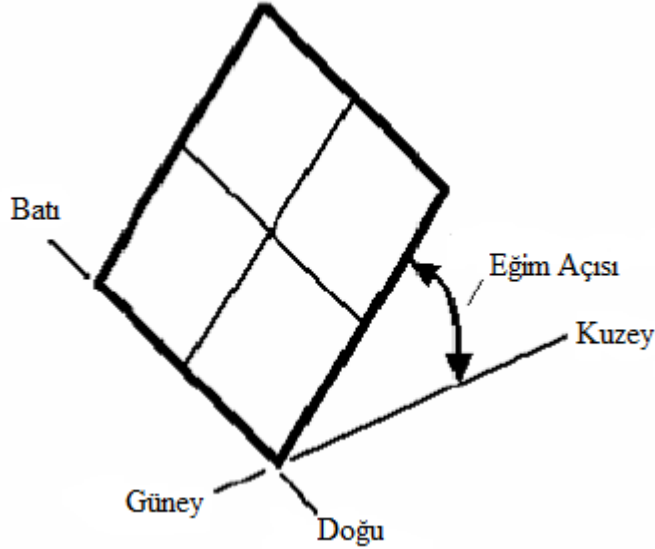
İnverter çıkışında elde edilen AC çıkış gücünün İnverterin DC giriş gücüne oranıyla İnverter verimleri hesaplanır. İnverter üreticileri ve PV sistem kurulumcuları güneş hücrelerinin Akım–Gerilim (I-V) grafiğinin MGN’de çalıştıklarını varsayarak hesap yaparlar. Gerçek bir Güneş enerji uygulamasında sistemin MGN’de çalışmasını olumsuz etkileyen birçok unsur vardır [25]. Güneş hücrelerinin saha koşullarında sabit bir MGN yakalamaması ve değişken MGN noktalarında sürekli osilasyon olması sistemde ciddi verim kayıplarına neden olmaktadır. MGNT meydana gelen bu güç kayıpları inverterin dönüşüm oranında verim kaybına neden olmaktadır. İki alt sınıfta bu Maksimum Güç Noktası Takibini kayıpları adlandırabiliriz [26]. *Durgun Maksimum Güç Noktası Takibi*: Düzenli Güneş ışınımı altında bir MGNT devresinin verimiyle ilgili olan kayıplardır. *Dinamik MGNT Kayıpları*: MGNT devresinin gerilim tanım kümesini tarayan algoritmasıyla ilgili kayıplardır.

2.3. Güneş Takip Sistemleri

Güneş hücreleri foton enerjisini kullanarak güneş ışığından elektrik enerjisi üretirler. Panel çıkışından elde edilen güç, güneş paneline düşen ışınım miktarı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Güneş ışınları yeryüzüne gün içerisinde farklı açılarla ulaşmaktadır. Dolayısı ile PV pillerden maksimum elektrik enerjisi elde edebilmek PV sistemin güneş ışınımını takip etmesi ile mümkün olmaktadır. Güneşten gelen ışınımı takip edip, ışınımlardan maksimum düzeyde yararlanmayı hedefleyen bu sisteme Güneş Takip Sistemi (GTS) denir. Günümüzde kullanılan fotovoltaik (PV) güneş panelleri olan genel olarak doğu-batı ve kuzey-güney eksenlerinde yerleştirilmektedir.

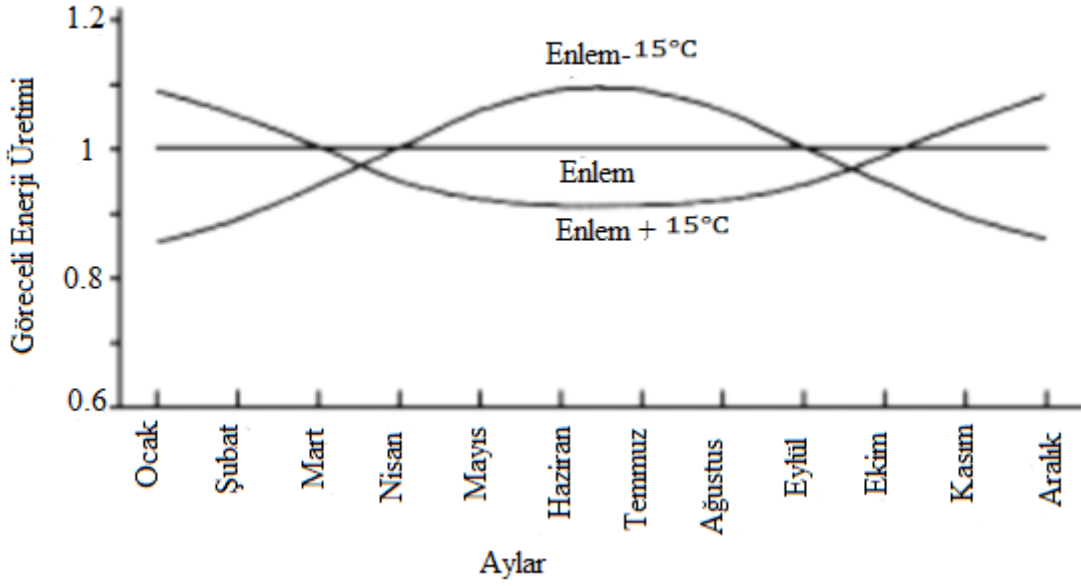
2.3.1. Panellerin Sabit Eğim Açısıyla Yerleştirilmesi

Sabit eğim açısıyla yerleştirilen panel Şekil 2.16'da gösterildiği gibi panelin kuzey güney doğrultusu üzerine sabit bir eğim açısıyla, kuzey yarım kürede ise güneye, güney yarım ise kuzeye yönlendirilmesiyle sağlanır [27]



Şekil 2.16. Güneş panelinin sabit açı ile yerleştirilmesi [27]

Sabit eğimli güneş panelleri buldukları bölgenin enlem açısından farklı eğimlerle yerleştirilebilmektedir. Şekil 2.17'de buldukları bölgenin enlem açısında, 15° derece altındaki bir enlem açısında ve 15° derece üstündeki enlem açısında eğim açısına sahip güneş panellerinin göreceli olarak aylık verimleri verilmiştir [28].

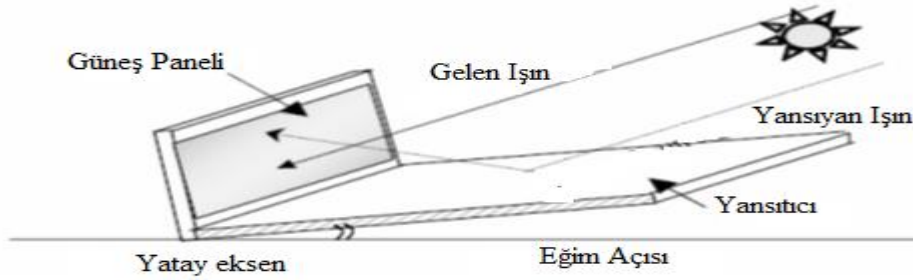


Şekil 2.17. PV panel verimlerinin eğim açısına bağlı olarak aylık göreceli değerleri [28]

2.3.2. Sabit Panellerin Yansıtıcılarla Birlikte Kullanımı

Hareketsiz ve sabit eğimli paneller ışıınımdan faydalanma oranını arttırmak için yansıtıcı yapılar ile birlikte kullanılabilir. Şekil 2.18’de gösterildiği gibi, yansıtıcılarla birlikte kullanılan sistemlerde panel eğimi yansıtıcı olmadan sistemlerdekilere göre daha büyük bir açıyla konumlandırılmakta ve panelin önüne yansıtıcı yapı belirli bir eğimle yerleştirilmektedir.

Güneşten üneşten gelen ısıınımlar ile yansıtıcı yapıdan yansıyan ışıınımların toplamı panele etkimektedir. Etkiyen bu ısıınımlar yansıtıcı olmayan panellere göre daha fazla olduğundan bu yapılar yansıtıcısız panellere göre daha yüksek güç üretim yoğunluğuna sahiptir [29].

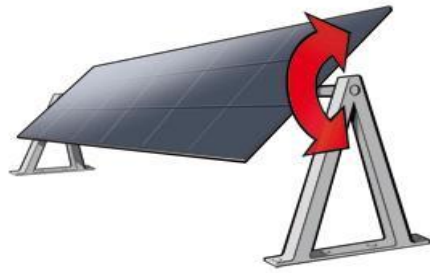


Şekil 2.18. Sabit panellerin yansıtıcı ile birlikte kullanımını [29]

Sabit eğimli güneş panellerinin her ikisi de herhangi bir takip sistemine ihtiyaç duymadığından kurulum maliyeti düşük yapılardır.

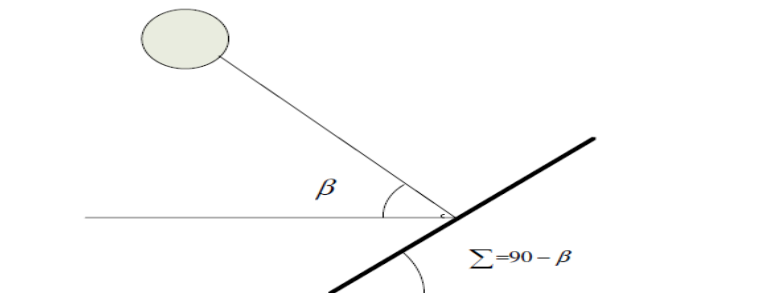
2.3.3. Güneş Panellerinin Tek Eksende Hareket Edebilir Şekilde Yerleştirilmesi

Güneş panellerinin tek eksenli hareket edebilir şekilde yerleştirilmesi genelde Şekil 2.19'da gösterildiği gibi güneş panellerinin kuzey-güney eksenine sabit bir açı yaparak ve mekanizmanın paneli dönme eksenine etrafında (doğu-batı doğrultusunda) döndürebilecek şekilde dizayn edilmesi ile sağlanır [29].



Şekil 2.19. PV panellerin tek eksende dönebilir şekilde yerleştirilmesi [29]

Panelleri bulunduğu yerleşim noktasının enlem açısı ile eşit bir açıyla konumlandırılmasına kutupsal montaj denir. Kutupsal montajlı ve tek eksende güneş takibi yapan sistemler güneşten maksimum seviyede ısınım alan yapılar değildir; ancak sabit panellere göre daha fazla ısınım topladıkları bir gerçektir. Şekil 2.10'da gösterildiği gibi enlem açısıyla konumlandırılmış panel, dünya dönüşüyle aynı oranda yani saatte 15° derece döndürülerek yüzü daima güneşe yönlendirilmektedir. Böyle bir panel için geliş açısı θ ile panelin normali arasındaki açı δ (deklınasyon) açısına eşit olur ve güneş ışınımındaki azalma aynı δ açısı ile orantılı olur. Bu durumda panel üzerine düşen direkt ışınım miktarı $I_B \cdot \cos\delta$ şeklinde hesaplanabilir.



Şekil 2.20. PV panel için sabit açılı panelin açıları [30]

2.3.4. Güneş Panellerinin Çift Eksende Hareket Edebilir Şekilde Yerleştirilmesi

Güneş panellerinin çift eksenli hareket edebilir bir şekilde yerleştirilmesi Şekil 2.11’de gösterildiği gibi panellerin bir mekanizma sayesinde hem kuzey-güney doğrultusunda hem de doğu-batı ekseninde hareket edebilecek şekilde tasarlanır.



Şekil 2.21. Panellerin çift eksende hareket edebilir şekilde yerleştirilmesi [31]

Çift eksende dönebilir şekilde konumlandırılmış paneller tek eksende dönebilir yapılara nazaran daha karmaşık bir yapıya sahip olsalar da güneş ışınımında faydalanma oranları daha yüksektir. Çünkü tek eksende dönebilir paneller farklı deklinasyon açılarına çift eksende dönebilir paneller kadar uyum gösteremezler ve ısınım almada δ ile orantılı olarak bir azalma söz konusudur. Çift eksende güneşe yönlendirilen paneller için ifadeler aşağıdaki gibidir [31].

Güneş ışınımının etkin değeri

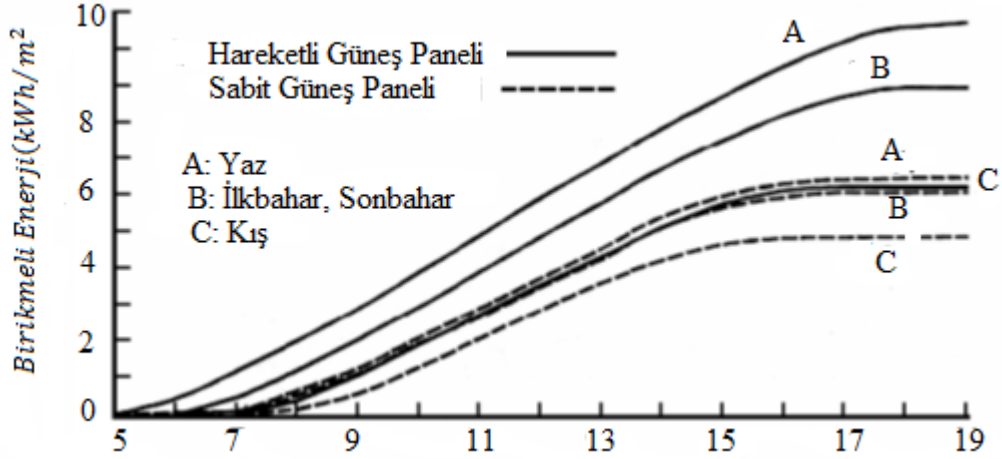
$$I_{CB} = I_B \quad (2.11)$$

PV sistemde çift eksenli güneş takibi yapan bir panel tarafından alınan dağınık ışınım miktarı ve atmosfer tabakasında yansıyan ışınım miktarı,

$$I_{DC} = C \cdot I_B \cdot \left[\frac{1 + \cos(90^\circ - \beta)}{2} \right] \quad (2.12)$$

$$I_{RC} = P(I_{BH} + I_{DH}) \left[\frac{1 - \cos(90^\circ - \beta)}{2} \right] \quad (2.13)$$

güneş panellerinin konumlandırılmasına bağlı olarak güneş ışınımlarından faydalanma miktarı değiştiğinden, panellerden alınabilecek enerji miktarları değişmektedir. Şekil 2.12’de sabit ve güneşe göre konumlandırılan hareketli panellerin mevsimsel enerji çıktıları verilmiştir [31].



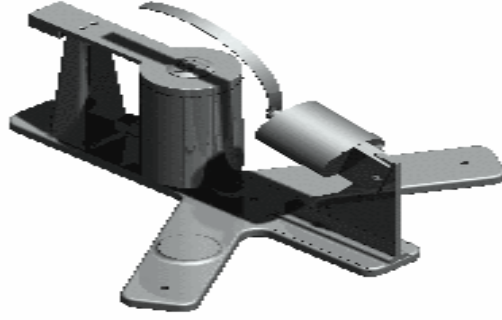
Şekil 2.22. Sabit panellerin ve güneşe göre konumlandırılan hareketli panellerin mevsimsel enerji çıktıları [31]

2.3.5. Güneş Takip Kontrolörleri

Güneş takip kontrolörleri tek eksen ve çift eksen güneş takibi yapan sistemlerde güneşin panele göre pozisyonunu tespit etmek ve paneli bu doğrultuda yönlendirmek üzere oluşturulmuş sistemlerdir [32]. Genel olarak bu kontrolörlerde güneşin panele göre pozisyonunun tespiti bir algılayıcı, paneli bu doğrultuda yönlendirme komutları bir denetleyici ve bu komutlar doğrultusunda yönlendirme bir mekanizma tarafından gerçekleştirilmektedir. Güneşin panele göre pozisyonunu algılamak üzere hareketli fotometreler veya gölgeleme prensibine göre algılama yapan fotometreler kullanılmaktadır [33]. Şekil 2.13’te hareketli fotometreye, Şekil 2.14’te gölgeleme prensibine göre çalışan fotometreye ait birer örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.23. Hareketli fotometre [33]



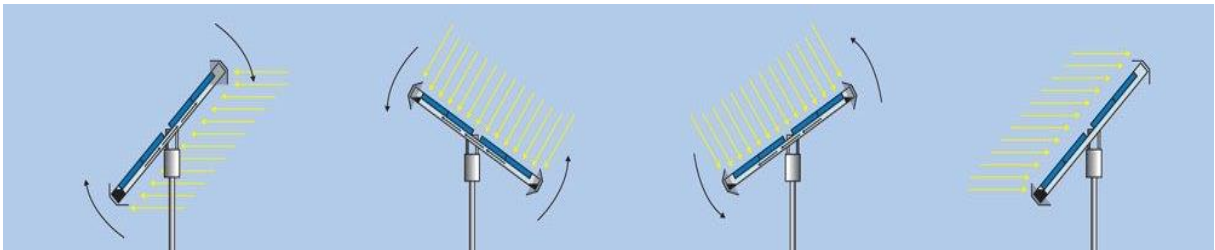
Şekil 2.24. Gölgelemeli fotometre [33]

Güneş takip sistemlerinde panelleri yönlendirme komutlarını veren denetleyici olarak mikro işlemciler, PLC vb. gibi kontrol yapıları kullanılmaktadır. Denetleyici tarafından verilen komutlar doğrultusunda panelleri yönlendirmek için oluşturulan mekanizma ise adım motorlu, küresel motorlu veya konum kontrollü DC motorlu olabilmektedir.

2.3.6. Kontrol Yöntemine Göre Takip Sistemleri

2.3.6.1. Pasif Kontrol

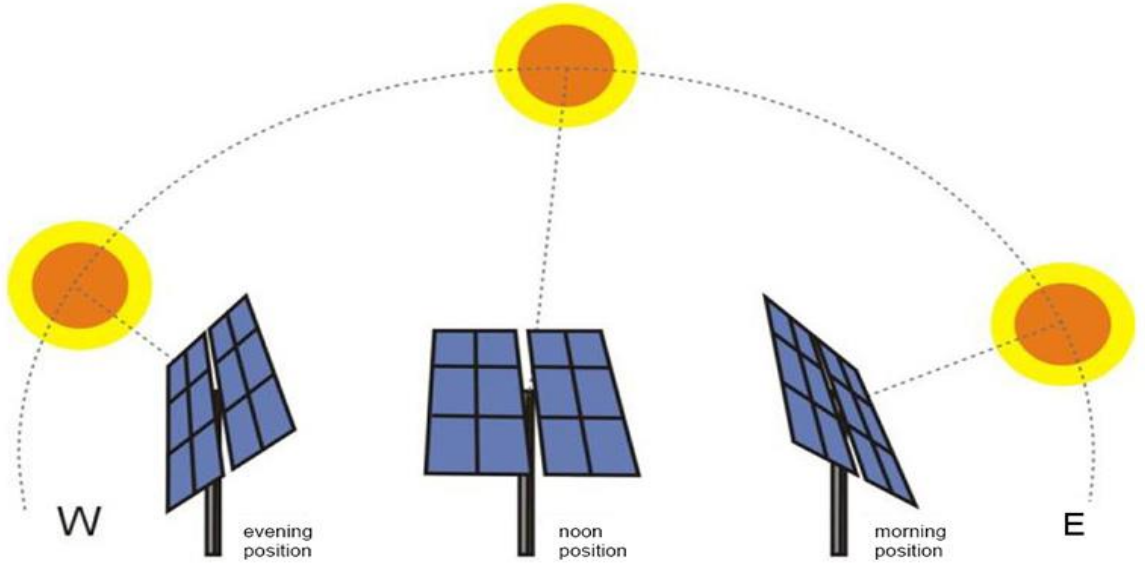
Tasarlanan sistemin güneşten gelen ışınları takip edebilmesi için gerekli olan konum verisi sensörler tarafından sağlanan ve kapalı çevrim şeklinde çalışan sistemlere Pasif Kontrol sistemi denir. Sensör olarak ışığa duyarlı sensörler veya özel geliştirilmiş sensörler kullanılarak PV panellerinin ışınım miktarının yoğun olduğu tarafa yönelmesi prensibi ile çalışan sistemlerdir. Güneş panelinin ön yüzüne yerleştirilen sensör, günün farklı saatlerinde ışımın daha yoğun geldiği yönü algılar ve bu doğrultuda bir sinyal üretir. Bu sinyal sayesinde sistemdeki hareket kontrol mekanizması panelin hareketini tek eksende veya iki eksende gerçekleştirir. Pasif kontrollü sistemlerin avantajı algoritmalarının karmaşık yapıda olmayışıdır. Ancak sistemde kullanılan sensörler ortamın değişen şartlarından çok etkilenebilir ve doğru ölçüm yapamayabilirler. Bu da güneşin yerinin yanlış tespit edilmesine sebep olabilir.



Şekil 2.25. Pasif kontrol sistemi [33]

2.3.6.2. Aktif Kontrol

Güneş konumunun tespit edilebilmesi için yer bilgisinin matematiksel algoritmalar aracılığıyla belirlendiği herhangi bir sensör sistemi kullanılmayan açık çevrim takip sistemine aktif kontrollü sistem denir. Güneş'in konumu, bazı yaklaşımlarla yıllık ve günlük hareketlerine göre matematiksel olarak modellenir [33]. Sistemin kontrol değişkenlerinin açı değerleri elde edilen matematiksel modele göre hesaplanır. Aktif kontrol sistemi pasif kontrol sistemlerine oranla daha kompleks bir yapıdadır. Pasif kontrol sistemine göre de daha güvenilir sonuçlar vermektedir. Aktif kontrollü sistemlerinde dış ortamdaki havanın kapalı olması, kirlenme, yağmur ve benzeri bozucu etkenlerden dolayı oluşturduğu hatalar mevcut değildir. Güneşin yeri matematiksel olarak bilindiği için hava bulutlu veya kapalı dahi paneller sürekli dik ışın alacak şekilde yerleştirilmektedirler. Bu sistemler de tek eksenli veya çift eksenli olarak tasarlanabilmektedir. Kontrol yapısı oluşturulurken panellerin bulunduğu bölgenin enlem, boylam ve yerel saat bilgileri ile birlikte birkaç değişkenin daha bilinmesi konumun belirlenmesi için yeterlidir [33].



Şekil 2.26. Aktif kontrol sistemi [33]

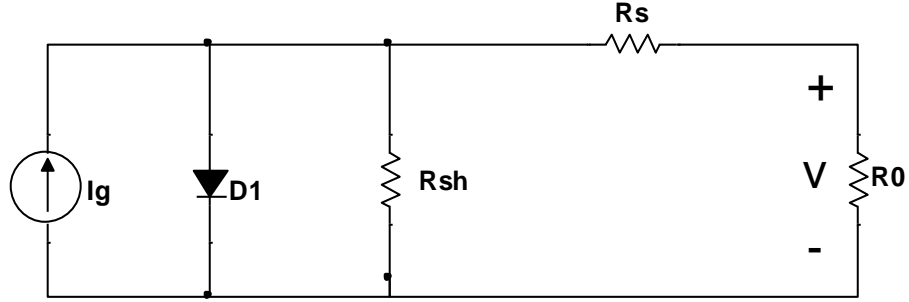
Kontrol sistemlerinin her ikisi içinde geçerli olan iki çalışma şekli vardır. Bu çalışma şekilleri; sürekli çalışma ve parçalı çalışmadır. Sürekli çalışmada güneşin konum bilgisi kontrolör tarafından anlık takip edilmekte ve anlık hareket bilgisi motorlara iletilmektedir. Parçalı çalışma prensibinde ise kontrolör yine konum bilgisini anlık olarak almakta ancak Güneş, belirli zaman aralıkları ile takip edilmektedir. Bu şekilde takip

sisteminin enerji tüketimini azaltmaktır. Güneş takip sisteminin ne kadar enerji tükettiği önemli bir parametredir. Enerji üretim sistemlerinde sistemin ürettiği enerjiyi fazladan harcaması istenmeyen bir durumdur. Özellikle büyük boyutlu sistemlerin hareket ettirilmesi için gerekli mekanik ve buna bağlı elektrik aksam yüksek enerji isteyebilmektedir. Böyle büyük boyutlu enerji sistemlerde kontrol sistemleri parçalı olarak kontrol edilerek direkt veya şebekeden beslenerek güneş takip edilmektedir.

3. GÜNEŞ PİLLERİ VE KULLANILAN TOPOLOJİ

3.1. Güneş Pili Eşdeğer Devresi

Bir güneş pilinin elektronik davranışının anlaşılması için, davranışları iyi bilinen ayrık elektriksel bileşenler kullanılarak elektriksel eşdeğer devresinin elde edilmesi gerekir. İdeal bir güneş pili, Şekil 3.1’de görüldüğü gibi bir diyot ve paralel bir akım kaynağı kullanılarak modellenilebilir. Güneş pilleri non-lineer bir aygıttır. Güneş pili eşdeğer devresi Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Güneş pili eşdeğer devresi [34]

PV modelin I-V karakteristiğini açıklayan basit denklem aşağıda verilmiştir.

$$I = I_L - I_0 \left(e^{\frac{q(V+IR_S)}{nkT}} - 1 \right) - \frac{V+IR_S}{R_{Sh}} \quad (3.1)$$

Burada;

I : Hücre akımı(A)

I_L : I_g Işık kaynaklı akım(A)

I_0 : Diyot doyma akımı

q : Elektron yükü ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Coulomb)

K : Boltzman Sabiti (J/K)

T : Hücre sıcaklığı (K)

R_S : Hücrenin seri direnci

R_{Sh} : Hücrenin shunt direnci

V : Hücre çıkış voltajıdır.

R_{Sh} çok büyük olduğundan, elektriksel modeli basitleştirmek için R_{Sh} ihmal edilebilir.

$$I = I_L - I_0 \left(e^{\frac{q(V+IR_S)}{nkT}} - 1 \right) \quad (3.2)$$

$$I_L = I_{sc,1000} \cdot \frac{G}{G_0} \quad (3.3)$$

$$G_0 = 1000W/m^2[4] \quad (3.4)$$

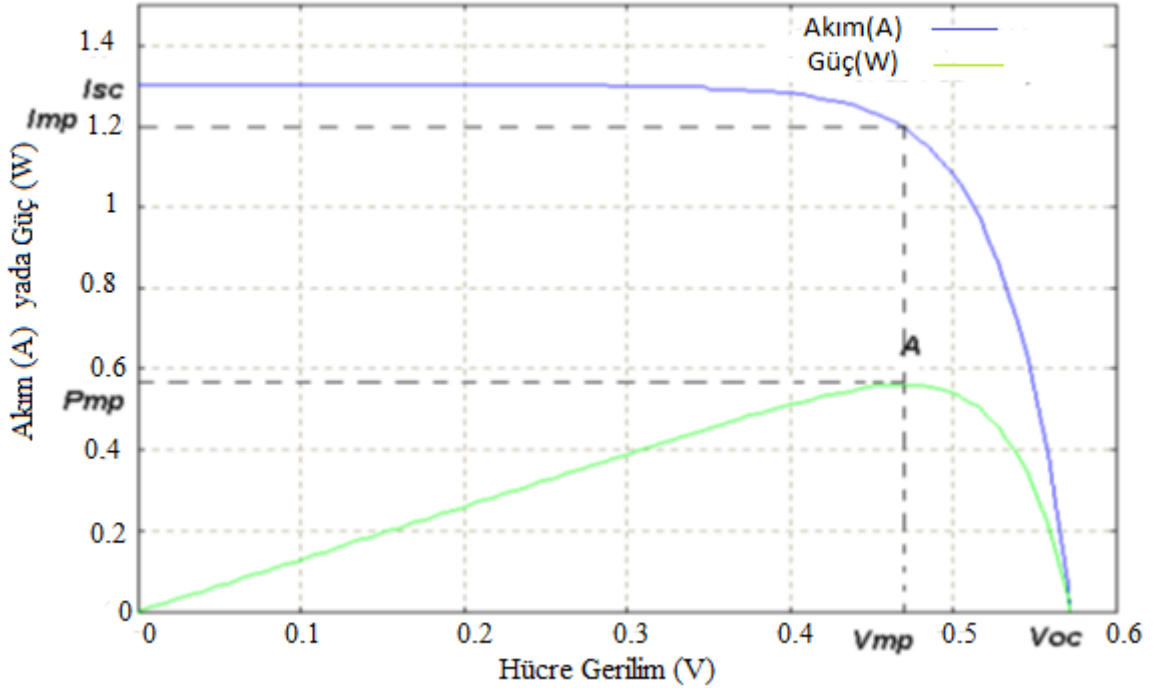
$$I = I_{sc,1000} \cdot \frac{G}{1000} - I_0 \left(e^{\frac{q(V+IR_S)}{nkT}} - 1 \right) \quad (3.5)$$

$$I_0 = \frac{I_{sc}}{\frac{qV_0}{(e^{nkT}-1)}} [4] \quad (3.6)$$

$$I = \left[I_{sc,1000} \cdot \frac{G}{1000} \right] - \left[\left(\frac{I_{sc}}{\frac{qV_0}{(e^{nkT}-1)}} \right) \left(e^{\frac{q(V+IR_S)}{nkT}} - 1 \right) \right] \quad (3.7)$$

3.2. Güneş Pili Karakteristiği

Bir Güneş piline ait akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) karakteristiği Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Güneş piline ait I-V ve P-V grafiği [34]

Şekilde gösterilen performans parametreleri:

Açık Devre Voltajı (Open Circuit Voltage - V_{oc}): Şekil 3.2' de I-V eğrisinin x eksenini kestiği yani akımın sıfır olduğu noktadır. Bu noktada güç sıfıra eşittir.

Kısa Devre Akımı (Short Circuit Current - I_{sc}): Şekil 3.2' de I-V eğrisinin y eksenini kestiği yani voltajın sıfır olduğu noktadır. Bu noktada güç sıfıra eşittir.

Maksimum Güç Noktası (Maximum Power Point – MGN): Gücün maksimuma ulaştığı noktadır. Şekil 3.2’ de A noktası ile gösterilmiştir. Bu noktada güç maksimuma ulaşmaktadır.

Maksimum Güç Voltajı (Maximum Power Voltage - V_{mp}): Gücün maksimum olduğu noktadaki voltaj değeridir.

Maksimum Güç Akımı (Maximum Power Current - I_{mp}): Gücün maksimum olduğu noktadaki akım değeridir.

Fill Factor (FF): Maksimum gücün $I_{sc} \cdot V_{oc}$ değerine oranıdır. Fill Factor oranı I-V eğrisinin keskinliğini belirlemektedir. İyi PV hücreleri için FF değeri 0,7’den yüksektir. Kalite kontrol testleri için FF değeri önemli bir parametredir.

3.3. Güneş Pili Üretim Teknolojisi

Kullanılan maddeler ve yapım türleri açısından Güneş pili teknolojisi son derece zengindir. Güneş pili yapımı için şu anda kullanılmakta olan halı hazırda bulunan maddenin yanı sıra, yüzlerce maddenin de üzerinde incelemeler yapılmaktadır. Belli başlı güneş pili türleri aşağıda anlatılmaktadır [34].

3.3.1. Kristal Silisyum Güneş Pilleri

Silisyum, güneş hücresi yapımında en çok tipik yarı iletken özellikleri gösteren ve kullanılan bir maddedir. Uzun yıllarda bu konumunu koruyacak gibi görünmektedir. Fotovoltaik özellikleri daha üstün olan başka maddeler de olmakla birlikte, silisyum hem teknolojisinin üstünlüğü hem de ekonomik nedenlerle tercih edilmektedir [34].

3.3.2. Ribbon Silisyum Güneş Pilleri

Bu piller, malzeme kaybının azaltılması amacıyla levha halinde silisyum tabakalarından yapılırlar. Efg, Dendritik ağ gibi çeşitli yöntemlerle elde edilen bu piller, halen geliştirme aşamasındadır. Verimleri laboratuvar şartlarında %13-14 arasındadır [34].

3.3.3. Polikristal Silisyum Güneş Pilleri

Bu piller de ribbon silisyum teknolojisiyle yapılıp, yapıları polikristal özellik gösterir. Halen laboratuvar aşamasındaki bu pillerin verimleri %10’dur [34].

3.3.4. İnce Film Güneş Piller

İnce film güneş hücreleri tekniğinde, soğurma özelliği daha iyi olan maddeler kullanılarak daha az kalınlıkta (tek kristalin 1-500’ü kalınlığında) güneş pilleri yapılır. Örnek olarak amorf silisyum güneş pillerinin emme katsayısı kristal silisyum güneş pillerinin katsayısından daha fazladır. Dalga boyu katsayısı 0,7 mikrondan küçük bir bölgedeki güneş

ışını 1 mikron kalınlığında amorf silisyum ile soğurulabilirken, kristal silisyumda ise aynı ışıını soğurmak için 500 mikron kalınlıkta malzeme kullanılması gerekmektedir. Bu yüzden amorf yapılu güneş pillerinde daha az malzeme kullanılır ve montaj kolaylığı nedeniyle bir avantaj sağlar [34].

3.3.5. Amorf Silisyum Güneş Pilleri

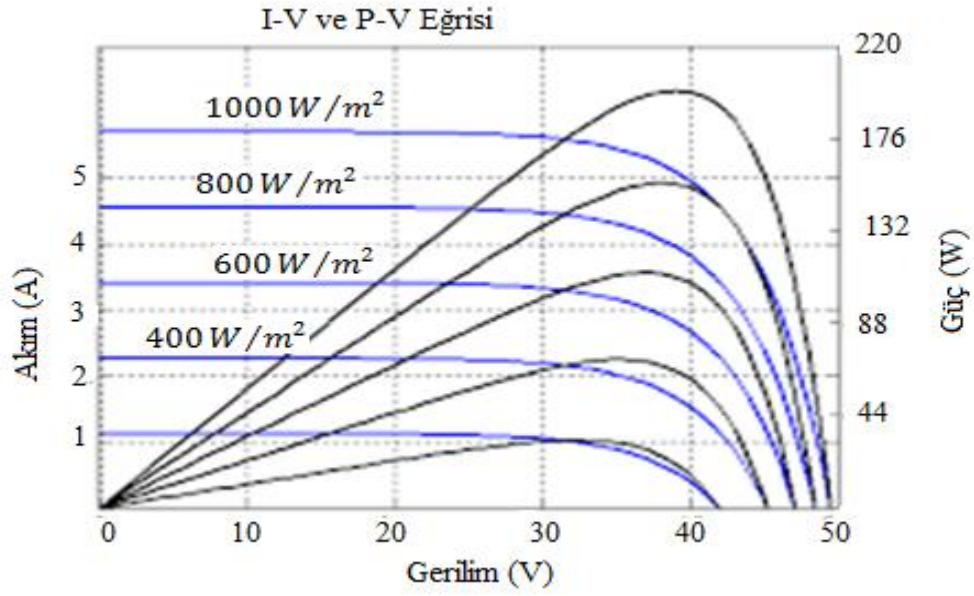
Amorf silisyum güneş hücreleri (a-Si), ince film güneş pili teknolojisinin en iyi örneğidir. İlk yapılan a-Si piller Schottky bariyer yapısında iken, daha sonraları p-i-n yapıları geliştirilmiştir. P-i-n yapısındaki pillerin fabrikasyonu kalay oksitle kaplı iletken bir yüzeyin üzerine çöktürme yöntemi ile yapılır, bu yüzeyin arkası daha sonra metalle kaplanır. Verimleri %5-8 arasındadır [34].

3.3.6. Diğer Yapılar

Bakır indiyum diselenit (CuInSe) maddesinden yapılan ve verimleri %13 civarında olan piller halen gelişme aşamasındadır. Bu piller daha kararlı çıkışa sahip olduğu için soğurma özelliği yüksek, verimleri de %12 dolaylarındadır. Bu güne kadar elde edilen en yüksek verime (%24) galyum arsenitten yapılan piller ulaşmıştır. Bu madde ile değişik yapılarda piller elde edilebilmekle birlikte, pahalı olduğu için pillerin, güneş spektrumunun daha büyük bir bölümünden yararlanabilmesi amacı ile denenen bir yöntemdir. Galyum arsenit piller birden fazla ince film yapısının üst üste konmasıyla elde edilen çok eklemlili film yapılarıdır. Bunların dışında, güneş ışıınının yüksek verimli pillerin üzerine optik olarak yoğunlaştıran sistemler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu tür sistemlerde güneşin hareketini izleyen düzeneklerin yanı sıra, güneş ışıını kırın (mercek) ya da yansıtan eleman kullanılır [35].

3.4. Işınım ve Sıcaklığın Etkisi

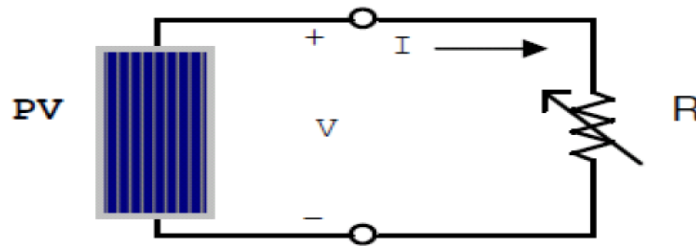
Şekil 3.3'te 60W'lık bir PV panelin 500, 750, 1000 W/m²'lik ışıınımdaki I-V eğrisi görülmektedir. Işınımın artması ile akımında arttığı görülmektedir. Panelin maksimum güç noktası, ışıınımla orantılı olarak dik bir artış göstermektedir. Hücre sıcaklığı sabit tutulduğunda, ışıınımla artmasıyla güç artmakta, ayrıca maksimum gücün elde edildiği voltaj değeri (V_{mpp}) de artmaktadır. Bu durum ışıınımla 1 güneş değeri (1 sun=1 kW/m²) daha büyük değerlere kadar sürmektedir. Işınım derecesini etkileyen faktörlerden bazıları: Günlük ve sezonluk güneş yolu, güneş ve dünya arasındaki sis, bulut vs [35].



Şekil 3.3. Işınımın I-V ve P-V eğrisine etkisi [35]

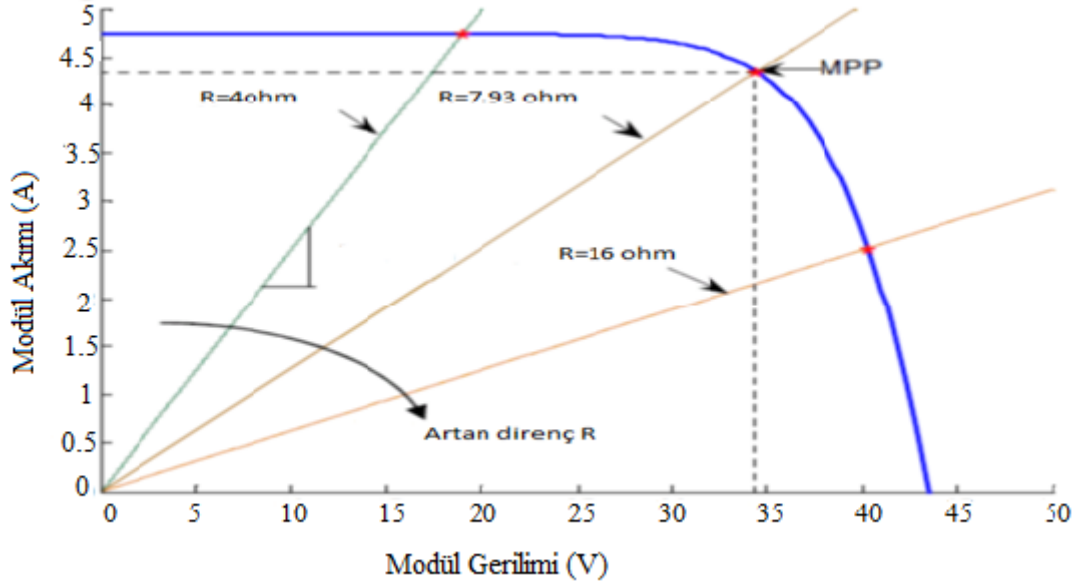
3.5 İstenen Güç ile Üretilen Güç Arasındaki Uyumsuzluğun Giderilmesi

PV modül yüke direk bağlandığında, PV modüle çalışma noktası akım-gerilim eğrisi ile yükün akım-gerilim ilişkisinin oluşturduğu yük çizgisinin kesiştiği noktada olacaktır. Örnek olarak Şekil 3.6'da dirençsel yükün Şekil 3.7'de gösterildiği gibi $1/R_{Load}$ eğiminde düz bir çizgisi vardır. Diğer bir deyişle yükün empedansı PV modülün çalışma koşullarını belirlemektedir. Genel olarak bu çalışma noktası seyrek olarak PV modülün maksimum güç noktası olmaktadır. Bu nedenle PV modüle maksimum güç üretememektedir [36].



Şekil 3.6. PV modülün değişken direnç ile bağlanması

Yapılan çalışma göstermiştir ki direkt bağlı sistem PV kapasitesinin %31'ini kullanabilmektedir [36].



Şekil 3.7. I-V eğrisinin değişik direnç değerlerinde simülasyonu [37]

Düşük güç verimli kış ayları boyunca, PV dizisi gücü genellikle tolare edebilecek büyüklüğü düşüktür. PV dizi ile yük arasındaki bu uyumsuzluk PV dizinin daha fazla büyütülmesini gerektirmekte ve bu da genel sistem maliyetini arttırmaktadır. Bu problemi azaltmak için MGNT PV dizisinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlamak için kullanılabilir. MGNT'ler düzgün ayarlandığında PV gücünü %97'den fazla arttırabilirler [37]. Beklenen güç ile üretilen güç arasındaki uyumsuzluk; düşük ışınım derecesi ve yüksek hücre sıcaklığından kaynaklanmaktadır. PV dizisinin maksimum gücündeki gerilim değeri PV dizisinden alınan gücü etkilediğinden ışınım derecesi ve hücre sıcaklığı PV dizisinden alınan gücün limit değerini belirlemektedir [38]. Bu nedenle uyumsuzluk 3 parametreden oluşmaktadır:

- Işınım derecesi (Insolation levels)
- Hücre sıcaklığı (Cell temperature)
- Dizi gerilimi (Array voltage)

PV güç üzerinde ışınım derecesi nedeniyle oluşan limitler güneş yolu izleyicisi (Solar Path Tracker) kullanılarak azaltılabilir. Günlük ve sezonluk güneş izlenimi ortalama ışınım derecesini arttıracak ve sonuçta ortalama günlük uyum limiti artacaktır. Hücre ile çevresi arasındaki artan termal iletkenlik nedeniyle oluşan ısı artışı limit değerinin azalmasına neden olmaktadır. 75°C'de %78 olan PV panel uyum limiti 50°C'de %91'e yükselmektedir. Daha önce açıkladığımız gibi ışınım derecesi ve hücre sıcaklığı sadece en iyi uyum limitini

belirlemektedir. Asıl uyum PV dizisi gerilimi tarafından belirlenmektedir. Bu nedenle yük ile PV güç kaynağı arasında DC/DC dönüştürücü ile yük uyumu sağlanmalıdır [38].

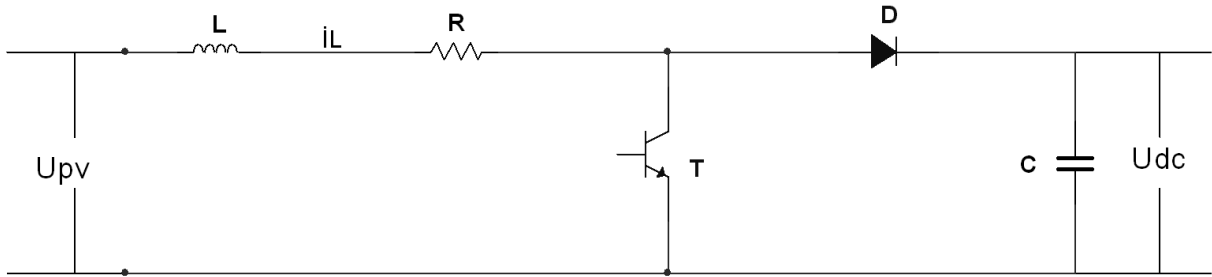
3.6. Dönüştürücü Karakteristiği ve Yük Eşleştirme

Çoğu uygulamalarda, maksimum güç noktası izleyicisi, mevcut maksimum enerjiyi PV dizisinden yüke aktarmak için tavsiye edilir. Maksimum güç noktası izleyicisi Buck veya Boost topolojileri üzerine kurulabilir. Buck dönüştürücü genelde düşük çıkış gerilimlerinde, Boost dönüştürücü ise daha yüksek çıkış gerilimlerinde kullanılmaktadır. Çoğu durumlarda Buck dönüştürücü daha yüksek verim sağlamaktadır. Bu iki yapılandırma arasındaki diğer fark ise; Buck dönüştürücüde akım bazen giriş portuna akmamaktadır fakat Boost dönüştürücüde akım sabit bir şekilde giriş portuna akmaktadır. Buck topolojisinin geleneksel sistemlerdeki yüksek verimine karşın; PV sistemlerde Boost topolojisi daha yüksek uyum göstermektedir. Çünkü Boost dönüştürücü sürekli akım modunda PV hücrelerden mümkün olan en yüksek gücü sağlamaktadır [38].

3.6.1. Boost Topolojisi

3.6.1.1. Topolojinin Genel Yapısı

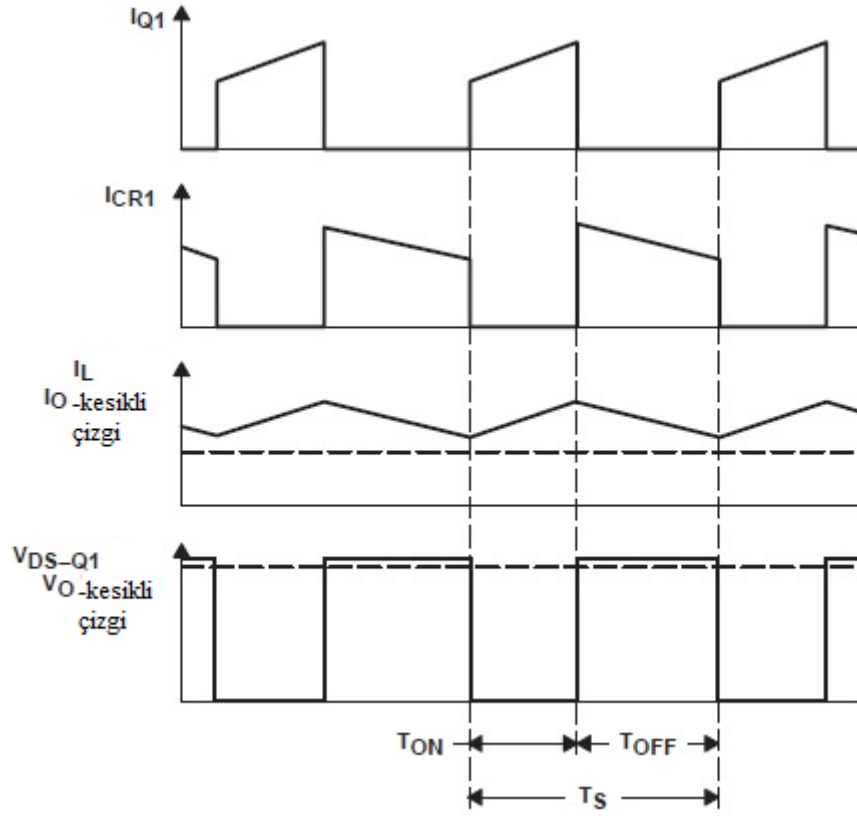
Boost topolojisinin yapısı Şekil 3.8'de görülmektedir.



Şekil 3.8. Boost topolojisi [38]

S anahtarı kapalı (iletimde) olduğunda akım L endüktansı üzerinden akmaktadır. Böylece endüktans şarj olmaktadır. Aynı zamanda yük gücünü çıkış kapasitesinden almaktadır. S anahtarı açıldığında akım güç kaynağından endüktans ve diyot üzerinden akacaktır. Böylece C kapasitesi tekrar şarj olacak ve eş zamanlı olarak yükü besleyecektir. Şekil 4'de tipik dalga formları görülmektedir [38].

- Anahtarlama dalga formları
- Giriş endüktansı üzerindeki akımın dalga formu
- Giriş endüktansı üzerindeki gerilimin dalga formları
- Yük üzerindeki gerilimin dalga formları



Şekil 3.9. Boost topolojisi dalga formları [38]

Yukarıdaki grafikte;

1. grafikte S anahtarının durumu,
2. grafikte L endüktansı üzerindeki akımının değişimi,
3. grafikte L endüktansı üzerindeki gerilim değişimi,
4. grafikte ise yük direnci üzerindeki gerilimin değişimi gösterilmiştir.

Analizi basitleştirmek için;

- Tüm elemanlar ideal,
- Yük omik,
- Anahtarlama zamanı elektrik zaman sabitinden daha küçük seçilmiştir.

3.6.1.2. Çıkış Gerilimi Değeri

Dönüştürücü durgun durum operasyonunda, endüktans üzerindeki gerilim değeri T periyodu boyunca 0'dır. Çıkış gerilimi denklemi [38].

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{1-D} \quad (3.8)$$

Burada;

V_{out} = Çıkış gerilimi,

V_{in} : Giriş gerilimi,

D : Doluluk oranı(Duty cycle= $\frac{T_{on}}{T}$)

T_{on} : Anahtarın iletimde olduğu süre .

3.6.1.3. Kapasite ve Endüktans Değerleri

Gerekli olan maksimum akım ve gerilim dalgalanmalarından T_{on} ve T_{off} sürelerindeki enerji şarjı ve deşarjı düşünülerek kapasite ve endüktans değerleri aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir.

$$C = \frac{V_{out} * T * D}{2\Delta V_{out} * R_{load}} \quad (3.9)$$

$$L = \frac{2C * V_{out} * \Delta V_{out}}{2I_{in} \Delta I_{in}} \quad (3.10)$$

Burada;

C : Çıkış kapasitesi

T : Anahtarlama Periyodu

R_{Load} : Yük direnci

ΔV_{out} : Çıkış gerilim dalgalanması

L : Giriş endüktansı

ΔI_{in} : Giriş Akımı Dalgalanması

I_{in} : Giriş akımı [38]

3.6.1.4. Yük Direnci Değeri

Giriş ve çıkış gerilimleri arasında doluluk oranına bağlı bir ilişki bulunmaktadır. Giriş ve çıkış arasında güç kaybı olmadığı düşünülürse (POPI tip);

Uygun yük denklemi:

$$R_{load} = \frac{V_{in}}{I_{in}(1-D)^2} \quad (3.11)$$

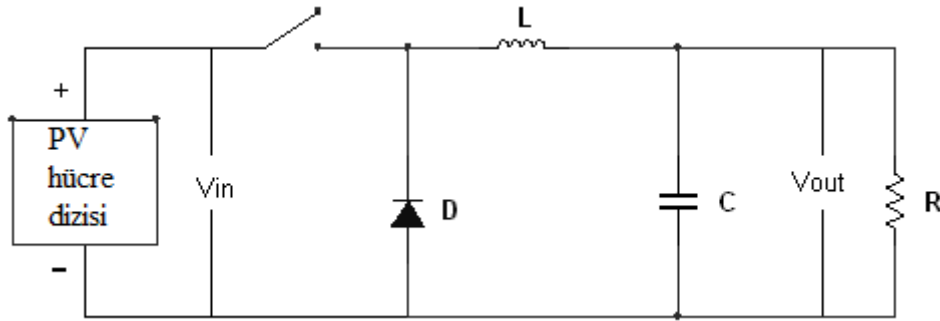
3.6.2. Buck Topolojisi

3.6.2.1. Topolojinin Genel Yapısı

PV sistemde kullanılan Buck dönüştürücü iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla

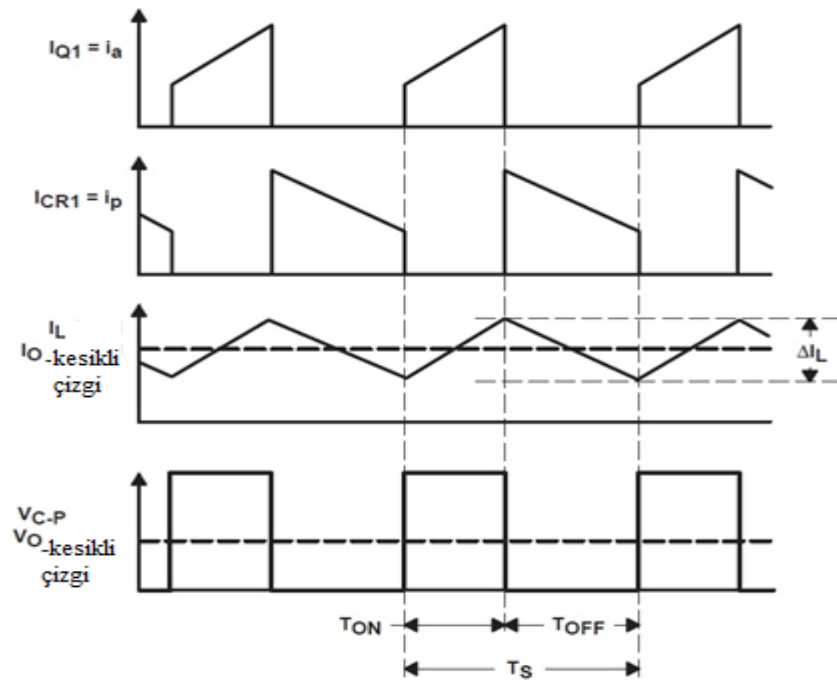
1. Değişken doluluk oranına sahip kare dalga kaynağı
2. 40 dB'lik alçak geçiren filtre (Düşük çıkış dalgalanması için)

$f_c = 1/2\pi\sqrt{LC}$ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.10. Buck topolojisi

Bu dönüştürücünün iyi tarafı çıkış gerilimi dalgalanmasının çıkış gerilimine oranla çok düşük olmasıdır. Bu nedenle yük akımı sabite yakındır ve endüktans tarafından üretilen dalgalı akım kapasiteye akmaktadır. Tipik gerilim ve akım dalga formları Şekil 3.11'de gösterilmiştir [38].



Şekil 3.11. Buck topolojisi dalga formları [38]

Yukarıdaki diyagramda

1. grafikte S anahtarının durumu,
2. grafikte L endüktansı üzerinden akan akımın değişimi,
3. grafikte endüktans üzerindeki gerilim değişimi,
4. grafikte ise yük direnci üzerindeki gerilim değişimi gösterilmiştir.

3.6.2.2. Çıkış Gerilimi Değeri

Endüktans üzerindeki gerilim T periyodu boyunca 0 olduğundan aşağıdaki denklem yazılabilir [39].

$$V_{out} = V_{in}D \quad (3.12)$$

3.6.2.3. Kapasite ve Endüktans Değerleri

Herhangi bir zamanda endüktans üzerindeki gerilim değeri aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.[39]

$$V_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (3.13)$$

Endüktans ve kapasite değerleri aşağıdaki denklemler ile hesaplanabilir.

$$\Delta L_{in} = \frac{V_{out}(1-D)T}{L} \quad (3.14)$$

Kapasite değeri ise;

$$C = \frac{T\Delta I_L}{8C\Delta V_{out}} \quad (3.15)$$

3.6.2.4. Yük Direnci Değeri

Giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki ilişki doluluk oranı ile belirlenmektedir. %100 verim ile dönüştürücünün POPI tipinde olduğu kabul edilirse [39];

$$R_{load} = \frac{V_{in}}{I_{in}} * D \quad (3.16)$$

3.6.3. Buck – Boost Dönüştürücü Karşılaştırılması

Asıl amacın olabilecek en yüksek gücün kaynaktan yüke iletilmesi olduğundan, durgun durumdaki çıkış gerilimi birinci önceliğe sahip değildir. Bu nedenle güneş pilinin çalışma gerilim ve akımının, maksimum akım ve gerilim değerlerine (V_{max} ve I_{max}) çok yakın olmalıdır [39].

Güneş pilinden alınabilecek maksimum güç miktarı:

$$P_{max} = V_{max} * I_{max} \quad (3.17)$$

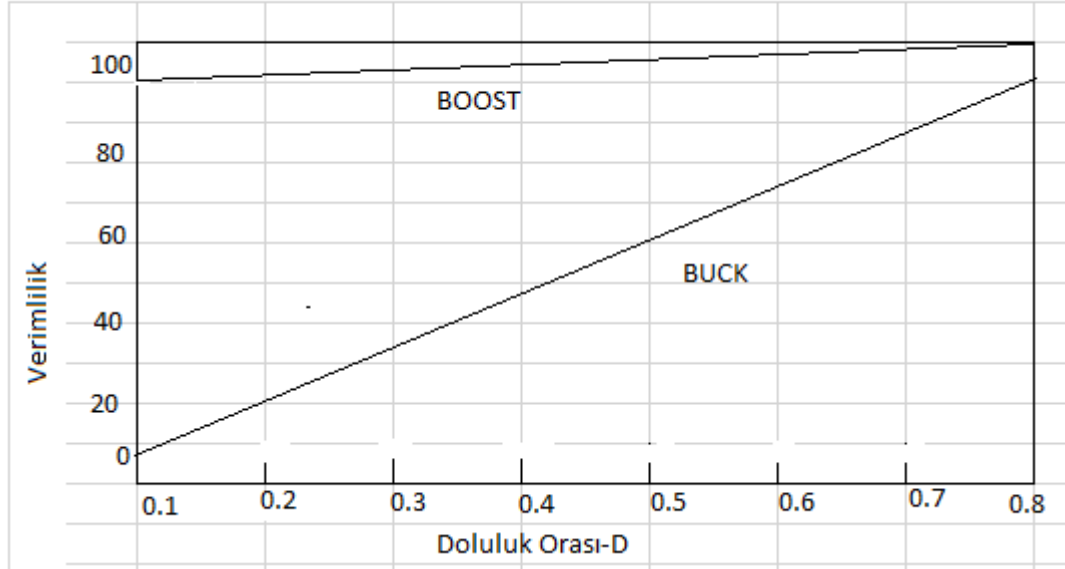
Aşağıdaki denklem ile hesaplanabilmektedir. Dönüştürücü tarafından iletilen güç ise

$$P_{conv} = \frac{1}{T} \int_T V_{in} I_{in} dt = \frac{1}{T} [V_{in}(T_{on}I_{in}) + V_{in}(T_{off}T_{in})] \quad (3.18)$$

Ve dönüştürücü verimi ise;

$$\eta_{conv} = P_{conv} / P_{max} \quad (3.19)$$

olarak bulunur. Şekil 3.12'ye göre her iki topolojide de doluluk oranının artışıyla verimin arttığı görülmektedir. Bununla birlikte Buck dönüştürücüdeki verimin artış hızı Boost dönüştürücüde verimin zaten yüksek olması nedeniyle daha yüksektir. Buck dönüştürücü ancak %100 doluluk oranıyla Boost dönüştürücü verimini sağlamaktadır. Sonuç olarak Boost dönüştürücünün güneş pili uygulamalarında daha başarılı olacağı görülmektedir. Buck dönüştürücü ise yüksek doluluk oranında kullanılmalıdır.



Şekil 3.12. Topoloji verimlerinin karşılaştırılması

Boost dönüştürücü giriş gerilimini yükseltirken (step-up) Buck dönüştürücü giriş gerilimini düşürmektedir (Step-down). Giriş geriliminin çıkış geriliminden yüksek olduğu uygulamalarda Buck dönüştürücü kullanılması gerekmektedir. Boost dönüştürücü kullanımındaki zorluk ise Boost dönüştürücünün kontrolünün zorluğudur. Boost dönüştürücüdeki doluluk oranındaki değişimle verimin çok küçük bir aralıkta değişimidir [39]. Boost dönüştürücü teorik olarak üstün olmakla birlikte, pratikte dönüştürücünün verim avantajları nedeniyle maksimum güç noktasını yakalaması önemsizdir. Bununla birlikte diğer avantajları MGNI için boost topolojisini buck topolojisinden daha iyi bir seçim yapabilir [39].

3.6.4. Yük Eşleştirme

Bölüm 3.5'te bahsedildiği gibi, PV yüke direk bağlandığında, PV çalışma noktası yük tarafından belirlenmektedir. Yükün empedansı aşağıda tanımlanmıştır:

$$R_{load} = \frac{V_0}{I_0} \quad (3.20)$$

Burada V_0 çıkış gerilimi ve I_0 çıkış akımıdır.

PV için optimal yük değeri ise:

$$R_{opt} = \frac{V_{MPP}}{I_{MPP}} \quad (3.21)$$

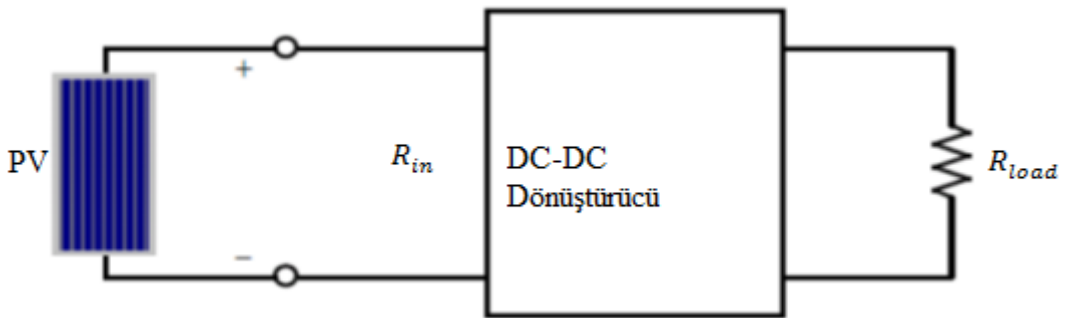
Burada V_{MPP} ve I_{MPP} maksimum güç noktasındaki gerilim ve akımdır. R_{load} değeri R_{opt} 'ye eşit olduğunda, maksimum güç transferi gerçekleşmektedir. Bu iki parametre pratikte bağımsızdır ve nadiren eşit olur. MGNT'nin hedefi yükün empedansı ile PV'nin optimal empedansını eşitlemektir [39]. Aşağıdaki yük eşleştirme örneği ideal (Kayıpsız) Cuk dönüştürücü kullanmaktadır.

$$I_s = \frac{D}{1-D} I_0 \quad (3.22)$$

Eşitlik 3.10 ve 3.16'dan;

$$R_{in} = \frac{V_s}{I_s} = \frac{(1-D)^2 V_0}{D^2 I_0} = \frac{(1-D)^2}{D^2} R_{load} \quad (3.23)$$

Şekil 3.13'te görüldüğü gibi, PV tarafından görülen empedans dönüştürücünün girişinde görülen empedansa eşittir (R_{in}). Doluluk oranı (D) değiştirilerek R_{in} değeri R_{opt} değeri ile eşitlenebilir. Böylece yükün empedansı, doluluk oranı ayarlandığı müddetçe herhangi bir değer olabilir.



Şekil 3.13. PV tarafından görülen empedans

4. BENZETİM VE DENEYSEL SONUÇLAR

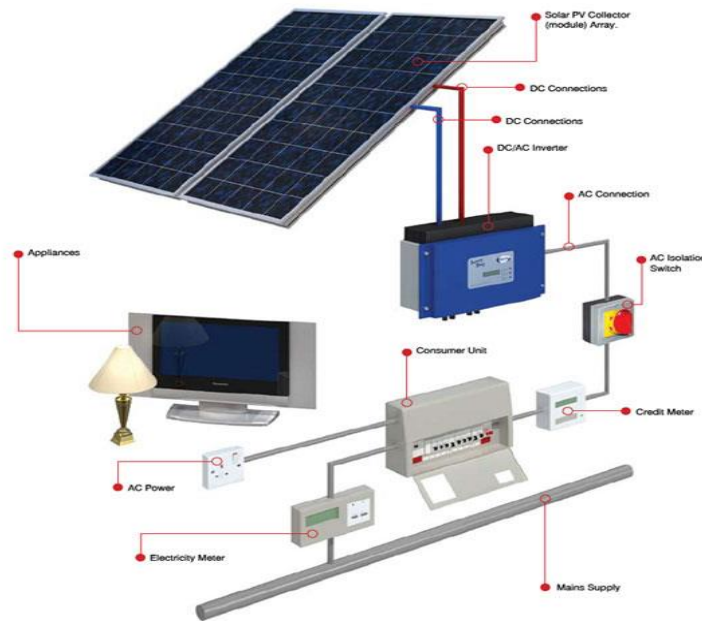
4.1. Sistemin Kurulması

Kuruluan PV sistemde aynı teknik özelliklere sahip, sonradan ekstra donanım eklenerek dört adet güneş paneli kullanılmıştır. Tesis edilen PV sistemde hücre sıcaklığının sistemdeki etkisini incelemek için bir ufo kullanılmıştır. Tozlanmanın PV sistemin verimini nasıl etkilediğini görebilmek için bir panelin yüzeyi 10 g/0.63 m² tozla kaplanmıştır. Güneşi doğudan batıya yatay tek eksenle takip edip, güneş panellerine düşen ışık açısının daha büyük derecede tutulması Güneş Takip Sistemi ile sağlanmıştır.

Neden güneş takip (tracker) sistemi

- Güneşin günlük ve Dünya'nın yıllık hareketi nedeniyle güneş enerjisinden her zaman faydalanamama,
- Güneş hücrelerinin güneş ışınlarının panele sadece dik geldiği zaman maksimum verimi vermeleri,
- Kötü hava, iklim koşullarında istenilen ışınım miktarının alınamaması,
- PV sistemden yüksek güçler elde etmek için geniş yüzey alanı ihtiyacı ve bununla beraber maliyetin yükselmesi.

Böylece sistem sayesinde güneş enerjisinden gün boyu yararlanma olanağı ile kayıp olan kısmın tekrar sisteme katılımı ve verimin artması hedeflenmektedir.



Şekil 4.1. Deneyde kullanılan sistemin simülâtörü



Şekil 4.2. Deneyde kullanılan pano

Kurulan sistem, SCADA yazılımı ile kontrol edilmektedir. Bu yazılımla sistemdeki tüm veriler anlık olarak izlenip sisteme uzaktan müdahale imkânı sağlanmaktadır. Bu ara yüz yazılımıyla inverterlerden alınan veriler önce RS232/RS485 converterine buradan da bilgisayarın RS232 portuna gelmektedir. Daha sonra alınan bu veriler derlenerek ilgili işlemler (gerilim, akım, hava sıcaklığı, bağıl nem, arıza bilgileri gibi) yapılmakta ve yapılan tüm işlemler yazılımın ara yüzünde görülmektedir. Bu ara yüz yazılımı, verileri derleyerek önceden programlanan algoritmalara göre işlemleri yapmaktadır. Yapılan işlemler aynı zamanda sistemin veri tabanına eş zamanlı olarak kayıt altına alınmaktadır. Sistemin kontrolü için de Modbus RTU protokolüne sahip 4 adet dijital çıkış ve 4 adet dijital girişe sahip I/O kartı kullanılmıştır. Bu kartla sistemin pc ile kumandası ve arıza bilgileri alınmaktadır. Merkezdeki bilgisayarda internet ağı mevcut ise başka bir yerden de kullanıcı şifresi ile bu bilgisayara bağlanılarak sistem kontrol edilebilmektedir.

Çizelge 4.1. Projede kullanılan mevcut makine–teçhizat listesi

Projede Kullanılan Mevcut Makine – Teçhizat Listesi (*)	
Adı/Modeli	Projede Kullanım Amacı
Hafızalı osilaskop/ Fluke	Sinyal ölçümleri
Fonksiyon jenaratörü/Goodwill	Sinyal üretimi
Multimetre /Fluke	Gerilim, akım, direnç vb. ölçümü
DC pover supply/Goldstar	DC gerilim kaynağı
Güç Analizörü/Hioki	Güç ve harmonik ölçümü

Sistemde aynı teknik özelliklere sahip dört adet panel kullanılmıştır. Bu panellerin aşağıda belirtilen şartlardaki çalışmaları deneysel olarak incelenmiştir.

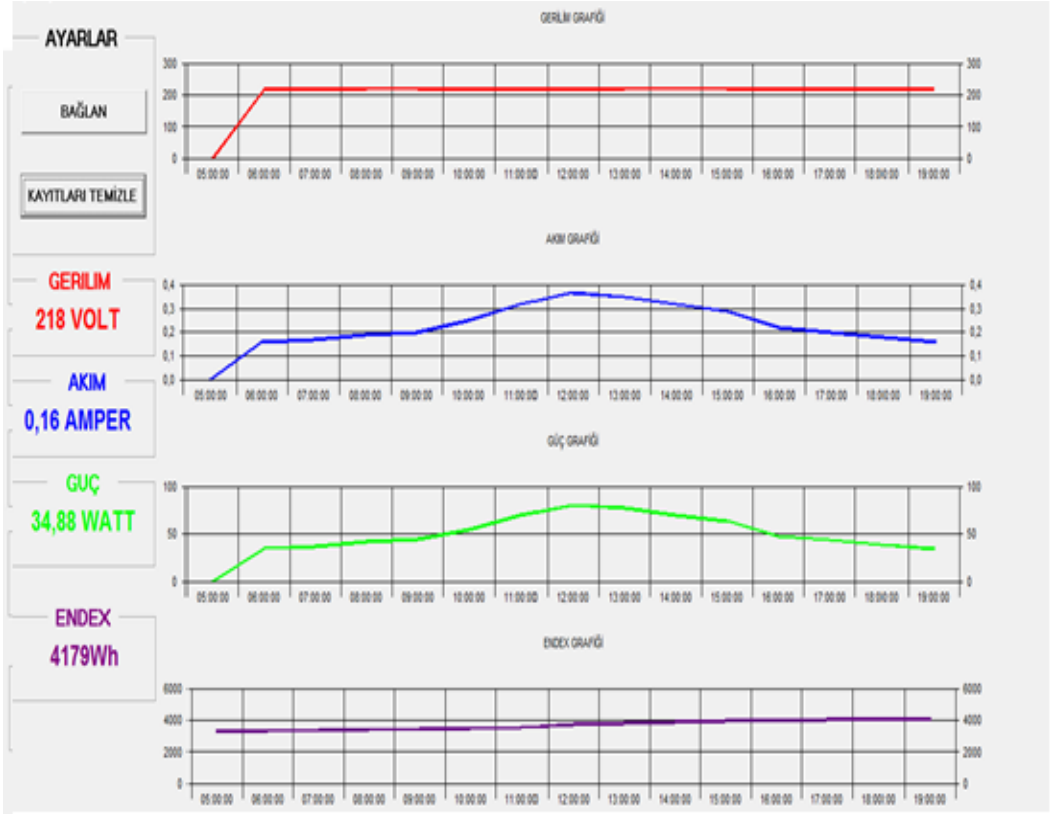
Sırasıyla:

- Yüzeyi temiz panel
- Yüzeyi 10 g/0,63 m² tozla kaplanmış panel
- Güneş takip sisteminin bağlı olduğu yüzeyi temiz panel
- Yüzeyi temiz ve ufo yardımıyla ısıtılan panel

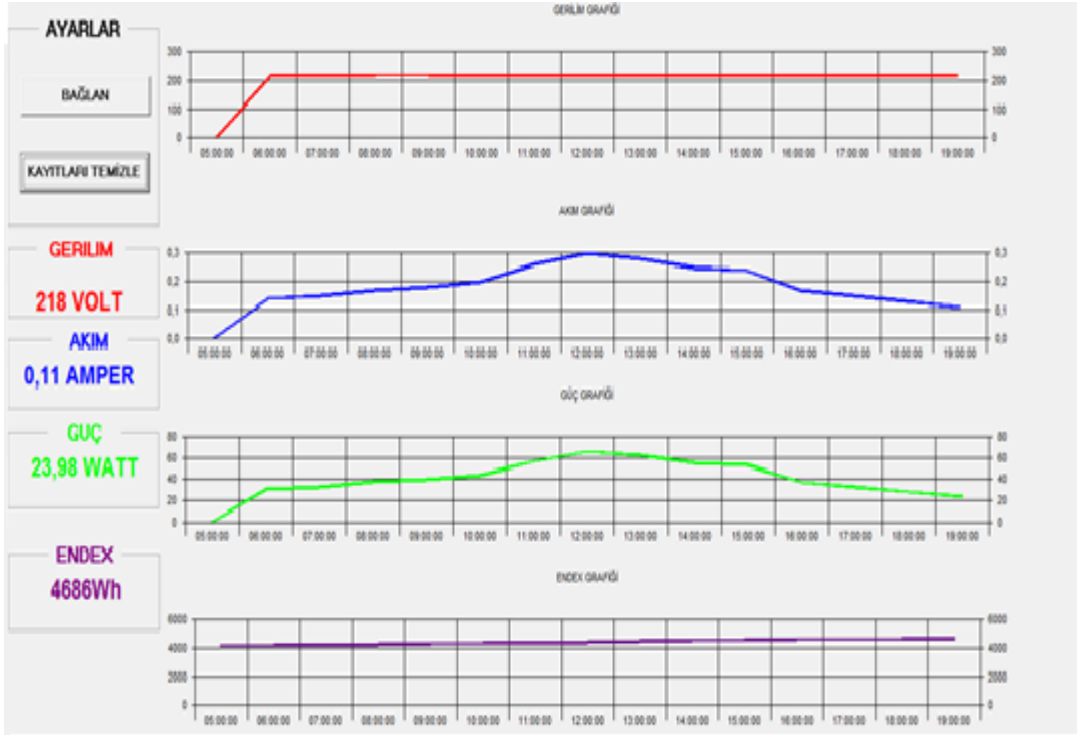
Sistemde kullanılan bu panellerin verimlilik üzerindeki etkilerini incelemek için her bir panel ayrı ayrı denenmiş ve bir güne ait olan veriler alınarak karşılaştırmaları yapılmıştır. Sabah saat 05:00 ile saat 19:00 arasındaki tüm gerilim, akım, güç ve endeks değerleri bir ara yüz programı aracılığıyla bilgisayar ortamına kaydedilmiştir. Ayrıca akım, gerilim, güç değerleri ve bu değerlerin zaman içerisindeki değişimi Şekil 4.2’de verilen panodan da açık bir şekilde takip edilebilmektedir. Çalışmanın bu bölümünde söz konusu dört panel denenmiş ve sırasıyla bu panellere ait veriler 05:00-19:00 saatleri arası kaydedilerek grafik şeklinde sunulmuştur.

4.1.1. Panelin Yüzey Temizliğinin Verimliliğe Etkisi

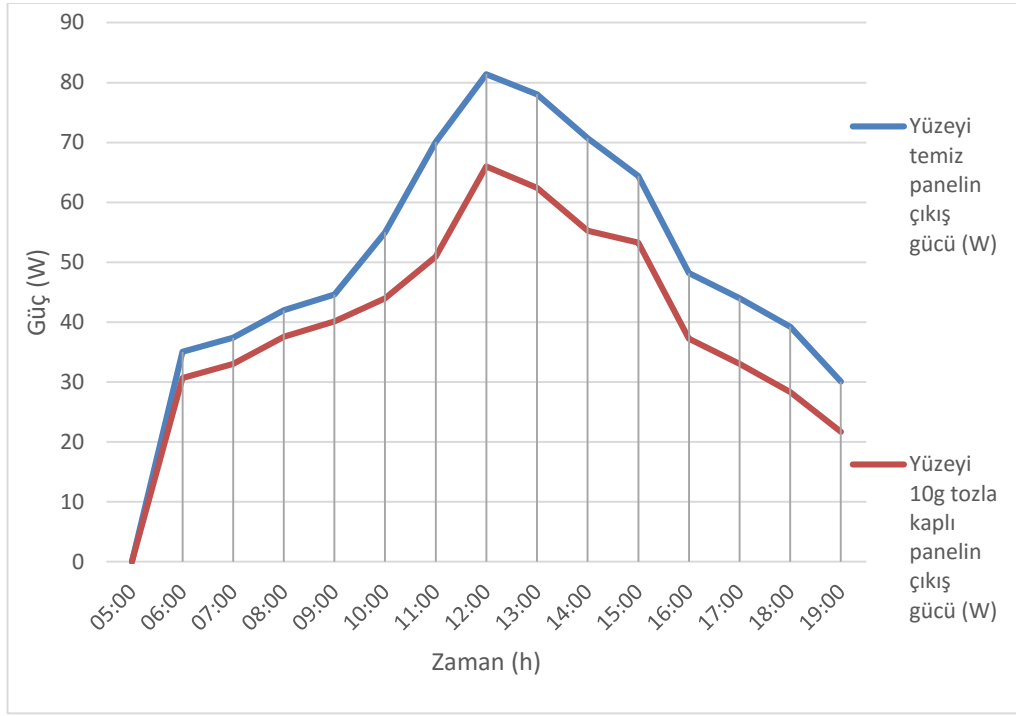
Birinci uygulama 90 W’lık panelin, sıcaklığın 23°C –28°C arasında değiştiği şartlarda yapılmış ve 05:00-19:00 saatleri arası kayıt alınarak grafiğe aktarılmıştır. Bu uygulamada yüzeyi temiz olan panel ile yüzeyi 10 g/0,63 m² tozla kaplanmış olan panelin karşılaştırılması yapılmıştır. Elde edilen verilerden, panel yüzey temizliğinin verimliliği nasıl etkilediği Şekil 4.3’te ve Şekil 4.4’te görülebilmektedir.



Şekil 4.3. Yüzei temiz panel çıktıları



Şekil 4.4 Yüzei 10g tozla kaplı panel çıktıları



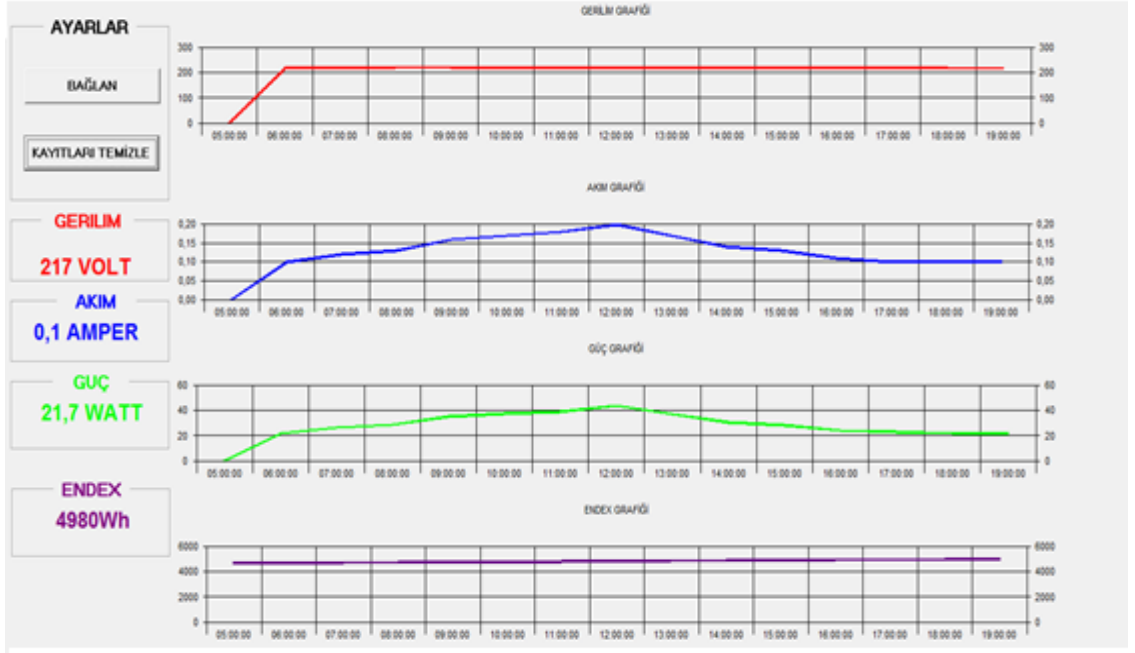
Şekil 4.5. Tozlanmanın panelin çıkış gücü üzerindeki etkisi

Şekil 4.5'ten de görüleceği üzere panellerde gün boyunca elde edilen toplam enerji; temiz panelde 696.52 Wh iken, yüzeyi 10 g/0,63 m² tozla kaplı olan panelden elde edilen toplam enerji 593.55 W olup 102.93 Wh'lik bir enerji kaybı olmuştur. Bu da yaklaşık %13 lük verim kaybına neden olmaktadır.

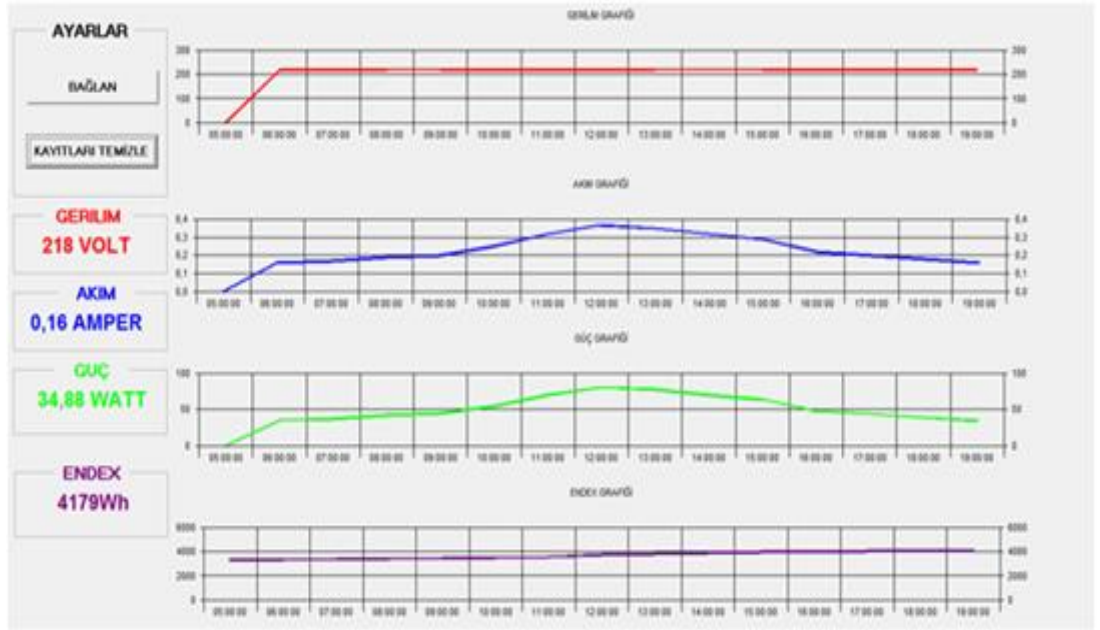
4.1.2. Sıcaklığın PV Panelin Verimine Etkisi

Güneş hücreleri için ideal kabul edilen sıcaklık 25°C, Güneş ışınımı 1.000 W/m² ve hava kütlesi 1,5 AM olduğu ortamda test edilir. Bu ortam şartlarına göre PV panellerin verimleri ve gösterdikleri tepkiler hesaplanır. Işınımın Güneş paneline gelmesiyle birlikte panellerde elektrik üretimi başlar. Fakat panel verimlerinin %100 olmadığı için güneşten enerjisinin bir kısmından elektrik enerjisi elde edilirken bir kısmı da ısı enerjisine dönüşür. Bu durum güneş hücrelerinin ısınmasına sebep olur ve bu da panel verimlerinin azalmasına sebep olur. Sıcaklık ne kadar düşük olursa solar hücrelerin sağladığı voltaj o kadar yükselir ve elektrik üretimi de aynı oranda artar. Solar modüller aşırı sıcaklara oranla daha ılık iklim koşullarında rakım olarak yüksek bölgelerde daha iyi çalışır. Bu deney uygulamada 90 W'lık panel bir ufo yardımıyla ısıtılarak sıcaklık artışının panelin verimliliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sıcaklık artışının PV panelin çıkış gücü üzerindeki etkisini daha iyi görebilmek

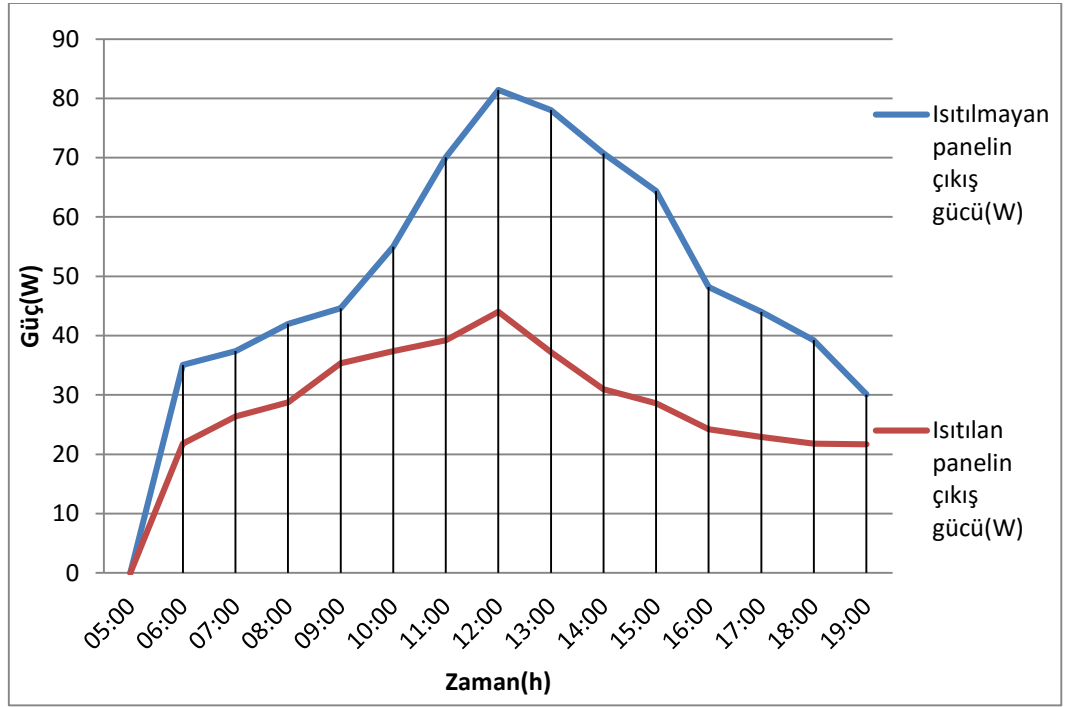
için sistemin 05:00-19:00 saatleri arası kayıtlar alınıp grafiğe aktarılmıştır. Ayrıca ısı etkisinin verimliliği nasıl etkilediğini daha net görebilmek için aynı teknik özelliklere sahip ama ısıtılmayan bir panel ile karşılaştırılması yapılmıştır. Elde edilen verilerden sıcaklığın verimlilik üzerindeki etkisi Şekil 4.6'nın Şekil 4.7 ile karşılaştırılmasıyla daha iyi anlaşılabilir.



Şekil 4.6. Isıtılan panel çıktıları



Şekil 4.7. Normal panel çıktıları



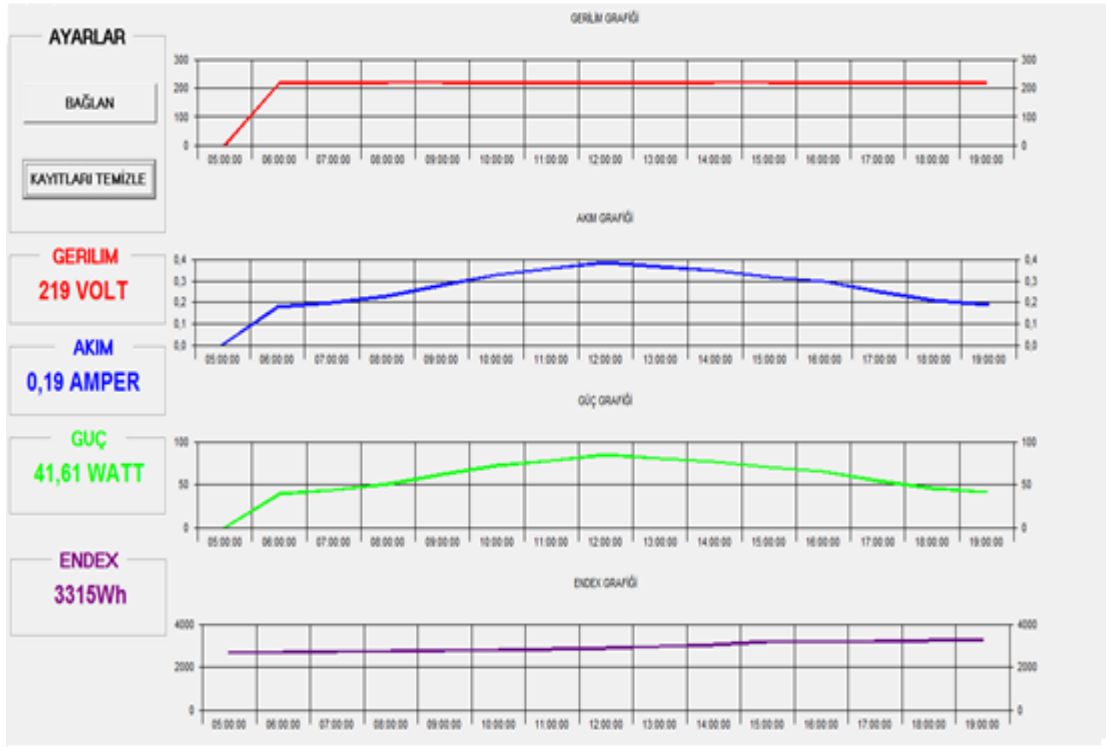
Şekil 4.8. Isının panelin çıkış gücü üzerindeki etkisi

Şekil 4.8’de iki panel için de gün boyunca elde edilen güç grafikte görülmektedir; ısıtılmayan panelden elde edilen toplam enerji 696.52 Wh iken, ufo yardımıyla 70 °C’ye kadar ısıtılan panel için toplam enerji 420.64 Wh olup 275.36 Wh’lik bir enerji kaybı olmuştur.

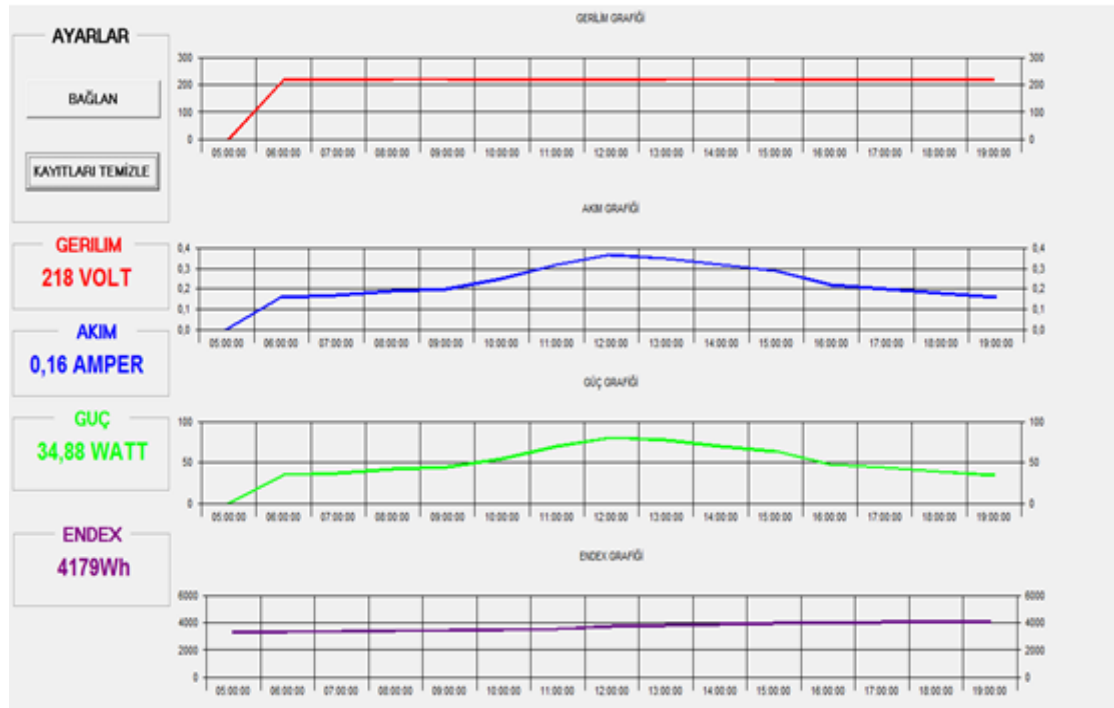
4.1.3. Güneş Takip Sisteminin PV Panelin Verimliliğine Etkisi

Bir PV sistemden elde edilen çıkış gücü, panele düşen ışınım miktarına bağlı olarak değişir. Güneş panellerini hareket ettirerek ve güneşe yönelmelerini sağlayarak elektrik üretimleri maksimuma getirilebilir. Güneşi doğudan batıya yatay tek eksenle takip edip, güneş panellerine düşen ışık açısının daha büyük derecede tutulması Güneş Takip Sistemi ile sağlanmıştır. Böylece güneş panellerinden elde edilen elektrik enerjisinde artış elde edilmiştir. Güneş ışınım miktarı ne kadar çok olursa, güneş hücrelerde o kadar çok çıkış gücü elde edilir ve PV sistemin verimi de o derece yüksek olur.

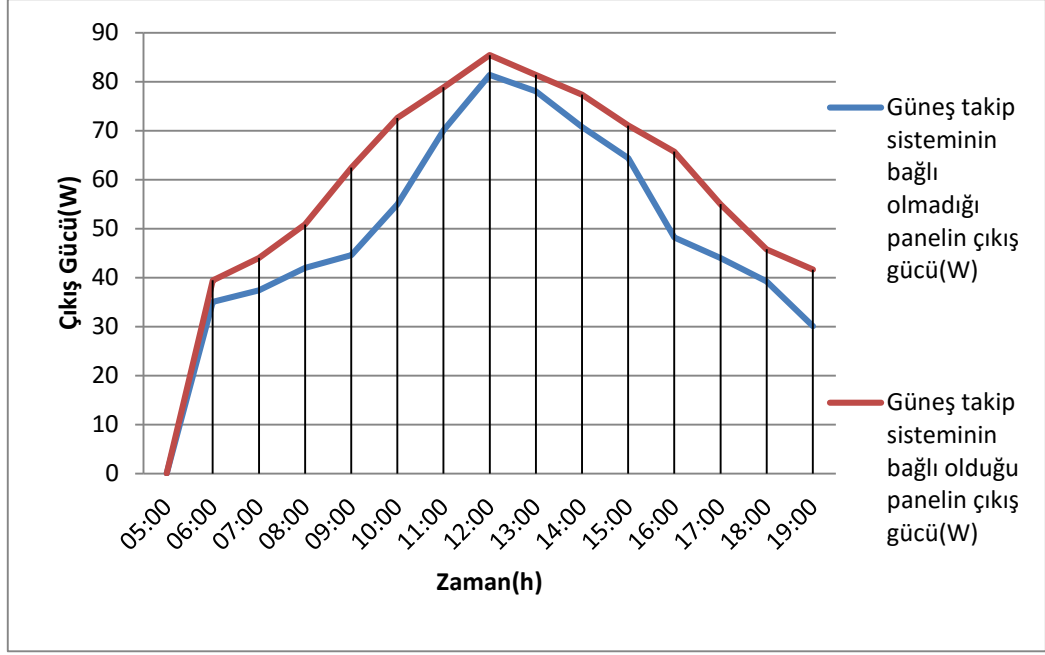
Bu uygulamada aynı teknik özelliklere sahip güneş takip sistemi donanımının bağlı olduğu ve bu donanımın bağlı olmadığı iki panelin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu panellerin bir güne ait verileri 05:00-19:00 saatleri arası her saat başı alınmış ve bir ara yüz yazılımı aracılığıyla bilgisayar ortamında kayıt altına alınıp grafik şeklinde sunulmuştur.



Şekil 4.8. Güneş takip sisteminin bağlı olduğu panel çıktıları



Şekil 4.9. Güneş takip sisteminin bağlı olmadığı panel çıktıları



Şekil 4.10. Güneş takip sisteminin panelin çıkış gücü üzerindeki etkisi

Şekil 4.10’da iki panel için de gün boyunca elde edilen güç grafikte görülmektedir; Güneş Takip Sisteminin bağlı olmadığı panelde elde edilen toplam enerji 696.52 Wh iken, Güneş Takip Sisteminin bağlı panel için toplam enerji 870.63 Wh olup 174.63 Wh’lik bir enerji kaybı olmuştur.

Çizelge 4.2. Güneş Takip Sisteminin panellerin çıkış güçleri üzerindeki etkisinin karşılaştırılması

Zaman	Güneş takip sisteminin bağlı olmadığı panelin çıkış gücü (W)	Güneş takip sisteminin bağlı olduğu panelin çıkış gücü (W)
05:00	0	0
06:00	35.04	39.42
07:00	37.4	44
08:00	41.99	50.83
09:00	44.6	62.44
10:00	55	72.6
11:00	70.08	78.84
12:00	81.4	85.41
13:00	78.05	81.4
14:00	70.72	77.35
15:00	64.38	71.04
16:00	48.18	65.7
17:00	44	55
18:00	39.24	45.78
19:00	30.08	41.61

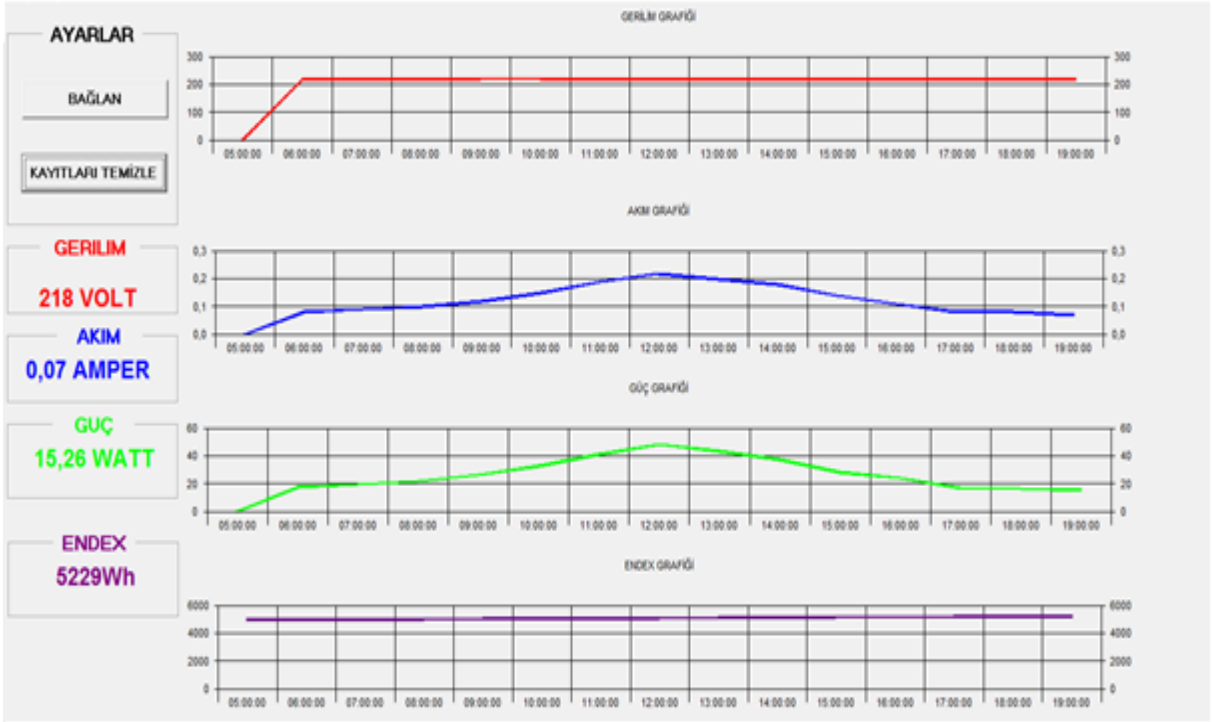
4.1.4. Gölgenin Verimliliğe Etkisi

Yapılan araştırmalara ve yapılan bazı testlere göre, güneş paneline az miktarda gölge düşse dahi güneş panelinin ürettiği akım yaklaşık yarı yarıya düşmektedir. Bu da panelden elde edilen gücün aynı oranda düşmesine neden olmaktadır. Sonuç olarak, aşağıdaki Çizelge 4.3'teki veriler dikkate alındığında, aslında güneş panellerine düşen gölgenin ne kadar da önemli olduğu anlaşılmaktadır. Birbirine seri ve veya paralel bağlı panellerden bir tanesi gölgede kalsa gölge düşen panelde ne kadar verim kaybı oluyorsa diğer panellerde de aynı oranda verim kaybı olmaktadır.

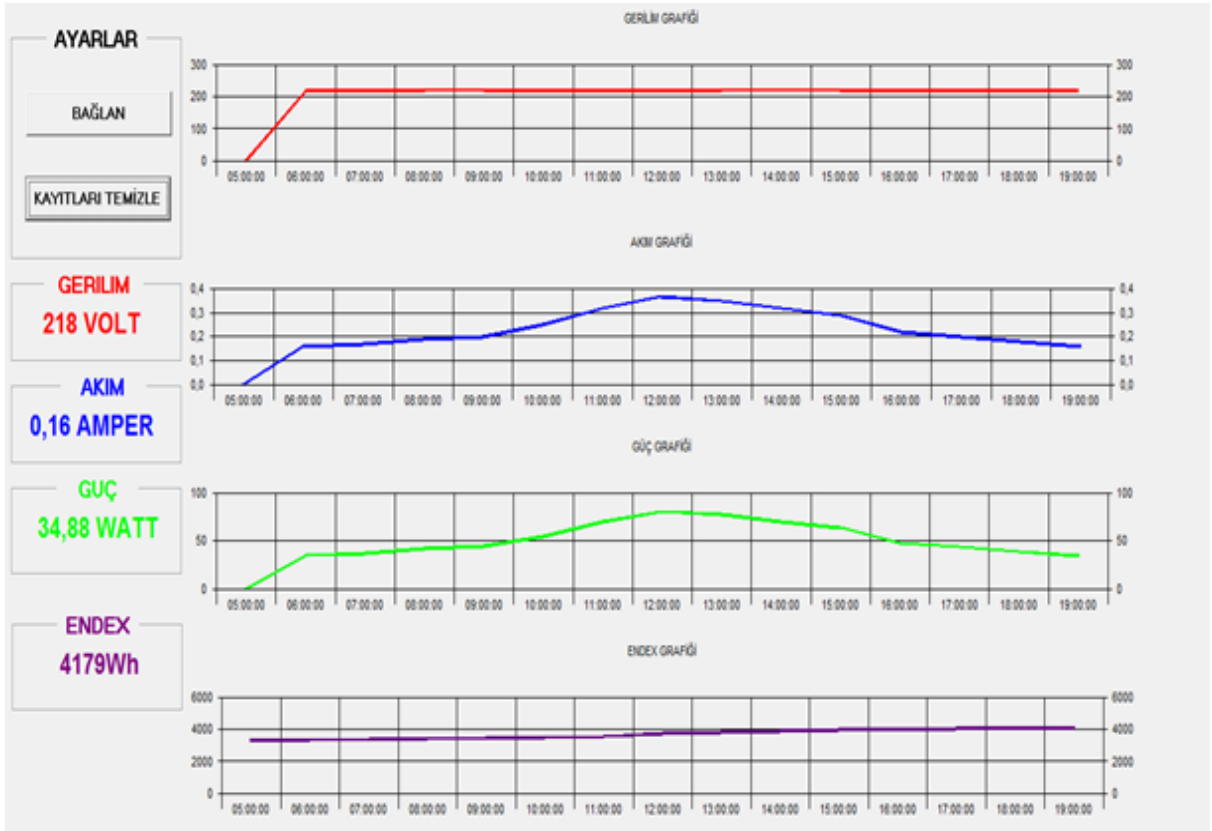
Çizelge 4.3. Güneş panelinin üzerine düşen gölge miktarı ve kaybedilen gücün yüzdesi

Güneş Panelinin Üzerine Düşen Gölge Yüzdesi (%)	Güneş Panelinin Üzerine Düşen Gölge ile Kaybedilen Güç Yüzdesi (%)
% 13	% 48
% 11	% 47
% 9	% 44
% 7	% 39
% 3	% 25

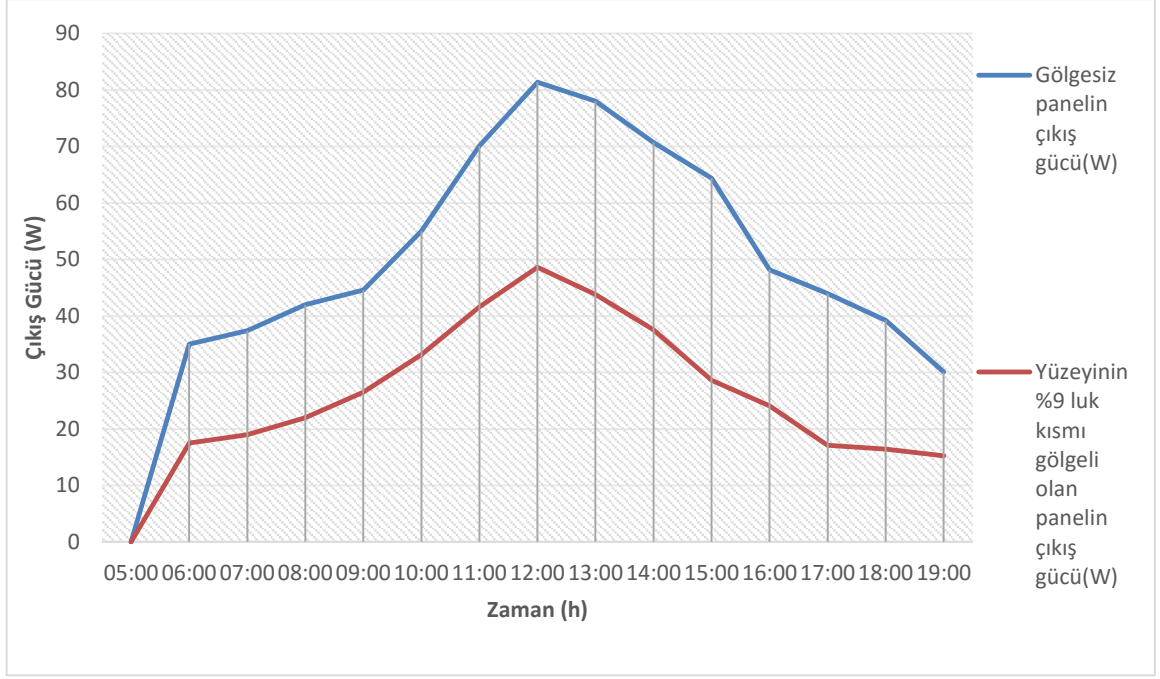
Bu uygulamada gölge etkisinin panellerin verimliliği üzerindeki etkisini daha iyi görebilmek için bir panelin yüzeyi %9 oranında gölgeye maruz bırakılarak deneysel bir uygulama yapılmıştır. Bu uygulamadan elde edilen verileri yüzeyine gölge düşmeyen bir panelin verileri ile kıyaslamak ve farkı görebilmek için, bir güne ait veriler 05:00-19:00 saatleri arası her saat başı alınmış ve grafik şeklinde sunulmuştur.



Şekil 4.11. Kısmi gölgeli panel ait çıktılar



Şekil 4.12. Gölgesiz panele ait çıktılar



Şekil 4.13. Gölgelemenin panelin çıkış gücüne etkisi

Şekil 4.13'te görüldüğü üzere iki panel için de gün boyunca elde edilen güç grafikte sunulmuştur; gölgesiz panelden elde edilen toplam enerji 696.52 Wh iken, yüzeyi %9 oranında gölgeye maruz kalan panelden elde edilen toplam enerji 392.09 Wh'dir. Sonuçlar karşılaştırıldığında 304.43 Wh'lik bir enerji kaybı olmuştur. Bu fark da yaklaşık olarak %42'lik verim kaybına denk gelmektedir.

4.2. MGNT için MATLAB Benzetim Uygulaması

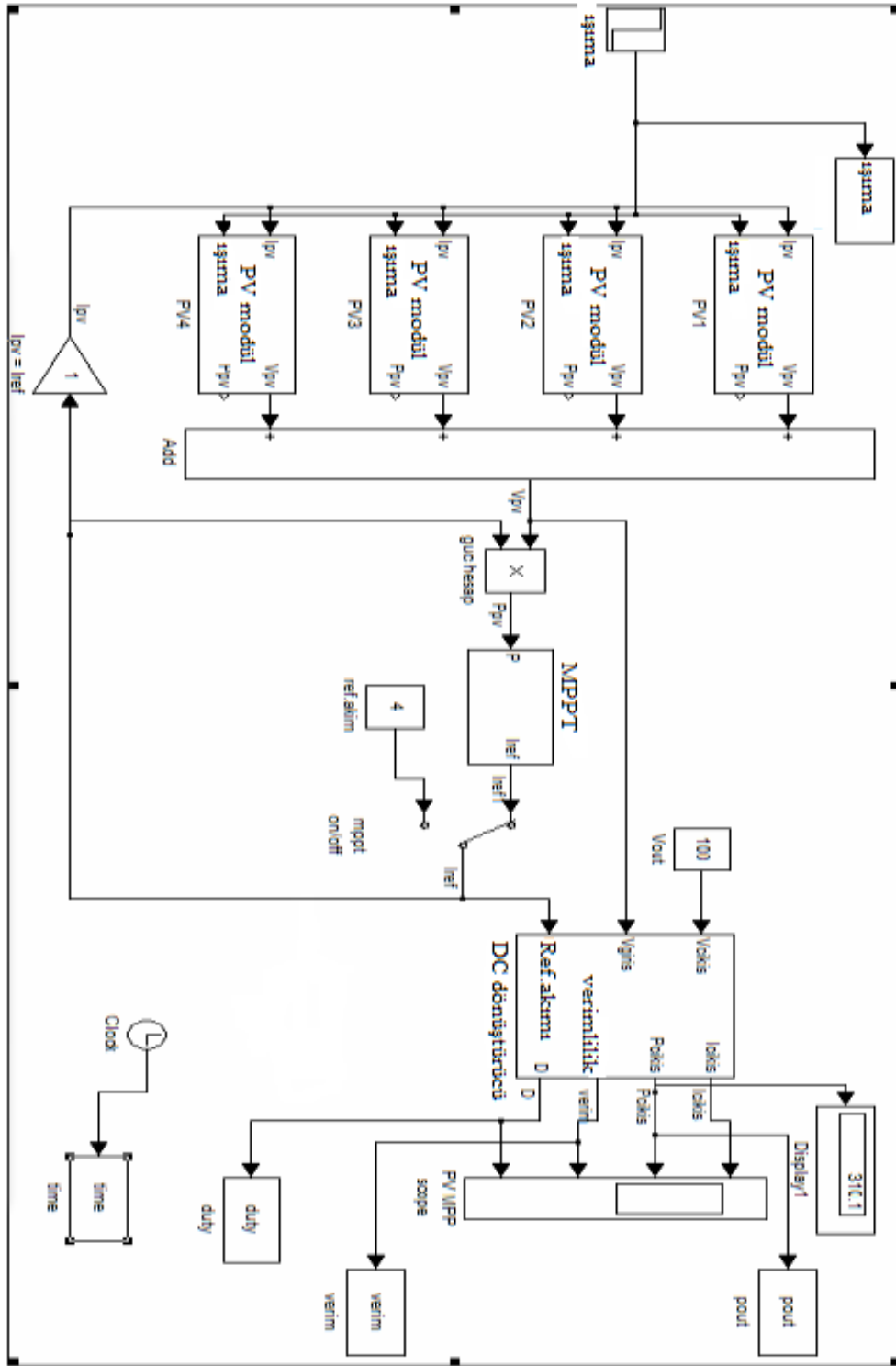
4.2.1. PV Sistemin MGNT Olmadan Çalışması

Uygulamada başlangıç ışıma değerleri farklı olmak üzere iki durum incelenmiştir. Birinci durumda; MGNT kontrol ünitesi sisteme dahil edilmeksizin sabit akım referansı ile örnek bir uygulama yapılmıştır. Daha sonra eşit değerler için MGNT kontrol ünitesi sisteme dahil edilerek ikinci bir uygulama yapılmıştır. Her iki durum için de elde edilen çıkış güçleri ve verim değerleri kıyaslanmıştır. MATLAB'ta simülasyon ortamında kurulan PV paneline ait elektriksel değerler Çizelge 4.3'te görülmektedir.

Çizelge 4.3. PV paneline ait elektriksel değerler

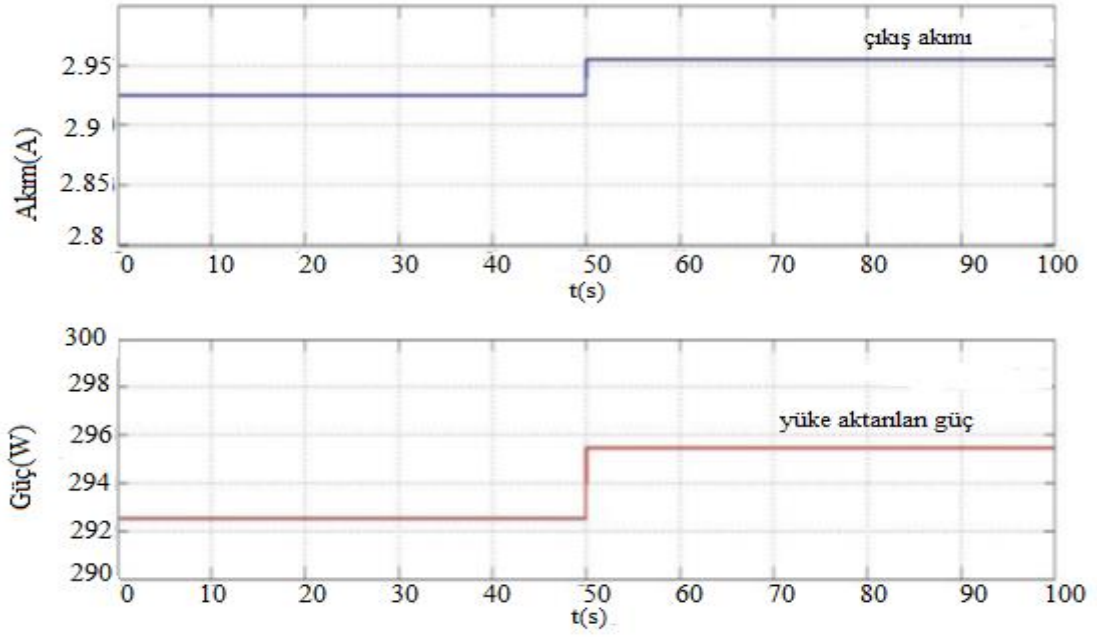
Oransal Kısa Devre Akımı	5.75 A
Oransal Açık Devre Voltajı	23.4 V
Maksimum Güçte Akım	4.85 A
Maksimum Güçte Voltaj	18 V

PV sistem için oluşturulan simülasyon modeline MGNT kontrol ünitesini dahil etmek için ve MGNT'yi sistemden izole etmek için Şekil 4.14'te verilen anahtarlama elemanı kullanılmıştır. MGNT kullanılmadan yapılan birinci uygulamada ilk ışıma değeri 1000 W/m^2 ile başlayan simülasyon, 50. Saniyede ışıma değeri 1050 W/m^2 yükseltilmiştir.

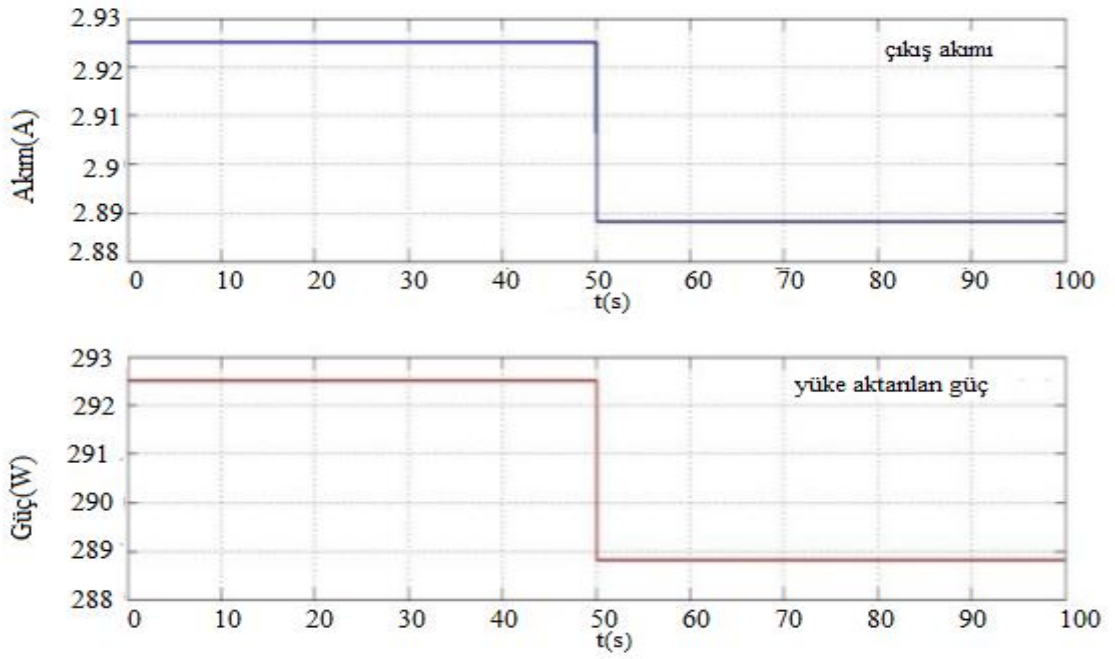


Şekil 4.14. PV sistem için MATLAB simülasyonunda kullanılan devre

MGNT kontrol ünitesi kullanılmadan yapılan uygulamada 1000W/m^2 lik ilk ışınma değeriyle başlayan simülasyon 50. saniyede 950W/m^2 ye indirilmiş ve uygulama sonucunda elde edilen çıkış güçleri ve akımları Şekil 4.15 ve 4.16’te sunulmuştur.



Şekil 4.15. MGNT olmadan yapılan ilk uygulama sonuçları

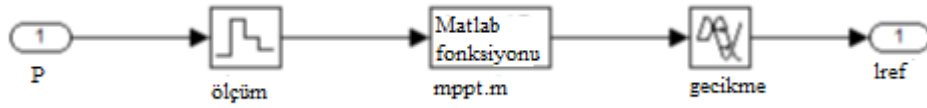


Şekil 4.16. MGNT olmadan yapılan ikinci uygulama sonuçları

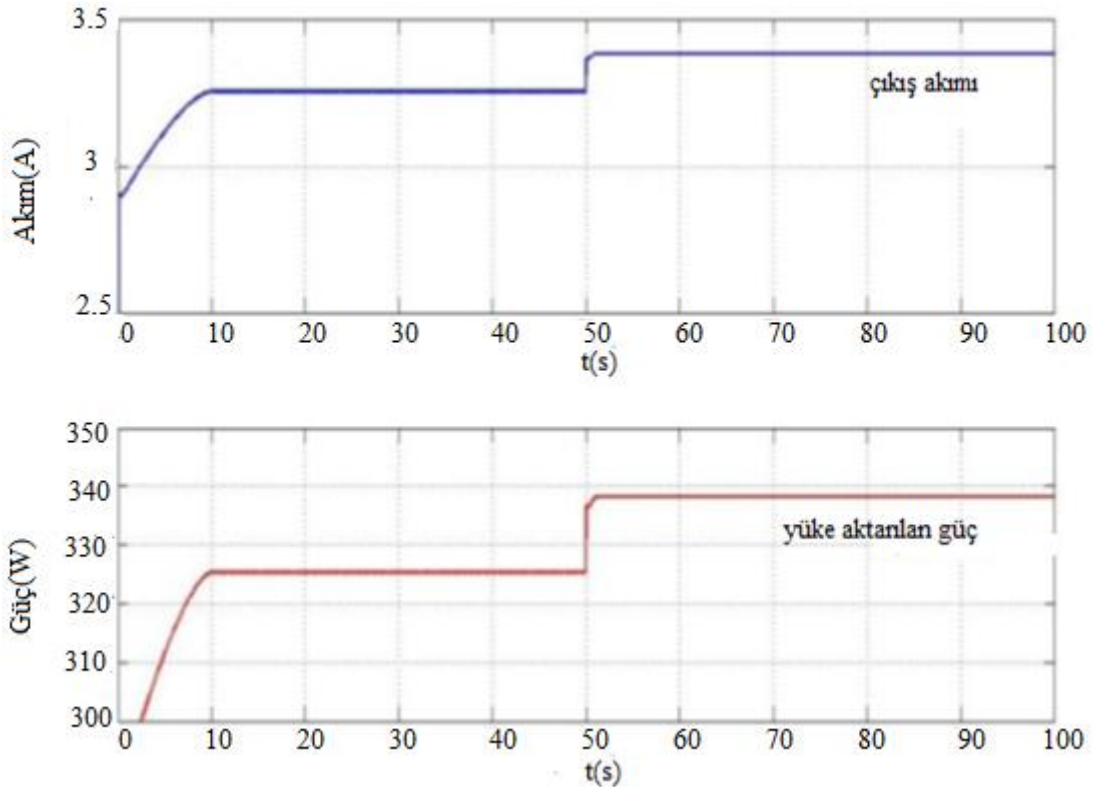
Şekil 4.15 ve 4.16'dan görüldüğü üzere ışımaya miktarının düşmesinin PV sistemin çıkış akımında azaltıcı bir etki oluşturmuştur. Bu durum güç kaybına verim düşümüne neden olmaktadır.

4.2.2. PV Sistemin MGNT Varken Çalışması

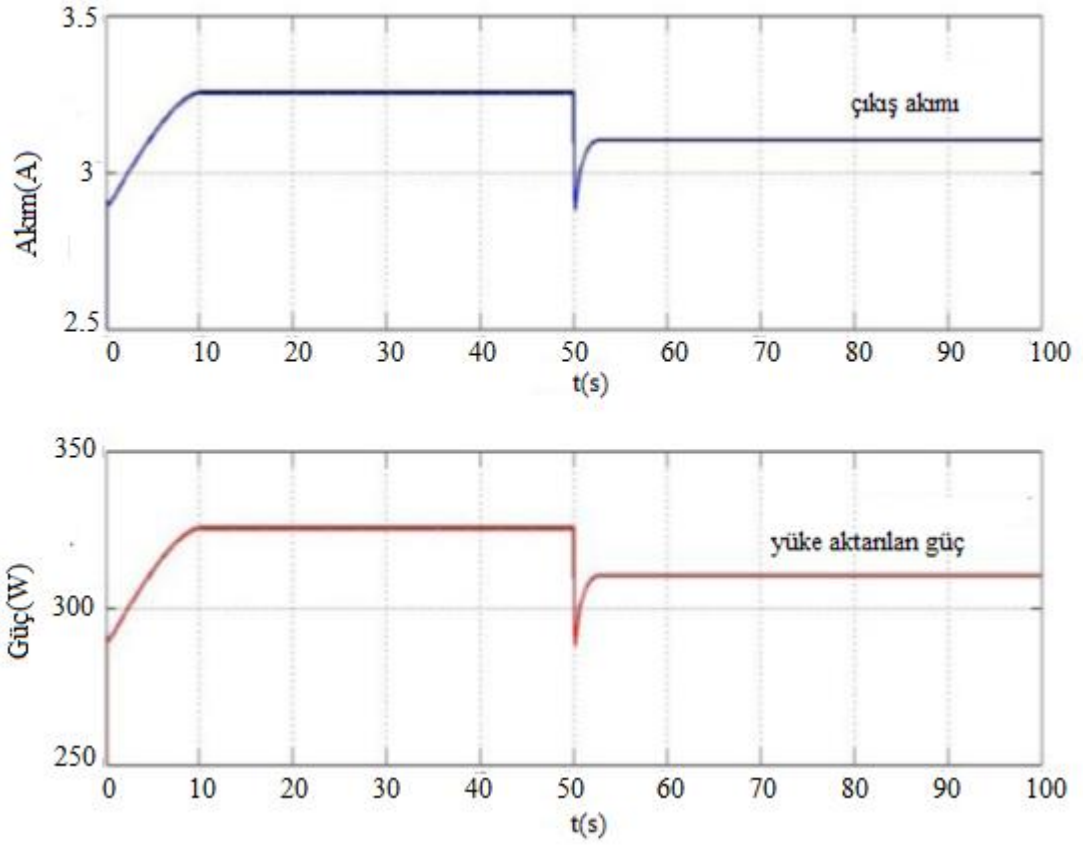
Bu Uygulamada da benzer şekilde başlangıç ışımaya değerleri farklı olan iki durum incelenmiştir. Birinci durumdan farklı olarak MGNT kontrol ünitesi sisteme dahil edilerek sabit akım referansı ile örnek bir uygulama yapılmıştır. Işıma değeri 1000 W/m^2 lik ilk ışımaya başlayan simülasyon 50. saniyede 950 W/m^2 ye indirilmiş ve uygulama sonucunda elde edilen çıkış güçleri ve akımları karşılaştırılmıştır. Bu uygulamada da Şekil 4.14'te görülmekte olan simülasyon modeli kullanılmıştır. MGNT kontrolörü olarak Şekil 4.17'de verilen kontrol ünitesi kullanılmıştır.



Şekil 4.17. uygulamada kullanılan MGNT kontrol ünitesi



Şekil 4.18. MGNT kullanılarak yapılan birinci uygulamanın akım ve güç grafikleri



Şekil 4.19. MGNT kullanılarak yapılan ikinci uygulamanın akım ve güç grafikleri

4.2.3. Uygulama Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çalışma 4.2.1. ve 4.2.2.'de elde edilen sonuçlar Şekil 4.15 ile 4.18 ve Şekil 4.16 ile 4.19 kendi aralarında karşılaştırmaları yapılarak sunulmuştur. Bu grafiklerden, yapılan ilk uygulamada yani ışına miktarındaki artış durumunda elde edilen güçlerin artışı her iki durum için de (MGNT varken ve MGNT yokken) görülmektedir. Sonuçları daha net görebilmemiz için çıkış güçlerini kıyaslamak daha faydalı olacaktır. Işıma değerinin $1000\text{W}/\text{m}^2$ olduğu başlangıç ışına şartında MGNT kontrol ünitesi kullanılmadığında yüke aktarılırken güç 292.7 W , MGNT sisteme dahil edildiğinde ise yüke aktarılan güç 324.9 W 'dır. 50. Saniyeye gelindiğinde ışımama miktarı $50\text{ W}/\text{m}^2$ düşürülerek MGN'nin olmadığı durumda 287.9 W , sisteme MGNP ünitesi dahil olduğu durumda ise yüke aktarılan güç 310.2 W olmuştur. İkinci uygulamada içinde benzer sonuçlar elde edilmektedir.

Farklı ışına durumları için bu iki uygulamanın çıkış güçleri analiz sonuçları Çizelge 4.4'te görülebilmektedir.

Çizelge 4.4. Farklı ışımaya durumları için sonuçların karşılaştırılması

W/m ²	Çıkış Gücü MGNT'siz	ΔP MGNT'siz	Çıkış Gücü MGNT'li	ΔP MGNT'li	ΔP
900	283.9		294.8		10.9
		2.7		7.7	
925	286.6		302.5		15.9
		2.2		7.7	
950	288.8		310.2		21.4
		2.0		7.6	
975	290.8		317.8		27
		1.7		7.5	
1000	292.5		325.3		32.8
		1.5		7.3	
1025	294.0		332.6		38.6
		1.5		5.6	
1050	295.5		338.2		42.7
		1.2		4.3	
1075	296.6		342.5		45.8

Çizelge 4.4'te görüldüğü üzere 25 W/m² ilk ışımaya değeri ile başlayan MGNT kullanılmayan sistemde 2.7 W azalan miktarda artış olduğu görülebilmektedir. MGNT kontrol ünitesi kullanılan durumda ise bu değer 7.7 W dan başlayıp 4.3 W a kadar düşmektedir. MGNT dahil edilirken ve dahil edilmezkenki her iki durum için elde edilen çıkış güçleri arasındaki fark incelendiğinde ışımaya miktarının düşük olduğu durumunda 10.9 W iken, en yüksek olduğu ise 45.8 W lık bir fark görülebilmektedir. Sonuç olarak PV sistemlere MGNT kontrolörü dahil edildiğinde Güneş ışınım miktarı arttıkça sistemin verimi MGNT kullanılmayan duruma göre daha fazla olmaktadır.

5. SONUÇLAR

Performans Oranı (PO) bir PV sistemin kalitesini ortaya koyan parametredir. Performans oranını PV santrallerde; güneş enerji santrallerinin dâhilinde bulunan bazı etmenler belirlemektedir. Bunlar; panellere gelen ışınım, panel gölgelenmesi, panelin tozlanması, panel yüzünden yansıyan ışın, spektrum, Hücre sıcaklığı, uyumsuzluk, DC ve AC kablo kayıpları, inverterin dönüşüm verimi olarak söylenebilir. Bu kayıpların minimize edilmesiyle PV sistemlerin performansı artar. Çalışma kapsamında bu kayıplar teorik olarak araştırılmıştır. Bu kayıplardan; sıcaklık, gölgeleme ve tozlanmanın etkisi deneysel olarak incelenmiş deney sonucunda bu üç etkeninde verimi düşürdüğü görülmüştür.

Güneş enerji sistemleri verim performansını etkileyen önemli bir etkende MGNT kontrol ünitesidir. Maksimum güç noktası takip sisteminin PV santraldeki etkisini görmek için farklı özellikte ve güçlerde çıkış verebilen fotovoltaik üreticinin bilgisayar ortamında benzetimi yapılmış, yine benzetimi yapılan Da/Da dönüştürücü, MGNT kontrol ünitesi varken ve MGNT kontrolörü yokken çıkış güçleri farklı ışınım değerleri için karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda sistemde MGNT güç kontrol ünitesi varken elde edilen çıkış güçlerinin daha yüksek olduğu ve sistemin daha verimli çalıştığı sonucu ortaya çıkmıştır. Yani PV elektrik enerjisi dönüşüm sistemlerine, maksimum güç noktası izleyicisinin (MGNT) dâhil edilmesi, sistemin çıkış gücünü artırır ve bu sayede güneş panellerinden en yüksek verimlilikte yararlanılıp daha az panel kullanımı sağlanabileceği ve güneş paneli yatırım maliyetinin düşürebileceği sonucu ortaya çıkmıştır. MATLAB simulink ortamında yapılan çalışmada benzetim ortamında bozucular uygulandığından ve sıcaklık değişkeni sabit olarak kabul edildiğinden gerçek sisteme göre daha az salınım oluşmaktadır. Bu nedenle gerçek bir sistemdeki ışınım verilerinde maksimum güç noktasındaki salınımlar daha çok olacaktır.

PV sistemin verimliliğini etkileyen bir diğer etken panel yüzeyinin tozlanmasından dolayı kirlenmesidir. Kirlenmeden dolayı hücrelere iletilen güneş ışınımının da azalma olur. Deneysel olarak incelenen tozlanma etkisi sonucunda panelin ışınımı daha az soğurduğu, üretimde kayıplar meydana gelmiştir. Deneysel olarak elde edilen sonuçlar teorik sonuçlarla karşılaştırıldığında kayıpların daha fazla görülmüştür. Panellerin aşırı ısınması sonucu da kayıplar oluşur. Ufo yardımıyla ısıtılan panel deneyinden şu sonuç çıkarılmıştır; ortam sıcaklığı yükseldikçe hücre sıcaklığı da yükselir ve sistemde verim düşer. Güneş Takip Sistemleri de performans oranını etkileyen bir diğer etkidir. GTS'nin verimliliğe etkisini

incelemek için aynı şartlar altında hareketli ve hareketsiz sistemlerin karşılaştırılması deneysel olarak yapılmıştır. GTS sayesinde güneşin panele dik açılarla gelmesi sağlanmış ve gün boyu ışımadan maksimum düzeyde faydalanması sağlanmıştır. PV sistemlerde GTS'den etkin bir şekilde yararlanmak için panelleri konumlandırmadan önce bölgenin yıl içindeki ışıma ve sıcaklık değerleri bilinmelidir ve buna göre konumlandırma yapılmalıdır. Sıcaklıktan kaynaklanan kayıpları önleyebilmek için güneş enerji sistemi kurulmadan önce iyi bir ön fizibilite çalışması yapılmalıdır. Benzer şekilde panellerdeki tozlanmanın etkisini azaltmak ve verimi düşüşünü engellemek için panel yüzeylerinin periyodik temizliği ve bakımı yapılmalıdır. Bir Güneş santrali kurulurken yüksek verimlilik için Güneş Takip Sistemi, Maksimum Güç Noktası Takip sistemi gibi önemli etkenlerin PV sistemde olması önerilir.

KAYNAKLAR

- [1] REN21, 2012. Renewables 2012 Global Status Report, Renewables Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), Paris, France.
- [2] Knoema.com, 2012. “Statistical Review of World Energy-2012 Main Indicators,” <http://knoema.com/BPWES2012>, son erişim tarihi: 24.12.2012.
- [3] Swiegers, W. , Enslin, J. , “An Integrated Maximum Power Point Tracker For Photovoltaic Panels”, 23.12.2012.
- [4] Panwar S. ve Saini R.P, Development and Simulation of Solar Photovoltaic model using MATLAB/simulink and its parameter extraction.(ICCCE 2012) International Conference on Computing and Control Engineering, pp 2-5, 12 & 13 April, 2012
- [5] Mohamed Zahran, Yousry Atia, Abdullah Al-Hussain & Ihab El-Sayed, “LabVIEW Based Monitoring System Applied for PV Power Station”, The 12th WSEAS International Conference on Automatic Control, Modelling & Simulation (ACMOS '10), Catania, Sicily, Italy, May 29-31, 2010.
- [6] Reisi A. R., Moradi M. H., Jamasb S., Classification and comparison of maximum power point tracking techniques for photovoltaic system: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, 19, 433-443.
- [7] Kuperman A., Averbukh M., Lineykin S., Maximum power point matching versus maximum power point tracking for solar generators, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, 19, 11-17.
- [8] Current Transducer HXS-50-NP, <http://datasheet.octopart.com/HXS-50-NP-LEM-datasheet-146478.pdf> [Erişim Tarihi:29 07 2011].
- [9] Taghvaei M.H., Radzi M.A.M., Moosavin S. M., Hizam H., Marhaban M. H., A current and future study on non-isolated DC-DC converters for photovoltaic applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, 17, 216-227.
- [10] Özçelik M.A ve Yılmaz A.S PV Sistemlerde Farklı Işınım Seviyelerinde Verimliliğin Artırılması ELECO Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu Oturum P5, Bildiri numarası 201, s:1-2, Bursa 2012.
- [11] Hernanz J.A.R ve Campayo J.J, Two Photovoltaic Cell Simulation Models in MATLAB/Simulink.(IJTPE Journal ISSN 2077-3528) International Journal on “Technical and Physical Problems of Engineering”pp;45-47, 2012.
- [12] Pandiarajan N. ve Ramabadrhan R, Application of circuit model for Photovoltaic Energy Conversion System, Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy Volume, pp:4- 5 ID 410401, 2012
- [13] Rustemli S. ve Dincer F, Modeling of Photovoltaic Panel and Examining Effects of Temperature in MATLAB/Simulink. Elektronika Ir Elektrotehnika (Journal of Electronics and *Electrical Engineering*), 3(109), pp. 35 – 40, March 2011.

- [14] Kai C., Shulin T., Yuhua C., An Improved MGNT Controller for Photovoltaic System Under Partial Shading Condition., IEEE Transactions on Sustainable Energy, Vol.5, No.3,978-985, July 2014.
- [15] Faranda, R. , Leva, S. , “Energy comparison of MGNT techniques for PV Systems”, *Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, Pittsburgh, 1-6 (2008).
- [16] EDE, 2011. Gune Enerjisi Çalışmaları ve Potansiyel Atlası (GEPA), < http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunes_index.html>
- [17] Taghvaei M.H., Radzi M.A.M., Moosavin S. M., Hizam H., Marhaban M. H., A current and future study on non-isolated DC-DC converters for photovoltaic applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, 17, 216-227.
- [18] G. Lijun, R. Dougal, L. Shengyi & A. Lotova, “Parallel-Connected Solar PV System to Address Partial and Rapidly Fluctuating Shadow Conditions,” IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 56,
- [19] H. Patel & V. Agarwal, “MATLAB Based Modeling to Study the Effects of Partial Shading on PV Array Characteristics,” IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 23, No. 1, March 2008, pp. 302-310
- [20] A. Chouder & S. Silvestre, “Analysis Model of Mismatch Power Losses in PV Systems,” Journal of Solar Engineering, May 2009, Vol. 131.
- [21] Grunow, P.; Preiss, A.; Koch, S. & Krauter, S. (2009). Yield and Spectral Effects of A-Si Modules, Proceedings of the 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, pp. 2846-2829, ISBN 3-936338-25-6, Hamburg, Germany, September 2009.
- [22] Delplanque, E. Case study: impact of photovoltaic modules, www.asunenergy.com.
- [23] Deline, C., Partially Shaded Operation of a Grid-Tied PV System, NREL, 2009.
- [24] SMA Solar Technology AG, Shade management, www.sma.de.
- [25] M. Piliougin, J. Carretero, M. Sidrachde-Cardona, D. Montiel, P. SánchezFriera. Comparative analysis of the dust losses in photovoltaic modules with different cover glasses. Proceedings of 23rd European Solar Energy Conference, 2008, pp. 2698-2700.
- [26] Kymakis, E.; Kalykakis, S. & Papazoglou, T.M. (2009). Performance Analysis of a Grid Connected Photovoltaic Park on the Island of Crete. Energy Conversion and Management, Vol. 50, No. 3, March 2009, pp. 433–438.
- [27] Detrick, A.; Kimber, A. & Mitchell, L. (2005). Performance Evaluation Standards for Photovoltaic Modules and Systems, Proceedings of the 31st IEEE Photovoltaics Specialists Conference, pp. 1581-1586, ISBN 0-7803-8707-4, Lake Buena Vista, USA, January 2005.

- [28] Wirth, G., T. Weigl, J. Weizenbeck, M. Zehner, M. Schroedter-Homscheidt, und G. Becker. „Mapping of snow cover periods for yield assessment and dimensioning of PV systems.“ 24. European Photovoltaic Solar Energy Conference. Hamburg, Germany, 2009.
- [29] Herteleer, B., Cappelle, J., Driesen, J., Quantifying low-light behaviour of photovoltaic modules by identifying their irradiance-dependent efficiency from data sheets, European Photovoltaic Solar Energy Conference edition:27 location:Frankfurt date:23-28 September 2012.
- [30] B. Herteleer, “Berekenen en dimensioneren van autonome fotovoltaïsche installaties voor kantoren in Afrika [Calculating and sizing of autonomous photovoltaic systems for offices in Africa],” Master’s thesis, Catholic University College Ghent, 2011.
- [31] N. Henze, B. Sahan B. Koirala, Study on MGN Mismatch losses in Photovoltaic Applications, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 21.-25.09.2009, Hamburg.
- [32] E.Koutroulis, F.Blaabjerg, Methods for the Optimal Design of Grid-Connected PV Inverters, International Journal Of Renewable Energy Research, IJRER, Vol.1, No.2, pp.54-64, 2011.
- [33] B. Giesler, “String vs. Central inverters: Dimension of the inverter”, Photon’s 1st PV Inverter Conference, Stuttgart, Germany, pp. 1-23, April 2010.
- [34] S.Zahra M., Saad M., S.Mohsen M., MGNT with Inc.Cond Method using conventional interleaved boost converter., Energy Procedia 42 (2013) 24-32, 2013.
- [35] Cuk, S. and Middlebrooks, R.: n.d., Modeling, analysis and design of switching converters. Erickson, R.: n.d., Dc-dc power converters, Article in Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering.
- [36] Frehner, P.: 2007, Control of a buck-boost power converter, Semester Thesis, IFA, ETHZ . IfA, W.: n.d., <http://control.ee.ethz.ch/hybrid/control.php>, Institut fr Automatik Website, IFA, ETHZ .
- [37] Walter, S.: 2008, Design and control of a buck-boost dc-dc power converter, Semester Thesis, IFA, ETHZ .
- [38] N. Mohan, T. Undeland, W. Robbins, Power Electronics Converters, Applications and Design, ISBN 9814-12-692-6.
- [39] Torrisi, F. D., Bemporad, A., Bertini, G., Hertach, P., Jost, D. and Mignone, D.: 2012, Hysdel 2.0.5 - user manual, IEEE.

EKLER

Bağlantı ve ara yüzey kodları

```
Dim baglanti As ADODB.Connection
Dim erd As New ADODB.Recordset
Dim erd1 As New ADODB.Recordset
Dim karakter1 As Integer
Dim karakter2 As Integer
Dim karakter3 As Integer
Dim karakter4 As Integer
Dim v_akim As String
Dim v_güç As String
Dim v_gerilim As String
Dim v_endex As String
Private Function hextoi(k1%, k2%) As String
    Dim kk1%, kk2, kk3%, kk4%
    Dim son%
    kk1 = k1 \ 16
    kk2 = k1 Mod 16
    kk3 = k2 \ 16
    kk4 = k2 Mod 16
    son = kk1 * 16 * 256 + kk2 * 256 + kk3 * 16 + kk4
    hextoi = Str(son)
End Function
Private Sub a1_Click()
Chart2.Visible = True
End Sub
Private Sub Combo3_Click()
Timer1.Interval = Val(Combo3.Text) * 1000
End Sub
Private Sub Command1_Click()
    MSComm1.CommPort = Right(Combo1(1), 1)
    MSComm1.Settings = Combo1(2) & "," & Left(Combo1(3), 1) & "," & Combo1(4) & "," &
Combo1(5)
    MSComm1.RThreshold = Text1
    MSComm1.InputLen = Text2
    If Combo1(6) = "Text" Then
        MSComm1.InputMode = 0
    Else
        MSComm1.InputMode = 1
    End If
    Command2.Enabled = True
End Sub
Private Sub Command2_Click()
If Command2.Caption = "BAĞLAN" Then
    If MSComm1.PortOpen = False Then MSComm1.PortOpen = True
    Command2.Caption = "BAĞLANIYOR..."
    MSComm1.RThreshold = 1
    MSComm1.DTREnable = True
    MSComm1.RTSEnable = True
    Timer2.Enabled = True
Else
    If MSComm1.PortOpen = True Then MSComm1.PortOpen = False
    Command2.Caption = "BAĞLAN"
```

```

    Timer1.Enabled = False
End If
End Sub

Private Sub Command3_Click()
If erd1.State = 1 Then erd1.Close
erd1.Open "delete from Data", baglanti, adOpenKeyset, adLockOptimistic
's_sicak = kay1.RecordCount
With Chart1
.RowCount = s_sicak
For row = 1 To vs_sicak
.row = row
.RowLabel = erd1("Zaman")
.Data = erd1("gerilim")
kay1.MoveNext
Next row
End With
'kay1.MoveFirst
With Chart2
.RowCount = s_sicak
For row = 1 To s_sicak
.row = row
.RowLabel = kay1("Zaman")
.Data = kay1("akım")
kay1.MoveNext
Next row
End With
'kay1.MoveFirst
With Chart3
.RowCount = s_sicak
For row = 1 To s_sicak
.row = row
.RowLabel = kay1("Zaman")
.Data = kay1("güç")
kay1.MoveNext
Next row
End With
'kay1.Close
'kay1.MoveFirst
With Chart4
.RowCount = s_sicak
For row = 1 To s_sicak
.row = row
.RowLabel = kay1("Zaman")
.Data = kay1("endex")
kay1.MoveNext
Next row
End With
'kay1.Close
End Sub
Private Sub Command4_Click()
Timer2.Enabled = True
End Sub
Private Sub e1_Click()
Chart4.Visible = True

```

```

End Sub
Private Sub Form_Load()
Dim v_gerilim As Integer
Dim v_akim As Integer
Dim row As Integer
'MSComm1.CommPort = 1
'MSComm1.CommPort = 5
'MSComm1.Settings = "9600,N,8,1"
'If MSComm1.PortOpen = False Then
'MSComm1.PortOpen = True
'End If

Set baglanti = New ADODB.Connection
baglanti.Open "PROVIDER=Microsoft.Jet.OLEDB.4.0;Data Source=" & App.Path & "\erdem.mdb"
erd1.Open "select gerilim,akim,güç,endex,Zaman from Data", baglanti, adOpenKeyset,
adLockOptimistic
v_gerilim = erd1.RecordCount
On Error Resume Next
With Chart1
.RowCount = v_gerilim
For row = 1 To v_gerilim
.row = row
.RowLabel = erd1("Zaman")
.Data = erd1("gerilim")
erd1.MoveNext
Next row
End With
erd1.MoveFirst
With Chart2
.RowCount = v_gerilim
For row = 1 To v_gerilim
.row = row
.RowLabel = erd1("Zaman")
.Data = erd1("akim")
erd1.MoveNext
Next row
End With
erd1.MoveFirst
With Chart3
.RowCount = v_gerilim
For row = 1 To v_gerilim
.row = row
.RowLabel = erd1("Zaman")
.Data = erd1("güç")
erd1.MoveNext
Next row
End With
erd1.MoveFirst
With Chart4
.RowCount = v_gerilim
For row = 1 To v_gerilim
.row = row
.RowLabel = erd1("Zaman")
.Data = erd1("endex")
erd1.MoveNext

```

```

Next row
End With
End Sub
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
    If MSCComm1.PortOpen = True Then MSCComm1.PortOpen = False
    baglanti.Close
End Sub
Private Sub g_Click(Index As Integer)
Chart3.Visible = True
End Sub
Private Sub g1_Click(Index As Integer)
Chart1.Visible = True
End Sub
Private Sub Timer1_Timer()
Dim y As Integer
If erd.State = 1 Then erd.Close
erd.Open "insert into Data([gerilim],[akim],[güç],[endex],[Zaman]) values('" & v_gerilim & "','" &
v_akim & "','" & v_güç & "','" & v_endex & "','" & Time & "')" , baglanti, adOpenKeyset,
adLockOptimistic
If erd1.State = 1 Then erd1.Close
erd1.Open "select  gerilim,akim,güç,endex,Zaman from Data", baglanti, adOpenKeyset,
adLockOptimistic
v_gerilim = erd1.RecordCount
v_akim = erd1.RecordCount
With Chart1
.RowCount = v_gerilim
For row = 1 To v_gerilim
.row = row
.RowLabel = erd1("Zaman")
.Data = erd1("gerilim")
erd1.MoveNext
Next row
End With
erd1.MoveFirst
'With Chart1
With Chart2
.RowCount = v_gerilim
For row = 1 To v_gerilim
.row = row
.RowLabel = erd1("Zaman")
.Data = erd1("akim")
erd1.MoveNext
Next row
End With
erd1.MoveFirst
With Chart3
.RowCount = v_gerilim
For row = 1 To v_gerilim
.row = row
.RowLabel = erd1("Zaman")
.Data = erd1("güç")
erd1.MoveNext
Next row
End With
erd1.MoveFirst

```

```

With Chart4
.RowCount = v_gerilim
For row = 1 To v_gerilim
.row = row
.RowLabel = erd1("Zaman")
.Data = erd1("endex")
erd1.MoveNext
Next row
End With
erd1.Close
End Sub
Private Sub Timer2_Timer()
'Text4.Text = MSCComm1.Input
Dim i%, portst$, a, b, c, d, e
portst = ""
MSCComm1.InBufferCount = 0
If MSCComm1.PortOpen = True Then
'48 03 00 01 00 0A 9A 54 ID:72
'49 03 00 01 00 0A 9B 85 ID:73
'MSCComm1.Output = Chr(4 * 16 + 9) + Chr(3) + Chr(0) + Chr(1) + Chr(0) + Chr(10) + Chr(9 * 16 +
11) + Chr(8 * 16 + 5)
'MSCComm1.Output = Chr(4 * 16 + 8) + Chr(3) + Chr(0) + Chr(1) + Chr(0) + Chr(10) + Chr(9 * 16 +
10) + Chr(5 * 16 + 4)
MSCComm1.Output = Chr(1) + Chr(3) + Chr(0) + Chr(20) + Chr(0) + Chr(7 * 16 + 10) + Chr(8 * 16 +
4) + Chr(2 * 16 + 13)
End If
While i < 30000 ' cevap almak için gereken süre
DoEvents 'ben işlerimi işlerimi hallederken bilgisayar kitlenmesin
If MSCComm1.PortOpen = True Then
portst = portst + MSCComm1.Input ' porttan ilgi alma işlemi
End If
If Len(portst) >= 143 Then ' gelen cevabın uzunluğu 7 karakter olmalı
i = 31000 ' döngüden çıkma işlemi
End If
i = i + 1
Wend ' while sonu
If Len(portst) >= 143 Then ' gelen bilgi 15 karakter ve üstü ise doğrudur
a = hextoi(Asc(Mid(portst, 54, 1)), Asc(Mid(portst, 55, 1)))
c = a / 10
Text4 = c
' Label1.Caption = A '+' ' ' + "Volt"
b = hextoi(Asc(Mid(portst, 142, 1)), Asc(Mid(portst, 143, 1)))
d = b / 10
Text3 = d
' Label2.Caption = b '+' ' ' + "Volt"
'c = (hextoi(Asc(Mid(portst, 16, 1)), Asc(Mid(portst, 17, 1)))) / 1000
' Label7.Caption = c '+' ' ' + "Volt"
'd = (hextoi(Asc(Mid(portst, 12, 1)), Asc(Mid(portst, 13, 1)))) / 1000
' Label9.Caption = d '+' ' ' + "Volt"
'e = (hextoi(Asc(Mid(portst, 20, 1)), Asc(Mid(portst, 21, 1)))) / 1000
' Label11.Caption = e '+' ' ' + "Volt"
' Label13 = A * c
' Label3 = Label1 + ' ' + "Volt"
' Label4 = Label2 + ' ' + "Hz"
' Label8 = Label7 + ' ' + "Amp"

```

```

Label10 = Label9 + " " + "Wh"
Label12 = Label11 + " " + "COSQ"
Label14 = Label13 + " " + "WATT"
'd = Val(A)
' Label6 = d
' Else
' Label1 = "0"
' Label2 = "0"
' Label3 = "0"
' Label4 = "0"
  v_güç = (Text4.Text) ', karakter1 + 1, karakter2 - karakter1 - 1)
  v_akim = Text3 'Mid(Text4.Text, karakter2 + 1, karakter3 - karakter2 - 1)
  v_gerilim = Text3
  v_endex = Text4.Text
  'v_basinc = Mid(Text4.Text, karakter3 + 1, karakter4 - karakter3 - 1)
  'v_sicak = Replace(v_sicak, ".", ",")
  v_güç = Replace(v_güç, ".", ",")
  v_akim = Replace(v_akim, ".", ",")
  v_gerilim = Replace(v_gerilim, ".", ",")
  v_endex = Replace(v_endex, ".", ",")
  güç(0).Caption = v_güç & " W" "" °C"
  akım.Caption = v_akim & " Amp."
  'endex.Caption = v_endex & " Wh"
  güç(1).Caption = v_endex & " Wh"
  gerilim.Caption = v_gerilim & " volt"
  Timer1.Enabled = True

End If
End Sub

```

ÖZGEÇMİŞ

YILDIRIM ÖZÜPAK

Silvan Meslek Yüksekokulu

Silvan/DİYARBAKIR

GSM:+90 542 462 7135

yildirimozupak@hotmail.com

EĞİTİM:

2012- :İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği ABD yüksek lisans yapmaktayım
2007/2011 :İnönü Üniversitesi / Malatya- Elektrik Elektronik Mühendisliği

İŞ DENEYİMİ:

2011-2012 ÜÇGEN MÜHENDİSLİK LTD.ŞTİ

Saha Mühendisi ve Kontrol Mühendisi olarak görev yaptım

2012-2015 ÇETİNKAYA ELEKTRİK MAD. YAT. TAAH. SAN. OTO. TİC. A.Ş

İnşaat, Elektrik ve Enerji sektöründe öncü olan firmada; Plan&Proje Mühendisi, Kontrol Mühendisliği, Grup Mühendisliği ve Teknik Koordinatör olarak görev yaptım

2015- SİLVAN MESLEK YÜKSEKOKULU

09.02.2015 tarihinden itibaren Silvan Meslek Yüksekokulunda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktayım