

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

**ULAŞIM ARAÇLARINDA FOTOVOLTAİK YAPILAR İÇİN UYGUN BİR
MAKSİMUM GÜÇ TAKİP ALGORİTMASI İLE VERİMLİLİĞİN ARTIRILMASI**

İSMAİL NAKİR

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. MUĞDEŞEM TANRIÖVEN**

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ULAŞIM ARAÇLARINDA FOTOVOLTAİK YAPILAR İÇİN UYGUN BİR
MAKSİMUM GÜÇ TAKİP ALGORİTMASI İLE VERİMLİLİĞİN ARTIRILMASI**

İsmail NAKİR tarafından hazırlanan tez çalışması/...../2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Muğdeşem TANRIÖVEN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Muğdeşem TANRIÖVEN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Selim AY
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Engin ÖZDEMİR
Kocaeli Üniversitesi

Prof. Dr. Hüseyin ÇAKIR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Ömer GÜL
İstanbul Teknik Üniversitesi

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün KAP02 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Artan petrol fiyatlarına paralel olarak yakın bir gelecekte elektrikli ulaşım araçlarının yaygınlaşmasının beklendiği bu günlerde bu araçların enerjisini nereden ve nasıl alacağı ve nerede depo edeceği ve hatta bu araçların menzilin ne kadar olacağı çokça tartışılmaktadır. Bu tartışmalarda bu araçların enerji ihtiyacının fotovoltaik güneş panellerinden sağlanması yönünde görüş bildiren kimseler özellikle kamuoyunda çok ilgi toplamıştır. Toplumda oluşan bu ilgiyi karşılamak üzere birçok ülkede güneş enerjili araçlar için yarışmalar düzenlenmektedir.

Üniversitemizde bu tür yarışmalara katılan bir güneş enerjisi kulübü bulunmaktadır. Tez danışmanım Muğdeşem TANRIÖVEN'in bu kulübe danışman ve benim danışman yardımcısı olmam, bizlerin güneş enerjili araçlarda performansı artıracak çözümler üzerinde düşünme sürecimizi başlatmıştır. Bu süreçte ilk etapta gözümüze çarpan durum, araçlara yerleştirilen maksimum güç takip edicilerin bu araçlara uygun olup olmadığıdır. Çünkü literatürde bahsedilen birçok algoritma ve metot olmasına karşın maksimum güç takip ediciler sadece maksimum akım, nominal gerilim vb. bilgilere göre satılmaktaydı ve bu araçlarda aynen bu kriterler çerçevesinde alınıp kullanılmaktaydı. Bu durum bizde, özellikle aracın hareket halindeyken enerji depolama performansının düşebileceği ve bu durumun değerlendirilmesi gerektiği kanaati oluşturmuştur.

Hem bu durumum değerlendirilmesini bilime katmak hem de yakın bir gelecekte elektrikli araçlar için destek ünitesi olabilecek fotovoltaik sistemlere özel bir maksimum güç takip edici ortaya koymak üzere bu tez çalışması yapılmıştır. Bu tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen başta sayın hocam Muğdeşem TANRIÖVEN'e, Ali DURUSU'ya, Ramazan AYZ'ya, Ali AJDER'e, Enes UĞUR'a, Hakan AKÇA'ya ve adını burada saymadığım tüm dostlarıma ve sabırlarından ötürü özellikle Anneme ve tüm aileme teşekkür eder, bu çalışmanın umulduğu gibi bilime ve insanlığa faydalı olmasını temenni ederim.

Ağustos, 2012

İsmail NAKİR

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Tezin Orijinal Katkısı.....	2
BÖLÜM 2	
FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI VE TAKİBİ	4
2.1 Fotovoltaik Sistemlerin Elektriksel Karakteristiği ve Çevresel Etkenler.....	5
2.2 Yük Profilinin PV Sistemler Üzerine Etkisi.....	7
BÖLÜM 3	
PV SİSTEMLERDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP ALGORİTMALARI	10
3.1 Dolaylı Güç Takibi Metotları	10
3.1.1 Eğri Uydurma Metodu (Curve Fitting Method)	11
3.1.2 PV Açık Devre Gerilimi Metodu (Open-Circuit Voltage PV Generator Method)	11

3.1.3	PV Kısa Devre Gerilimi Metodu (Short-Circuit PV Generator Method)	13
3.1.4	Taramalı Tablo Metodu (Look-up Table Method)	13
3.1.5	PV Test Hücreli Açık-Devre Gerilimi Metodu (Open-Circuit Voltage PV Test Cell Method)	13
3.2	Direkt Maksimum Güç Takibi Metotları	14
3.2.1	Sars ve Gözlemele Metodu (Perturbation and Observe Method) ...	14
3.2.2	Artımsal İletkenlik Metodu(Conductance Incremental (IC) Method)	18
3.2.3	Sadece Akım Metodu (The Only Current Photovoltaic Method) ...	21
3.3	Diğer Metotlar	23
BÖLÜM 4		
DENEY DÜZENEGİ.....		25
4.1	PV Paneller	26
4.2	Farklı Algoritmalara Uyumlu MGTS.....	28
4.3	Kontrolör	31
4.4	Hareket Döngüsü	32
4.5	Hareketli Platformdaki Işınım Ölçüm Sistemi	33
4.6	MGTS Algoritmaları	36
4.7	Yeni Algoritmanın Oluşturulması	41
BÖLÜM 5		
SONUÇ VE ÖNERİLER		48
5.1	Deney Sonuçları	48
5.2	Sonuç.....	54
5.2	Öneriler	54
KAYNAKLAR		
.....		55
EK-A		
ALGORİTMA KARŞILAŞTIRMARI İÇİN SİMÜLASYON DİYAGRAMLARI.....		58
EK-B		
PV MAKSİMUM GÜÇ- IŞINIM İLİŞKİSİ DENEYLERİ		69
EK-C		
MGTS.....		71
EK-D		
PV PANELLER.....		73
ÖZGEÇMİŞ		
.....		75

SİMGE LİSTESİ

C_{nom}	Nominal Çevrim İçi Süre Değişim Miktarı
D	Çevrim İçi Süre (Duty Cycle)
I_L	Hücre foton akımı
I_{MGN}	Maksimum Güç Noktasındaki Fotovoltaik Panel Akımı
I_{MPP}	Maksimum Güç Noktasındaki Fotovoltaik Panel Akımı
I_0	Hücre ters doyma (saturasyon) akımı
I_{PV}	Fotovoltaik Panel Akımı
I_{ir}	Işınım (Irradiation)
I_{SC}	Fotovoltaik Panel Kısa Devre (Short Circuit) Akımı
J	Joule
K_{PV}	PV'nin İlgili Sıcaklıkta Gücünün Işınımına Oranı
m	Jonksiyon sabiti
P_{es}	Hesaplanan Panel Gücü
P_{in}	Dönüştürücü Giriş Gücü
P_{frk}	Hesaplanan Panel Gücü ile Panelden Alınan Gücün Farkı
P_{PV}	Fotovoltaik Panel Gücü
R_p	Parazit paralel hücre direnci
R_s	Parazit seri hücre direnci
V_{bat}	Batarya Gerilimi
V_{MGN}	Maksimum Güç Noktasındaki Fotovoltaik Panel Gerilimi
V_{MPP}	Maksimum Güç Noktasındaki Fotovoltaik Panel Gerilimi
V_{OC}	Fotovoltaik Panel Açık Devre (Open Circuit) Gerilimi
V_{PV}	Fotovoltaik Panel Gerilimi
W_{pk}	Aktif Güç Tepe Değeri
$\Delta\lambda$	Çevrim İçi Süre Değişimi

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternatif Akım (Alternative Current)
CV	Sabit Gerilim (Constant Voltage)
DC	Doğru Akım (Direct Current)
HCM	Tepeye Tırmanma Metodu (Hill Climbing Method)
IC	Artımsal İletkenlik (Incremental Conductance) Metodu
LDR	Işığa Duyarlı Direnç (Light Dependence Resistor)
MGN	Maksimum Güç Noktası
MGTS	Maksimum Güç Takip Sistemi
MPP	Maksimum Güç Noktası (Maximum Power Point)
MPPT	Maximum Power Point Tracker
OC	Sadece Akım (Only Current) Metodu
PCM	Güç Karşılaştırma Metodu (Power Comparing Method)
PV	Fotovoltaik
PO	Sars ve Gözlemler Metodu (Perturbation and Observe Method)
P&O	Sars ve Gözlemler Metodu (Perturbation and Observe Method)
RCC	Dalgalanma Korelasyon Kontrolü (Ripple Correlation Control)
SC	Kısa Devre Akım (Short Circuit) Metodu

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1	Fotovoltaik bir panele ait akım-gerilim karakteristiği.....	5
Şekil 2. 2	Işınımına bağlı olarak PV akım-gerilim(a) ve güç-gerilim(b) eğrileri.....	6
Şekil 2. 3	Sıcaklığa bağlı olarak PV akım-gerilim(a) ve güç-gerilim(b) eğrileri.....	7
Şekil 2. 4	Doğrudan bağlı PV- Batarya sisteminde PV'den bataryaya güç transferi.....	8
Şekil 3. 1	Açık devre gerilim metodu akış şeması.....	12
Şekil 3. 2	P&O algoritmasına ait akış şeması.....	15
Şekil 3. 3	P&O algoritmali bir MGTS'ye ait blok devre şeması.....	16
Şekil 3. 4	Hızlı değişen ışınım altındaki P&O'lu bir kontrolörün MGN sapması.....	17
Şekil 3. 5	PV Panelin güç-gerilim karakteristiği üzerinde iletkenlik durumları.....	19
Şekil 3. 6	Artımsal iletkenlik metodu akış şeması.....	20
Şekil 3. 7	Sadece akım PV algoritması MGTS blok diyagramı.....	21
Şekil 3. 8	Sadece akım PV algoritmasına ait akış şeması.....	23
Şekil 4. 1	MGTS algoritmaları karşılaştırma düzeneğinin blok şeması.....	26
Şekil 4. 2	Hareketli platform ve PV paneller.....	27
Şekil 4. 3	MGTS temel devre şeması.....	28
Şekil 4. 4	Farklı algoritmalara uyumlu MGTS'ye ait devre şeması.....	30
Şekil 4. 5	MGTS'nin devresine ait fotoğraf.....	31
Şekil 4. 6	Örnek bir kontrol diyagramı.....	32
Şekil 4. 7	Hareket döngüsü içerisinde PV üzerine düşen ışınım.....	33
Şekil 4. 8	Mini PV modüller ve LDR'den oluşan ışınım ölçüm düzeneği.....	34
Şekil 4. 9	Açık devre PV gerilimi ile ışınım karşılaştırması.....	35
Şekil 4. 10	LDR gerilim düşümü ile ışınım karşılaştırması.....	35
Şekil 4. 11	PV kısa devre akımı ile ışınım karşılaştırması.....	36
Şekil 4. 12	IC algoritmasına ait MATLAB/Stateflow akış şeması.....	38
Şekil 4. 13	P&O algoritmasına ait MATLAB/Stateflow akış şeması.....	39
Şekil 4. 14	SC algoritmasına ait MATLAB/Stateflow akış şeması.....	40
Şekil 4. 15	OC algoritmasına ait MATLAB/Stateflow akış şeması.....	41
Şekil 4. 16	Örnek bir maksimum güç deneyi güç-zaman grafiği.....	42
Şekil 4. 17	Işınım ile K_{pv} arasındaki ilişkiye ait grafik.....	43
Şekil 4. 18	Yeni algoritmanın akış şeması.....	46
Şekil 4. 19	Yeni algoritmanın MATLAB/Stateflow akış şeması.....	47
Şekil 5. 1	Deneyin 1. kısmında PV'lerden alınan güce ait grafik.....	50
Şekil 5. 2	Deneyin 2. kısmında PV'lerden alınan güce ait grafik.....	51
Şekil 5. 3	Deney süresince PV'lerden alınan toplam güce ait grafik.....	51

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4. 1 PV panellere ait karakteristik değerler.....	27
Çizelge 4. 2 DC/DC dönüştürücüde kullanılan devre elemanları.....	29
Çizelge 5. 1 Algoritmaların performans karşılaştırma deneyleri sonucu.....	49
Çizelge 5. 2 Karşılaştırma deneyi enerji kazanımı sonuçları.....	52
Çizelge 5. 3 Yeni algoritma ile diğer algoritmaların performans karşılaştırma deney sonuçları.....	53

**ULAŞIM ARAÇLARINDA FOTOVOLTAİK YAPILAR İÇİN UYGUN BİR
MAKSİMUM GÜÇ TAKİP ALGORİTMASI İLE VERİMLİLİĞİN ARTIRILMASI**

İsmail NAKİR

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Muğdeşem TANRIÖVEN

Günümüzde fosil yakıtların hızla tükenmesi ve çevreci yakıt arayışları nedeniyle elektrikle çalışan çevreci otomobil, yat ve benzeri araçlar üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Fotovoltaik yapıların da elektrikle çalışması düşünülen bu araçlarda hem çevrecilik yönüyle hem de elektrikli olarak destek ünitesi olarak yer alması öngörülmektedir. Bu araçların dış kaplamasının fotovoltaik hücrelerle yapılması durumunda azımsanmayacak bir elektrik enerjisinin aracın bataryasında depolanması mümkündür.

Fotovoltaik yapılarda yük, ışınım ve sıcaklık vb. gibi çevresel etmenlerin değişmesinden dolayı maksimum gücün alınabileceği gerilim noktası değişmektedir. Bu değişimler altında fotovoltaik yapılardan bataryaya veya yüke aktarılan güç miktarını maksimum yapmak üzere geliştirilmiş Maksimum Güç Takip Sistemleri (MGTS) bulunmaktadır. Bu sistemler temelde birbirlerine benzemekle birlikte geri besleme kontrolleri ve güç takip algoritmaları yönüyle farklılıklar göstermektedir.

Bu tez çalışmasıyla farklı güç takip algoritmalarına sahip MGTS'ler belirli bir hareket döngüsü ile hareket ettirilen fotovoltaik yapı üzerinde denenmiş ve her bir algoritmanın gerçek bir deneysel ortamda hareketli sistemlere uyumluluğu ortaya konmuştur. Bu deneyler sonucu her bir algoritmanın hareketli sistemlere uyumlu bileşenleri veya olumlu faktörleri ele alınarak hareketli araçlara uygun bir maksimum

güç takip algoritması oluşturulmuş ve bu maksimum güç takip algoritmasının performansı değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Maksimum Güç Takip Sistemleri, Araç, Hareketli Sistemler, Güç Takip Algoritmaları

**IMPROVING EFFICIENCY OF MAXIMUM POWER POINT TRACKER FOR
VEHICLES FOTOVOLTAIC BY USING AN APPROPRIATE ALGORITHM**

İsmail NAKİR

Department of Electric Engineering

Ph.D Thesis

Advisor: Prof. Dr. Muğdeşem TANRIÖVEN

As a consequence of rapid depletion of fossil fuels and researches on environmental fuels, plenty of studies are in progress about electric cars, yachts and similar vehicles. The photovoltaic systems are predicted as both a support unit and eco-friendly energy source for the electric vehicles.

If the surface of the electric vehicles could be covered by photovoltaic cells, it is possible to store considerable amount of energy in the battery system of these vehicles.

According to alternations on environmental effects such as load, solar radiation, temperature...etc, the point of the maximum power varies along voltage curve. Maximum Power Point Tracker (MPPT) systems are used under these environmental variations to maximize the amount of power that is supplied by photovoltaic systems. These systems are fundamentally similar however they differ on feedback controls and power tracking algorithms.

In this theses, different power tracking algorithms (P&O, IC, OC, SC) were compared each other. These were tested on photovoltaic systems which were driven in a specified cycle. Every algorithm is compared each other algorithm under this specified cycle which simulate moving vehicle. As a consequence of these experimental studies, all algorithms were examined and optimized by their adaptable

or constructive components. At the end of the study a novel maximum power point tracking algorithm were created for moving vehicles and its performance was reviewed.

Key words: Maximum Power Point Tracker, Vehicle, Moving Systems, MPPT algorithms

1.1 Literatür Özeti

Fotovoltaik (PV) yapılarda yük, ışınım ve sıcaklık vb. çevresel etkenlerin değişmesinden dolayı maksimum gücün alınabileceği çalışma noktası değişmektedir [1]. Bu değişimler altında fotovoltaik yapılardan bataryaya veya yüke aktarılan güç miktarını maksimum yapmak üzere Maksimum Güç Takip Sistemleri (MGTS) geliştirilmiştir.

MGTS'ler hem donanım hem de yazılım bileşenlerine sahiptir. MGTS'ler yapılarında genelde DC/DC dönüştürücü, algılayıcılar ve bir kontrol birimi bulundurmaktadır. Bu donanım bileşenlerinden biri olan kontrol birimi içerisinde bir yazılım bulunur. Bu yazılım maksimum güç takibini gerçekleştirmek üzere belirli bir algoritmaya sahiptir. MGTS'ler için birçok algoritma geliştirilmiştir [2]. Geliştirilmiş olan bu algoritmalara ait performans değerlendirmelerinde Hussein vd. IC (Incremental Conductance) algoritmasının özellikle değişken hava koşulları altında iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir [3]. Hohm vd. gerçek çevresel şartlarda yaptığı karşılaştırmalı deneylerde en yüksek verimliliği IC algoritmasının sağladığını ortaya koymuştur [4]. Ancak güneş simülatörü kullanarak performans karşılaştırması yapan Berrera vd. P&O algoritmasının IC algoritmasından daha başarılı olabileceğini açıklamıştır [5]. Hua ve Shen iki farklı ışınım seviyesi için yaptığı performans karşılaştırması sonucu her iki seviyede de IC algoritmasının en yüksek performansa sahip algoritma olduğunu ifade etmiştir [6].

Yukarıda belirtilen tüm çalışmalar sabit konumlandırılmış (hareketsiz) PV yapılar için yapılmıştır. Elektrikli otomobil gibi hareketli yapılarda çevresel şartlardaki değişimler çok hızlı olduğundan mevcut algoritmaların hareketli sistemler için performansları

ayrıca değerlendirilmelidir. Elektrikli otomobiller için son yıllarda yapılan çalışmalarda PV sistemin performansını maksimum yapmak için farklı algoritmalarda MGTS'lerle deneyler yapılmıştır. Bu çalışmalara ışık tutan Pandey vd. elektrikli araç gibi uygulamalarda gölgelenme etkileri söz konusu olduğundan Delta P&O veya Hibrid algoritmanın enerji verimliliği yönüyle araçlarda uygulanabilir olduğunu belirtmiştir [7]. Ayrıca, Haseo ve Fujisawa bir elektrikli araçta yaptığı deneylerde maksimum güç takibinde PCM (Power comparing Method)'lerin HCM (Hill Climbing Method)'lerden daha iyi olduğunu ifade etmiştir [8].

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasıyla, elektrikle çalışan çevreci otomobil, yat ve benzeri araçların maksimum güç takip edicilerinde mevcut olan ve literatürde ön plana çıkan maksimum güç takip algoritmalarının kullanılması halinde hangi algoritmanın enerji performansı açısından iyi olduğunun belirlenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, enerji performansı açısından başarılı bulunan algoritmanın yazılım iyileştirmeleriyle ve maksimum güç edicinin ek donanımlarla desteklenmesiyle hareketli araçlara uyumlu yeni bir maksimum güç takip algoritmasının oluşturulması ve bu maksimum güç takip algoritmasının performans değerlendirmelerinin yapılması amaçlanmaktadır.

1.3 Tezin Orijinal Katkısı

Literatürde maksimum güç takip algoritmalarının karşılaştırmaları iki türlü yapılmıştır. Birinci tür karşılaştırmalarda, var olan tüm algoritmaların avantaj ve dezavantajları sıralanmış ve yapılan yorumlar ile ilgili karşılaştırmalar yapılmıştır. İkinci tür karşılaştırmalarda ise ön plana çıkan bazı maksimum güç takip algoritmalarının performansları deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Bu türde yapılan karşılaştırmalar genelde gerçek ortam şartlarından ziyade güneş simülatörleriyle yapılmıştır. Yapılan tez çalışmasında ise maksimum güç takip algoritmalarının deneysel performans karşılaştırmaları gerçek ortam şartlarında yapılmıştır.

Fotovoltaik yapıların araçlar üzerinde kullanımının yakın bir gelecekte artması beklenmektedir. Tez çalışmasında bu tür araç üstü uygulamaları simüle etmek üzere literatürde olmayan hareketli bir düzenek oluşturulmuştur. Bu düzenek sayesinde

PV'lerin araçlarda kullanılması halinde karşılaşılabileceği ışınım değişimleri PV'ler için simüle edilebilir hale getirilmiştir. PV'lerin gerçek ortam şartlarında hareketli kılınmasıyla PV üzerine düşen farklı seviyelerdeki ışınımlar altında PV'den maksimum gücün alınmasıyla ilgili deneyler yapılabilir olmuştur. Böylece araç üstü uygulamalarda olduğu gibi çok hızlı ışınım değişimleri altında maksimum güç takip algoritmalarının karşılaştırması gerçekleştirilebilmiştir.

Hazırlanan hareketli test düzeneğinde literatürde ön plana çıkan dört maksimum güç takip algoritması test edilmiş ve algoritmaların ikili performans karşılaştırması sonuçları verilmiştir.

Tez çalışmasına başlandığı dönemde literatürde var olmayan ancak tez çalışması süresince literatüre eklenen araç üstü PV sistemlerde maksimum güç takibi ile ilgili yeni çalışmalarda ışınım değişimleri gerçek bir araç yerine güneş araçları (solar car) için ışınım engel olabilecek bir kaç ağacın bulunduğu düz bir pistte yapılmıştır. Yani gerçek bir aracın binalar arasından geçerken karşılaşılabileceği nitelikte bir ışınım değişimi uygulanmamıştır. Veya bazı çalışmalarda olduğu gibi, ışınım değişimleri gerçek ortam şartları yerine güneş simülatörleriyle gerçekleştirilmiştir. Yapılan tez çalışmasında PV'ler hem gerçek ortam şartlarında hem de gerçek bir aracın binalar arasından geçerken karşılaşılabileceği nitelikte bir ışınım değişimine maruz bırakılarak deneyler yapılmıştır.

Tez çalışması esnasında yapılan gerçek uygulamalar sonucunda PV'den alınabilecek maksimum güç ile belirli bir aralıktaki ışınım arasındaki lineer ilişkinin varlığı ortaya konulmuş ve bu ilişki anlık hücre sıcaklığı için K_{PV} katsayısı olarak ifade edilmiştir.

K_{PV} katsayısı kullanılarak ve literatürde maksimum güç takip algoritmaları içinde standart kabul edilen P&O algoritması üzerinde bazı değişiklikler yapılarak yeni bir maksimum güç takip algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritmanın hareketli bir sistemde literatürde ön plana çıkan dört algoritmadan daha başarılı olduğu ortaya konmuştur.

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI VE TAKİBİ

Fotovoltaik güneş enerji üretim sistemleri lineer olmayan bir elektriksel karakteristiğe sahiptir. Bu karakteristik üzerinde yüke, dönüştürücüye veya bataryaya sadece bir noktada maksimum güç transferi yapılabilmektedir. Bu çalışma noktasına Maksimum Güç Noktası (MGN) denir [9].

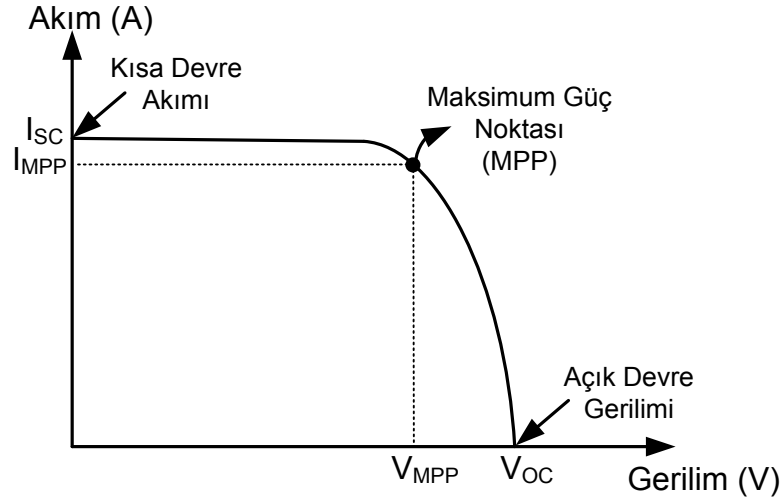
PV'lerde elektriksel karakteristik hücre sıcaklığı ve ışınım gibi çevresel şartların değişmesi ile değişmektedir. Şartlara bağlı olarak değişen bu karakteristik üzerinde maksimum güç noktasının yeri de değişmektedir. PV'lerden maksimum güç transferi yapabilmek için bu maksimum güç noktasının takibi gerekmektedir. Ayrıca PV sistemler direkt olarak yüke veya bataryaya bağlı olmaları durumunda, ilgili yük veya batarya geriliminde çalışmaya zorlanırlar. Fotovoltaik yapılardan yüke veya bataryaya maksimum güç aktarımı yapabilmek için panel gerilimini yük veya batarya profilinden bağımsızlaştıracak sistemlere ihtiyaç duyulur. Panelleri yük veya batarya gerilimlerinden bağımsız kılan bu kontrollü arabirime Maksimum Güç Takip Sistemi (MGTS) denir [10].

Fotovoltaik sistemlerde MGTS'lere neden ihtiyaç duyulduğunu anlayabilmek için öncelikle PV'lerin elektriksel karakteristiği incelenmelidir.

2.1 Fotovoltaik Sistemlerin Elektriksel Karakteristiği ve Çevresel Etkenler

Fotovoltaik güneş panelleri doğru akım üreten yapılar olup panellerin seri veya paralel bağlanması ile verebilecekleri akım, gerilim seviyeleri değiştirilebilir. Bu paneller lineer olmayan bir elektriksel karakteristiğe sahiptir. Bu karakteristik belirli şartlarda elde edilen bir karakteristiktir. Bu karakteristiği etkileyen ışınım ve hücre sıcaklığı gibi çevresel etkenlerden aşığıda bahsedilecektir. Ticari bir panele ait akım-gerilim karakteristiği Şekil 2. 1'de verilmiştir.

Şekil 2. 1'de görüldüğu gibi güneş panelleri belirli bir noktaya kadar bir akım kaynağı gibi, belirli bir noktadan sonra ise bir gerilim kaynağı gibi davranırlar. Güneş paneli standart şartlar altında kısa devre edildiğinde PV'den alınabilecek akım değerı sabittir. Bu değer karakteristiğin akım eksenini kestiği noktadaki kısa devre akım değeridir. Karakteristiğin gerilim eksenini kestiği nokta ise panelin açık devre gerilimini gösteren noktadır [10].



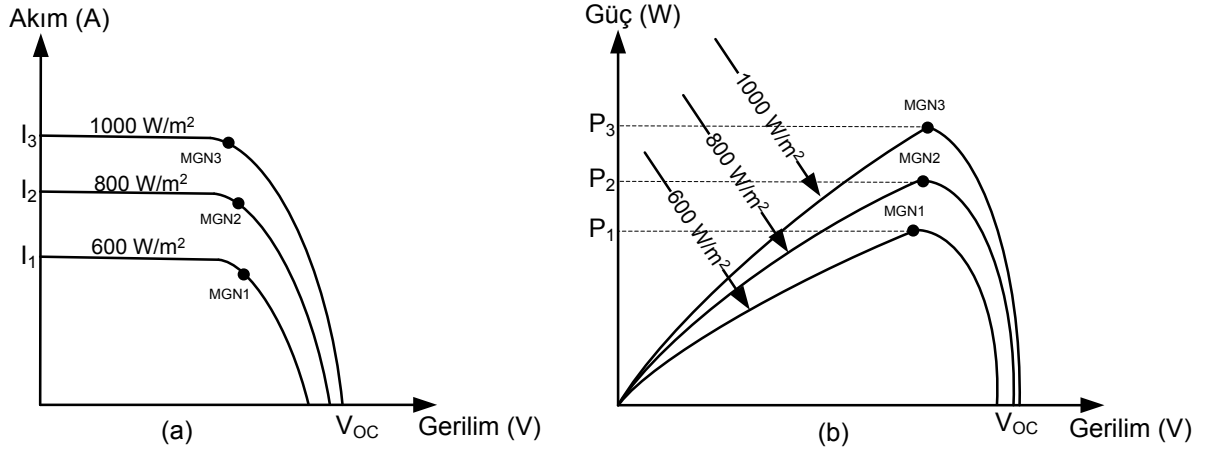
Şekil 2. 1 Fotovoltaik bir panele ait akım-gerilim karakteristiği

Şekil 2. 1'de gösterilen karakteristiğe sahip olan panelden belirli bir noktada maksimum güç alınabilir. Bir PV panelde çekilen güç

$$P_{PV} = V_{PV} \times I_{PV} \quad (2.1)$$

olduğundan panelden maksimum güç alınacak nokta bu eğri içerisine çizilebilecek en büyük dikdörtgenin eğriyi kestiği noktadır. Bu nokta maksimum güç noktasıdır. Güneş

panellerinin elektriksel karakteristiğini etkileyen iki temel faktör vardır; bunlar, güneşten gelen ışınım miktarı ve hücre sıcaklığıdır [9].

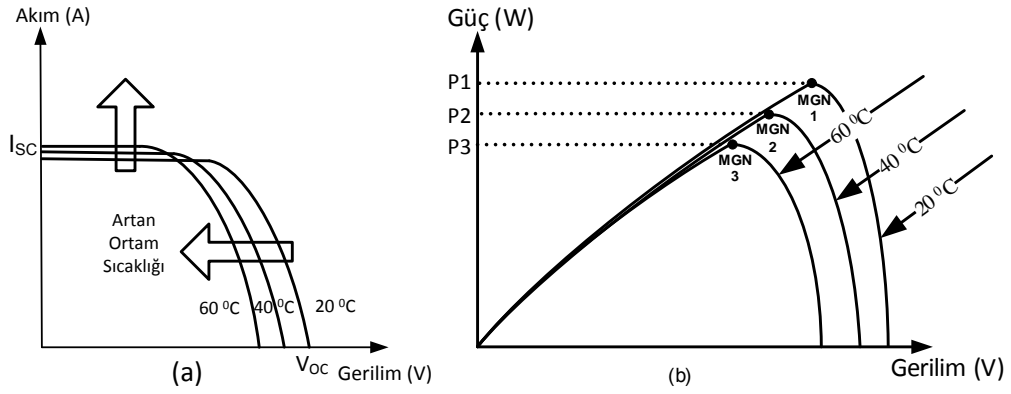


Şekil 2. 2 Işınımına bağlı olarak PV akım-gerilim(a) ve güç-gerilim(b) eğrileri

Işınım özellikle PV yapıların akım çıktısını değiştirir. Işınımına bağlı olarak bir PV panelinin akım-gerilim ve güç-gerilim çıkış karakteristiği Şekil 2. 2'de gösterilmiştir. Bu şekilde yer alan akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristikleri üzerinde farklı ışınım seviyeleri için Maksimum Güç Noktasının (MGN) yerinin değiştiği görülmektedir. Şekil 2. 2'de yer alan akım-gerilim karakteristiğine dikkat edilirse, ışınım değişiminin, PV panelde maksimum güç noktalarının özellikle akım ekseninde değişmesine neden olduğu görülecektir.

PV'nin elektriksel karakteristiğini etkileyen ikinci temel faktör hücre sıcaklığıdır. Hücre sıcaklığı özellikle PV yapıların gerilim çıktısı üzerinde etkindir. Her ne kadar hücre sıcaklığındaki artış, panel akımında az bir artışa neden olsa da panel gerilim çıkışında ciddi azalmalara neden olur. Bu nedenle sıcaklık artışı panel gücünde negatif bir etkiye sahiptir.

Farklı hücre sıcaklığına sahip bir PV panelinin akım-gerilim ve güç-gerilim çıkış karakteristiği Şekil 2. 3'de gösterilmiştir [9].



Şekil 2. 3 Sıcaklığa bağlı olarak PV akım-gerilim(a) ve güç-gerilim(b) eğrileri

Yukarıdaki eğrilerden, sıcaklık değişiminin panelin akım-gerilim karakteristiğini değiştirdiği ve buna bağlı olarak panelin güç-gerilim karakteristiğini de değiştirdiği görülmektedir. Şekilde sıcaklığa bağlı bu değişimin PV panelin maksimum güç noktalarını da değiştirdiği gözlenebilir. Sıcaklığın PV paneller üzerindeki etkisinin özellikle gerilim üzerinde olması nedeniyle maksimum güç noktalarının sıcaklığa bağlı olarak yer değişimi de önemli oranda gerilim ekseninde gerçekleşmektedir.

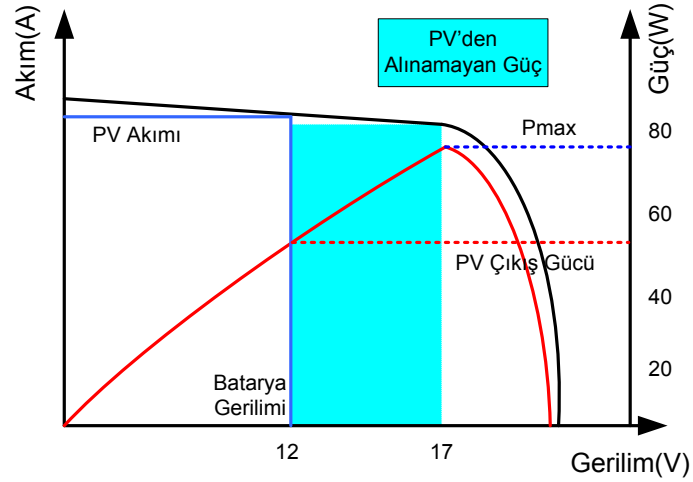
PV panellerde hem başlangıçta bahsettiğimiz ışınım, hem de daha sonra bahsettiğimiz hücre sıcaklığına bağlı olarak maksimum güç noktasının koordinatlarının değiştiği görülmüştür. Her iki değişim PV sistemlerde devamlı gerçekleştiğinden PV'lerin maksimum güç noktası neredeyse sürekli değişmektedir. Maksimum güç takip ediciler de koordinat sisteminde yer değiştiren bu maksimum güç noktasını takip etmek üzere geliştirilmiştir.

2.2 Yük Profiline PV Sistemler Üzerine Etkisi

Fotovoltaik yapılarda sistemin maksimum güç noktasında çalışmasını engelleyen ışınım ve hücre sıcaklığından sonra üçüncü temel faktörümüz yük profilidir. Her ne kadar fotovoltaik sistemler doğrudan yüke bağlanmasa da genelde bağlı oldukları bir depolama sistemi veya evirici bulunmaktadır. Bu durumda çalışma, ilgili depolama ünitesi veya eviricinin kendi karakteristikleri ile PV yapının karakteristiğinin kesişiminde gerçekleşir. Bu kesişim noktası da her zaman sistemin maksimum güç noktası olmamaktadır [11].

Örneğin PV panelimiz doğrudan bir bataryaya bağlanmış olsa, PV panel batarya geriliminde çalışmaya zorlanır. Bu durumda batarya ve panelden oluşan bu sistemin çalışma gerilim noktası batarya gerilimine çok yakın bir nokta olur. Bu nokta, ilgili ışınım ve hücre sıcaklığına sahip PV panelimiz için daima uygun çalışma noktası olmayacaktır. Çünkü bu çalışma noktasında panelden alınabilececek olan maksimum güç alınamamaktadır[11].

Şekil 2. 4'te doğrudan bataryaya bağlanmış bir PV panel için akım-gerilim, güç-gerilim eğrileri ile PV den bataryaya güç transferi gösterilmiştir. Bu şekilde, ilgili ışınım da fotovoltaiik panelin 17 volt'luk çalışma geriliminde bataryaya 75 watt güç transfer edebilecekken 12 volt'luk batarya geriliminde çalışmaya zorlandığından bataryaya yaklaşık 55 watt güç transfer edebildiği görülmektedir. Doğal olarak bu durumda yaklaşık 20 watt'lık güç kaybı oluşmaktadır. Tabii ki bu durum ilgili çevresel şartlarda ve batarya gerilimi bu seviyelerde iken oluşan anlık bir olaydır. Hem ışınım ve sıcaklık gibi çevresel şartların hem de batarya geriliminin değişmesiyle bu kayıp miktarı da değişmektedir [11].



Şekil 2. 4 Doğrudan bağlı PV- Batarya sisteminde PV'den bataryaya güç transferi ışınım ve hücre sıcaklığının değişken olması ve yük profilinin her zaman PV yapıya uygun olamaması nedeniyle verilen örnekteki gibi kayıplar söz konusudur. Ayrıca

fotovoltaik sistemlerde, burada ayrıntılı olarak bahsedilmeyen yaşlanmaya ve kısmi gölgelenmeye bağlı enerji kayıpları oluşmaktadır. Bu kayıpları azaltmak için, başlangıçta da belirtildiği gibi, PV güneş panellerinden maksimum güç aktarımı yapmak üzere yapısında kontrol edilebilir bir DC-DC dönüştürücü barındıran elektronik devrelere ihtiyaç duyulur. Fotovoltaik panelleri yük veya batarya gerilimlerinden bağımsız kılan bu kontrollü arabirime “Maksimum Güç Takip Sistemi (MGTS -Maximum Power Point Tracker, MPPT)” denir [12].

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

MGTS'ler 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 sahiptir. Bu algoritmalar Bölüm 3'de ayrıntılı bir biçimde açıklanmıştır.

PV SİSTEMLERDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP ALGORİTMALARI

MGTS'ler hem donanım hem de yazılım bileşenlerine sahiptir. MGTS' lerde donanım bileşenleri genelde DC/DC dönüştürücü, algılayıcılar ve bir kontrol biriminden oluşmaktadır. Bu donanım bileşenlerinden biri olan kontrol birimi içerisinde bir yazılım bulunur. Bu yazılım maksimum güç takibini gerçekleştirmek üzere belirli bir algoritmaya sahiptir. MGTS'ler için birçok algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmalar literatürde farklı şekilde sınıflandırılmıştır. Yaygın olarak 'dolaylı metotlar' ve 'direkt metotlar' şeklinde gruplandırılmışlardır. Özetle; dolaylı metotlar olarak ifade edilen algoritmalar maksimum güç noktasını tahmin eden, direkt metotlar ise maksimum güç noktasını arayarak bulan algoritmalar [2].

3.1 Dolaylı Güç Takibi Metotları

Dolaylı metotlarda PV üreticinin maksimum güç noktası, radyasyon, sıcaklık, PV akımı veya PV gerilimi gibi değerlerinin ölçülmesi ya da ampirik verileri kullanan nümerik yaklaşımlarla veya matematiksel ifadelerle tahmin edilir. Bu metotta tahmin, sisteme yerleştirilmiş olan belirli bir PV üretici için gerçekleştirilir. Bu sebeple bu metotlarla, farklı PV üreticileri için maksimum güç takibi yapılamaz. Ayrıca her ışınım ve her hücre sıcaklığı için bu metotlarla maksimum güç elde edilemez. Bu metotlar genelde yaşlanma ve kirlenme gibi faktörleri de göz önünde bulundurmadığından zamanla etkinlikleri azalır. Tüm bu olumsuzluklarından ötürü bunlar literatürde 'sözde aramalar' olarak bilinirler [2].

3.1.1 Eğri Uydurma Metodu (Curve Fitting Method)

Bağımsız bir PV üreticinin lineer olmayan karakteristiği tek diyot, iki diyot veya geliştirilmiş iki diyot modeli, matematiksel denklemler ya da nümerik yaklaşımlarla ortaya konulabilir. Ancak bu modellerin matematiksel çözümü ile ilgili bir problem vardır. Dolayısıyla bu modeller Maksimum Güç Noktasını (MGN) matematiksel olarak elde etmek için elverişli değildir. Ancak bu modeller dışındaki bazı yaklaşımlar Maksimum Güç Noktasını matematiksel olarak elde etmek için kullanılabilir. Örneğin, (3. 1) numaralı denklem PV üreticinin P-V karakteristiğinin matematiksel bir 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 edilebilir[2].

$$P_{PV} = aV_{PV}^3 + bV_{PV}^2 + cV_{PV} + d \quad (3.1)$$

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

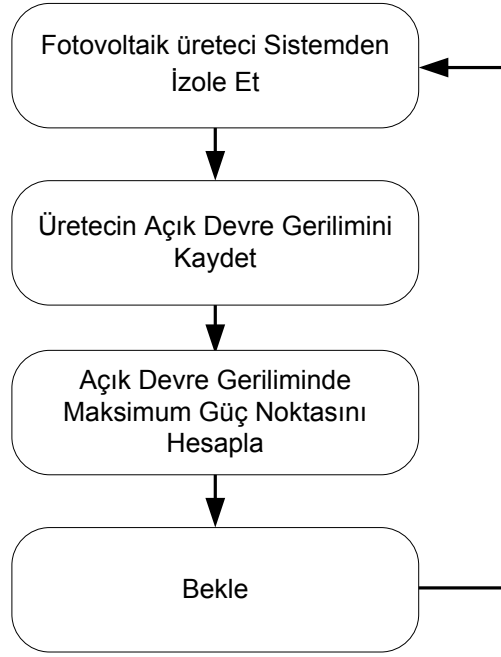
Eğri uydurma metodunu uygulayan bir işlemci PV yapının maksimum güç noktasını bulmak üzere yukarıdaki denklemler kullanılarak hesaplama işlemi yapmalı ve bu işlemi her birkaç milisaniyede bir tekrarlanmalıdır. Sistemin maksimum güç noktasında çalışma oranı hesaplama işleminin sıklığına bağlıdır. Bu yöntemin başlıca dezavantajı, PV'nin yapısal ve üretim ayrıntılarına bağlı fiziksel parametrelerinin tam olarak bilinmesi gerekliliğidir. Eğer bu parametreler bilinemezse bağıntıların her hava koşulu için geçerli olması beklenemez. Ayrıca, bu yöntemde matematiksel ifade ve hesaplamalar için geniş hafıza kapasitesine ihtiyaç duyulur [2].

3.1.2 PV Açık Devre Gerilimi Metodu (Open-Circuit Voltage PV Generator Method)

Bu algoritma, PV üreticinin açık devre geriliminin maksimum güç noktasındaki gerilimine oranına dayanmaktadır. Maksimum güç noktasındaki gerilimin (V_{MGN}) 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.

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

Bu algoritmayı uygulamak üzere oluşturulan temel akış diyagramı Şekil 3. 1’de verilmiştir. Bu diyagrama göre PV üreticinin açık devre gerilimini ölçmek üzere normal çalışma belirli frekanslarda kesilmekte ve ölçülen değer kaydedilmektedir. Daha sonra (3. 3) numaralı eşitlik kullanılarak maksimum güç noktası hesaplanmakta ve bu süreç periyodik olarak tekrarlanmaktadır. Her ne kadar bu metot görünüşte basitse de optimal değerde bir k_1 sabiti seçmek zordur. Literatürde k_1 değerinin polikristal bir fotovoltaik modül için örnekleme süresi 15 ms olası durumunda 0.73 ila 0.80 aralığında olduğu belirtilmiştir [2].



Şekil 3. 1 Açık devre gerilim metodu akış şeması

Bu metotta belirli bir oran alınarak yapılmaya çalışılan tahmin elbetteki geniş bir aralıkta değişen tüm sıcaklık ve ışınım değerleri için maksimum gücü sağlayamamaktadır. Ayrıca yaşlanmaya bağlı olarak seçilen bu oranın değişmesi gerekmektedir. Bu metodun avantajı, basit ve sistem maliyetlerinin ucuz olmasıdır. Ancak maksimum güç noktasını bulmak üzere yapılan ölçüm için belirli periyotlarda kesintilerin olması sistemde güç kayıplarına neden olmaktadır. Tüm bunlar göz önüne alındığında maksimum güç noktasında çalışmanın bu metotla her zaman mümkün olmadığı görülmektedir [2].

3.1.3 PV Kısa Devre Gerilimi Metodu (Short-Circuit PV Generator Method)

Bu metot yukarıda bahsi geçen PV açık-devre gerilimi metoduna benzer bir yöntemdir. Bu yöntemde (3. 4) no'lu eşitlikte verilen maksimum güç noktasındaki akım (I_{MP}) ile kısa devre akımı (I_{SC}) arasındaki lineer bağıntı esas alınmıştır. Bir önceki metotta olduğu gibi buradaki oransal sabit asıl olarak fotovoltaiik modülün teknolojisine, dolum faktörüne ve meteorolojik duruma bağlıdır. Polikristal bir fotovoltaiik modül için bu k_2 sabiti 0,85 civarındadır.

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

Bu metotta akış diyagramı PV açık-devre gerilimi metoduyla aynıdır. Bu metotta da tek bir sabit sayıyla maksimum güç noktasının hesaplanabilmesi zor olduğundan bu metot PV açık-devre gerilimi metoduyla aynı avantaj ve dezavantajlara sahiptir [2].

3.1.4 Taramalı Tablo Metodu (Look-up Table Method)

Bu metotta 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 güç 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 dezavantajlarından biridir. Ayrıca uygulama, her PV panel için özellikle ayarlanması gerekir. Ek olarak bütün olası sistem durumlarını kaydedip depolamak sıkıntılıdır [2].

3.1.5 PV Test Hücreli Açık-Devre Gerilimi Metodu (Open-Circuit Voltage PV Test Cell Method)

Bu metotta PV açık-devre gerilimi metodu ve PV kısa-devre metodunda olduğu gibi sistem çalışmasına belirli frekanslarda verilen kesintiler ve buna bağlı mahzurları ortadan kaldırmak için alternatif bir test hücresi kullanılır. Böylece fotovoltaiik üreticinin açık-devre gerilimi 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.

$$k_3 = \frac{V_{MGN}}{V_{OC,Test\ hücresi}} \cong \text{Sabit} < 1 \quad (3.5)$$

Bu metotta sadece tek değişkenli bir geri besleme çevrim kontrolü yapıldığından yapısal olarak basit ve ekonomiktir. Ayrıca daha önce bahsedilen diğer metotlarda olduğu gibi, çalışmada kesintiler dolayısıyla oluşan problemler ortadan kaldırılmıştır.

Dezavantaj olarak bu metotta test için kullanılan hücrenin bire bir ana fotovoltaik yapının her bir hücresiyle eş özelliklere sahip olması gerekliliği söylenebilir. Çünkü bu metotta test hücresinden alınan açık-devre geriliminin ana fotovoltaik yapının açık-devre gerilimi ile 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 [2].

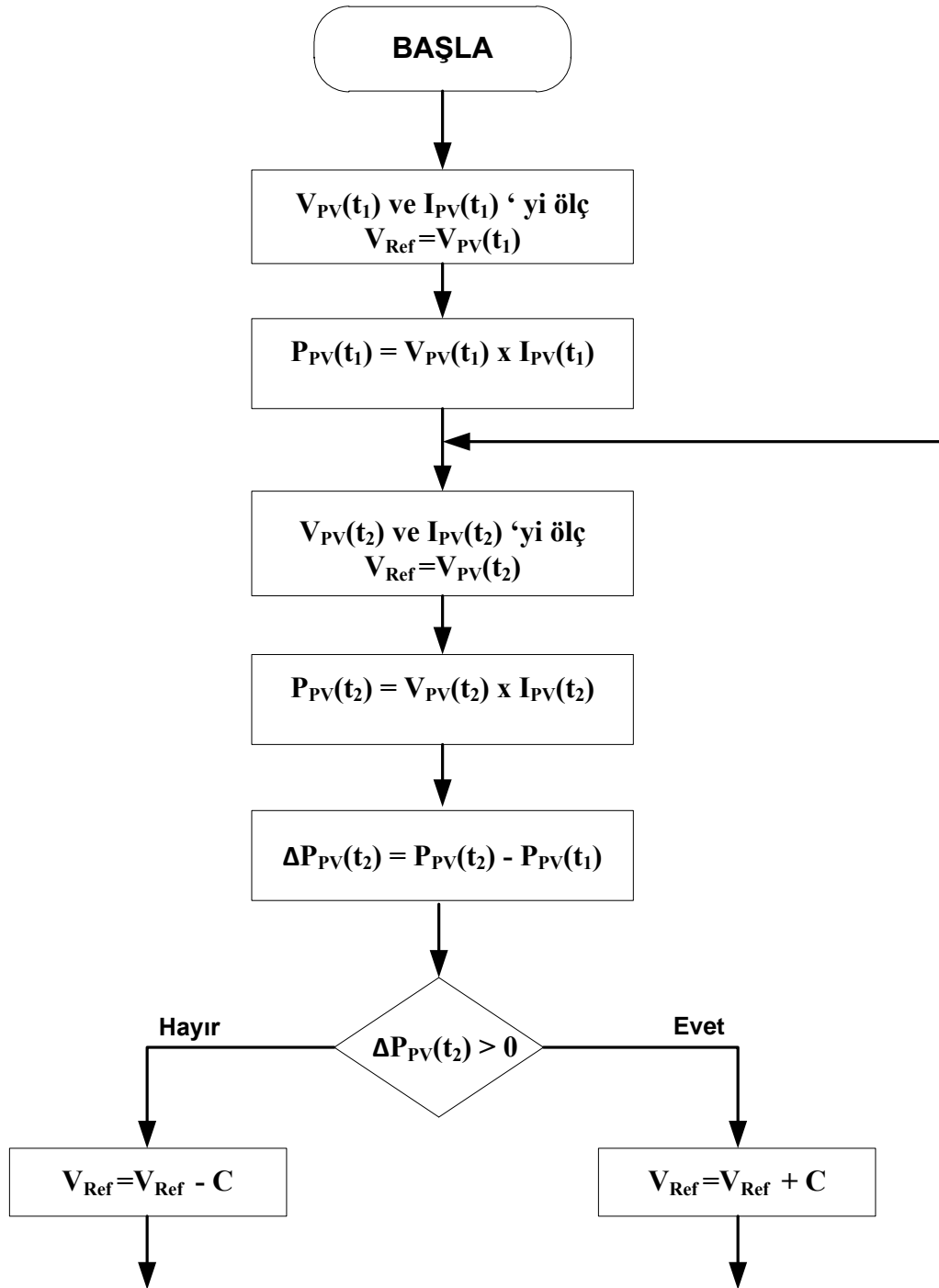
3.2 Direkt Maksimum Güç Takibi Metotları

Bu metotlarda maksimum güç noktası dolaylı metotlarda olduğu gibi tahmin edilmez, doğrudan ölçümler yapılarak ilgili maksimum güç noktasında sistem çalıştırılmaya yönlendirilir. Bu metotların sağladığı en büyük avantaj, her ışınım ve sıcaklık değeri için uygun olmalarıdır. Dolayısıyla PV üreticinin ışınım ve sıcaklığa bağlı karakteristiğinin bilinmesine ihtiyaç yoktur. Bu metotlar belirtilen bu özelliğinden ötürü çevresel şartlar nasıl olursa olsun PV yapıdan mevcut maksimum gücü alabilmek üzere çalışabilirler. Direkt maksimum güç takibi algoritmalarından çokça uygulanan birkaçı izleyen bölümlerde özetlenmiştir.

3.2.1 Sars ve Gözleme Metodu (Perturbation and Observe Method)

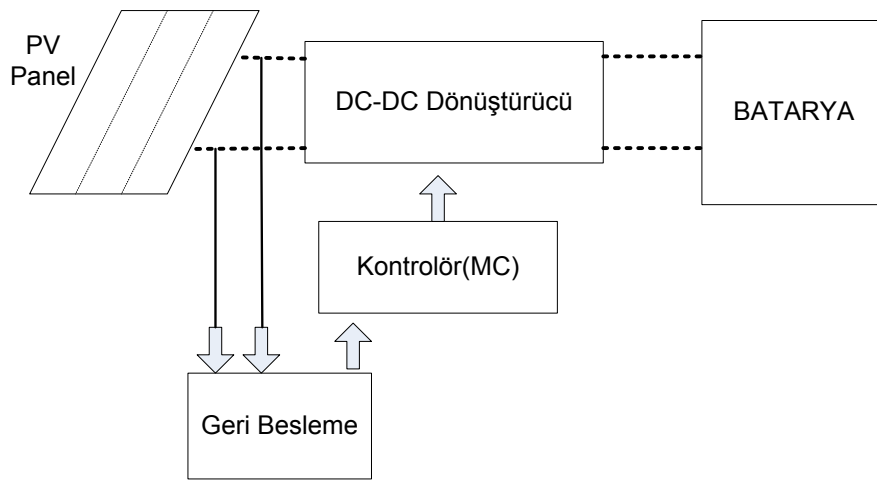
“P&O” maksimum güç noktasına ulaşmak için iterasyon uygulayan bir metottur. Bu metot fotovoltaik dizilerin karakteristiğini ölçer ve çalışma noktasını yön değişimi ile karşılaştırmak üzere ‘C’ miktarınca değiştirir (sarsar). Sarsma sonucu PV’den alınan güç pozitif yönde artış göstermişse aynı yönde değişimlere devam edilir. Sarsma sonucu PV’den alınan güç negatif yönde artış göstermişse bu defa sarsma yönü değiştirilir. Bu

değişimlerle sistem maksimum güce ulaşınca $dP_{PV} / dV_{PV} = 0$ olacaktır. Bu metoda ait basit veya karmaşık birçok algoritmaya ait akış şeması bulunmaktadır. Örnek olarak çok basitçe olan temel algoritmaya ait akış şeması Şekil 3. 2’de verilmiştir.



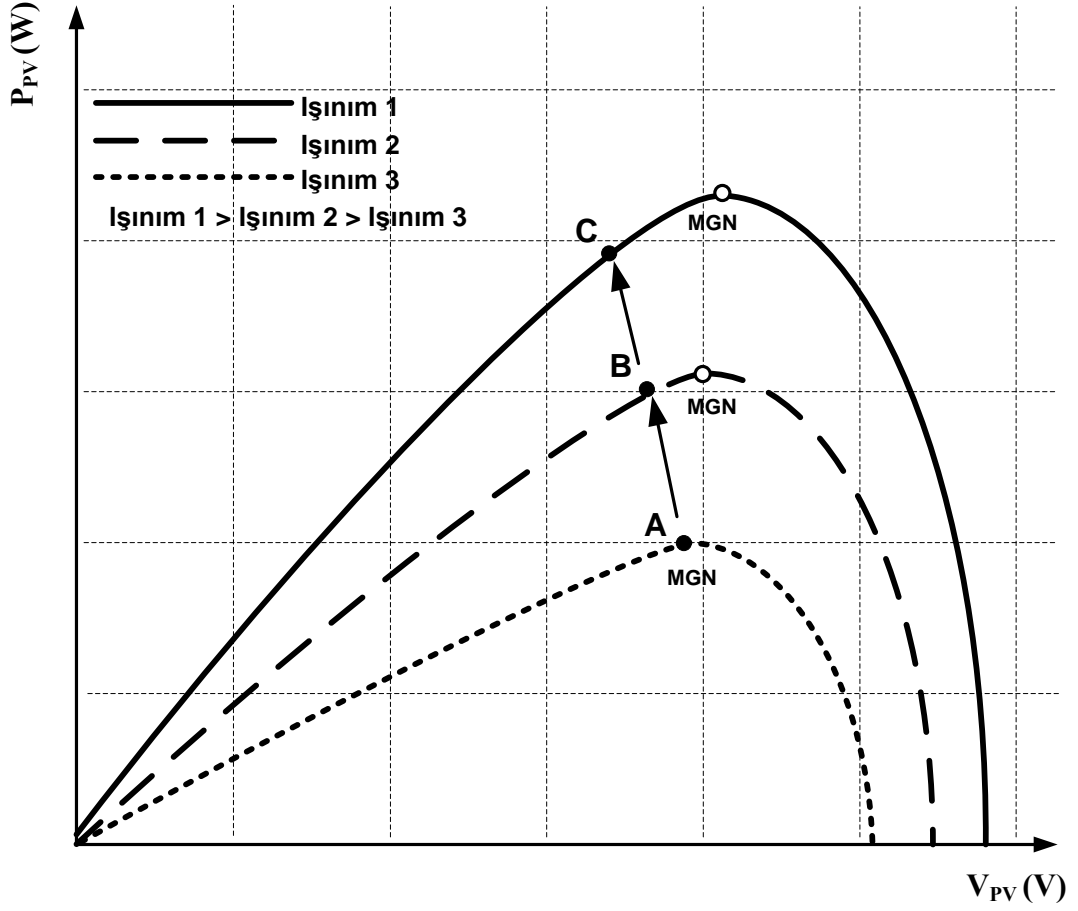
Şekil 3. 2 P&O algoritmasına ait akış şeması

Şekil 3. 2’de gösterilen akış şemasından da anlaşılacağı gibi bu metotta 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. Sıralanan bu işlemleri yerine getirebilecek mikro işlemci kontrollü örnek bir sisteme ait blok şema Şekil 3. 3’de verilmiştir [2].



Şekil 3. 3 P&O algoritmalı bir MGTS’ye ait blok devre şeması

Bu metotla ilgili bir dezavantaj hızlı bir şekilde artan bir ışınım söz konusu olduğunda ortaya çıkmaktadır [2]. Bunu anlayabilmek üzere hızlı değişen ışınım altındaki P&O algoritmalı bir kontrolörün maksimum güç noktasındaki sapmasını gösteren Şekil 3. 4’e bakılabilir.



Şekil 3. 4 Hızlı değişen ışınım altındaki P&O'lu bir kontrolörün MGN sapması

Panelin ilgili ışınım seviyesinde oluşan P-V eğrisi eğri 3'de gösterildiği gibi ve MGTS tarafından çalışma noktası A noktası çevresinde salınım yapıyorken aniden ışınım artarak P-V eğrisini eğri 2'ye dönüştürürse, P&O algoritmalı kontrolör güçteki artıştan yönlenmeyi olumlu olarak algılayacaktır. Bu durumda A noktası çevresinde salınım yapıyorken çalışma noktasını yeni MGN yerine B noktasına taşıyacaktır. Güçte pozitif bir artış olduğundan dolayı, değişim de aynı yönde devam edecektir. Başka bir deyişle, gerilim azaltılarak B noktasına ulaşılabacaktır. Ayrıca ışınım artar ve P-V eğrisi 1 numaralı eğriye doğru tekrar bir artış gösterirse, güçte de yine bir artış gözlenir. Bu durumda yeni çalışma noktası yepyeni MGN yerine C olacaktır. Sonuçta, ışınımdaki artışıyla birlikte güçteki artışın, çalışmada yapılan küçük değişimlerden (sarsma) kaynaklandığı algısıyla, çalışma noktası maksimum noktadan uzaklaşmış olacaktır. Bu süreç ışınımdaki artış azalana ya da durana kadar devam edecektir [2].

Bu yöntemin avantajları şu şekilde özetlenebilir: PV karakteristikleri hakkında ön bilgiye ihtiyaç yoktur ve gayet basit bir yöntemdir. Ancak, en kararlı halde bile, çalışma noktasının MGN etrafında osilasyon yapması 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 [2].

3.2.2 Artımsal İletkenlik Metodu(Conductance Incremental (IC) Method)

Artımsal iletkenlik metodunda maksimum güç takip, PV panelden anlık alınan akım ve gerilim artışlarına göre Şekil 3. 5’de gösterildiği gibi PV yapının iletkenliğinin gözlenmesi temeline dayanır. PV güç ifadesinin gerilime göre türevi alınıp sifıra eşitlenir ve V_{PV} 'ye bölünürse

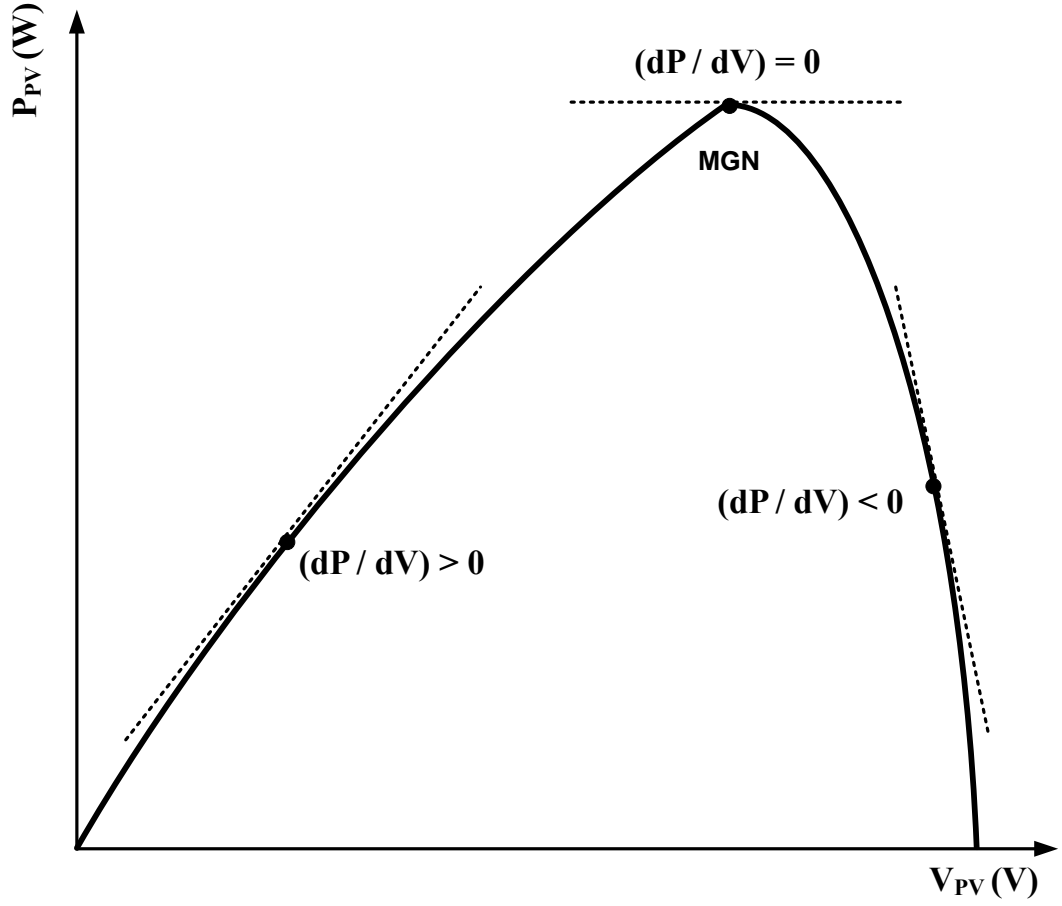
$$\frac{dP_{PV}}{dP_{PV}} = I_{PV} \frac{dV_{PV}}{dV_{PV}} + V_{PV} \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} = I_{PV} + V_{PV} \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} = 0 \quad (3.6)$$

$$-\frac{I_{PV}}{V_{PV}} = \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} \quad (3.7)$$

(3.7) numaralı eşitlikte sol taraf, ani iletkenliğin negatifini ifade ederken ($G= I_{PV} / V_{PV}$), sağ taraf artımsal iletkenliği ifade etmektedir. Diğer yandan, artan değişkenlerin durumu (dV_{PV} ve dI_{PV}), her iki ΔV_{PV} ve ΔI_{PV} parametrelerindeki lineer artışla ele alınabilir.

$$dV_{PV}(t_2) \approx \Delta V_{PV}(t_2) = V_{PV}(t_2) - V_{PV}(t_1) \quad (3.8)$$

$$dI_{PV}(t_2) \approx \Delta I_{PV}(t_2) = I_{PV}(t_2) - I_{PV}(t_1) \quad (3.9)$$



Şekil 3. 5 PV Panelin güç-gerilim karakteristiği üzerinde iletkenlik durumları

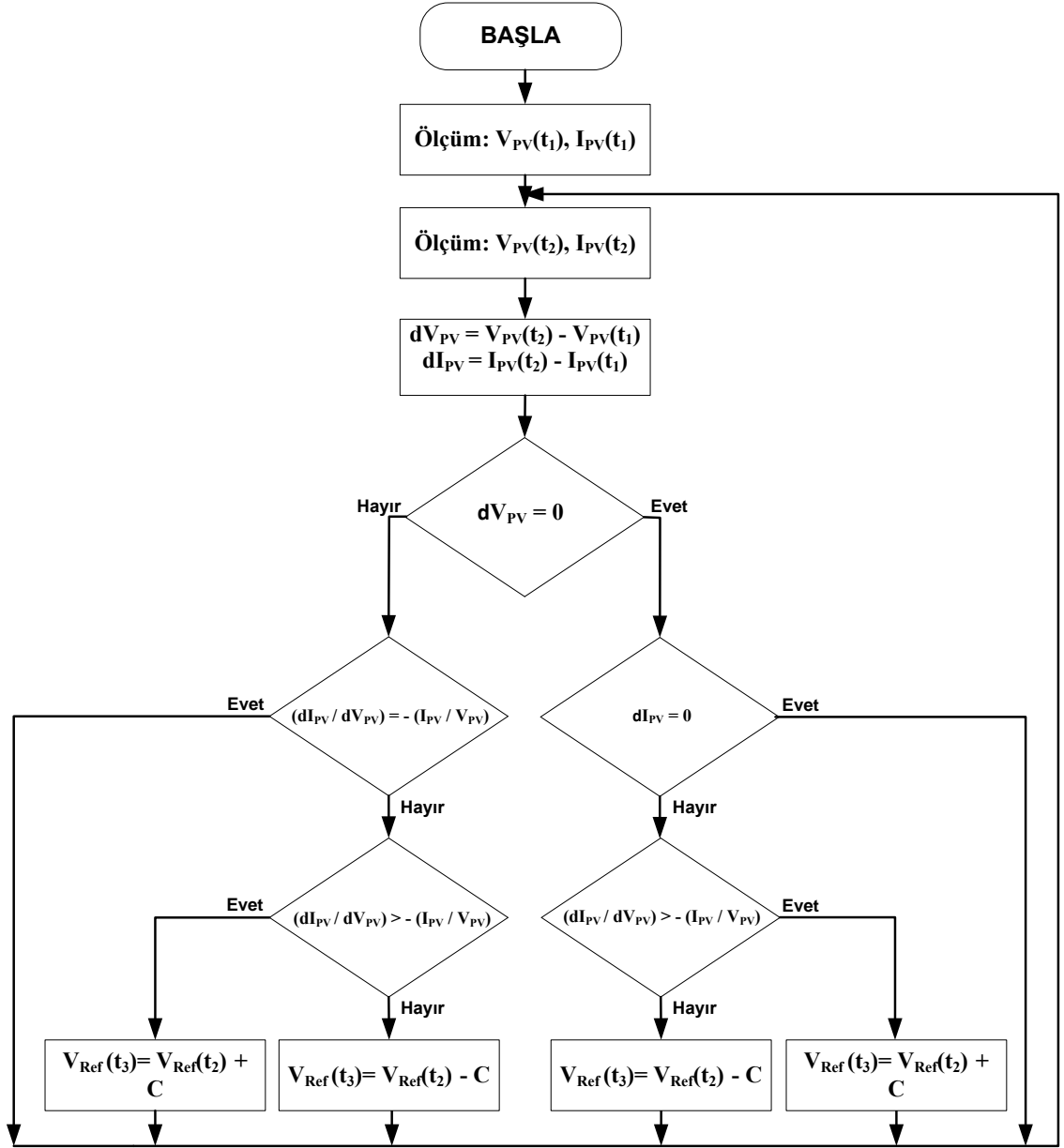
Kısmi türev ifadesi incelendiğinde PV üretcin maksimum güç noktasında mı yoksa bu noktaya uzak mı çalıştığı test edilebilir.(3. 10 -3. 12 no' lu denklemler)

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} > 0 \text{ için } V_{PV} < V_{PMP} \quad (3.10)$$

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = 0 \text{ için } V_{PV} = V_{PMP} \quad (3.11)$$

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} < 0 \text{ için } V_{PV} > V_{PMP} \quad (3.12)$$

Bu algoritmayı uygulamak üzere oluşturulmuş bir akış diyagramı Şekil 3. 6'da verilmiştir.



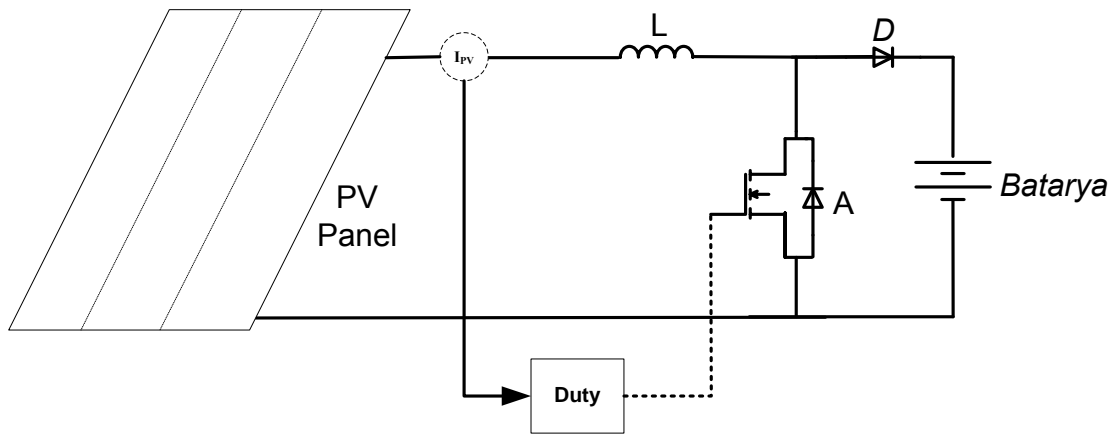
Şekil 3. 6 Artımsal iletkenlik metodu akış şeması

Bu algoritmanın en önemli avantajı, sürekli değişen hava koşulları altında iyi sonuçlar veren bir yöntem olmasıdır. Optimize edildiğinde, artımsal iletkenlik ve P&O MPPT algoritmalarının etkinliği, temel olarak aynı olmalarına karşın, MPP etrafındaki sapmalar P&O yöntemine göre daha az olmaktadır. Bunun yanında, eksi bir durum olarak karmaşık bir kontrol devresine gerek duymaktadır ki, yakın bir geçmişte pahalı

bir sistem olarak tariflenebilirdi. Fakat günümüzde ucuz yapılmasını sağlayacak birçok seçenek vardır [2].

3.2.3 Sadece Akım Metodu (The Only Current Photovoltaic Method)

Bu metoda kadar, tüm direkt metotlarda PV gerilim ve akımı ölçülmüştü. Ancak bu metotta Şekil 3. 7'de görüldüğü gibi sadece PV akımını ele alarak maksimum güç transferi yapılmaya çalışılmıştır [2].



Şekil 3. 7 Sadece akım PV algoritması MGTS blok diyagramı

Lineer olmayan PV dizisine ait model $I_{PV} = f(V_{PV}, I_{PV})$ şeklinde ifade edilebilir. Daha sonra I_{PV} 'yi V_{PV} 'nin ana fonksiyonu olarak elde etmek için bu formül düzenlenebilir: $I_{PV} = f(V_{PV})$ Bu da DC/DC güç dönüştürücülerin ifadeleri içinde kullanılabilir. Bu algoritma alçaltıcı (Buck) veya yükseltici (Boost) tip DC/DC dönüştürücü ile birlikte kullanılabilir. Aşağıda verilen (3. 14),(3. 15) ve (3. 16) buck dönüştürücünün eşitliklerinden bilinmektedir [2].

$$I_{PV}(V_{PV}, I_{PV}) = I_L - I_o (e^{(V_{PV} + I_{PV} R_s / m v_t)} - 1) - \frac{V_{PV} + I_{PV} R_s}{R_{sh}} \quad (3.13)$$

$$V_{bat} = \frac{t_{on}}{T} V_{PV} \quad (3.14)$$

$$P_{in} = V_{PV} I_{PV} = V_{bat} \frac{I_{PV}}{D} = V_{bat} P^* \quad (3.15)$$

$$P^*_{Buck} = \frac{I_{PV}}{D} \quad (3.16)$$

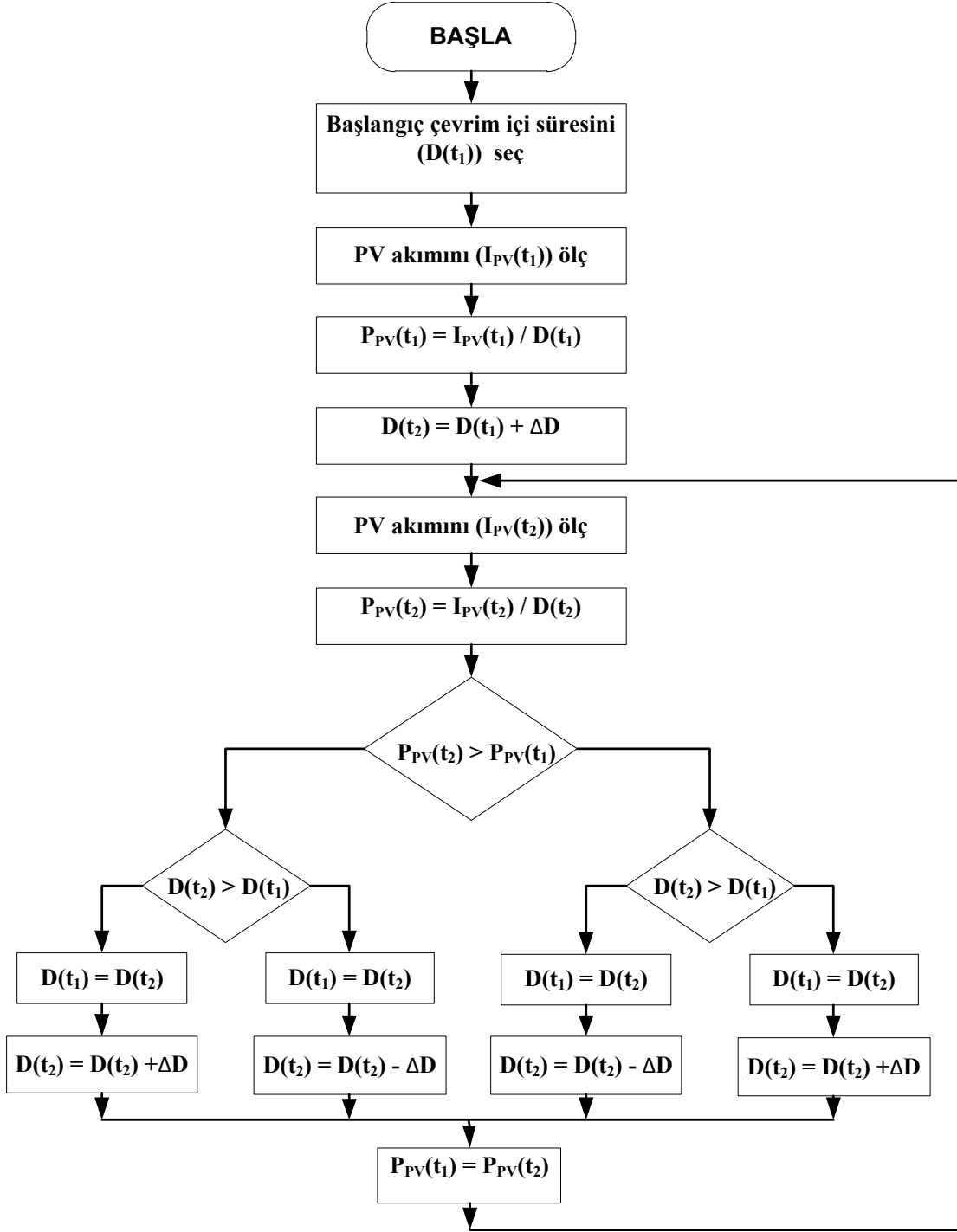
Bu metotta ilk olarak PV akımı $I_{PV}(t)$ ölçülür ve $P^*(t)$ hesaplanır. Daha sonra çevrim içi süre ΔD miktarınca yükseltilir, ikinci aşamada PV akımı $I_{PV}(t+\Delta t)$ ölçülür ve $P^*(t+\Delta t)$ tekrar hesaplanır. P^* 'nin eski ve mevcut değerleri alındıktan sonra, denetleyici işletme noktasının yerine bağlı olarak çevrim içi sürenin artırılması veya azaltılması yönünde karar verir. Maksimum güç noktasına ulaşana kadar izleme işlemi tekrar edilir. Karar verme, maksimum güç izleme kontrolü için akış şeması Şekil 3. 8'de verilen algoritmaya bağlıdır [2].

Daha sonra aşağıda belirtilen iki durum bulunabilir.

$$\Delta P = P^*(t + \Delta t) - P^*(t) \quad (3.17)$$

$$\Delta D = D(t + \Delta t) - D(t) \quad (3.18)$$

Bu metotta sadece PV akımlarının ölçümü kullanıldığı için diğer doğrudan metotlarla karşılaştırıldığında bazı avantajlara sahiptir. Bununla birlikte bu algoritma değişken atmosfer durumlarında ve farklı hava koşullarında bile başarılı bir şekilde işletilebilir. Ayrıca bu metot düşürücü DC/DC dönüştürücüler için uygulanabildiği gibi yükseltici tip DC/DC dönüştürücü topolojileri için de uygundur[2].



Şekil 3. 8 Sadece akım PV algoritmasına ait akış şeması

3.3 Diğer Metotlar

Bu bölümde bahsedilen dolaylı ve dolaysız maksimum güç takip algoritmaları dışında geliştirilmiş birçok güç takip yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemlerden literatürde öne çıkanlar, Farklılık Metodu (Differentiation Method), Gerilim Geri Beslemeli Metot

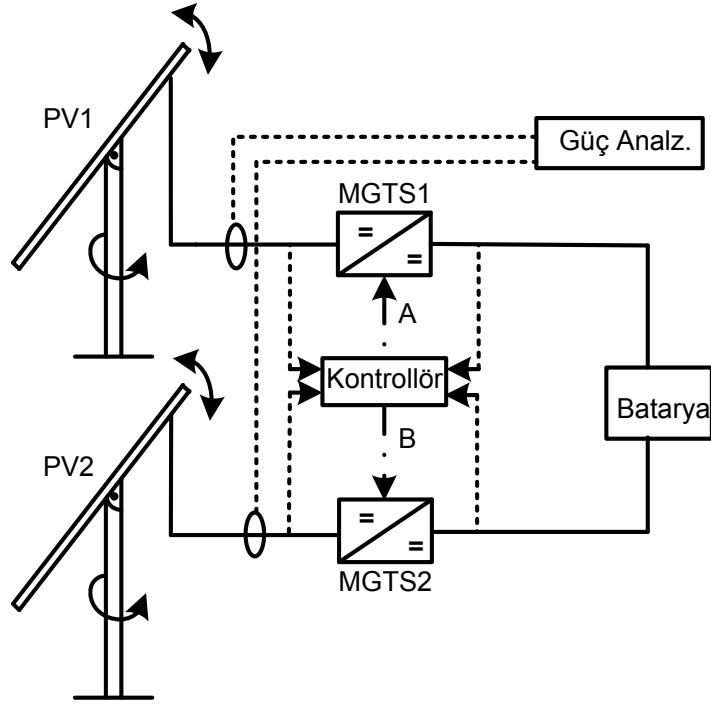
(Feedback Voltage Method), Parazitik Kapasite Metodu (Parasitic Capacitance Method) [13], Zorlanmış Salınım Metodu (Forced Oscillations Method) [14] olarak sıralanabilir. Bu metotlardan Farklılık Metodu ve Gerilim Geri Beslemeli Metot dolaylı, diğer metotlar dolaysız güç takip algoritmalarıdır. Yukarıda bahsedilen metotlar dışında PV sistemlerde maksimum güç takibi işlemi için fuzzy logic kontrolörleri [15], [16], [17] ve sinirsel ağlar yöntemlerini [18], [19], [20], [21], [22] öneren çalışmalar da yapılmıştır. Ayrıca bu bölümün başından itibaren anlatılan temel algoritmalara yapılan eklentilerle oluşturulmuş birçok modifiye algoritma mevcuttur [23], [27],[28],[29].

Yukarıda bahsedildiği gibi literatürde birçok algoritma mevcut olsa da tez çalışması literatürde standart kabul edilen P&O algoritması ve 3. Bölümde anlatılan ve literatürde ön plana çıkan dört algoritma üzerinde yoğunlaşmıştır. Literatürde ön plana çıkan bu dört algoritma ve yeni geliştirilen algoritmanın performanslarını değerlendirmek üzere oluşturulan deney düzeneği Bölüm 4'te anlatılmıştır.

BÖLÜM 4

DENEY DÜZENEGİ

Yapılan tez çalışması kapsamında maksimum güç takip algoritmalarının performans karşılaştırması için bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Bu düzende iki özdeş PV panel, DC/DC dönüştürücü ve PV'lerden çekilen güçleri ölçen güç analizörü ile farklı algoritmaları işletebilen kontrol ünitesi kullanılmıştır. Bu düzendeki özdeş PV paneller aynı platform üzerine yerleştirilmiştir. Bu platformun eğim açısı ve azimut açısı değiştirilebilmektedir. Dolayısıyla platform üzerindeki PV panellerin de eğim açısı ve azimut açısı değiştirilebilmektedir. Bu platform, maksimum güç takip algoritmalarının ışınım değişimlerine uyumluluğunu test etmek üzere belirli bir döngüde hareket ettirilmektedir. Şekil 4. 1'de blok şeması verilen platforma ait hareket döngüsü dört bölümden oluşmaktadır. Hareket döngüsündeki bu bölümlerde ışınım değişim miktarı bölüm 1'den bölüm 4'e doğru artmaktadır. Böylelikle test edilen algoritmaların ışınım değişimlerine olan uyumluluğu ölçülebilmektedir. Sonuç olarak bu düzende, maksimum güç takip sistemlerinin elektrikli araç uygulamalarında olduğu gibi karşılaşılabileceği ani ışınım değişimleri simüle edilebilmektedir.



Şekil 4. 1 MGTS algoritmaları karşılaştırma düzeneğinin blok şeması

Yukarıda blok şeması verilen düzenekte özdeş PV paneller yine özdeş DC/DC dönüştürücülere bağlanmıştır. Bu DC/DC dönüştürücüler kontrol sinyallerini tek bir kontrollörden almaktadır. DC/DC dönüştürücülerin çıkışı yaklaşık gerilimi 24 V olan tek bir bataryaya bağlanmıştır. Deney düzeneğine dikkat edilirse bir çift özdeş MGTS donanımının varlığı görülecektir. Sistem bileşenlerinin ayrıntıları aşağıda verilmiştir.

4.1 PV Paneller

Hareketli platformda yer alan her iki PV panel özdeş olup $50 W_{pk}$ gücündedir. Ayrıca platformun tam ortasında yer alan mini bir PV modül vardır. Piranometre ile kalibre edilmiş bu mini modül deney esnasında hızlı bir biçimde ışınım ölçümü için sisteme dahil edilmiştir. PV modüller ve platforma ait fotoğraf Şekil 4. 2'de verilmiştir.



Şekil 4. 2 Hareketli platform ve PV paneller

Özdeş PV panellerin standart ortam şartlarında karakteristik değerleri Çizelge 4. 1’de verilmiştir.

Çizelge 4. 1 PV panellere ait karakteristik değerler

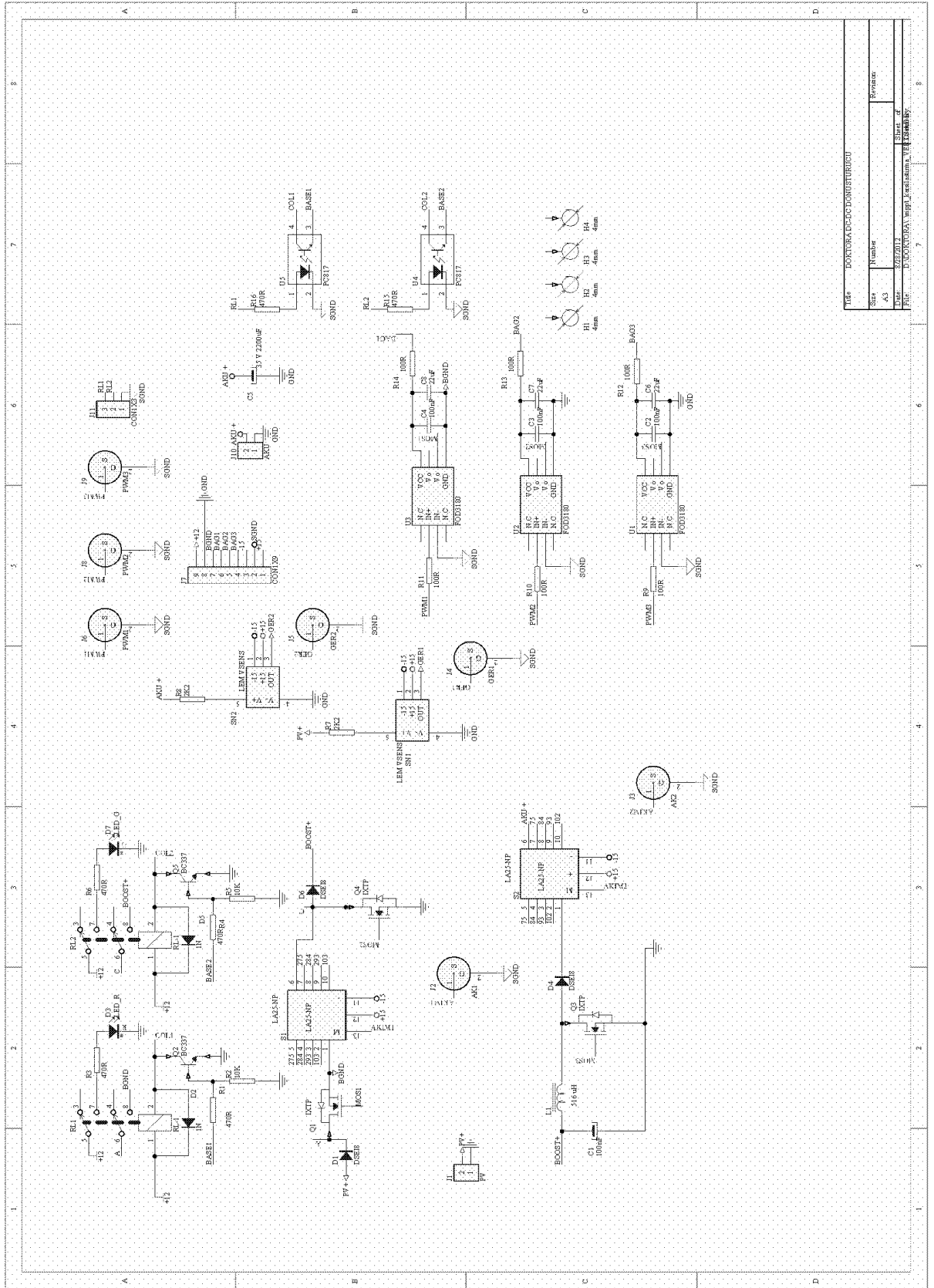
Özellik	Değer	Özellik	Değer
Maksimum Güç (W_p)	50	Açık Devre Gerilimi (V)	22.30
Maksimum Güç Gerilimi (V)	17.98	Kısa Devre Akımı (A)	2.99
Maksimum Güç Akımı (A)	2.78	Tip: Mono kristal Si	

Dönüştürücü yer alan elemanlar Çizelge 4. 2’de verilmiştir.

Çizelge 4. 2 DC/DC dönüştürücüde kullanılan devre elemanları

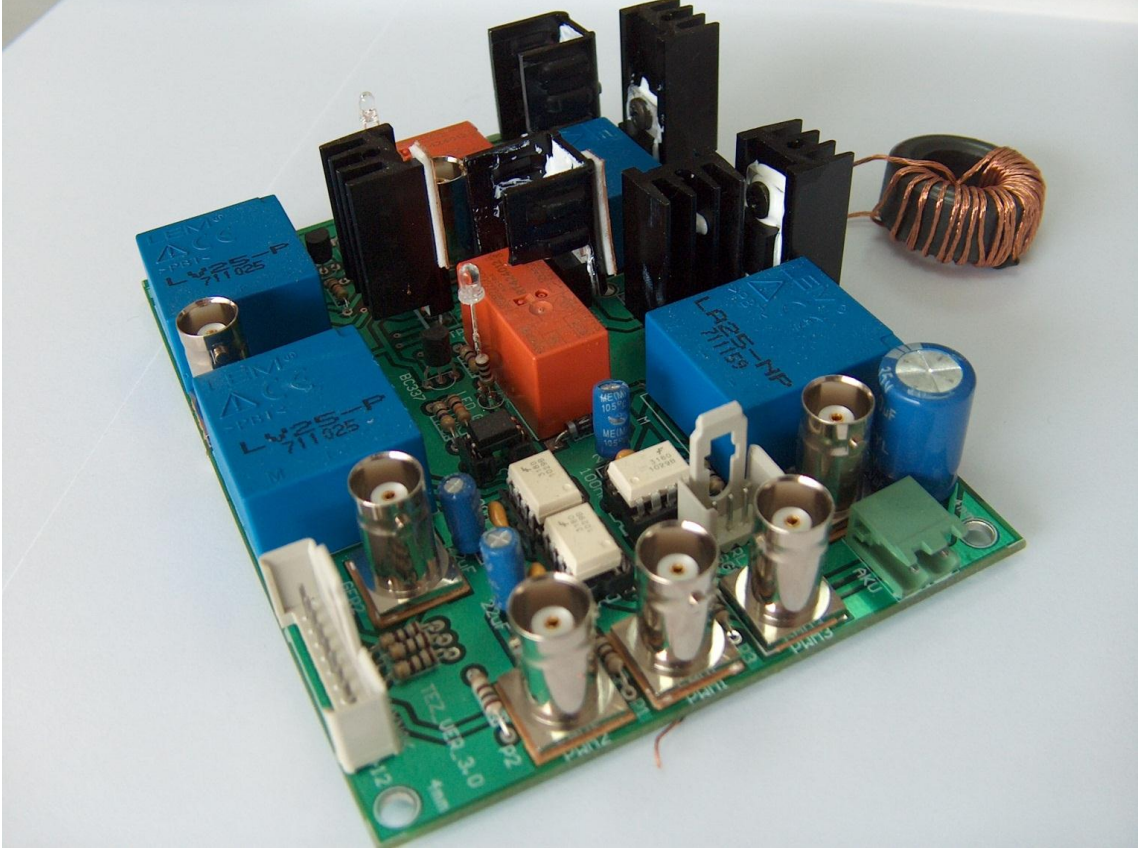
Eleman	Model	Eleman	Model	Eleman	Model
D ₁ , D ₂ , D ₃	IXYS DSEI8	L	515 µH	C _{ÇIKIŞ}	35 V 2200 µF
V1	LEM LV-25P	A ₁ ,A ₂ ,A ₃	IXTP182N055T	A _{ÇIKIŞ}	LEM LA 25-NP
A	LEM LA 25-NP	D2	IXYS DSEI8	V _{ÇIKIŞ}	LEM LV-25P

İki manüel ve üç elektronik anahtara sahip olan bu devre deneysel çalışmalarda art arda farklı algoritmalar için çalıştırılacaklarından, manüel anahtarlar yerine birer röle kullanılmıştır. Devredeki elektronik anahtarlar da sistemin 20 V- 30 V seviyelerinde gerilim, maksimum 3 A seviyelerinde akım ve 35 kHz gibi anahtarlama frekansına sahip olmasından ötürü MOSFET olarak tercih edilmiştir. Kullanılan MOSFET’lerin iletim kayıplarının sistem verimliliğini en az oranda etkilemesi için R_{ds (on)} değeri düşük olan MOSFET’ler arasından bir seçim yapılmıştır. Bunun için firmaların kataloglarında 50 V seviyelerinde düşük gerilimli 150 A seviyelerinde yüksek akımlı MOSFET’ler içerisinde bir seçim yapılmış IXTP182N055T kodlu MOSFET devrede elektronik anahtar olarak tercih edilmiştir. MOSFET’leri 35 kHz’de sürmek üzere FOD3180 kodlu MOSFET sürücüler seçilmiştir. Yükseltici (Boost) tipte DC/DC dönüştürücü için gerekli endüktans elemanı da “Power Electronics Expert” adlı bilgisayar programı yardımıyla 515 µH olarak seçilerek Şekil 4. 4’te(EK-D) verilen devrenin şematik tasarımı Altium Designer Programında yapılmıştır.



Şekil 4. 14 Farklı algoritmalara uyumlu MGTS'ye ait devre şeması

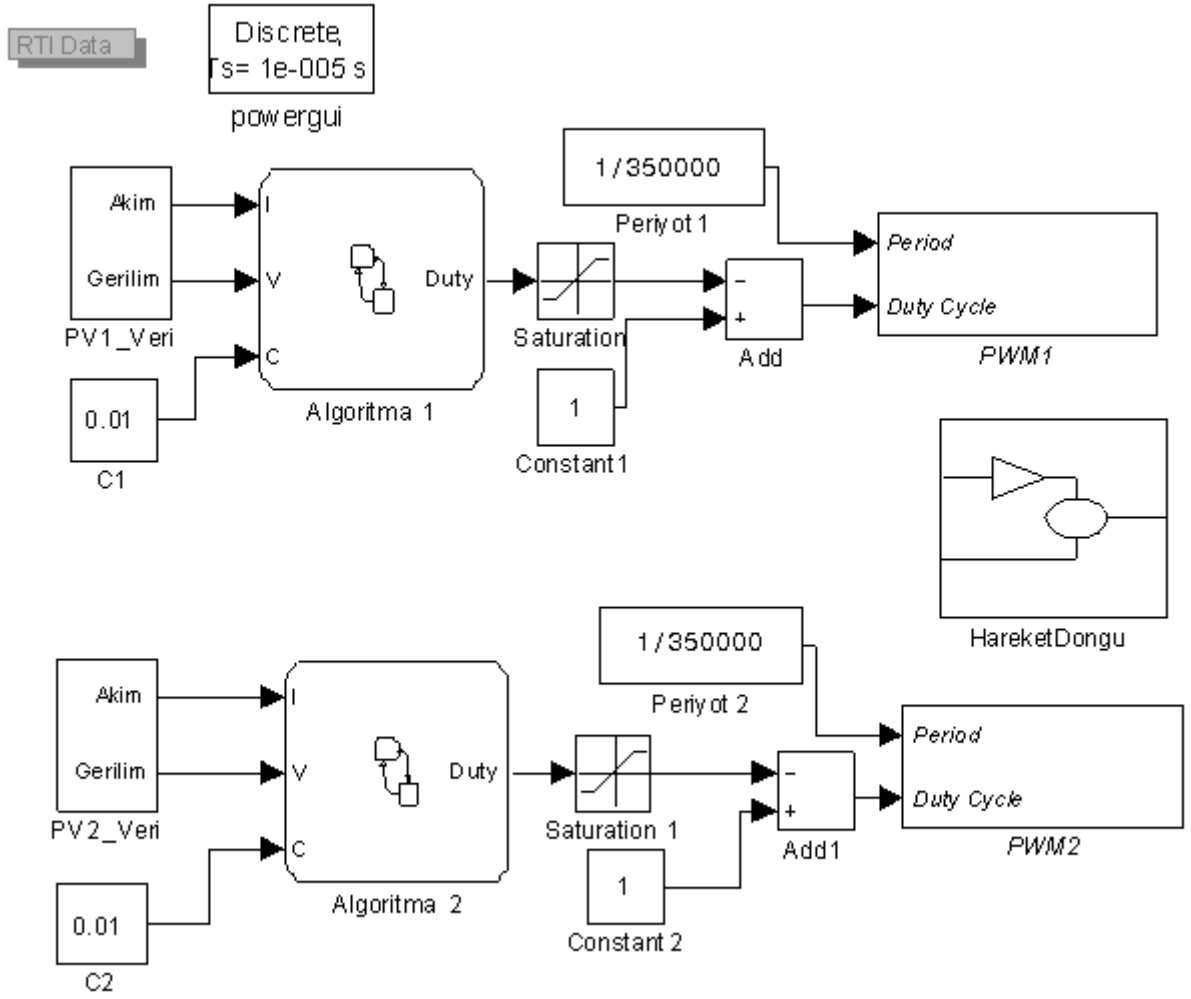
Algoritmaları karşılaştırmak için farklı maksimum güç takip algoritmalarına uyumlu MGTS'nin devresine ait fotoğraf Şekil 4. 5'te verilmiştir.



Şekil 4. 5 MGTS'nin devresine ait fotoğraf

4.3 Kontrolör

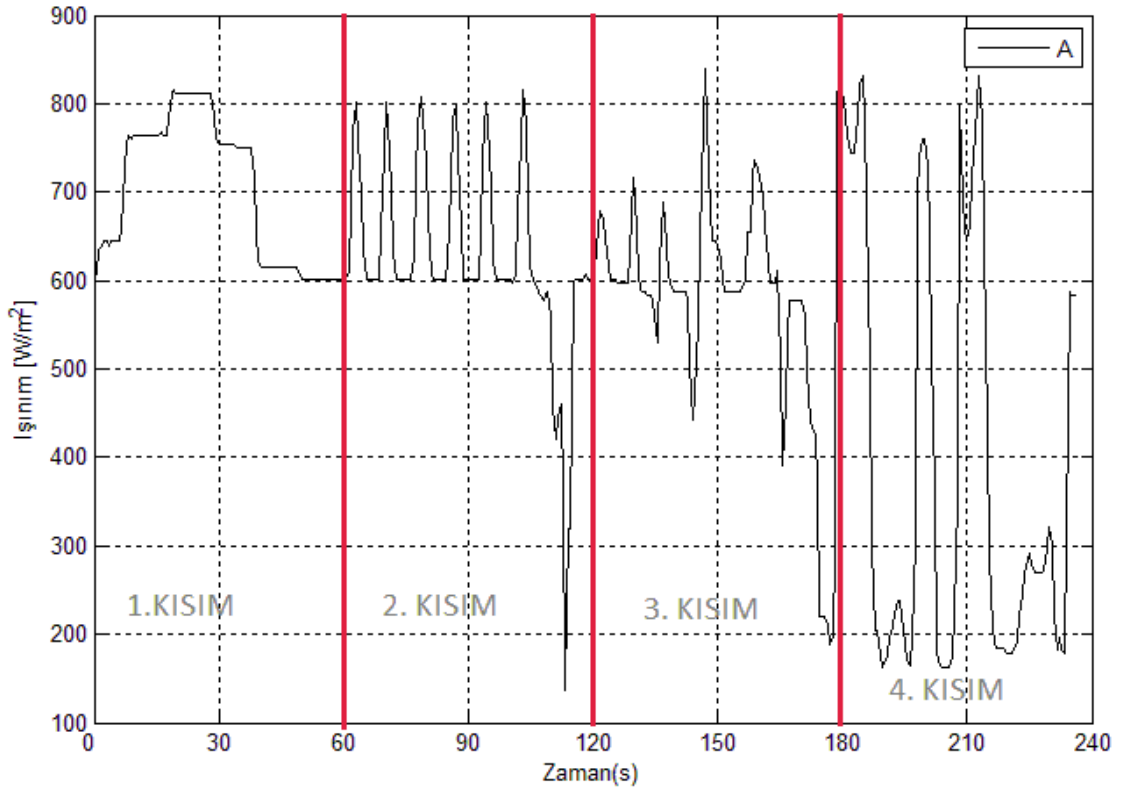
Test sisteminde kontrolör olarak dSpace Micro Autobox kullanılmıştır. Bu kontrolör hem hareket döngüsünü hem de MGTS'leri aynı anda kontrol etmektedir. MGTS'ler için algoritma yazılımları ve hareket döngüsü Matlab/Simulink ortamında oluşturulmuştur. MGTS'leri kontrol etmek üzere her bir algoritma için ayrı ayrı kontrol yazılımı oluşturulmuş ve beş farklı algoritmanın ikili kombinasyonları ile karşılaştırma yapılmıştır. MATLAB/Simulink ortamında oluşturulan örnek bir kontrol diyagramı Şekil 4. 6'da verilmiştir.



Şekil 4. 6 Örnek bir kontrol diyagramı

4.4 Hareket Döngüsü

Hareket döngüsü dört bölgeden oluşmaktadır. İlk bölgede (0-60 s) PV'nin sadece eğim açısı yavaş bir şekilde artırılıp azaltılmaktadır. İkinci bölgede (60-120 s) PV eğim açısı hızlı bir şekilde artırılıp azaltılmaktadır. Üçüncü bölgede (120- 180 s) PV'nin hem eğim açısının değişmesi hem de yönünün değişmesi söz konusudur. Dördüncü bölgede (180-230) ise PV'nin sabit bir eğim açısında iken yönü hızlı bir şekilde değiştirilmektedir. Hareket döngüsündeki bu bölümlerde ışınım değişim miktarı bölüm 1 den bölüm 4 doğru artmaktadır. Şekil 4. 7'de bu dört bölgeden oluşan hareket döngüsü içerisinde PV üzerine düşen ışınım-zaman grafiği verilmiştir. Hareket döngüsü, algoritmaların ışınım değişimlerine olan uyumluluğu ölçülebilmek üzere bu şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 4. 7 Hareket döngüsü içerisinde PV üzerine düşen ışınım

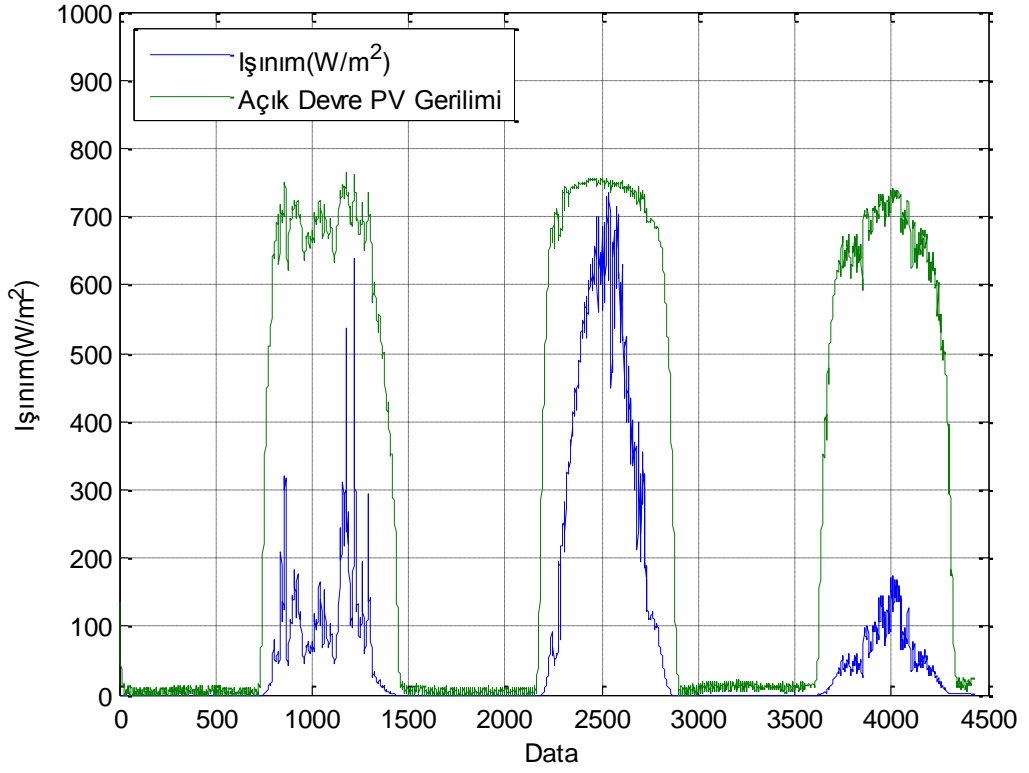
4.5 Hareketli Platformdaki Işınım Ölçüm Sistemi

Tez çalışmasının önemli bir aşaması olan ışınım değişiminin bir transdüserle algılanması işlemi için bir deney yapılmıştır. Bu deneyde ışınım değişimini piranometreden daha hızlı bir şekilde algılamak üzere basit ve ekonomik düzenekler oluşturulmuştur. Düzenekler sırasıyla, açık devre edilmiş ve uç gerilimi okunan bir mini PV modül, kısa devre edilmiş ve kısa devre akımı okunan bir mini PV modül ve son olarak üzerine düşen gerilimi okunan bir LDR'den oluşturulmuştur. Bu düzeneğe ait fotoğraf Şekil 4. 8'de verilmiştir.

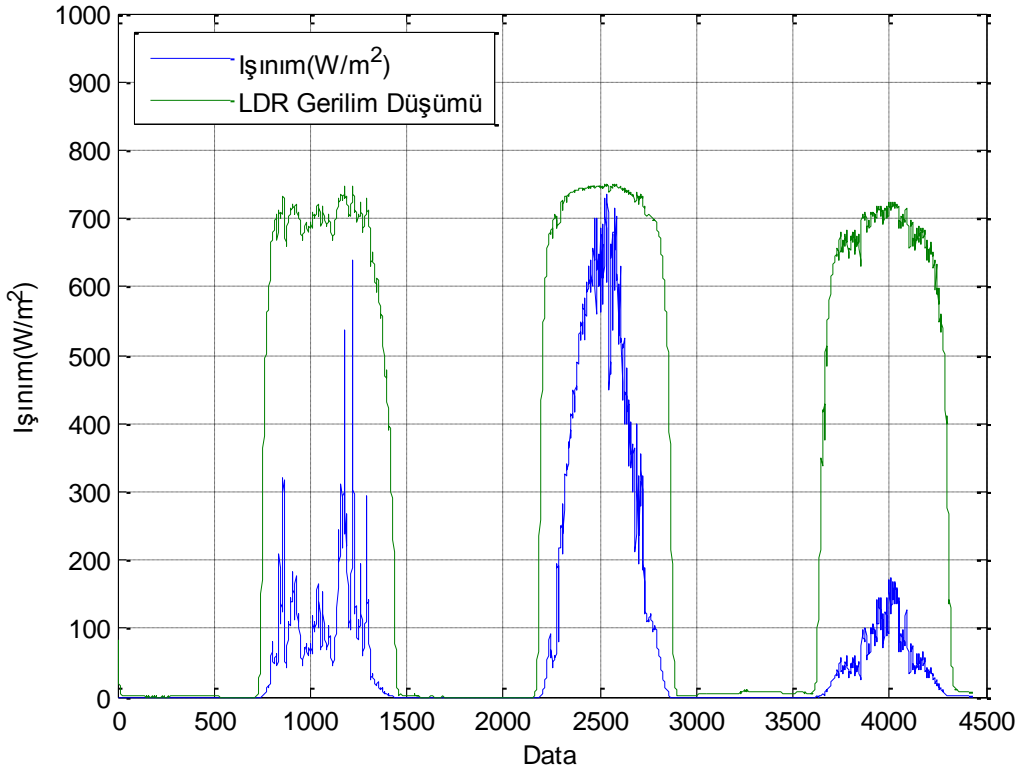


Şekil 4. 8 Mini PV modüller ve LDR' den oluşan ışınım ölçüm düzeneği

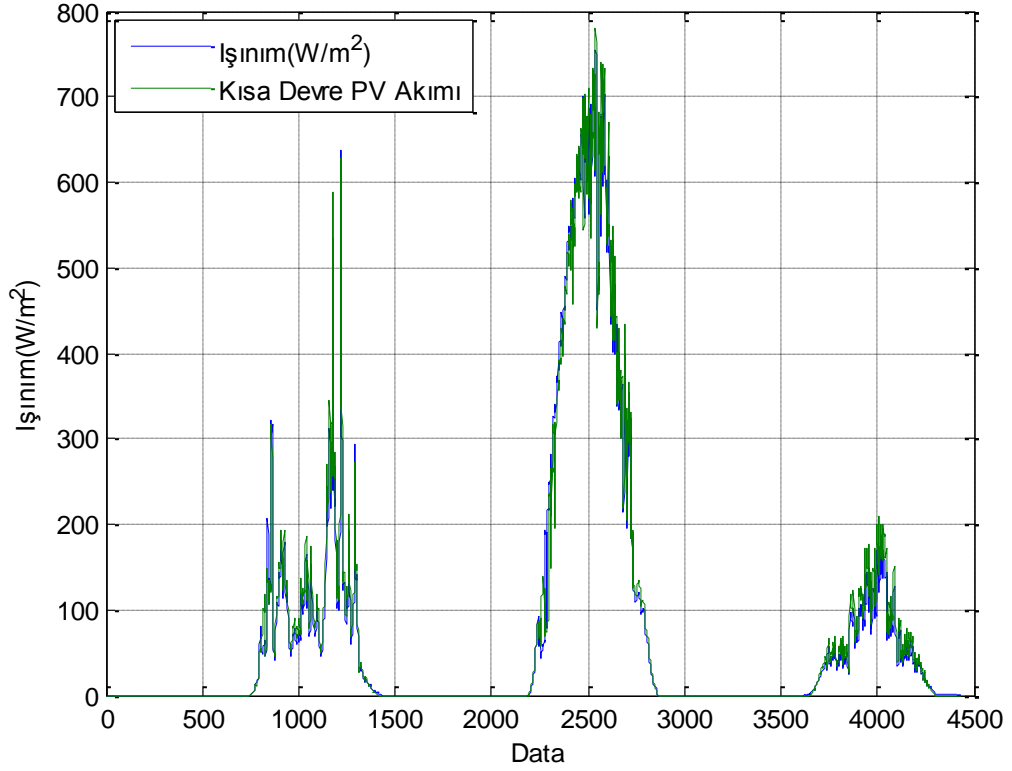
Şekil 4. 8'de görülen PV modüller ve LDR'den alınan akım veya gerilim değerleri üç gün boyunca bir veri kaydedici aracılığıyla alınmıştır. Alınan bu değerler aynı zaman dilimi için piranometreden alınan değerlerle ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya ait grafikler Şekil 4. 9, Şekil 4. 10 ve Şekil 4. 11'de verilmiştir.



Şekil 4. 9 Açık devre PV gerilimi ile ışınım karşılaştırması



Şekil 4. 10 LDR gerilim düşümü ile ışınım karşılaştırması



Şekil 4. 11 PV kısa devre akımı ile ışınım karşılaştırması

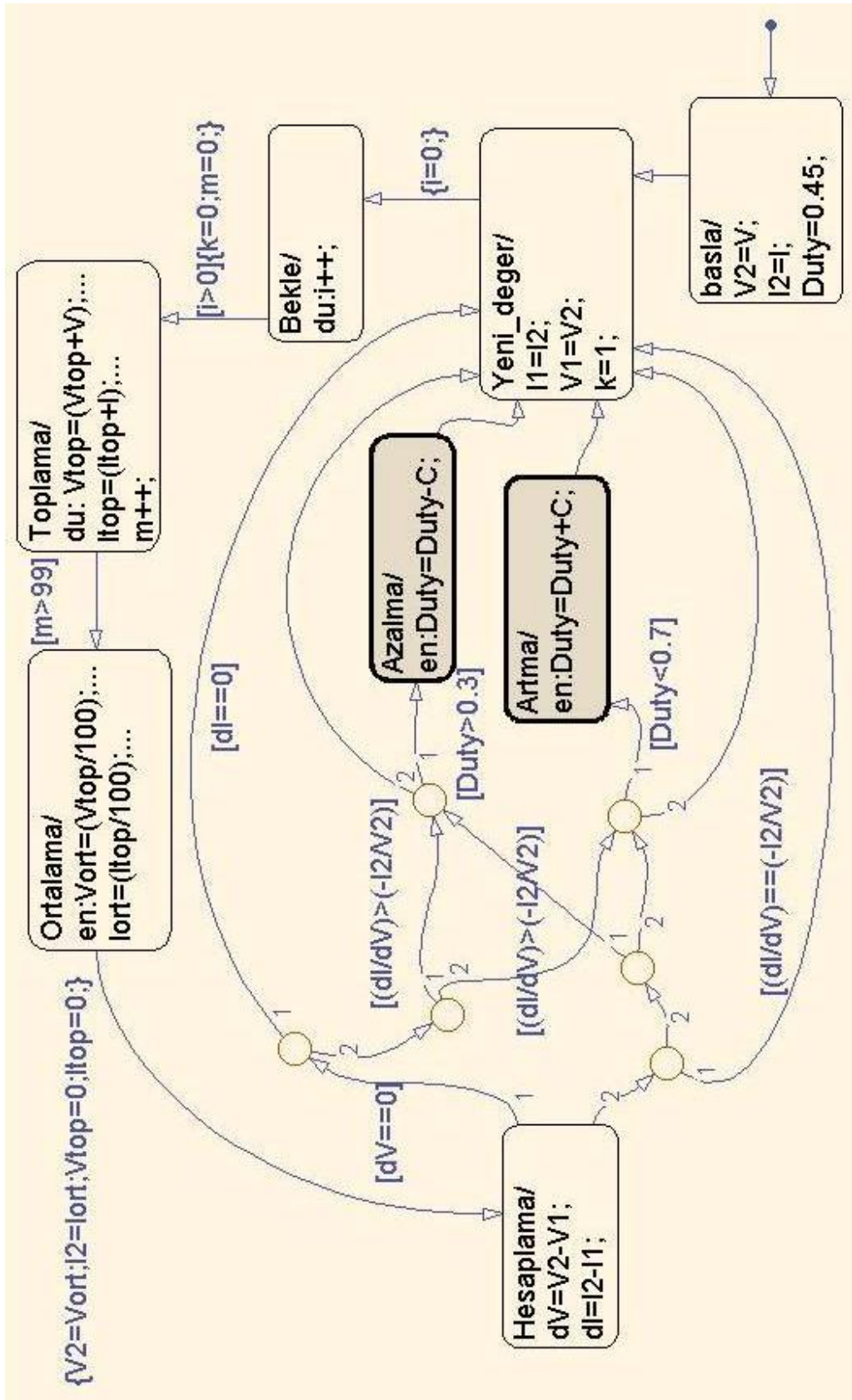
Şekillerde görülen grafiklerden de anlaşılacağı gibi hızlı bir şekilde ışınım ölçümü için kısa devre edilmiş PV modül diğer yapılardan çok daha başarılı çıkmıştır. Bunun üzerine hareketli platformumuza bir adet kısa devre edilmiş bir PV modül eklenmiştir.

4.6 MGTS Algoritmaları

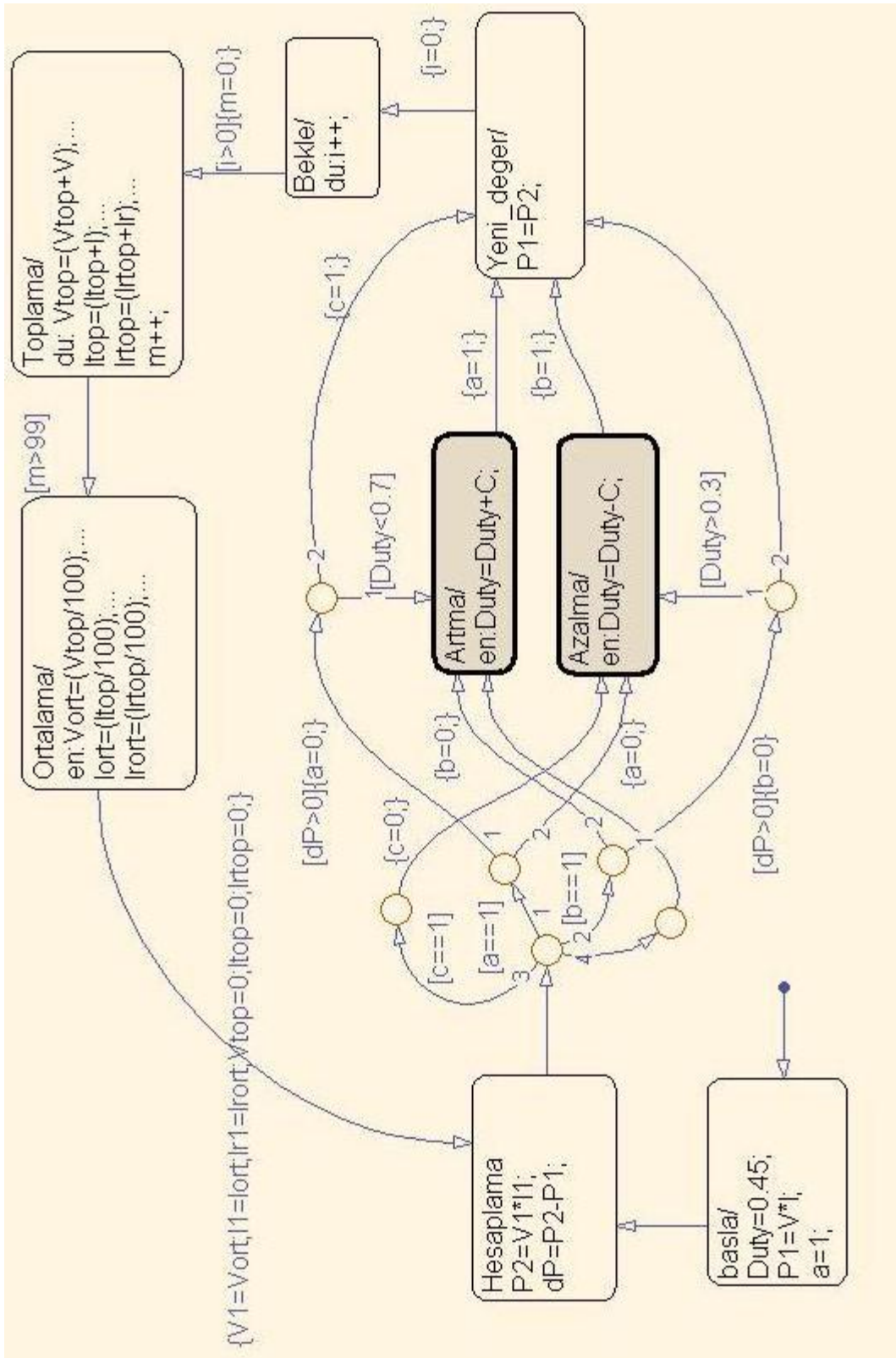
Yukarıda belirtildiği gibi karşılaştırmanın yapılabilmesi için beş farklı MGTS algoritmasının ayrı ayrı Matlab/Simulink ortamında simülasyon diyagramı (EK-A) oluşturulmuştur. Bu simülasyonlarda her bir algoritmanın maksimum güç takibini yapan alt sistemi ise Matlab/Stateflow'da oluşturulmuştur. Algoritmaların akış şemaları Matlab/Stateflow'da oluşturulurken her bir algoritma için DC/DC dönüştürücünün başlangıç çevrim içi süresi 0,45 ve çevrim içi süre alt ile duty üst sınırı sırasıyla 0,3 ve 0,7 olarak seçilmiştir.

Algoritmaların akış şeması oluşturulurken her bir algoritmanın temel şemasına sadık kalınmaya çalışılmıştır. Akışlar içerisinde yer alan ölçme işlemlerinde ölçme hatalarını minimize etmek adına ölçümler yüzer defa tekrarlanmış ve ortalama ölçüm değerine göre işlem yapılmıştır. Bu durum bütün algoritmalarda böyle uygulanmıştır.

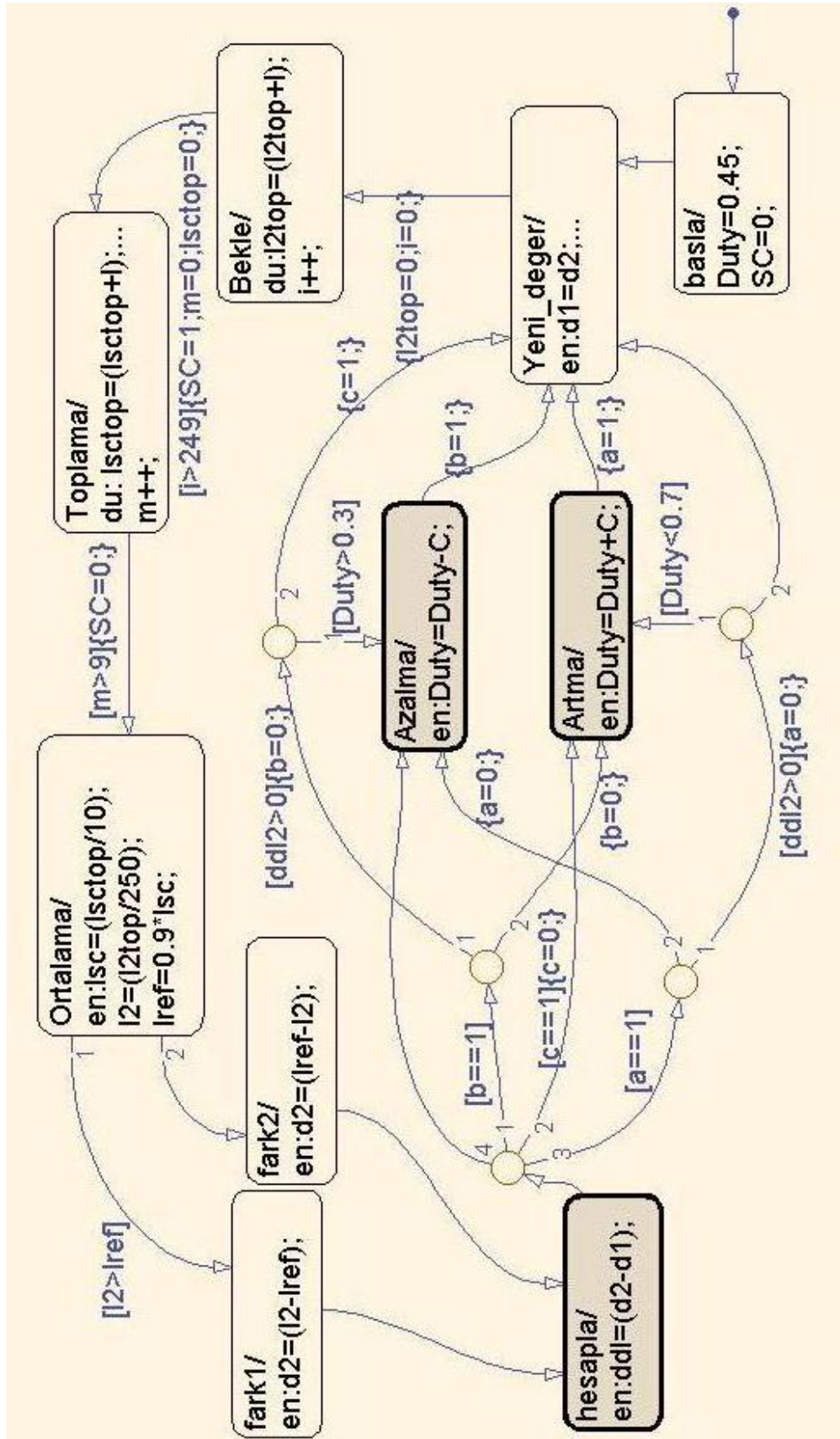
Algoritmaların belirtilen çerçevede Matlab/Stateflow'da oluşturulmuş olan akış şemaları Şekil 4. 12, Şekil 4. 13, Şekil 4. 14 ve Şekil 4. 15'te verilmiştir.



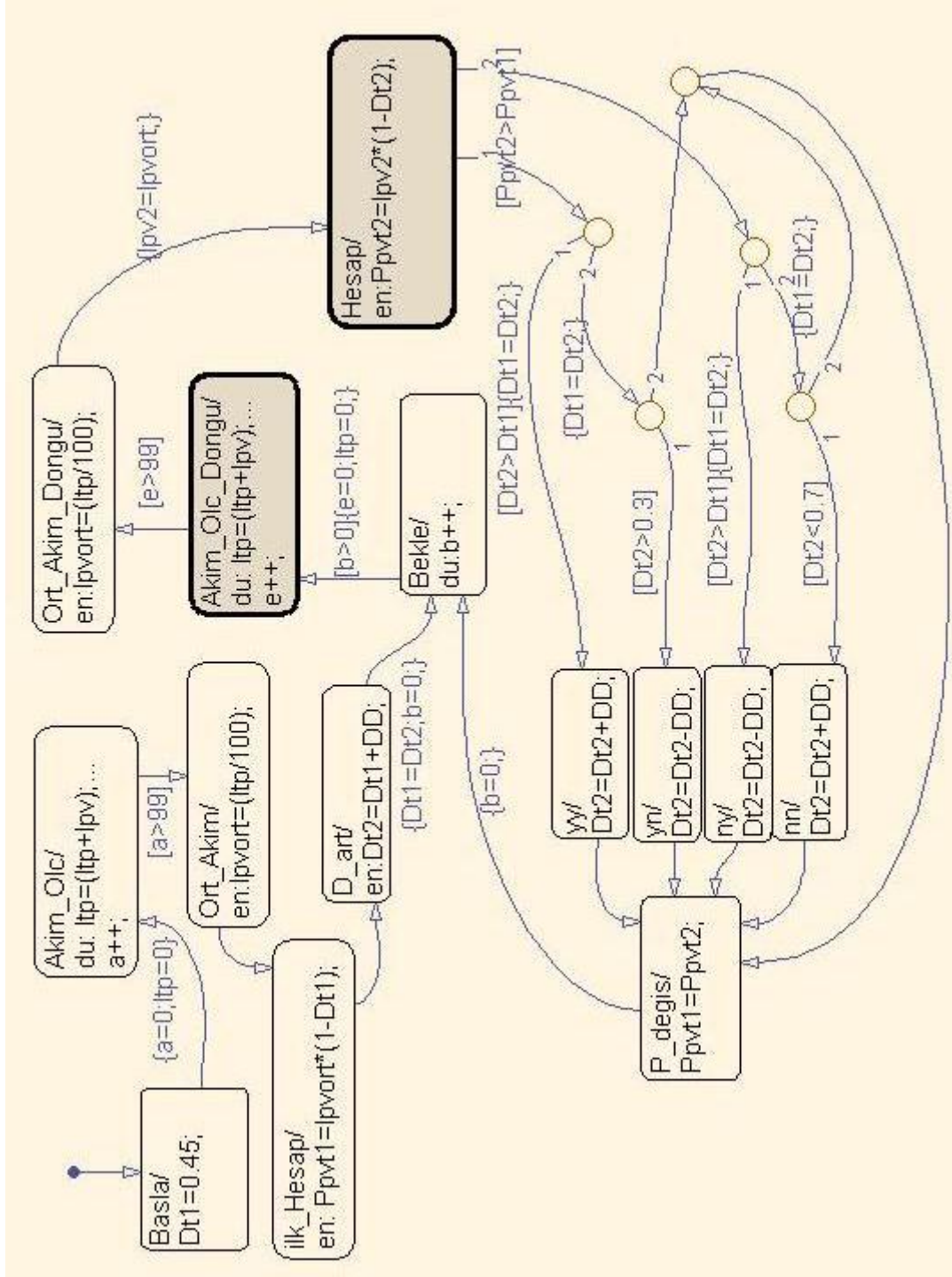
Şekil 4. 12 IC algoritmasına ait MATLAB/Stateflow akış şeması



Şekil 4. 13 P&O algoritmasına ait MATLAB/Stateflow akış şeması



Şekil 4. 14 SC algoritmasına ait MATLAB/Stateflow akış şeması



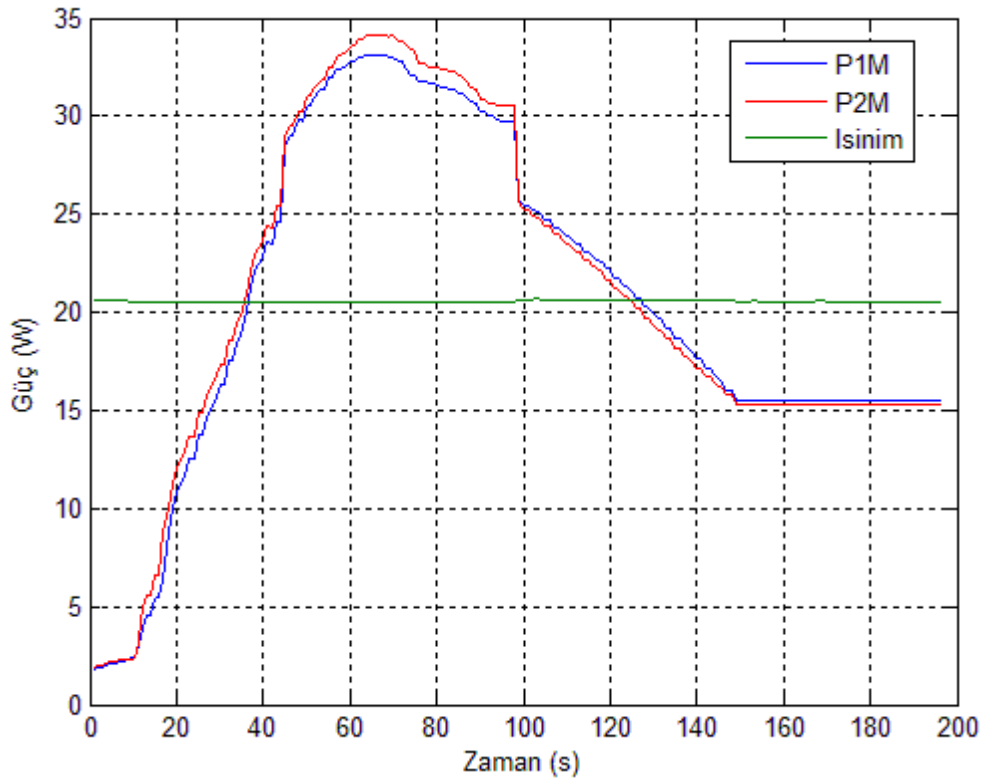
Şekil 4. 15 OC algoritmasına ait MATLAB/Stateflow akış şeması

4.7 Yeni Algoritmanın Oluşturulması

PV sistemler için hızlı ışınım değişimlerine uygun bir maksimum güç takip algoritmasının oluşturulması bu tez çalışmasının amaçları arasında yer almıştır. Böyle bir algoritma için öncelikle var olan ve yaygın olarak kullanılan algoritmalar içerisinde

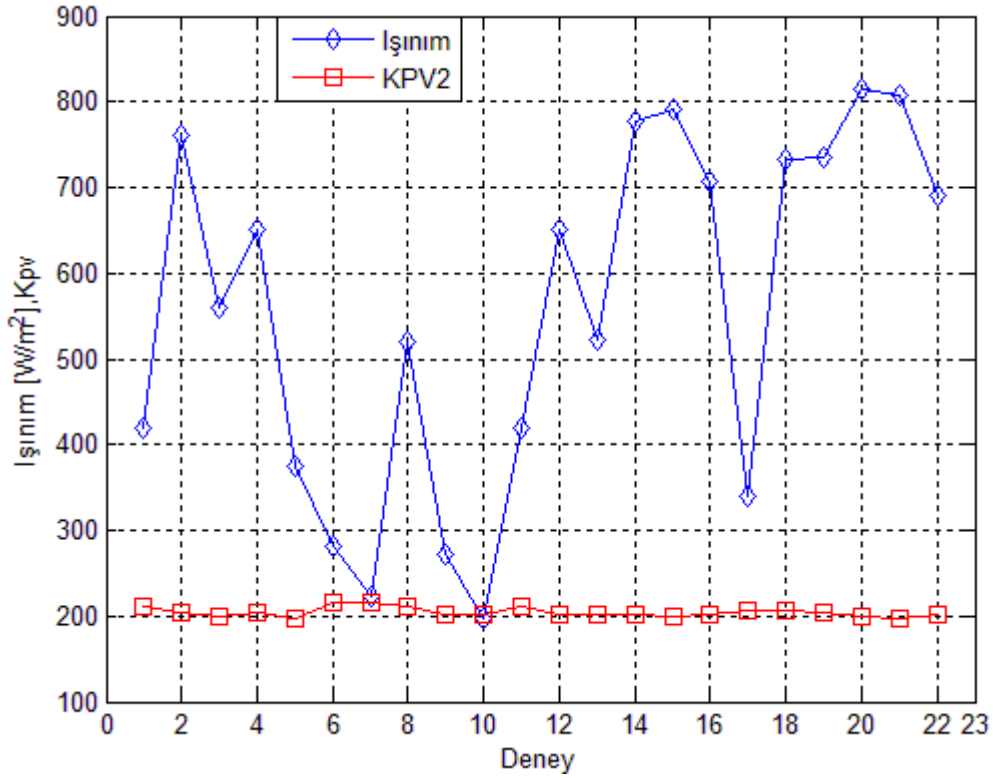
başarılı olan algoritmanın tespit edilmesi gerekmektedir. Tez çalışması sırasında yapılan deneyler sonucunda IC algoritmasının literatürde de bahsedildiği gibi ışınım değişimlerine diğer algoritmalarından daha adaptif olduğu görülmüştür. Bunun üzerine IC algoritmasından daha başarılı olabilecek bir algoritma çalışması başlatılmıştır.

Yeni algoritmanın IC algoritmasından başarılı olabilmesi için bir öngörüsünün olması gerekliliğinden yola çıkılarak ışınım değişimlerinin okunmasına karar verilmiştir. Bu okuma, daha önce de belirtildiği gibi kısa devre edilmiş mini PV modülle yapılmıştır. Işınım bilgisini almak üzere hareketli platforma eklenen PV modülden alınan veriler kullanılarak farklı ışınımlar altında deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde ilgili ışınım altında PV panellerden alınabilecek maksimum gücü tespit etmek üzere MGTS devresinde DC/DC dönüştürücünün çevrim içi süresi %20 den %85'e kadar $\Delta\lambda=\%0,5$ aralıklarla adım adım artırılmış ve bu süre içerisinde PV'den alınan güç kaydedilmiştir. Bu şekilde farklı gün ve günün farklı saatlerinde 22 ayrı deney yapılmıştır. Yapılan deneylerden birisine ait güç-zaman grafiği Şekil 4. 16'da verilmiştir.



Şekil 4. 16 Örnek bir maksimum güç deneyi güç-zaman grafiği

Üst üste tekrarlanan deneylerde veriler içerisinde maksimum gücün alındığı noktaya ait veriler süzülerek tüm deneylere ait sonuçlardan bir tablo (EK-B) oluşturulmuştur. Bu tablodaki veriler değerlendirilmiş ve sonuç olarak ışınım değeri ile maksimum güç arasında doğru orantılı bir ilişki tespit edilmiştir. Bunun üzerine PV'lerdeki bu ilişki için literatür taraması bu yönde derinleştirilmiştir. Sonuç olarak bu durumun literatürde de bahsedildiği görülmüştür. Işınım ile PV'den ilgili ışınım altında alınabilecek maksimum güç arasındaki bu oran bizce K_{PV} olarak ifade edilmiştir. Yapılan 22 deney sonucu kaydedilen maksimum güçlerin elde edildiği ışınım değerleri ile K_{PV} arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 4. 17'de verilmiştir.



Şekil 4. 17 Işınım ile K_{PV} arasındaki ilişkiye ait grafik

Şekil 4. 17'den de görüldüğü üzere 150 W/m^2 üzerindeki tüm ışınım seviyelerinde K_{PV} neredeyse sabit bir değerdir. Şekilde K_{PV} bir katsayıyla çarpılarak ışınım ile aynı grafikte görülmesi sağlanmıştır. Normalde grafikte sonuçları verilen 2. PV panele ait K_{PV} değeri ortalama 0,042794 ve 1. PV panele ait K_{PV} değeri ortalama 0,041301 olarak hesaplanmıştır. PV paneller arasında az da olsa K_{PV} değerinin farklı çıkması bu değer farklı PV paneller için ayrı ayrı hesaplanması gerektiğini göstermiştir. Ayrıca aynı PV

panel için günün ilk saatleri ile akşam saatlerine yakın saatlerde elde edilen K_{PV} 'ler arasında küçük farklılıkların olması bu oranın sıcaklıktan az da olsa etkilendiğini göstermektedir.

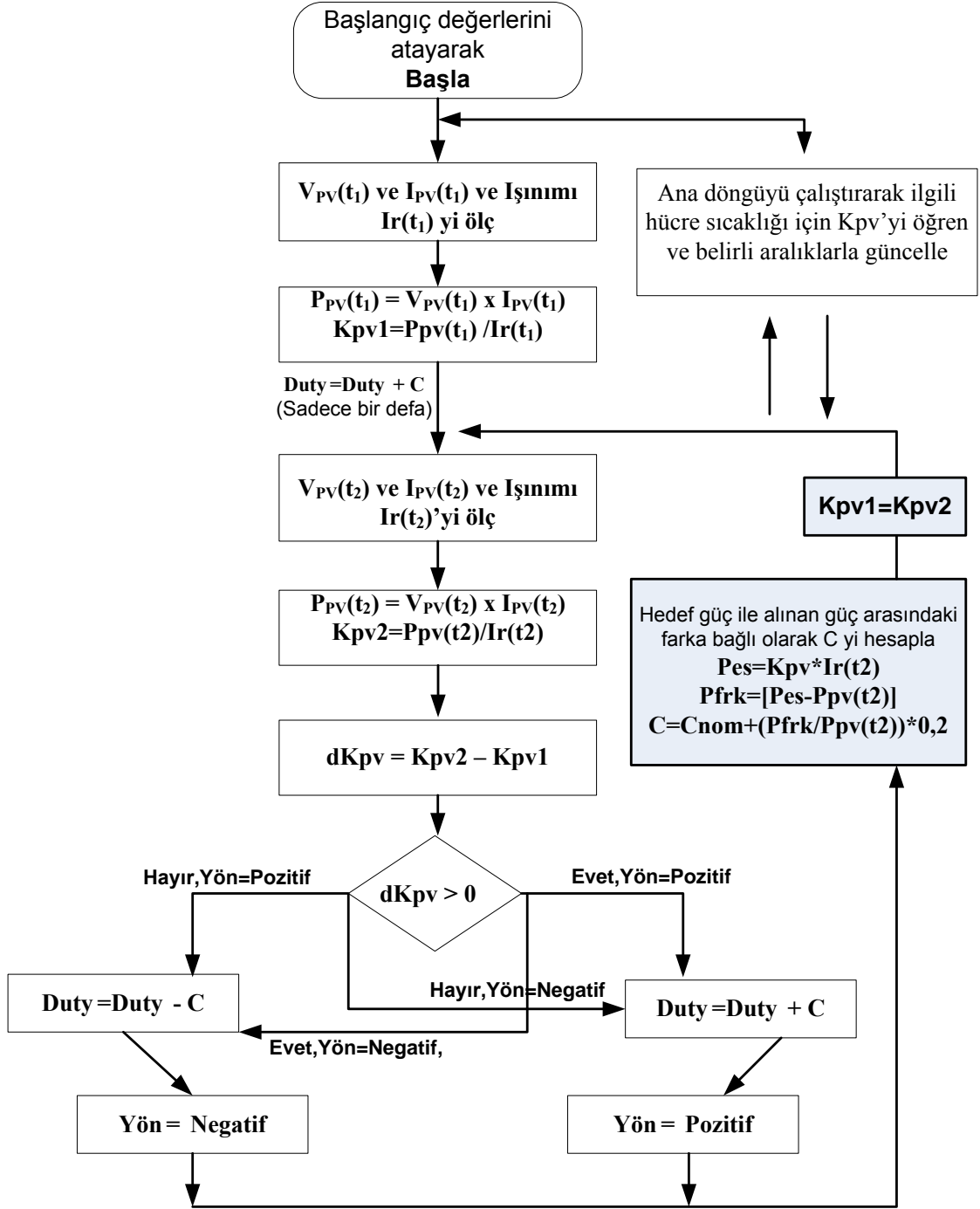
Doğal olarak sıcaklıktan az da olsa etkilenen ve ışınım değişimlerinde neredeyse hiç etkilenmeyen bu oran yeni oluşturulan algoritmanın önemli bir bileşeni olmuştur. Çünkü hızlı hareket eden araçlarda maksimum güç takibi zorlaştıran en büyük faktör hızlı değişen ışınım değerleridir. Sıcaklık değişimi ışınım oranla yavaş olmakta ve PV performansını ışınım kadar etkilememektedir. Yeni oluşturulan algoritmanın belirli bir öğrenme süreciyle PV'lere ait bu oranı tespit etmesi ve sıcaklık değişimleri, vb. değişimler için yine belirli aralıklarla bu oranı güncellemesiyle elde edilecek K_{PV} 'lerin bu algoritma için önemli avantajlar sağlayabileceği öngörülmüştür.

Yeni algoritmanın oluşturulmasındaki ilk aşama K_{PV} oranının tespit edilmesidir. Bunun için hareket döngüsü başlamadan yani ışınım değişiminin olmadığı bir aralıkta algoritma döngüsünün K_{PV} oranını hesaplaması sağlanmıştır. Bu hesaplama başlangıçta yaklaşık bir dakika sürmektedir. Bir dakikalık bu süre zarfında maksimum güç takibi devam etmekte, PV kısa devre akımı veya PV açık devre gerilimi metodunda olduğu gibi batarya aktarılan güç kesintiye uğramamaktadır. Uzun süreli uygulamalarda belirli bir döngüden sonra ışınım değerlerine bakılarak ışınım değişim miktarının az olduğu ya da hiç olmadığı aralıklarda K_{PV} oranının güncellenmesi mümkün olabilir.

PV'lere ait K_{PV} katsayısının bilinmesiyle ilgili ışınım altında PV panelden alınabilecek maksimum güç değeri yeni algoritma tarafından öngörülebilen hale gelmiştir. Ayrıca maksimum güç ile ışınım arasında böyle bir oranın olması nedeniyle ışınım değişimleri esnasında meydana gelen ışınım ile orantısal güç değişimlerinin olağan kabul edilmesi sağlanabilir olmuştur. Bunu uygulayabilmek üzere algoritmanın P&O algoritmasında olduğu gibi temel sorgusu, dönüştürücüde yapılan en son çevrim içi süre değişimi($\Delta\lambda$) sonrası PV'den alınan gücün artıp artmadığı yerine, anlık ışınım bağı olarak PV'den alınan gücün artıp artmadığı şeklinde değiştirilmiştir. Böylelikle bir önceki bölümde anlatılan P&O algoritmasının ışınım değişimlerinde yaptığı MGN sapması bu algoritma için minimize edilmiştir.

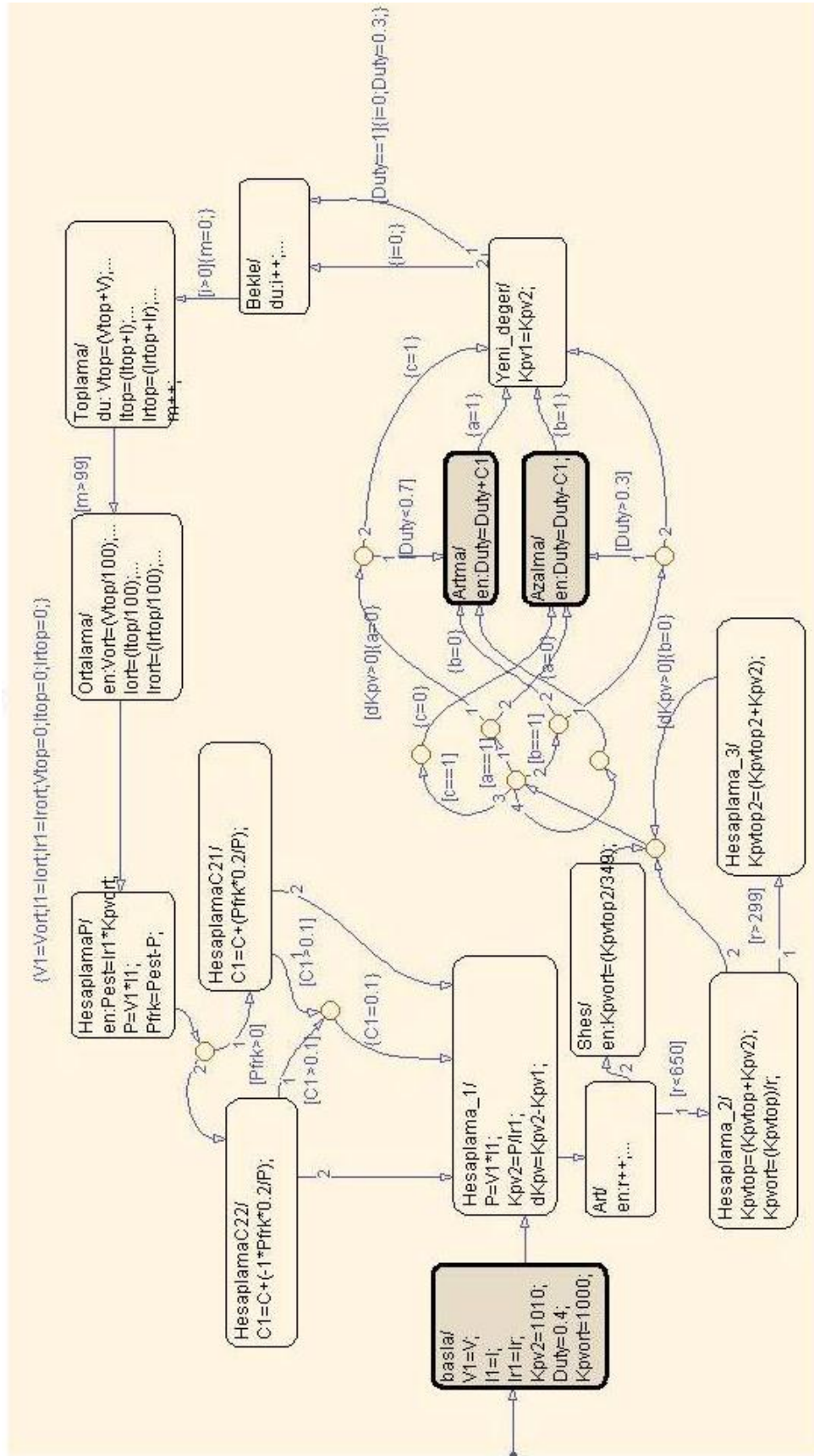
Yeni algoritmanın oluşturulmasındaki son aşama K_{PV} oranına bağlı olarak PV'den alınması beklenen güç ile alınan güç arasındaki farka bağlı olarak C katsayısının büyütülebilmesidir. C katsayısının büyütülmesi ile ilgili daha önce bazı çalışmalar yapılmış[23],[24],[25],[26] ve olumlu sonuçlar gözlenmiştir. Bunun için algoritmanın akış şemasına PV akım, PV gerilim ve ışınım anlık değerlerinin okunmasının ardından K_{PV} 'ye bağlı olarak hedef gücün ve hedef güç ile PV'den alınan güç arasındaki farka bağlı olarak C katsayısını büyüten bir hesaplama ve karar verme döngüsü eklenmiştir. Algoritma bu döngü sayesinde PV'den hedeflenen güç seviyesinde bir güç çekiliyorsa C katsayısını diğer algoritmalarda uygulandığı üzere % 1 şeklinde uygulamakta, eğer PV'den hedeflenen güç seviyesinde bir güç çekilemiyorsa alınamayan güç oranında C katsayısını büyütmektedir. Böylece PV'den alınan gücün hedeflenen güce erişme süresi kısaltılmaktadır.

Yukarıda sıralanan değişimlerle oluşturulan yeni algoritmanın akış şeması Şekil 4. 18 de verilmiştir.



Şekil 4. 18 Yeni algoritmanın akış şeması

Yeni algoritmanın MATLAB/Stateflow' da oluşturulmuş akış diyagramı ise Şekil 4. 19'da verilmiştir.



Şekil 4. 19 Yeni algoritmanın MATLAB/Stateflow akış şeması

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde, önceki bölümde anlatılan deney düzeneği kullanılarak algoritmaların hızlı ışınım değişimleri altında performansları deneysel olarak ölçülmüş ve algoritmaların karşılaştırmalı performans sonuçları verilmiştir.

Yapılan deneyler esnasında PV paneller ve MGTS'lerin tam olarak özdeş olmadığı görülmüş ve her bir performans karşılaştırması için ardı ardına iki deney yapılmıştır. Yapılan deneylerde iki gruba ayrılmış, ilk deneyde PV ve MGTS'nin birisine A algoritması diğerine B algoritması yüklendi ise diğer deneyde bunların yeri B'ye A şeklinde değiştirilmiştir. Böylece PV veya MGTS'den kaynaklanan performans farklılıklarının deney sonuçlarını etkileme oranı minimize edilmiştir. Her iki deney sonucu yapılan değerlendirmeler ise PV den alınan toplam enerji kazanım değerleri üzerinden yapılmıştır.

Bölüm sonunda yapılan tez çalışması yönünde yapılacak bilimsel çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

5.1 Deney Sonuçları

Hareketli platform üzerine yerleştirilmiş olan PV panellerden alınan güçlerin ölçümü yüksek hassasiyetli Fluke Norma 5000 güç analizörü ile yapılmıştır. Bu analizör, PV'den çekilen ani güçleri okuyup RS232 donanımıyla bilgisayara kaydedebilmektedir. Böylece PV'lerden alınan toplam enerjiler kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

Deney düzeneğinde hareket edebilen PV panellerden farklı algoritmaya sahip MGTS'ler aracılığıyla alınan enerjilerin oranının günün saatine bağlı olarak değişmekte olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, gün içerisinde algoritma performansı karşılaştırma deneyleri tekrarlanmış ve her bir deney için deney gün ve saati belirtilmiştir.

Literatürde var olan ve ön plana çıkan dört farklı maksimum güç takip algoritmasına ait farklı gün ve saatlerde yapılan 21 adet performans karşılaştırma deneylerine ait sonuçlar Çizelge 5. 1'de verilmiştir.

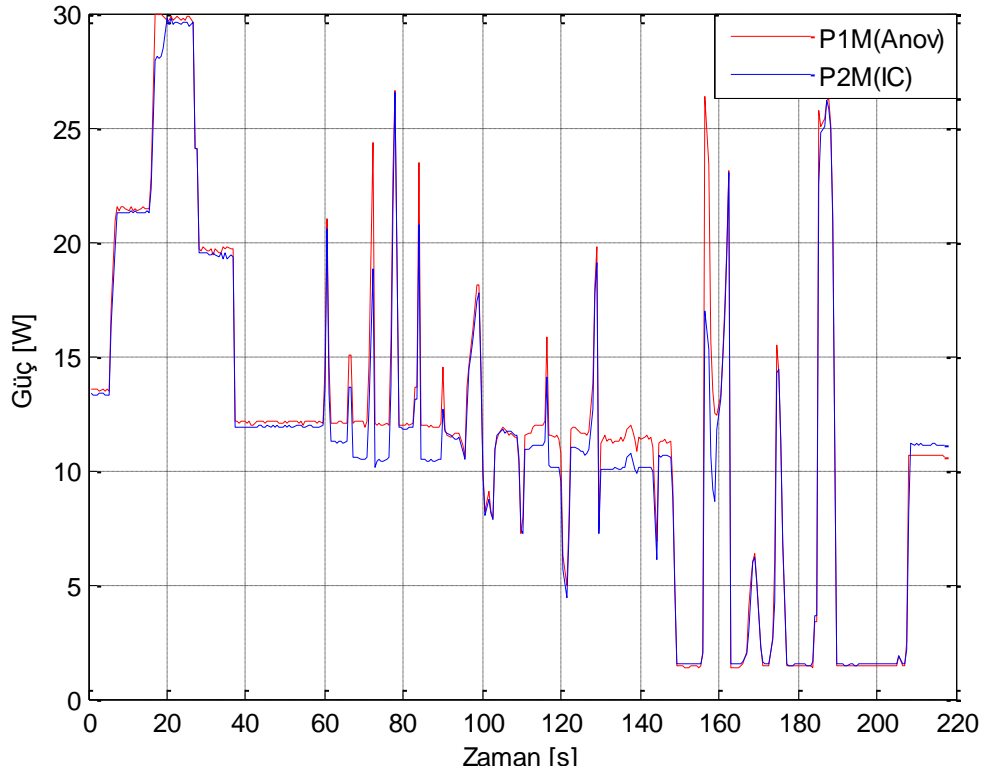
Çizelge 5. 1 Algoritmaların performans karşılaştırma deneyleri sonucu

Deney No.	Den. Tarihi	Den. Baş. Saati	Den. Bit. Saati	Karşılaştırma	$\Sigma E1(J)$	$\Sigma E2(J)$	% Fark	Sonuç
1	24.08.2012	18:38:35	18:50:10	SC-OC	1262,37	1325,01	-4,727	OC>SC
2	24.08.2012	16:25:47	16:39:20	PO-SC	6546,08	6325,30	3,491	PO>SC
3	24.08.2012	18:16:14	18:28:10	IC-SC	2039,81	1912,17	6,675	IC>SC
4	25.08.2012	16:49:36	17:01:52	SC-OC	6102,14	6520,85	-6,421	OC>SC
5	25.08.2012	16:29:31	17:26:49	PO-SC	5302,51	5107,72	3,814	PO>SC
6	25.08.2012	17:06:35	17:19:35	IC-SC	4066,27	3819,18	6,470	IC>SC
7	06.09.2012	17:48:42	18:00:57	SC-OC	2789,52	2893,46	-3,592	OC>SC
8	06.09.2012	18:23:59	18:35:54	PO-SC	835,38	779,74	7,135	PO>SC
9	06.09.2012	18:05:58	18:19:01	IC-SC	2036,02	1898,19	7,261	IC>SC
10	24.08.2012	17:09:04	17:27:34	PO-OC	4027,61	4011,75	0,395	PO>OC
11	25.08.2012	16:30:10	16:41:49	PO-OC	6702,74	6726,57	-0,354	PO<OC
12	23.09.2012	13:53:04	14:05:51	PO-OC	10527,10	10507,71	0,185	PO>OC
13	23.09.2012	14:54:31	15:06:20	PO-OC	8428,81	8456,87	-0,332	PO<OC
14	23.09.2012	17:07:53	17:19:39	PO-OC	3629,97	3632,16	-0,060	PO<OC
15	25.08.2012	16:09:12	16:22:45	IC-OC	7667,39	7623,64	0,574	IC>OC
16	24.08.2012	17:57:06	18:09:54	IC-OC	3285,20	3260,19	0,767	IC>OC
17	23.09.2012	14:33:11	14:44:25	IC-OC	8915,83	8912,36	0,039	IC>OC
18	24.08.2012	16:03:40	16:17:12	PO-IC	7900,16	7919,33	-0,242	IC>PO
19	25.08.2012	15:49:53	16:02:30	PO-IC	8390,23	8399,90	-0,115	IC>PO
20	23.09.2012	15:12:16	15:24:00	PO-IC	8100,17	8108,08	-0,098	IC>PO
21	23.09.2012	16:51:30	17:03:31	PO-IC	4259,81	4266,47	-0,156	IC>PO

Çizelge 5. 1'de verilen sonuçlara göre karşılaştırmaları yapılan dört farklı algoritma içerisinde hareketli bir sistem için en yüksek performansa sahip olan algoritma IC algoritması, en düşük performansa sahip olan algoritma ise SC algoritmasıdır. Performans açısından bu iki algoritma arasında kalan OC ve PO algoritmaları ise yaklaşık eşit performansa sahiptirler. Yapılan deneylerde OC algoritması çok az farkla PO algoritmasından başarılı bulunmuştur. Ancak, tekrarlanan deneylerde OC algoritması aynı başarıyı tekrarlamamıştır. Dolayısıyla bu iki algoritmanın hareketli bir

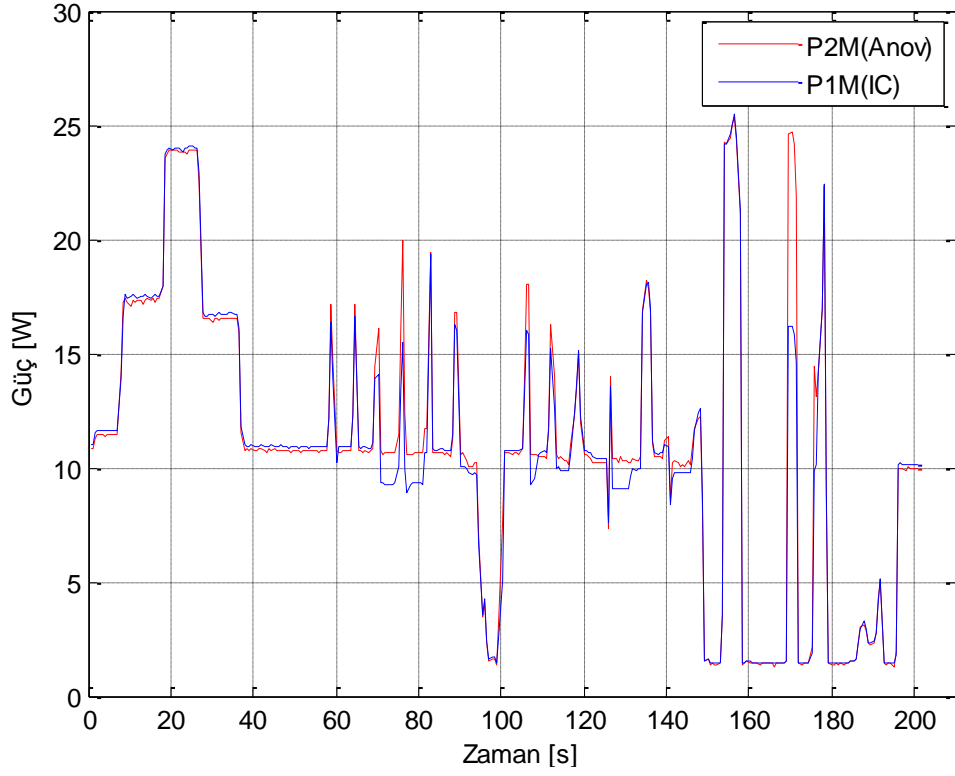
sistem için performansı eşit kabul edilmiştir. Ele alınan algoritmalar içinde performans açısından en başarılı algoritma IC algoritması olduğundan yapılan tez çalışmasında yeni bir algoritma ile IC algoritmasının performansının aşılması hedeflenmiştir.

Önerilen yeni algoritma ile IC algoritmasını karşılaştıran birçok deney yapılmıştır. Bu deneylerin sadece bir tanesine ait grafikler burada verilmiştir. Diğer deneylerin sonuçları tablolar halinde aşağıda verilecektir. Aşağıda sonuçları verilen örnek deney 25.08.2012 tarihinde saat 17:39 ile 17:52 arasında gerçekleştirilmiştir. Bu deneyin birinci kısmında yeni(Anovel) ve IC algoritmaları ile çalışan MGTS'lere ait ilgili hareket döngüsü süresince güç çıktısı grafiği Şekil 5. 1'de verilmiştir.



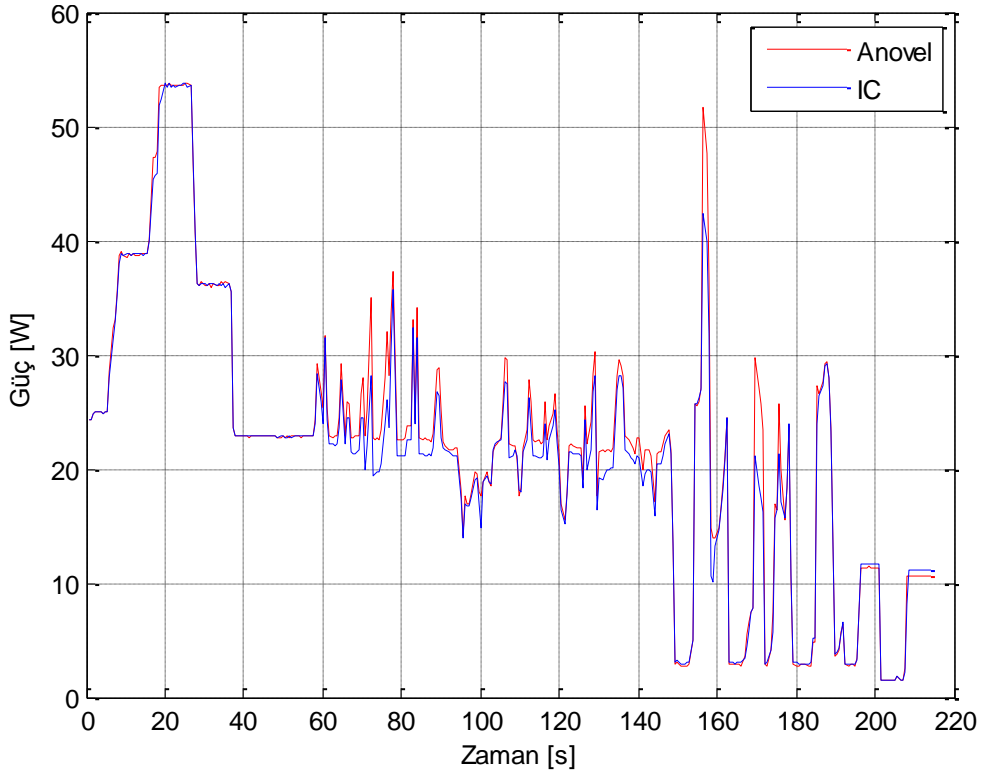
Şekil 5. 1 Deneyin 1. kısmında PV'lerden alınan güce ait grafik

PV panellerin ve MGTS'lerin değişimi sonrası deneyin ikinci kısmında yeni (Anovel) ve IC algoritmaları ile çalışan MGTS'lere ait ilgili hareket döngüsü süresince güç çıktısı grafiği Şekil 5. 2'de verilmiştir.



Şekil 5. 2 Deneyin 2. kısmında PV'lerden alınan güce ait grafik

Deneyin birinci kısmında ve ikinci kısmında alınan güç-zaman grafiklerinin birleşimden elde edilen toplam güce ait grafik Şekil 5. 3'te verilmiştir.



Şekil 5. 3 Deney süresince PV'lerden alınan toplam güce ait grafik

Her bir deney kısmı için enerji kazanımları ve yüzdesel karşılaştırmalar Tablo 5. 2’de verilmiştir.

Çizelge 5. 2 Karşılaştırma deneyi enerji kazanımı sonuçları

	1.Kısım		2.Kısım		Toplam
IC	Anovel	IC2	Anovel2	OCtop	AnovelTop
2466,248	2582,723	2145,609	2195,906	4611,858	4778,629
Yüzde		Yüzde		Yüzde	
4,722761		2,34417		3,616151	

Şekil 5. 1’de ve yine Şekil 5. 2’de verilen güç grafiğinde önerilen algoritmanın ışınlam değişiminin az olduğu ilk kısımda(0-60 s) IC algoritması ile aynı performansı sergilediği görülmektedir. Ancak ikinci kısım(60-220 s) ve sonrasında hızlı ışınlam değişimlerde önerilen algoritmanın daha başarılı olduğu görülmektedir. Bu durum toplam enerji kazanımlarını veren tablo 5. 2’den de gözlenebilir.

Çizelge 5. 2 de verilen sonuçlara göre deneyin birinci kısmında önerilen algoritmanın IC algoritmasına karşın % 4,72 daha başarılı olduğu, bununla birlikte ikinci kısmında % 2,34 başarılı olduğu görülmüştür. Her iki deney sonucu toplam enerji kazanımlarına bakılırsa önerilen algoritmanın IC algoritmasına karşın günün bu saatinde %3,61 daha başarılı olduğu görülmektedir.

Önerilen algoritma ile diğer dört algoritmanın karşılaştırmalı performans deneylerine ait sonuçlar Çizelge 5. 3’te verilmiştir.

Çizelge 5. 3 Yeni algoritma ile diğer algoritmaların performans karşılaştırma deney sonuçları

D. No.	Den. Tarihi	Den. Baş. Saati	Den. Bit. Saati	Karşılaştırma	$\Sigma E1(J)$	$\Sigma E2(J)$	% Fark	Sonuç
1	24.08.2012	15:22:23	15:33:55	Anovel-IC	10806,45	10727,79	0,728	AN>IC
2	24.08.2012	18:54:20	19:13:47	Anovel-IC	1091,704	1077,216	1,327	AN>IC
3	24.08.2012	16:48:37	17:01:05	Anovel-OC	6047,94	5960,977	1,438	AN>OC
4	24.08.2012	15:39:50	15:52:40	Anovel-PO	8118,841	8057,941	0,75	AN>PO
5	24.08.2012	14:47:59	15:01:39	Anovel-SC	11638,04	11322,28	2,713	AN>SC
6	25.08.2012	12:13:41	12:32:39	Anovel-IC	12711,07	12682,72	0,223	AN>IC
7	25.08.2012	12:39:23	12:51:55	Anovel-IC	12770	12690,59	0,622	AN>IC
8	25.08.2012	17:39:51	17:52:11	Anovel-IC	4778,629	4611,858	3,49	AN>IC
9	25.08.2012	13:01:07	13:12:52	Anovel-OC	14105,53	14035,95	0,493	AN>OC
10	25.08.2012	13:18:32	13:30:46	Anovel-PO	13414,22	13372,96	0,308	AN>PO
11	25.08.2012	17:56:46	18:09:52	Anovel-PO	4194,967	4014,127	4,311	AN>PO
12	25.08.2012	15:32:24	15:45:02	Anovel-SC	12162,81	11590,15	4,708	AN>SC
13	31.08.2012	17:58:20	18:10:39	Anovel-IC	4140,92	3862,694	6,719	AN>IC

Çizelge 5. 3'teki veriler incelendiğinde tüm karşılaştırma deneylerinde önerilen algoritmanın diğer algoritmalara göre performans açısından başarılı olduğu görülmektedir. Önerilen algoritmanın yapılan deneyler için performans artış değeri %0,2 ile % 6,72 arasında değişmektedir. Bu değer değişmesinde en büyük etken güneş eğim açısıdır. Çünkü tablodaki verilerden görüldüğü üzere öğlen saatlerinde yeni algoritmanın performans açısından etkinliği az olmakta, ancak akşamüstü saatlerinde performans açısından etkinliği artmaktadır.

Sonuçta hızlı hareket eden bir araç üzerinde yer alan fotovoltaik yapılar için kullanılacak maksimum güç takip edicisinin önerilen yeni algoritmaya sahip olması durumunda PV yapılardan bataryaya daha fazla enerji aktarılabilir.

5.2 Sonuç

Yapılan bu tez çalışması sonucu, gerçek ortam şartlarında hareketli bir sistemde maksimum güç takip algoritmalarından (PO, IC, OC, SC içerisinde) enerji kazanımı açısından en başarılısının IC algoritması olduğu görülmüştür. Tezde literatürdeki dört yöntem (PO, IC, OC, SC) ile önerilen algoritmanın (Anovel) performans karşılaştırması deneysel olarak yapılmıştır. 24.08.2012 ile 31.08.2012 tarihleri arasında yapılan deneylerde önerilen algoritmanın diğer yöntemlere göre performans açısından %0.233 ile %6.719 arasında üstün olduğu görülmüştür.

5.3 Öneriler

Yapılan bu tez çalışması sonucu PV yapılarda özellikle hızlı ışınım değişimleri için MGTS algoritmalarında geliştirmeler yapılarak PV sistemlerin enerji performanslarının artırılabilineceği ortaya konmuştur. Oluşturulacak bu veya benzer hareketli platformlar ve hareketli sistemlere daha uygun algoritmalar üzerinde yapılacak çalışmalarla elde edilen bu performans değerleri artabilir. Ayrıca hareketli araçların karşılaşılabileceği sıcaklık ve ışınım değişimleri daha net bir biçimde incelenebilirse algoritmalar buna yönelik yapılabilir.

Yapılan tez çalışmasında yeni algoritmanın performansını ortaya koymak üzere dört ayrı güç takip algoritması üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu durum yeni algoritma üzerinde yapılacak olan iyileştirme sürelerinin bu algoritmaların uygulamaya alınmasına harcanmıştır. Bunun yerine çalışma bütçeleri yüksek tutularak projede "PV IV Curve Tracker" kullanılarak yeni algoritmanın performansı ortaya konulabilir.

Son olarak, tez çalışmasında DC-DC dönüştürücülerin verimliliği ihmal edilmiştir. Ancak verimliliğin çok önem kazandığı bu tür PV uygulamaları için hem algoritma hem de dönüştürücü verimliliğini birlikte dikkate alan çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

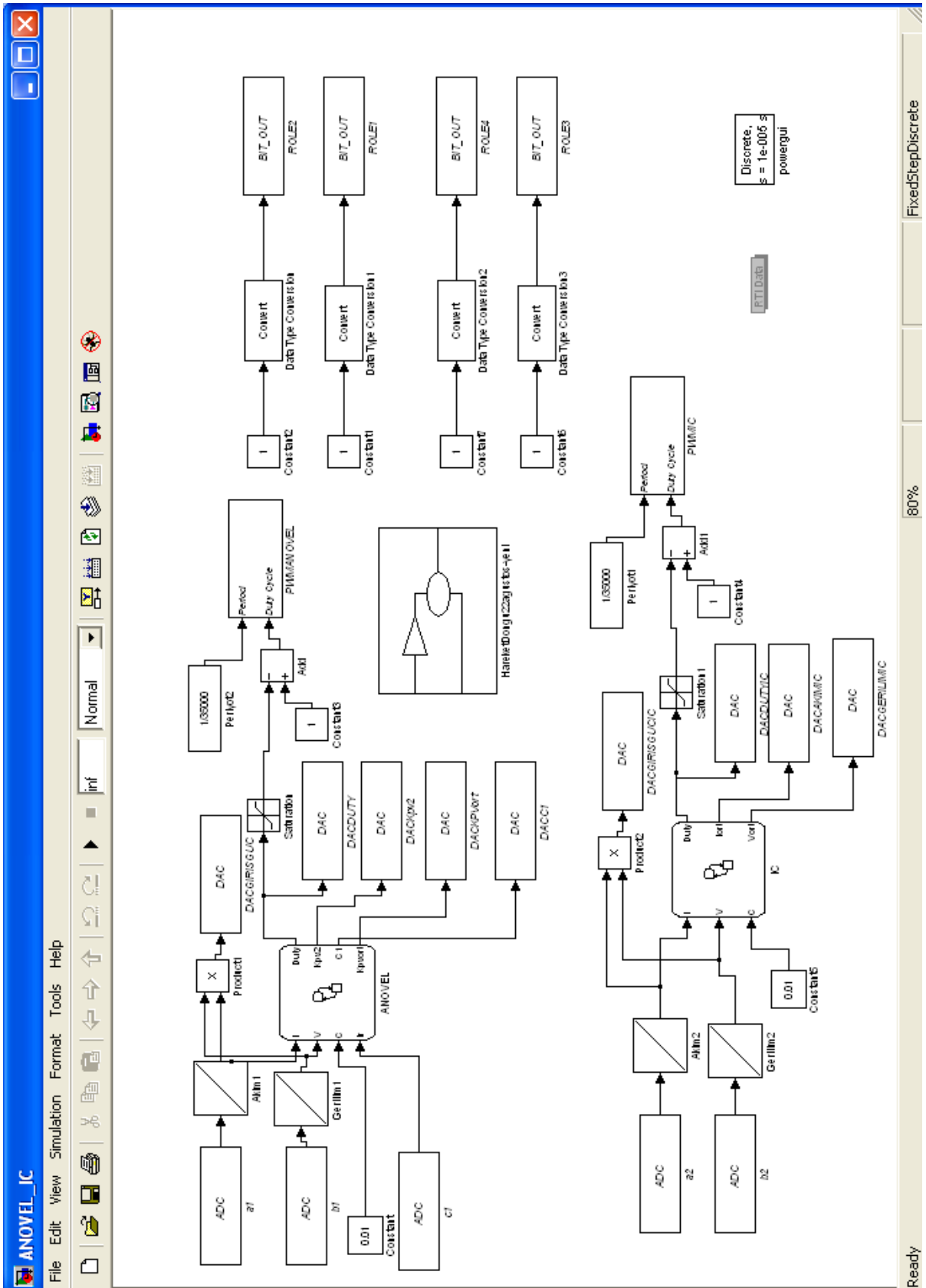
- [1] Takashima, T., Tanaka, T., Amano, M. ve Ando, Y., (2000). "Maximum output control of photovoltaic (PV) array", 35th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference and Exhibit (IECEC), Las Vegas, NV.
- [2] Salas V., Oli'as, E., Barrado, A., ve La' zaro, A., (2006). "Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems", Solar Energy Mater. Solar Cells, 90:1555-1578.
- [3] Hussein, K.H., Muta, I., Hoshino, T. ve Osakada M., (1995). "Maximum photovoltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions", IEEE Proc. Generation Transmission Distrib. 142 (1):59-64.
- [4] Hohm, D.P. ve Ropp, M.E.,(2000). "Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms Using an Experimental, Programmable, Maximum Power Point Tracking Test Bed" Photovoltaic Specialist Conference, Anchorage.
- [5] Berrera, M., Dolara, A., Faranda R. ve Leva, S., (2009). "Experimental Test of of Seven Widely-Adopted MPTT Algorithms", IEEE Bucharest Power Tech Conference, Bucharest.
- [6] Hua, C., ve Shen, C., (1998). "Comparative Study of Peak Power Tracking Techniques for Solar Storage System", 13th Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition, California.
- [7] Pandey, A., Dasgupta N., ve Mukerjee, A. K., (2008). "High-Performance Algorithms for Drift Avoidance and Fast Tracking in Solar MPPT System", IEEE Transactions on Energy Conversion, 23(2): 681-689.
- [8] Haseo, Y. ve Fujisawa, T., (2008). "Evaluation on Tracking Capability of MPPT for Running Solarcar" International Conference on Control, Automation and Systems, Seoul, Korea
- [9] Messenger, R. ve Ventre, J., (2005). Photovoltaic systems engineering, Second edition, CRC Press, Boca Raton.
- [10] Batchheller, P., (1993), Microprocessor controlled maximum power point tracker for photovoltaic system, Ms Thesis B.S., Devry Institute of Technology

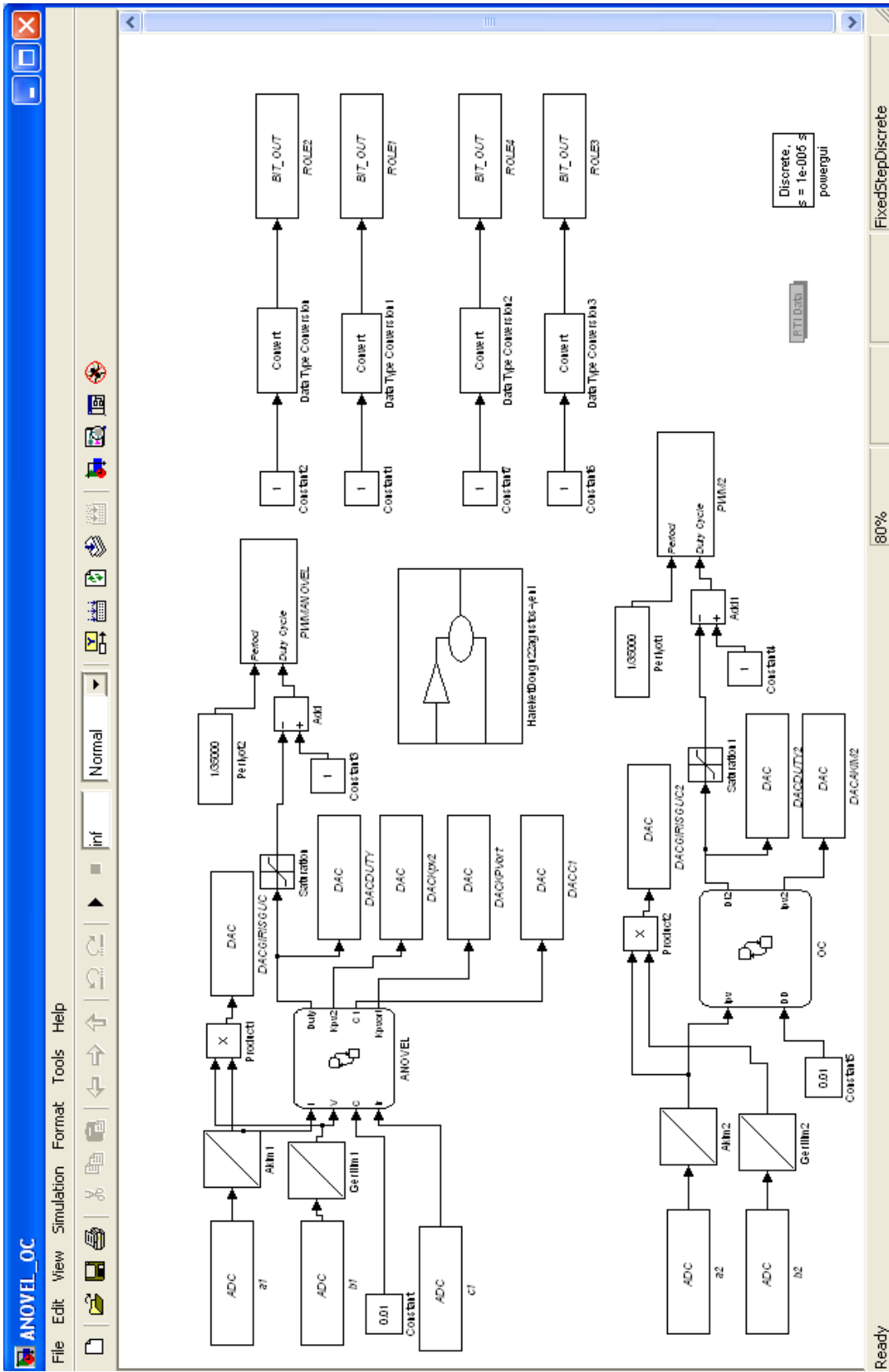
- [11] PV and Battery,
http://toolboxes.flexiblelearning.net.au/demosites/series13/13_02/content_sections/learn_about/08_solar_page_006.htm, 08 Eylül 2012
- [12] Nakir İ., (2007). Fotovoltaik Güneş Panellerinde GTS ve MGTS kullanarak verimliliğin artırılması, YL Tezi, YTÜ Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [13] Branbrilla, A., Gambarara, M., Garutti, A., Ronchi F., (1999). "New approach to photovoltaic arrays maximum power point tracking", 30th. IEEE Power Electronics Conference ,pp. 632–637.
- [14] Xiao W., Lind, M. G. J., Dunford, W. G. ve Capel, A., (2006). "Real-Time Identification of Optimal Operating Points in Photovoltaic Power Systems", IEEE transactions on industrial electronics, vol. 53(4):1017-1026
- [15] Wilamowski, B.M., Li, X.,(2002). "Fuzzy system based maximum power point tracking for PV system", In Proc 28th Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc.,
- [16] Altas, I. H., Sharaf, A.M.,(2008). "A novel maximum power fuzzy logic controller for photovoltaic solar energy systems",Renewable Energy 33(3),388–399.
- [17] Algazar, M.M., AL-Monier, H., EL-Halim, H. A., EL-Halim, El Kotb Salem, M. E., (2012)."Maximum power point tracking using fuzzy logic control", Electrical Power and Energy Systems 39,21-28.
- [18] Hiyama, T., Kitabayashi, K., (2000). "Neural network based estimation of maximum power generation from PV module using environment information" IEEE Trans Energy Convers , 12(3):241–247.
- [19] Hiyama, T., Kouzuma, S., Imakubo, T., Ortmeyer T.H., (1995). "Evaluation of neural network based real time maximum power tracking controller for PV system", IEEE Trans Energy Convers, 10(3):543–548.
- [20] Hiyama, T., Kouzuma, S., Imakubo, T., (2000). "Identification of optimal operating point of PV modules using neural network for real time maximum power tracking control", IEEE Trans Energy Convers, 12(2):360–367.
- [21] Torres, A.M., Antunes, F. L. M., (1998). An artificial neural network-based real time maximum power tracking controller for connecting a PV system to the grid. In Proc of IEEE annu conf in ind electron
- [22] Bahgat, A. B. G., Helwa, N. H., Ahmad, G. E., El Shenawy E.T., (2000). Maximum power point tracking controller for PV systems using neural networks. Renew Energy;30(8):1257–1268.
- [23] Xiao W., ve Dunford, W. G., (2004). "A modified adaptive hill climbing MPPT method for photovoltaic power systems" IEEE 35th Annu. Power Electron. Spec. Conf. Aachen, Germany.
- [24] Chiang, M.L., Hua, C.C., ve Lin, J. R., (2002). "Direct power control for distributed PV power system" Power convers conf., Osaka, Japan.

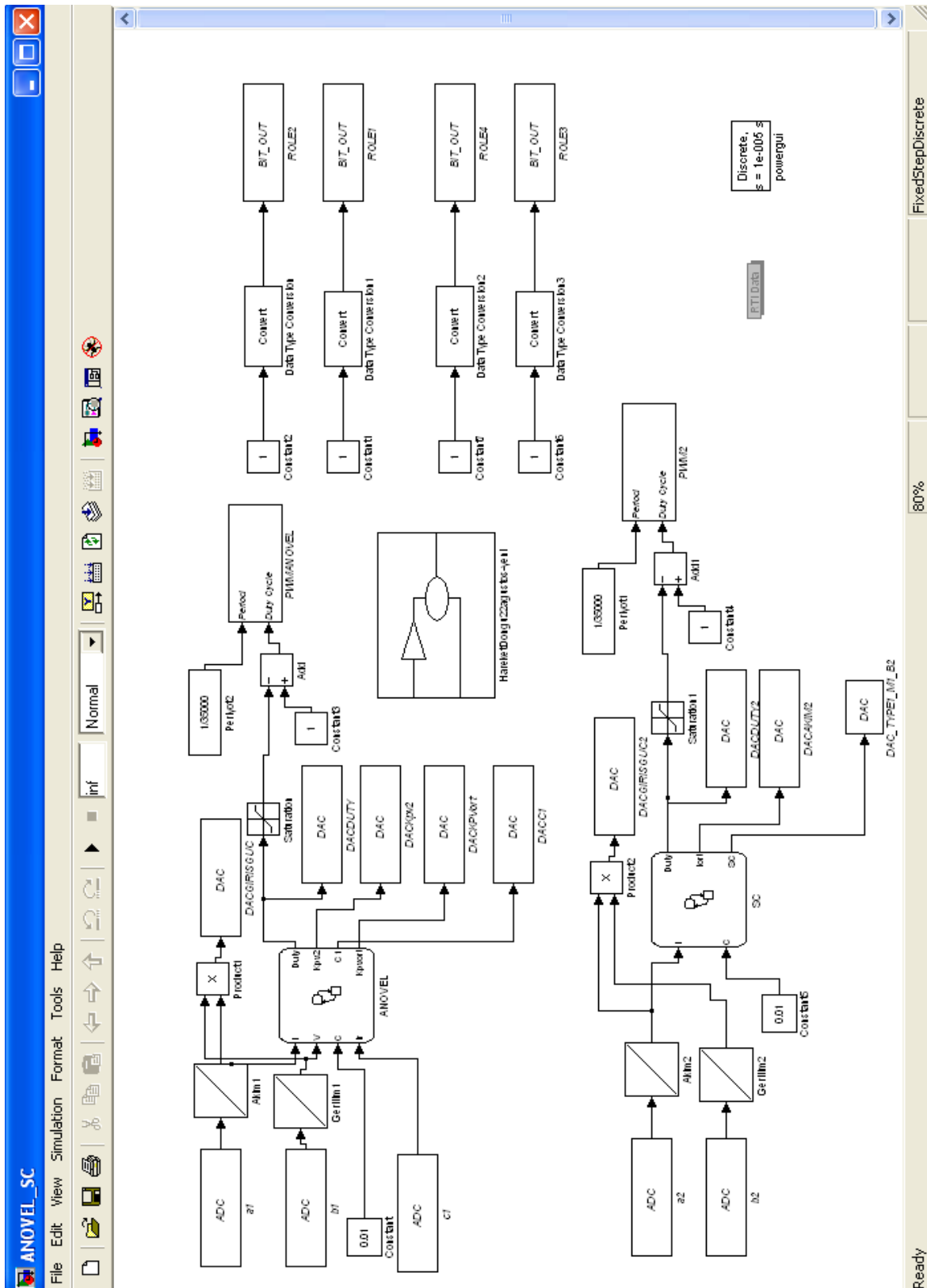
- [25] Wolfs, P.J. ve Tang, L., (2005). "A single cell maximum power point tracking converter without a current sensor for high performance vehicle solar arrays", IEEE 36 th. Power electron spec. conf.
- [26] Pandey, A., Dasgupta N., ve Mukerjee A. K., (2008). "High-performance algorithms for drift avoidance and fast tracking in solar MPPT system", IEEE Trans. Energy convers., 23(2):681-689.
- [27] Abdelsalam, A. K., Massoud A. M., Ahmed S. ve Enjeti, P.N., (2011). "High-performance adaptive perturb and observe MPPT technique for Photovoltaic-Based Microgrids", IEEE Trans. Power electronics., 26(4):1010-1020.
- [28] Hua, C., Lin, J., (2004). "A modified tracking algorithm for maximum power tracking of solar array", Energy Conversion and Management 45:911–925.
- [29] Liu, F., Duan, S., Liu , F., Liu, B. ve Kang, Y., (2008). "A Variable Step Size INC MPPT Method for PV Systems" IEEE Transactions on Industrial Electronics, 55(7): 2622 – 2628.

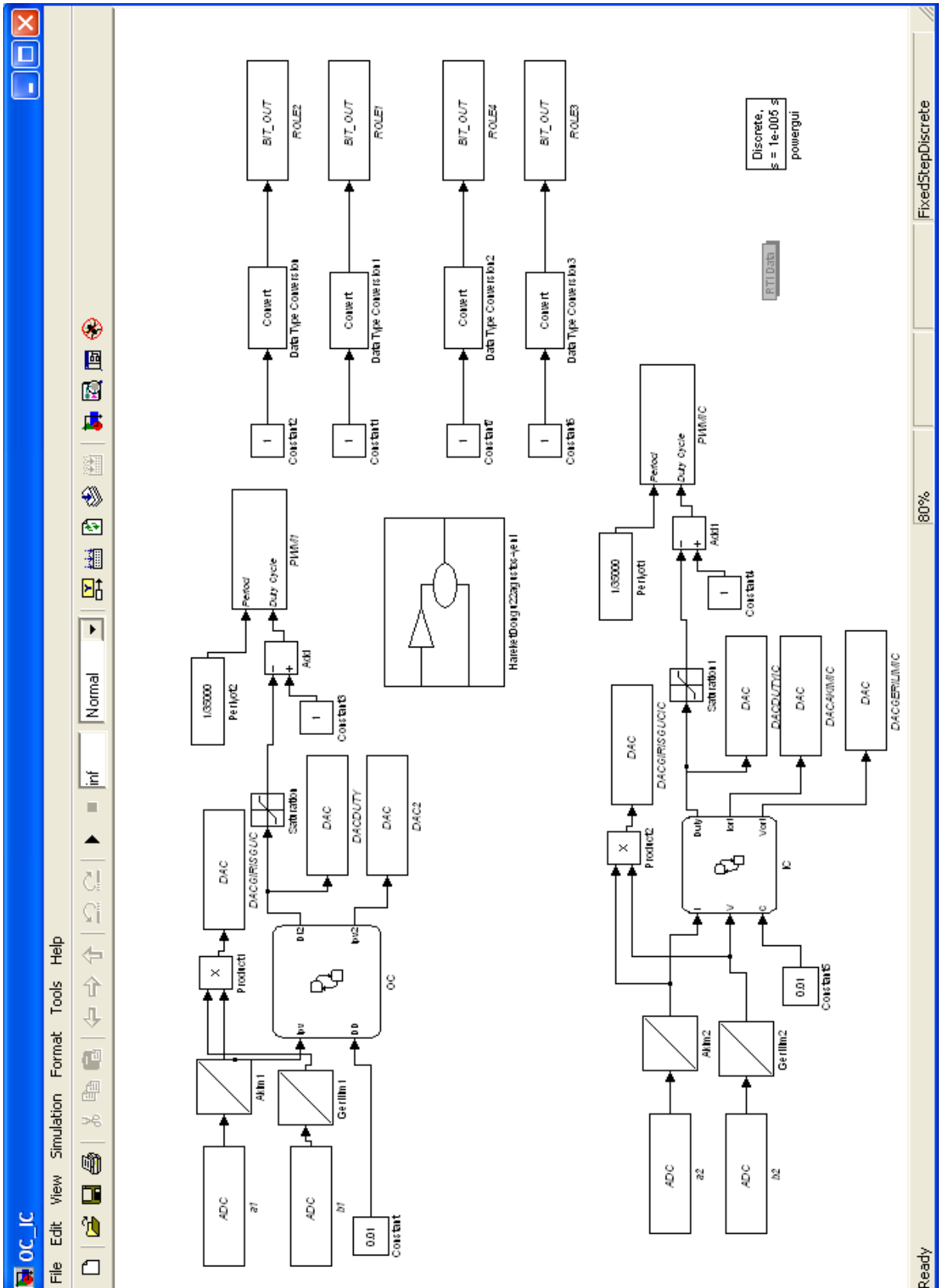
ALGORİTMA KARŞILAŞTIRMALARI İÇİN SİMÜLASYON DİYAGRAMLARI

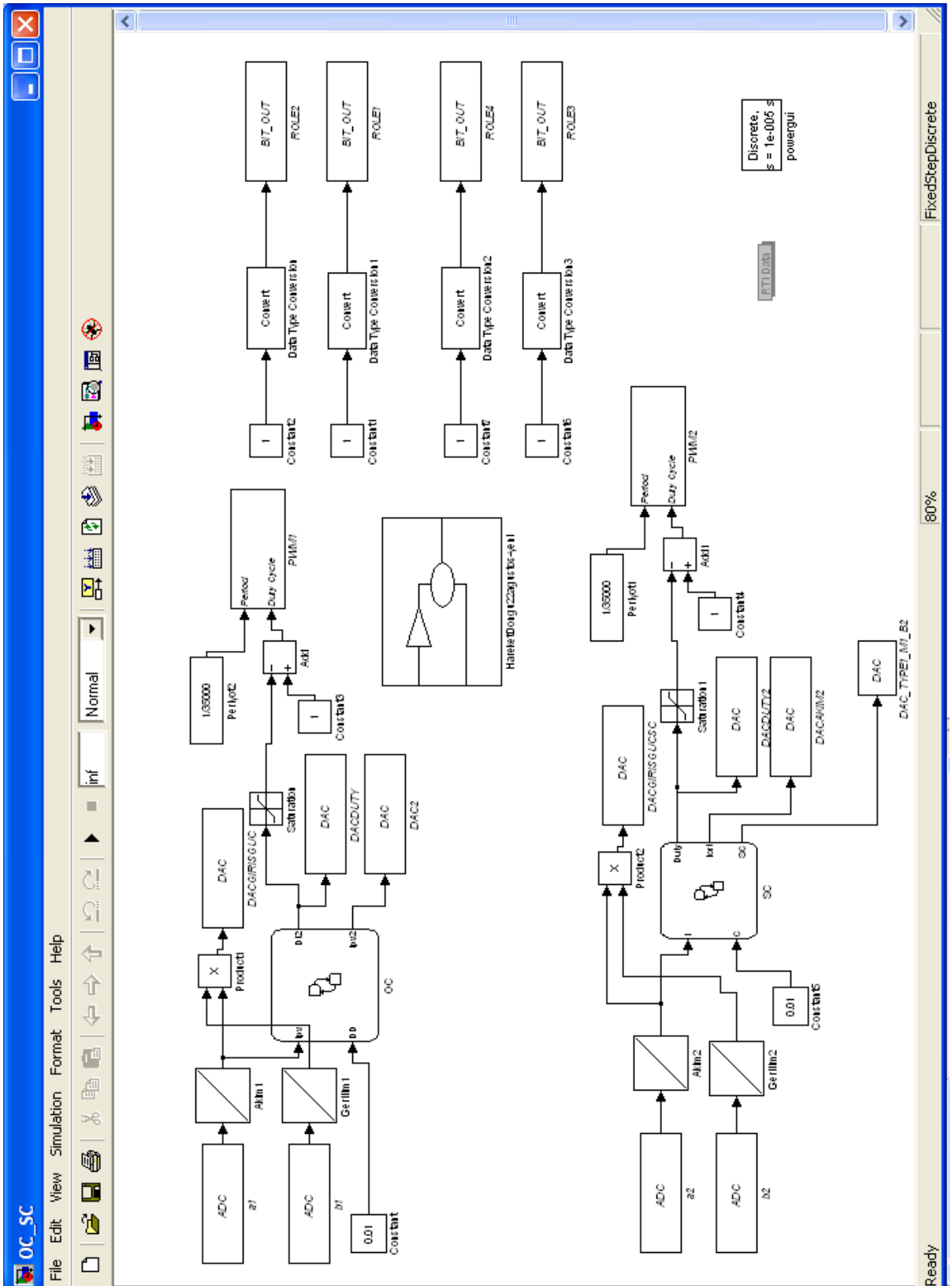
Maksimum güç takip algoritmalarını karşılaştırmak üzere MATLAB/Simulink'te hazırlanmış simülasyon diyagramaları bu ekte verilmiştir.

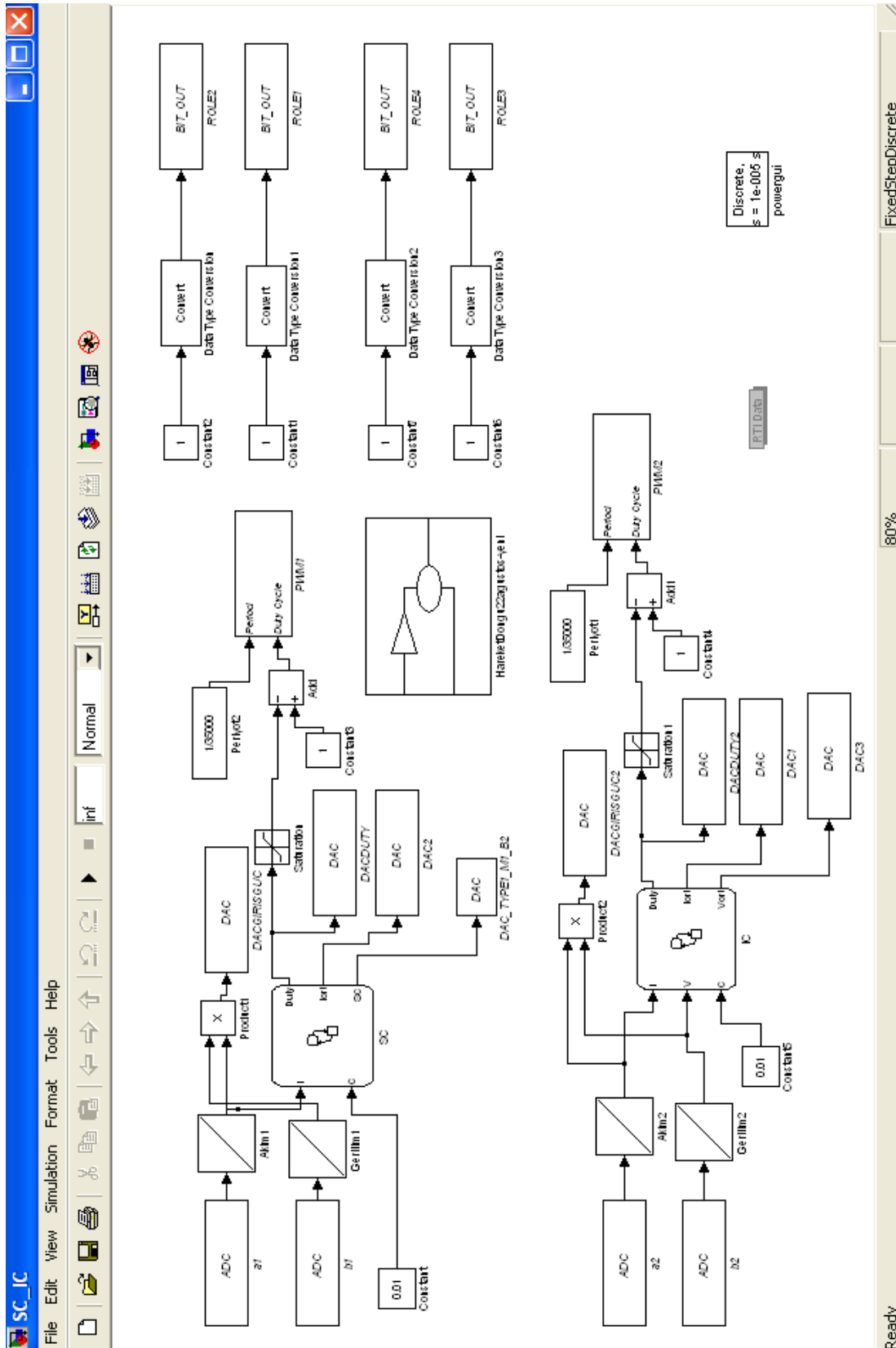


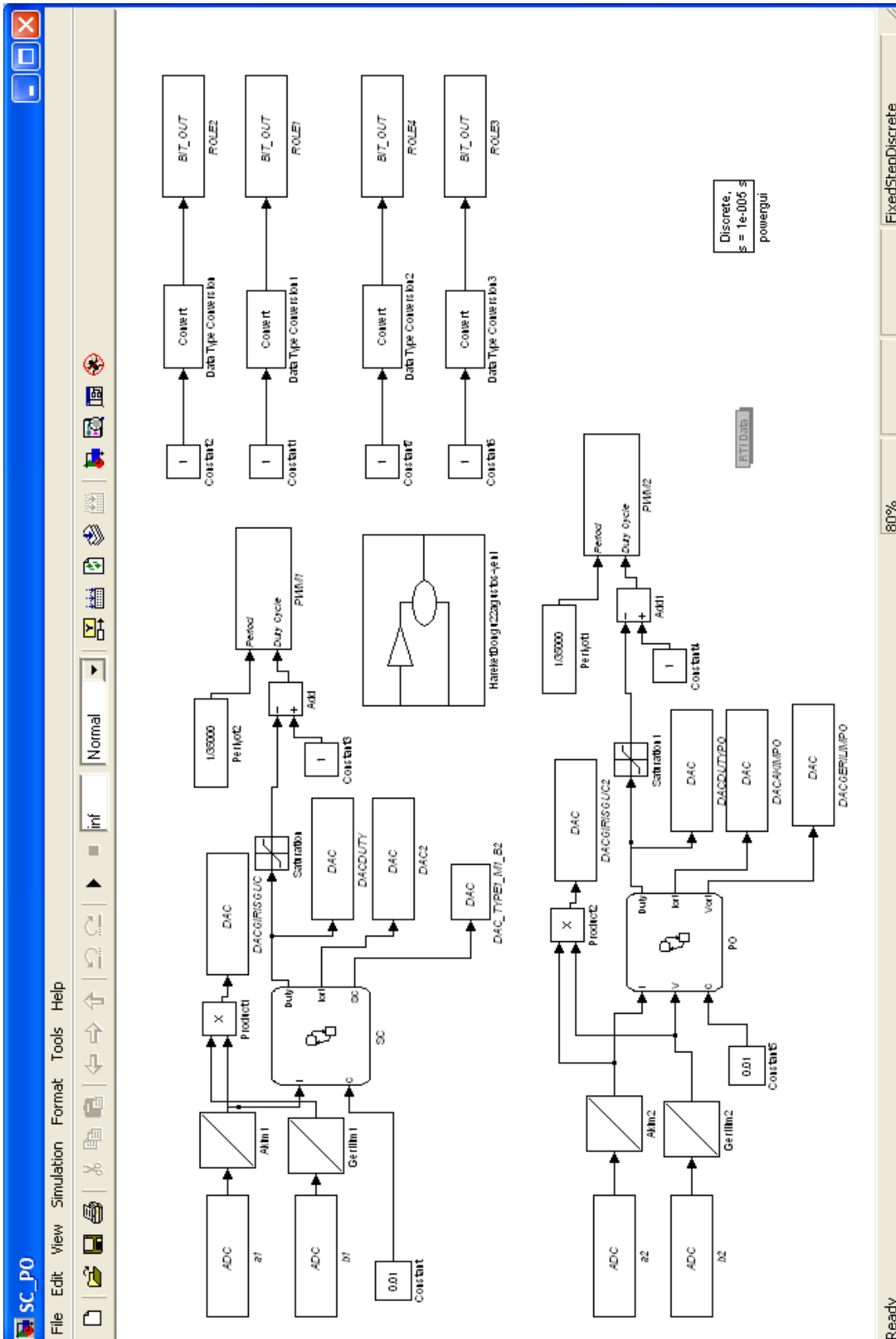












PV MAKSİMUM GÜÇ- IŞINIM İLİŞKİSİ DENEYLERİ

PV'lerden alınabilecek maksimum güç ile ışınım arasındaki ilişkiyi değerlendirmek üzere farklı gün ve saatlerde yapılan 22 deneye ait sonuçlar ekteki tabloda verilmiştir.

MGTS

Maksimum güç takip algoritmalarını karşılaştırmak üzere tasarlanmış olan ve yapısında yükseltici tip DC-DC dönüştürücü barındıran Maksimum Güç Takip Sisteminin ayrıntılı şematik çizimi bu ekte verilmiştir.

EK-D

PV PANELLER

Hareketli platformda yer alan özdeş PV panellere ait ayrıntılı çizim ve özellik tablosu bu ekte verilmiştir.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : İsmail NAKİR
Doğum Tarihi ve Yeri : 1980 / Malatya
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : inakir@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elektrik Tesisleri	Y.T.Ü Fen Bil. Enstitüsü	2007
Lisans	Elektrik Mühendisliği	Y.T.Ü Elek. Müh. Bölümü	2004
Ortaöğretim	Fen Bilimleri	Adana Fen Lisesi - Malatya Fatih Lisesi	1998

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2005-2012	Yıldız Teknik Üni. Elektrik Müh. Böl.	Araştırma Görevlisi
2005-2005	Işık Elektrik-Elektronik Ltd. Şti.	Ar-Ge Mühendisi
2005-2005	NA-DE Elektronik	Danışman

YAYINLARI

Makale

1. Vural B., Boynuegri A. R., **Nakir I.**, Erdinc O., Balıkci A., Uzunoglu M., Gorgun H., Dusmez S.,(2010). "Fuel-cell and ultra-capacitor hybridization: A prototype test bench based analysis of different energy management strategies for vehicular applicaions", Int. Journal of Hydrogen Energy35:11161-11171.
2. Ünal A., **Nakir İ.**, Yapar T., "Dali İle Aydınlatma Otomasyonu ve Enerji Tasarrufu" LightWorld Dergisi, 13. Sayı :74-77.
3. Ünal, A., **Nakir, İ.**, (2007).“RGB LED lerle Değişken Renkli Aydınlatma” LightWorld Dergisi, Ekim-Kasım 8. Sayı:22-23.

Bildiri

1. **Nakir I.**, Durusu A., Uğur E., Tanrıöven M.,(2012). "Performance Assessment of MPPT Algorithms for Vehicle Integrated Solar Systems", 2nd IEEE ENERGYCON Conference & Exhibition, Florence, Italy
2. Ayaz R., Durusu A., **Nakir I.**, Akca H., Tanrıöven M., (2011). "A Comparison of Metrobus System and Trolleybus System Considering Energy Costs and CO2 Emission: A Case Study for İstanbul" SET 2011, İstanbul.
3. Kekezoglu, B., Erduman, A., **Nakir, I.**, Tanrioven, M.,(2011)"Reliability Assessment of Wind Energy System Considering Turbine Dimensions" SET 2011, İstanbul.
4. Izgi, E., Inan, A., Arıkan O., Bozkurt A., **Nakir I.**, (2006)"The analysis of magnetic fields in nonlinear load conditions by using MATLAB/SIMULINK", EPE 2006 4 th. international conference on electrical and power engineering Iasi-ROMANIA.
5. **Nakir, İ.**, Tanrıöven, M., Uzunoglu, M.,(2008)." Fotovoltaik Sistemler için Elektrik Enerjisi Depolamada Batarya/ Ultra-kapasitör Hibrit Sisteminin Kullanılması", II. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskişehir, Haziran 2008.

Proje

- 1.** Fotovoltaik Güneş Panellerinin GTS, MGİS ve Ultra kondansatörler kullanarak şebeke ile paralel ve bağımsız çalışması durumlarında verimliliğinin artırılması- BAP, 2007-2009
- 2.** Yakıt Hücreli ve Ultra-Kapasiteli Hibrit Taşıtlar için Enerji Yönetim Sisteminin Tasarım ve Uygulaması – Tübitak 1001, 2007-2010
- 3.** Maksimum Fotovoltaik Güç İzleyicilerin Hareketli Sistemlerde ve Hızlı Değişen Yük Şartları Altında Performanslarının İncelenmesi ve Etkin Çalışma Algoritmalarının Oluşturulması - BAP 2010-Halen

Ödülleri

- 1.** 1. “Elektrikli Otomobiller için Özel Bir Maksimum Güç Takip Edicinin Geliştirilmesi” Adlı Proje Fikri ile 1. Otomotiv Proje Yarışması(2012) Profesyonel Kategoride Yenilenebilir Enerji ve Çevre Dalında 2. lik