

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI
İZLEME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YUNUS EMRE KESKİN

KOCAELİ 2014

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ




FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI
İZLEME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

YUNUS EMRE KESKİN

Prof.Dr. Bekir ÇAKIR
Danışman, Kocaeli Üniv.

Yrd.Doç.Dr. Tarık ERFİDAN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Doç.Dr. İsmail AKSOY
Jüri Üyesi, Yıldız Teknik Üniv.


.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 25.06.2014

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Güneş enerjisinden elektrik üretimi, son yıllarda sıkça konuşulan yenilenebilir enerji kaynağı uygulamalarının oldukça popüler olan bir çeşididir. Sınırsız olması, işletme maliyetinin düşük olması ve çevre kirliliğine yol açmaması gibi birçok iyi nedenden dolayı elektrik üretiminde tercih edilen ve ilerleyen teknolojiler sayesinde de her geçen gün daha verimli hale gelen bir elektrik enerjisi kaynağıdır.

Güneşten elektrik üretirken, enerji verimini yüksek tutabilmek son derece önemlidir. Bu da güneş panellerinin güneşi, hem mekanik hem de elektriksel olarak takip etmesiyle mümkündür. Elektriksel takip yapabilmek için birçok maksimum güç noktası izleme yöntemi geliştirilmiştir.

Bu çalışmada literatürde yer alan birçok maksimum güç noktası yöntemi incelenmiş ve uygulama safhasında yine literatürde en çok ilgi gören değiştir gözle ve artan iletkenlik algoritmaları farklı ışınım ve yükler altında karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmamda beni destekleyen danışman hocam Prof. Dr. Bekir ÇAKIR'a, tez çalışmamın her aşamasında desteklerini esirgemeyen çalışma arkadaşlarım Arş. Gör. Mustafa Engin BAŞOĞLU'na ve Arş. Gör. İbrahim Gürsu TEKDEMİR'e, maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan babam Prof. Dr. Yusuf Ziya KESKİN'e ve annem Leyla KESKİN'e ve eşim Selin KESKİN'e teşekkür ederim.

Haziran – 2014

Yunus Emre KESKİN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELEr DİZİNİ VE KISALTMALAR	vii
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	ix
GİRİŞ	1
1. GÜNEŞ ENERJİSİ	7
1.1. Elektrik Enerjisi Kaynakları ve Kullanımı	7
1.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi ve Diğer Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyeli	8
1.3. Türkiye’de Güneş Enerjisinin Kullanımı	11
1.4. Güneş Hücreleri.....	13
1.4.1. Güneş hücrelerinin yapısı.....	14
1.4.2. Güneş hücresi çeşitleri	15
1.4.2.1. Monokristal güneş hücresi	15
1.4.2.2. Polikristal güneş hücresi	16
1.4.2.3. İnce Film güneş hücreleri	17
1.4.2.4. Amorf Silisyum güneş hücreleri	17
1.4.2.5. Kadmiyum Tellür güneş hücreleri	17
1.4.2.6. Bakır İndiyum Diselenid güneş hücreleri	18
1.4.2.7. Galyum Arsenit güneş hücreleri	18
1.5. Güneş Enerjisi ile Elektrik Üretimi	19
1.6. Güneş Enerjisi Sistemleri	22
1.6.1. Şebekeden bağımsız sistemler.....	22
1.6.2. Şebekeye bağımlı sistemler.....	23
2. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEME YÖNTEMLERİ	26
2.1. Sabit Gerilim Yöntemi	27
2.2. Eğri Uydurma Yöntemi	27
2.3. Değiştir Gözle Yöntemi.....	28
2.4. Artan İletkenlik Yöntemi.....	30
2.5. Açık Devre Gerilimi Yöntemi	32
2.6. Kısa Devre Akımı Yöntemi.....	33
2.7. Hafıza Tablosu Yöntemi	34
2.8. Bulanık Mantık Yöntemi.....	34
2.9. Yapay Sinir Ağları Yöntemi.....	35
2.10. Tek Çevrim Kontrol Yöntemi	36
2.11. Farklılaşma Yöntemi	37
2.12. Geribildirim Gerilim ve Akım Yöntemi.....	37
2.13. Dalgalanma Korelasyon Kontrol Yöntemi.....	38
2.14. DA Bağlantılı Kapasite Gerilimi Kontrolü Yöntemi	39
2.15. Gerilim ve Akım ile Güç Geribildirim Değişimi Yöntemi	39

2.16. Yük Akımı veya Yük Gerilimi Maksimizasyonu Yöntemi.....	40
2.17. MGNİ Yöntemlerinin Teorik Olarak Karşılaştırılması	41
3. DA - DA DÖNÜŞTÜRÜCÜLER	43
3.1. Endüktanslı ve İzolesiz DA – DA Dönüştürücüler	44
3.1.1. Düşürücü DA – DA dönüştürücüler	45
3.1.2. Yükseltici DA – DA dönüştürücüler	48
3.1.3. Düşürücü - Yükseltici DA – DA dönüştürücüler	50
3.1.4. Cük türü izolesiz DA – DA dönüştürücü	53
4. UYGULAMA DEVRELERİ	55
4.1. Yükseltici DA-DA Dönüştürücü Devre	56
4.2. Kontrol Devresi	57
4.3. Besleme Devresi	58
4.4. Güneş Paneli	60
5. UYGULAMA SONUÇLARI	61
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	74
KAYNAKLAR	75
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	79
ÖZGEÇMİŞ	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Elektrik enerjisi üretim kaynakları	7
Şekil 1.2.	Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyel haritası	8
Şekil 1.3.	Türkiye'nin 2001 ve 2011 yılları arasında toplam elektrik üretimi	10
Şekil 1.4.	Türkiye için 2013 yılına ait elektrik üretim oranları	11
Şekil 1.5.	Örnek bir güneş kolektörü	12
Şekil 1.6.	Örnek bir güneş hücresi ve fotovoltaik modül	13
Şekil 1.7.	Güneş hücresinin genel bir gösterimi	15
Şekil 1.8.	Monokristal güneş hücresi	16
Şekil 1.9.	Polikristal güneş hücresi	16
Şekil 1.10.	Amorf silisyum güneş hücresi	17
Şekil 1.11.	Kadmiyum Tellür güneş hücresi	18
Şekil 1.12.	Bakır İndiyum Diselenid güneş hücresi	18
Şekil 1.13.	Galyum Arsenit güneş hücresi	19
Şekil 1.14.	Güneş hücresi elektriksel eşdeğer devre modeli	20
Şekil 1.15.	Güneş hücresi akım-gerilim (I-V) karakteristiği	20
Şekil 1.16.	Güneşten elektrik üretim sisteminin temel elemanları	21
Şekil 1.17.	Sadece DA gerilime ihtiyaç duyulan şebekeden bağımsız sistem a) Güneş Paneli b) Şarj Kontrol Devresi c) Akü d) Bağlantı Kutusu e) DA Yük	22
Şekil 1.18.	AA ve DA gerilime ihtiyaç duyulan şebekeden bağımsız sistem a) Güneş Paneli b) Şarj Kontrol Devresi c) Akü d) Evirici e) Bağlantı Kutusu f) AA veya DA Yük	23
Şekil 1.19.	Şebeke içi kullanım amaçlı, satışsız sistem a) Güneş Paneli b) Evirici c) AA veya DA Yük d) Pano e) Şebeke f) Şebeke Alım Sayacı	24
Şekil 1.20.	Şebeke ile elektrik alışverişi yapılan sistem a) Güneş Paneli b) Evirici c) Şebeke Satış Sayacı d) Pano e) Şebeke f) Şebeke Alım Sayacı g) AA veya DA Yük	24
Şekil 1.21.	Şebeke ile elektrik alışverişi yapılan akülü sistem a) Güneş Paneli b) Evirici c) Şebeke Satış Sayacı d) Pano e) Şebeke f) Şebeke Alım sayacı g) AA veya DA Yük h) Kesintide Desteklenmeyen Yükler	25
Şekil 2.1.	Güneş pili P – V,I grafiği	26
Şekil 2.2.	Sabit gerilim yöntemi akış diyagramı	27
Şekil 2.3.	Değiştir Gözle yöntemi akış diyagramı	29
Şekil 2.4.	Tepe tırmanma yöntemi akış diyagramı	30
Şekil 2.5.	Artan iletkenlik yöntemi akış diyagramı	31
Şekil 2.6.	Açık devre gerilimi yöntemi akış diyagramı	32
Şekil 2.7.	Kısa devre akımı yöntemi akış diyagramı	33
Şekil 2.8.	Bulanık mantık kontrolörün giriş ve çıkışı için üyelik fonksiyonu	34

Şekil 2.9.	Yapay sinir ağı örneği	36
Şekil 2.10.	Tek çevrim kontrol sistemi.....	37
Şekil 2.11.	Geribildirim gerilim ve akım yöntemi blok diyagramı	38
Şekil 2.12.	DA Bağlantılı Kapasite Gerilimi Kontrolü yöntemi blok diyagramı.....	39
Şekil 2.13.	Farklı yük çeşitleri 1) gerilim kaynağı 2) direnç 3) direnç ve gerilim kaynağı 4) akım kaynağı.....	41
Şekil 3.1.	Düşürücü DA-DA dönüştürücü a) temel devre şeması b) iletim durumu c) kesim durumu	45
Şekil 3.2.	Yükseltici DA-DA dönüştürücü a) temel devre şeması b) iletim durumu c) kesim durumu	48
Şekil 3.3.	Düşürücü-Yükseltici DA-DA dönüştürücü a) temel devre şeması b) iletim durumu c) kesim durumu.....	52
Şekil 3.4.	Cuk türü bir dönüştürücünün a) temel devre şeması b) iletim durumu c) kesim durumu.....	54
Şekil 4.1.	Algoritmaların uygulandığı deney devreleri	55
Şekil 4.2.	Oluşturulan yükselti DA-DA dönüştürücü devrenin devre şeması	56
Şekil 4.3.	Yükseltici DA-DA dönüştürücü uygulama devresi	57
Şekil 4.4.	Kontrol devresi	58
Şekil 4.5.	$\pm 5V$ DA devresi	59
Şekil 4.6.	$+15V$ DA devresi	59
Şekil 4.7.	Besleme devresi.....	59
Şekil 4.8.	Uygulamada kullanılan güneş paneli	60
Şekil 5.1.	Güneş paneli I-V grafiği.....	61
Şekil 5.2.	Güneş paneli P-V Grafiği.....	62
Şekil 5.3.	Değiştir Gözle algoritması benzetim sonuçları	62
Şekil 5.4.	Değiştir Gözle algoritması benzetim sonucu, gerilim akım karakteristiği.....	63
Şekil 5.5.	Artan İletkenlik algoritması için benzetim sonuçları	63
Şekil 5.6.	Artan iletkenlik algoritması benzetim sonucu, gerilim ve akım değişimi	64
Şekil 5.7.	Değiştir Gözle algoritması, adımlar arası süre 1 ms için çıkış.....	65
Şekil 5.8.	Değiştir Gözle algoritması, adımlar arası süre 1 ms için çıkış detayı	66
Şekil 5.9.	Değiştir Gözle algoritması, adımlar arası süre 100 ms ve çıkış yükü 46Ω	67
Şekil 5.10.	Artan İletkenlik algoritması, adımlar arası süre 100 ms ve çıkış yükü 46Ω	67
Şekil 5.11.	Değiştir Gözle algoritması, ışınlım $1000 W/m^2$ ve çıkış yükü 33Ω	68
Şekil 5.12.	Artan İletkenlik algoritması, ışınlım $1000 W/m^2$ ve çıkış yükü 33Ω	69
Şekil 5.13.	Değiştir Gözle Algoritması, $600 W/m^2$ ışınlım için sonuçlar	70
Şekil 5.14.	Artan İletkenlik algoritması, $600 W/m^2$ ışınlım için sonuçlar.....	70
Şekil 5.15.	Değiştir Gözle algoritması, $150 W/m^2$ ışınlım için sonuçlar.....	71
Şekil 5.16.	Artan İletkenlik algoritması, $150 W/m^2$ ışınlım için sonuçlar.....	71
Şekil 5.17.	Yük değişiminde değiştir gözle algoritmasının performansı	72
Şekil 5.18.	Yük değişiminde artan iletkenlik algoritmasının performansı.....	73

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. Türkiye için aylık ortalama güneşlenme süreleri	9
Tablo 1.2. Türkiye’de elektrik üretiminde kullanılan kaynaklara ilişkin bilgiler	9
Tablo 2.1. Bulanık mantık kural tablosu	35
Tablo 2.2. MGNİ yöntemlerinin teorik olarak karşılaştırılması.....	42
Tablo 4.1. Bulanık mantık kural tablosu	60

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

a	: Trafo dönüştürme oranı
C	: Kondansatör, (F)
D	: Doluluk boşluk oranı
f_p	: Anahtarlama frekansı, (Hz)
$I_ç$: Çıkış akımı, (A)
I_D	: Pasif eleman akımı, (A)
I_g	: Giriş akımı, (A)
I_L	: Bobin akımı, (A)
I_{MPP}	: Maksimum güç noktası akımı, (A)
I_{PH}	: Işınım akımı, (A)
I_{pv}	: Güneş paneli akımı, (A)
I_{sc}	: Kısa devre akımı, (A)
I_T	: Aktif eleman akımı, (A)
K	: Boltzman sabiti, (J/K°)
L	: Bobin, (H)
n	: Diyot kalite faktörü
P_{MPP}	: Maksimum güç noktası gücü, (W)
q	: Elektron yükü, (C)
$R_ç$: Yük direnci, (Ω)
R_g	: Güneş paneli eşdeğer direnci, (Ω)
R_p	: Güneş hücresi paralel direnci, (Ω)
R_s	: Güneş hücresi seri direnci, (Ω)
T_d	: Yarı iletken iletim süresi, (ns)
T_p	: Yarı iletken anahtarlama periyodu, (ns)
$V_ç$: Çıkış gerilimi, (V)
V_g	: Giriş gerilimi, (V)
V_{OC}	: Açık devre gerilimi, (V)
V_{PV}	: Güneş paneli gerilimi, (V)
V_{ref}	: Referans gerilimi, (V)

Kısaltmalar

AA	: Alternatif Akım
DA	: Doğru Akım
DGM	: Darbe genişlik Modülasyonu
D&G	: Değiştir Gözle Algoritması
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
MGNİ	: Maksimum Güç Noktası İzleme
MPPT	: Maksimum Power Point Tracking (Maksimum Güç Noktası İzleme)
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Güneş enerjisi yenilenebilir, çevre dostu ve sınırsız olması açısından elektrik üretiminde son yıllarda oldukça popüler olan bir kaynaktır. Bu kaynaktan daha fazla yararlanabilmek için maksimum güç noktası izleme yöntemleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada, literatürde yer alan bir çok maksimum güç noktası izleme yöntemi incelenmiş ve yöntemlerin özelliklerini özetleyen bir tabloya yer verilmiştir. Uygulama kısmında, değiştir gözle ve artan iletkenlik algoritmaları bir yükseltici dönüştürücü devre üzerinden güneş paneline uygulanmış ve her iki algoritma için alınan sonuçlar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Uygulamada yükseltici dönüştürücü devre kullanıldığı için çalışmada DA-DA dönüştürücü türlerine de yer verilmiştir. Farklı yükler ve farklı ışınımlar altında algoritmaların performansları incelenmiş ve MATLAB programında her iki algoritmanın da benzetimi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Artan İletkenlik Algoritması, Değiştir Gözle Algoritması, Maksimum Güç Noktası İzleme Yöntemleri

COMPARISON OF MAXIMUM POWER POINT TRACKING METHODS FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

ABSTRACT

Solar energy is a popular source for electricity production in recent years because of its renewable, environmentally friendly and unlimited nature. In order to benefit from this source, maximum power point tracking methods have been developed before. In this study, several maximum power point tracking methods mentioned in literature are examined and a table summarizing features of the methods are presented. On the practice side, Perturbation and Observation and Incremental Conductance algorithms are applied to solar panel by a boost converter circuit and the results of the algorithms are analyzed comparatively. Because of using a boost converter circuit, DC-DC converter types are also included in the study. Performances of the algorithms are evaluated under different radiation and loading conditions and both of the algorithms are simulated in MATLAB.

Keywords: Incremental Cundactance Algorithm, Perturbation And Observation Algorithm, Maximum Power Point Tracking Methods

GİRİŞ

Enerji kaynakları genel olarak yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olmak üzere iki sınıfta incelenir. Petrol, kömür, doğalgaz gibi kullanıldığında tükenen ve doğada tekrar oluşması çok uzun süreler alan enerji kaynakları yenilenemeyen enerji kaynaklarıdır.

Yenilenebilir enerji kaynağı en genel anlamda, enerji kaynağından alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağın tükenme hızından daha çabuk bir şekilde kendini yenileyebilen enerji kaynağı olarak tanımlanır. Günümüzde en çok tercih edilen yenilenebilir enerji kaynakları güneş ve rüzgârdır. Bunların yanı sıra jeotermal enerji, biokütle enerjisi ve hidroelektrik santrallerden sağlanan enerji de yenilenebilir enerji kaynakları gurubuna girmektedir.

Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin sayılabilecek bir coğrafyaya sahiptir. Rüzgâr enerjisi ve jeotermal enerjiden elektrik üretiminde aktif olarak faydalanılırken, güneş enerjisinden elektrik üretimi de son yıllarda popüler olmaya başlamıştır.

Güneş enerjisinden elektrik üretimi güneş panelleri sayesinde mümkündür. Güneş paneli üretiminde kullanılan farklı malzemeler, farklı tipte güneş panelleri oluşmasına yol açmıştır. Kullanılan malzemelerin güneş emilimi farklı olduğu için, panel türlerinin enerji verimleri de farklı olmaktadır.

Güneş enerjisinden elektrik üretirken, güneşten maksimum oranda faydalanmak için sadece güneşi mekanik olarak takip eden sistemler yeterli olmamakta, bunun yanı sıra elektronik takip yapan maksimum güç noktası izleyici (MGNI) yöntemleri kullanılmaktadır. Literatürde çok sayıda MGNI yöntemi var olup, her birinin sağladığı verim, kullanılan yöntemin içeriğine göre değişmektedir. DA-DA dönüştürücü kullanılan sistemlerde MGNI algoritmaları bir kontrol devresi üzerinden yarı iletken anahtara sahip DA-DA dönüştürücüye uygulanarak yapılmaktadır [1].

Trishan Efram ve Patrick L. Chapman 2007 yılında yaptıkları çalışmada o zamana kadar çalışılmış bütün MGNİ yöntemlerini ayrı ayrı incelemişlerdir. Kullanıcıların hangi MGNİ yöntemini tercih edeceğini bilemediğini söylemiş ve bunu kolaylaştırmak amacıyla bütün yöntemlerin avantaj ve dezavantajlarını içeren bir tabloyu çalışmalarında sunmuşlardır. Yöntemlerin maliyeti konusunda, bütün yöntemleri gerçekleştirmenin zor olduğu gerekçesiyle herhangi bir kıyaslama yapılmadığı belirtilmiştir [2].

Fangrui Liu, Yong Kang, Yu Zhang ve Shanxu Duan 2008 yılında yayınladıkları makalede değiştir gözle (D&G) ve Tepe Tırmanma algoritmalarını, şebekeye bağlı fotovoltaik sistemler için karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Yaptıkları teorik karşılaştırmalara ve benzetim sonuçlarına göre, değiştir gözle algoritmasının hızlı sonuç vermesi ve değişken çevre koşullarında daha dinamik performans sergilemesi sebebiyle şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlere daha uygun olduğu sonucuna varmış öte yandan Tepe Tırmanma algoritmasının kolay uygulanması, düşük maliyeti ve basit topolojisi ile hızlı cevap süresine ihtiyaç duymayan akü şarjı konusunda kullanılabileceğini vurgulamışlardır [3].

R. Faranda, S. Leva ve V. Maugeri 2008 yılında yaptıkları çalışmada, on farklı maksimum güç noktası izleme yöntemini hem performans hem de maliyet açısından incelemişlerdir. Yapılan analizler sonucunda yöntemleri enerji verimliliği ve maliyet durumlarına göre tablolastırmışlardır. Bu tabloya göre değiştir gözle ve artan iletkenlik yöntemleri hem performans hem de maliyetleri açısından en verimli yöntemler olarak belirlenmiştir [4].

Dorin Petreus, Daniel Moga, Adina Rusu, Toma Patarau ve Stefan Daraban 2010 yılında yaptıkları çalışmada değiştir gözle, artan iletkenlik ve bulanık mantık yöntemlerini kıyaslamış ve benzetim sonuçlarına göre bulanık mantık yönteminin uygulama karışıklığı olduğunu, artan iletkenlik algoritmasının maksimum güç noktasında gereksiz salınımlar yaptığını ve bu noktaya geç ulaştığını ve çok fazla işlem gerektirdiğini, değiştir gözle algoritmasının ise maksimum güç noktasına daha hızlı ulaştığını, çevresel değişimlerde toparlanma süresinin kısa olduğunu ve daha az işlem gerektirdiğini söylemişlerdir [5].

Roberto F. Coelho, Filipe M. Concer ve Denizar C. Martins 2010 yılında yaptıkları çalışmada, düşürücü DA-DA dönüştürücü, yükseltici DA-DA dönüştürücü ve düşürücü-yükseltici DA-DA dönüştürücü devrelerine MGNİ yöntemlerini ayrı ayrı uygulamışlardır. Uygulama sonucunda, düşürücü dönüştürücünün yüksek ışınlım ve sıcaklıklarda, yükseltici dönüştürücünün ise düşük ışınlım ve sıcaklıklarda maksimum güç noktası takibi yapamayabileceğini, düşürücü-yükseltici dönüştürücünün ise her sıcaklık ve ışınlımda maksimum güç noktası takibi yapabileceğini göstermişlerdir [6].

A. Safari ve S. Mekhilef 2011 yılında yaptıkları çalışmada cük türü DA-DA dönüştürücü devresi kullanarak artan iletkenlik algoritmasını MATLAB Simulink programında gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada öncelikle KC85T model güneş panelinin farklı çevre koşulları için çalışma karakteristiğini belirlemiş ve farklı ışınlım durumları için benzetimi gerçekleştirmişlerdir. Benzetim sonuçlarına göre artan iletkenlik algoritmasının hızlı cevap verme süresine sahip olduğunu ve maksimum güç noktasını yakalama konusunda doğruluk oranının yüksek olduğunu söylemişlerdir [7].

Ali Reza Reisi, Mohammad Hassan Moradi ve Shahriar Jamasb 2012 yılında yayınladıkları makalelerinde bir çok maksimum güç noktası izleme yöntemini benzetimlere dayalı olarak karşılaştırmış ve bu yöntemleri online, offline ve hibrit olmak üzere üç sınıfta incelemişlerdir. Yapılan benzetim sonuçlarına göre Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık gibi yöntemler yüksek verimle çalışırken değiştir gözle, açık devre gerilimi, kısa devre akımı gibi yöntemlerin maksimum güç noktası takibi açısından verimlerinin düşük olduğu gözlemlenmiştir. Hibrit olarak sınıflandırdıkları, akım, gerilim ve sıcaklık bilgilerini kullanarak maksimum güç noktası takibi yapan yöntem ise karşılaştırılan yöntemler arasında verimi en yüksek olan yöntem olarak belirlenmiştir [8].

Dong Jie, Zhang Chun-jiang ve Li Yan-bang 2012 yılında yaptıkları bildiride doluluk boşluk oranının değişimini referans alan değiştir gözle algoritması ile referans geriliminin değişimini baz alan değiştir gözle algoritmalarını karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Çalışmada her iki yönteme ait çalışma prensiplerini anlatmış ve benzetim aşamasında tipik bir fotovoltaiik sisteme, aynı şartlar altında her iki yöntemi

de uygulamışlardır. Çıkan sonuçlara göre referans gerilimini baz alan değiştir gözle algoritmasının daha başarılı ve pratik olduğunu göstermişlerdir [9].

Hassan Abouobaida ve Mohamed Cherkaoui 2012 yılında yaptıkları çalışmada değişen çevre koşulları altında yükseltici DA-DA dönüştürücü devresi kullanarak değiştir gözle ve artan iletkenlik algoritmalarının performanslarını incelemişlerdir. Benzetim sonuçlarına göre artan iletkenlik algoritmasının maksimum güç noktasında daha az salınım yaptığını ve seçilen kriterlere göre değiştir gözle algoritmasından daha iyi olduğunu söylemişlerdir [10].

Ali Nasr Allah Ali, Mohamed H. Saied, M. Z. Mostafa ve T. M. Abdel-Moneim 2012 yılında güneş enerjisi sistemlerinde MGNİ yöntemlerinin araştırılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada öncelikle neden MGNİ yöntemlerine ihtiyaç duyulduğundan bahsetmiş ve daha sonra literatürde en çok karşılaşılan yöntemleri tek tek ele almış, her yöntemi ayrıntılı olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık gibi az bilinen yöntemleri de incelemişlerdir. Sonuç kısmında inceledikleri yöntemlere ait karakteristik özelliklerin bulunduğu bir tabloya yer vermişlerdir [11].

Bidyadhar Subudhi ve Raseswari Pradhan 2013 yılında yaptıkları çalışmada güneş enerjisi sistemleri için maksimum güç noktası izleme yöntemleri ile ilgili detaylı bilgiler vermiş, yer verdikleri yöntemleri karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Çalışmada bütün yöntemlerin özelliklerinden bahsedilmiş, yöntemlerin çalışma prensipleri anlatılmış ve akış diyagramları verilmiştir. Çalışmanın sonunda oluşturulan tabloda bütün yöntemlerin olumlu ve olumsuz özellikleri tablolatırılmıştır [12].

Ioan Viorel Banu, Răzvan Beniuga ve Marcel Istrate 2013 yılında yaptıkları çalışmada, değiştir gözle ve artan iletkenlik algoritmalarını düşürücü DA-DA dönüştürücü devre kullanarak eşit şartlar altında, farklı çevre koşulları için MATLAB Simulink programında karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Farklı doluluk boşluk oranları için alınan sonuçlarda değiştir gözle algoritmasının artan iletkenlik algoritması kadar maksimum güce hızlı çıkamadığı ve artan iletkenlik algoritmasının maksimum gücü izleme konusunda daha iyi olduğu sonuçlarına varmışlardır [13].

Snehamoy Dhar, R. Sridhar ve Geraldine Mathew 2013 yılında MATLAB Simulink programında yaptıkları benzetim çalışmasında, yükseltici DA-DA dönüştürücü devresi üzerinde artan iletkenlik algoritmasını farklı çevre sıcaklıkları ve farklı ışınımlar için uygulamışlardır. Uygulama sonuçlarına göre artan iletkenlik algoritmasının maksimum güç noktasını 0,5 saniyenin altında bir sürede yakaladığını ve bu değerin değiştir gözle algoritmasına oranla çok daha hızlı ve etkili olduğunu söylemişlerdir [14].

Dalila Beriber ve Abdelaziz Talha 2013 yılında yaptıkları çalışmada değiştir gözle, artan iletkenlik ve bulanık mantık yöntemlerini kıyaslamış ve D&G algoritmasının çok kolay uygulanabilir olduğunu ancak maksimum güç noktasında çok fazla salınım yaptığı için güç kaybının fazla olduğunu ve algoritma içinde uygulanan adım büyüklüğünün maksimum güç noktasına ulaşmada hızı belirlediği için çok önemli olduğunu belirtmişlerdir. Artan iletkenlik algoritmasının ise D&G algoritmasından daha karışık olduğunu, maksimum güç noktasında daha az salınım yaptığını ancak D&G algoritmasına göre maksimum noktayı yakalama durumunun daha az olduğunu söylemişlerdir [15].

Mustafa Engin Başoğlu 2013 yılında yaptığı yüksek lisans tezinde yükseltici DA-DA dönüştürücü tasarlayarak, düşük güçlü bir fotovoltaik sistemde değiştir gözle algoritmasını uygulamıştır. Farklı yük ve ışınım şartlarında DA-DA dönüştürücü ve D&G algoritmasının performansları incelenmiş ve yük direncinin MGNİ denetimine etkisi gösterilmiştir [1].

Tekeshwar Prasad Sahu ve T. V. Dixit 2014 yılında yaptıkları çalışmada, değiştir gözle ve artan iletkenlik algoritmalarını çuk dönüştürücü kullanarak MATLAB Simulink programında benzetimini yapmışlardır. Güneş panelinin çıkışından alınan gücün ışınım ile doğru, panel sıcaklığı ile ters orantılı olduğunu ve panel performansının kış aylarında yaza göre daha iyi olduğunu söylemişlerdir. Artan iletkenlik algoritmasının karmaşık yapısına rağmen değiştir gözle algoritmasına göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir [16].

MGNİ yöntemleri güneş enerjisi üzerine yapılan çalışmalarda oldukça popüler bir konudur. Yapılan çalışmalarda genel olarak yöntemler benzetim ortamlarında test edilmiş ve sonuçlar hep benzetimler üzerinden çıkarılmıştır. Bu çalışmada ise değiştir

gözle ve artan iletkenlik algoritmaları gerçek veriler ve devreler üzerinde uygulanmış, alınan sonuçlar gerçek verilere dayandığı için benzetim sonuçlarına kıyasla daha gerçekçidir.

Çalışmanın birinci bölümünde, elektrik enerjisi kaynakları ve kullanım alanları, Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli ve üretilen elektrik enerjisindeki payları, Türkiye için güneş enerjisi ile ilgili istatistikler, Türkiye'de güneş enerjisinden faydalanılan alanlar ve kullanım miktarları, güneş hücreleri çeşitleri ile ilgili kısa tanımlar ve güneş hücresi için devre modeli verilmiştir. Bunların yanı sıra güneşten elektrik üretim sisteminin temel elemanları anlatılmış ve şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı olan güneş enerjisi sistemlerine değinilmiştir.

İkinci bölümde, maksimum güç noktası izleme yöntemlerini kullanmanın öneminden söz edilmiş, literatürde sıkça karşılaşılan maksimum güç noktası izleme yöntemleri incelenmiş, algoritmalara ait akış diyagramları verilmiş, yöntemlerin olumlu ve olumsuz özelliklerinden bahsedilmiştir. İncelenen bütün yöntemlere ait bir karşılaştırma tablosu bölüm sonunda verilmiştir.

Üçüncü bölümde, endüktanslı izolesiz DA-DA dönüştürücü türlerine yer verilmiştir. Dönüştürücü kullanmanın önemine değinilmiş, dönüştürücü türlerinin devre şemaları ve ilgili denklemler anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, uygulamada yapılan devreler tek tek incelenmiştir. Algoritmaları karşılaştırmak için gerekli olan güneş paneline ait katalog bilgilerine yer verilmiş, Kullanılan devre elemanları tanıtılmış, devrelerin çalışma prensipleri ve elemanların değerlerine değinilmiştir.

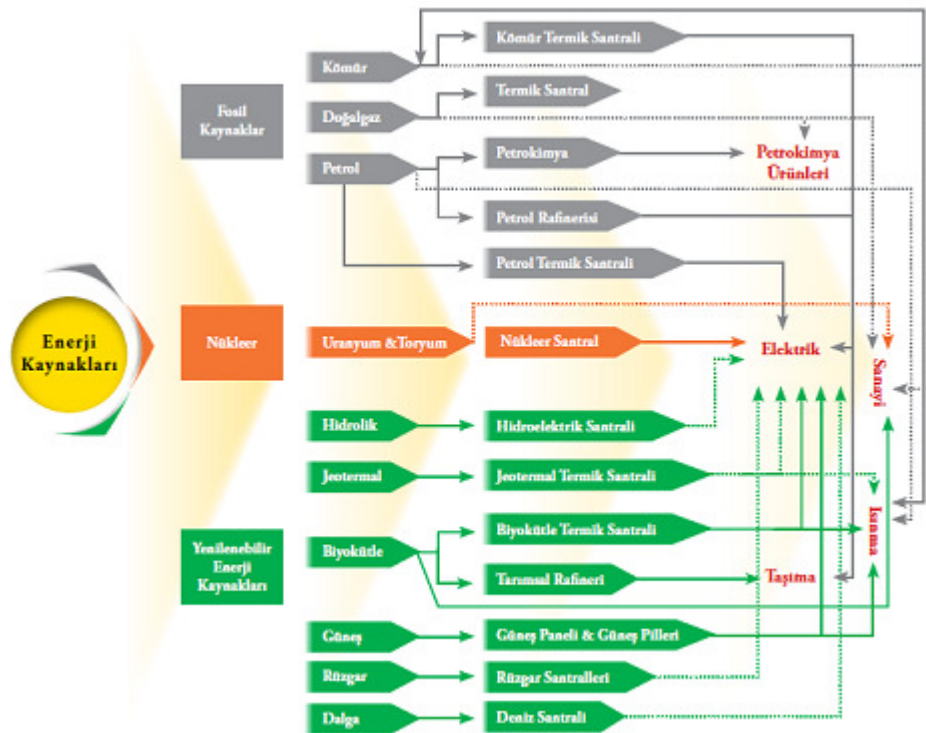
Son bölümde, artan iletkenlik ve değiştir gözle algoritmaları için farklı yük durumlarında ve farklı ortam koşullarında ölçümler yapılmıştır. Algoritmalara ait uygulama sonuçlarına yer verilmiş ve aynı şartlar altında alınan sonuçlar kıyaslanmıştır.

1. GÜNEŞ ENERJİSİ

1.1. Elektrik Enerjisi Kaynakları ve Kullanımı

Enerji, iş yapabilme yeteneğidir. Enerji kaynakları, genel olarak iki gruba ayrılmaktadır: yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları. Yenilenebilir enerji kaynağı, kendini kısa zamanda, kolayca ve doğal olarak yenileyen enerji kaynağıdır. Yenilenemez enerji kaynağı ise, tüketilen ve kısa zamanda yeniden üretilmeyen enerji kaynaklarıdır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına; güneşten sağlanan güneş enerjisi (elektriğe ve ısıya dönüştürülebilir), rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi (ağaçlardan sağlanan odun, mısırdan sağlanan etanol ve sebze yağlarından elde edilen biyodizel) ve hidroelektrik santrallerinden sağlanan enerji örnek verilebilir.



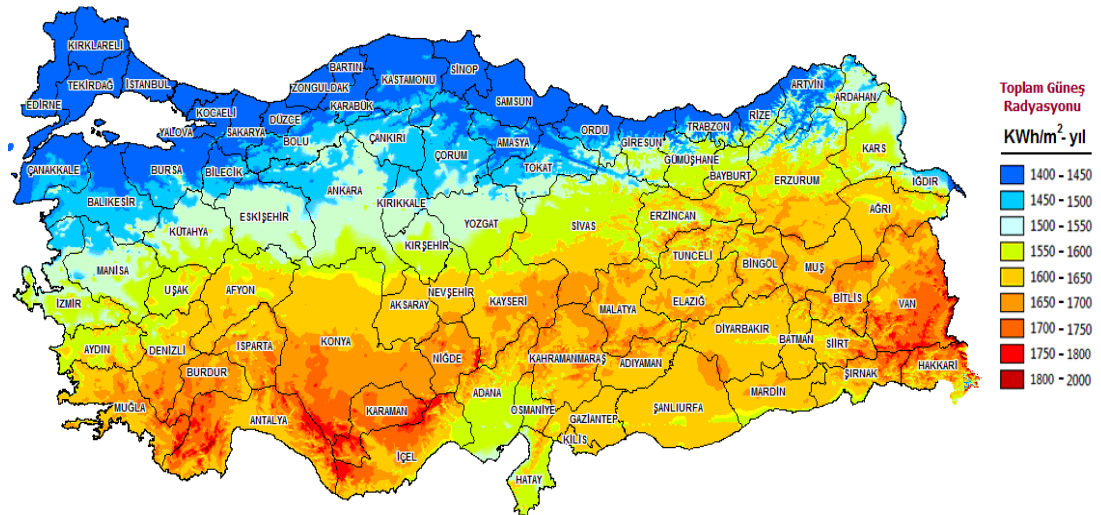
Şekil 1.1. Elektrik enerjisi üretim kaynakları [17]

Yenilenebilir enerji kaynaklarının genel özellikleri arasında çevresel açıdan zararsız olması, sera etkisi oluşturabilecek gazlar salgılamaması ve büyük ölçekli kullanım için gerekli kaynağı sağlayabilmesi sayılabilir. Yenilenemeyen enerji kaynaklarına, petrol ürünleri, doğal gaz, kömür, uranyum (nükleer enerji) örnek verilebilir [18]. Elektrik enerjisi kaynakları ve kullanım alanları Şekil 1.1’de gösterilmiştir.

1.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi ve Diğer Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyeli

Ülkemizde artan enerji ihtiyaçları bizi alternatif enerji kaynaklarını daha verimli kullanmaya itmektedir. Türkiye alternatif enerji kaynak potansiyeli açısından zengin bir ülke olup henüz bu potansiyelin büyük bir kısmı kullanıma geçirilememiştir. Enerjide yurtdışına bağımlılığı yenilenebilir enerji kaynaklarını aktif kullanarak kontrol altına alma isteği hem güneş enerjisini hem rüzgâr enerjisini hem de diğer yenilenebilir enerji kaynaklarını gündemin en önemli konularından biri haline getirmektedir.

Ülkemiz coğrafi konumu nedeniyle birçok ülkeye göre güneş enerjisi potansiyeli açısından şanslıdır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün açıkladığı rakamlara göre Türkiye’nin ortalama yıllık güneşlenme süresi 2740 saattir [18]. Şekil 1.2’de Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyel haritası görülmektedir.



Şekil 1.2. Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyel haritası [19]

Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımına baktığımızda, Şekil 1.2'deki haritadan da anlaşıldığı üzere Güneydoğu Anadolu, Akdeniz ve Doğu Anadolu bölgeleri yüksek güneşlenme süreleri ve toplam güneş enerjisi potansiyelleri açısından bölgeler arasında ilk sıralarda yer almaktadırlar. Tablo 1.1'de Türkiye için aylık ortalama güneşlenme süreleri dağılımı verilmiştir.

Tablo 1.1. Türkiye için aylık ortalama güneşlenme süreleri [19]

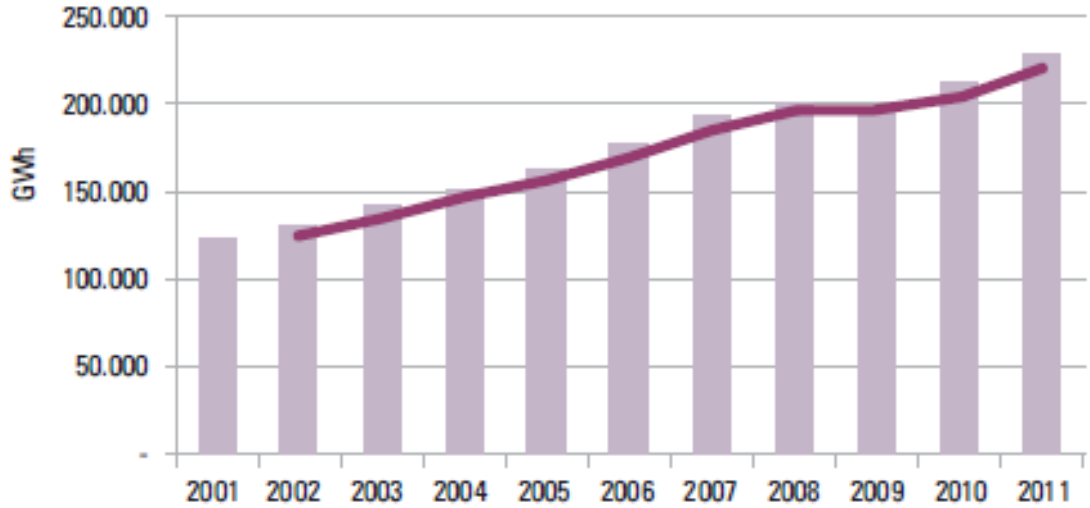
Aylar	Güneşlenme Süreleri (Saat)
Ocak	127,41
Şubat	146,16
Mart	194,27
Nisan	223,8
Mayıs	282,1
Haziran	324,3
Temmuz	350,61
Ağustos	331,7
Eylül	276,9
Ekim	212,97
Kasım	154,5
Aralık	116,25

Tablo 1.2'de Türkiye'de elektrik üretiminde kullanılan kaynakların potansiyel değerleri ve faaliyette olan değerleri verilmiştir. Ülkemizde 300 TWh/yıl'lık bir güneş enerjisi potansiyeli bulunmasına rağmen maalesef faaliyette olan hiçbir güneş enerjisi sistemi bulunmamaktadır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi çok küçük çaplı üretimlerden ve üniversitelerde bilimsel araştırmalarda kullanılmaktan öteye gidememektedir.

Tablo 1.2. Türkiye'de elektrik üretiminde kullanılan kaynaklara ilişkin bilgiler [18]

Kaynak	Potansiyel	Faaliyette
Hidro	45.000 MW	17359,3 MW
Rüzgar	48.000 MW	1792,7 MW
Güneş	300 TWh/yıl	-
Jeotermal	600 MW	114,2 MW
Bioenerji	17 MTEP	117,4 MW

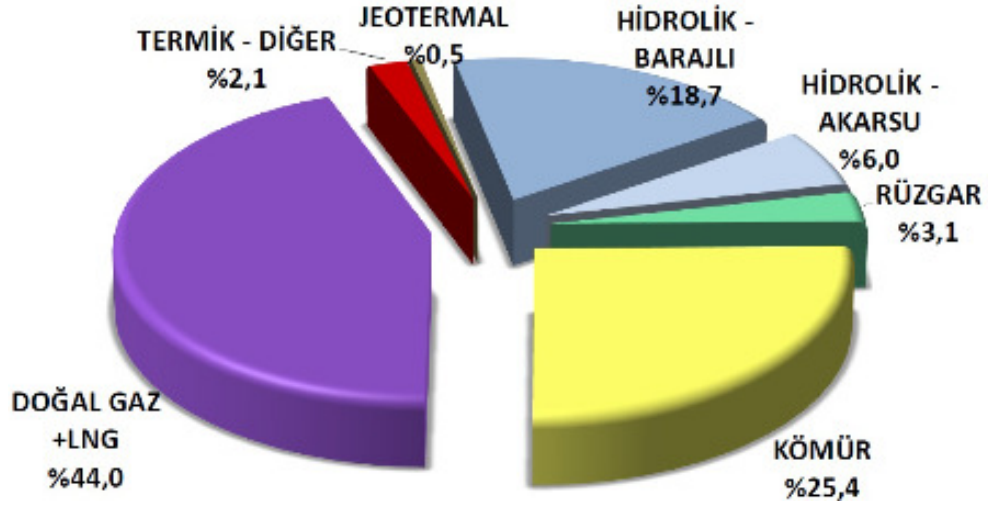
Türkiye'nin elektrik üretimi her yıl artmaktadır. Şekil 1.3'deki grafikte görüldüğü üzere, 2004 yılında 120 milyar kWh civarında olan elektrik üretimi 2008 yılında 200 milyar kWh'e ve 2011 yılında 228,4 milyar kWh'e ulaşmıştır. Bu süreçte elektrik üretiminde doğalgaz ve kömüre dayalı elektrik enerjisinin payı artarken yenilenebilir enerji kaynaklarına ve petrol türü kaynaklara dayalı elektrik enerjisi üretiminin payı azalmıştır [18].



Şekil 1.3. Türkiye'nin 2001 ve 2011 yılları arasında toplam elektrik üretimi [18]

EPDK'nın verilerine göre 2013 yılı itibari ile ülkemizde elektrik üretimi 239,3 milyar kWh, elektrik tüketimi ise 234,3 milyar kWh olarak belirlenmiştir. Üretilen bu elektriğin 179 milyar kWh'lik kısmı (%74,8) termik kaynaklardan elde edilirken, 60,3 milyar kWh'lik kısmı (%25,2) ise hidrolik, jeotermal ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmiştir.

Şekil 1.4'de gösterildiği gibi termik kaynakların dağılımı, %44 doğal gaz, %25,4 kömür ve linyit, %2,1 petrol ürünleri, yenilenebilir kaynakların dağılımı ise %24,7 hidrolik kaynaklar, %3,1 rüzgar ve %0,5 jeotermal enerji olarak dağılmaktadır [18].



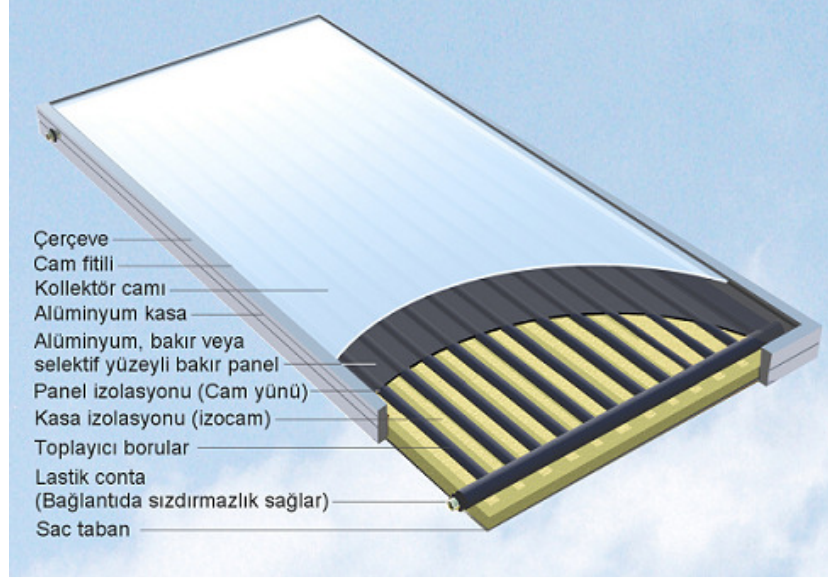
Şekil 1.4. Türkiye için 2013 yılına ait elektrik üretim oranları [20]

1.3. Türkiye’de Güneş Enerjisinin Kullanımı

Güneş enerjisi sürekli, yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır. Bunların yanı sıra fosil yakıtların kullanımından kaynaklanan çevresel sorunların güneş enerjisi üretiminde bulunmayışı bu enerji türünü temiz ve çevre dostu bir enerji yapmaktadır.

Yakıt sorununun olmaması, işletme kolaylığı, mekanik yıpranma olmaması, modüler olması, çok kısa zamanda devreye alınabilmesi, uzun yıllar sorunsuz olarak çalışması, temiz bir enerji kaynağı olması vb. gibi nedenlerle dünya genelinde fotovoltaik elektrik enerjisi kullanımı sürekli artmaktadır.

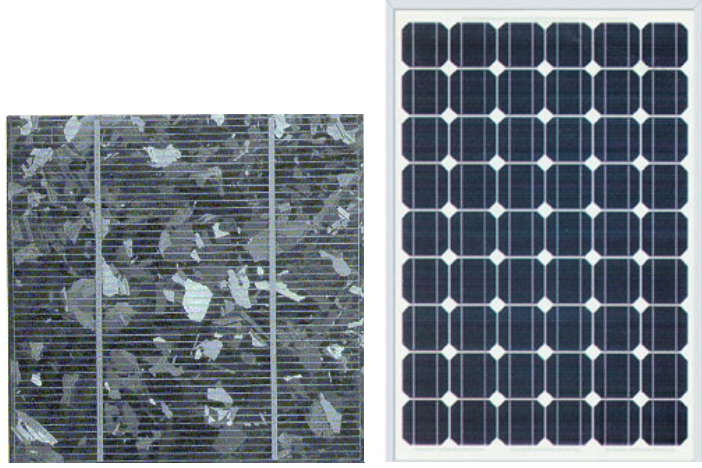
Türkiye’de güneş enerjisi en çok su ısıtma sistemlerinde kullanılmaktadır. Güneş enerjisinden su ısıtma yönteminde güneş kolektörlerinden faydalanılmaktadır. Güneş kolektörlerinin kullanımı Akdeniz, Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde daha yaygındır. Bu alanda çalışan 100’den fazla üretici firmanın bulunduğu ve 2000 kişinin istihdam edildiği tahmin edilmektedir. Üretim hacmi yıllık 750 bin m² olup bu üretimin bir miktarı da ihraç edilmektedir. Bu haliyle ülkemiz dünyada güneş kolektörü üretmede ve kullanmada üst sıralarda yer almaktadır. Şekil 1.5’de güneş kolektörünün iç yapısı gösterilmiştir [21].



Şekil 1.5. Örnek bir güneş kolektörü [22]

Güneşten en çok yararlanılan bir diğer alanda güneşten elektrik enerjisi üretilmesidir. Güneşten elektrik enerjisi üretmek güneş pilleri sayesinde mümkündür. Güneş pilleri, ülkemizde daha çok elektrik şebekesinden uzak bölgelerde, kendi elektriğini üretme ihtiyacı duyan yerlerde ve üniversitelerde araştırma amaçlı kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra Telekom istasyonları, Orman Genel Müdürlüğü yangın gözetleme istasyonları, deniz fenerleri ve otoyol aydınlatmasında kullanıldığı uygulamalar da mevcuttur.

Ülkemizde güneş enerjisi kullanımında kaynak anlamında bir sıkıntı olmamakla beraber elektrik üretiminde uygulanacak yöntem açısından bazı bölgesel farklılıklar bulunmaktadır. Fotovoltaik sistemler ile bulutlu veya açık her türlü hava şartlarında elektrik üretilebilirken, yoğunlaştırıcı sistemlerde (termik ve mekanik dönüşüm) direk ısıtım, yani açık hava, gerekli olmaktadır. Bu nedenle, termik ve mekanik dönüşümlü üreteçler için Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgelerinin tercih edilmesi gerekirken, fotovoltaik üreteçler için Doğu Karadeniz Bölgesi dışındaki tüm bölgeler uygun olmaktadır [21].



Şekil 1.6. Örnek bir güneş hücresi ve fotovoltaik modül [23]

Türkiye güneş enerjisi potansiyeli bakımından önde gelen ülkelerden olmasına rağmen bu potansiyel yeterince etkin ve yaygın kullanamamaktadır. Bunun sebebi olarak kurumlar arası koordinasyon eksikliği ve devletin bu konudaki teşviklerinin yetersiz olması gösterilebilir. Ancak buna rağmen ülkemizde Güneş enerjisi alanındaki çalışmalar oldukça uzun zamandır yapılmaktadır. Kamu kurum ve kuruluşlarında ve üniversitelerde güneş enerjisinden etkin biçimde faydalanmak için çalışmalar sürdürülmektedir. TSE güneş enerjisi ile ilgili standartları çıkarmaya başlamış olup ayrıca TÜBİTAK her yıl güneş arabaları yarışı düzenlemektedir.

1.4. Güneş Hücreleri

Güneş hücreleri, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş hücrelerinin alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır. Güneş hücreleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar. Yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Hücrenin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş ışığıdır.

Güneş hücrelerinde mekanik olarak elektrik üreten cihazların aksine hareketli parçalar olmadığından teorik ömürleri sonsuzdur. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş hücresi birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç

Watt'tan MWatt'lara kadar sistemler oluşturulur [24]. Güneş hücreleri olumlu ve olumsuz bir çok özellik barındırırlar.

Olumsuz özellikleri;

- İlk yatırım maliyeti yüksektir.
- Üretilen akımın doğru akım olması nedeniyle alternatif akımla çalışan cihazları bir evirici olmaksızın besleyemez.
- Sürekli üretim yapamadığı için üretilen enerji akülerde depolanmak zorunda olması.

Olumlu özellikleri;

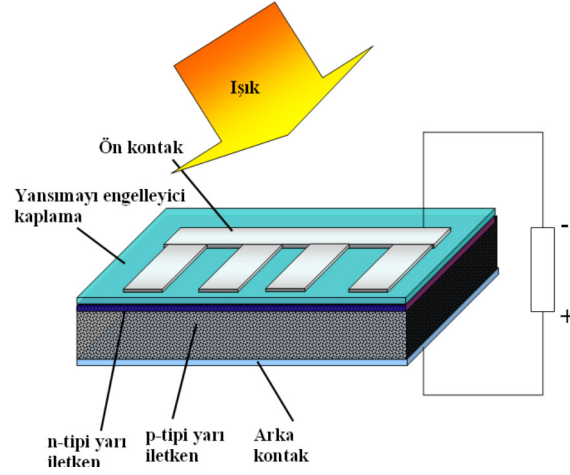
- Mekanik bir işleyiş olmamasından dolayı ömürleri uzundur.
- Bakım masraflarının çok düşük olması.
- Modüler yapısı nedeniyle bir modül devre dışı kalsa bile elektrik üretiminin devam ediyor olması.
- Karbondioksit salınımı olmamasından dolayı çevreci olması.
- Hammaddesi olan silisyumun dünyada en çok bulunan maddelerden olması.

1.4.1. Güneş hücrelerinin yapısı

Güneş hücreleri fotovoltaiik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Deniz seviyesinde, parlak bulutsuz bir gündeki ışınım şiddeti maksimum 1000 W/m^2 civarındadır. Bölgeye bağlı olarak 1m^2 'ye düşen güneş enerjisi miktarı yılda 800-2600 kWh arasında değişir. Bu enerji, güneş hücresinin yapısına bağlı olarak %5 - %20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir.

Güneş hücreleri yarı iletken malzemelerden yapılırlar. Silisyum en çok kullanılan yarı iletken malzemedir. Işık yarı iletken malzemeye ulaştığında malzeme tarafından emilir. Yani ışık enerjisi yarı iletken malzemeye geçer, malzemedeki elektron bağlarını zayıflatır ve bir yerden bir yere gitmesini sağlayarak elektrik akımını oluşturur. Yarı iletkenler üzerine koyulan metal kollektörler bu elektrik akımını toplar.

Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş hücresi birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir. Bu yapıya güneş pili modülü yada fotovoltaik modül adı verilir.



Şekil 1.7. Güneş hücresinin genel bir gösterimi

Güneş hücreleri, eriyik halde bulunan silisyum elementinden katkılanarak oluşturulan p ve n tipi malzemelerden oluşur. “n tipi” silisyum elde etmek için eriyik halde bulunan silisyuma periyodik cetvelin 5A gurubundan bir element eklenir. “p tipi” silisyum elde etmek için ise 3A gurubundan bir element eklemek gerekir [25]. Şekil 1.7.’de güneş hücrelerine ait genel bir gösterim yer almaktadır.

1.4.2. Güneş hücresi çeşitleri

Güneş hücreleri monokristal malzeme, polikristal malzeme ve ince film malzemelerden oluşmaktadır.

1.4.2.1. Monokristal güneş hücresi

Monokristal güneş hücreleri piyasada en yaygın kullanılan hücre çeşididir. ark fırınlarında silisyum oksit çeşitli kimyasal ve termal reaksiyonlardan geçirilerek saf silisyum elde edilir. Daha sonra silisyum eriyiğe çekirdek denen tek kristal yapılu bir silisyum parçası batırılır. Bu çekirdek eriyikten çıkarıldığında soğuyan silisyum eriyik, çekirdeğin üzerine külçe şeklinde yığılmış olur. Bu silisyum külçe olur olmaz bir keski ile dilimlere ayrılır. Bu, iki aşamada olur. Önce külçe dikdörtgen bloklar şeklinde kesilir. Daha sonra bu bloklar dilimlere ayrılarak pil şeklinde işlenir. Verimleri %15

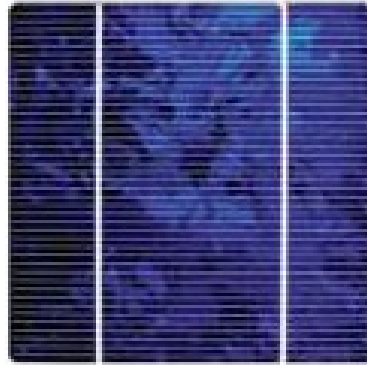
civarındadır. Yapım sırasında malzeme kaybının çok fazla olması bu pillerin dezavantajıdır [26].



Şekil 1.8. Monokristal güneş hücresi [27]

1.4.2.2. Polikristal güneş hücresi

Polikristal güneş hücreleri yapısal farklılıklarından dolayı monokristal güneş hücrelerine göre daha az verimlidirler. Dış kristal yapı elektron akışını engellediği için çıkış gücü düşük olur. Enerji verimliliği %10-14 arasındadır. Polikristal güneş hücreleri, monokristal güneş hücrelerine kıyasla daha dayanıklı ve üçte biri kalınlıktadır. Üretim maliyetinin düşük olması enerji verimliliğindeki düşüklüğü dengelemektedir [26].



Şekil 1.9. Polikristal güneş hücresi [28]

1.4.2.3. İnce Film güneş hücreleri

Kristal hücrelere göre en büyük avantajları seri üretim, düşük maliyet ve daha az enerji ile üretilibilmeleridir. İnce film güneş hücrelerinde fotovoltaik malzeme cam, metal ve plastik folyo gibi düşük maliyetli materyallerle kaplanmıştır. Işığın emme kabiliyetleri oldukça yüksektir. Amorf Silisyum, Kadmiyum Tellür ve Bakır İndiyum Diselenid ince film malzemelere örnek olarak gösterilebilir [26].

1.4.2.4. Amorf Silisyum güneş hücreleri

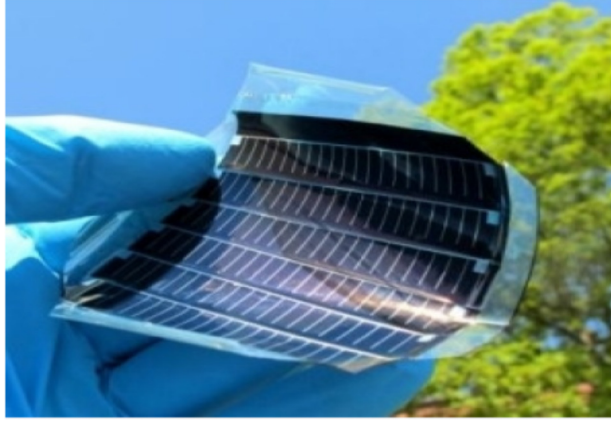
Düşük maliyetli ve düşük güçlü uygulamalarda kullanılır. Keşfedildiği günden bugüne en yaygın kullanılan ince film güneş hücresi çeşididir. Verimleri %5-8 arasındadır. Kısa zamanda bozunuma uğradıkları için çıkış güçleri zamanla azalır [26].



Şekil 1.10. Amorf silisyum güneş hücresi [29]

1.4.2.5. Kadmiyum Tellür güneş hücreleri

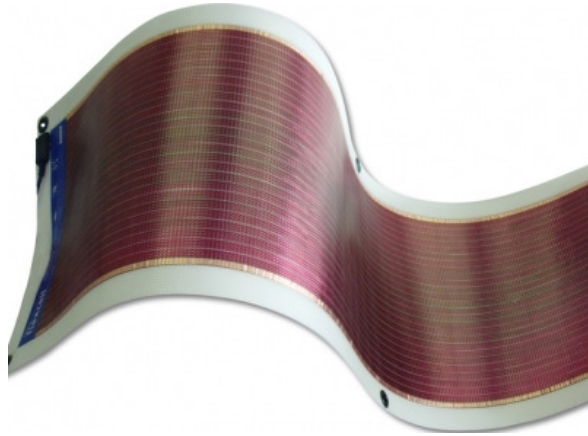
Üretimi oldukça kolay ve ucuz olan kadmiyum tellür güneş hücrelerinin verimleri %7 civarındadır. Güneş ışınlarını emme kapasiteleri çok yüksek olup, birkaç mikrometrelik bir kalınlıkta bile güneş spektrumunun %90'ını emebilirler. Kadmiyum zehirli bir madde olduğu için üretim aşamasında ekstra önlemler almak gerekir [26].



Şekil 1.11. Kadmiyum Tellür güneş hücresi [30]

1.4.2.6. Bakır İndiyum Diselenid güneş hücreleri

Bakır, indiyum ve selenyum malzemelerinin birleşiminden oluşur. Enerji verimlerinin yüksek olması, üzerinde en çok araştırma yapılan güneş hücresi çeşidi olmasını sağlamıştır. Bakır İndiyum Diselenid güneş hücrelerinin verimleri yüksektir. Ancak kompleks yapıları yüzünden üretim süreçleri zordur. Ayrıca zehirli bir gaz olan hidrojen selenid içermesinden ötürü üretim safhasında dikkat edilmesi gerekir [26].

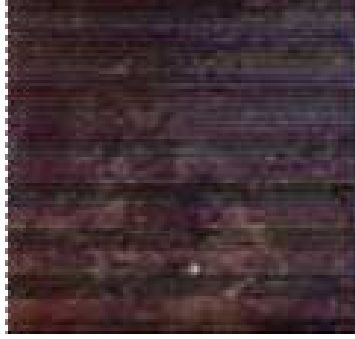


Şekil 1.12: Bakır İndiyum Diselenid güneş hücresi [31]

1.4.2.7. Galyum Arsenit güneş hücreleri

En büyük avantajları yüksek derecede güneş emme kabiliyetleridir. Galyum ve arsenitin birleşiminden oluşur. Birkaç mikrometre kalınlık, güneş enerjisi üretebilmesi için yeterlidir. Verimleri %25-30 seviyelerinde olup kristal hücrelere nazaran oldukça

verimlidirler. Isıya karşı göstermiş olduğu yüksek direnç sayesinde panel sıcaklıklarının yüksek olduğu yerler için ideal seçimidir [26].



Şekil 1.13. Galyum Arsenit güneş hücresi [32]

1.5. Güneş Enerjisi ile Elektrik Üretimi

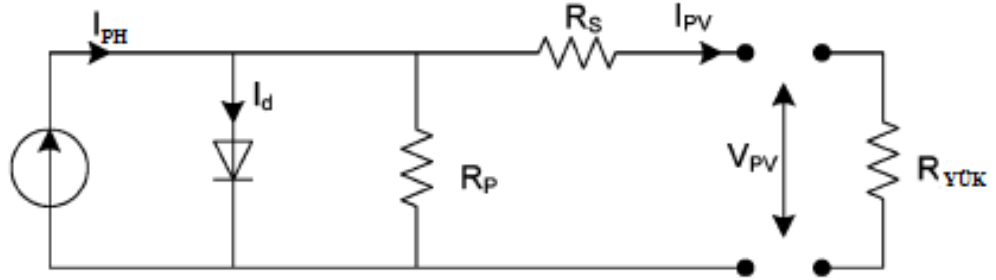
Güneş pilleri güneş ışınlarını hiçbir hareketli parça gerektirmeden, çevreyi kirletmeden ve sessiz bir şekilde doğrudan elektrik enerjisine çevirerek temiz bir enerji kaynağı sağlamaktadır. Şebekeden uzak olunan noktalarda veya şebekenin yetersiz olduğu durumlarda güneş enerjisinden elektrik üretmek çok daha ekonomik olmaktadır.

Güneş hücresi elektriksel eşdeğer devre modeli Şekil 1.14’de gösterilmiştir. Güneş hücresi uçlarına bir yük bağlandığında güneş hücresinden çekilecek akım, I_{PV} , Denklem (1.1)’de verilmiştir.

$$I_{PV} = I_{PH} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V_{PV} + R_S I_{PV}}{nKT/q}\right) - 1 \right] - \frac{V_{PV} + R_S I_{PV}}{R_P} \quad (1.1)$$

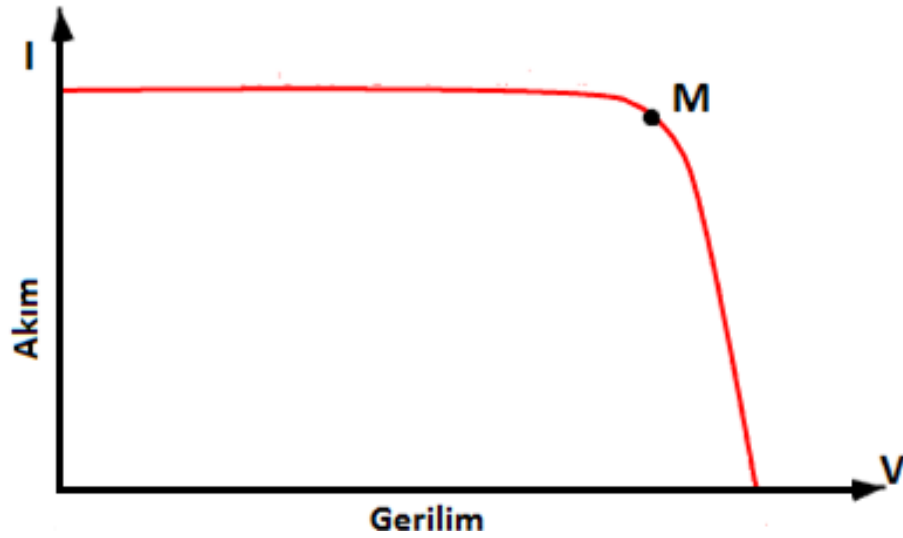
Burada I_{PV} güneş pilinin çıkış akımını, V_{PV} güneş pilinin çıkış gerilimini, I_{PH} güneş ışınımı ile doğru orantılı olarak değişen ışınım akımını, I_0 diyot doyum akımını, n diyot kalite faktörünü, T hücre sıcaklığını, K Boltzmann sabitini ve q elektron yükünü göstermektedir. R_P ve R_S sırasıyla yarı iletken malzemeden dolayı yaşanan kayıpları ve kontak direncini temsil etmektedir.

Güneş hücresi üzerine düşen ışınım miktarı arttıkça, üretilen elektrik akımı da artmaktadır.

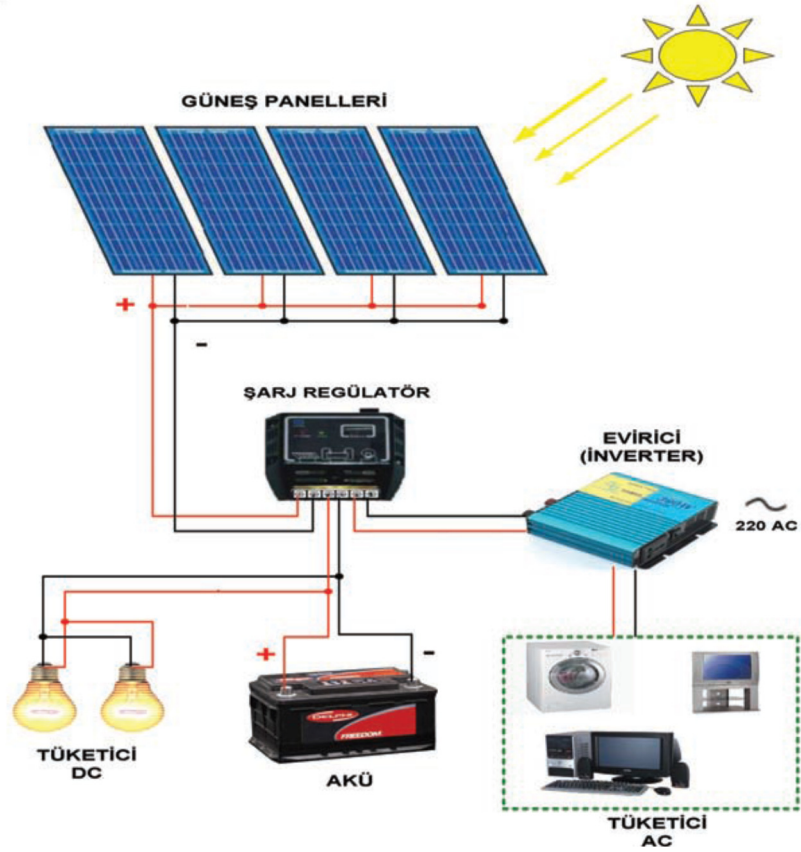


Şekil 1.14. Güneş hücresi elektriksel eşdeğer devre modeli.

Şekil 1.15’de güneş hücresinin akım gerilim karakteristiği görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere güneş hücresi doğrusal olmayan bir güç kaynağı gibidir. M noktası, maksimum güç noktası olup, hücre M noktasının sol tarafında gerilim kaynağı gibi davranırken, sağ tarafında ise akım kaynağı gibi davranmaktadır.



Şekil 1.15. Güneş hücresi akım-gerilim (I-V) karakteristiği



Şekil 1.16. Güneşten elektrik üretim sisteminin temel elemanları [33]

Güneş pilleri uygulamaya bağlı olarak, akü, evirici, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemi oluşturulur. Bu sistemlere ait temel elemanlar Şekil 1.16'da gösterilmektedir. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da geceleri kullanılmak üzere güneşten üretilen elektrik enerjisi akülerde depolanır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi ise akünün durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir evirici eklenerek akümülatördeki DA gerilim, 220V 50 Hz'lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli elektronik devreler sisteme entegre edilebilir. Bazı sistemlerde, güneş pillerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihazı bulunur [33].

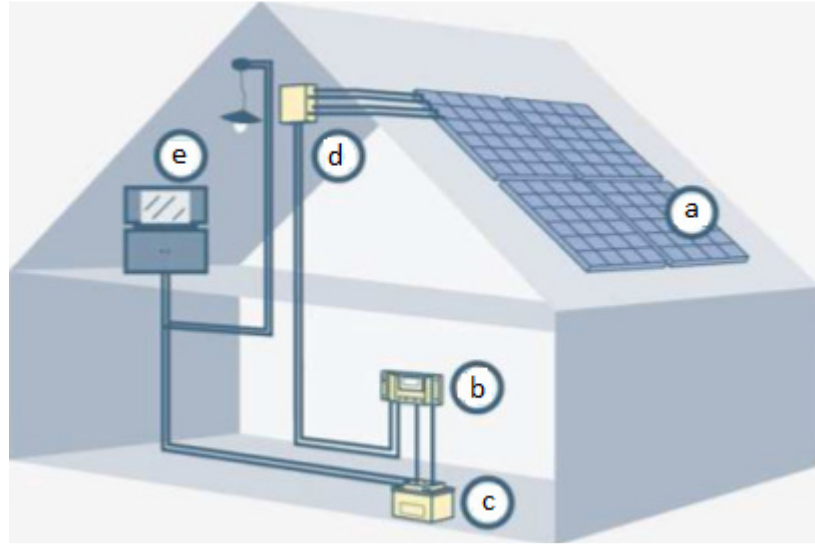
1.6. Güneş Enerjisi Sistemleri

Güneş enerjisi sistemleri şebekeden bağımsız sistemler ve şebekeye bağımlı sistemler olmak üzere iki guruba ayrılır. Şebekeden bağımsız sistemlerde güneş enerjisi sistemi şebekeden bağımsız olarak çalışırken, şebekeye bağımlı sistemlerde ise güneş enerjisi sistemi şebeke ile birlikte çalışmaktadır.

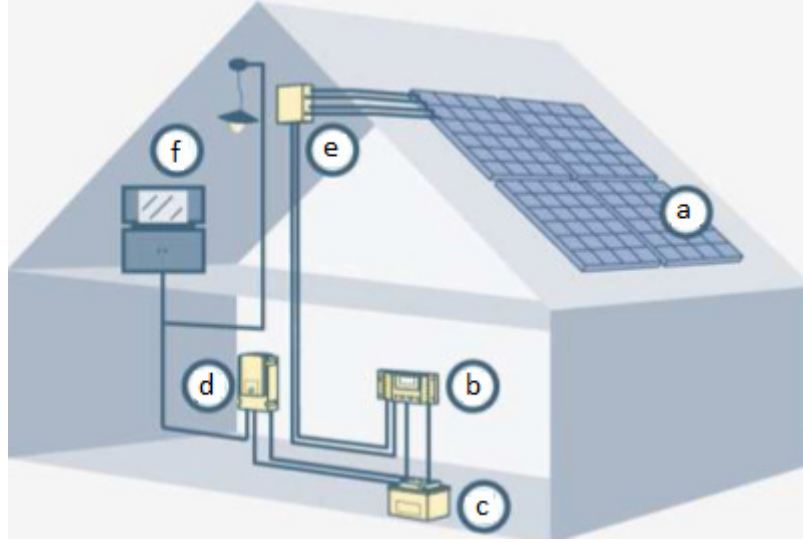
1.6.1. Şebekeden bağımsız sistemler

Bu sistemlerde güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisi akü guruplarında depo edilmekte ve eviriciler aracılığıyla AA gerilime dönüştürülüp şebekeden bağımsız ortamlarda kullanıma sunulmaktadır.

Sadece DA gerilime ihtiyaç duyulan şebekeden bağımsız sistemlere ait gösterim Şekil 1.17’de, AA ve DA gerilimin her ikisine birden ihtiyaç duyulan şebekeden bağımsız sistemlere ait gösterim ise Şekil 1.18’de yer almaktadır.



Şekil 1.17. Sadece DA gerilime ihtiyaç duyulan şebekeden bağımsız sistem a) Güneş Paneli b) Şarj Kontrol Devresi c) Akü d) Bağlantı Kutusu e) DA Yük [34]

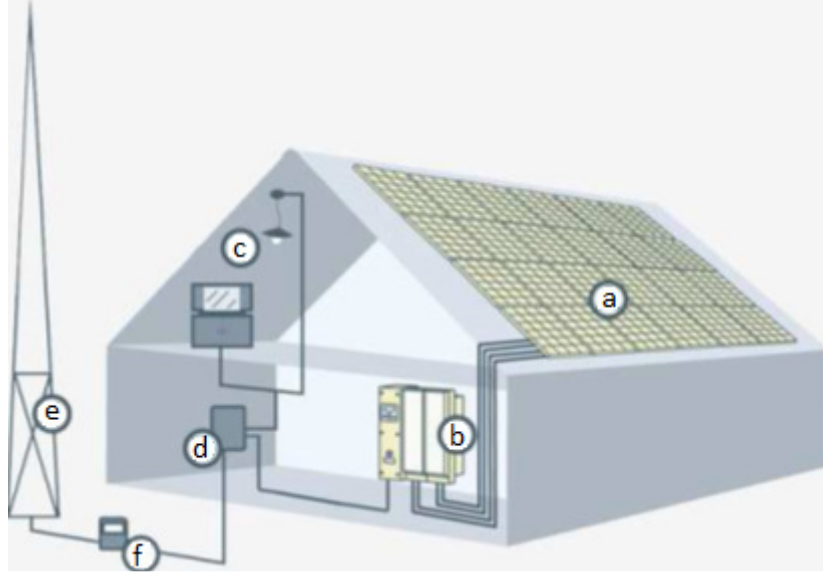


Şekil 1.18. AA ve DA gerilime ihtiyaç duyulan şebekeden bağımsız sistem a) Güneş Paneli b) Şarj Kontrol Devresi c) Akü d) Evirici e) Bağlantı Kutusu f) AA veya DA Yük [34]

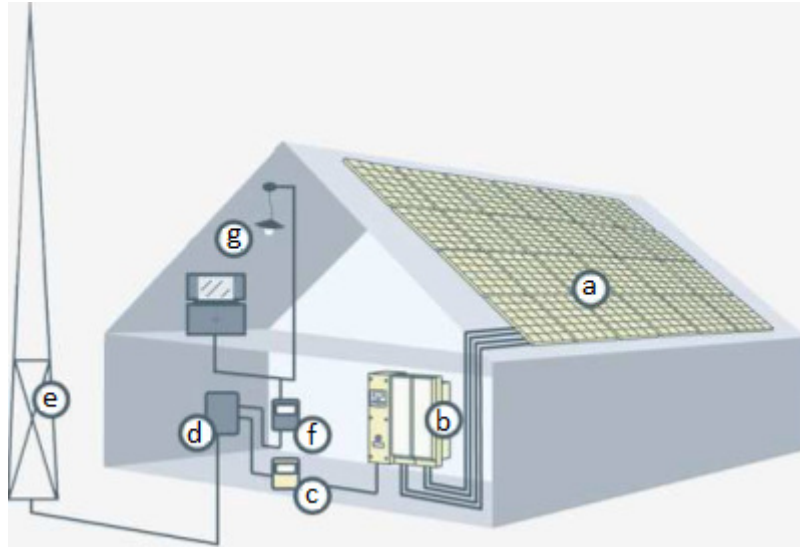
1.6.2. Şebekeye bağımlı sistemler

Çift yönlü sayaç veya çift sayaç ile birlikte kullanılan bu sistemlerde, üretilen elektrik akülerde depolanmaya gerek kalmadan şebekeye verilebilir. Aynı şekilde güneş enerjisi sistemi ihtiyacı karşılamadığı zamanlarda da şebekeden elektrik alınabilir. Bu sayede üretilen fazla elektrik şebekeye satılırken, akülerde depolanmadığı için akü ve kontrol masrafı da ortadan kalkmaktadır.

Şebekeye satış amacı olmayan, sadece kullanım amaçlı sistemlerde, paneller aracılığıyla güneş enerjisinden elde edilen DA gerilim, evirici aracılığı ile AA gerilime çevrilir. Üretilen enerji depolanmaksızın anlık enerji ihtiyacını karşılamakta kullanılır. Bu sistem herhangi bir yasal düzenleme gerektirmeksizin şebekeden çekilen elektriğin miktarını azaltmak için kullanılır. Bu sisteme ait görsel Şekil 1.19'da gösterilmektedir.



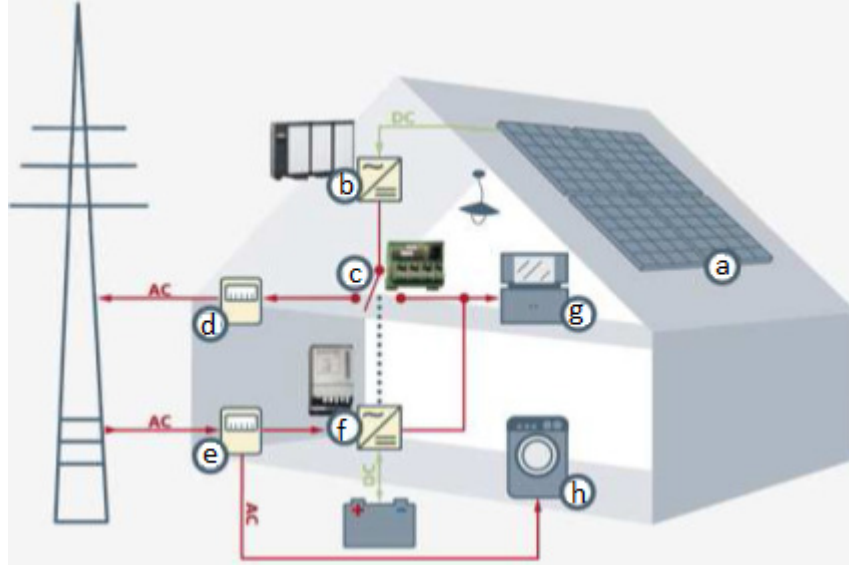
Şekil 1.19. Şebeke içi kullanım amaçlı, satırsız sistem a) Güneş Paneli b) Evirici c) AA veya DA Yük d) Pano e) Şebeke f) Şebeke Alım Sayacı [34]



Şekil 1.20. Şebeke ile elektrik alışverişi yapılan sistem a) Güneş Paneli b) Evirici c) Şebeke Satış Sayıcı d) Pano e) Şebeke f) Şebeke Alım Sayacı g) AA veya DA Yük [34]

Şebeke ile elektrik alışverişi yapılan sistemde üretilen enerji direk sayaçtan geçirilerek şebekeye aktarılır. Evin kullanımı için gereken enerjinin tamamı mevcut sistemlerde olduğu gibi şebekeden alınmaya devam eder. Yasal düzenlemelerin gerektiği bu uygulamada, sistem sahibi üretilen enerji kadar gelir elde etmektedir. Sisteme ait gösterim Şekil 1.20’de yer almaktadır.

Şebeke ile elektrik alışverişi yapılan akülü sistemlerde paneller aracılığıyla güneş enerjisinden elde edilen DA gerilim aküleri şarj etmek üzere kullanılır. Aküler dolduğunda ise evirici aracılığı ile AA gerilime çevrilir. Üretilen enerji sayaçtan geçirilerek şebekeye aktarılır. Ayrıca güneş olmasa dahi eğer akü seviyesi istenilen değerin altındaysa aküler şebeke elektriği ile de şarj edilebilir.



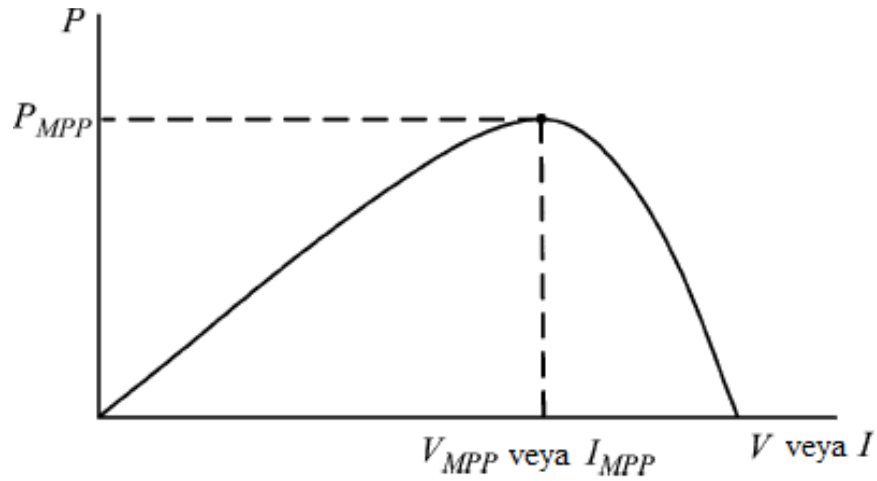
Şekil 1.21. Şebeke ile elektrik alışverişi yapılan akülü sistem
a) Güneş Paneli b) Evirici c) Şebeke Satış Sayacı d) Pano e) Şebeke
f) Şebeke Alım sayacı g) AA veya DA Yük h) Kesintide Desteklenmeyen Yükler [34]

Böylece üretilen enerji şebekeye aktarılarak sistem sahibi gelir elde ederken, şebeke elektriğinin kesildiği durumlarda; ev, ihtiyacı olan enerjiyi akülerden tedarik eder. Böylece bir yandan sistem sahibi üretilen enerji kadar gelir elde ederken, elektrik kesintilerinde de ihtiyacı kadar enerjiyi kullanmaya devam edebilir. Şebeke ile elektrik alışverişi yapılan akülü sisteme ait gösterim Şekil 1.21’de yer almaktadır.

2. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEME YÖNTEMLERİ

Elektrik ihtiyacının artması, elektrik üretiminde alternatif yollar aramaya itmiş, temiz, çevreci ve yenilenebilir olması nedeniyle güneş enerjisinden elektrik üretimi bu alternatif yollar arasında ilk sıralara yerleşmiştir. Enerji ihtiyacının fazla olması bu alternatif enerji kaynaklarını en verimli şekilde kullanmayı gerektirmektedir.

Güneş panellerinden elektrik üretimini doğrudan etkileyen en önemli üç etken, güneş ışınımı, ortam sıcaklığı ve panel gerilimidir. Eğer güneş panelinden yüke transfer edilen güç optimum değilse fotovoltaik panelden elde edilen güç verimsiz demektir. Güneş pili güç-gerilim veya güç-akım grafiği Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Gücün (P_{MPP}) maksimum olduğu noktada gerilim (V_{MPP}) ve akım (I_{MPP})’da maksimum olmaktadır.



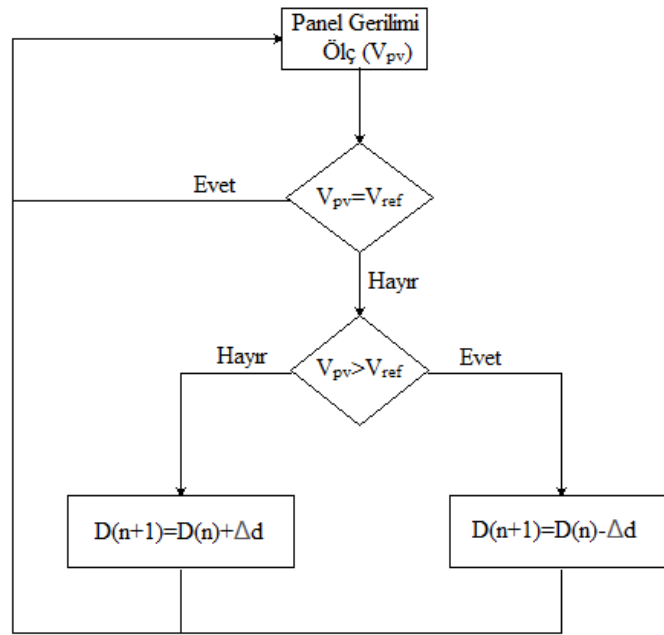
Şekil 2.1. Güneş pili P – V, I grafiği

Güneş panellerinden en verimli şekilde faydalanmak için, maksimum güç noktası izleme (MGNI) yöntemleri geliştirilmiştir. Kullanıcılar genelde hangi maksimum güç noktası izleme yöntemini kullanmaları gerektiğini bilmemektedirler. Bu bölümde literatürde yer alan MGNI yöntemlerinin büyük bir kısmı incelenmiştir.

2.1. Sabit Gerilim Yöntemi

Sabit gerilim yöntemi en basit maksimum güç noktası izleyici yöntemidir. Bu yöntemde panel gerilimi, belirlenen referans gerilim değerine, doluluk boşluk oranı ayarı ile eşitlenerek maksimum güç noktası takibi yapılır.

Bu yöntemde çevresel şartlar dikkate alınmaz. Bundan dolayı bu yöntemin kusursuz çalışabilmesi için gerekli ortam, gölgelemmeden uzak ve bulutsuz olmalıdır [35]. Sabit gerilim yönteminin akış diyagramı Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Sabit gerilim yöntemi akış diyagramı

2.2. Eğri Uydurma Yöntemi

Maksimum güç noktası, fotovoltaik panelin P-V karakteristik eğrisinin tepe değerine eşittir. Bu yöntemde öncelikle panelin P-V karakteristik eğrisi tahmin edilmelidir. Bu eğriyi tahmin edebilmek için fotovoltaik panel, matematiksel eşitliklerle veya nümerik yaklaşımlarla modellenmelidir [36]. P-V karakteristik eğrisini tam olarak uydurabilmek için şu şekilde bir fonksiyon yazmak gerekir;

$$P=aV^3+bV^2+cV+d \quad (2.1)$$

Bu fonksiyondaki a, b, c ve d katsayıları belirli aralıklarla panelden alınan gerilim ve güç değerlerinden belirlenir. Denklem (2.1)'in gerilime göre türevi sıfıra eşitlendiğinde P-V eğrisinin tepe noktasını yani maksimum güç noktasını verecektir.

$$\frac{dP}{dV} = 3aV^2 + 2bV + c \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (2.2)$$

Maksimum güç noktasında,

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad (2.3)$$

gibidir. Denklem çözülüp gerilim değeri denklemden çekilir ise V_{MPP} şu şekilde olacaktır;

$$V_{MPP} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 3ac}}{3a} \quad (2.4)$$

Bu yöntemde a, b, c ve d katsayıları [37]'de tanımlanan matematiksel eşitlikler kullanılarak birkaç milisaniyede bir örneklenir ve V_{MPP} değeri hesaplanır.

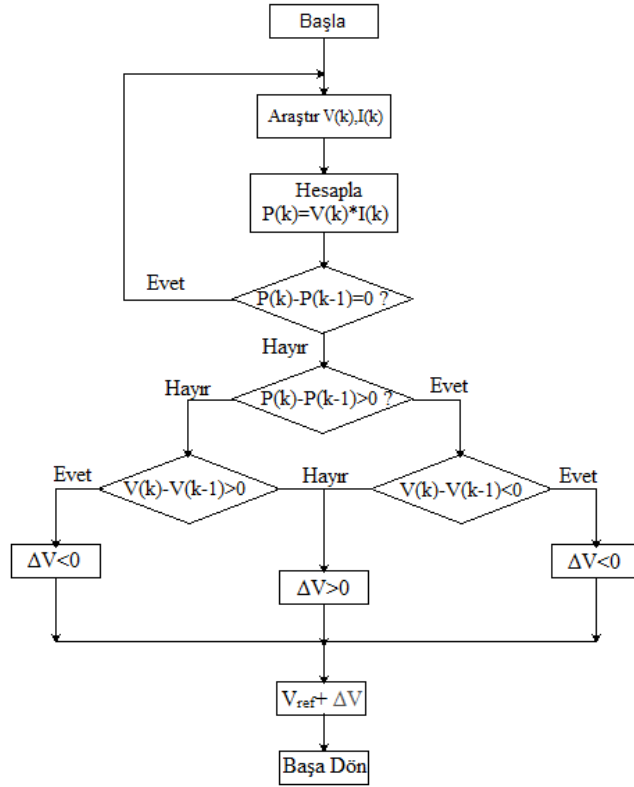
2.3. Değişir Gözle Yöntemi

Değişir gözle yöntemi aynı zamanda “Tepe Tırmanma” yöntemi olarak da bilinmektedir. Bu maksimum güç noktası izleme yöntemi, üzerine çokça araştırma yapılan ve diğer yöntemlere kıyasla daha basit olan bir yöntemdir.

D&G yöntemi güneş pilinin referans gerilimi veya referans akımı için uygulanabilir. Bu yöntemde öncelikle güneş panelinin gerilim ve akım değerleri ölçülerek ilk durumdaki panel gücü (P_1) hesaplanır. İkinci adımda gerilimdeki veya doluluk boşluk oranındaki (D) ufak değişimler göz önüne alınarak yeniden bir güç (P_2) hesabı yapılır. P_1 ve P_2 kıyaslandığında eğer P_2, P_1 'den daha büyük ise güç eğrisi üzerindeki hareket P_2 yönünde devam eder. Eğer tersi bir durum söz konusu ise güç eğrisi üzerindeki hareket de ters yönde olacaktır. Bu sayede panelin maksimum güç noktası (P_{MPP}) bulunur ve dolayısıyla bu noktaya karşılık gelen gerilim değeri de (V_{MPP}) bulunabilir [9].

D&G yöntemi ile Tepe Tırmanma yöntemlerini birbirinden ayıran fark ise, D&G yönteminde gerilimin, Tepe Tırmanma yönteminde ise doluluk boşluk oranının baz alınmasıdır. Doluluk boşluk oranı (D), maksimum güç noktası izleme devresinde kullanılan yarı iletken anahtarın iletimde kalma süresinin periyoda oranını ifade etmektedir.

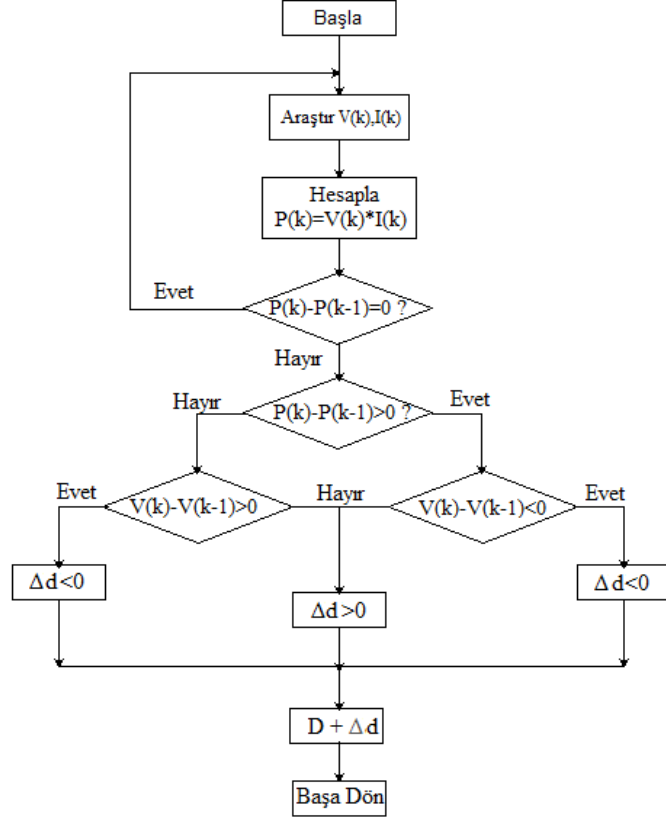
D&G yöntemi, hızla değişen atmosferik koşullarda, örneğin parçalı bulutlu havalarda, bazı sapmalar gösterebilir. Bunun sebebi güç eğrisindeki ani değişimlerde yöntemin hareket yönünü bir önceki durum için seçmiş olması ve eğri değiştiğinde seçilen yönün geçerliliğini yitirmesidir.



Şekil 2.3. Değiştir gözle yöntemi akış diyagramı

D&G yönteminin diğer bir dezavantajı da maksimum güç noktasının gerçek yerini tespit edememesidir. Bu yöntemde çalışma noktasının ancak maksimum güç noktasına yakın bir yerde salınım yapması sağlanabilmektedir. Bu sorunu ortadan kaldırmak amacı ile bazı çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda gerilim artış miktarı azaltılarak salınım miktarı azaltılmaya çalışılmıştır. Ancak gerilim artış miktarının azaltılması, atmosferik şartlara karşı verilen cevap süresini uzatmaktadır ve özellikle parçalı bulutlu günlerde sistemin kararsızlığı artmaktadır. D&G yöntemine ait akış

diyagramı Şekil 2.3’de tepe tırmanma yöntemine ait diyagram ise Şekil 2.4’de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Tepe tırmanma yöntemi akış diyagramı

2.4. Artan İletkenlik Yöntemi

Bir fotovoltaik sistem için çıkış gücünün gerilime göre türevi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} = I + V \frac{\Delta I}{\Delta V} \quad (2.5)$$

Maksimum güç noktasında gücün gerilime göre türevinin sıfıra eşit olduğu bilgisinden hareketle, Denklem (2.5)'in çözümü yapılırsa, maksimum güç noktasında sıfıra eşit olacağı, pozitif değerlerde maksimum güç noktasının solunda ve negatif değerlerde maksimum güç noktasının sağında yer alacağı söylenebilir [12]. Bu bilgiler doğrultusunda denklemler aşağıdaki şekilde yazılabilir.

Maksimum güç noktasında:

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} = \frac{-I}{V} \quad (2.6)$$

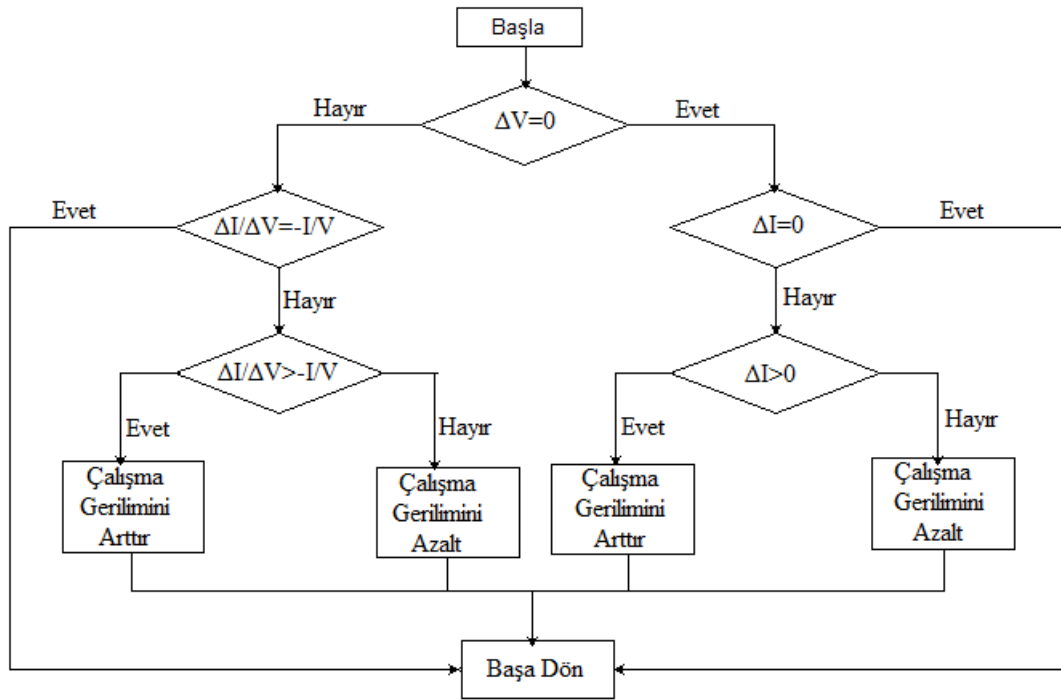
Maksimum güç noktasının solunda:

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} > \frac{-I}{V} \quad (2.7)$$

Maksimum güç noktasının sağında:

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} < \frac{-I}{V} \quad (2.8)$$

Bu denklemler sayesinde artan iletkenlik yönteminde maksimum güç noktası, gerilim ve akım değerlerinin bir önceki gerilim ve akım değerleri ile karşılaştırılmasıyla bulunur. Artan iletkenlik yöntemine ait akış diyagramı Şekil 2.5’de verilmiştir.



Şekil 2.5. Artan iletkenlik yöntemi akış diyagramı

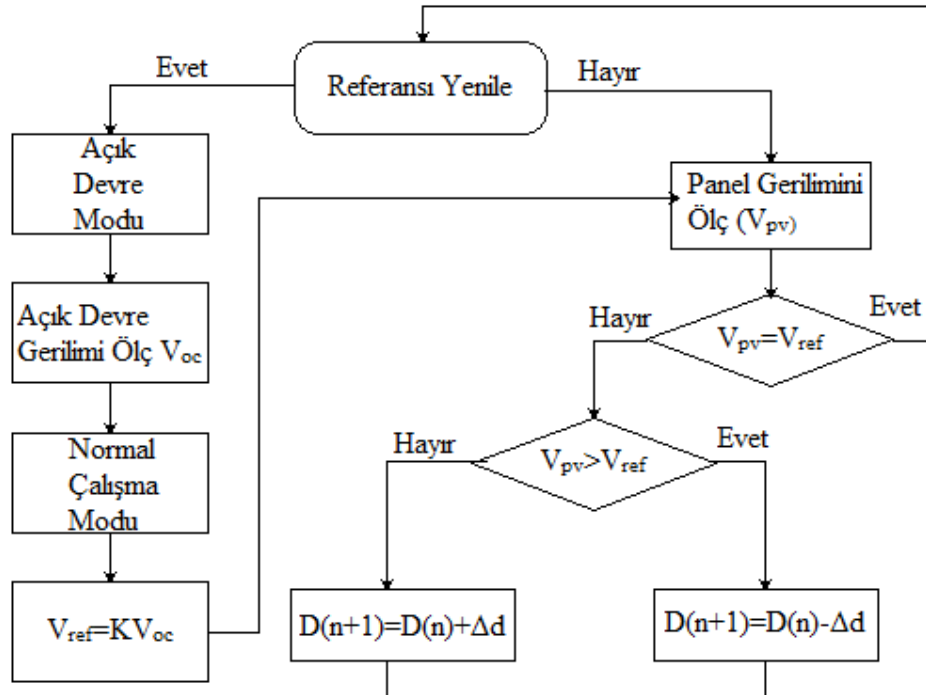
2.5. Açık Devre Gerilimi Yöntemi

Açık devre gerilimi yöntemi en kolay yöntemlerden biridir. Bu yöntemde değişik çevre koşulları altında, açık devre gerilimi (V_{oc}) ile maksimum güç noktası gerilimi (V_{MPP}) arasındaki ilişkiye bakılır. Bu ilişki Denklem (2.9) verildiği gibidir.

$$V_{MPP} = KV_{oc} \quad (2.9)$$

Bu eşitlikteki K değeri, güneş panelinin karakteristiğine göre değişen sabit bir değerdir. Bu sabit, değişik çevre koşulları altında V_{MPP} ve V_{oc} ölçümlerine dayalı olarak elde edilir. K sabiti için en uygun değeri seçmek oldukça zordur ancak yapılan çalışmalarda bu sabit için, polikristal güneş panellerinde 0.73 ile 0.80 arasında bir değer aldığı bildirilmiştir.

Bu yöntemin en büyük dezavantajı, açık devre gerilimi örnekleri alınan test hücresinin devre dışı kalması sonucunda elektrik üretememesi ve buna bağlı olarak güç kaybının yaşanmasıdır. Bir diğer olumsuz yanı ise, iki başarılı örnekleme arasında geçen süre çok uzun ise buna bağlı olarak yüksek güç kaybının oluşmasıdır [38]. Açık devre gerilimi yöntemine ait akış diyagramı Şekil 2.6'de verilmiştir.



Şekil 2.6. Açık devre gerilimi yöntemi akış diyagramı

2.6. Kısa Devre Akımı Yöntemi

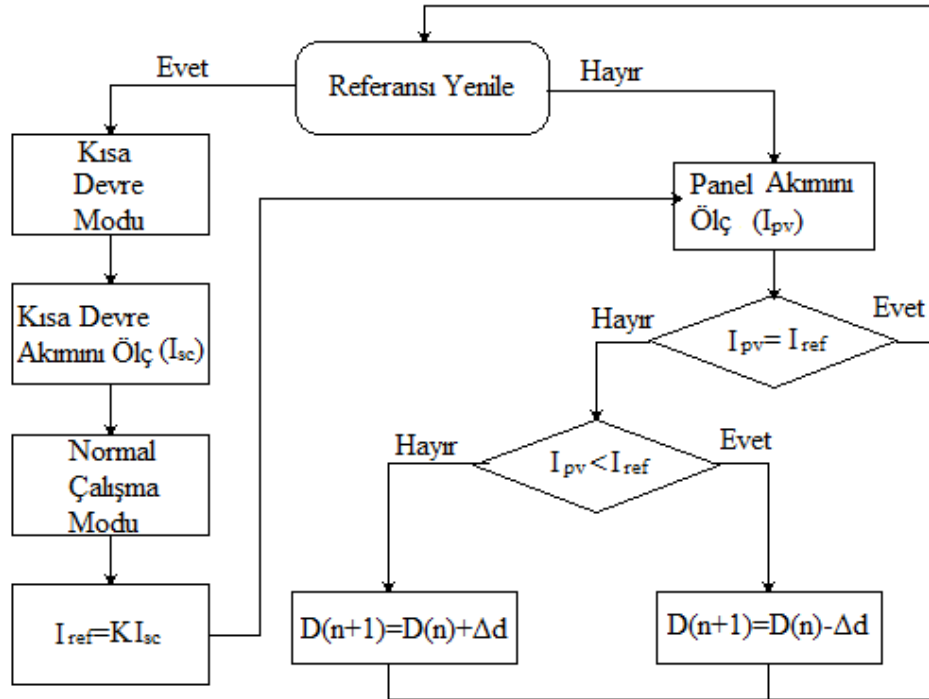
Kısa devre akımı yöntemi ile açık devre gerilimi yöntemi birbirleriyle benzer yöntemlerdir. Bu yöntemde, güneş panelinin kısa devre akımı ile maksimum güç noktası akımı arasında lineer bir ilişki vardır. Bu ilişki şu şekilde ifade edilebilir;

$$I_{mpp} = KI_{sc} \quad (2.10)$$

Kısa devre akımı, güneş panellerinin kataloglarından elde edilebilen bir parametredir. Ayrıca panele paralel bir statik anahtar bağlanarak da bulunabilir. K sabiti ise açık devre gerilimi yönteminde olduğu gibi 0,7 ile 0,9 arasında bir değer olarak kabul edilmiştir [35].

Kısa devre akımı yöntemi, açık devre gerilimi yöntemine göre daha doğru ve etkili olsa da, kısa devre akımının ölçülmesinden dolayı uygulama maliyetleri açık devre gerilimine göre yüksektir.

Kısa devre akımı yönteminin en önemli dezavantajı kısa devre akımı ölçülürken yükün enerjiden kesilmesidir [35]. Bu yöntemle ait akış diyagramı Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7. Kısa devre akımı yöntemi akış diyagramı

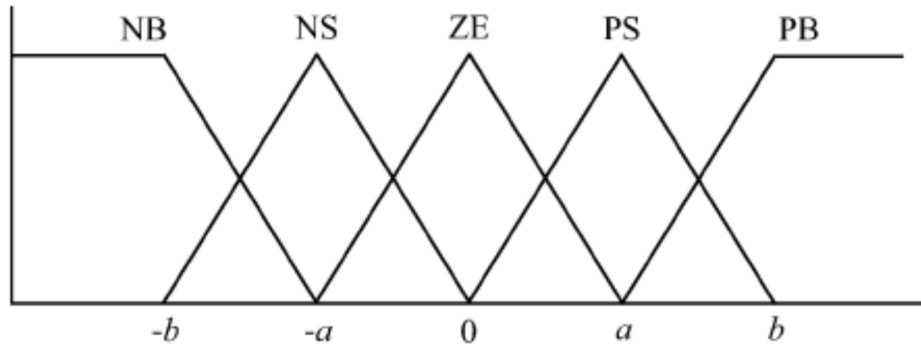
2.7. Hafıza Tablosu Yöntemi

Bu yöntemde ihtimal dahilindeki değişik çevre koşulları için fotovoltaik panelin maksimum güç noktaları belirlenir ve maksimum güç noktaları, kontrol sisteminde yer alan hafıza aygıtına yüklenir. Çalışma sırasında sistemde varolan sensörler vasıtasıyla uygun maksimum güç noktası belirlenir ve uygulamaya konur [12].

2.8. Bulanık Mantık Yöntemi

Mikrodenetleyiciler, bulanık mantık kullanarak maksimum güç noktası bulma konusunda son yıllarda popüler olmuşlardır. Bulanık mantık kontrolörlerinin avantajları, kesin bir matematiksel yöntem gerektirmemeleri, hızlı cevap vermeleri ve ani sıcaklık ve ışınım değişimlerinde kararlı duruma geçerken daha az salınım göstermeleridir. Ayrıca bulanık mantık yöntemi değişik hava koşulları altında iyi sonuçlar vermektedir [2].

Bulanık mantık kontrolü genelde bulanıklaştırma, kural tablosu oluşturma ve durulaştırma olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Bulanıklaştırma aşamasında, nümerik girişler, Negatif Büyük (NB), Negatif Küçük (NS), Sıfır (ZE), Pozitif Büyük (PB) ve Pozitif Küçük (PS) dilsel değişkenleri olmak üzere Şekil 2.8'de gösterilen forma getirilir .



Şekil 2.8. Bulanık mantık kontrolörün giriş ve çıkışı için üyelik fonksiyonu [2]

Burada a ve b , sayısal değişkenin değer aralığına göre tanımlanmaktadır. Bulanık mantık kontrolörünün iki girişi genelde hata (E) ve hatadaki değişim (ΔE)'dir. Kullanıcı E ve ΔE 'yi nasıl hesaplayacağına kendi karar verir. Maksimum güç noktasında, dP/dV sıfıra eşit olduğunda, aşağıdaki yaklaşımlar kullanılır [2].

$$E(n) = \frac{P(n) - P(n-1)}{V(n) - V(n-1)} \quad (2.11)$$

$$\Delta E(n) = E(n) - E(n-1) \quad (2.12)$$

E ve ΔE hesaplanıp üyelik fonksiyonuna dönüştürülünce, aynı zamanda güç dönüştürücüsünün doluluk boşluk oranındaki değişime eşit olan bulanık mantık kontrolörün çıkışına, Tablo 2.1'deki kural tablosundan bakılabilir.

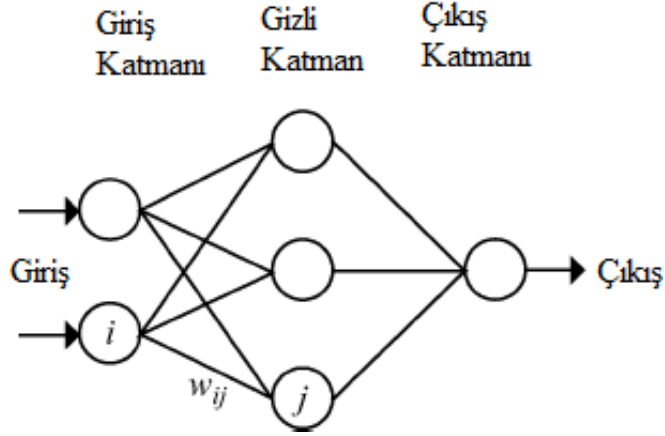
Durulaştırma aşamasında ise bulanık mantık kontrolörün çıkışı, Şekil 2.8'deki üyelik fonksiyonundan yararlanılarak dilsel değişkenlerden nümerik değişkenlere dönüştürülür.

Tablo 2.1. Bulanık mantık kural tablosu

$\Delta E \rightarrow$		NB	NS	ZE	PS	PB
E ↓						
NB		ZE	ZE	NB	NB	NB
NS		ZE	ZE	NS	NS	NS
ZE		NS	ZE	ZE	ZE	PS
PS		PS	PS	PS	ZE	ZE
PB		PB	PB	PB	ZE	ZE

2.9. Yapay Sinir Ağları Yöntemi

Maksimum güç noktası izleyici yöntemleri arasında bulanık mantık yöntemi gibi hızlı sonuç veren ve mikrodenetleyiciler ile iyi adapte olan bir diğer yöntem de yapay sinir ağları yöntemidir [2]. Yapay sinir ağları Şekil 2.9'de gösterildiği gibi, giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır.



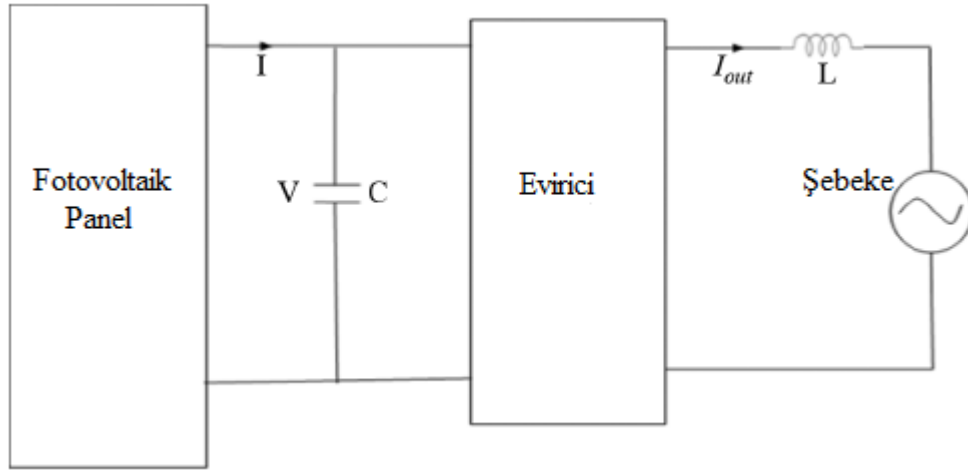
Şekil 2.9. Yapay sinir ağı örneği

Her bir katmandaki nokta sayısı kullanıcıya bağlı olarak değişkenlik gösterir. Giriş değerleri, fotovoltaik panelin kısa devre akımı ve açık devre gerilimi değerleri olabileceği gibi ışınım ve sıcaklık bilgisi veya bunlardan herhangi ikisi olabilir. Çıkış ise, maksimum güç noktasında çalışmak için güç dönüştürücüsünün anahtarını süren sinyalin doluluk boşluk oranı gibi bir veya daha fazla referans sinyali olabilir.

Maksimum güç noktasına olabildiğince yakın bir noktada çalışabilmek, gizli katmanda kullanılan algoritmalara ve yapay sinir ağlarının ne kadar iyi eğitildiğine bağlıdır. Güneş panelleri çok farklı özelliklerde olabilecekleri için, yapay sinir ağı kullanılacak panele özel olarak eğitilmiş olmalıdır. Ayrıca panellerin karakteristikleri zamanla değişeceği için sinir ağı belirli periyotlarda eğitilmelidir [2].

2.10. Tek Çevrim Kontrol Yöntemi

Tek çevrim kontrol yöntemi bir nonlineer maksimum güç noktası izleyici yöntemidir. Bu yöntem, maksimum güç elde edebilmek için fotovoltaik panel gerilimine göre çıkış akımı ayarlanabilen bir tek seviyeli evirici kullanımı içermektedir [39]. Tek çevrim kontrol sistemi Şekil 2.10'da gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Tek çevrim kontrol sistemi

Tek çevrim kontrol yönteminin kusursuz çalışabilmesi için L ve C parametrelerinin optimum hesaplanması gerekir.

2.11. Farklılaşma Yöntemi

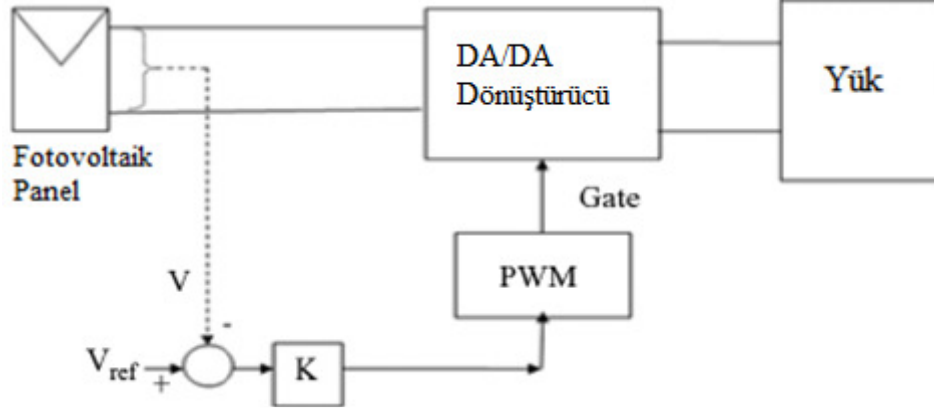
Bu yöntemde maksimum güç noktası, aşağıdaki bağıntının çözümü ile elde edilir.

$$\frac{dP}{dt} = \frac{d(IV)}{dt} = I \frac{dV}{dt} + V \frac{dI}{dt} = 0 \quad (2.13)$$

Bu yöntemin kusursuz çalışabilmesi için gerçek zamanlı olarak bu denklemin hızlı bir şekilde çözülmesi gerekir. Ancak bu oldukça zordur. Çünkü akım ve gerilime ait en az sekiz hesaplama ve ölçüm yapmak gerekir. Bunlardan bazıları; bir dt süresi için dV ve dI hesapları, I(dV/dt), V(dI/dt) ve I(dV/dt)+V(dI/dt) hesaplamalarıdır. Daha hızlı bir maksimum güç noktası izleyici elde edebilmek için bu yöntem, güçlü ve pahalı donanımlara ihtiyaç duymaktadır [12].

2.12. Geribildirim Gerilim ve Akım Yöntemi

Bu yöntem akü gurubu bulunmayan sistemlerde kullanılır. Akü olmadan, gerilimi sabit bir değerde tutmak için basit bir kontrolör gerekir. Bu yüzden basit bir maksimum güç noktası izleyici kontrolörü Şekil 2.11’da görüldüğü gibi uygulanabilir.



Şekil 2.11. Geribildirim gerilim ve akım yöntemi blok diyagramı

Bu yöntemde, panel geriliminin veya akımının geribildirimini alınır ve önceden hesaplanmış referans gerilimi veya akımı ile karşılaştırılır. Buna bağlı olarak maksimum güç noktasına yakın çalışabilmek için DA/DA dönüştürücünün doluluk boşluk oranı sürekli ayarlanabilir [11].

2.13. Dalgalanma Korelasyon Kontrol Yöntemi

Fotovoltaik paneller güç dönüştürücülere bağlandığı zaman, dönüştürücüdeki anahtarlama olayları fotovoltaik panellerin geriliminin ve akımının dalgalanmasına neden olur. Bu yöntemde fotovoltaik panelin maksimum güç noktası bulunurken bu dalgalanmadan faydalanılır [2]. Bu dalgalanma anahtarlama yapılarak doğal olarak elde edilebildiği için bunun haricinde ek bir donanım veya uygulama gerekmez.

Dalgalanma korelasyon kontrol yöntemi, gücün zamana bağlı değişimi (dP/dt) ile gerilimin zamana bağlı değişimi (dV/dt) veya akımın zamana bağlı değişimini (dI/dt) Denklem (2.14) ve (2.15)'deki gibi ilişkilendirerek fotovoltaik panelin gerilim ve akım değerlerinin maksimum güç noktasından fazla veya az olduğunu tespit eder. Bu yöntemin amacı dalgalanmayı sıfıra indirgeyerek fotovoltaik panelin gerilim ve akım değerlerini maksimum güç noktasına yaklaştırmaktır.

$$\frac{dV}{dt} > 0 \text{ veya } \frac{dI}{dt} > 0 \text{ ve } \frac{dP}{dt} > 0 \text{ ise } V < V_{mpp} \text{ veya } I < I_{mpp} \quad (2.14)$$

$$\frac{dV}{dt} > 0 \text{ veya } \frac{dI}{dt} > 0 \text{ ve } \frac{dP}{dt} < 0 \text{ ise } V > V_{mpp} \text{ veya } I > I_{mpp} \quad (2.15)$$

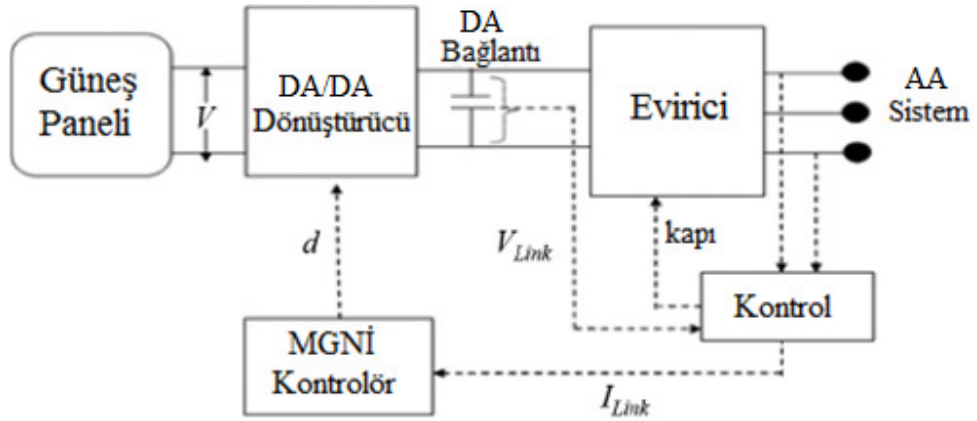
Dalgalanma korelasyon kontrol yöntemi herhangi bir dönüştürücü topolojisine uygulanabilir.

2.14. DA Bağlantılı Kapasite Gerilimi Kontrolü Yöntemi

Bu yöntem, şebekeye paralel bağlanmış bir fotovoltaik sistemde maksimum güç noktasını yakalamak için oluşturulmuştur. İdeal bir yükseltici DA-DA dönüştürücünün doluluk boşluk oranı aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$D = 1 - \frac{V}{V_{Link}} \quad (2.16)$$

Burada, V fotovoltaik panelin gerilimi, V_{Link} ise DA bağlantının gerilimidir. Yönteme ait blok diyagramı Şekil 2.12’de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. DA Bağlantılı Kapasite Gerilimi Kontrolü yöntemi blok diyagramı

Eğer V_{Link} sabit tutulursa, yükseltici DA-DA dönüştürücünden gelen güç artacak dolayısıyla fotovoltaik panelden çekilen güç de artmış olacaktır. Akım artarken, eviricinin ihtiyacı olan güç, panelden çekilen gücü aşmadığı sürece, V_{Link} sabit tutulabilir. Eğer bu gerçekleşmezse V_{Link} azalmaya başlar. V_{Link} azalmaya başlamadan hemen önceki durumda panelden maksimum güç elde edilmektedir [40].

2.15. Gerilim ve Akım ile Güç Geri bildirim Değişimi Yöntemi

Gerilim ile güç geri bildirim değişimi yönteminde, maksimum güç kontrolü, dP/dV türevini sıfıra eşitleyerek yapılır [41].

Güç geri bildirim değişimi yöntemi için yapılan genel bir yaklaşım, gücün yük tarafında ölçüldüğü ve maksimize edildiğidir. Bu yöntemde yüksek performanslı dönüştürücü tasarımına ihtiyaç duyulmaktadır.

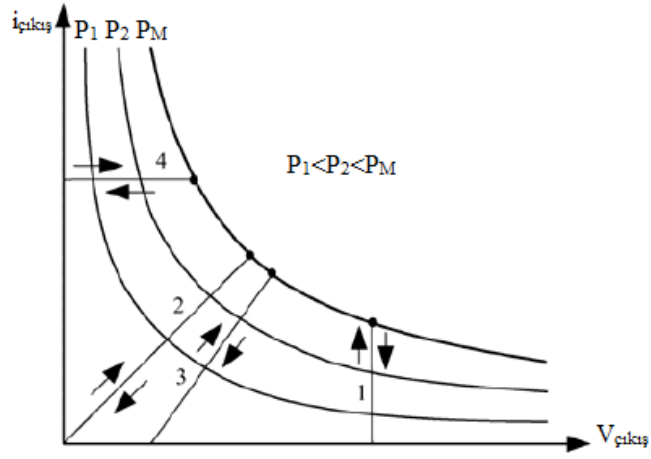
Akım ile güç geri bildirim değişimi yönteminde ise, kontrol dP/dI türevini sıfıra eşitleyerek yapılır. Bunun için doluluk boşluk oranı dP/dI türevi sıfır olana kadar ayarlanır [42].

2.16. Yük Akımı veya Yük Gerilimi Maksimizasyonu Yöntemi

Maksimum güç noktası izleyici yöntemlerin amacı, fotovoltaik panelden elde edilen gücü maksimize etmektir. Eğer güneş paneline bir güç dönüştürücüsü bağlı ise panelden elde edilen gücü maksimum yapmak, aynı zamanda dönüştürücünün yük tarafındaki gücünü de maksimum yapmaktır.

Fotovoltaik sistemlerin yük kısmında Şekil 2.13’de gösterildiği gibi, direnç, gerilim kaynağı, akım kaynağı veya bunlardan oluşmuş herhangi bir yük çeşidi olabilir. Şekil 2.13’den anlaşılacağı üzere, gerilim kaynağı olan yük için gücü maksimum etmek yük akımını ($I_{\text{çıkış}}$) maksimum yapmakla mümkün olacaktır. Aynı şekilde akım kaynağı olan yük için de, yük gerilimini ($V_{\text{çıkış}}$) maksimum yapmak, maksimum çıkış gücü (P_m) elde etmek için gerekli olacaktır. Diğer yük çeşitleri içinde $I_{\text{çıkış}}$ ve $V_{\text{çıkış}}$ değerleri kullanılabilir.

Birçok fotovoltaik sistemde akü, ana yük olarak kullanılmaktadır. Güç dönüştürücüsü, kayıpsız bir eleman olmadığı için, bu yöntemde maksimum güç noktasını tam olarak yakalamak imkansızdır [43].



Şekil 2.13. Farklı yük çeşitleri 1) gerilim kaynağı 2) direnç 3) direnç ve gerilim kaynağı 4) akım kaynağı

2.17. MGNİ Yöntemlerinin Teorik Olarak Karşılaştırılması

Bu bölümde on altı farklı maksimum güç noktası izleme yöntemi anlatılmıştır. Anlatılan yöntemlerin her biri kendi başına maksimum güce ulaşmada etkilidir. Ancak yöntemlerin bazıları çok kolay topolojilere sahipken bazıları oldukça karmaşıktır. Yine bazı yöntemler tek başına akım veya gerilim bilgisi ile hareket ederken bazıları her ikisine birden ihtiyaç duymaktadır. Yöntemler arasındaki bu farklılıklar daha iyi anlaşılabilsin diye, anlatılan bütün yöntemler, kontrol parametresi, devre sistemi, maliyet, uygulama zorluğu ve dönüştürücü türü kullanımlarına göre teorik olarak karşılaştırılmış ve bu karşılaştırma Tablo 2.2’de verilmiştir [12].

Tablo 2.2. MGNİ yöntemlerinin teorik olarak karşılaştırılması

Yöntem İsmi	Kont. Parametresi	Devre Sistemi	Maliyet	Uyg. Zorluğu	Dönüştürücü Türü
Sabit Gerilim	Gerilim	Dijital	Ucuz	Basit	DA/DA
Eğri Uydurma	Gerilim	Dijital	Ucuz	Basit	DA/DA
Değiştir Gözle	Gerilim, Akım	Dijital, Analog	Pahalı	Kompleks	DA/DA
Artan İletkenlik	Gerilim, Akım	Dijital	Pahalı	Kompleks	DA/DA
Açık Devre Gerilimi	Ger. veya Akım	Dijital, Analog	Ucuz	Basit	DA/DA
Kısa Devre Akımı	Ger. veya Akım	Dijital, Analog	Ucuz	Basit	DA/DA
Hafıza Tablosu	Gerilim, Akım	Dijital	Ucuz	Basit	DA/DA
Bulanık Mantık	Gerilim, Akım	Dijital	Pahalı	Kompleks	DA/DA, DA/AA
Yapay Sinir Ağları	Ger. veya Akım	Dijital	Pahalı	Kompleks	DA/DA, DA/AA
Tek Çevrim Kontrol	Akım	Dijital, Analog	Ucuz	Basit	DA/AA
Farklılaşma	Ger. veya Akım	Dijital	Pahalı	Kompleks	DA/DA
Geribildirim Ger. ve Akım	Ger. veya Akım	Dijital, Analog	Ucuz	Basit	DA/DA, DA/AA
Dalgalanma Kor. Kon.	Ger. veya Akım	Analog	Pahalı	Kompleks	DA/DA
DA Bağlantılı Kapasite Gerilimi Kontrolü Yöntemi	Gerilim	Dijital, Analog	Pahalı	Basit	DA/DA+DA/AA
Ger. ve Akım ile Güç Geribildirim Değişimi	Gerilim, Akım	Dijital	Pahalı	Kompleks	DA/DA, DA/AA
Yük Akımı veya Yük Gerilimi Maksimizasyonu	Gerilim	Analog	Ucuz	Orta	DA/DA

3. DA - DA DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

DA kıyıcı veya DA gerilim ayarlayıcı olarak da bilinirler. DA-DA dönüştürücüler, genel olarak bir DA gerilimi yine bir DA gerilime dönüştürürler. Bu dönüştürücüler daha çok DA motor kontrolü, anahtarlamalı güç kaynakları, kesintisiz güç kaynakları, güç faktörünün düzeltilmesi, akümülatör şarjı, eviricilerin beslenmesi ve DA gerilim kaynakları ve regülatörleri uygulamalarında kullanılmaktadır.

DA-DA dönüştürücüler, zorlamalı komütasyonludurlar. Genellikle tam kontrollü elemanlar ile gerçekleştirilir. Çoğunlukla DA PWM yöntemi ile kontrol edilirler. Sabit veya ayarlı ve izolesiz ya da izoleli bir DA gerilim üretilir. Kontrol tekniğine bağlı olarak DA çıkış geriliminde dalgalanma oluşur. DA giriş kaynağı akımında da önemli ölçüde dalgalanma oluşabilir [44].

DA-DA dönüştürücüler genellikle Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM) yöntemi ile kontrol edilirler. Bu kontrolde doluluk oranı Denklem (3.1) ile tanımlanır.

$$D = \frac{T_d}{T_p} \quad (3.1)$$

Burada, D doluluk oranı, T_d sinyalin geçerli olduğu süre, T_p ise çalışma periyodudur. Kontrol gerilimi ile doluluk oranı $0 < D < 1$ aralığında ayarlanır. Doluluk oranının değiştirilmesiyle güç kontrolü sağlanır. Doluluk oranının kontrolü genellikle frekansın sabit tutulması ve darbe genişliğinin değiştirilmesiyle sağlanır. Buna Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM, PWM) denir.

DA-DA dönüştürücüler, DA giriş geriliminin birinci aralıkta (T_d) yüke uygulanması ve ikinci aralıkta kesilmesine dayalı olarak çalışırlar. Bu iki aralığın toplamı, devrenin çalışma periyodunu verir. Endüktanslı dönüştürücülerde ise birinci aralıkta DA giriş kaynağından endüktansa yüklenen enerji, ikinci aralıkta çıkışa aktarılır.

DA-DA dönüştürücülerde, kontrol için en az bir aktif ve serbest geçiş için en az bir pasif eleman kullanılır. Genellikle birinci aralıkta aktif, ikinci aralıkta pasif eleman iletimde kalır.

3.1. Endüktanslı ve İzolesiz DA – DA Dönüştürücüler

Endüktanslı dönüştürücüler endüktansın enerji aktarımına dayalı olarak çalışırlar. İletim aralığında DA kaynaktan endüktansa enjekte edilen veya yüklenen enerji, kesim aralığında ise çıkışa aktarılır. Kontrol genelde DA-PWM ile yapılır. Bu tür dönüştürücüler, bir aktif ve bir pasif güç elemanı ile bir endüktansın farklı şekillerde bağlanmasıyla elde edilir. Düşürücü, Yükseltici, Düşürücü-Yükseltici ve Cük denilen türleri en yaygın kullanım alanı bulan endüktanslı izolesiz dönüştürücülerdir.

Endüktanslı dönüştürücülerde, çalışma frekansı şebeke frekansına göre oldukça yüksektir. Bu dönüştürücülerde, her zaman birinci aralıkta aktif ikinci aralıkta pasif eleman iletimdedir. Endüktans akımını ya aktif eleman ya da pasif eleman geçirir. Ortalama olarak endüktans akımı, aktif ve pasif eleman akımlarının toplamına eşittir. Bu tür devreler için aşağıdaki bağıntılar yazılabilir [45].

$$T_p = 1/f_p \quad (3.2)$$

$$T_p = T_d + T_b \quad (3.3)$$

$$T_d = DT_p \quad (3.4)$$

$$T_b = (1-D)T_p \quad (3.5)$$

$$I_L = I_T + I_D \quad (3.6)$$

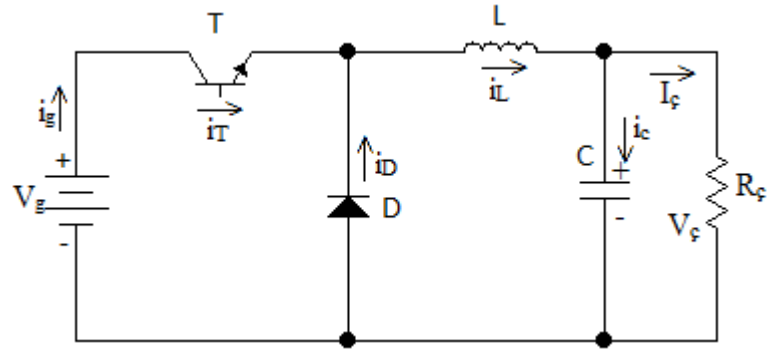
$$I_T = DI_L \quad (3.7)$$

$$I_D = (1-D)I_L \quad (3.8)$$

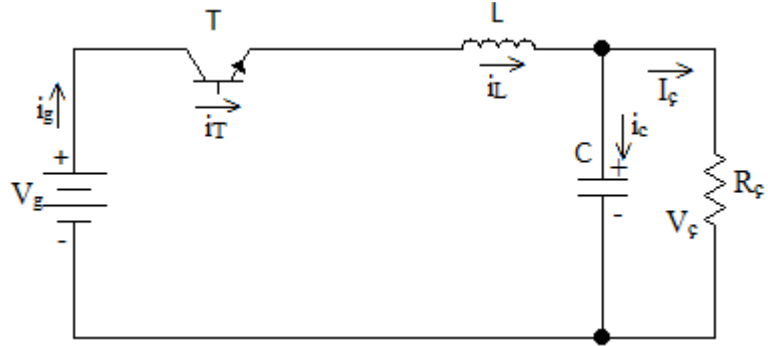
Bu denklemlerde T_p çalışma periyodunu, f_p çalışma frekansını, T_d iletimde olunan süreyi, T_b kesimde olunan süreyi, D doluluk oranını, I_L endüktans akımını, I_T aktif eleman akımını, I_D ise pasif eleman akımını göstermektedir.

3.1.1. Düşürücü DA – DA dönüştürücüler

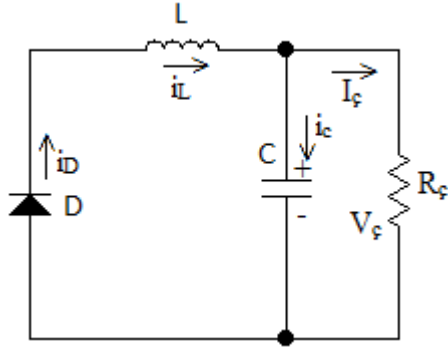
Düşürücü bir DA – DA dönüştürücünün temel devre şeması, iletim durumu için devre şeması ve kesim durumu için devre şeması Şekil 3.1’de verilmiştir. Şekil 3.1’de görülen düşürücü dönüştürücü devresinde, birinci aralıkta transistör iletimdedir. Kaynak tarafından yük ve endüktans beslenir. Endüktans akımı doğrusal olarak artar. İkinci aralıkta yani transistör kesimdeyken, endüktans üzerindeki enerji boşalana kadar endüktans yükü besler. Bu durumda diyot iletimdedir. Endüktans akımı doğrusal olarak azalır [44].



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.1. Düşürücü dönüştürücü a) temel devre şeması b) iletim durumu c) kesim durumu

Transistör iletimdeyken endüktans $V_g - V_\zeta$ gerilimi ile beslenirken, diyotun iletimde olduğu sürede endüktans akımını sürdürebilmek üzere V_ζ kadar bir gerilim üretir. Endüktans geriliminin dalga şekline göre,

$0 < t < T_d$ aralığında, transistör iletimde iken:

$$V_g - V_\zeta = L \frac{di_L}{dt} \quad (3.9)$$

$T_d < t < T_p$ aralığında, diyot iletimde iken:

$$-V_\zeta = L \frac{di_L}{dt} \quad (3.10)$$

denklemleri yazılabilir. İki durumda da endüktans akımının artma ve azalma miktarları için Denklem (3.9) ve (3.10) dikkate alınarak, aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

$0 < t < T_d$ aralığında, transistör iletimde iken:

$$\Delta I_{Lp} = \frac{V_g - V_\zeta}{L} T_d \quad (3.11)$$

$T_d < t < T_p$ aralığında, diyot iletimde iken:

$$\Delta I_{Ln} = \frac{V_\zeta}{L} T_b \quad (3.12)$$

Kararlı durumda, endüktans akımının artma ve azalma miktarları birbirine eşit olduğundan, Denklem (3.11) ve (3.12) bağıntılarından aşağıdaki ifadeler yazılabilir.

$$(V_g - V_\zeta) T_d = V_\zeta T_b \quad (3.13)$$

DA çıkış gerilimi:

$$V_\zeta = D V_g \quad (3.14)$$

Giriş akımı:

$$I_g = DI_\zeta \quad (3.15)$$

Ortalama endüktans akımı:

$$I_L = I_\zeta \quad (3.16)$$

Endüktans akımındaki dalgalanma miktarı, kararlı durumda, $\Delta I_{Lp} = \Delta I_{Ln} = \Delta I_L$ alınarak Denklem (3.11) ve (3.12) bağıntılarının ortak çözümünden,

$$\Delta I_L = D(1-D) \frac{V_g}{f_p L} \quad (3.17)$$

olarak bulunur. Düşürücü dönüştürücü devre tasarımında gerekli olan bobinin endüktans değeri aşağıdaki gibidir.

$$L = \frac{V_g}{D(1-D)f_p \Delta I_L} \quad (3.18)$$

Düşürücü DA-DA dönüştürücünün MGNİ sistemlerinde kullanılması durumunda güneş paneli eşdeğer direnci, R_g , aşağıdaki şekilde elde edilebilir.

$$V_\zeta = I_g R_g D \quad (3.19)$$

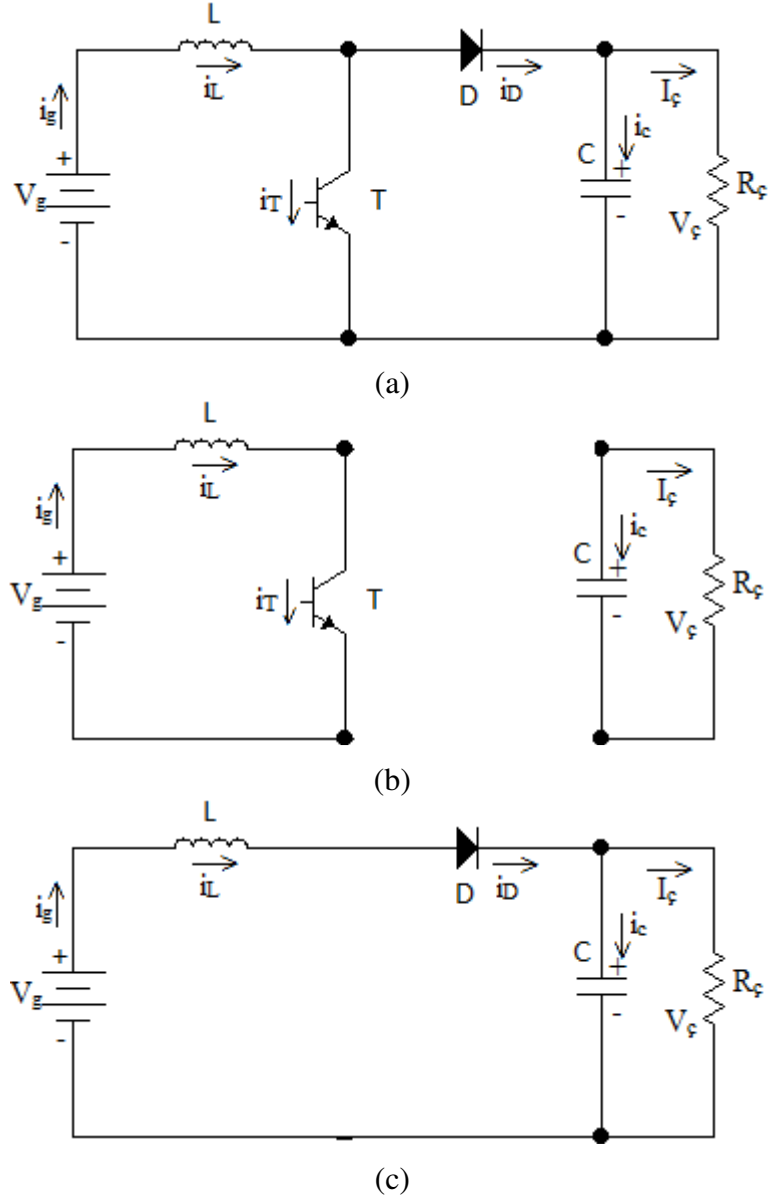
$$V_\zeta = I_\zeta D R_g D \quad (3.20)$$

$$\frac{V_\zeta}{I_\zeta} = R_g D^2 \quad (3.21)$$

$$R_g = \frac{R_\zeta}{D^2} \quad (3.22)$$

3.1.2. Yükseltici DA – DA dönüştürücüler

Yükseltici DA-DA dönüştürücüler, bir diyot köprüsü vasıtasıyla, AC şebekeye bağlı devrelerde, güç faktörü kontrolü amacıyla yaygın olarak kullanılır. Yükseltici DA-DA dönüştürücünün temel devre şeması, iletim ve kesim durumlarına ilişkin devre şemaları, Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Yükseltici DA-DA dönüştürücü a) temel devre şeması b) iletim durumu c) kesim durumu

Bu devrede birinci aralıkta transistör iletimde, diyot ise kesimdedir. V_g kaynağı tarafından endüktans beslenir, endüktanstaki geçen akım doğrusal olarak artar ve endüktans enerjilenir. Bu durumda yük, kondansatör tarafından beslenir.

İkinci aralıkta, $t=T_d$ anında, sinyali kesilen transistörün kesime girmesiyle enerjili olan endüktansın ürettiği gerilim ile diyot iletme girer. V_g kaynağı ve endüktansta biriken enerji tarafından yük beslenir. Endüktanstan geçen akım doğrusal olarak azalır.

Transistör iletimdeyken endüktans V_g gerilimi ile beslenirken, diyotun iletimde olduğu sürede endüktans akımı sürdürebilmek üzere $V_\zeta - V_g$ kadar bir gerilim üretir. Endüktans geriliminin dalga şekline göre,

$0 < t < T_d$ aralığında, transistör iletimde iken:

$$\Delta I_{Lp} = \frac{V_g}{L} T_d \quad (3.23)$$

$T_d < t < T_p$ aralığında, diyot iletimde iken:

$$\Delta I_{Ln} = \frac{V_\zeta - V_g}{L} T_b \quad (3.24)$$

ifadeleri yazılabilir. Kararlı durumda endüktans geriliminin pozitif ve negatif alanlarının eşitliğinden ortalama DA çıkış gerilimi için aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$V_\zeta = \frac{1}{1-D} V_g \quad (3.25)$$

Çıkışta elde edilen bu gerilim giriş geriliminden büyük olduğu için, bu dönüştürücüye yükseltici DA-DA dönüştürücü denir. Giriş ve çıkış güçlerinin eşitliği göz önüne alınarak, giriş akımı için aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$I_g = \frac{1}{1-D} I_\zeta \quad (3.26)$$

Yükseltici DA-DA dönüştürücüde endüktans akımı giriş akımının ortalamasına eşittir.

$$I_L = I_g \quad (3.27)$$

Endüktans akımındaki dalgalanma miktarı, kararlı durumda, $\Delta I_{Lp} = \Delta I_{Ln} = \Delta I_L$ alınarak Denklem (3.19) ve (3.20) bağıntılarının ortak çözümünden,

$$\Delta I_L = D(1-D) \frac{V_\zeta}{f_p L} \quad (3.28)$$

olarak bulunur. Yükseltici DA-DA dönüştürücü devre tasarımında gerekli olan bobinin endüktans değeri aşağıdaki gibidir.

$$L = D(1-D) \frac{V_\zeta}{f_p \Delta I_L} \quad (3.29)$$

Yükseltici DA-DA dönüştürücünün MGNİ sistemlerinde kullanılması durumunda güneş paneli eşdeğer direnci, R_g , aşağıdaki şekilde elde edilebilir.

$$V_\zeta = \frac{1}{1-D} I_g R_g \quad (3.30)$$

$$V_\zeta = \frac{1}{(1-D)^2} I_\zeta R_g \quad (3.31)$$

$$\frac{V_\zeta}{I_\zeta} = \frac{1}{(1-D)^2} R_g \quad (3.32)$$

$$R_g = R_\zeta (1-D)^2 \quad (3.33)$$

3.1.3. Düşürücü - Yükseltici DA-DA dönüştürücüler

Düşürücü - Yükseltici bir DA-DA dönüştürücünün temel devre şeması, iletim durumu için devre şeması ve kesim durumu için devre şeması Şekil 3.3'de verilmiştir. Bu dönüştürücü türünde çıkış geriliminin yönü giriş gerilimine göre ters yöndedir. Bundan dolayı ters çıkışlı dönüştürücü olarakta isimlendirilir.

Şekil 3.3'de görüldüğü üzere, birinci aralıkta giriş gerilimi ile beslenen endüktansın akımı doğrusal olarak artar ve endüktansın enerji seviyesi yükselir. Transistörün iletimde olduğu bu aralıkta yük, kondansatör tarafından beslenirken, ikinci aralıkta transistörün kesime ve diyotun iletime geçmesiyle, enerjilenmiş olan endüktans tarafından beslenir. İkinci aralıkta endüktansın akımı doğrusal olarak azalır ve enerji seviyesi azalır. Birinci aralıkta V_g gerilimi ile beslenen endüktans, ikinci aralıkta akımı

devam ettirebilmek için V_{ζ} kadar bir emk üretir [45]. Endüktans geriliminin dalga şekline göre,

$0 < t < T_d$ aralığında, transistör iletimde iken:

$$\Delta I_{Lp} = \frac{V_g}{L} T_d \quad (3.34)$$

$T_d < t < T_p$ aralığında, diyot iletimde iken:

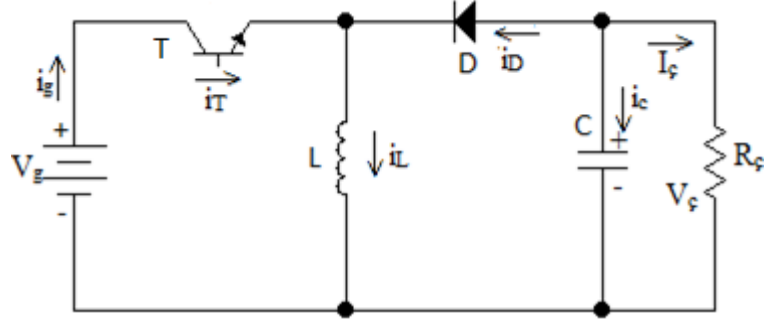
$$\Delta I_{Ln} = \frac{V_{\zeta}}{L} T_b \quad (3.35)$$

bağıntıları yazılabilir. Kararlı durumda endüktans akımındaki artma ve azalma miktarlarının eşitliğinden, ortalama DA çıkış gerilimi ve giriş akımı için aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

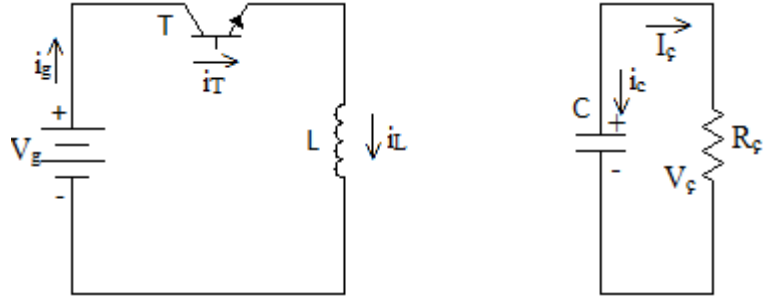
$$V_{\zeta} = \frac{D}{1-D} V_g \quad (3.36)$$

$$I_g = \frac{D}{1-D} I_{\zeta} \quad (3.37)$$

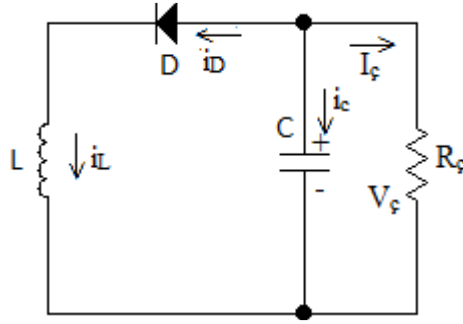
Bu dönüştürücüde DA çıkış gerilimi $0 < V_{\zeta} < V_{\zeta_{max}}$ aralığında kontrol edilir. Bu devrenin çıkış gerilimi kontrol aralığı, düşürücü ve yükseltici devrelerin kontrol aralıklarının toplamı kadardır. Bu yüzden bu dönüştürücü türüne düşürücü-yükseltici DA-DA dönüştürücü denir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.3. Düşürücü - Yükseltici DA-DA dönüştürücü
a) temel devre şeması b) iletim durumu c) kesim durumu

Bu dönüştürücüye ilişkin endüktans akımı ve ile bu akımın dalgalanma miktarı ve endüktans değeri için aşağıdaki bağıntılar yazılabilir.

$$I_L = I_g + I_f \quad (3.38)$$

$$\Delta I_L = D(1-D) \frac{V_g + V_f}{f_p L} \quad (3.39)$$

$$L = D(1-D) \frac{V_g + V_f}{f_p \Delta I_L} \quad (3.40)$$

Düşürücü-Yükseltici DA-DA dönüştürücünün MGNİ sistemlerinde kullanılması durumunda güneş paneli eşdeğer direnci, R_g , aşağıdaki şekilde elde edilebilir.

$$V_{\zeta} = \frac{D}{1-D} I_g R_g \quad (3.41)$$

$$V_{\zeta} = \left(\frac{D}{1-D}\right)^2 I_{\zeta} R_g \quad (3.42)$$

$$\frac{V_{\zeta}}{I_{\zeta}} = \left(\frac{D}{1-D}\right)^2 R_g \quad (3.43)$$

$$R_g = R_{\zeta} \left(\frac{1-D}{D}\right)^2 \quad (3.44)$$

3.1.4. Çük türü izolesiz DA – DA dönüştürücü

Çük türü bir DA – DA dönüştürücünün temel devre şeması, iletim durumu için devre şeması ve kesim durumu için devre şeması Şekil 3.4’de verilmiştir. Aynı zamanda düşürücü-yükseltici olan bu dönüştürücü, düşürücü-yükseltici devrenin geliştirilmiş bir halidir. Bu dönüştürücüde yükseltici ve düşürücü devreler eş zamanlı olarak çalışır.

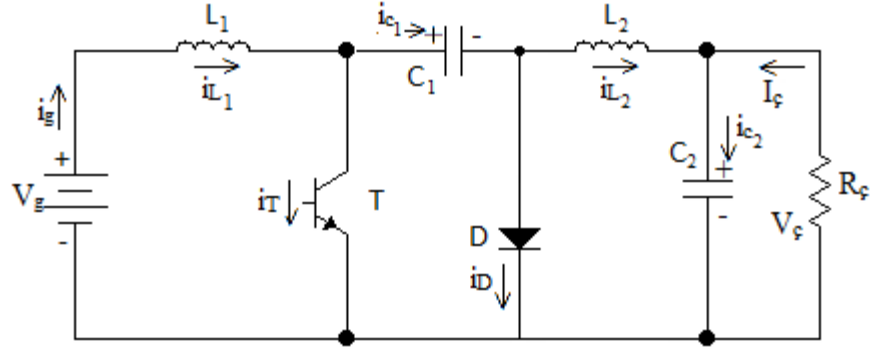
Birinci aralıkta, Yükselticide V_g kaynağı ile L_1 endüktansı beslenirken, Düşürücüde V_{C1} kaynağı ile L_2 endüktansı ve yük beslenir. İkinci aralıkta ise, Yükselticide V_g kaynağı ile enerjili L_1 endüktansı birlikte, V_{C1} kaynağını besler ve Düşürücü de enerjili L_2 endüktansı, yükü besler. Bu devrede, ortalama olarak, giriş akımı L_1 endüktansının akımına, çıkış akımı da L_2 endüktansının akımına eşittir [45].

Bu dönüştürücünün en büyük avantajı, devrenin hem girişinde hem de çıkışında bir endüktansın bulunması ve böylece giriş ve çıkış akımlarındaki dalgalanmanın düşük olmasıdır.

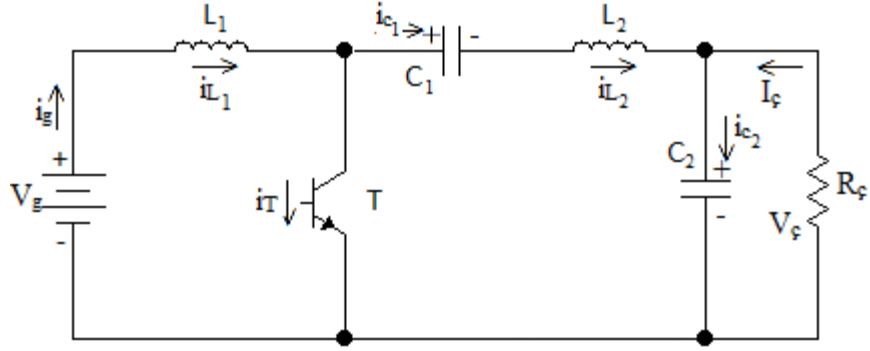
Kararlı durumda, ortalama olarak V_{C1} gerilimi ile V_{ζ} çıkış gerilimi için aşağıdaki bağıntılar yazılabilir.

$$V_{C1} = V_g + V_{\zeta} \quad (3.45)$$

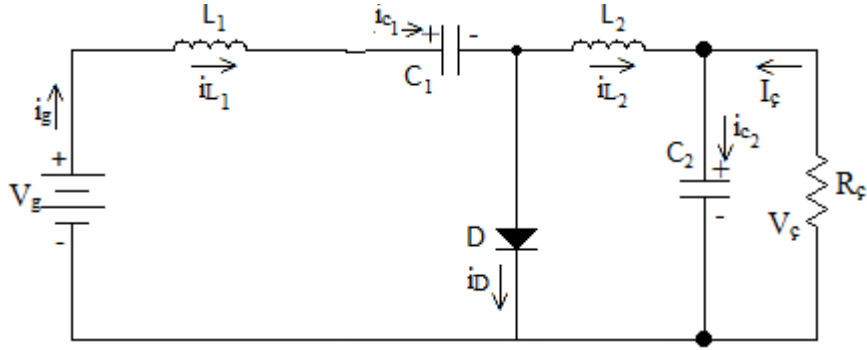
$$V_{\varphi} = \frac{D}{1-D} V_g \quad (3.46)$$



(a)



(b)



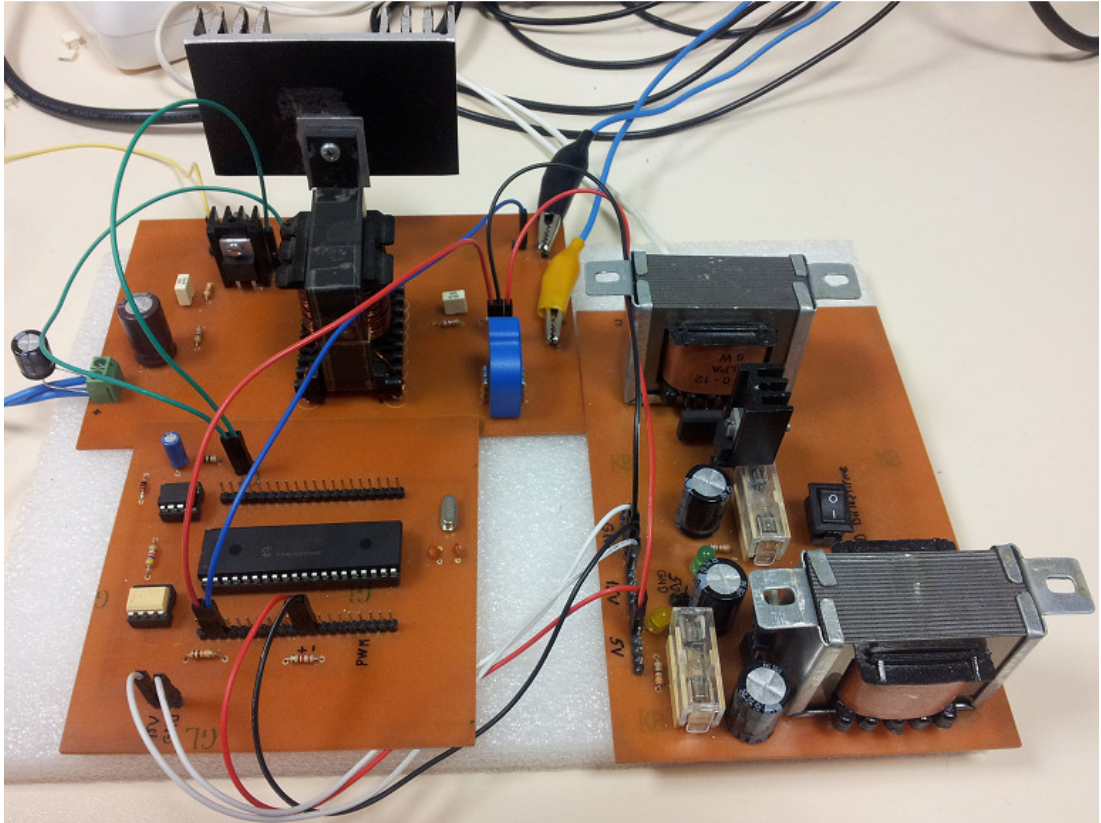
(c)

Şekil 3.4. Cük türü bir dönüştürücünün a) temel devre şeması b) iletim durumu c) kesim durumu

4. UYGULAMA DEVRELERİ

Bu bölümde aynı panelden farklı çevre koşulları ve farklı yükler altında kıyaslanacak olan, Değişir gözle ve artan iletkenlik algoritmalarının çalıştırıldığı uygulama devreleri anlatıldı.

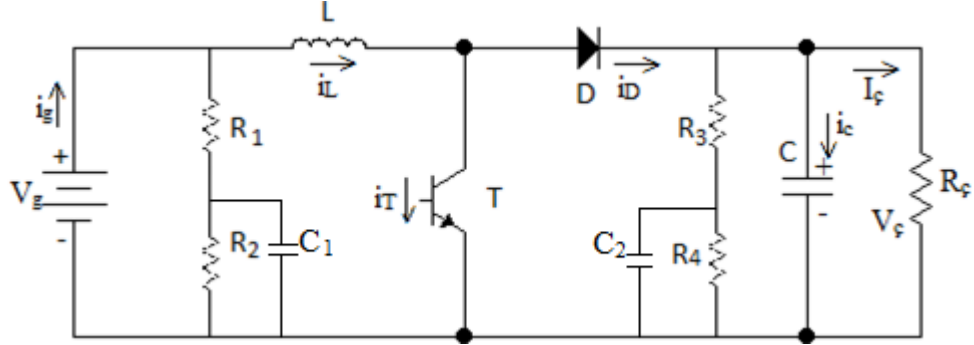
Uygulama, yükseltici DA-DA dönüştürücü devre, kontrol devresi ve besleme devresinden oluşmaktadır. Panelden elde edilen gerilim ve akım, yükseltici DA-DA dönüştürücü devrenin girişine uygulanmış, kontrol devresi ile yarı iletkenin doluluk boşluk oranı ayarlanmış ve besleme devresi ile de kontrol devresinin beslemesi sağlanmıştır. Yüke aktarılan güç yükseltici devrenin çıkışından sağlanmıştır. Şekil 4.1'de kullanılan bütün devreler bir arada görülmektedir.



Şekil 4.1. Algoritmaların uygulandığı deney devreleri

4.1. Yükseltici DA-DA Dönüştürücü Devre

Oluşturulan yükseltici DA-DA dönüştürücü devreye ait devre şeması Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

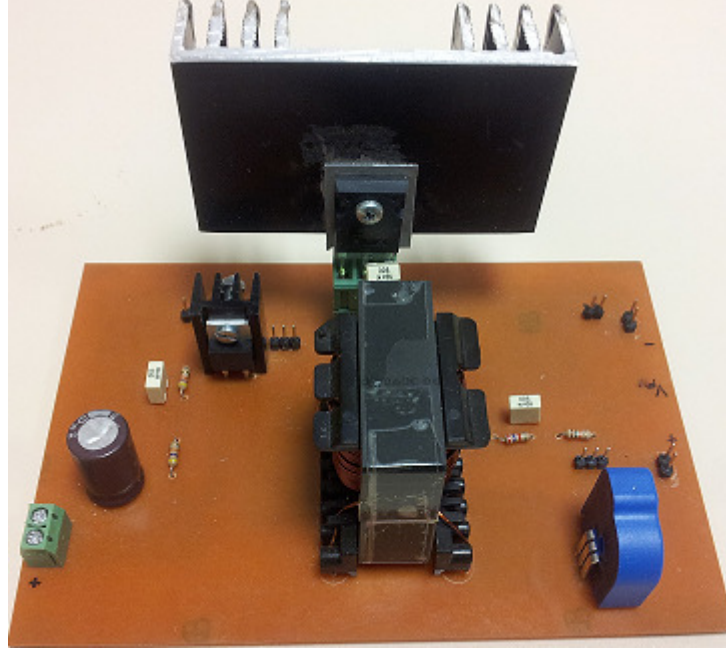


Şekil 4.2. Oluşturulan yükseltici dönüştürücü devrenin devre şeması

Güneş panelinin gerilim uçları, yükseltici DA-DA dönüştürücü devrenin girişine uygulanmıştır. Bir diğer deyişle Şekil 4.1’de V_g ile gösterilen gerilim güneş panelinde elde edilen gerilimdir.

Yarı iletken anahtar iletimdeyken direnç gibi davranır. Bu dirence bağlı olarak yarı iletken anahtar üzerinde kayıplar oluşur. Dolayısıyla bu direncin küçük olması gerekir. Anahtar kesimdeyken, diyotun gerilim düşümü dışında kalan bütün çıkış gerilimi anahtar üzerindedir. Haliyle anahtarın bu gerilime dayanması beklenir. Uygulamada hem bu dayanma gerilimi yüksek hem de iç direnci küçük olan IRFP450 MOSFET’i kullanılmıştır. Kullanılan bu yarı iletken anahtarın doluluk boşluk oranı, kontrol devresi tarafından kontrol edilmektedir.

Devrede kullanılan bobin ferrit nüveye sahip olup, hava aralığı 1,3 mm’dir. Endüktans değeri ise 1,02 mH’dir. Çıkış gerilimini desteklemesi için çıkışa konulan kondansatör değeri 100 μ f’tır. Devredeki R_1 , R_2 , R_3 ve R_4 dirençleri gerilim bölücü olarak eklenmiştir. Yükseltici DA-DA dönüştürücü devrenin giriş ve çıkış gerilim bilgileri bu gerilim bölücü devrelerden elde edilmektedir. Ayrıca giriş akımını ölçmek için LTS-25NP akım transdüseri kullanılmıştır [1].



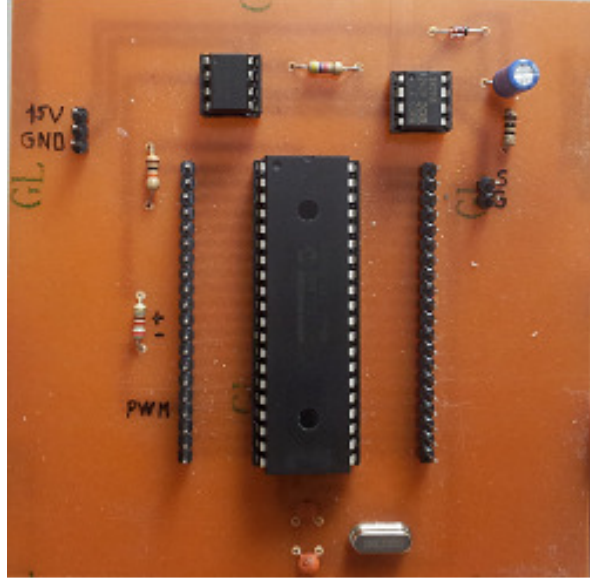
Şekil 4.3. Yükseltici DA-DA dönüştürücü uygulama devresi

Yükseltici DA-DA dönüştürücü devresinde kullanılan diyotun görevi, yarı iletken eleman kesimdeyken çıkış gerilimini üzerinde tutmaktır. Uygulamada kullanılan diyot MUR 840 çok hızlı diyotudur. Uygulamada yapılan yükseltici DA-DA dönüştürücü devresi Şekil 4.3'de görülmektedir.

4.2. Kontrol Devresi

Uygulaması yapılan değiştir gözle ve artan iletkenlik algoritmalarını yükseltici DA-DA dönüştürücü devresine uygulayabilmek için bir kontrol devresine ihtiyaç vardır. Hem değiştir gözle hem de artan iletkenlik yöntemlerinde algoritmaları çalıştırabilmek için panelden alınan akım ve gerilim bilgileri kontrol devresinde kullanılır.

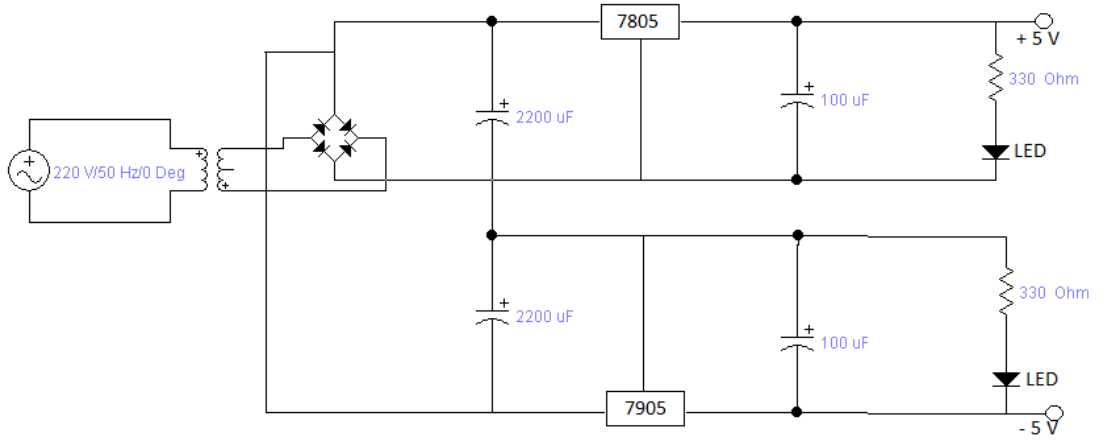
Algoritmaların işlenebilmesi için Microchip marka PIC16F877A entegresi kullanılmıştır. Bu entegre sayesinde algoritmaların çalıştırılması sonucunda elde edilen PWM sinyalleri yükseltici DA-DA dönüştürücü devredeki yarı iletken elemana uygulanır. Ancak bu PWM sinyalleri MOSFET'e doğrudan uygulanamayacağı için PIC16F877A entegresinden çıkan PWM sinyali önce genliğini yükseltmek için 6N136 optokuplöre daha sonrada IR2118 sürücü entegresi üzerinden MOSFET'e uygulanmıştır [1]. Şekil 4.4'de uygulamada kullanılan kontrol devresi görülmektedir.



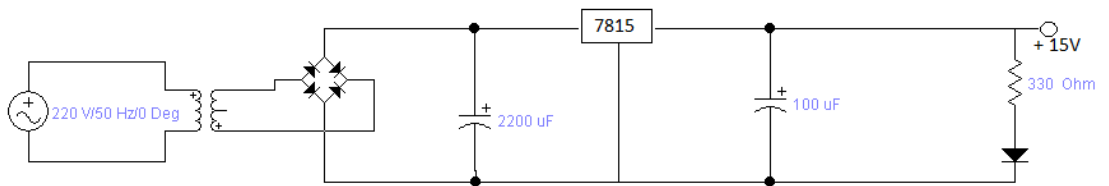
Şekil 4.4. Kontrol Devresi

4.3. Besleme Devresi

Uygulama devrelerinde yer alan sürücü entegresi, mikrodenetleyici ve optokuplör gibi elemanların beslemesini sağlamak üzere $\pm 5V$ DA ve $+15V$ DA gerilim veren besleme devresi oluşturulmuştur. Uygulamada kullanılan $\pm 5V$ DA devresi Şekil 4.5’de, $+15V$ DA devresi de Şekil 4.6’da verilmiştir.



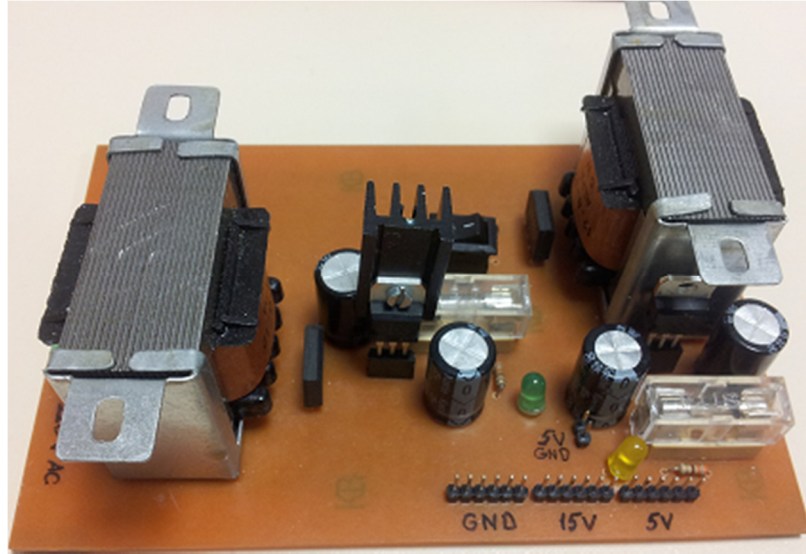
Şekil 4.5. $\pm 5V$ DA Devresi



Şekil 4.6. $+15V$ DA Devresi

Şekil 4.5. ve Şekil 4.6'de görüldüğü üzere öncelikle şebeke gerilimi 12V'a dönüştürülür. Köprü diyot vasıtasıyla doğrultulan gerilim son olarak regüle entegreleriyle 5V ve 15V'a dönüştürülür.

Uygulamada kullanılan $\pm 5V$ DA ve +15V DA devreleri aynı baskı devrede birleştirilmiştir. Uygulamada gerçekleştirilen besleme devresi Şekil 4.6'da görülmektedir.



Şekil 4.6. Besleme Devresi

4.4. Güneş Paneli

Uygulamada maksimum güç noktası aranan, çıkış gücü 90 W, çalışma gerilimi 17,5 V ve çalışma akımı 5,15 A olan, polykristal cinsi güneş paneli kullanılmıştır. Uygulamada kullanılan güneş paneline ait görsel Şekil 4.7'de, panele ait bilgiler ise Tablo 4.1'de verilmiştir.



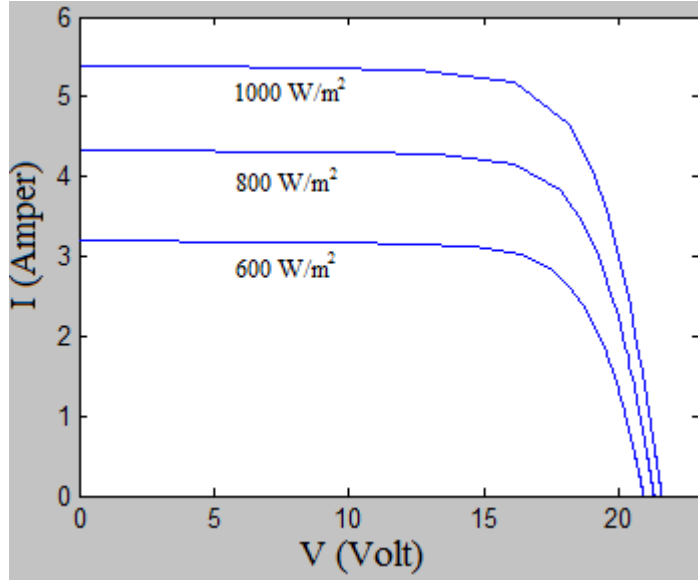
Şekil 4.7. Uygulamada kullanılan güneş paneli

Tablo 4.1. Güneş paneline ait bilgiler

Maksimum Güç (W)	90
Nominal Gerilim (V)	17,5
Nominal Akım (A)	5,15
Açık Devre Gerilimi (V)	21,6
Kısa Devre Akımı (A)	5,42
Hücre Cinsi	Polykristal
Hücre Sayısı (Adet)	36(9x4)
Modül Ebatları (mm)	993x669x35
Kablo ve Konnektör	TUV Sertifikalı
Çerçeve Malzemesi	Alüminyum
Hücre Verimi (%)	14,5
Modül Ağırlığı (kg)	8
Bağlantı Kutusu	TUV Sertifikalı
Güç Toleransı (%)	$\pm \%3$
Ön Cam Kalınlığı (mm)	3,2
Çalışma Sıcaklık Aralığı (C)	-40...+80
Aktarma Diyot Akımı (A)	12

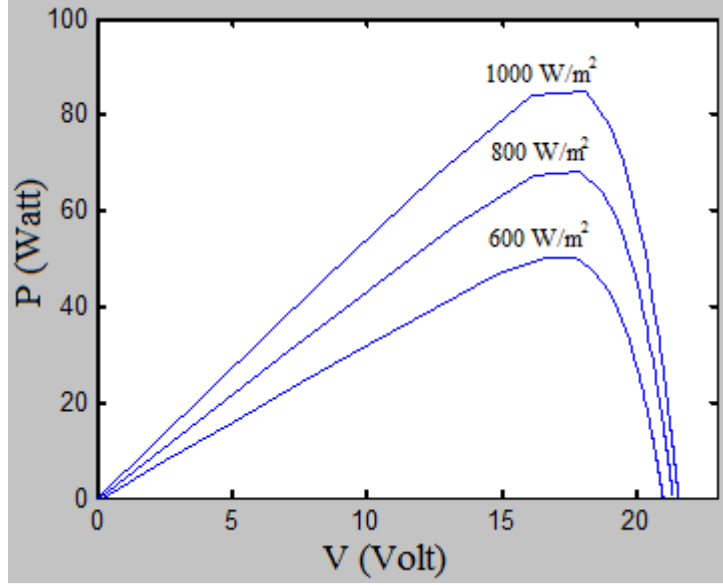
5. UYGULAMA SONUÇLARI

Bu çalışmada doluluk boşluk oranı değişimini referans alan değiştir gözle algoritması ile artan iletkenlik algoritması, farklı yük ve ışınım durumlarında, güneş panelinden yüke maksimum gücü aktarabilmek için yükseltici DA-DA dönüştürücü ile uygulaması yapılarak ve MATLAB programında benzetimleri yapılarak karşılaştırılmıştır.



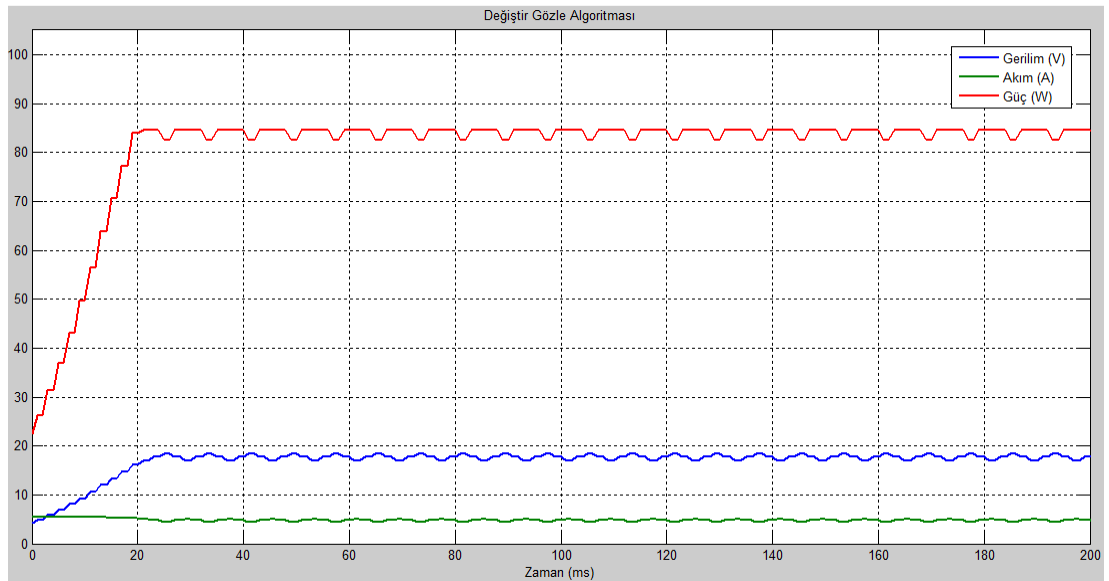
Şekil 5.1. Güneş paneli I-V grafiği

Uygulamada kullanılan güneş panelinin kısa devre akımı, açık devre gerilimi ve maksimum çıkış gücü bilgileri kullanılarak MATLAB Simulink programında yapılan benzetim çalışmasıyla güneş panelinin ideal şartlar altında 25 °C ortam sıcaklığı ve 1000 W/m², 800 W/m² ve 600 W/m² ışınım durumları için I-V ve P-V grafikleri çizdirilmiştir. Güneş paneline ait I-V grafiği Şekil 5.1'de, P-V grafiği de Şekil 5.2'de verilmiştir.



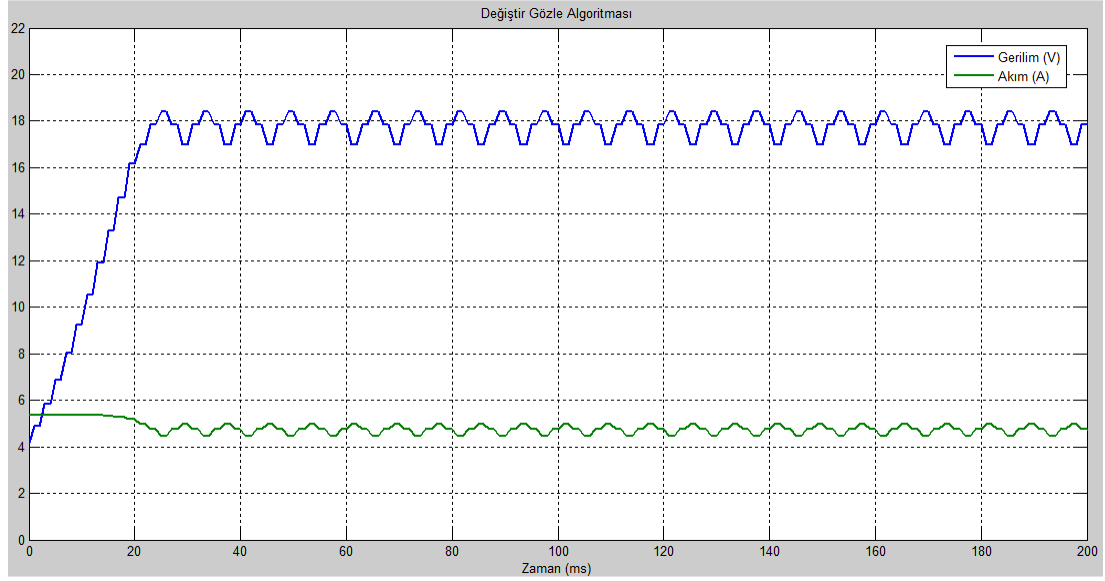
Şekil 5.2. Güneş paneli P-V Grafiği

Algoritmaları MATLAB programında benzetim yaparak karşılaştırabilmek için mevcut güneş panelinin akım gerilim karakteristiği üzerinden 2000 adet akım ve 2000 adet gerilim örneği alınmıştır. Hem değiştir gözle hem de artan iletkenlik algoritmaları MATLAB programında m-file kullanılarak oluşturulmuştur. Her iki algortmada da adımlar arası süre 1 ms olarak belirlenmiştir. değiştir gözle algoritması için gerilim, akım ve güç çıkışları Şekil 5.3’de verilmiştir. Yapılan benzetim sonucunda algoritma maksimum noktayı yaklaşık 19 ms’de yakalamıştır. Algoritmanın maksimum güç noktasında yaptığı salınımlar şekilde görülmektedir.



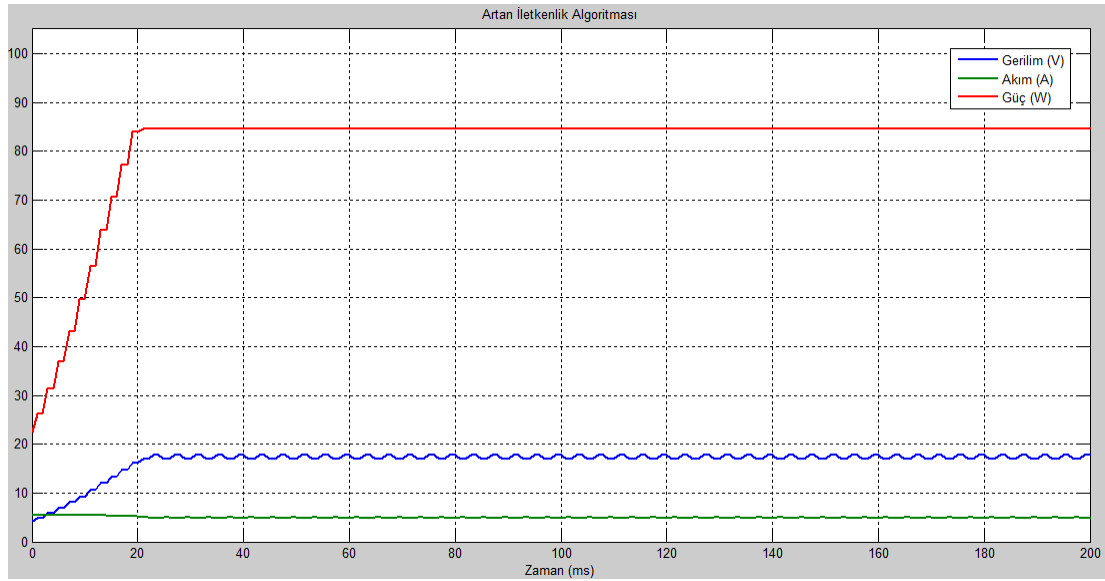
Şekil 5.3. Değiştir gözle algoritması benzetim sonuçları

Değiştir gözle algoritması için yapılan benzetim çalışmasının gerilim ve akım değişimleri Şekil 5.4'de daha açık bir şekilde görülmektedir.

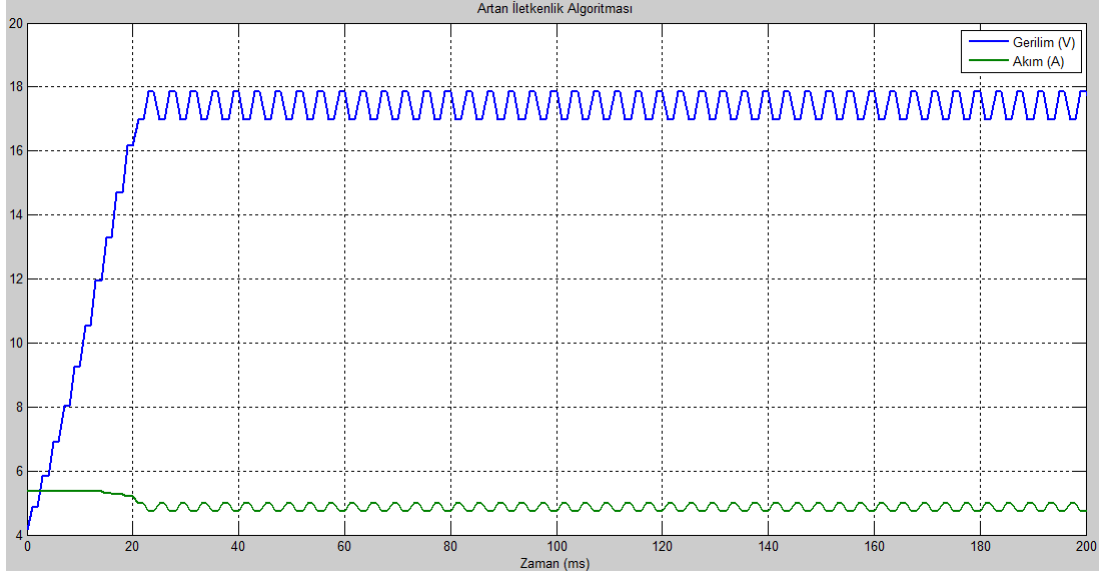


Şekil 5.4. Değiştir gözle algoritması benzetim sonucu, gerilim akım karakteristiği

Artan iletkenlik algoritması için yapılan MATLAB benzetim çalışmasının sonucu Şekil 5.5'de verilmiştir. Bu algoritma da diğeri gibi maksimum noktayı yaklaşık 19 ms'de yakalamıştır. Ayrıca bu algoritma da maksimum güç noktasındaki salınımlar yok denecek kadar azdır.



Şekil 5.5. Artan iletkenlik algoritması için benzetim sonuçları



Şekil 5.6. Artan iletkenlik algoritması benzetim sonucu, gerilim ve akım değişimi

Her iki algoritmada maksimum güç noktasını yaklaşık 19 ms’de yakalamıştır. Dolayısıyla algoritmaların maksimum noktayı yakalama süreleri eşittir denilebilir. Ancak iki algoritmanın da benzetim sonuçlarından açıkça görüldüğü üzere artan iletkenlik algoritması maksimum güç noktasında yaptığı salınım değiştir gözle algoritmasına göre daha azdır.

Tablo 4.1’de görüldüğü üzere güneş panelinin çıkış gücü 90 W’tır. Güneş panelinin uçları, uygulamanın yapıldığı laboratuvar ortamına indirilmiş ve güneş paneli ile deney masası arasında yaklaşık 45-50 metre kablo kullanılmıştır. Kullanılan kabloda oluşan gerilim düşümü sonucunda 90 W’lık panelden uygulama ortamında maksimum 65 W mertebelerinde bir güç ölçülmüştür. 65 W mertebelerinde bir güç elde edilmiştir. Kullanılan DA-DA dönüştürücü devresinin verimi ise %83-85 olup çıkıştaki yüke aktarılacak maksimum güç 55W olarak tespit edilmiştir.

Algoritmalar farklı yük ve ışınım koşullarında ölçümler alınarak karşılaştırılmıştır. Uygulama sonuçlarında izlenen gerilim ve akım değişimleri yükseltici DA-DA dönüştürücü devresinin çıkışına bağlanan yük üzerinden okunmuştur.

İlk durumda değiştir gözle algoritması için, algoritmanın işlem basamakları arasındaki bekleme süresi 1 ms olarak ayarlanmış, yükseltici DA-DA dönüştürücü devresinin çıkışına 46 Ω yük bağlanmış ve algoritmanın maksimum güç noktasındaki gerilim ve

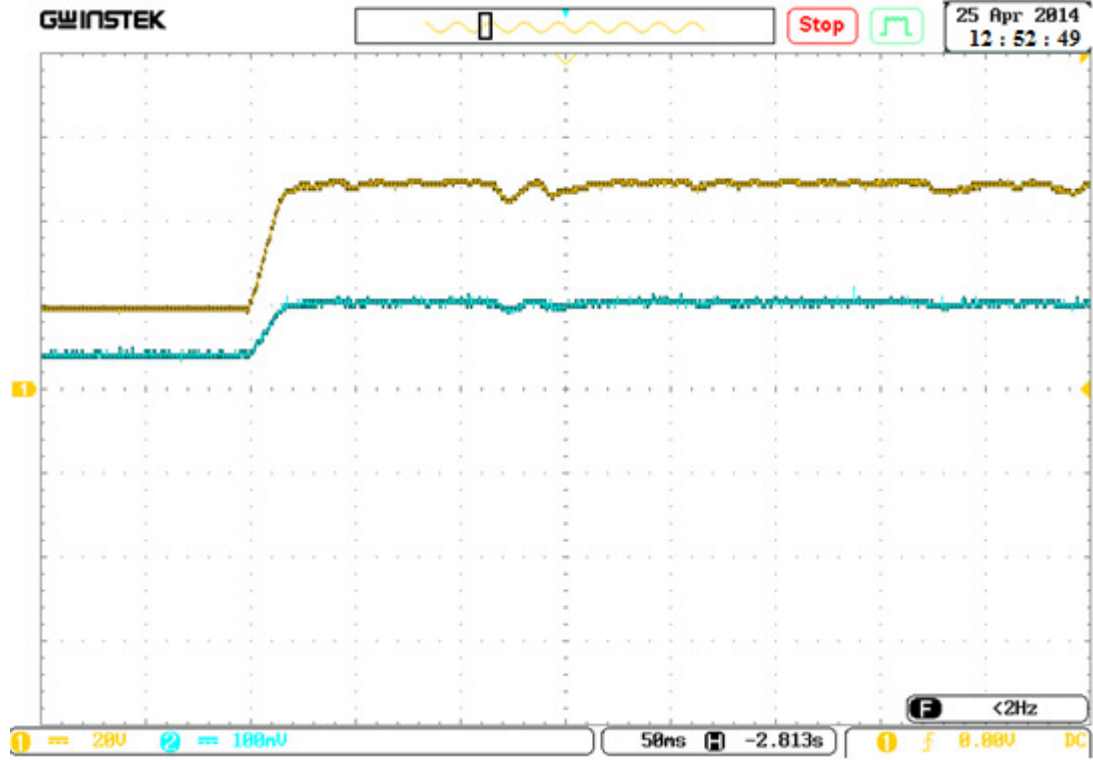
akım değişimleri izlenmiştir. 1000 W/m^2 sabit ışınım ve $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ortam sıcaklığı altında alınan gerilim ve akım sonuçları Şekil 5.7’de verilmiştir.

Çıkış yüküne bağlanan akım probu için çevirme oranı 100 mV için 1 A’dir. Yani grafiklerdeki mavi çizgiler akımı temsil etmekte ve her dikey kare 1 A’i göstermektedir. Gerilim için ise Volt/div 20 V olup sarı çizgiler için her bir dikey kare 20 V’u göstermektedir.



Şekil 5.7. Değiştir gözle algoritması, adımlar arası süre 1 ms için çıkış

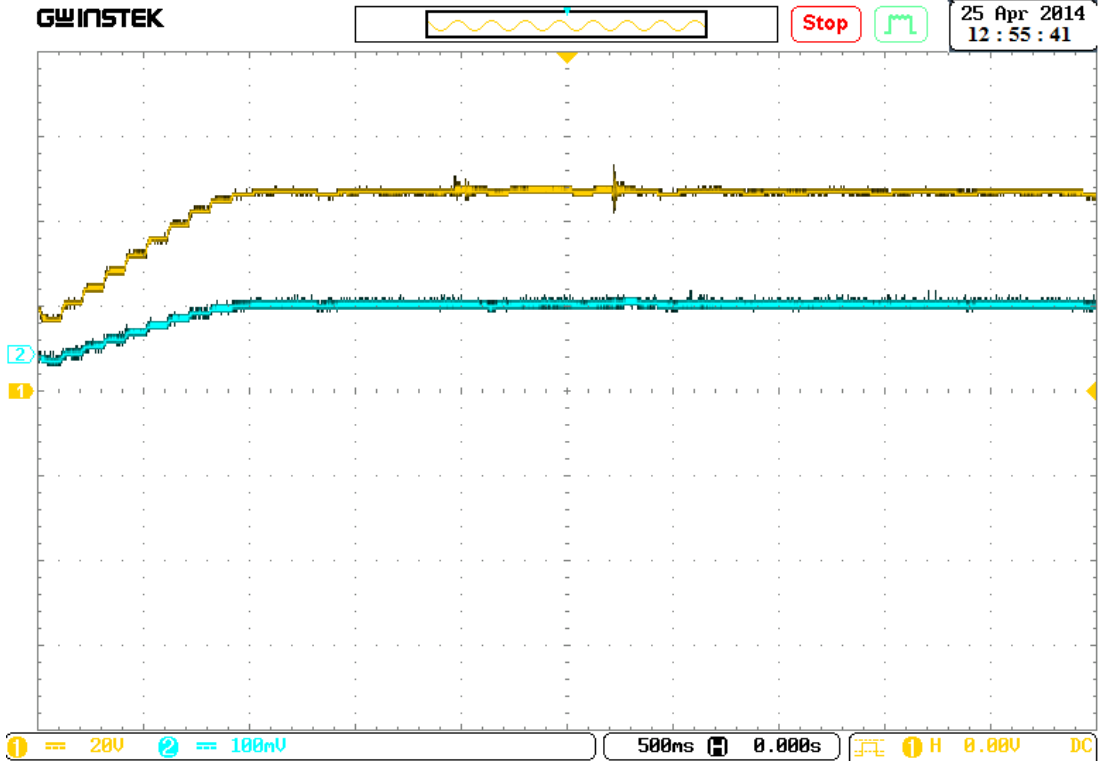
Değiştir gözle algoritması, maksimum güç noktasına ms’ler mertebesinde ulaşmıştır. Şekil 5.7’de görüldüğü üzere yükseltici DA-DA dönüştürücü’nün çıkışına bağlanan $46 \text{ } \Omega$ ’luk yükün uçlarından okunan gerilim 48 V ve akım 1,1 A’dir. Bir diğer ifadeyle yükseltici DA-DA dönüştürücü devresinin çıkış gücü 52,8 W’tır. Şekil 5.7’deki osiloskop görüntüsünün daha detaylı bir hali Şekil 5.8’de verilmiştir. Şekil 5.8’deki grafiklerde algoritmanın maksimum noktayı yaklaşık 20 ms’de yakaladığı açıkça görülmektedir.



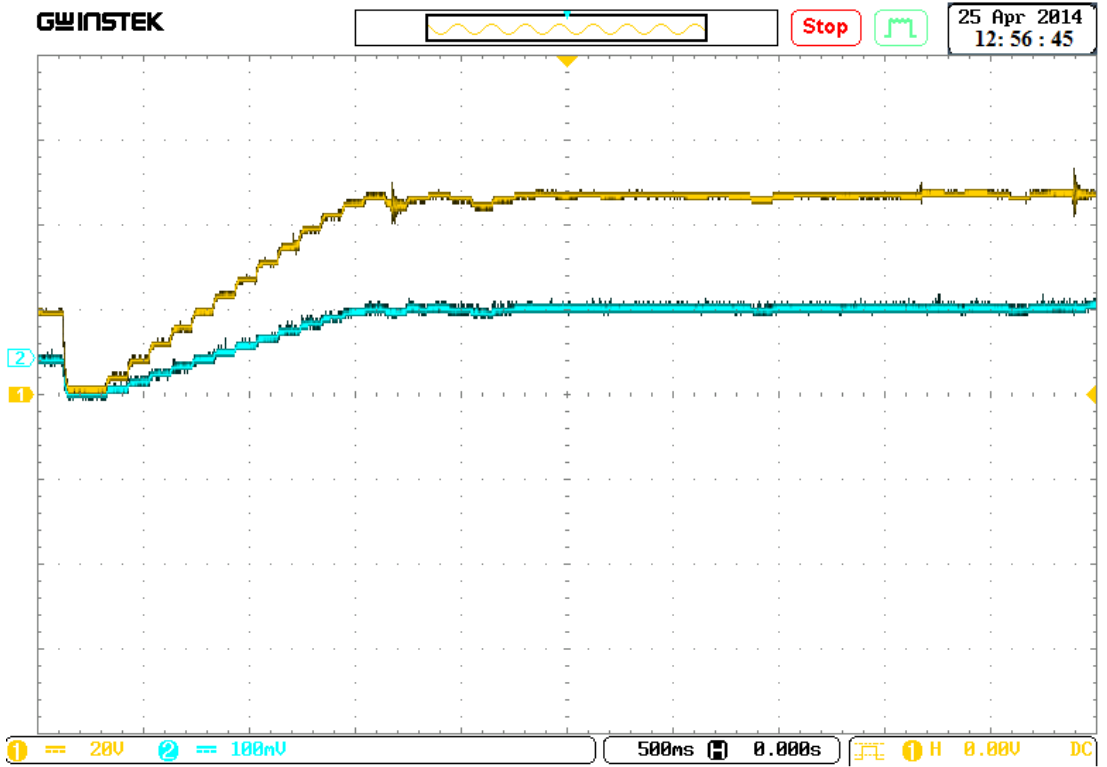
Şekil 5.8. Değiştir gözle algoritması, adımlar arası süre 1 ms için çıkış detayı

Dalila Beriber ve Abdelaziz Talha 2013 yılında yaptıkları çalışmada algoritmaları uygularken kullanılan adım büyüklüğünün çok küçük olmasının maksimum nokta üzerindeki salınımları arttıracığını, adım büyüklüğünün artırılarak daha doğru bir güç takibi yapılabileceğini ancak adım büyüklüğünü fazla artırılması durumunda algoritmanın değişen çevre koşullarına karşı tepkisiz kalabileceğini söylemişlerdir. Bu durumda adım büyüklüğü ayarlanırken optimum noktanın yakalanabilmesi oldukça önemlidir.

Şekil 5.7’de açıkça görüldüğü üzere akım ve gerilim değişimlerinde çökmeler meydana gelmiştir. Bunun sebebi bekleme süresinin 1 ms olması durumunda DA-DA dönüştürücünün cevap verme süresi algoritmanın çalışma hızından yavaş kalmış ve algoritmanın hatalı çalışmasına neden olmuştur. Şekil 5.8’deki detaylı grafikte de yer yer maksimum noktadan uzaklaşıldığı görülmektedir. Adım büyüklüğü 100 ms’ye çıkarıldıktan sonra algoritmanın maksimum noktayı daha doğru izlemeye başladığı Şekil 5.9’ da görülmektedir.



Şekil 5.9. Değiştir gözle algoritması, adımlar arası süre 100 ms ve çıkış yükü 46 Ω

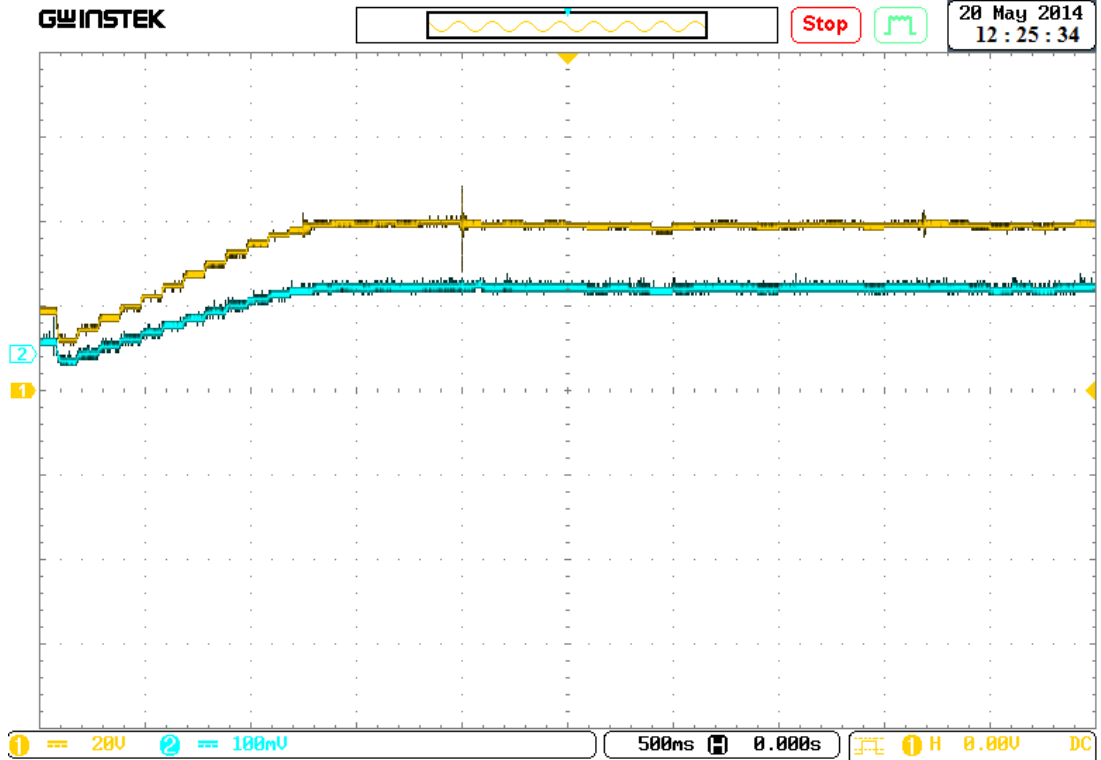


Şekil 5.10. Artan iletkenlik algoritması, ışınlım 1000 W/m² ve çıkış yükü 46 Ω

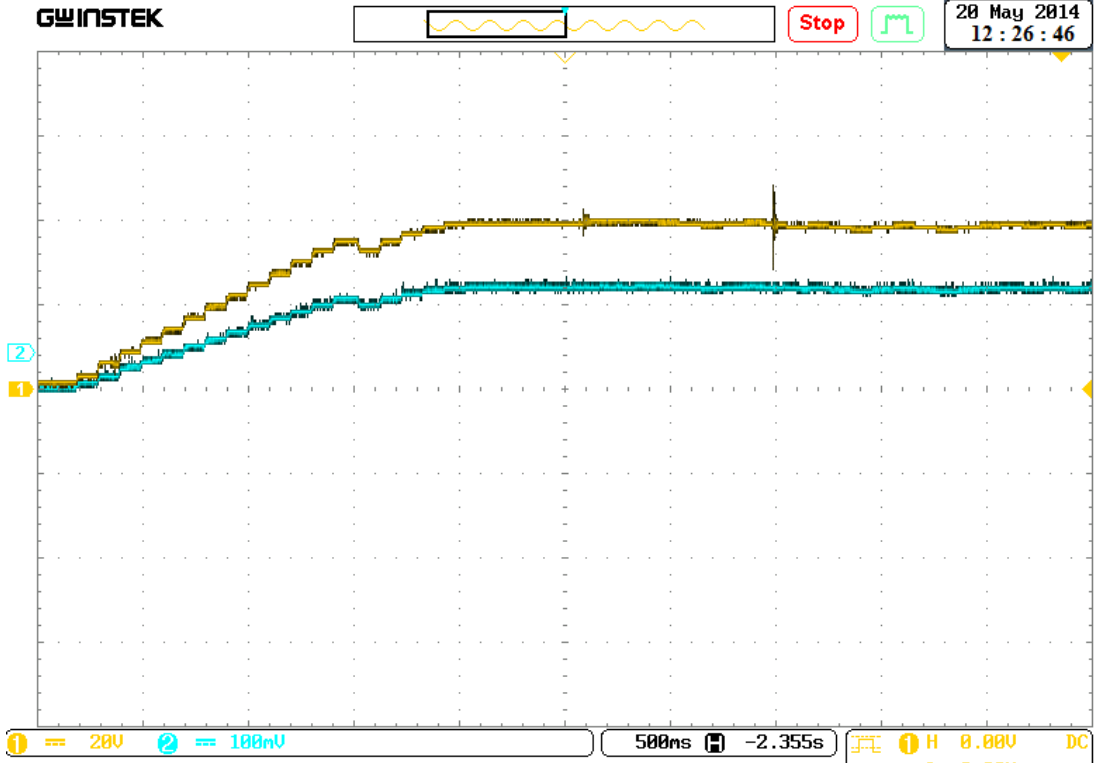
1000 W/m² sabit ışınım ve 25 °C ortam sıcaklığında yükseltici DA-DA dönüştürücü devrenin çıkışına bağlanan 46 Ω için artan iletkenlik algoritması sonucu Şekil 5.10'da verilmiştir.

46 Ω yük ve 1000 W/m² ışınım için alınan sonuçlar kıyaslandığında değiştir gözle algoritmasının maksimum güç noktasına daha hızlı ulaştığı ve artan iletkenlik algoritmasıyla hemen hemen aynı seviyede bir karakteristik çizdiği söylenebilir. Her iki grafikte de akım ve gerilim eğrilerine bakılırsa, iki grafikte de gerilimin 47 V seviyelerinde akımın da 1,1 A seviyelerinde olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre iki algoritmanın maksimum güç noktasını izleme performansı benzerdir.

Farklı koşullar altında algoritmaların performanslarını kıyaslamak için yükseltici DA-DA dönüştürücü devrenin çıkış yükü 33 Ω yapılmıştır. 1000 W/m² sabit ışınım ve 25 °C ortam sıcaklığı için değiştir gözle algoritması kullanılarak alınan ölçüm sonucu Şekil 5.11'de, artan iletkenlik algoritması için ölçüm sonucu Şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.11. Değiştir gözle algoritması, ışınım 1000 W/m² ve çıkış yükü 33 Ω

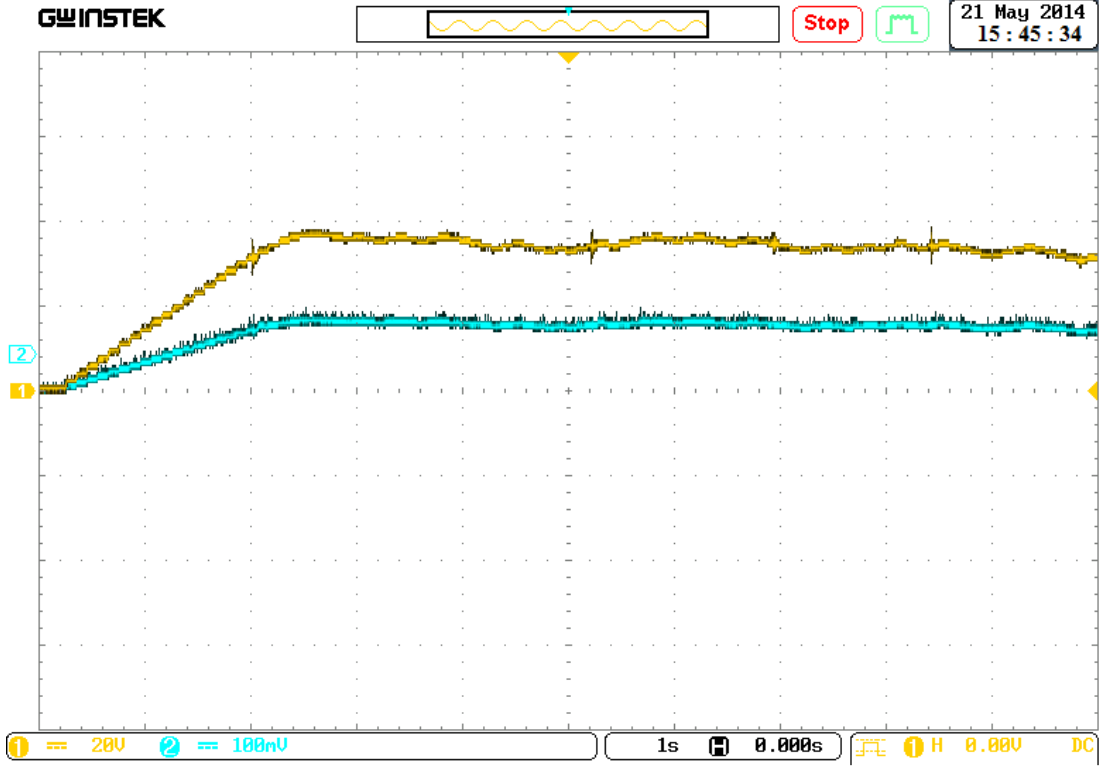


Şekil 5.12. Artan iletkenlik algoritması, ışınlım 1000 W/m^2 ve çıkış yükü 33Ω

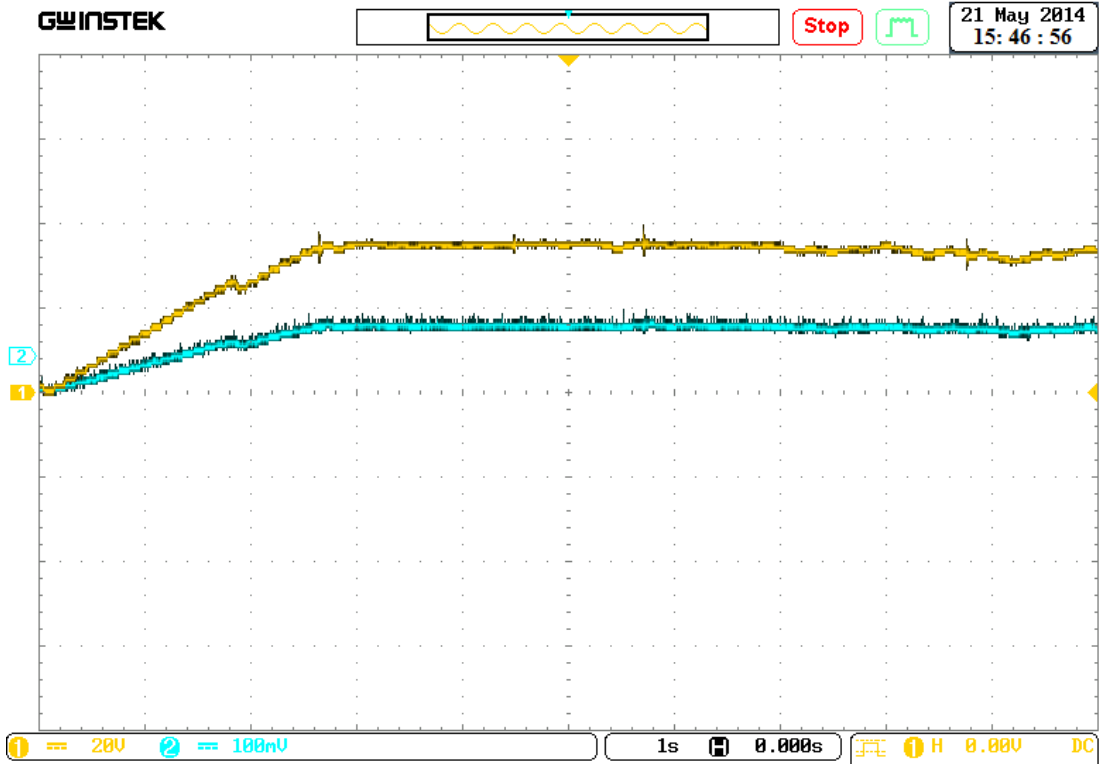
Her iki algoritmada 1000 W/m^2 ışınlım ve 33Ω yük altında aynı gerilim ve akım noktalarını yakalamıştır. Yani iki algoritma da değişen çıkış yüklerine karşılık aynı performansta çalışmaktadır. Ancak maksimum noktayı yakalama sürelerine bakıldığında değiştir gözle algoritmasının biraz daha hızlı oluşu söylenebilir.

Algoritmaların düşük ışınlım durumlarında ki performanslarını test etmek için önce 600 W/m^2 ışınlım altında sonuçlar alınmıştır. Değiştir gözle algoritmasına ait ölçüm sonucu Şekil 5.13’de, artan iletkenlik algoritmasına ait ölçüm sonucu Şekil 5.14’de verilmiştir.

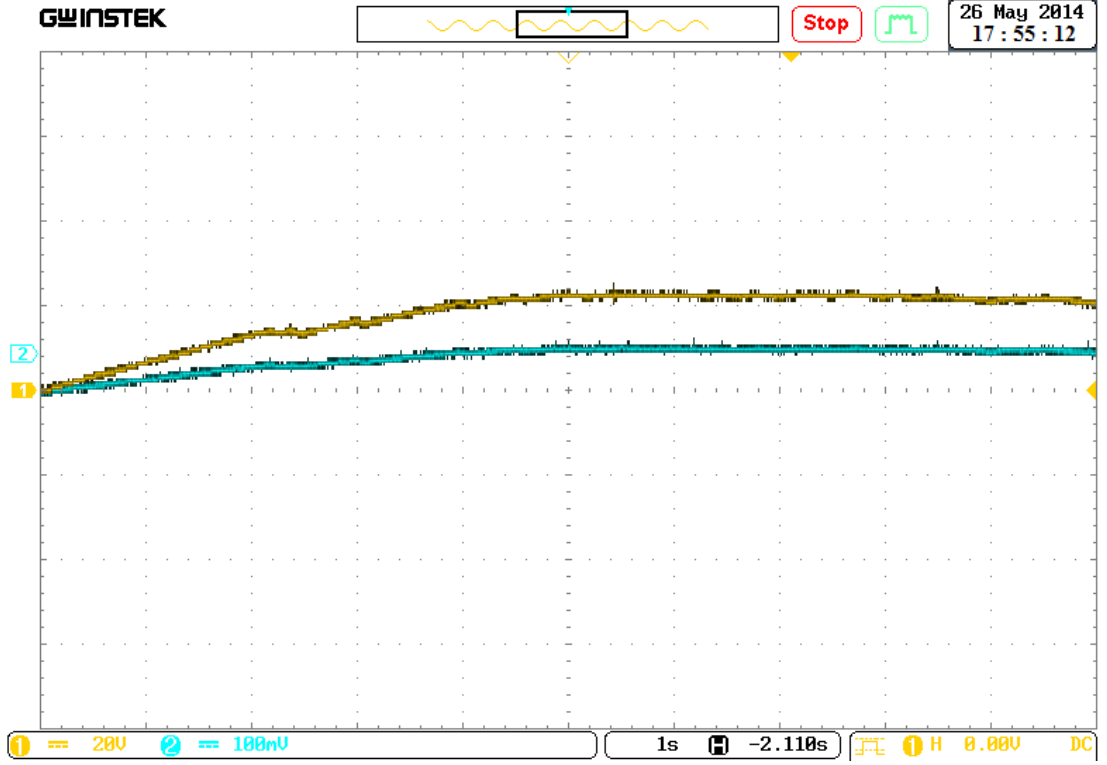
150 W/m^2 ’lik düşük ışınlımdaki performanslarına ilişkin sonuçlar, değiştir gözle algoritması için Şekil 5.15, artan iletkenlik algoritması için de Şekil 5.16’de verilmiştir.



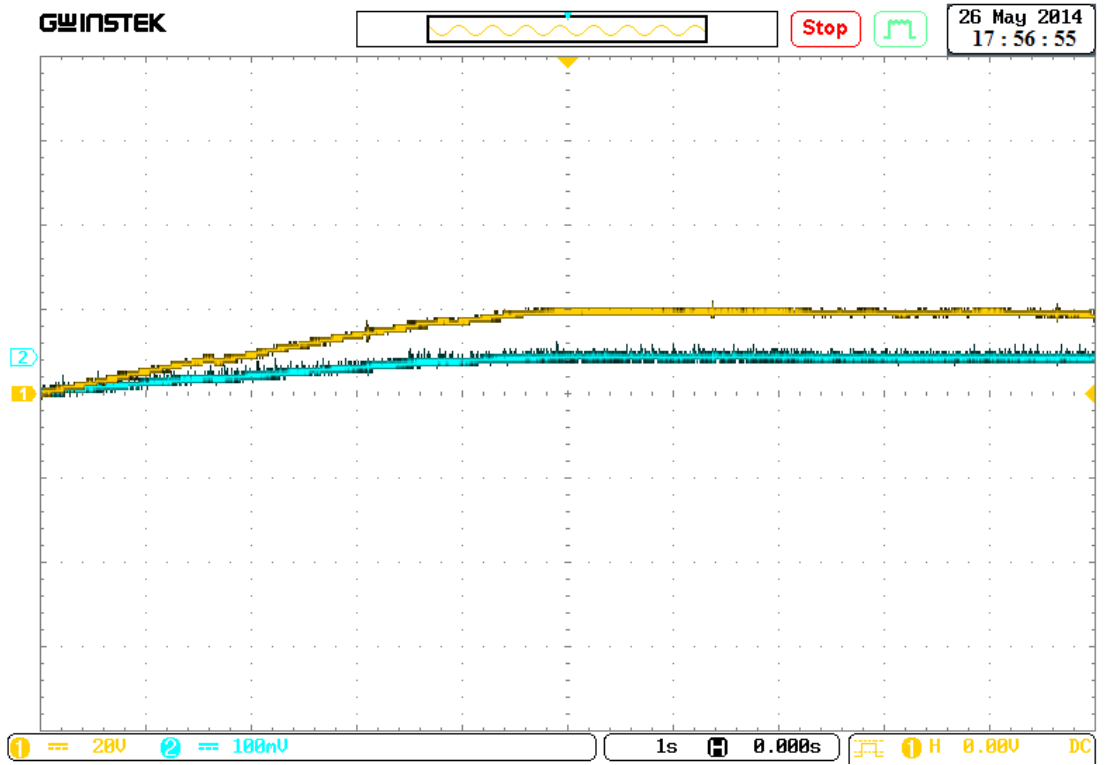
Şekil 5.13. Değişir gözle algoritması, 600 ışınım W/m^2 için sonuçlar



Şekil 5.14. Artan iletkenlik algoritması, 600 W/m^2 ışınım için sonuçlar



Şekil 5.15. Değiştir gözle algoritması, 150 W/m² ışınım için sonuçlar

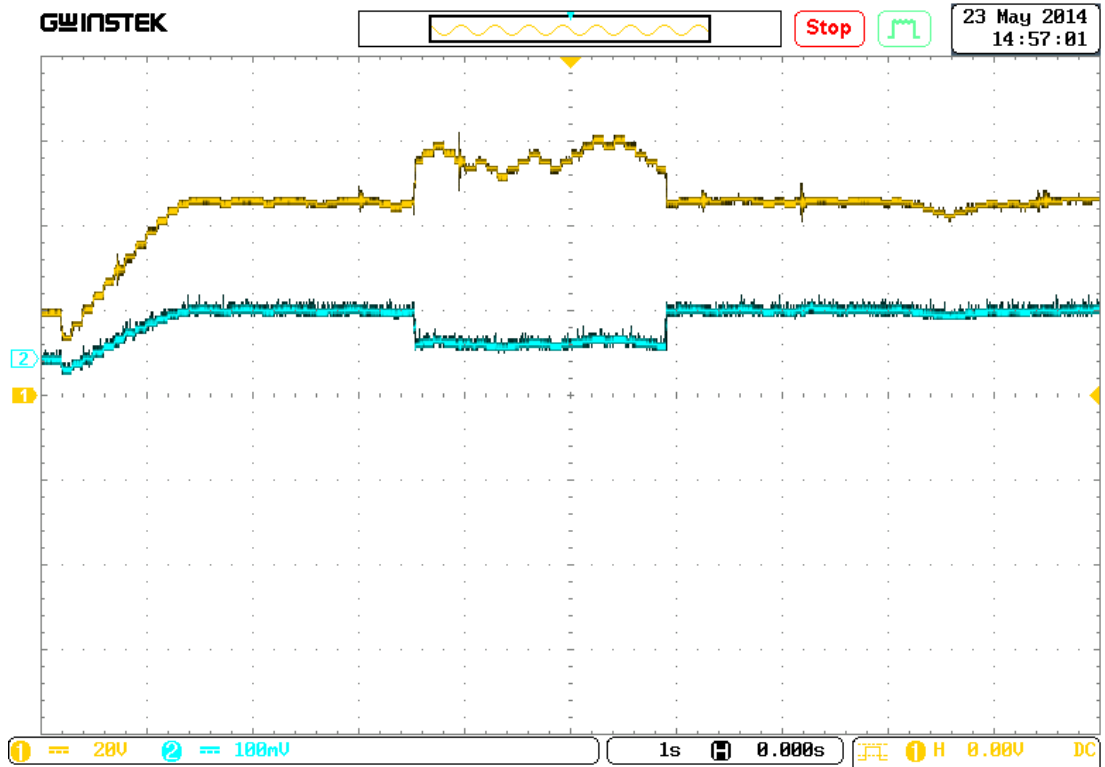


Şekil 5.16. Artan iletkenlik algoritması, 150 W/m² ışınım için sonuçlar

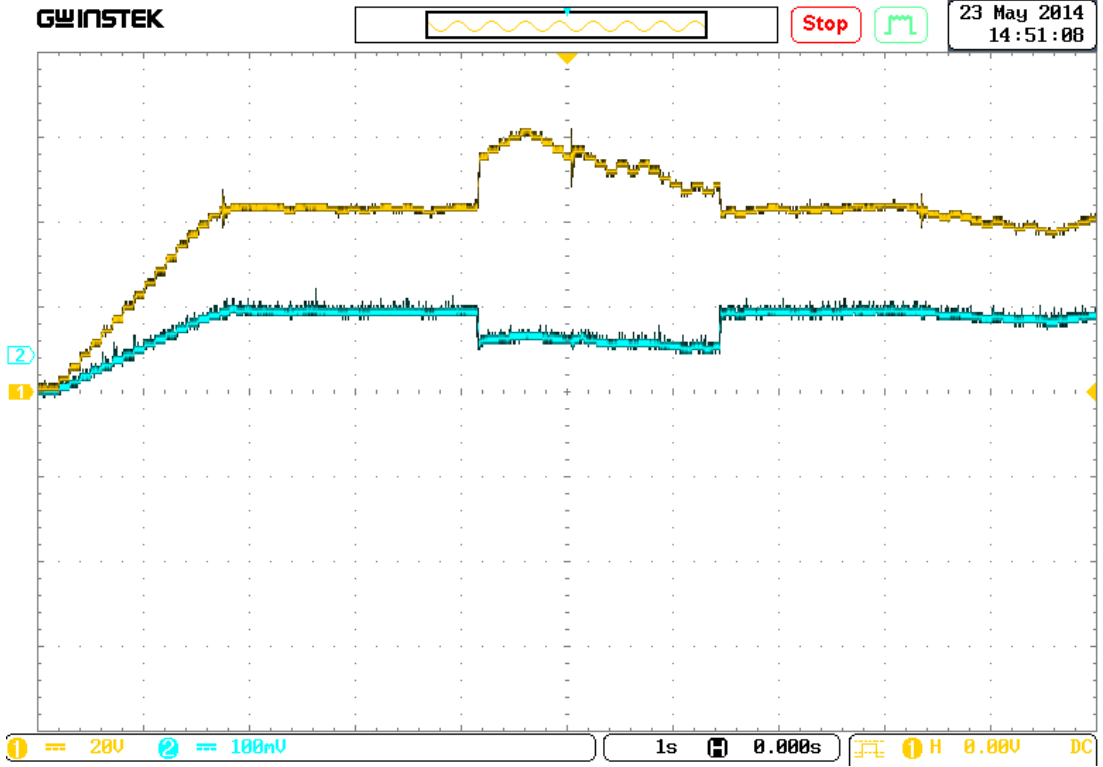
Şekillerden anlaşılacağı üzere ışınım değeri düştükçe değiştir gözle algoritması maksimum noktayı takip etmekte zorlanmaya başlanmıştır. Ancak artan iletkenlik algoritması ışınım değerlerinin düşmesine rağmen maksimum güç noktasını takip etmeyi sürdürmüştür. Maksimum noktayı yakalama süreleri için hemen her koşulda değiştir gözle algoritması daha hızlıdır denilebilir.

Değişen çevre koşullarına uyum sağlama açısından artan iletkenlik algoritması değiştir gözle algoritmasına göre öndedir. Ancak yüksek ışınım durumlarında görüldüğü gibi maksimum noktayı yakalama süresi açısından değiştir gözle algoritmasının daha iyi olduğu söylenebilir.

Algoritmaların değişen yükler altında nasıl performanslar sergilediğini görmek için yükseltici DA-DA dönüştürücü devrenin çıkışına önce 46 Ω yük bağlanmış ve algoritma bu yük değeri için maksimum noktayı yakalayınca kısa bir süreliğine çıkış yükü iki katına çıkarılmıştır. Bu durumda değiştir gözle algoritmasının sergilediği performans Şekil 5.17’de, artan iletkenlik algoritmasının sergilediği performans ise Şekil 5.18’de verilmiştir.



Şekil 5.17. Yük değişiminde değiştir gözle algoritmasının performansı



Şekil 5.18. Yük değişiminde artan iletkenlik algoritmasının performansı

Değişen yükler altında değiştir gözle algoritmasının performansına bakıldığında 46Ω için maksimum noktayı yakalamış, 2 saniyelik yük 92Ω 'a çıkarıldığında ise azalan akım ve artan gerilime karşılık algoritma yeni yük değeri için maksimum noktayı yakalama çalışmıştır.

Artan iletkenlik algoritması da değişen yük durumu için maksimum noktayı yeniden hesaplamış ve bu noktada kalmaya çalışmıştır. Ancak şekillerden açıkça görüldüğü üzere değiştir gözle algoritması bu konuda daha başarılı olmuştur. 2 saniyelik yük değişimi esnasında artan iletkenlik algoritması maksimum noktadan uzaklaşmaya başlarken diğer algoritma bu noktaya daha çok yakın durmuştur. 2 saniye sonunda yük değeri yeniden 46Ω düşürüldüğünde ise her iki algoritmada bir önceki maksimum noktayı yakalamayı başarmıştır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Güneş panellerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan değiştir gözle ve artan iletkenlik algoritmaları yükseltici DA-DA dönüştürücü kullanılarak değişik çevre koşulları ve yük durumları için karşılaştırılmış ve performansları izlenmiştir.

Güneş paneline ait açık devre gerilimi ve kısa devre akımı bilgileri kullanılarak MATLAB programında güneş panelinin gerilim - akım ve güç - gerilim karakteristikleri çıkarılmış, algoritmaların m-file kullanılarak MATLAB programında benzetimi yapılmıştır.

Algoritmalara ait farklı çevre koşulları için yükseltici DA-DA dönüştürücü devresinin çıkışına ait gerilim ve akım karakteristikleri karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır. Alınan sonuçlara göre yüksek ışınımlarda iki algoritmanın performansı birbirine yakındır. Ancak düşük ışınımlarda artan iletkenlik algoritmasının diğer algoritmaya göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Maksimum güç noktasını yakalama süreleri kıyaslandığında değiştir gözle algoritmasının daha başarılı olduğu izlenmiştir. Ani yük değişimi durumlarında değiştir gözle algoritması daha iyi performans sergilemiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Başıoğlu M. E., Güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan maksimum güç izleyicili yükseltici DA-DA dönüştürücü analizi ve gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2013, 323167.
- [2] Esham T., Chapman P. L., Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques, *Energy Conversion*, 2007, **22**, 439-449.
- [3] Liu F., Kang Y., Zhang Y., Duan S., Comparison of P&O and hill climbing MPPT methods for grid-connected PV converter, *Industrial Electronics and Applications*, DOI: 10.1109/ICIEA.2008.4582626.
- [4] Faranda R., Leva S., Maugeri V., MPPT techniques for PV systems: energetic and cost comparison, *Power and Energy Society*, DOI: 10.1109/PES.2008.4596156.
- [5] Petreus D., Moga D., Rusu A., Patarau T., Daraban S., A maximum power point tracker for a photovoltaic system under changing luminosity conditions, *International Symposium on Industrial Electronics*, Bari, 4-7 July 2010.
- [6] Coelho R. F., Concer F. M., Martins D. C., A simplified analysis of DC-DC converters applied as maximum power point tracker in photovoltaic systems, *Power Electronics for Distributed Generation Systems*, DOI: 10.1109/PEDG.2010.5545753.
- [7] Safari A., Mekhilef S., Incremental conductance MPPT method for PV systems, *24th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, Niagara Falls, ON, 8-11 May 2011.
- [8] 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.
- [9] Jie D., Chun-jiang Z., Yan-bang L., Comparison of duty ratio perturbation and observation and reference voltage perturbation and observation methods applied in MPPT, *Power Electronics and Motion Control Conference*, China, 2-5 June 2012.
- [10] Abouobaida H., Cherkaoui M., Comparative study of maximum power point trackers for fast changing environmental conditions, *Int. Conference on Multimedia Computing and Systems*, Tangier, 10-12 May 2012.

- [11] Ali A. N. A., Saied M. H., Mostafa M. Z., Moneim T. M. A., A survey of maximum power point tracking of photovoltaic systems, *Energytech*, 2012, DOI: 10.1109/Energytech.2012.6304652.
- [12] Subudhi B., Pradhan R., A comparative study on maximum power point tracking techniques for photovoltaic power systems, *Sustainable Energy*, 2013, **4**, 89-98.
- [13] Banu I. V., Beniuga R. Istrate M., Comparative analysis of the perturb-and-observe and incremental conductance MPPT methods, *8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering*, Bucharest, 23-25 May 2013.
- [14] Dhar S., Sridhar R., Mathew G., Implementation of PV cell based standalone solar power system employing incremental conductance MPPT algorithm, *Int. Conference on Circuits, Power and Computing Technologies*, Nagercoil, India, 20-21 March 2013.
- [15] Beriber D., Talha A., MPPT techniques for PV systems, *Power Engineering, Energy and Electrical Drives*, Istanbul, Turkey, 13-17 May 2013.
- [16] Sahu T. P., Dixit T. V., Modelling and analysis of perturb & observe and incremental conductance MPPT algorithm for PV array using cuk converter, *IEEE Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science*, Bhopal, India, 1-2 March 2014.
- [17] Yenilenebilir Enerji Raporu, Doğu Marmara Kalkınma Ajansı, 11, Temmuz 2011.
- [18] *Enerji Yatırımcısı El Kitabı*, Enerji Piyasaları Düzenleme Kurulu (EPDK), 2012.
- [19] <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> (Ziyaret Tarihi: 01 Ekim 2013).
- [20] http://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=88369#.U3NVBBtZrIU (Ziyaret tarihi: 14 Mayıs 2014).
- [21] http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx (Ziyaret Tarihi: 10 Ocak 2014).
- [22] http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/guneskollektor_files/guneskollektor_clip_image003.jpg (Ziyaret Tarihi: 15 Mayıs 2014).
- [23] <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/gunespv.html> (Ziyaret Tarihi: 11 Ocak 2014).
- [24] Çetinkaya H. B., Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001, 105915.
- [25] Özgöçmen A., Güneş pili kullanarak elektrik üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007, 201105.

- [26] Mah O., Fundamentals of photovoltaic materials, University of San Francisco, <http://userwww.sfsu.edu/ciotola/solar/pv.pdf> (Ziyaret Tarihi: 04 Mart 2014).
- [27] <http://www.elektrikburada.com/urunler/62-monokristal-solar-hucreler.htm> (Ziyaret Tarihi: 21 Eylül 2013).
- [28] <http://www.elektrikburada.com/urunler/5-solar-hucreler.html> (Ziyaret Tarihi: 21 Eylül 2013).
- [29] http://www.alternaturk.org/gunes_pili_malzeme.php (Ziyaret Tarihi: 21 Eylül 2013).
- [30] <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news> (Ziyaret Tarihi: 21 Eylül 2013).
- [31] <http://www.marintekstore.com/?catId=318&pId=8394&gId=4252> (Ziyaret Tarihi: 21 Eylül 2013).
- [32] <http://gunesenerjisi.uzerine.com/index.jsp?objid=691> (Ziyaret Tarihi: 21 Eylül 2013).
- [33] Köroğlu T., Teke A., Bayındır K. Ç., Tümay M., Güneş paneli sistemlerinin tasarımı, *Çukurova Elektrik Mühendisliği Dergisi*, 2010, **439**, 98-104.
- [34] <http://www.gensed.org/pdf/PV-ElektrikUretimi.pdf> (Ziyaret Tarihi: 01 Şubat 2014).
- [35] Dolara A., Faranda R., Leva S., Energy Comparison of Seven MPPT Techniques for pv systems, *Journal of Electromagnetic Analysis & Applications*, 2009, **3**, 152-162.
- [36] Khatib T. T. N., Mohamed A., Amin N., Sopian K., An efficient maximum power point tracking controller for photovoltaic systems using new boost converter design and improved control algorithm, *WSEAS Transactions Power Systems*, 2010, **5**, 53–63.
- [37] Phang J. C. H., Chan D. S. H., Phillips J. R., Accurate analytical method for the extraction of solar cell, *Electron. Lett.*, 1984, **20**, 406–408.
- [38] Ahmad J., A Fractional Open Circuit Voltage Based Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Arrays, *2nd Int Conference on Software Technology and Engineering*, San Juan, PR, 3-5 November 2010.
- [39] Femia N., Granozio D., Petrone G., Spagnuolo G., Vitelli M., Optimized one-cycle control in photovoltaic grid connected applications for photovoltaic power generation, *Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 2006, **42**, 954–972.
- [40] Kitano T., Matsui M., Xu D., Power sensor-less MPPT control scheme utilizing power balance at DC link-system design to ensure stability and response, *Industrial Electronics Society*, Denver, CO, 29 November – 2 December 2001.

- [41] Salas V., Olias E., Lazaro A., Barrado A., Evaluation of a new maximum power point tracker applied to the photovoltaic stand-alone systems, *Solar Energy Materials: Solar Cells*, 2005, **87**, 807–815.
- [42] Li-gun L., Zhi-xin., A rapid MPPT algorithm based on the research of solar cell's diode factor and reverse saturation current, *WSEAS Transactions on Systems and Control*, 2008, **7**, 568-579.
- [43] Shmilovitz D., On the control of photovoltaic maximum power point tracker via output parameters, *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, 2005, **12**, 239–248.
- [44] Mohan N., Undeland T. M., Robbins P. W., *Converters Applications and Design Second Edition*, John Wiley High Education, USA, 1995.
- [45] Bodur H., *Güç Elektronigi Temel Analiz ve Sayisal Uygulamalar*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2010.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Keskin Y. E.**, Basa Arsoy A., Çakır B., Tekdemir İ. G., Gerilim Kaynağının Yerinin Belirlemede Kullanılan Yöntemlerin İncelenmesi, *Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, Kocaeli, 23-24 Mayıs 2013
- [2] **Keskin Y. E.**, Başoğlu M. E., Çakır B., Gerilim Çökmesi Yaratın Kısa Devre Arızalarının Yerinin Mesafe Rölesi ile Bulunması, *3e Electrotech*, 2013, **227**, 126 - 130

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Şanlıurfa'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Şanlıurfa'da tamamladı. 2005 yılında girdiği Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nden 2010 yılında mezun oldu. 2012 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.