

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FOTOVOLATAİK GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE KULLANILAN
MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP EDİCİLER İÇİN FARKLI
ALGORİTMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI**

ALİ DURUSU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. MUĞDEŞEM TANRIÖVEN**

İSTANBUL, 2011

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE KULLANILAN
MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP EDİCİLER İÇİN FARKLI
ALGORİTMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI**

ALİ DURUSU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. MUĞDEŞEM TANRIÖVEN**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SİTEMLERİNDE KULLANILAN MAKSİMUM
GÜÇ NOKTASI TAKİP EDİCİLER İÇİN FARKLI ALGORİTMALARIN
KARŞILAŞTIRILMASI

Ali DURUSU tarafından hazırlanan tez çalışması 17/06/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Muğdeşm TANRIÖVEN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Muğdeşm TANRIÖVEN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hakan ÜNDİL

İstanbul Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. U. Savaş SELAMOĞULLARI

Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmanın yürütülmesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen ve tecrübeleri ile daima destek olan danışman hocam sayın Doç. Dr. Muğdeşem TANRIÖVEN'e, çalışmalarımın her aşamasın da özverili bir şekilde bana destek olan ve yol gösteren Arş. Gör. İsmail NAKİR'e ve Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı'ndaki hocalarım ve asistan arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tüm öğrenim hayatım boyunca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkürü borç bilirim.

Haziran, 2011

Ali DURUSU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	2
BÖLÜM 2	4
GÜNEŞ ENERJİSİ VE FOTOVOLTAİK SİSTEMLER	4
2.1 Güneşten Yeryüzüne Ulaşan Enerji.....	4
2.2 Türkiye’de Güneş Enerjisi	7
2.3 Fotovoltaik Sistemler	8
2.3.1 PV Hücre Karakteristiği	8
2.3.2 Fotovoltaik Sistemlerin Uygulamaları	14
2.3.2.1 Direk Bağlı(Direct Coupled) Sistemler	14
2.3.2.2 Şebekeden Bağımsız (Stand-Alone) Sistemler	14
2.3.2.3 Hibrit Bağlı(Hybrid-Connected) Sistemler.....	15
2.3.2.4 Şebekeye Bağlı(Grid-Connected) Sistemler	16
BÖLÜM 3	17
MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ	17
3.1 Maksimum Güç Noktası Takip Yöntemleri.....	18

3.1.1	Dolaylı Maksimum Güç Noktası Takibi Yöntemleri.....	18
3.1.1.1	Eğri Uydurma Yöntemi (Curve Fitting Method)	19
3.1.1.2	Taramalı Tablo Yöntemi (Look-up Table Method)	19
3.1.1.3	PV Açık Devre Gerilimi Yöntemi (Open-Circuit Voltage PV Generator Method)	20
3.1.1.4	PV Kısa Devre Yöntemi (Short-Circuit PV Generator Method)	21
3.1.1.5	PV Test Hücreli Açık-Devre Gerilimi Yöntemi (Open-Circuit Voltage PV Test Cell Method)	22
3.1.2	Direkt Maksimum Güç Noktası Takibi Yöntemleri.....	23
3.1.2.1	Farklılık Yöntemi (Differentiation Method)	23
3.1.2.2	Gerilim Geri Besleme Yöntemi (Feedback Voltage Method).....	24
3.1.2.3	Sars ve Gözlemle Yöntemi (Perturbation and Observe (P&O) Method)	24
3.1.2.4	Artan İletkenlik Yöntemi (Incremental Conductance (IC) Method)	27
3.1.2.5	Sadece Akım Fotovoltaik Yöntemi (The Only Current Photovoltaic Method)	30
3.1.2.6	Diğer Metotlar	32
3.2	DC/DC Dönüştürücüler	32
3.2.1	Düşürücü DC/DC Dönüştürücü	32
3.2.2	Yükseltici DC/DC Dönüştürücü.....	33
3.2.3	Düşürücü-Yükseltici DC/DC Dönüştürücü	34
BÖLÜM 4	.....	35
MGNT ALGORİTMALARININ DENEYSEL KARŞILAŞTIRILMASI	.....	35
4.1	DC/DC Dönüştürücü	36
4.2	Kontrol Ünitesi	38
4.3	MGNT Algoritmaları	39
4.4	Deneysel Sonuçlar	41
4.4.1	P&O ve IC Algoritmaları Karşılaştırması	42
4.4.2	P&O ve Sadece PV Akım Algoritmaları Karşılaştırması	44
4.4.3	IC ve Sadece PV Akım Algoritmaları Karşılaştırması	46
BÖLÜM 5	.....	49
SONUÇ VE ÖNERİLER	.....	49
KAYNAKLAR	.....	50
EK-A	.....	52
PV PANELLERE AİT DATASHEET	.....	52
EK-B	.....	53
DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜ VE KAYNAK DEVRELERİ	.....	53
B-1 Kaynak Kartı Açık Devre Şeması	.....	53
B-2 DC/DC Dönüştürücü Açık Devre Şeması	.....	54
ÖZGEÇMİŞ	.....	55

SİMGE LİSTESİ

I_{ph}	Fotoakım
I_D	Diyot akımı
R_p	Paralel hücre direnci
R_s	Seri hücre direnci
I_{PV}	PV akımı
V_{PV}	PV gerilimi
k	Boltzman sabiti
T_C	PV sıcaklığı
q	Elektron yükü
I_o	Diyot satrasyon akımı
P_{PV}	PV gücü
I_0	DC/DC dönüştürücü çıkış akımı
V_0	DC/DC dönüştürücü çıkış gerilimi
V_{MGN}	Maksimum güç noktası gerilimi
V_{OC}	PV açık devre gerilimi
k_1	PV açık devre gerilimi yöntemi gerilim katsayısı
I_{MGN}	Maksimum güç noktası akımı
I_{SC}	PV kısa devre akımı
k_2	PV kısa devre yöntemi akım katsayısı
V_{OCth}	PV test hücre gerilimi
k_3	PV test hücreli açık devre gerilimi yöntemi gerilim katsayısı
V_{Ref}	Referans gerilimi
D	Çevrimiçi süre
P_c^*	Çevrimiçi süreye göre çıkış gücü

KISALTMA LİSTESİ

PV	Fotovoltaik(Photovoltaic)
MGNT	Maksimum Güç Noktası Takibi
DC	Doğru Akım(Direct Current)
MGN	Maksimum Güç Noktası
P&O	Sars ve Gözlemle(Perturbation and Observe)
IC	Artan İletkenkenlik(Incremental Conductance)
RCC	Dalgalanma Korelasyonu Kontrolü(Pipple Correlation Control)
CV	Sabit Gerilim(Constant Voltage)
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
AC	Alternatif Akım(Alternative Current)

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Atmosfer dışına gelen ışınımın yıl içerisindeki değişimi..... 4
Şekil 2.2	Işınımın güneşten yeryüzeyine kadar olan yolculuğu[9]..... 5
Şekil 2.3	Nort Platte'ye ait bir yıllık saatlik bazda ışınım..... 5
Şekil 2.4	Türkiye güneş enerjisi haritası[12]..... 6
Şekil 2.5	PV Hücrenin elektriksel modeli..... 7
Şekil 2.6	PV hücre akım-gerilim karakteristiği..... 8
Şekil 2.7	PV hücre güç-gerilim karakteristiği..... 9
Şekil 2.8	Ticari bir PV panelin dört farklı ışınım altında akım-gerilim karakteristiği.. 10
Şekil 2.9	Ticari bir PV panelin dört farklı ışınım altında güç-gerilim karakteristiği..... 11
Şekil 2.10	Üç farklı sıcaklık seviyesi için PV panel akım-gerilim karakteristiği..... 12
Şekil 2.11	Üç farklı sıcaklık seviyesi için PV panel güç-gerilim karakteristiği..... 12
Şekil 2.11	Direk bağlı PV sistem blok şeması.....13
Şekil 2.12	Şebeken bağımsız PV sistem blok şeması..... 14
Şekil 2.13	Hibrit sistem blok şeması..... 15
Şekil 2.14	Şebekeye bağlı PV sitem blok şeması..... 15
Şekil 3.1	MGNT sisteminin blok şeması..... 17
Şekil 3.2	PV açık devre gerilimi yöntemi akış diyagramı..... 20
Şekil 3.3	PV kısa devre yöntemi akış diyagramı..... 21
Şekil 3.4	Gerilim geri besleme yöntemi blok şeması..... 23
Şekil 3.5	P&O yöntemi akış şeması..... 24
Şekil 3.6	Hızlı değişen ışınım altında P&O yönteminde MGN sapması..... 25
Şekil 3.7	IC yöntemi MGN testi..... 27
Şekil 3.8	IC yöntemi akış şeması[20]..... 28
Şekil 3.9	Sadece PV akım MGNT yöntemi blok şeması..... 29
Şekil 3.10	Sadece PV akım metodu akış şeması[23]..... 30
Şekil 3.11	Düşürücü dönüştürücü temel devre şeması..... 32
Şekil 3.12	Yükseltici dönüştürücü temel devre şeması..... 32
Şekil 3.13	Düşürücü- Yükseltici dönüştürücü temel devre şeması..... 33
Şekil 4.1	MGNT algoritmaları karşılaştırma sistemi blok şeması..... 34
Şekil 4.2	Karşılaştırma sisteminde kullanılan DC/DC dönüştürücü devre şeması..... 35
Şekil 4.3	DC/DC dönüştürücü kartı..... 37
Şekil 4.4	Dönüştürücü kartlarını beslemede kullanılan kaynaklar..... 37
Şekil 4.5	Kontrol için kullanılan dSpace..... 38
Şekil 4.6	PV değerlerinin ortalamasını alan Stateflow şeması..... 39
Şekil 4.7	P&O algoritması Stateflow şeması..... 39

Şekil 4.8	IC algoritması Stateflow şeması.....	40
Şekil 4.9	Sadece PV akım algoritması Stateflow şeması.....	40
Şekil 4.10	P&O algortması ile MGNT yapılan panele ait akım ve gerilim değeleri.....	41
Şekil 4.11	IC algoritması ile MGNT yapılan panele ait akım ve gerilim değeri.....	42
Şekil 4.12	Panelere ait çıkış gücü değeri.....	43
Şekil 4.13	P&O algoritması ile MGNT yapılan panele ait akım ve gerlim değeri....	44
Şekil 4.14	Sadece PV akımı algoritması ile MGNT yapılan panele ait değeri.....	44
Şekil 4.15	Panellere ait çıkış gücü değeri.....	45
Şekil 4.16	IC algoritması ile MGNT yapılan panele ait akım ve gerlim eğeri.....	46
Şekil 4.17	Sadece PV akımı algoritması ile MGNT yapılan panele ait değeri.....	46
Şekil 4.18	Panellere ait çıkış gücü değeri.....	47

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 P&O yöntemi MGN testi.....	25
Çizelge 3.2 IC Algoritması MGN testi.....	28
Çizelge 4.1 DC/DC dönüştürücü devresi elemanları.....	35

**FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNDE KULLANILAN MAKSİMUM
GÜÇ NOKTASI TAKİP EDİCİLER İÇİN FARKLI ALGORİTMALARIN
KARŞILAŞTIRILMASI**

Ali DURUSU

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Muğdeşem TANRIÖVEN

Fotovoltaik(PV) güneş enerji sistemleri uygulamaları son yıllarda yaygınlaşmıştır. MW'lar seviyesinde güneş santralleri kurulduğu gibi küçük güçlü uygulamaların da cazibesi gittikçe artmaktadır. Ülkemiz de güneş enerjisi potansiyeli yönünden iyi bir durumdadır.

Fotovoltaik sistemlerin çevrim verimleri(ışınım/elektrik) düşüktür. Ayrıca direk bir kullanıcıya bağlandıklarında her zaman maksimum güç aktarımı yapamamaktadırlar. Bu da bir PV sistemden elde edilebilecek maksimum enerjinin alınamaması demektir. Bu istenmeyen durumu ortadan kaldırmak için kullanıcı ile PV arasına bir kontrol düzeneği yerleştirilmektedir. Bu düzenek Maksimum Güç Noktası Takipçisi(Maximum Power Point Tracker) olarak isimlendirilmektedir. MGNT temel olarak bir DC/DC dönüştürücüdür. Bu dönüştürücü farklı kullanım yerine göre düşürücü/yükseltici tip olabilmektedir. Bu düzeneklerin temel mantığı PV'nin I-V karakteristiği üzerinde maksimum güç verebileceği bir noktada çalışmasını sağlamaktır.

Maksimum güç noktası tespiti için ise farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler dolaylı ve direk olarak iki grupta incelenmektedir. Dolaylı yöntemlerde PV üreticinin maksimum güçte çalışma noktası akım, gerilim ve radyasyon değerlerinin ölçülmesi ya da deneysel verileri kullanarak nümerik yaklaşımlar veya matematiksel ifadelerle tahmin edilir. Direk yöntemlerde ise maksimum güç noktası dolaylı yöntemlerde olduğu gibi tahmin edilmez, bilakis ölçümler yapılarak ilgili maksimum güç noktasında sistem çalıştırılmaya yönlendirilir. Literatürde direk ve dolaylı olmak üzere birçok maksimum güç noktası takibi tekniği bulunmaktadır.

Bu çalışmada kullanımı yaygın olan üç farklı MGNT algoritmasının performans karşılaştırması yapılmıştır. Bunun için bir deney düzeneği oluşturulmuş ve farklı algoritmaların bu düzenek üzerinde performans karşılaştırılması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik güneş enerji sistemleri, maksimum güç noktası takip teknikleri, performans karşılaştırması

ABSTRACT

COMPARISON OF DIFFERENT ALGORITHM FOR MAXIMUM POWER POINT TRACKERS USED IN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY SYSTEMS

Ali DURUSU

Department of Electrical Engineering
MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Muğdeşem TANRIÖVEN

The applications of photovoltaic (PV) solar energy systems have become widespread. Even though the solar power plants are designed at the level of MW, the attraction for small-scale solar applications is growing rapidly. Türkiye is in a good position in terms of solar energy potential and also excellent candidate for small-scale solar applications.

Cycle efficiency of photovoltaic systems (radiation/electricity) is low. Additionally, the photovoltaic systems can not always transfer the maximum power when they are directly connected to a load. For this reason, the maximum obtainable energy couldn't be attained from PV. To solve this problem, a control mechanism can be used between the load and the PV. This mechanism is called Maximum Power Point Tracker. MPPT is basically a DC/DC converter. The type of this converter can be a step-up or a step-down converter type according to the system design. The fundamental idea behind those mechanisms is to ensure that the PV operates on the maximum power point of I-V curve.

Different methods are used for the determination of maximum power point. These methods are divided into two groups: direct and indirect. In indirect methods, the operating point where PV generator operates with maximum power is estimated either measuring current, voltage and radiation values or with numerical approximations-mathematical expressions using experimental data. In direct methods, the maximum power point is not obtained by procedures which are used in indirect methods; contrarily, the system is forced to operate at maximum power point. In

literature, there are plenty of methods to obtain the maximum power point as direct or indirect ones.

In this study, three different MPPT algorithms which are used in general are compared in terms of PV power performance. An experimental mechanism is designed to make a comparison between these algorithms.

Key words: Photovoltaic solar energy systems, maximum power point tracking techniques, performance comparison.

1.1 Literatür Özeti

V. Salas vd. [1] yaptığı çalışmada, dolaylı PV MGNT algoritmalarında sisteme yerleştirilen belirli bir PV için MGN tahmin edildiğinden farklı PV üreteçlerinde her parlaklık ve sıcaklık için her zaman maksimum güç tam olarak elde edilemez demişlerdir. Direk MGNT yöntemlerinde ise bilakis akım ve gerilim ölçümleri yapılarak sistem ilgili maksimum güç noktasında çalıştırılmaya zorlandığından, PV yapıdan mevcut maksimum gücü elde edebilirler ve bu yöntemlerde kullanılacak PV yapıya ait ön bir bilgiye ihtiyaç yoktur demişlerdir.

M. Berrera vd. [2] yaptığı çalışmada yedi farklı kabul görmüş MGNT algoritmasını iki farklı ışıınım değişimi altında incelemişlerdir. Yedi algoritma arasında her iki ışıınım değişiminde de en iyi performans gösterenin P&O olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca çok hızlı ışıınının değişimi olan sistemlerde IC algoritmasının P&O ya alternatif olabileceğini söylemişlerdir.

T. Efram vd. [3] yaptığı çalışmada, 19 farklı MGNT tekniğinin maliyet ve performans yönünden karşılaştırmasını yapmışlardır. Farklı uygulama alanına göre farklı algoritmaların uygun olabileceğini söylemişlerdir. Örneğin; uzay ve uydu uygulamalarında performansın çok yüksek olması önemli olduğundan maliyet göz ardı edilebileceğinden buralarda P&O ve IC tekniğini kullanılması uygundur demişlerdir. Güneş arabalarında ise MGN'nin tespitinin çok hızlı olması gerektiğinden Fuzzy logic, Neural network, RCC tekniklerinin iyi bir seçim olabileceğini söylemişlerdir. Yerleşim bölgelerinde kullanılan PV sistemlerinde ise geri ödeme süresini kısaltmak ve MGN'yi

hızlı bir şekilde yakalamak için IC tekniğinin kullanılmasının uygun olacağını söylemişlerdir.

D. P. Hohm ve M. E. Ropp'un [4] yaptığı çalışmada 3 farklı MGNT algoritmasının aynı deney platformu üzerinde performans karşılaştırılmasını yapmışlardır. Bu algoritmalar P&O, IC ve CV algoritmalarıdır. Karşılaştırma sonucunda P&O tekniğinin veriminin %97'lere kadar çıkarak diğer iki algoritmaya göre çok daha iyi performansa sahip olduğunu görmüşlerdir.

C. Hua ve C. Shen'in [5] yaptıkları çalışmada gerilim geri beslemeli kontrol, güç geri beslemeli kontrol ve kullanımı en yaygın olan P&O, IC algoritmalarının iki farklı ışınım durumu altında performans karşılaştırmasını yapmışlardır. Yapılan karşılaştırma sonucunda IC tekniğinin her iki ışınım durumu altında da performansı en yüksek olan MGNT tekniği olduğunu görmüşlerdir.

1.2 Tezin Amacı

Maksimum Güç Noktası Takibi için literatürde mevcut birçok yöntem olduğundan son yıllarda PV sistemler üzerine araştırma ve uygulama yapanlar çalışmalarını MGNT algoritmalarının karşılaştırılması üzerine yapmışlardır. Bazı çalışmalarda [4] birkaç MGNT algoritmasının performans karşılaştırılması yapılmıştır. Bazı çalışmalarda [3] ise birçok MGNT algoritmasının maliyet ve performans yönünden karşılaştırmasını sadece literatür taraması sonucunda yapmışlardır. Bu çalışmada ise kullanımı yaygın olan üç farklı MGNT algoritmasının performans karşılaştırılması yapılacaktır. Yapılan çalışmada paneller dış ortam şartları altında bulunmaktadır. Sıcaklık ve diğer dış ortam parametreleri hava şartlarına göre değişiklik göstermektedir. Çalışma neticesinde elektrik ihtiyacının tamamının veya bir kısmının fotovoltaik yapılardan karşılanması durumunda farklı MGNT algoritmaları ile fotovoltaik panelin elektriksel çıktısının nasıl maksimize edileceği aranacaktır. Bu hedef doğrultusunda kullanımı yaygın olan üç farklı algoritmanın performans karşılaştırması yapılmıştır.

1.3 Hipotez

Literatürde mevcut olan çalışmalarda MGNT algoritmalarının karşılaştırılması panelin standart şartlar(1000 W/m^2 , 25°C) altında olması durumuna göre yapılmıştır. Panelin

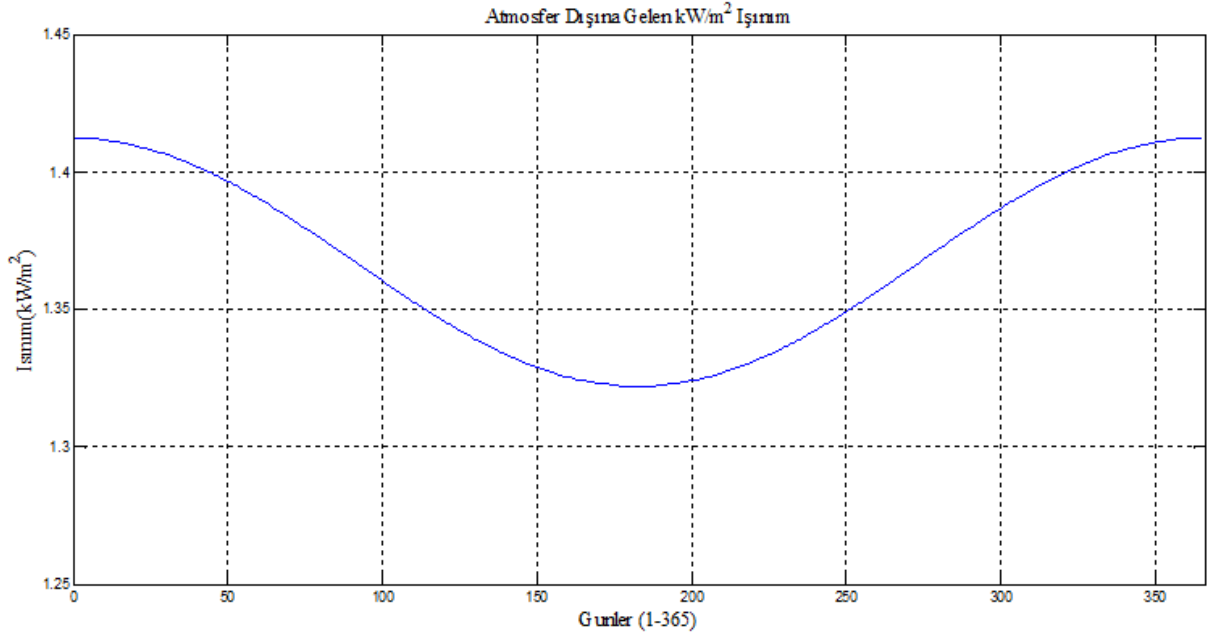
dış ortam şartları altında olması durumunda standart şartlara göre MGNT algoritmalarının performans değerlerinin farklı olması beklenmektedir. Bu çalışmada MGNT algoritmalarından yaygın olarak kullanılan üç tanesinin dış ortam şartları altında MGNT performansının karşılaştırılması yapılacaktır.

GÜNEŞ ENERJİSİ VE FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

Dünya enerji ihtiyacının büyük bir kısmını petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıtlardan karşılamaktadır. Ancak rezervleri sınırlı olan fosil yakıtlar, çevreye zarar vermekte ve kullanımı günden güne azalmaktadır. Bunların yanında dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artması ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak, dünya enerji talebinde hızlı bir artış görülmesi, insanlığı elde bulunan kaynakları en verimli şekilde kullanmaya ve alternatif enerji arayışlarına yöneltmiştir. Fosil yakıtların kullanımından dolayı atmosferde oluşan sera etkisi ve buna bağlı olarak oluşan küresel ısınma gibi çevresel problemler, çevre dostu yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmaları çok önemli bir konuma taşımıştır [6].

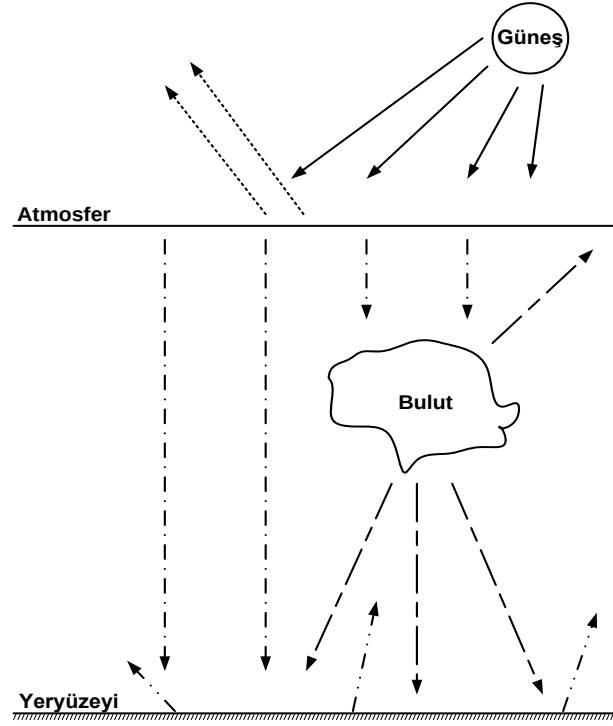
2.1 Güneşten Yeryüzüne Ulaşan Enerji

Güneşten dünya atmosferi dışına gelen ışınlam dünyanın güneş etrafındaki yörüngesine göre değişmektedir. Atmosfer dışındaki ışınlam en yüksek değeri dünyanın güneşe en yakın olduğu 3 Ocak günü 1420 W/m^2 'dir. Atmosfer dışındaki en düşük ışınlam değeri ise 4 Temmuz günü 1325 W/m^2 'dir. Atmosfer dışındaki yıllık ortalama ışınlam ise $1367 \pm 2 \text{ W/m}^2$ 'dir [7]. Şekil 2.1 atmosfer dışına gelen ışınlamın yıl içerisindeki değişimini göstermektedir.



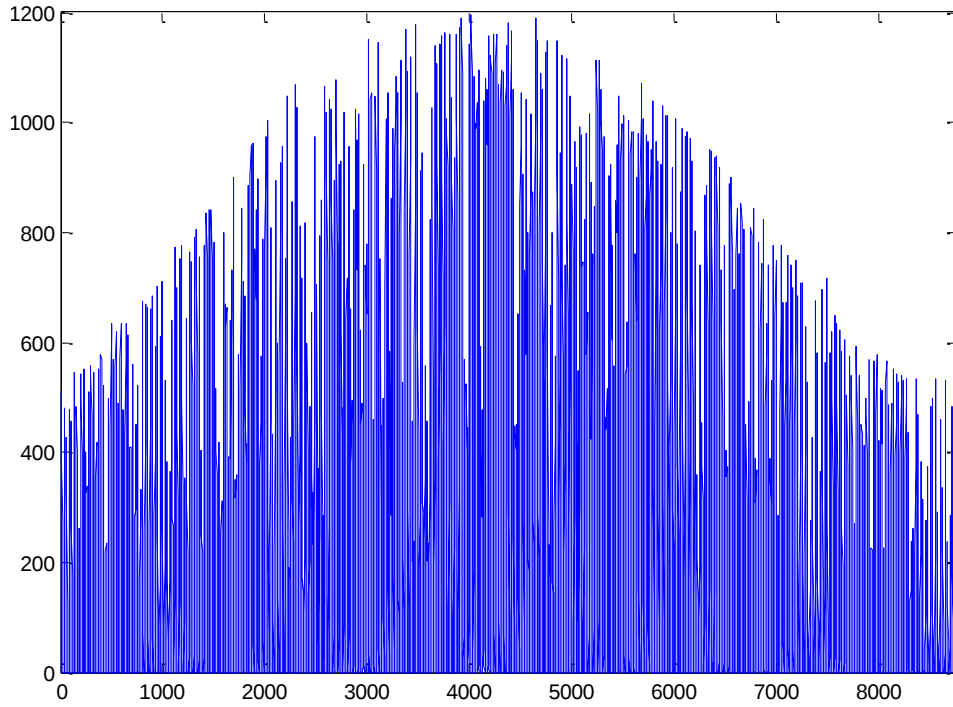
Şekil 2.1 Atmosfer dışına gelen ışırtımın yıl içerisindeki değışimi

Güneşten gelen ışını uzaydaki yolculuğundan sonra atmosfere girer. Daha sonra ışırtımın bir kısmı atmosfer tabakaları ve bulutlar tarafından emilir ve bir kısımda geri yansıtılır. Atmosferden geçip yeryüzüne ulaşan ışırtımın bir kısmı da tekrar atmosfere yansıtılır. Toplam güneş radyasyonunun yaklaşık %50'si atmosfer ve yeryüzünde kalır [8]. Şekil 2.2 ışırtımın güneşten yeryüzüne kadar olan yolculuğunu göstermektedir.



Şekil 2.2 Işınımın güneşten yeryüzeyine kadar olan yolculuğu[8]

Atmosferden geçen ve yeryüzüne ulaşan ışınım dünyanın güneş etrafındaki hareketi ve havanın açık/kapalı olmasına göre değişmektedir. Şekil 2.3 41.01° enlemindeki Nort Platte'ye ait bir yıllık saatlik bazda ışınlamları göstermektedir.



Şekil 2.3 Nort Platte'ye ait bir yıllık saatlik bazda ışınlam

2.2 Türkiye’de Güneş Enerjisi

Dünya genelinde yenilenebilir temelli enerji kaynaklarına yönelim sürekli artmaktadır. Ülkemizde ise dünya geneline yakın bir durum söz konusudur. 2008 yılına dair ülkemiz enerji üretim, tüketim ve üretimin kaynak bazlı dağılımı aşağıda belirtilmiştir.

2008 yılında ülkemizin toplam birincil enerji tüketimi 106,3 milyon TEP, üretimi ise 29,2 milyon TEP olarak gerçekleşmiştir. Enerji arzında %32’lik pay ile doğalgaz ilk sırayı alırken, doğalgazı %29,9 ile petrol, %29,5 ile kömür izlemiş, %8,6’lık bölüm yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmıştır. Yapılan projeksiyonlara göre 2020 yılına kadar olan dönemde birincil enerji tüketimimizin yıllık ortalama %4 oranında artması beklenmektedir [9].

Ülkemiz 2023 yılına kadar enerji kaynakları arasında yenilenebilir enerjinin oranını %30’a çıkarmayı hedeflemektedir. Ayrıca kurulu rüzgâr gücünü 10000 MW yükseltmeyi, kurulu jeotermal enerji kaynaklarını 300 MWe yükseltmeyi ve 5000 MW ek küçük hidroelektrik santral kurmayı hedeflemektedir [10]. Bu hedefler arasında güneş enerjisi ile ilgili bir rakam verilmemektedir. Ancak ülkemiz yıllık minimum 248 TWh’lik güneş enerjisi potansiyeline sahip olmakla güneş enerjisi yönünden de zengin bir ülkedir [10].



Şekil 2.4 Türkiye güneş enerjisi haritası[11]

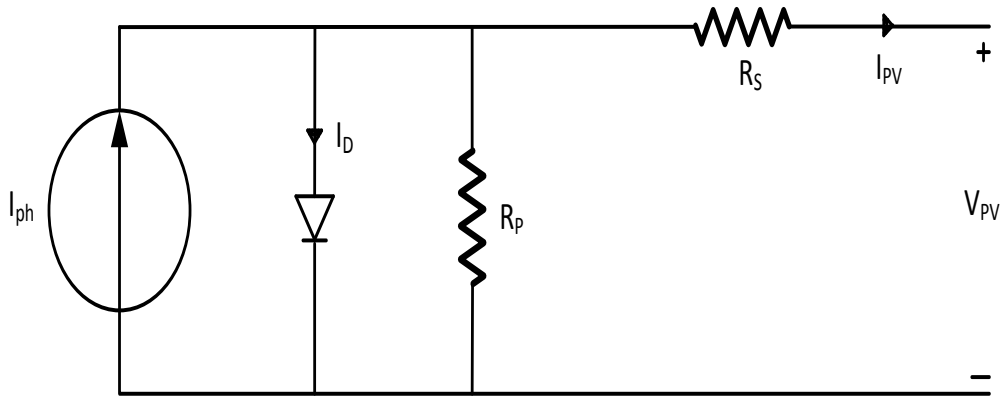
Şekil 2.4 ülkemizin güneş enerjisi haritasını vermektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere ülkemiz yıllık 1400-1800 kWh/m² arasında güneş ışınlamı alan bir bölgededir.

2.3 Fotovoltaik Sistemler

Fotovoltaik (PV) modüller bir müdahale olmaksızın ısı motoru veya döner ekipmana ihtiyaç duymadan güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren elemanlardır. PV modüllerin hareketli bir ekipmanı olmadığından kullanım ve bakım masrafları az ve ömrü uzundur. Elektrik üretiminde çevreye herhangi zararlı bir atık veya gaz vermezler ve çalışmaları tamamen sessizdir. PV sistemler modüler olup eklemeler yapılarak miliwatt(mW) mertebelerinden megawatt(MW) mertebelerine kadar çıkış alınabilir [12].

2.3.1 PV Hücre Karakteristiği

Bir fotovoltaik üreteç temel olarak PV hücreler, bağlantı noktaları, koruma elemanları ve desteklerden oluşmaktadır. Bir PV hücre yarı iletken malzemeden yapılır ve bu malzemede genelde silikondur [12]. Çalışma mantığıda yine yarı iletken malzemeden yapılmış olan p-n jonksiyonlu diyot mantığıyla aynıdır. Güneşten gelen ışık hücre jonksiyonu üzerine düşmesiyle emilen ışık enerjisi hücrenin elektron yapısına aktarılır ve burada iki farklı kutupta yük taşıyıcısının oluşmasına neden olur. Bu da harici bir devre üzerinden akım akışı sağlayabilecek bir potansiyelin oluşması demektir. Şekil 2.5 bir PV hücrenin elektriksel modelinin göstermektedir.



Şekil 2.5 PV Hücrenin elektriksel modeli

Burada I_{ph} fotoakımı, I_D diyot akımını, R_p paralel hücre direncini, R_s seri hücre direncini, I_{PV} hücre akımını ve V_{PV} hücre gerilimini göstermektedir. Yukarıdaki elektriksel model kullanılarak PV hücrenin matematiksel modeli oluşturulabilir.

$$I_{PV} = I_{ph} - I_D \quad (2.1)$$

Bu formülde diyot akımı ve paralel direnç üzerinden akan akımda yerine konulursa;

$$I_{PV} = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_o \left\{ e^{\frac{q(V_{PV} + I_{Px}R_S)}{k \times T_C}} - 1 \right\} - \frac{V_{PV} + I_{Px}R_S}{R_P} \quad (2.2)$$

denklem bu hali almış olur. Burada paralel hücre(R_P) direnci genellikle yük direncine göre çok büyük olur. Dolayısıyla paralel hücre direnci üzerinden akan akım ihmal edilebilir. Bu durum da göz önünde bulundurularak yukarıdaki denklemi tekrar yazılırsa denklemin son hali aşağıda görüldüğü gibi olacaktır.

$$I_{PV} = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_o \left\{ e^{\frac{q(V_{PV} + I_{Px}R_S)}{k \times T_C}} - 1 \right\} \quad (2.3)$$

Burada

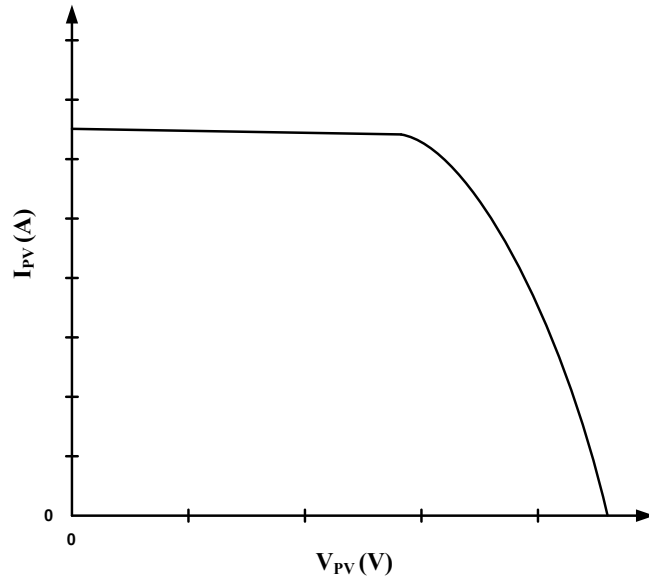
k = Boltzman sabiti = $1,381 \times 10^{-23}$ J/K

T_C = Hücre sıcaklığı (K)

q = Elektron yükü = $1,602 \times 10^{-19}$ J/V

I_o = Diyot satrasyon akımı (A)'dır.

Tüm bu anlatılanlar göz önünde bulundurularak PV hücrenin akım-gerilim karakteristiği şekil 2.6'daki gibi olmaktadır.

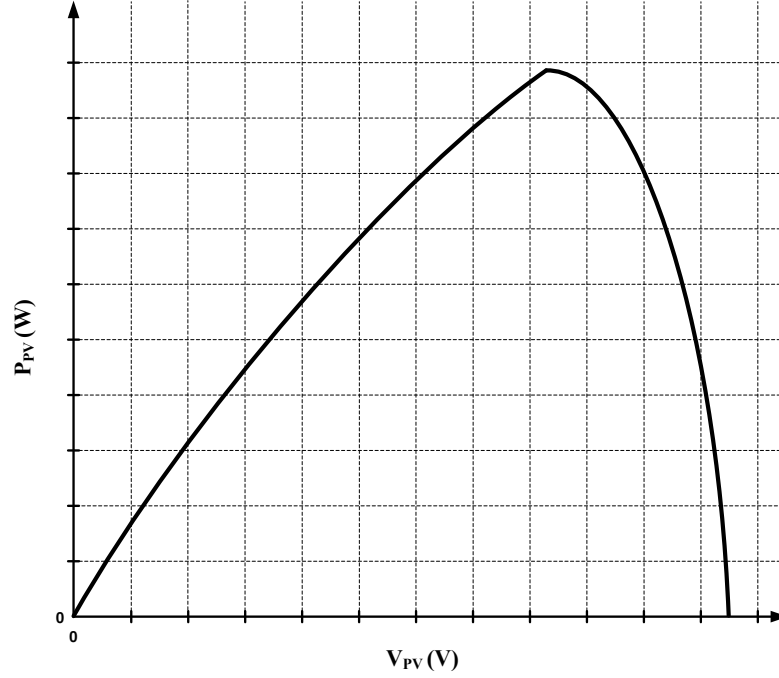


Şekil 2.6 PV hücre akım-gerilim karakteristiği

PV panelin üretebileceği güç;

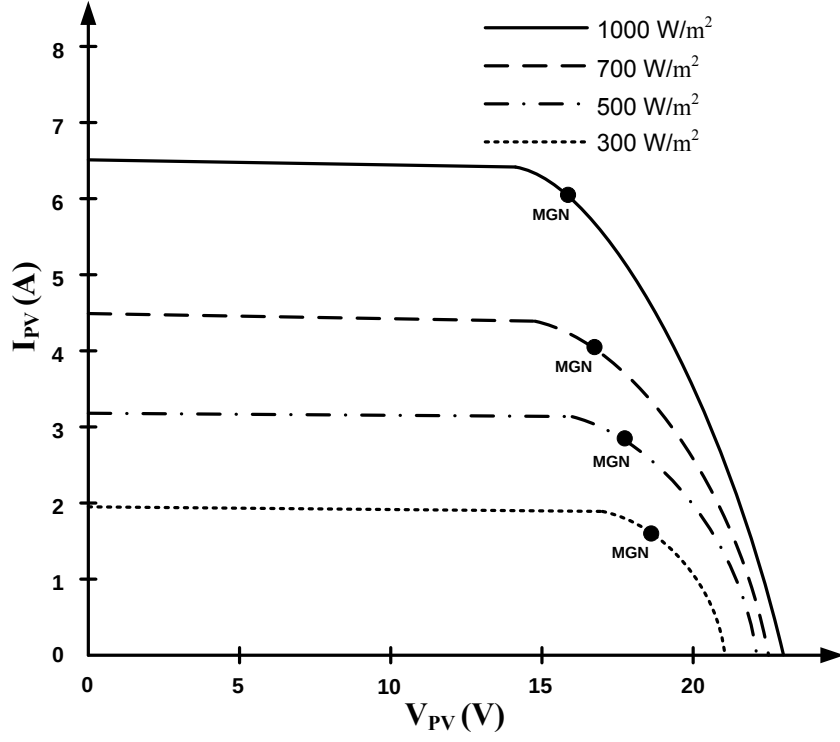
$$P_{PV} = V_{PV} \times I_{PV} \quad (2.4)$$

olduğundan PV panelin güç gerilim eğrisi Şekil 2.7 'deki gibi olacaktır.



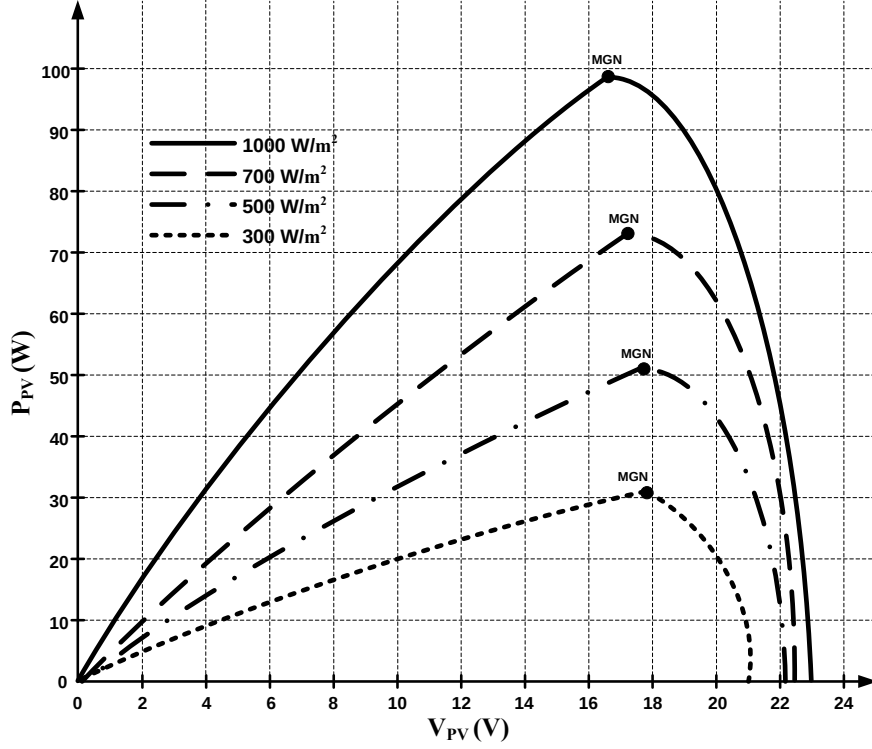
Şekil 2.7 PV hücre güç-gerilim karakteristiği

Fotovoltaik sistemlerin performansı üzerine etkili olan en önemli işletme parametreleri güneş ışınımı, hücre sıcaklığı ve yük profilidir. Bu üç faktöre bağlı olarak fotovoltaik sistemlerin maksimum güç noktası da değişkenlik göstermektedir [13].Güneş radyasyonuna bağlı olarak fotovoltaik panellerin akım gerilim eğrileri de farklılık göstermektedir [1]. Şekil 2.8 ticari bir PV panelin farklı güneş radyasyonu altında akım gerilim eğrisini göstermektedir.



Şekil 2.8 Ticari bir PV panelin dört farklı ışınlam altında akım-gerilim karakteristiği[1]

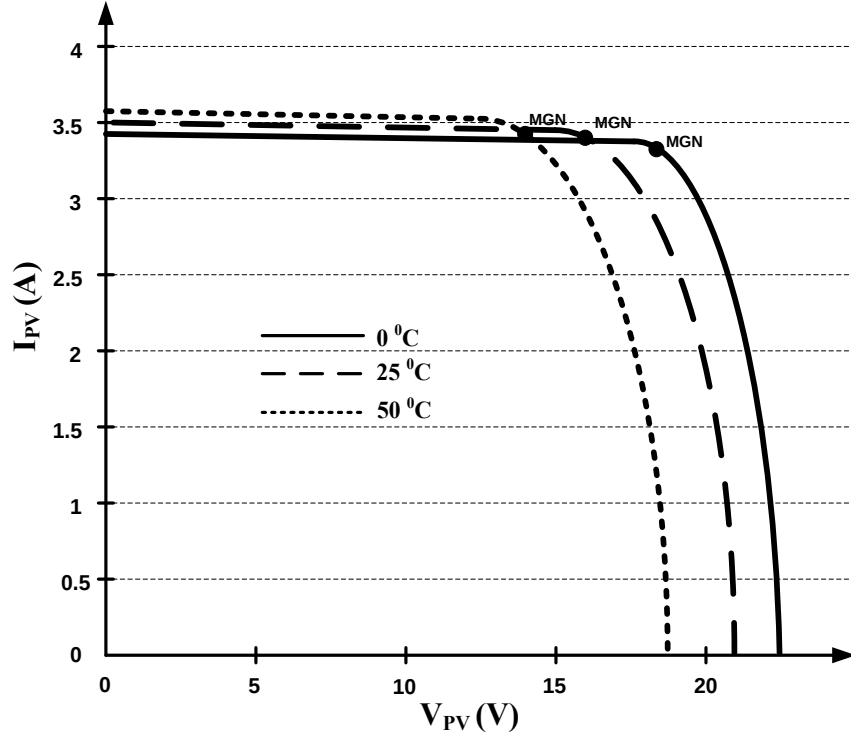
Şekil 2.8'deki akım-gerilim eğrilerine bağlı olarak aynı PV panelin farklı ışınlamalar altında güç-gerilim eğrisi şekil 2.9'daki gibi elde edilir.



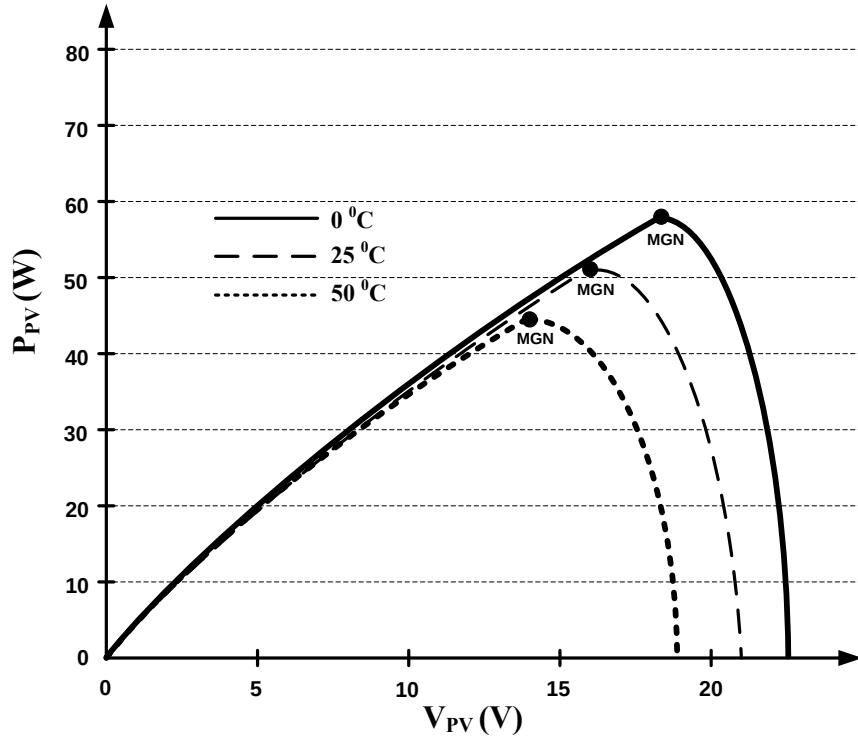
Şekil 2.9 Ticari bir PV panelin dört farklı ışınlm altında güç-gerilim karakteristiği[1]

Şekillerden de görüldüğü gibi PV panellerden belirli bir akım-gerilim noktasında maksimum güç alınabilmektedir. Işınlımın artması panelin çıkış akımı ve gerilimini artırmakta ve çıkış gücünde de bir artış olmaktadır [14].

Sıcaklığın PV panel akım-gerilim karakteristiği üzerine olan etkisi Şekil 2.10'da ve güç-gerilim karakteristiği üzerindeki etkisi ise Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Aşağıdaki şekillerden de görüldüğü gibi PV hücre sıcaklığı yükseldikçe panel gerilimi azalmakta ve akım değerinde ise artma olmaktadır. PV panelden alınabilecek güç ise sıcaklık arttıkça azalmaktadır [1].



Şekil 2.10 Üç farklı sıcaklık seviyesi için PV panel akım-gerilim karakteristiği



Şekil 2.11 Üç farklı sıcaklık seviyesi için PV panel güç-gerilim karakteristiği

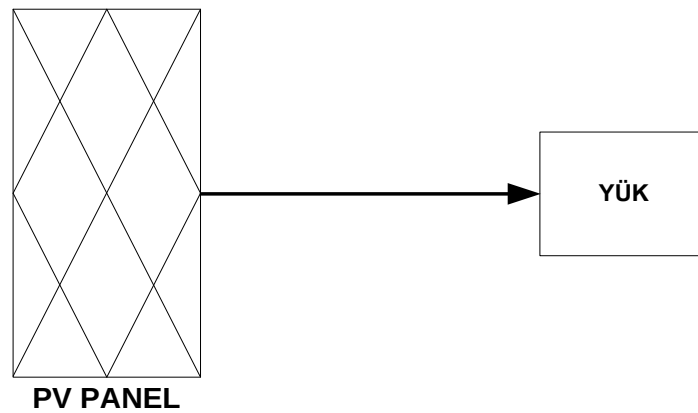
Yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı PV panellerden maksimum güç çıkışı almak için panel akımı, gerilimi, gücü vb. değişkenlerin sürekli takip edilip PV panellerin maksimum güç çıkışı verecek şekilde çalıştırılması sağlanmalıdır.

2.3.2 Fotovoltaik Sistemlerin Uygulamaları

Güneş enerjisinden elektrik üreten sistemlerin şebeken bağımsız (su pompası, ev ve sokak aydınlatması, elektrikli araçlar, askeri ve uzay uygulamaları) [15] ve şebekeye bağlı (güneş santralleri, hibrit sistemler) [16] olmak üzere iki türlü uygulaması vardır.

2.3.2.1 Direkt Bağlı(Direct Coupled) Sistemler

Direk bağlı PV yapılar PV panel/dizi direk olarak yüke bağlıdır. Böylece yük ancak güneş ışınımının olduğu zamanlarda beslenebilir. Direkt bağlı sistemler güneş ışınımının yeterli ve uzun süreli olduğu yerlerde tercih edilmektedir. Bu sistem ancak DC yükleri beslemede kullanılabilmektedir. Bu tarz uygulamalar yaygın değildir. Şekil 2.12 direk bağlı sistemin blok şemasını göstermektedir.

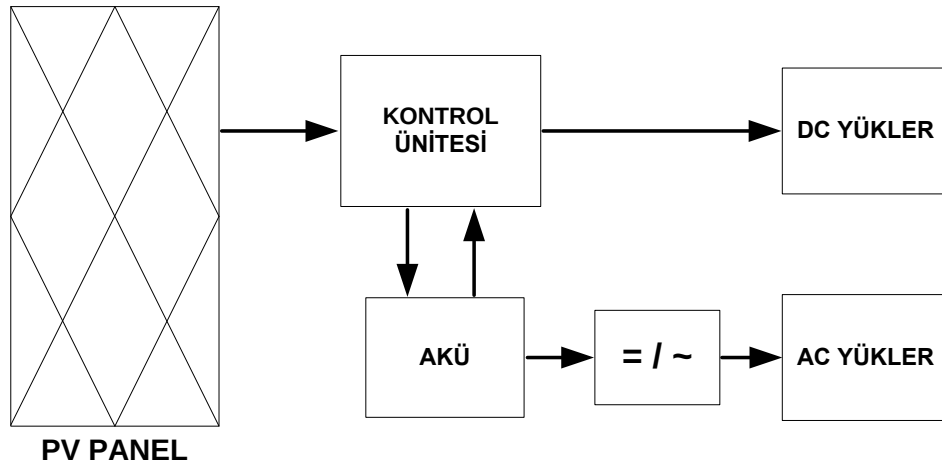


Şekil 2.11 Direkt bağlı PV sistem blok şeması

2.3.2.2 Şebekeden Bağımsız (Stand-Alone) Sistemler

Şebekeden bağımsız PV sistemler şebekeye erişimin olmadığı veya şebeke bağlantısının mümkün olmadığı alanlarda kullanılmaktadır. Bu sistemlerin şebeke ile bir bağıntısı yoktur ve üretilen enerjinin fazlası depolama sistemlerinde depolanır. Depolama sistemlerinde depolanan enerji ise güneş ışınımının olmadığı zamanlarda yükün ihtiyacı olan enerjiyi karşılamaktadır. Şebeden bağımsız bir sistem temel olarak PV modül,

batarya ve şarj kontrol ünitesinden oluşur. Ayrıca AC kullanıcılar içinde bir inverter bu sisteme ilave edilebilir. Şekil 2.13 şebekeden bağımsız bir PV sistemi göstermektedir.

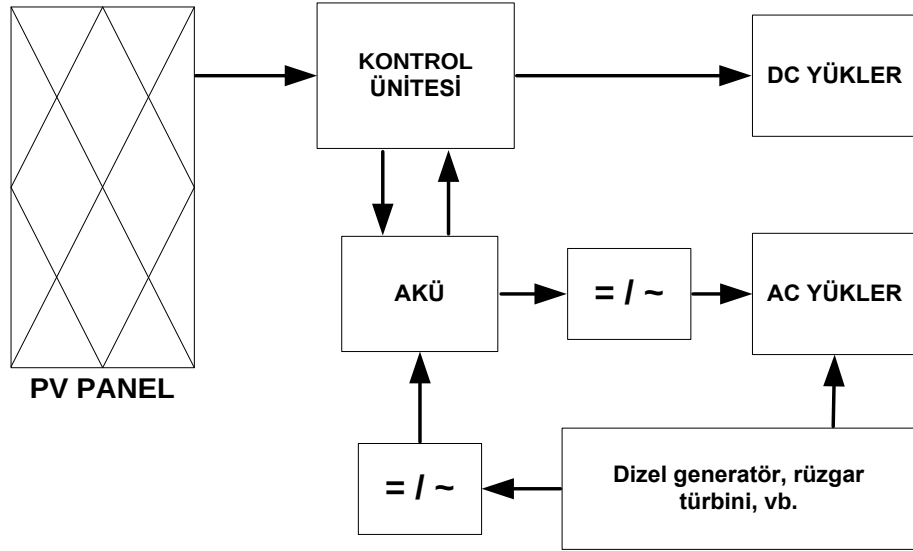


Şekil 2.12 Şebeken bağımsız PV sistem blok şeması

Bu sistemlerin en önemli uygulama alanlarından bir tanesi şebekeden uzak olan bölgelerdir. Buralarda yük olarak elektrikli ev aletleri, aydınlatma, su pompaları olabilir. Bu bölgelerdeki güç talebi birkaç Watt'tan 10 kW'a kadar çıkabilir. Buralarda genellikle yüksek güç taleplerin olduğu durumlar için PV sistemin yanında bir de dizel generatör tercih edilmektedir [17].

2.3.2.3 Hibrit Bağlı(Hybrid-Connected) Sistemler

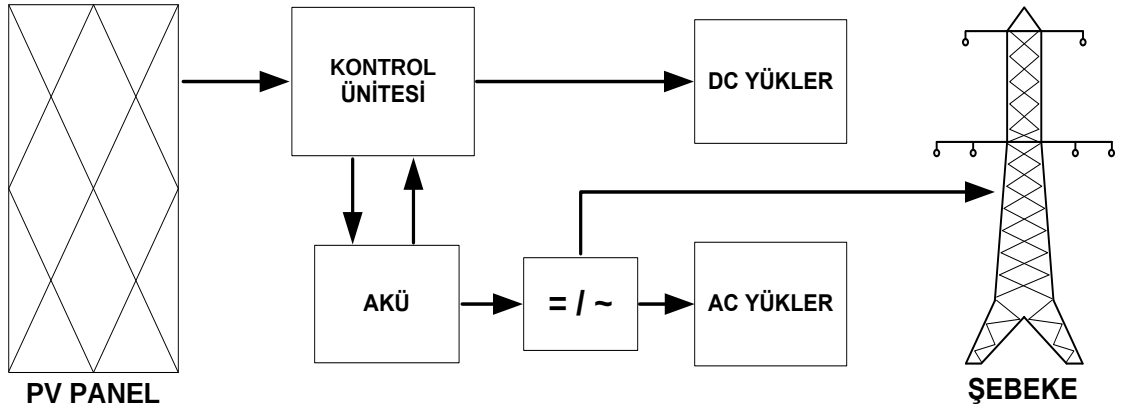
Hibrit sistemlerde birden fazla elektrik kaynağı bulunmaktadır. PV sistem dışında kaynak olarak rüzgâr türbini, dizel generatör vb. kaynaklar olabilmektedir. Bu tarz uygulamalarda hem DC hem de AC yükler beslenebilmektedir. İkinci kaynaktan elde edilen enerji direk olarak AC yükleri beslemede kullanılabildiği gibi bir doğrultucu üzerinden depolama ünitelerine aktarılabilmektedir. Şekil 2.14 hibrit bir sistemin blok şemasını göstermektedir.



Şekil 2.13 Hibrit sistem blok şeması

2.3.2.4 Şebekeye Bağlı(Grid-Connected) Sistemler

Günümüzde elektrik şebekesine PV sistemlerini bağlamak olağan bir uygulama haline almaktadır. Bu da PV sistemlerden üretilen fazla enerjinin şebeke tarafına satılabilmesine imkân sağlamaktadır. Şekil 2.15 şebeke bağlantılı bir sistemi göstermektedir.



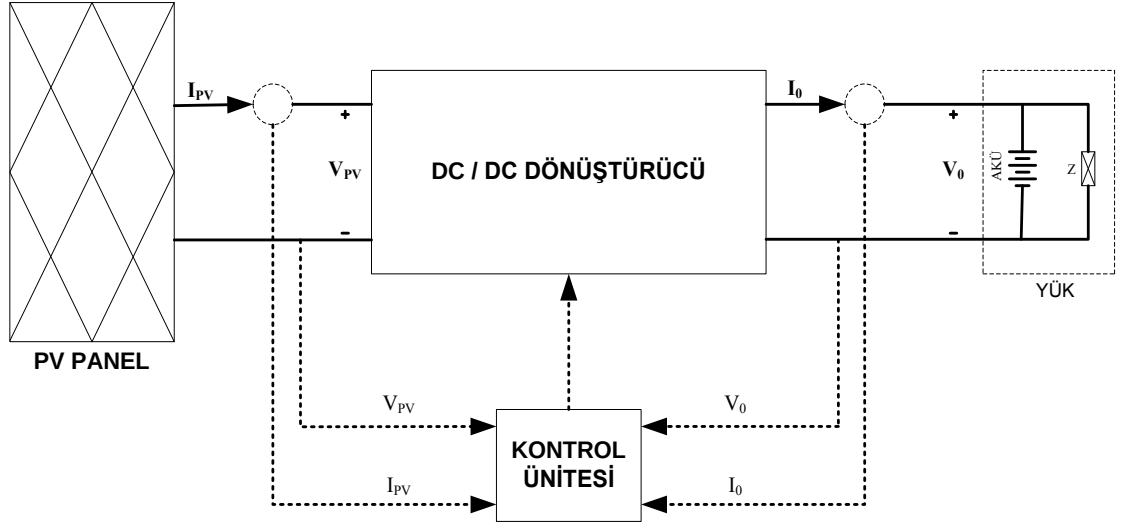
Şekil 2.14 Şebekeye bağlı PV sistem blok şeması

PV sistemlerin şebekeye bağlantılı bir şekilde yapılması endüstriyel ve evsel uygulamalar için büyük bir potansiyele sahiptir. Şebeke bağlantılı PV sistem çevre dostu olmakla beraber enerji üretimi noktasında bireysellikte sağlamaktadır [14].

MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ

Güneş enerjisi en önemli enerji kaynaklarından bir tanesidir. Kömür, gaz, vb. yaygın kullanılan enerji kaynaklarına zıt olarak güneş enerjisi temiz, tükenmez ve bedavadır. Fotovoltaik sistemler ile güneş enerjisinden direkt olarak elektrik üretmek mümkün olmaktadır. Fakat fotovoltaik(PV) sistemlerin iki büyük problemi vardır. Bunlardan birincisi fotovoltaik panellerin elektrik çevirim verimlerin düşük olması(özellikle düşük ışınım değerleri altında %17'den daha az) diğeri ise fotovoltaik panellerden elde edilen gücün farklı hava şartlarında sürekli değişken olmasıdır [2].

PV panel performansına etki eden tüm bu olumsuz durumları en aza indirgeyen ve PV panelden maksimum güç aktarımı yapmaya yarayan elektronik arabirime Maksimum Güç Noktası Takip(MGNT) sistemi denir [14]. Bir MGNT sistemi DC/DC dönüştürücü, ölçüm ünitesi ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Şekil 3.1'de temel bir maksimum güç noktası takibi sisteminin blok şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.1 MGNT sisteminin blok şeması

Maksimum güç takip sistemlerinin temel amacı, panel üzerine düşen ışınım seviyesinde panelden elde edilebilecek maksimum gücün yüke veya depolama sistemine aktarılmasıdır.

MGNT sistemleri güneş panellerini sürekli maksimum güç noktasında veya bu noktaya yakın bir noktada çalışmasını sağlayabilmek üzere farklı donanım ve yazılım bileşenlerine sahiptir. Maksimum güç takip ediciler donanımsal olarak birbirlerine benzer yapıya sahip olmasına karşın yazılımsal olarak birçok farklı algoritmaya sahiptirler.

3.1 Maksimum Güç Noktası Takip Yöntemleri

Fotovoltaik (PV) üreteçler için maksimum güç noktası takibini yapabilen birçok algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmalar literatürde yaygın olarak dolaylı ve direkt maksimum güç noktası takip yöntemleri olarak sınıflandırılmıştır.

3.1.1 Dolaylı Maksimum Güç Noktası Takibi Yöntemleri

Dolaylı yöntemlerde PV üreticinin maksimum güçte çalışma noktası, akım, gerilim ve radyasyon değerlerinin ölçülmesi ya da deneysel verileri kullanarak nümerik yaklaşımlar veya matematiksel ifadelerle tahmin edilir. Bu yöntemlerde maksimum güç noktası tahmini sisteme yerleştirilen tek bir PV üreteç için gerçekleştirilmektedir.

Farklı bir PV üretici için her parlaklık ve sıcaklık değerinde her zaman sistemin maksimum güç noktasına tam olarak ulaşamamaktadır. Dolayısıyla bunlar literatürde sözde aramalar olarak bilinirler [1].

3.1.1.1 Eğri Uydurma Yöntemi (Curve Fitting Method)

Bağımsız bir PV üreticinin lineer olmayan karakteristiği tek diyot, iki diyot ve geliştirilmiş iki diyot modeli, matematiksel denklemler ya da nümerik yaklaşımlarla modellenenabilir [18]. Ancak burada çözünürlük ile ilgili bir problem vardır. Dolayısıyla uygulanmaları Maksimum Güç Noktasını(MGN) elde etmek için elverişli değildir. Ancak bazı model tabanlı yaklaşımlar kullanılabilir. Örneğin, [3.1] numaralı denklem PV üreticinin P-V karakteristiğinin denklemsel ifadesidir. Burada a, b, c ve d PV geriliminin(V_{PV}), PV akımının (I_{PV}) ve PV gücünün (P_{PV}) değerlerinin belirli aralıklarla örneklendirilmesiyle elde edilen katsayılardır. Dolayısıyla maksimum gücün elde edildiği gerilim 3.2 numaralı denklemden elde edilir [1].

$$P_{PV} = a V_{PV}^3 + b V_{PV}^2 + c V_{PV} + d \quad (3.1)$$

$$V_{MGN} = \left(-b \sqrt{b^2 - 3ac} \right) / 3a \quad (3.2)$$

Bu süreç her birkaç milisaniyede MGN'yi bulmak adına tekrarlanmalıdır. Hassasiyet örnek sayısına bağlıdır. Bu yöntemin dezavantajları, hücrenin yapısal ve üretim ayrıntılarına bağlı fiziksel parametrelerinin tam olarak bilinmesi gerektiği ve bağıntıların her hava koşulu için geçerli olmadığıdır. Ek olarak, matematiksel ifade ve hesaplamalar için geniş hafıza kapasitesine ihtiyaç duyulabilir.

3.1.1.2 Taramalı Tablo Yöntemi (Look-up Table Method)

Bu yöntemde PV üreticinin ölçülen çıkış akım ve gerilim değerleri kontrol sistemi içerisinde depolanan değerlerle karşılaştırılır. Kontrol sistemi içerisinde yer alan değerler, sabit hava koşulları altında maksimum noktasındaki çalışmaya uyan değerler olduğundan sistemi bu çalışmaya doğru yönlendirir. Böylece maksimum güç transferi sağlanmaya çalışılır. Bu algoritmanın, veri depolamak için büyük bir hafızaya ihtiyaç duyması dezavantajlarındandır. Ayrıca uygulama, her PV panel için özellikle

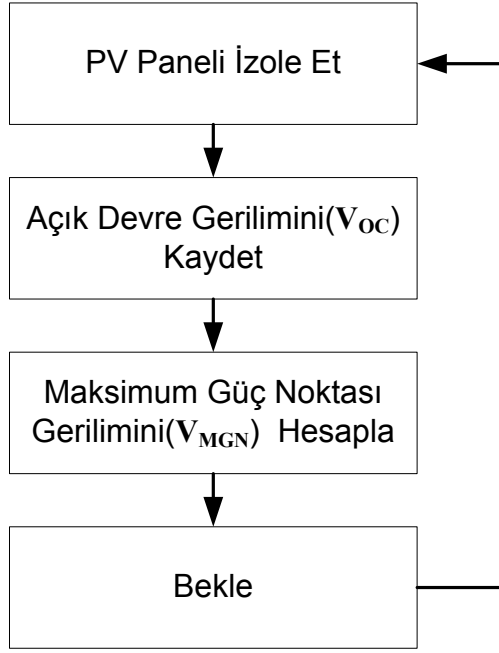
ayarlanması gerekir. Ek olarak bütün olası sistem durumlarını kaydedip depolamak sıkıntılıdır [1].

3.1.1.3 PV Açık Devre Gerilimi Yöntemi (Open-Circuit Voltage PV Generator Method)

Bu algoritma, PV üretcin maksimum güç noktasındaki gerilimine (V_{MGN}) dayanmaktadır. Bu gerilimin açık- devre gerilimi V_{OC} 'ye oranı, yaklaşık lineer olan sabit k_1 dir. Oran sabiti genel olarak, güneş hücresi teknolojisine, dolum faktörüne ve hava koşullarına bağlıdır.

$$k_1 = \frac{V_{MGN}}{V_{OC}} \cong Sabit < 1 \quad (3.3)$$

Bu algoritmayı uygulamak üzere oluşturulan akış diyagramı Şekil 5'te verilmiştir. Bu diyagrama göre PV üretcin açık devre gerilimini ölçmek üzere normal çalışma belirli frekanslarda kesilmekte ve ölçülen değer kaydedilmektedir. Daha sonra [3.3] eşitliği kullanılarak maksimum güç noktası hesaplanır ve bu süreç periyodik olarak tekrarlanır. Her ne kadar bu yöntem görünüşte basitse de optimal değerde bir k_1 sabiti seçmek zordur. Literatürde k_1 değerinin polikristal bir fotovoltaiik modül için örnekleme süresi 15 ms olası durumunda 0.73 ila 0.80 aralığında olduğu belirtilmiştir [19].



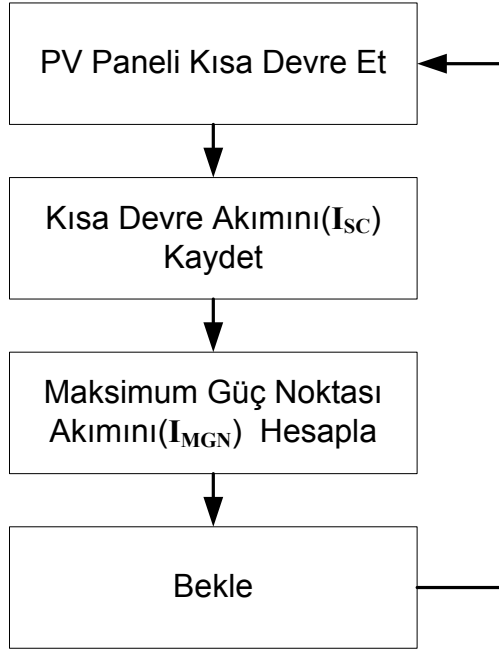
Şekil 3.2 PV açık devre gerilimi yöntemi akış diyagramı

Bu yöntemde belirli bir oran alınarak yapılmaya çalışılan tahmin elbette ki geniş bir aralıkta değişen tüm sıcaklık ve ışıyım değerleri için maksimum gücü sağlayamayacaktır. Ayrıca yaşanmaya bağlı olarak bu seçilen oranın değişmesi gerekmektedir. Bu yöntemin avantajı basit ve sistem maliyetlerinin ucuz olmasıdır. Bununla beraber ölçüm için belirli periyotlarda kesintilerin olması güç kayıplarına neden olmaktadır. Tüm bunlar göz önüne alındığında maksimum güç noktasında çalışmanın bu yöntemle her zaman mümkün olmadığı görülmektedir.

3.1.1.4 PV Kısa Devre Yöntemi (Short-Circuit PV Generator Method)

Bu yöntem yukarıda bahsedilen PV açık-devre gerilimi yöntemine benzer bir yöntemdir. Bu yöntemde [3.4] eşitliğinde verilen maksimum güç noktasındaki akım (I_{MGN}) ile kısa devre akımı (I_{SC}) arasındaki lineer bağıntı esas alınmıştır. Bir önceki yöntemde olduğu gibi buradaki oransal sabit asıl olarak fotovoltaik modülün teknolojisine, dolum faktörüne ve meteorolojik duruma bağlıdır. Örneğin, polikristal bir PV modül için bu k_2 sabiti 0,85 civarındadır [1].

$$k_2 = \frac{I_{MGN}}{I_{SC}} \cong \text{Sabit} < 1 \quad (3.4)$$



Şekil 3.3 PV kısa devre yöntemi akış diyagramı

Bu yöntemde akış diyagramı PV açık-devre gerilimi yöntemiyle aynıdır. Bu yöntemde de tek bir sabit sayıyla maksimum güç noktasının hesaplanabilmesi zor olduğundan bu yöntem PV açık-devre gerilimi yöntemiyle aynı avantaj ve dezavantajlara sahiptir.

3.1.1.5 PV Test Hücreli Açık-Devre Gerilimi Yöntemi (Open-Circuit Voltage PV Test Cell Method)

Bu yöntemde PV açık-devre gerilimi yöntemi ve PV kısa-devre yönteminde olduğu gibi sistem çalışmasına belirli frekanslarda verilen aralıkları ve buna bağlı mahzurları ortadan kaldırmak için alternatif bir test hücresi kullanılır. Böylece fotovoltaik üreticin açık-devre gerilimi bu elektriksel olarak diğer panellerden bağımsız olan tek bir test hücresinden ölçülür. Sonuç olarak elde edilen k_3 katsayısıyla elde edilen değerler ana PV üretece uygulanır.

$$k_3 = \frac{V_{MGN}}{V_{Och}} \cong Sabit < 1 \quad (3.5)$$

Bu yöntemde sadece tek geri besleme çevrim kontrolü yapıldığından yapısal olarak basit ve ekonomiktir. Ayrıca başlangıçta belirtildiği gibi daha önce bahsedilen diğer yöntemlerde olduğu gibi çalışmada kesintiler dolayısıyla oluşan problemler ortadan kaldırılmıştır.

Dezavantaj olarak bu yöntemde test için kullanılan hücrenin birebir ana fotovoltaik yapının her bir hücresiyle eş özelliklere sahip olması gerekliliği söylenebilir. Çünkü bu yöntemde test hücresinden alınan açık-devre geriliminin ana fotovoltaik yapının açık-devre gerilimine orantılı olduğu varsayımıyla maksimum güç takibi yapılmaktadır. Bu durumda test hücresi ana fotovoltaik yapıyla aynı özelliklere sahip değilse elde edilen maksimum güç noktası da tam doğru değer değildir. Son olarak, bu yöntem araç uygulamaları gibi yüzey kısıtlarına sahip uygulamalar için uygun değildir.

3.1.2 Direkt Maksimum Güç Noktası Takibi Yöntemleri

Bu yöntemlerde maksimum güç noktası dolaylı yöntemlerde olduğu gibi tahmin edilmez, bilakis ölçümler yapılarak ilgili maksimum güç noktasında sistem çalıştırılmaya yönlendirilir. Bu yöntemlerin sağladığı en büyük avantaj, PV üreticinin gerilimi ve akımını sürekli ölçerek o anki çalışma koşullarında PV yapıdan mevcut maksimum gücü elde ediyor olabilmeleridir. Dolayısıyla bu yöntemler her ışınım ve sıcaklık değeri için uygundur. Ayrıca bu yöntemlerde kullanılacak PV yapıya ait ön bir bilgiye ihtiyaç yoktur [1].

3.1.2.1 Farklılık Yöntemi (Differentiation Method)

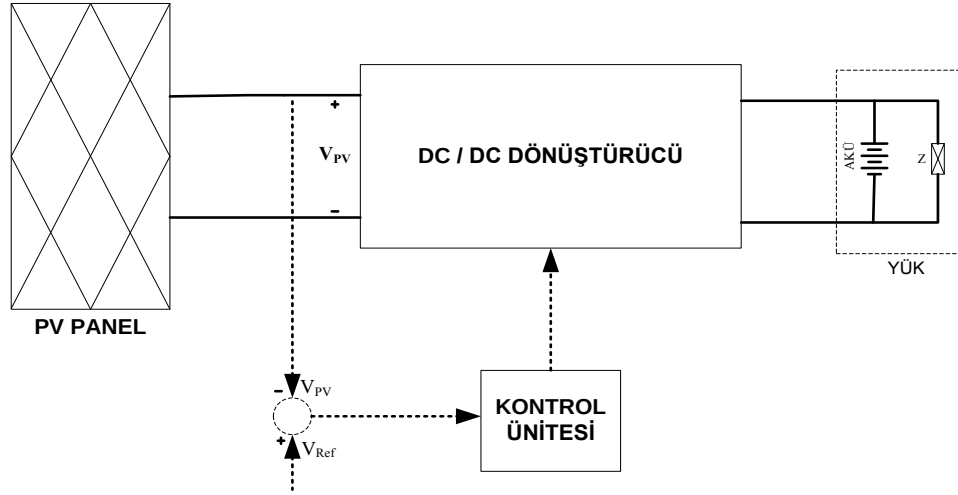
Bu yöntem maksimum güç noktasını [3.6] eşitliğini çözmek suretiyle elde etmeye çalışır.

$$\frac{dP_{PV}}{dt} = V_{PV} \frac{dI_{PV}}{dt} + I_{PV} \frac{dV_{PV}}{dt} = 0 \quad (3.6)$$

Ancak gerçek zamanlı olarak çalışma noktası ayarlanmak isteniyorsa bu eşitlik hızlı bir şekilde çözülmelidir. Bu eşitliklerin çözülmesi en az sekiz ölçüm ve hesaplama gerektirdiğinden zordur. Her bir çözümlemeden sonra çalışma noktasından eşit uzaklıkta diğer yönde değişim ile işlem tekrarlanır. Eğer güçteki değişim (dP_{PV}) sıfır değilse çalışma noktasını bu yönde kaydırmak suretiyle maksimum güç noktasına ulaşmak istenir [1].

3.1.2.2 Gerilim Geri Besleme Yöntemi (Feedback Voltage Method)

Bu yöntem özel olarak çıkış gerilimi sabit veya sabite çok yakın olan sistemler için geliştirilmiştir. Eğer fotovoltaiik yapı gerilimi sabite yakın bir baraya bağlanmamışsa bu yöntem uygulanamaz. Bu yöntemde Şekil 3.4'te gösterildiği gibi PV çıkış gerilimi referans bir gerilimle karşılaştırarak DC/DC dönüştürücünün çevrim içi süresi(duty cycle) ayarlanarak maksimum güç noktasına ulaşılmaya çalışılır.

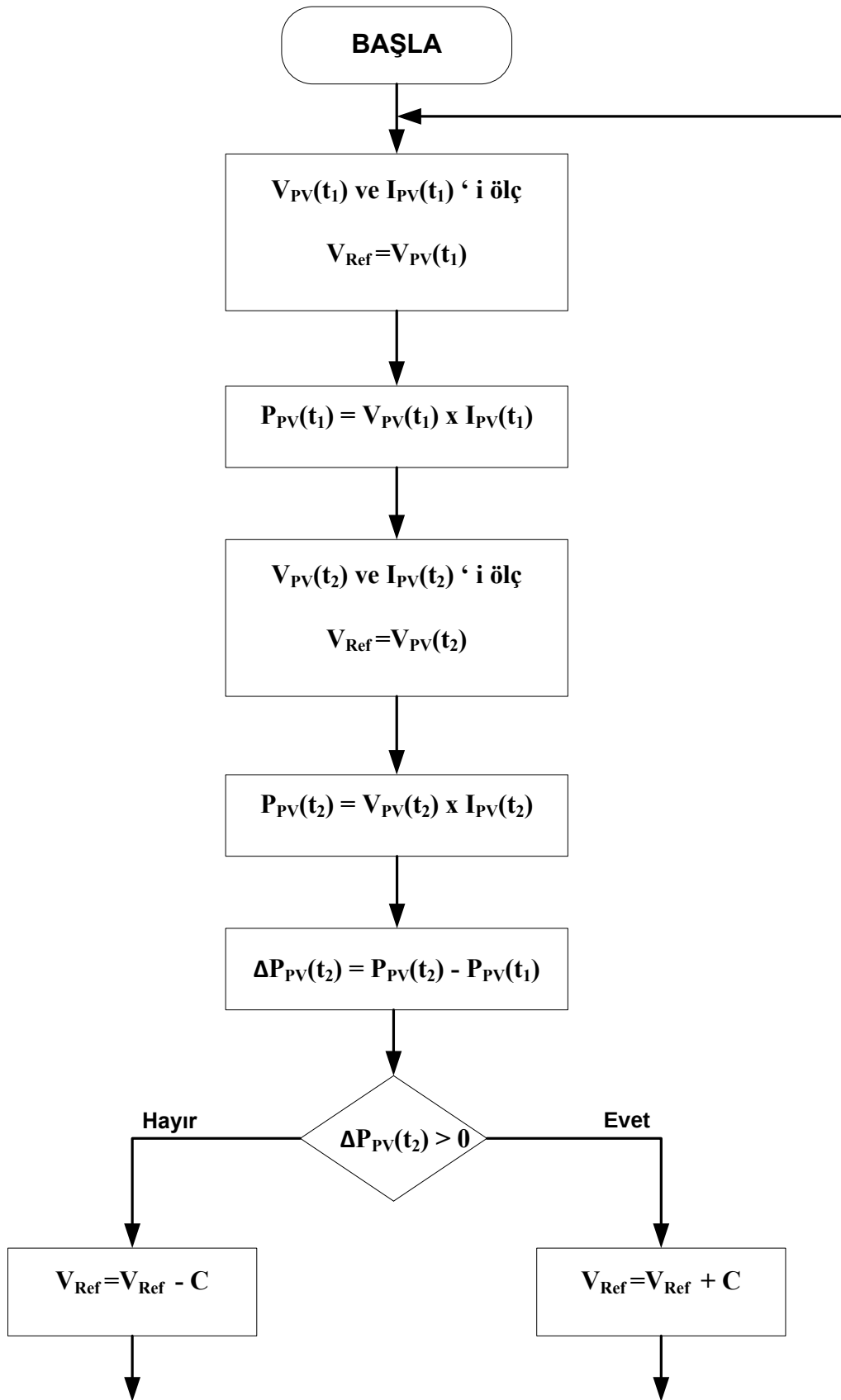


Şekil 3.4 Gerilim geri besleme yöntemi blok şeması

Bu yöntemin en büyük dezavantajı fotovoltaiik yapıların direkt yüke bağlanması durumunda olduğu gibi sistemin çevresel etkilere adapte olamamasıdır. Ayrıca çıkışta sabit bir gerilim istendiğinden şarj ediliş daha sonra deşarj edilecek bataryalar bulunduran sistemlere uygulanamamasıdır. Bu yöntemin avantajı ise daha önce bahsedilen yöntemlerde olduğu gibi tek bir geri beslemeye sahip olması, basit ve ekonomik olmasıdır.

3.1.2.3 Sars ve Gözlemle Yöntemi (Perturbation and Observe (P&O) Method)

P&O maksimum güç noktasına ulaşmak için iterasyon uygulayan bir yöntemdir. Bu yöntem fotovoltaiik dizilerin karakteristiğini ölçer ve çalışma noktasını yön değişimi ile karşılaşmak üzere biraz değiştirir(sarsar). Maksimum güce ulaşıncı $dP_{PV}/dV_{PV}=0$ olacaktır. Bu yöntemle ait basit veya karmaşık birçok algoritma akış şeması bulunmaktadır. Örnek olarak çok basitçe olan algoritma akış şeması Şekil 3.5'te verilmiştir.



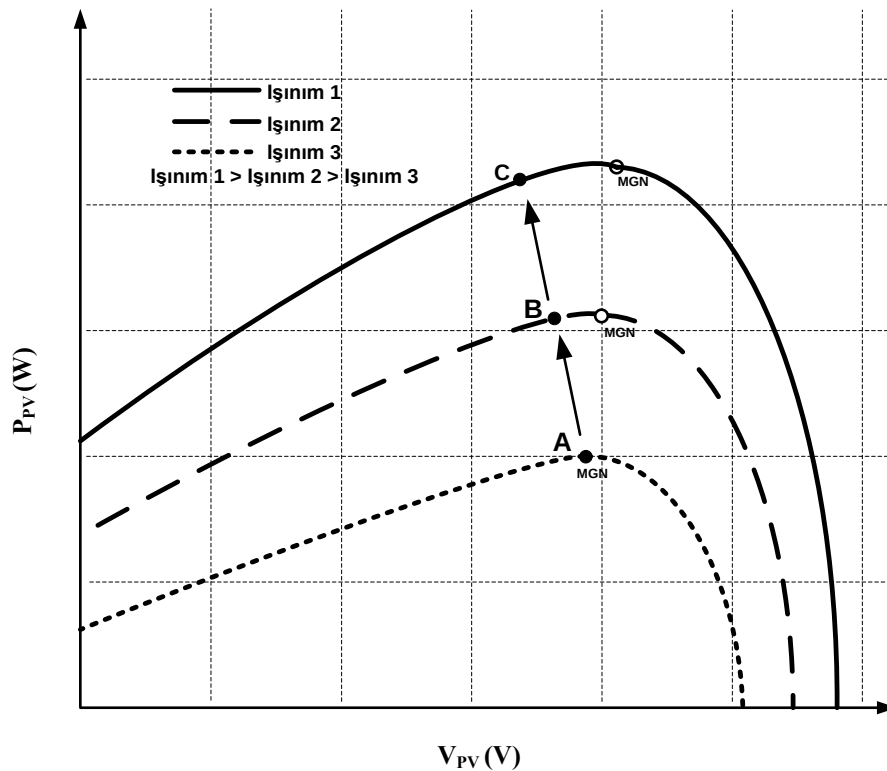
Şekil 3.5 P&O yöntemi akış şeması

Şekil 3.5'te gösterilen akış şemasından da anlaşılacağı gibi bu yöntemde maksimum güç noktasına ulaşma işlemi için önce fotovoltaik yapının geriliminin az bir miktar artması sağlanır. Daha sonra fotovoltaik yapının güç ölçümü yapılır ve bir önceki çevrimdeki güç değeri ile karşılaştırılır. Eğer güçteki değişim pozitif ise fotovoltaik yapının gerilimi aynı yönde değiştirilmeye devam edilir. Eğer değişim negatif ise bu defa çalışma noktasının maksimum güç noktasından uzaklaştığı anlaşılmakta ve gerilimdeki küçük değişimlerin (sarsma) yönü değiştirilmektedir. Bu durum çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 P&O yöntemi MGN testi

$\Delta P < 0$	$V_{PV} > V_{MGN}$	V_{PV}' yi azalt
$\Delta P > 0$	$V_{PV} < V_{MGN}$	V_{PV}' yi artır

Bu yöntemin dezavantajı ise hızlı artan bir ışınlam söz konusu olduğunda ortaya çıkmaktadır [20]. Hızlı değişen ışınlam altında P&O algoritmali bir sistem maksimum güç noktasından sapmaktadır. Bu durum Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Hızlı değişen ışınlam altında P&O yönteminde MGN sapması

İlgili ışınlm seviyesinde oluşan PV I-V eğrisi şekil 3.6'da gösterildiği gibi ve MGNT sistemi tarafından çalışma noktası A noktası civarında salınım yaparken aniden ışınlm artarak PV I-V eğrisini eğri 2'ye dönüştürürse, P&O algoritmali kontrolör güçteki artıştan yönlenmeyi olumlu olarak algılayacaktır. Bu durumda A noktası civarında salınım yaparken çalışma noktasını A noktası yerine B noktasına taşıyacaktır. Güçte pozitif bir artış olduğundan dolayı, değişim de aynı yönde devam edecektir. Başka bir deyişle, gerilim azalarak B noktasına ulaşır. Ayrıca ışınlm artar ve I-V 3 numaralı eğriye doğru tekrar bir artış gösterirse, pozitif güçte de yine bir artış gözlenir. Bu durumda yeni çalışma noktası C olur. Sonuçta, ışınlmdaki artışla birlikte güçteki artışın, çalışma noktasında yapılan küçük değişimlerden (sarsma) kaynaklandığı algısıyla, çalışma noktası maksimum noktadan uzaklaşmıştır. Bu süreç ışınlmdaki artış azalana ya da durana kadar devam eder [3,20].

Bu yöntemin avantajları şu şekilde özetlenebilir: PV karakteristikleri hakkında ön bilgiye ihtiyaç yoktur; gayet basit bir yöntemdir. Ancak, en kararlı halde bile, çalışma noktasının MGN etrafında dolanması bir miktar enerjinin kayıp olmasına neden olmaktadır. Ayrıca sürekli değişen hava koşulları altında çok elverişli değildir. Ancak tepkime süresi ve kontrol algoritmasının düzenlenmesiyle ya da optimize edilerek geliştirilebilir bir yöntemdir [21].

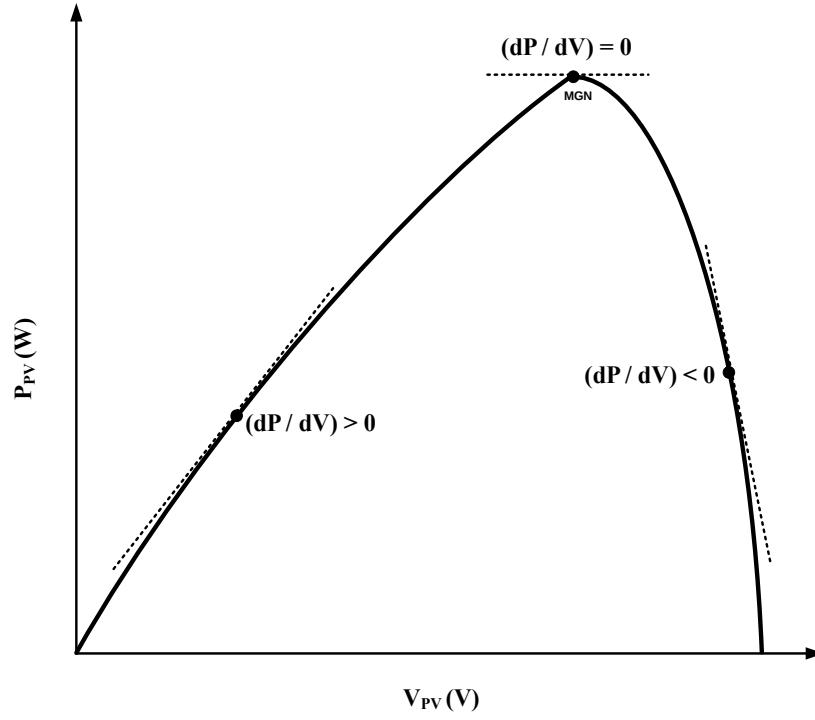
3.1.2.4 Artan İletkenlik Yöntemi (Incremental Conductance (IC) Method)

Artan iletkenlik yönteminde maksimum güç takibi, PV panelden anlık alınan akım ve gerilim artışlarına göre Şekil 3.7'de gösterildiği gibi PV yapının iletkenliğinin gözlenmesi temeline dayanır. PV güç ifadesi [3.7] no'lu denklemde gerilime göre türevi alınıp sonuç sıfıra eşitlenirse bu yöntemin iletkenlik denklemi elde edilir.

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = I_{PV} \frac{dV_{PV}}{dV_{PV}} + V_{PV} \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} = I_{PV} + V_{PV} \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} = 0 \quad (3.7)$$

$$-\frac{I_{PV}}{V_{PV}} = \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} \quad (3.8)$$

3.8 numaralı eşitlikte sol taraf, ani iletkenliğin tersini ifade ederken (I_{PV} / V_{PV}), sağ taraf artan iletkenliği ifade etmektedir.



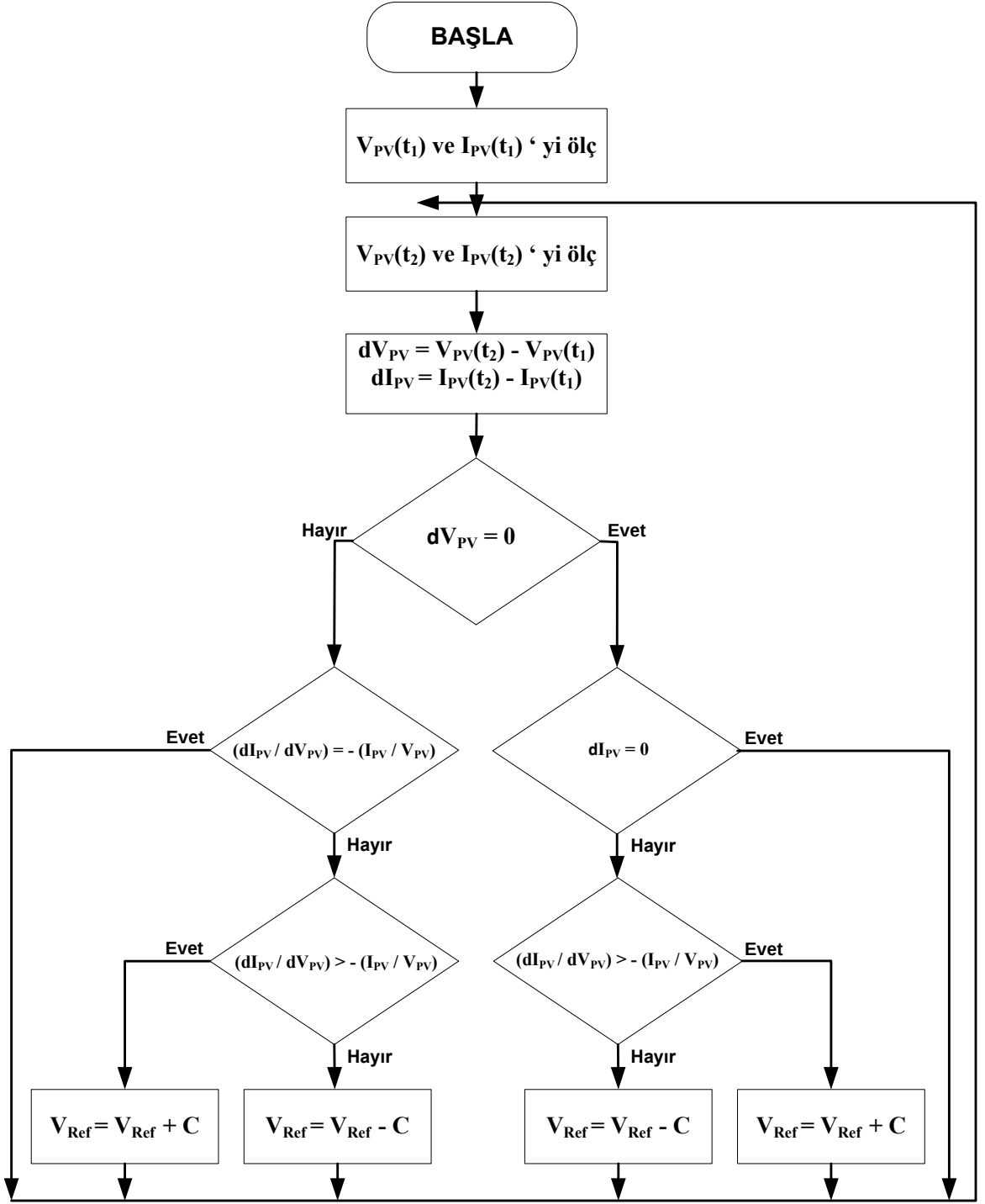
Şekil 3.7 IC yöntemi MGN testi

3.7 numaralı deklemdaki türev ifadesi incelendiğinde PV sistemin maksimum güç noktasında mı yoksa bu noktaya yakın/uzak mı çalıştığı test edilebilir. Bu durumun testi ise aşağıdaki gibi yapılmaktadır.

Çizelge 3.2 IC Algoritması MGN testi

$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} > 0$	$V_{PV} < V_{MGN}$	V_{PV} 'yi artır.
$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = 0$	$V_{PV} = V_{MGN}$	V_{PV} aynı değerinde kalsın.
$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} < 0$	$V_{PV} > V_{MGN}$	V_{PV} 'yi azalt.

Yukarıdaki üç durumu en uygun şekilde Şekil 3.7 açıklamaktadır. Bu yöneme ait akış şeması ise Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



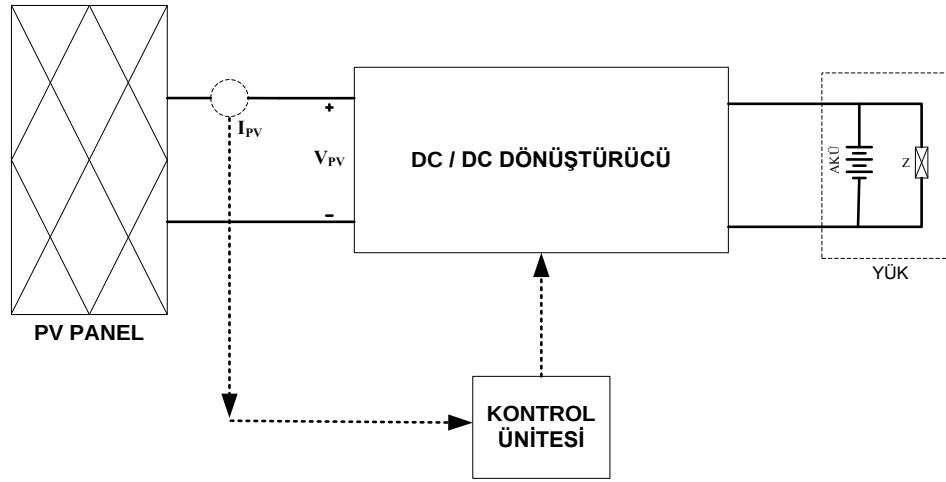
Şekil 3.8 IC yöntemi akış şeması[20]

Bu algoritmanın en önemli avantajı, sürekli değişen hava koşulları altında iyi sonuçlar veren bir yöntem olmasıdır. Optimize edildiğinde, IC ve P&O MGNT algoritmalarının performansları temel olarak aynı olmalarına karşın, MGN etrafındaki sapmalar P&O yöntemine göre daha az olmaktadır. Bunun yanında karmaşık bir kontrol devresine

gerek duymaktadır. Bu devreler daha önceleri pahalı olsa da günümüzde ucuz maliyetle yapılabilecek durumdadır [1].

3.1.2.5 Sadece Akım Fotovoltaik Yöntemi (The Only Current Photovoltaic Method)

Yukarıda bahsedilen direk maksimum güç noktası takip yöntemlerinde PV'nin akım ve gerilimi ölçülmektedir. Bu yöntemde ise PV'nin sadece akımı ölçülerek maksimum güç noktası tahmin edilip maksimum güç noktasında çalıştırılmaya zorlanmaktadır [22]. Şekil 3.9 yönteme ait blok şemasını göstermektedir.



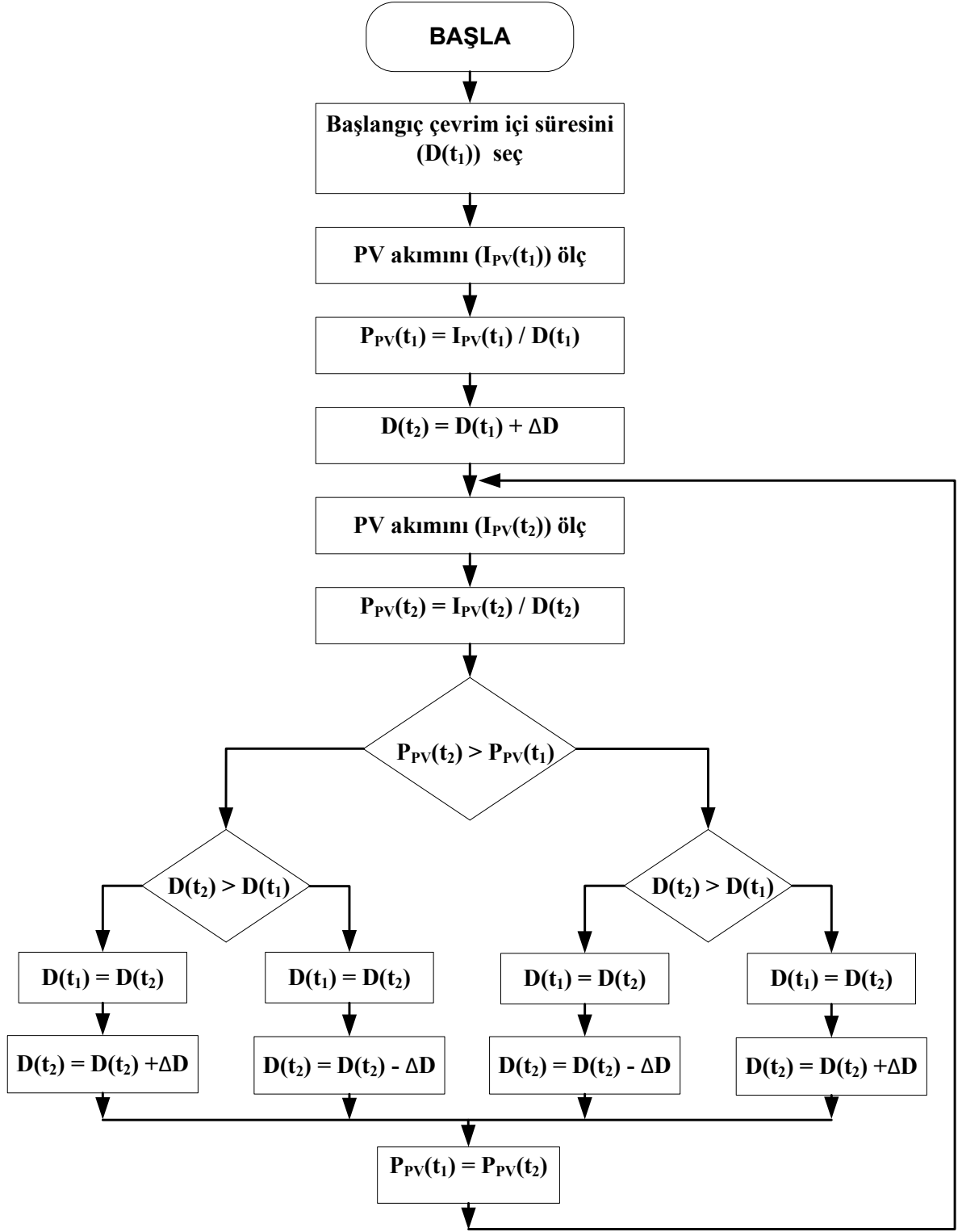
Şekil 3.9 Sadece PV akım MGNT yöntemi blok şeması

Denklem 2.2'deki eşitlikte PV akımını PV geriliminin ana fonksiyonu şeklinde düzenleyip burada DC/DC dönüştürücü denkleminde yerine yazarsak bir dönüştürücünün çevrim içi süreye göre çıkış gücünün değişimi elde edilebilir [1].

$$P_{PV} = V_{PV} \times I_{PV} = V_0 \times \frac{I_{PV}}{D} = P_c^* \times V_0 \quad (3.9)$$

$$P_c^* = \frac{I_{PV}}{D} \quad (3.10)$$

Dönüştürücü kayıplarının ihmal edilmesi durumunda giriş gücü ile çıkış gücü arasındaki eşitlikten yararlanılarak denklem [3.9] yazılmıştır. Çıkışa aktarılan güç batarya gerilimi ile dönüştürücü çıkış akımının çarpımına eşittir. Dönüştürücü çıkış akımı ise çevrim içi süreye bağlı olarak değişeceğinden çıkış gücü çevrim içi sürenin değişimine bağlı olarak değişmektedir. Buradan da dekle [3.10] elde edilmiştir. Şekil 3.10 sadece PV akım metodunun akış şemasını göstermektedir.



Şekil 3.10 Sadece PV akım metodu akış şeması[23]

İlk olarak PV akımı $I_{PV}(t_1)$ ölçülmüş ve $P_{PV}(t_1)$ hesaplanmıştır. Daha sonra çevrim içi süre yükseltilmiştir. İkinci aşamada PV akımı $I_{PV}(t_2)$ ölçülmüş ve $P_{PV}(t_2)$ tekrar hesaplanmıştır.

P_{PV} 'nin eski ve mevcut değerleri alındıktan sonra işletme noktasının yerine bağlı olarak çevrim içi surenin(D) artırılması veya azaltılması yönünde karar verir. Maksimum güç noktasına ulaşana kadar bu işlem tekrar edilir.

Bu metotta sadece değişken olarak PV akımlarının ölçümü kullanıldığı için diğer doğrudan metotlarla karşılaştırıldığında büyük avantaja sahiptir. Bununla birlikte bu algoritma değişken atmosfer durumlarında ve farklı hava koşullarında bile başarılı bir şekilde işletilebilir [22]. Bu metot genelde düşürücü DC/DC dönüştürücüler için uygulansa da referans [22]'te de anlatıldığı gibi yükseltici veya düşürücü DC/DC dönüştürücü topolojileri için uygun olduğu söylenebilir.

3.1.2.6 Diğer Metodlar

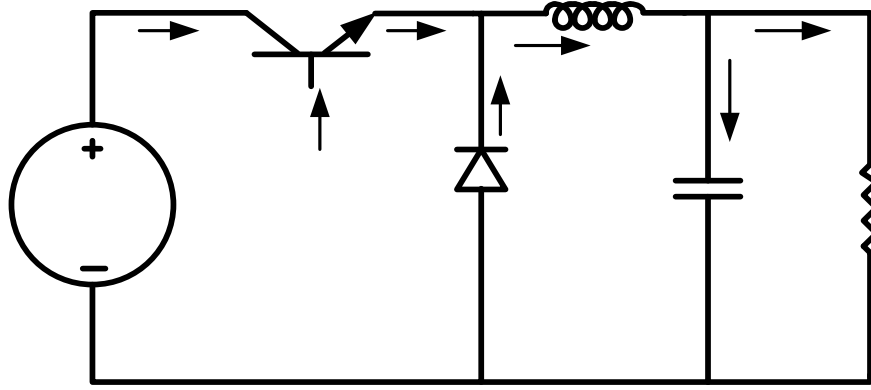
Bahsedilen direkt MGNT tekniklerinin dışında parazitik kapasite, zorlamış salınım, fuzzy logic ve sinirsel ağlarla ilgili metodlar vardır. Bu metodlar yukarıda bahsedilen algoritmalara göre avantaj ve dezavantaja sahiptir.

3.2 DC/DC Dönüştürücüler

DC/DC dönüştürücüler girişine gelen DC gerilimi yine bir DC gerilime çevirirler. Bu dönüştürücülerin temel prensibi endüktansın enerji aktarımına dayanır [23]. Giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki ilişkiye göre bu dönüştürücüler üç grupta incelenir.

3.2.1 Dşc DC/DC Dönüştürücü

Bu dönüştürücü isminden de anlaşılacağı gibi girişine gelen DC gerilimi çıkışında daha düşük bir DC gerilime çevirir. Bu dönüştürücüye ait temel devre şeması şekil 3.11'de verilmiştir.

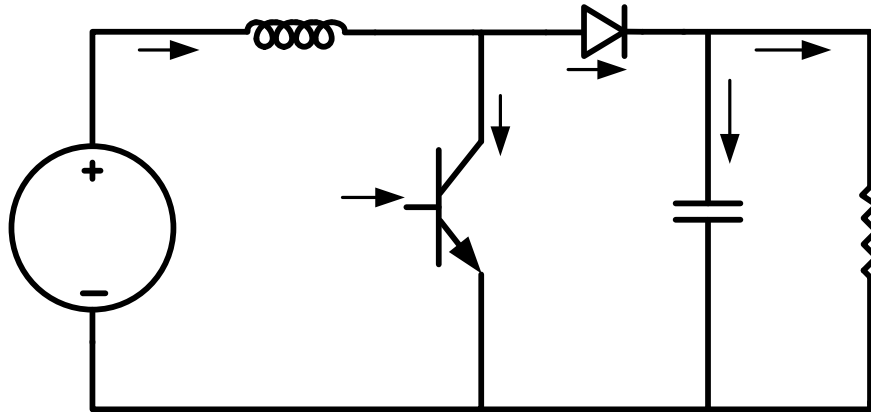


Şekil 3.11 Düşürücü dönüştürücü temel devre şeması

Bu devrede transistör iletimde iken kaynak tarafından endüktans ve yük beslenir. Endüktanstan geçen akım lineer olarak artar ve endüktansın enerji seviyesi de yükselir. Transistörün sinyalinin kesilmesi ile enerjili olan endüktans tarafından diyot iletime girer. Diyotun iletime girmesi ile endüktansta biriken enerji ile yük beslenir. Endüktans akımı lineer olarak azalır ve endüktansın enerji seviyesi düşer. Bu dönüştürücüde güç elemanları kaynak gerilimine maruz kalır [23].

3.2.2 Yükseltici DC/DC Dönüştürücü

Bu dönüştürücü de girişine gelen DC gerilimi çıkışında daha yüksek bir DC gerilime çevirir. Bu dönüştürücüye ait temel devre şeması şekil 3.12’de verilmiştir.



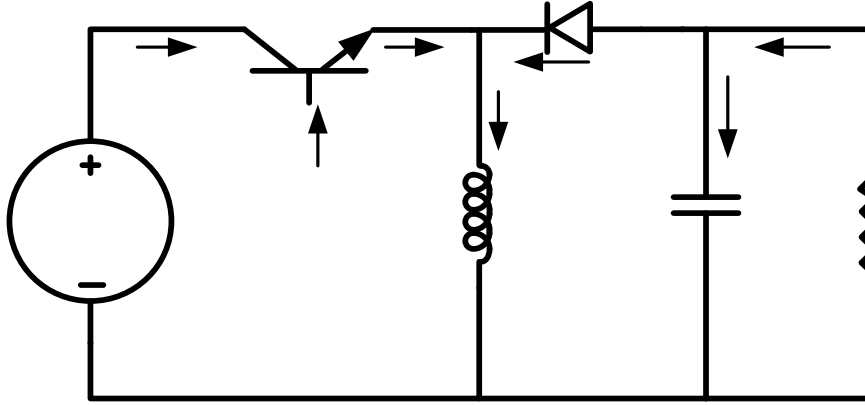
Şekil 3.12 Yükseltici dönüştürücü temel devre şeması

Bu devrede transistör iletimde iken kaynak tarafından endüktans beslenir. Endüktanstan geçen akım lineer olarak artması ile biriken enerjide artar. Transistörün iletimi sırasında yükün beslemesi kondansatör tarafından yapılır. Transistörün

sinyalinin kesilmesi ile enerjili olan endüktans tarafında diyot ilettime girer. Diyotun ilettime girmesi ile yük, kaynak ve endüktansta biriken enerji ile beslenir. Endüktanstan geçen akım ve biriken enerjide lineer olarak azalır. Bu dönüştürücü de güç elemanları çıkış gerilimine maruz kalırlar [23].

3.2.3 Düşürücü-Yükseltici DC/DC Dönüştürücü

Bu dönüştürücü girişine gelen gerilimi çevrim içi sürenin (D) durumuna göre düşürür veya yükseltir. Bu dönüştürücüye ait temel devre şeması şekil 3.13'te verilmiştir.

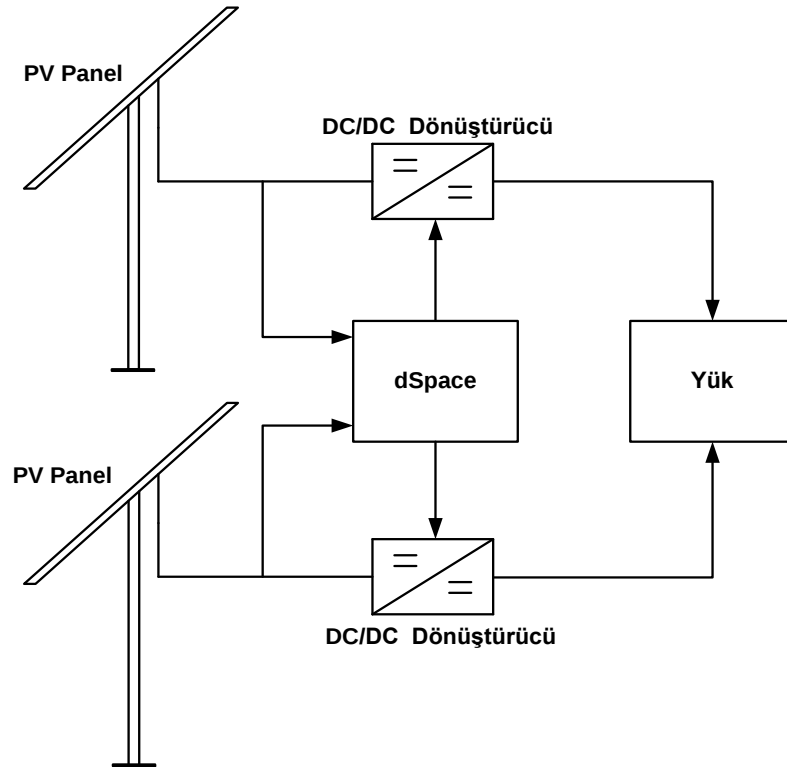


Şekil 3.13 Düşürücü- Yükseltici dönüştürücü temel devre şeması

Bu dönüştürücü transistorün iletimde olduğu sürede yükseltici dönüştürücü gibi, transistorün kesimde olduğu sürede ise düşürücü dönüştürücü gibi çalışır. Bu devrede çıkış geriliminin kontrol edilme aralığı düşürücü ve yükseltici dönüştürücülerin kontrol aralıklarının toplamına eşit olduğundan düşürücü-yükseltici dönüştürücü ismini almıştır [23].

MGNT ALGORİTMALARININ DENEYSEL KARŞILAŞTIRILMASI

Bölüm 3'te bahsedilen MGNT tekniklerinden yaygın olarak kullanılanlar arasında performans yönünden karşılaştırma yapılmıştır. Bu karşılaştırmanın yapılabilmesi için iki özdeş PV panel ve bunlarda farklı MGNT algoritmasının gerçekleştirilebildiği kontrol ve dönüştürücü devresi kullanılmıştır. Oluşturulan karşılaştırma sistemine ait blok şeması şekil 4.1'de gösterilmiştir.



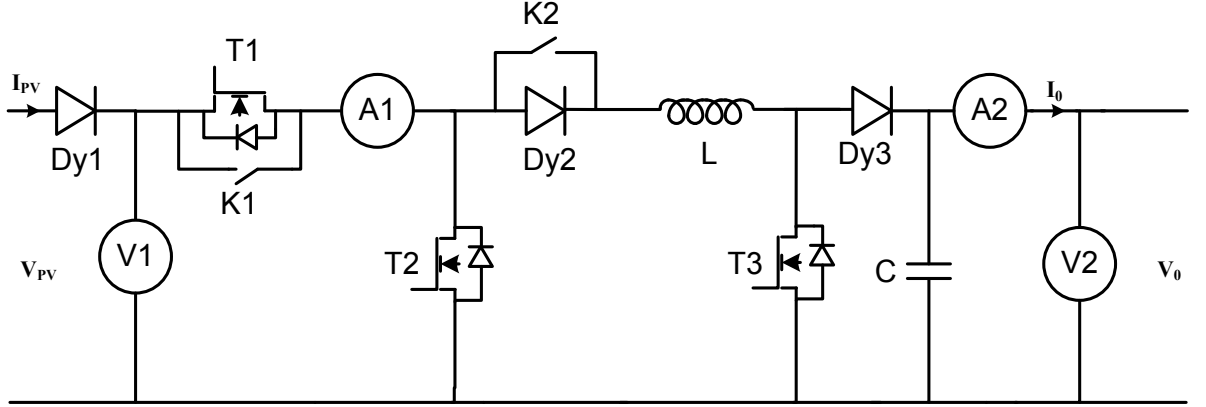
Şekil 4.1 MGNT algoritmaları karşılaştırma sistemi blok şeması

Burada her iki PV panel 50 W gücündedir. dSpace üzerinden kontrol edilen dönüştürücü devreleri aynı olup ölçüm ünitelerini de üzerinde barındırmaktadır. PV

panellere ait datasheet ve DC/DC dönüştürücülere ait açık devre şeması ekler kısmında verilmiştir.

4.1 DC/DC Dönüştürücü

Bu karşılaştırma sisteminde kullanılan DC/DC dönüştürücüler yükseltici türündendir. Sistemde kullanılan DC/DC dönüştürücüye ait devre şeması şekil 4.2’de verilmiştir.



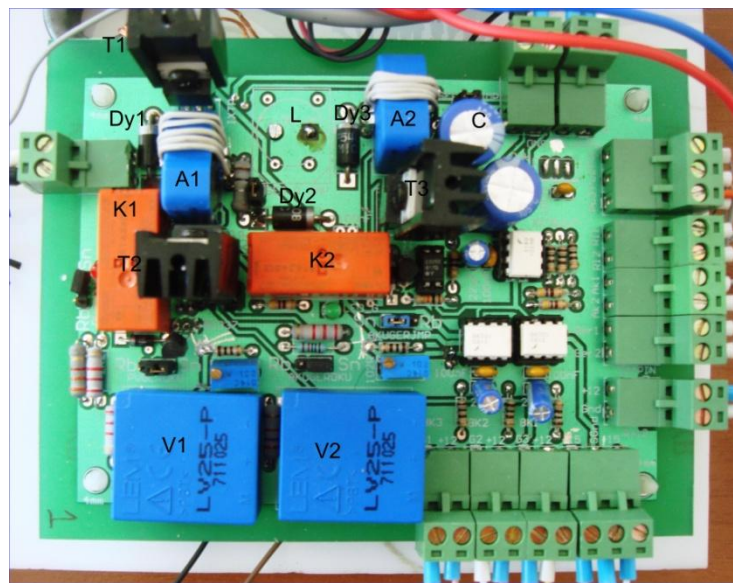
Şekil 4.2 Karşılaştırma sisteminde kullanılan DC/DC dönüştürücü devre şeması[2]

Bu devredeki elemanların ne oldukları ve ne için kullanıldığı çizelge 4.1’ de verilmiştir.

Çizelge 4.1 DC/DC dönüştürücü devresi elemanları

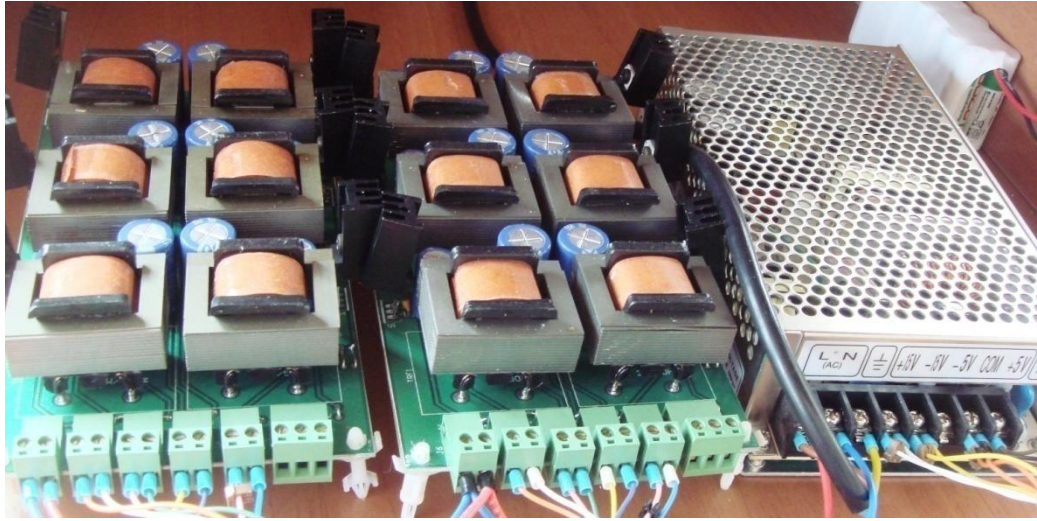
Dy1	PV ters akım diyotu	UF5401
V1	Gerilimi Sensörü	LEM LV-25P
T1	PV açık devre elemanı	IXTP182N055T
K1	T1’ devre dışı bırakan anahtar	ROLE
A1	Akım sensörü	LEM LTS 25-NP
T2	PV kısa devre elemanı	IXTP182N055T
Dy2	Ters akım diyotu	UF5401
K2	Dy2’yi devre dışı bırakan anahtar	ROLE
L	Dönüştürücü endüktansı	515 μ H
T3	Dönüştürücü anahtarlama elemanı	IXTP182N055T
Dy3	Dönüştürücü yardımcı elemanı	UF5401
C2	Dönüştürücü çıkış kondansatörü	35V 2200 μ F
A2	Akım sensörü	LEM LTS 25-NP
V2	Gerilim sensörü	LEM LV-25P

Bu devrede Dy1 diyodu PV panele doğru bir ters akımın akmaması için konulmuştur. V gerilim sensörü PV panel uçlarındaki gerilimi algılamak içindir. Ancak burada Dy1 diyodundan dolayı PV gerilimi normal geriliminden yaklaşık 0.4 V kadar eksik ölçülmektedir. Bu sorun ise ölçülen gerilime 0.4 V eklenmesi ile aşılmıştır. T1 elemanı bir Mosfet olup PV açık devre gerilimine göre maksimum güç noktası araması yapan algoritma için kullanılmaktadır. Bu işlem T1 mosfetinin kapı sinyali kesilip K1 anahtarının açılması ile V1 gerilim sensörünün PV açık devre gerilimini okumasıyla yapılmaktadır. K1 anahtarı ise bir rolenin normalde açık kontağı olup T1 anahtarına ihtiyaç duyulmadığı durumlarda bu elemanı devre dışı bırakmak için kullanılmaktadır. T1'den sonraki A akım sensörü ise PV akımını ölçmede kullanılmaktadır. T2 elemanı yine bir mosfet olup PV kısa devre akımına göre maksimum güç noktası araması yapan algoritma için kullanılmaktadır. Bu da T2 mosfetinin kapısına sinyal verilip A1 akım sensöründe PV kısa devre akımının okunması ile yapılmaktadır. T2 anahtarına ihtiyaç duyulmayan zamanlarda kapı sinyali kesilmektedir. Dy2 diyodu ise T2 elemanı devrede iken ters bir akım akmaması içindir. Dy2 diyoduna ihtiyaç duyulmayan durumlarda ise K2 rolesi devreye alınarak bu diyot üzerinde ekstradan bir gerilim düşümüne müsaade edilmemektedir. L endüktansı, T3 mosfeti, Dy3 diyodu ve C kondansatörü ise bir DC/DC dönüştürücüdeki elemanlardır. A2 akım sensörü dönüştürücü çıkış akımını V2 gerilim sensörü ise dönüştürücü çıkış gerilimini okumak içindir. Şekil 4.3 dönüştürücünün fotoğrafını göstermektedir.



Şekil 4.3 DC/DC dönüştürücü kartı

DC/DC dönüştürücü devresi üzerinde birçok algoritmayı uygulamaya uygundur. Ayrıca ölçüm ünitesini de zerinde bulundurmaktadır. Dönüştürücü devresinde üç tane mosfet, akım sensörü, gerilim sensörü ve mosfetleri sürmek için kapı sürücü entegreleri olduğundan bu elemanları beslemek için izole kaynaklara ihtiyaç duyulmuştur. Şekil 4.4 bu elemanları beslemek için tasarlanan 2 adet kaynak ve 1 adet hazır alınan kaynağı göstermektedir. Ayrıca tasarlanan kaynaklara ait açık devre şemasıda ekler kısmında verilmiştir.



Şekil 4.4 Dönüştürücü kartlarını beslemede kullanılan kaynaklar

4.2 Kontrol Ünitesi

MGNT tekniklerinin dönüştürücü devresi üzerinde gerçekleştirilmesi için kontrol elemanı olarak dSpace kullanılmıştır. dSpace ile üç farklı algoritma gerçekleştirilmiş ve karşılaştırılması yapılmıştır. Deney düzeneği içerisinde kullanılan dSpace ait fotoğraf şekil 4.5'te verilmiştir.

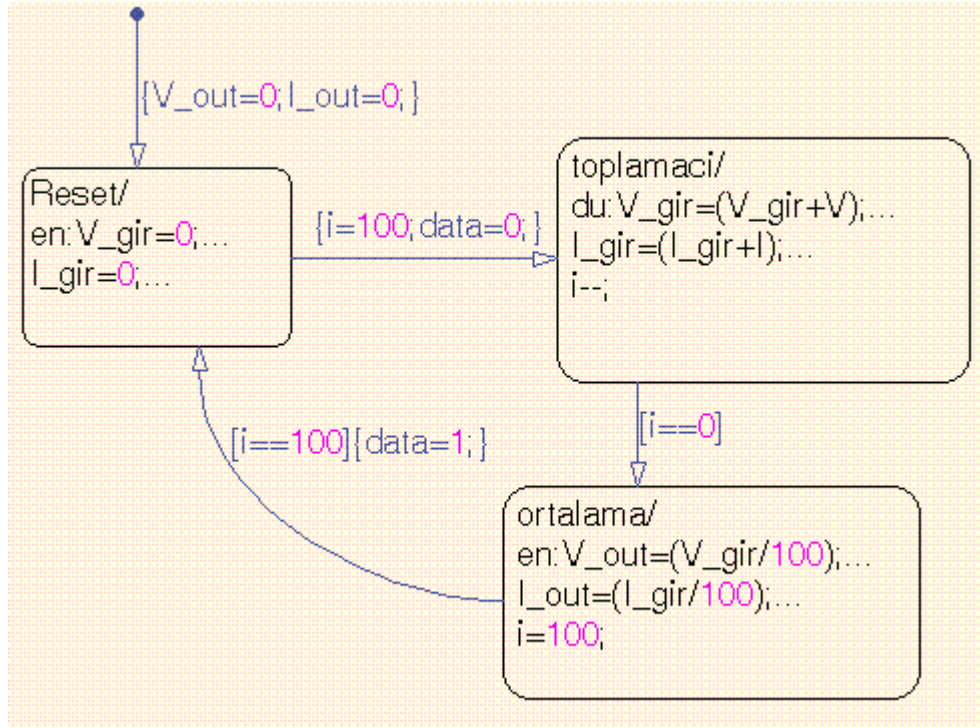


Şekil 4.5 Kontrol için kullanılan dSpace

Matlab/Simulink ortamında oluşturulan simülasyonların dSpace'e yüklenmesi ile DC/DC dönüştürücü kartının kontrolü sağlanmıştır.

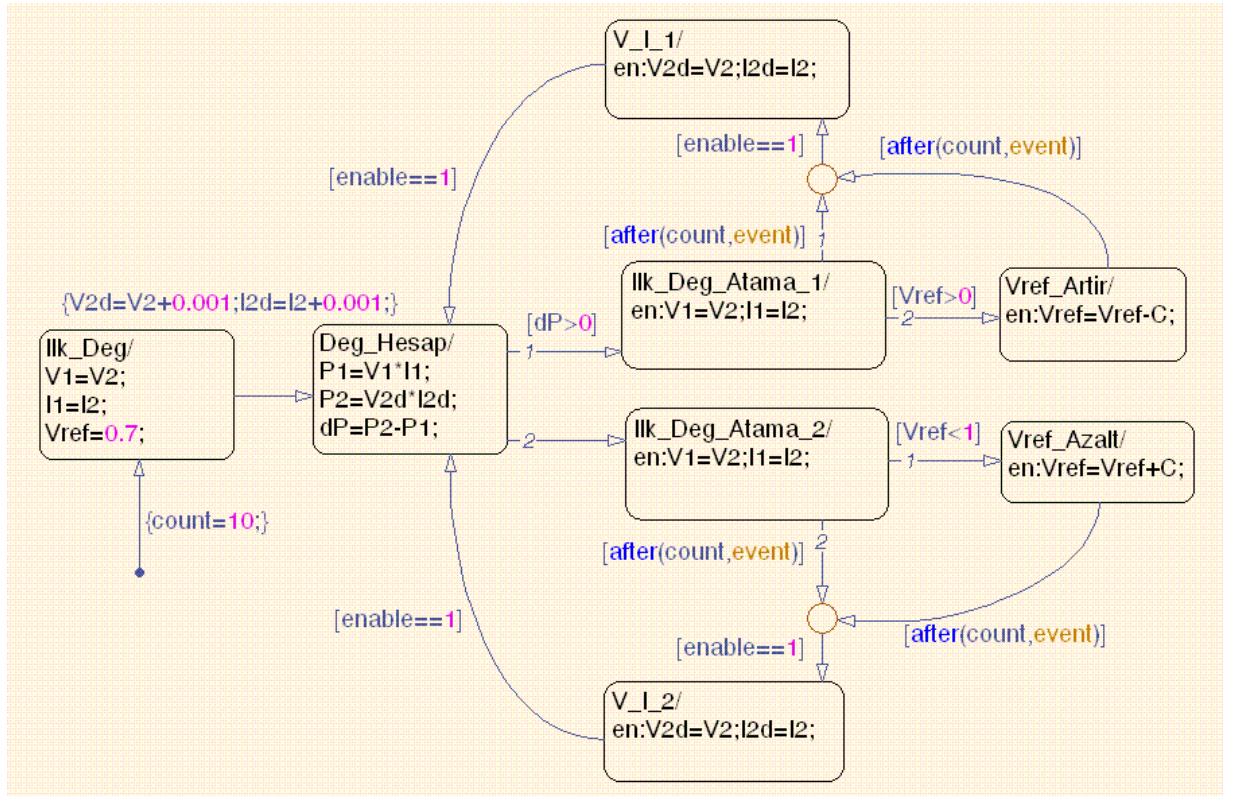
4.3 MGNT Algoritmaları

Bu çalışma için üç adet MGNT tekniğinin Matlab/Simulink ortamında simülasyon şeması oluşturulmuştur. Ayrıca her algoritmanın MGNT yapan alt sistemi ise Matlab/Stateflow'da yapılmıştır. MGNT için PV çıkışından alınan akım ve gerilim değerleri yüksek frekansta alındığından bu verilerin yüzerli ortalaması alınarak karar verme işlemi yapılmıştır. Şekil 4.6 ortalama alma işlemi yapan Stateflow şemasını göstermektedir.

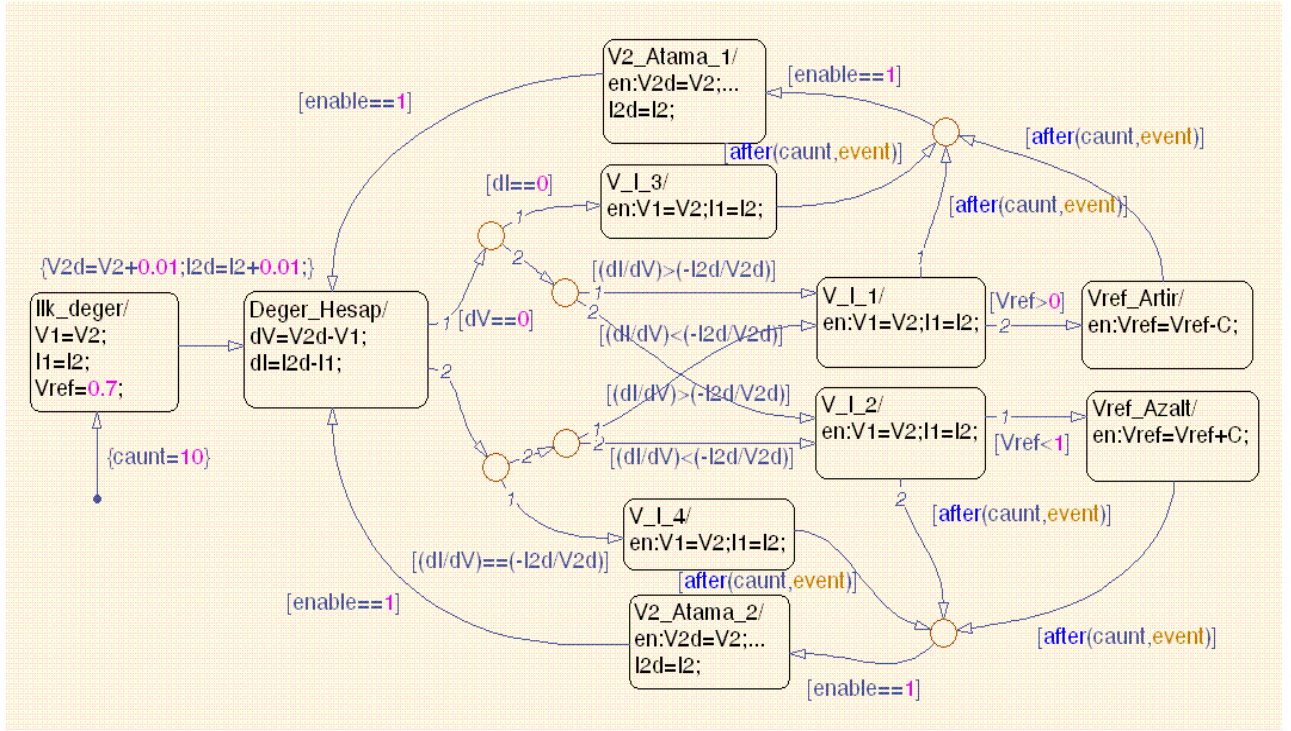


Şekil 4.6 PV değerlerinin ortalamasını alan Stateflow şeması

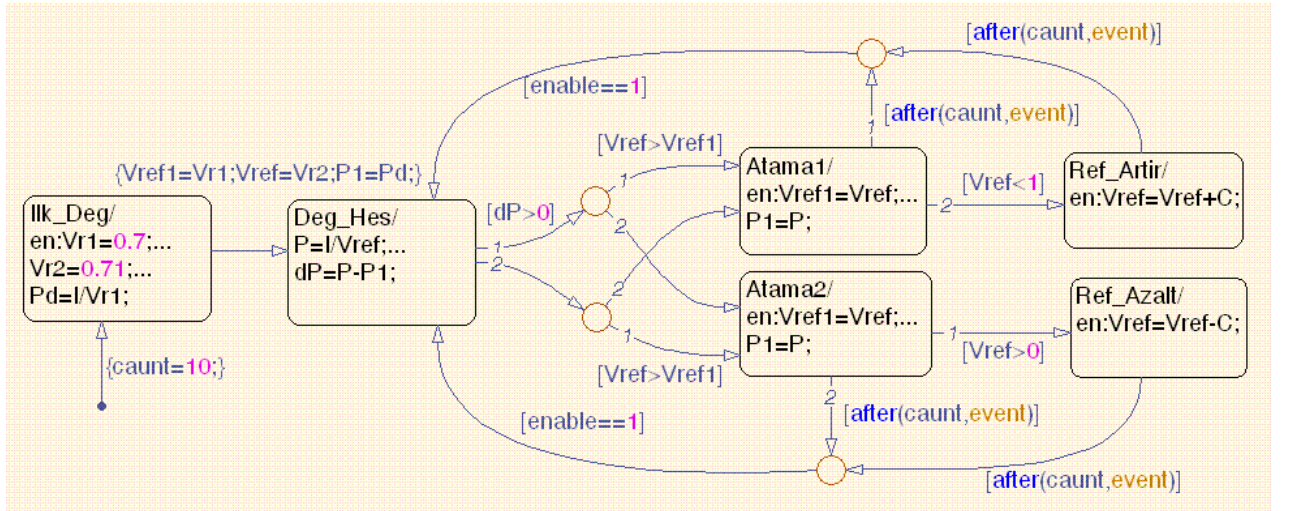
Ortalamaşı alınan değerlerin algoritmalara sokulması ile MGNT yapılmaktadır. Aşağıda üç farklı algortimaya ait Stateflow şeması verimiştir.



Şekil 4.7 P&O algoritması Stateflow şeması



Şekil 4.8 IC algoritması Stateflow şeması



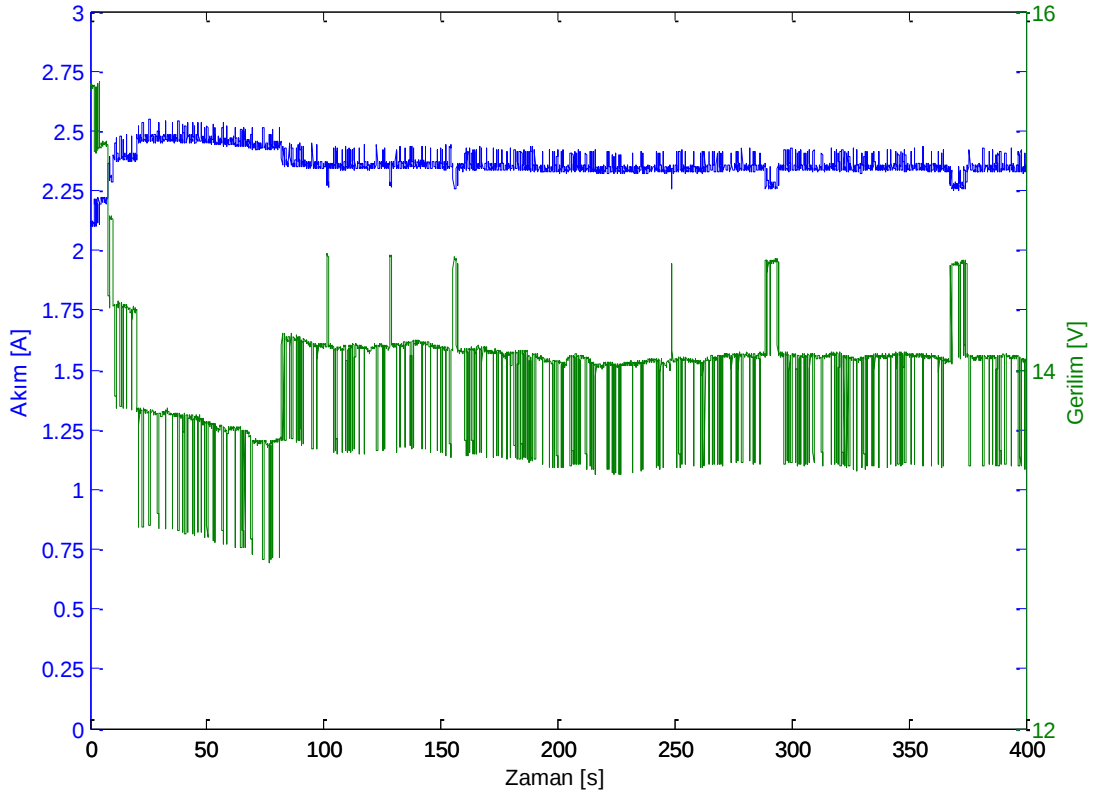
Şekil 4.9 Sadece PV akım algoritması Stateflow şeması

4.4 DeneySEL Sonuçlar

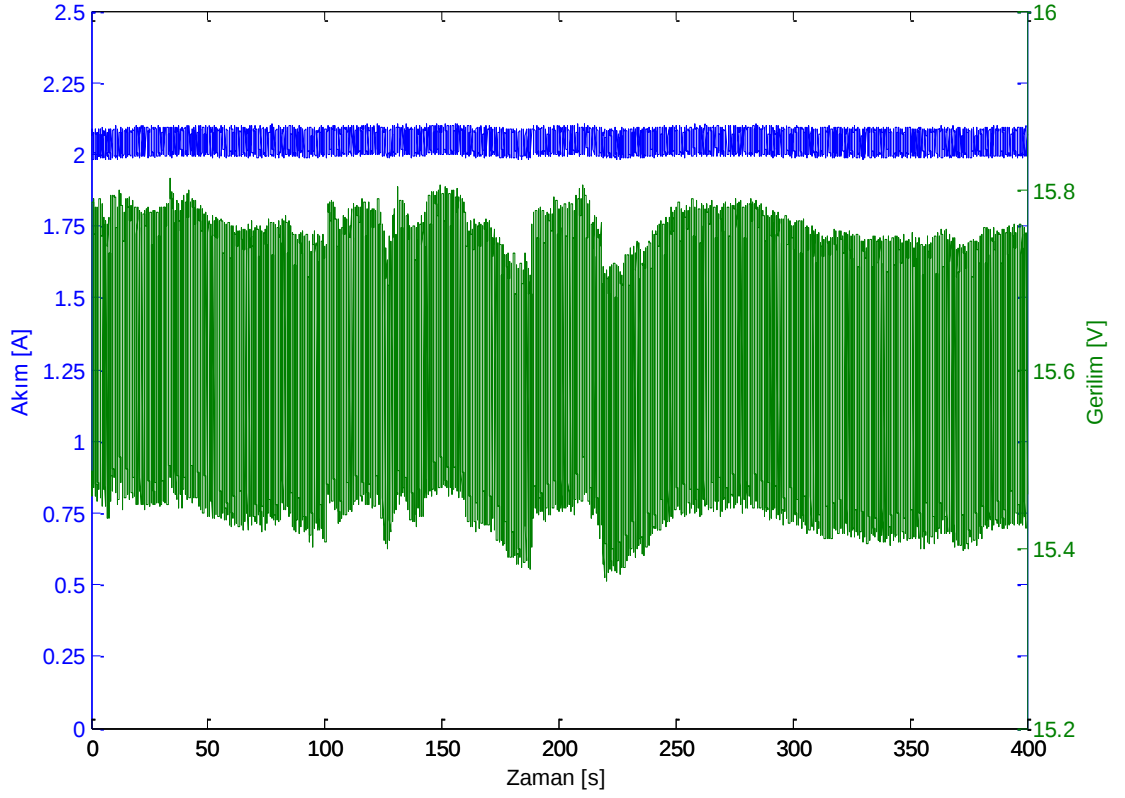
Bu bölümde oluşturulan deney platformunda özdeş iki panele bağlanan iki aynı dönüştürücü kartına farklı algoritmalar yüklenerek performans sonuçları sunulmuştur. Üç farklı algoritma kendi aralarında ikili olarak karşılaştırılmış ve PV'lerin akım gerilim değerleri ölçülerek güç hesaplamaları yapılmıştır.

4.4.1 P&O ve IC Algoritmaları Karşılaştırması

İki algoritmanın karşılaştırılması sırasında paneller aynı ortam şartlarındadır. DC/DC dönüştürücüden birine P&O algoritması diğerine ise IC algoritması mantığı ile dSpace tarafından kontrolü ile 50 saniyelik bir süre için her iki panelin akım ve gerilim çıkışı değerleri alınmıştır. Şekil 4.10 ve şekil 4.11 panellere ait akım ve gerilim değerlerini göstermektedir.

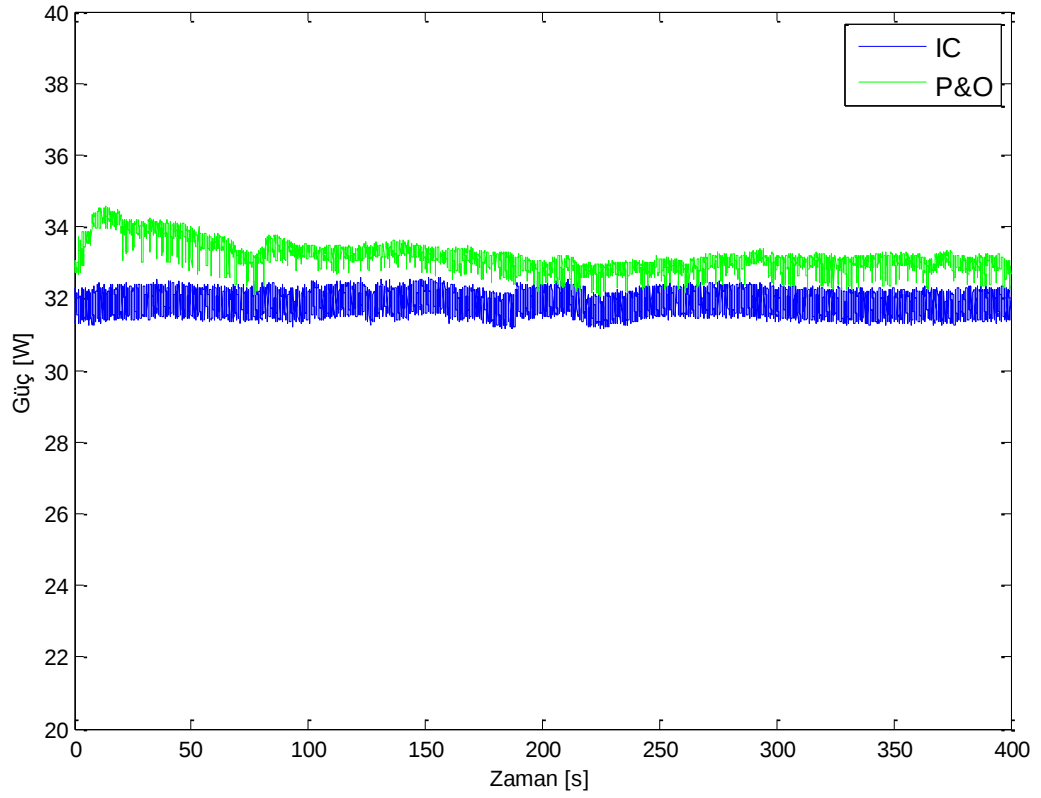


Şekil 4.10 P&O algoritması ile MGNT yapılan panele ait akım ve gerilim değerleri



Şekil 4.11 IC algoritması ile MGNT yapılan panele ait akım ve gerilim değerleri

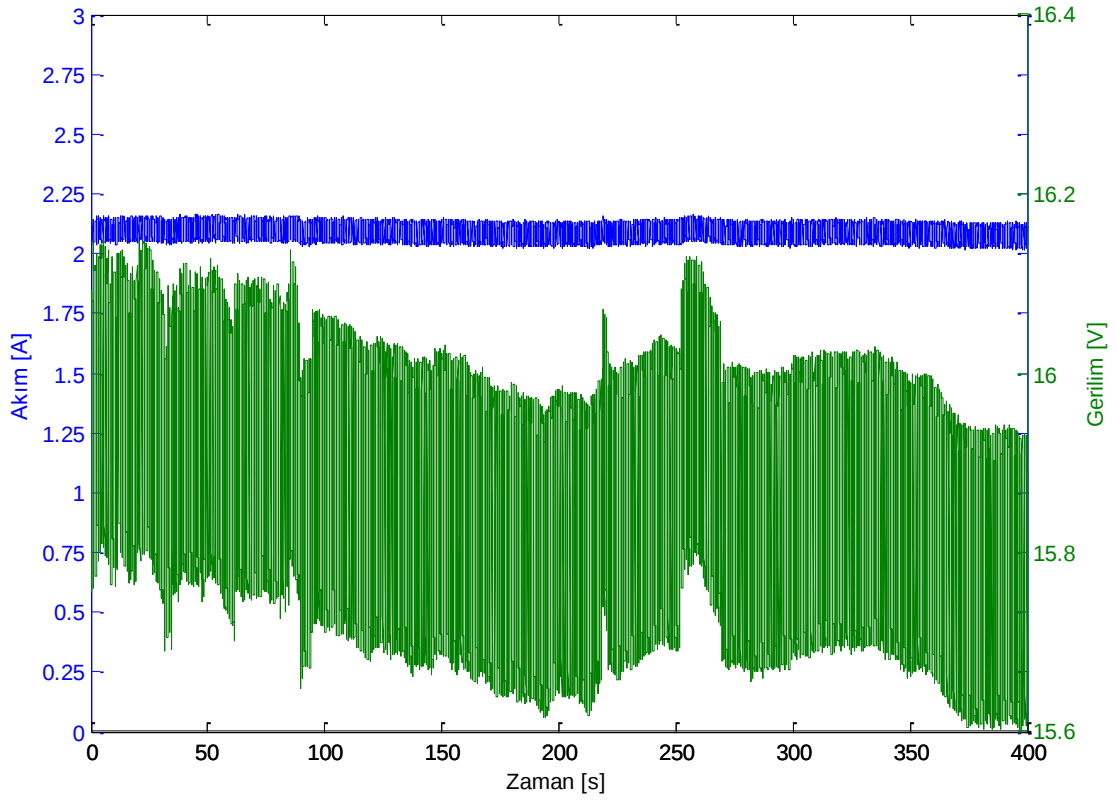
Her iki panel için çıkış gücü değerleri değişimi ise şekil 4.12 'de verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere P&O algoritması panel çıkış gücünü 33 W seviyesinde tutarken IC algoritması panel çıkış gücünü 32 W seviyesinde tutmuş ve 31 W seviyesine düştüğü de olmuştur. P&O algortmasının IC algoritmasına göre MGNT daha başarılı olduğu görülmektedir.



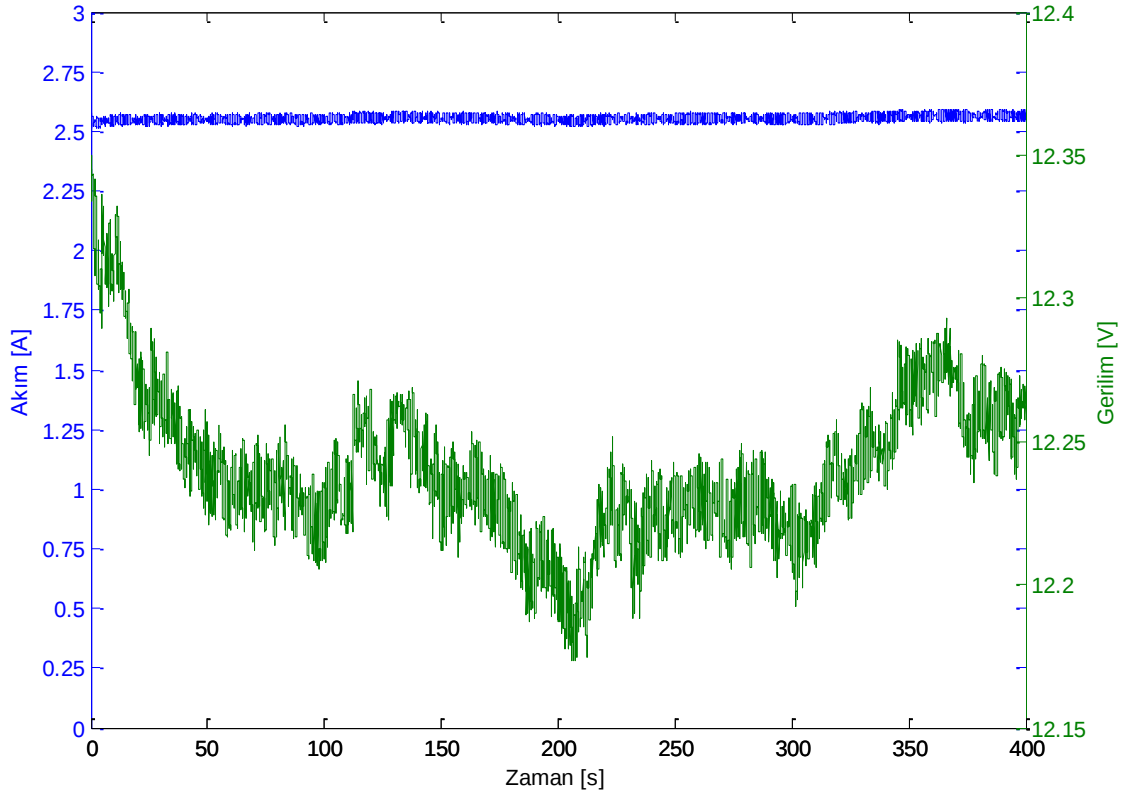
Şekil 4.12 Panelere ait çıkış gücü değerleri

4.4.2 P&O ve Sadece PV Akım Algoritmaları Karşılaştırması

Yukarıda bahsildiği gibi aynı şekilde P&O ve sadece PV akımı algoritmalarının karşılaştırılması yapılmıştır. Her iki algoritma için alınan değerler şekil 4.13 ve şekil 4.14 'te verilmiştir.

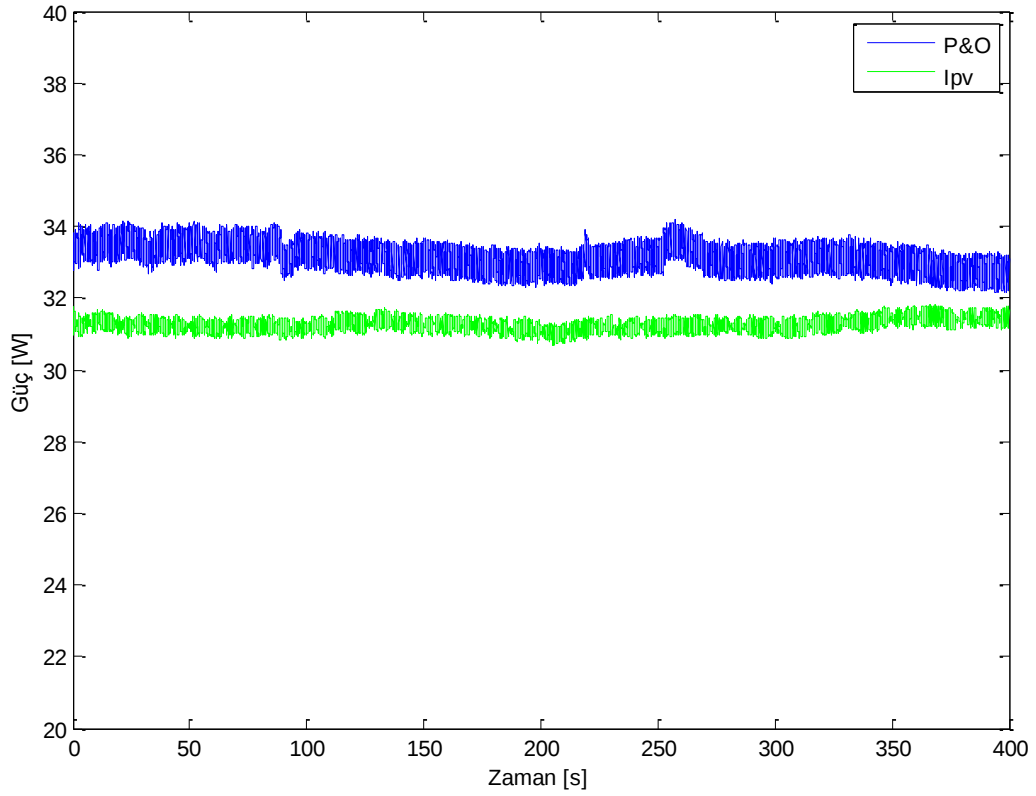


Şekil 4.13 P&O algoritması ile MGNT yapılan panele ait akım ve gerilim değerleri



Şekil 4.14 Sadece PV akımı algoritması ile MGNT yapılan panele ait değerler

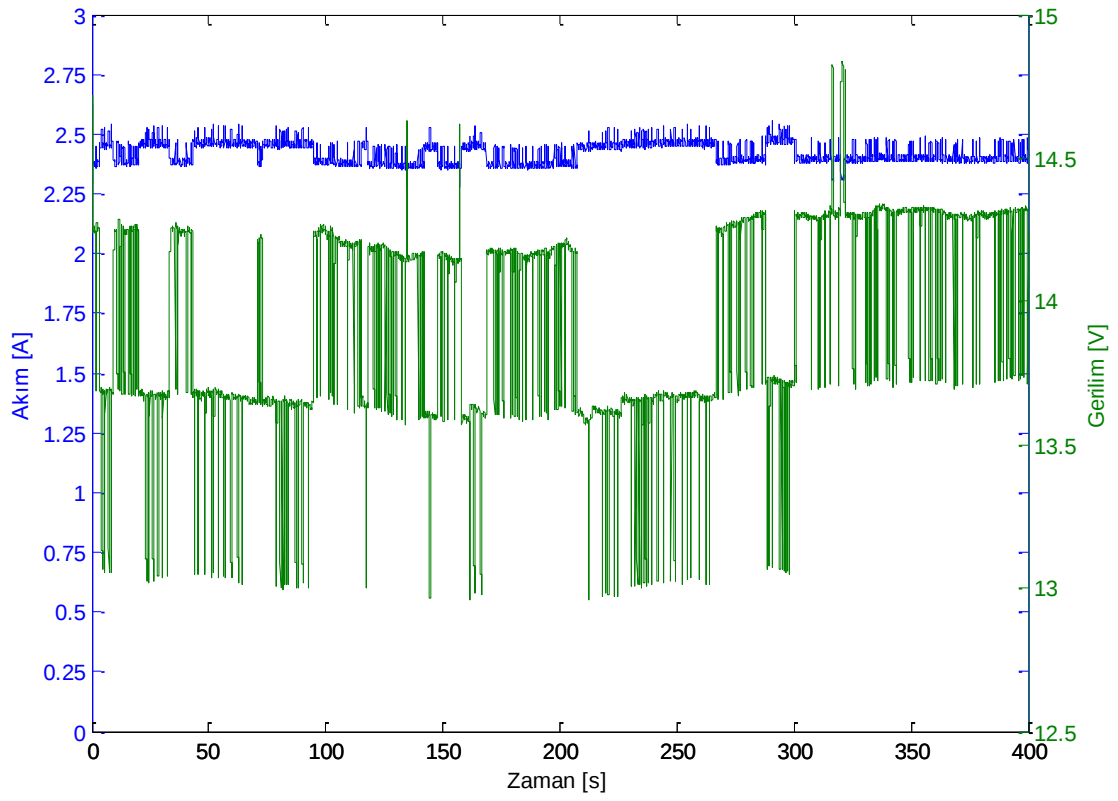
Her iki algoritmaya ait akım ve gerilim değerlerinden panel çıkış güçleri hesaplandığında P&O algoritmasının sadece PV akımına göre MGNT yapan algoritmaya göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Panellere ait çıkış güçleri şekil 4.15'te verilmiştir.



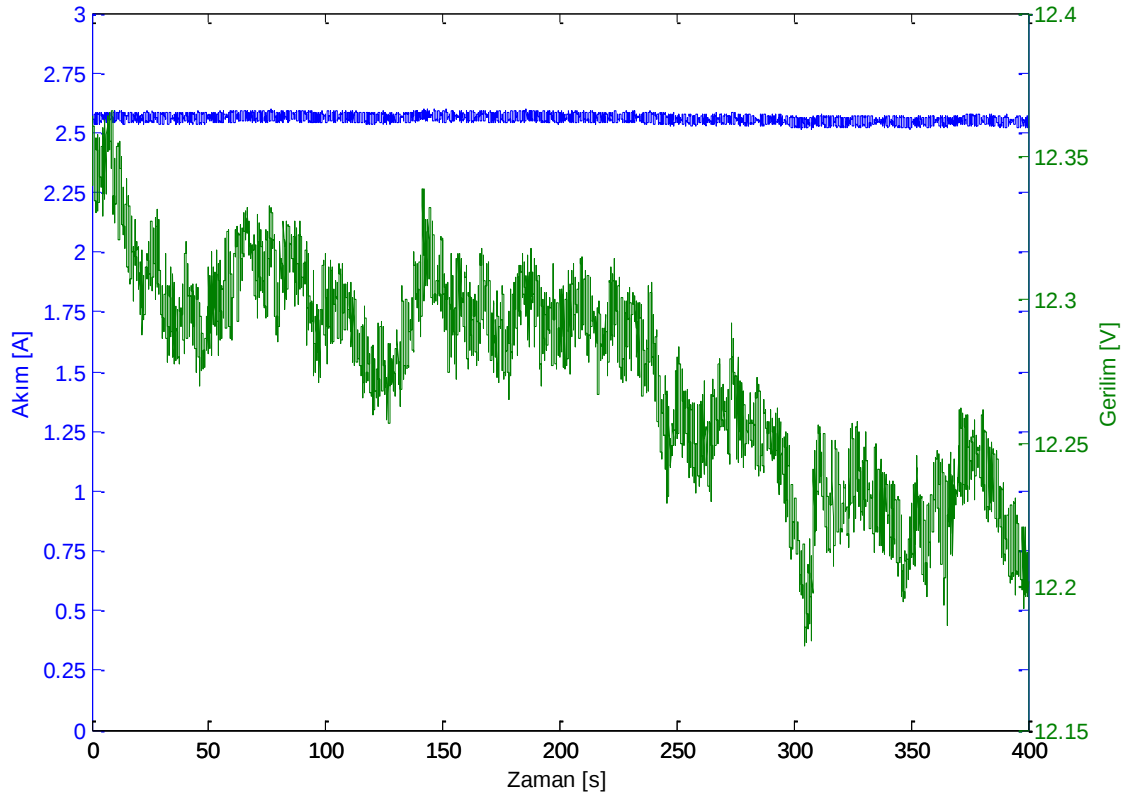
Şekil 4.15 Panellere ait çıkış gücü değerleri

4.4.3 IC ve Sadece PV Akım Algoritmaları Karşılaştırması

IC ve sadece PV akım algoritmaların karşılaştırılmasından elde edilen panel çıkış akımı ve gerilimi değerleri şekil 4.16 ve şekil 4.17'de verilmiştir.

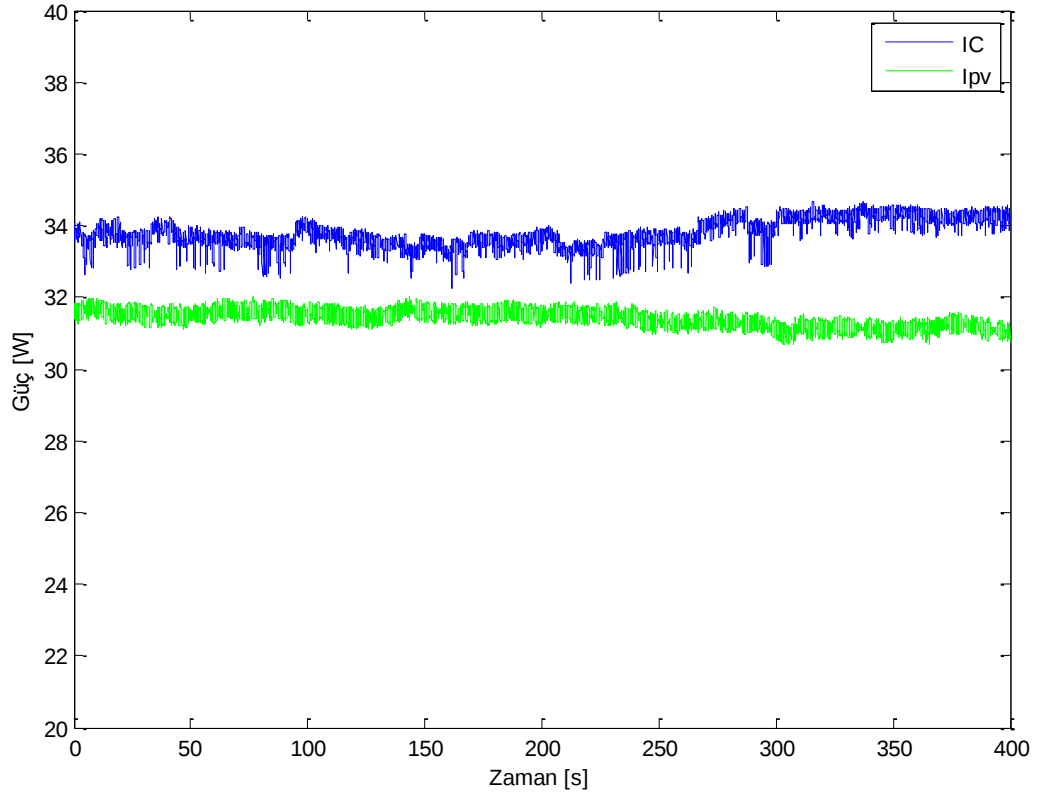


Şekil 4.16 IC algoritması ile MGNT yapılan panele ait akım ve gerilim değerleri



Şekil 4.17 Sadece PV akımı algoritması ile MGNT yapılan panele ait değerler

Her iki algoritmaya ait akım ve gerilim deęęelerinden panel çıkış güçleri hesaplandığında sadece PV akımına göre MGNT yapan algoritmanın IC'ye göre MGN takibi yapmada daha başarısız olduğu görölmüştür. Panel çıkış güçleri şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.18 Panellere ait çıkış gücü değerleri

SONUÇ VE ÖNERİLER

PV sistemlerin verimlerinin düşük olmasından dolayı elde edilecek enerjinin olabildiğince maksimuma yakın bir değerde tutulması istenilmektedir. Bu da PV sistem ile yük arasına PV panel çıkışını takip eden bir ara devreye ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan çalışmada PV panelden maksimum güç elde etmek için ara DC/DC dönüştürücü devresi tasarlanmıştır. DC/DC dönüştürücü devresi üzerinde aynı zamanda PV çıkış akımını ve gerilimini okuyan ölçüm sistemi bulunmaktadır.

Bu sisteme genel olarak MGNT sistemi denilmektedir. Oluşturulan MGNT sistemi yedi farklı algoritmayı uygulamaya uygundur. Bu çalışmada üç farklı algoritmanın karşılaştırılması yapılmıştır. MGNT algoritması üzerinde bulunan anahtarlama elemanları ve ölçme elemanlarını beslemek içinde ayrıca izle kaynak devresi de tasarlanmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda P&O, IC ve sadece PV akım algoritmaları performans yönünden karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada P&O algoritmasını en iyi performans gösterdiği görülmüştür. P&O'dan sonra sadece IC algoritması performans yönünden iyi olduğu görülmüştür. Üç algoritma içerisinde en kötü performansa sahip olan sadece PV akımına göre MGNT yapan algoritma olduğu görülmüştür.

Yapılan devre yedi farklı algoritma için uygun olduğundan ileri bir çalışma olarak yedi algoritma kendi aralarında performans yönünden karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Salas, V., Oli'as, E., Barrado, A., ve La' zaro, A., (2006). "Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems", Solar Energy Mater. Solar Cells 90:1555-1578.
- [2] Berrera, M., Dolara, A., Faranda, R. ve Leva, S., (2009). "Experimental Test of of Seven Widely- Adopted MPTT Algorithms", IEEE Bucharest Power Tech Conference, 28th June- 2nd July, Bucharest.
- [3] Eram, T. ve Chapman, P. L., (2007). "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques", IEEE Transactions on Energy Conversion, 22.2:439-449.
- [4] Hohm, D.P. ve Ropp, M.E., (2003). "Comparative study of maximum power point tracking algorithms", Prog. Photovolt: Res. Appl., 11: 47–62.
- [5] Hua, C. ve Shen, C., (1998). "Comparative Study of Peak Power Tracking Techniques for Solar Storage System", IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition- Proceedings of the 1998 13th Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition, 15-19 Feb., California.
- [6] Arabul, A. Y., (2010). Yakıt Pillerinin Şebekeden Bağımsın Ev Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] Quaschnig, V. (2005). Understanding Renewable Energy Systems, 3rd Ed., Earthscan, London.
- [8] Şen, Z. (2008). Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques Atmosphere, Environment, Climate Change and Renewable Energy, 1st Ed., Springer, London.
- [9] T. C. Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı,
<http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=enerji&bn=215&hn=12&nm=384&id=384> 11.08.2010.
- [10] Yıldız, T. (2010). "Turkey's Energy Economy and Future Energy Vision", Turkish Policy Quarterly, 9.2:13-18.
- [11] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü,
<http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> 15.06.2011

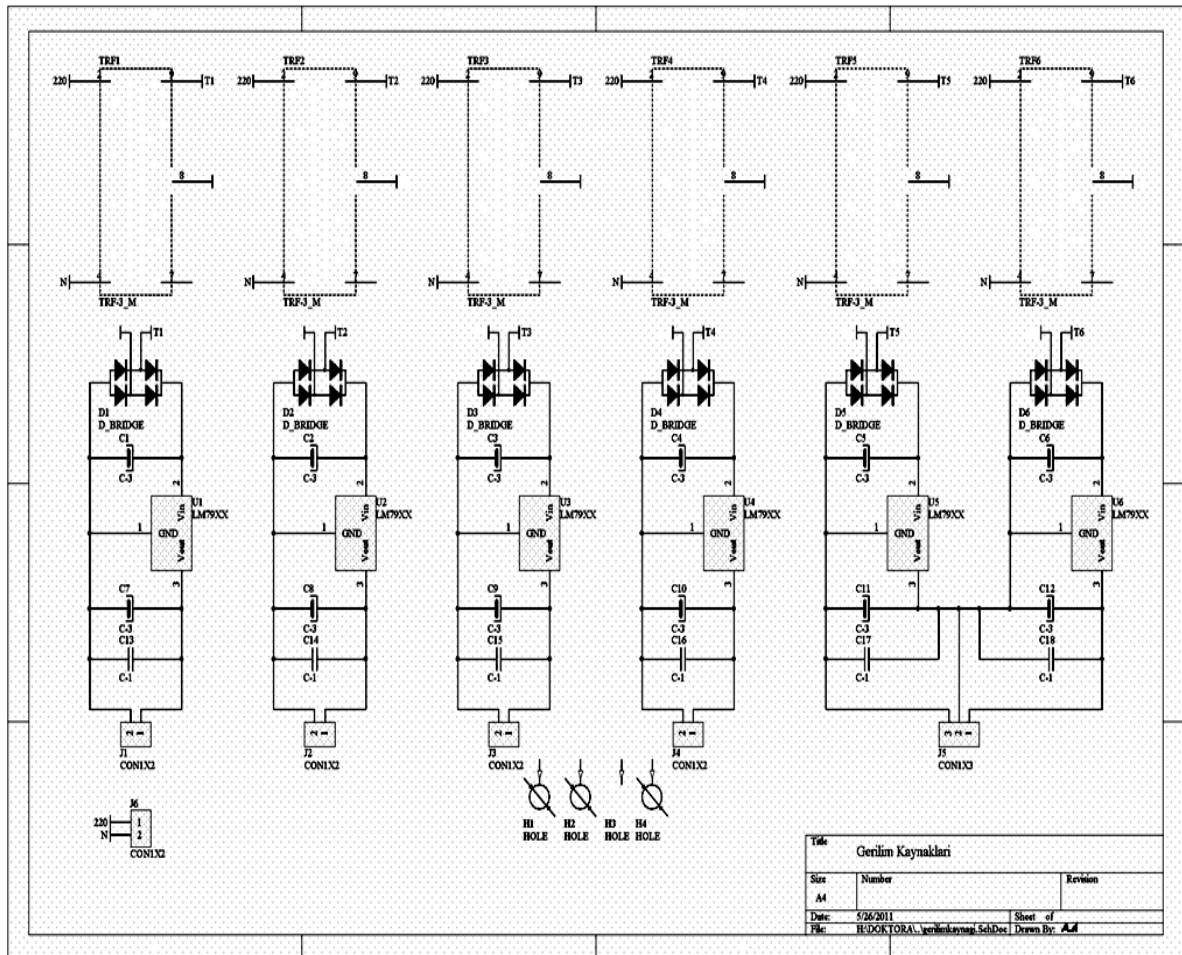
- [12] Kalogirou, S. (2009). *Solar Energy Engineering Processes and Systems*, 1st Ed., Elsevier, San Diego.
- [13] Fu-Sheng P., Ru-Min C., Shin Hong K., ve Tai-Sheng L., (2011). "Performance Evaluation of Parabolic Prediction to Maximum Power Point Tracking for PV Array", *IEEE Transactions On Sustainable Energy*, 2.1:60-68
- [14] Nakir, İ., (2007). *Fotovoltaik Güneş Panellerinde GTS ve MGTS Kullanarak Verimliliğin Arttırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] Leva, S. ve Zaninelli, D., (2009). "Hybrid Renewable Energy-Fuell Cell System: Design and performance evaulation", *Elekctric Power System Researce*, 79:316-324.
- [16] Schaefer, J., (1990). "Reviev of Photovoltaic Power Plant Performance and Economics", *IEEE Trans. Energy Convers.*, EC-5:232-238.
- [17] Markvart, T. ve Castaner, L., (2003). *Practical Handbook of Photovoltaics:Fundamentals and Applications*, 1st Ed., Elsevier, Oxford.
- [18] Kensuke, N., Nobuhiro, S., Ken-ichi, K., Yukie, Y., Yasuaki, I., Yukiharu, U. ve Takashi, F., (2003). "Analysis of the temperature characteristics in polycrystalline Si solar cells using modified equivalent circuit model", *Jpn. J. Appl. Phys.* 42:7175–7179
- [19] Schoeman, J.J. ve Wyk, J.D., (1982). "A Simplified Maximal Power Controller for Terrestrial Photovoltaic Panel Arrays", *IEEE Power Electronics Specialists Conference, PESC '82 Record*, 14-17th June, New York.
- [20] Hussein, K.H., Muta, I., Hoshino, T. ve Osakada, M., (1995). "Maximum photovoltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions", *IEE Proc. Generation Transmission Distrib.* 142: 59–64.
- [21] Femia, N., Petrone, G., Spagnuolo, G. ve Vitelli, M., (2005). "Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method", *IEEE Trans. Power Electron.* 20: 963–973.
- [22] Salas, V., Oli'as, E., La' zaro, A. ve Barrado, A., (2005). "New algorithm using only one variable measurement applied to a maximum power point tracker", *Solar Energy Mater. Solar Cells*, 87:675–684.
- [23] Bodur, H. (2010). *Güç elektroniği Temel Analiz ve Sayısal Uygulamalar*, 1. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul.

PV PANELLERE AİT DATASHEET

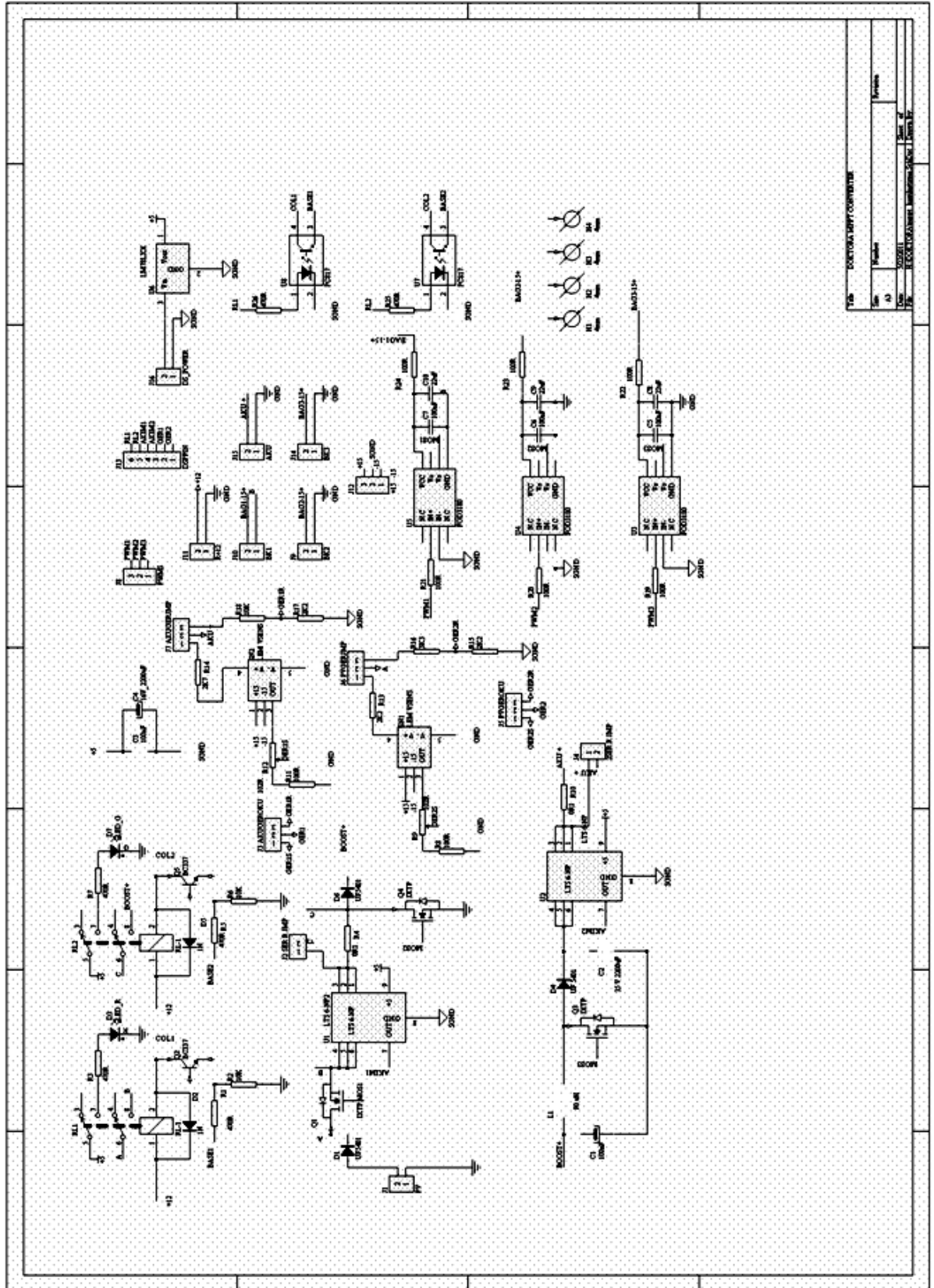
TEM NO	SP-50W
MONO or POLY	MONO
Maximum power (Wp)	50W
Maximum power voltage (V)	18V
Maximum power current (A)	2.78A
Open circuit voltage (V)	21.5V
Short circuit current (A)	2.92A
Number of cells (Pcs)	36
Size of module (mm)	980*460*35mm
Maximum system voltage (V)	1000
Temperature coefficients of Isc (%)	+ 0.1/ 0C
Temperature coefficients of Voc (%)	-0.38/ 0C
Temperature coefficients of Pm (%)	-0.47/ 0C
Temperature coefficients of Im (%)	+0.1/ 0C
Temperature coefficients of Vm (%)	-0.38/ 0C
Temperature Range	-40°C~+80°C
Tolerance Wattage (e.g. +/-3%)	+/-5%
Surface Maximum Load Capacity	60m/s(200kg/sq.m)
Weight per piece (kg)	6.5kg
Junction Box Type	(TUV)
Connectors and Cables Type	(TUV)
Length of Cables (mm)	900mm
Cell Efficiency (%)	>15%
Output tolerance (%)	+/-5%
Frame (Material, Corners, etc.)	Aluminum
Warranty	1 Years products warranty and 25 years 80% of power
Standard Test Conditions	AM1.5 100 mW/cm2 25°C
FF (%)	72%

DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜ VE KAYNAK DEVRELERİ

B-1 Kaynak Kartı Açık Devre Şeması



B-2 DC/DC Dönüştürücü Açık Devre Şeması



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ali DURUSU
Doğum Tarihi ve Yeri : 10.04.1987 Ortaköy/AKSARAY
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : adurusu@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elektrik Müh	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lisans	Elektrik Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2009
Lise	Fen Bilimleri	Konya Meram Muhittin Güzelkılınç Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2010	Yıldız Teknik Üniversitesi	Arş. Gör.

YAYINLARI

Bildiri

1. Tanrıoven,M., Erduman, A., **Durusu, A.**, "The Effect of Lighting Desing Parameters on The Efficiency of Building", Ecological Agenda,International Conference on New Perspectives in Eco-Technology and Eco-Economy, Istanbul, Turkey, May 10-12 2010.

2. Ayaz, R., Nakir, İ., **Durusu, A.**, Akca, H., Tanrioven M., "A Comparison of Metrobus System and Trolleybus System Considering Energy Costs and CO₂ Emission: A Case Study for Istanbul", SET2011, 10th International Conference on Sustainable Energy Technologies, İstanbul, TÜRKİYE, 4-7 Sep. 2011.
3. Kekezoglu, B., Erduman, A., **Durusu, A.**, Nakir, İ., Tanriöven, M., "Reliability Assessment of Wind Energy System Considering Turbine Dimensions", SET2011, 10th International Conference on Sustainable Energy Technologies, İstanbul, TÜRKİYE, 4-7 Sep. 2011.