

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FOTOVOLTAİK GÜÇ ÜRETİM SİSTEMLERİ İÇİN BULANIK MANTIK  
TABANLI MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP SİSTEMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elektrik-Elektronik Müh. Recep ÇAKMAK**

**MAYIS 2012  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FOTOVOLTAİK GÜÇ ÜRETİM SİSTEMLERİ İÇİN BULANIK MANTIK  
TABANLI MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP SİSTEMİ**

**Elektrik-Elektronik Mühendisi Recep ÇAKMAK**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
"ELEKTRİK YÜKSEK MÜHENDİSİ"  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14.05.2012  
Tezin Savunma Tarihi : 31.05.2012**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ**

**Trabzon 2012**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında**  
**Recep ÇAKMAK tarafından hazırlanan**

**FOTOVOLTAİK GÜÇ ÜRETİM SİSTEMLERİ İÇİN BULANIK MANTIK  
TABANLI MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP SİSTEMİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 15 / 05 / 2012 gün ve 1456 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ** .....

**Üye : Yrd. Doç. Dr. Fatih Mehmet NUROĞLU** .....

**Üye : Yrd. Doç Dr. Mustafa ULUTAŞ** .....

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Yenilenebilir enerji kaynaklarına ilginin her geçen gün arttığı günümüzde, güneş enerjisi potansiyeli olan ülkeler için güneş enerjisinden elektrik üretimi ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada, güneş enerjisinden elektrik üretiminde kullanılan fotovoltaik (FV) üretimin maksimum güç üretecek şekilde çalıştırılması amacıyla bir esnek hesaplama tekniği olan bulanık mantık tabanlı maksimum güç noktası takip (MGNT) sistemi önerilmiştir. Önerilen MGNT sistemi, hem şebekeden bağımsız hem de şebekeye bağlı FV sistemlerde benzetim ortamında çalıştırılmıştır. Bununla birlikte şebekeden bağımsız FV sistemdeki yedek bataryaların şarj ve deşarj konumunda çalışmalarının MGNT sisteminden elde edilen maksimum güç bilgisine göre yönetimi önerilmiştir.

Bu çalışmanın amacına ulaşması için yenilikçi fikirleri ve engin tecrübeleri ile desteklerini esirgemeyen danışman Hocam Sayın Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ'a teşekkürlerimi arz ederim. Yapmış olduğum çalışma ile ilgili araştırma faaliyetlerinde bulunmak üzere, Kanada'daki University of New Brunswick'e gitmeme olanak sağlayan Gümüşhane Üniversitesi'ne ve Yurt Dışı Yüksek Lisans Araştırma Bursu kapsamında maddi destek veren Yüksek Öğretim Kurulu'na teşekkür ederim. University of New Brunswick'te Sustainable Power Research Group başkanı Sayın Prof. Dr. Liuchen CHANG ve grup üyesi Sayın Dr. Riming SHAO'ya yol gösterici fikirleri ve desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim. Değerli fikirlerini paylaşarak bu çalışmaya katkı sağlayan University of New Brunswick öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Adel M. SHARAF'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca yurt içinde yürüttüğüm bu yüksek lisans çalışması için Yurt İçi Yüksek Lisans Araştırma Bursu ile destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'a teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca, bilgi hamurumu yoğururken katkısı olan ve emeği geçen tüm hocalarıma ayrı ayrı teşekkür ederim. Hayatım boyunca destekleri ile yürüdüğüm, varlıkları ile bana güç veren ve hep yanımda olan anneme, babama ve kardeşlerime en kalbi şükranlarımı sunarım.

Ülkemize ve bilime katkı sağlaması temennilerimle bu tez çalışmasını çok kıymetli anneme ve babama ithaf ediyorum.

Recep ÇAKMAK  
Trabzon 2012

## TEZ BEYANNAMESİ

*Yüksek Lisans Tezi* olarak sunduğum “*FOTOVOLTAİK GÜÇ ÜRETİM SİSTEMLERİ İÇİN BULANIK MANTIK TABANLI MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP SİSTEMİ*” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, deneyleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 14/05/2012

Recep ÇAKMAK

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No:

ÖNSÖZ .....	III
TEZ BEYANNAMESİ .....	IV
İÇİNDEKİLER .....	V
ÖZET .....	VIII
SUMMARY .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
TABLolar DİZİNİ .....	XVI
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XVII
KISALTMALAR DİZİNİ .....	XIX
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Literatür Araştırması .....	4
1.3. Dünyada ve Türkiye’de Enerji .....	9
1.4. Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olan Güneş’ten Elektrik Üretimi .....	13
1.4.1. Yenilenebilir Enerji Kavramı ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları .....	13
1.4.1.1. Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji .....	14
1.4.2. Güneş Enerjisi .....	17
1.4.2.1. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi .....	17
1.4.2.2. Dünyada ve Türkiye’de FV Sistemler ile Elektrik Üretimi .....	18
1.5. Fotovoltaik Piller (Güneş Pilleri) .....	20
1.5.1. Fotovoltaik Pillerden FV Panel ve FV Dizilerin Elde Edilmesi .....	25
1.5.2. FV Pillerin Elektriksel Eşdeğer Devresi .....	30
1.5.3. FV Üreteç Gücünün Sıcaklık ve Işınmaya Bağlı Değişmesi .....	33
1.6. FV Sistemler .....	36
1.6.1. Şebekeden Bağımsız FV Sistemler .....	36
1.6.2. Şebekeye Bağlı FV Sistemler .....	37
1.6.3. Karma (Hibrit) Sistemler .....	38
1.7. Bataryalar .....	38

1.8.	DA/DA Dönüştürücüler .....	39
1.8.1.	Yükseltici DA/DA Dönüştürücüler.....	39
1.8.2.	Düşürücü DA/DA Dönüştürücüler.....	40
1.9.	DA/AA Eviriciler .....	41
1.10.	Darbe Genişlik Modülasyonu .....	42
1.11.	Maksimum Güç Noktası Takip (MGNT) Sistemleri .....	43
1.11.1.	Maksimum Güç Noktası Araştırma Yöntemleri .....	44
1.11.1.1.	Geleneksel-Değiştir Gözle Algoritması .....	45
1.12.	Bir Esnek Hesaplama Tekniği: Bulanık Mantık .....	48
1.12.1.	Bulanık Kümeler .....	49
1.12.2.	Bulanık Mantık Denetleyiciler.....	51
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	55
2.1.	Bulanık Mantık Denetleyici Tabanlı MGNT .....	55
2.1.1.	MGN Tespitinde Kullanılan BMD Sisteminin Tasarımı .....	56
2.1.1.1.	Ayrık Zamanlı İntegral Yöntemleri .....	60
2.1.2.	Maksimum Güç Noktası Tabanlı Güç Akış Yönetimi.....	62
2.2.	Sistemin MATLAB/Simulink Modelleri .....	63
2.2.1.	FV Panel ve FV Dizi MATLAB/Simulink Modeli.....	63
2.2.2.	Bulanık Mantık Denetleyici MATLAB/Simulink Modeli.....	63
2.3.	Önerilen Esnek Hesaplama Tabanlı MGNT ve Geleneksel Değiştir-Gözle Algoritmalarının Karşılaştırılması.....	66
2.4.	Önerilen MGNT Sisteminin Şebekeye Bağlı FV Sistemde Performansı.....	69
2.5.	Yükteki Değişimler ve Işınım Değişmesi Durumunda Önerilen MGN Tabanlı Güç Akış Yönetiminin Tepkisi.....	70
3.	BULGULAR.....	73
3.1.	Şebekeden Bağımsız Çalışan FV Sistemde Elde Edilen Bulgular.....	73
3.1.1.	Sabit Işınım Sabit Sıcaklıkta D&G Algoritması ile MGNT Bulguları .....	73
3.1.1.1.	Arama Adımının 3.8 V Seçilmesi Durumunda Elde Edilen Bulgular .....	73
3.1.1.2.	Arama Adımının 2.5 V Seçilmesi Durumunda Elde Edilen Bulgular .....	75
3.1.1.3.	Arama Adımının 4.6 V Seçilmesi Durumunda Elde Edilen Bulgular .....	77
3.1.2.	Sabit Işınım ve Sabit Sıcaklıkta BMD Tabanlı MGNT Bulguları .....	79
3.1.3.	Sabit Sıcaklık, Değişken Işınımlar Altında D&G Algoritması İçin Bulgular.....	83
3.1.4.	Sabit Sıcaklık, Ani Değişen Işınımlarda BMD Tabanlı MGNT Bulguları... ..	86
3.1.4.1.	Işınımın İki Kademeli Olarak Ani Artışı Durumu .....	86

3.1.4.2.	Işınımın İki Kademeli Olarak Ani Azalışı Durumu.....	91
3.1.4.3.	Işınımın Ani Artış-Azalış Durumu.....	95
3.1.5.	İkizkenar Yamuk Fonksiyonu Olarak Değişen Işınım Durumunda Önerilen Sistem Bulguları.....	98
3.1.6.	Bozucu Etkili Sinüs Fonksiyonu Olarak Değişen Işınım Durumunda Önerilen Sistem Bulguları.....	102
3.1.7.	BMD Çıkışında Kullanılan İntegral Yönteminin Etkileri.....	104
3.1.8.	Değişken Işınım ve Sıcaklıklarda BMD Tabanlı MGNT Bulguları .....	106
3.2.	Önerilen Sistemin Şebekeye Bağlı Durumdaki Performansı .....	108
3.2.1.	Sabit Sıcaklık ve Işınımda Sistem Performansı .....	109
3.2.2.	Işınımdaki Artış Durumunda Sistem Performansı .....	113
3.3.	MGNT Tabanlı Güç Akış Yönetimi Bulguları .....	119
3.3.1.	Yükteki Değişmeler Durumunda Sistem Tepkisi .....	120
3.3.2.	Işınımın Değişmesi Durumunda Sistem Tepkisi.....	125
4.	İRDELEME .....	129
5.	SONUÇLAR .....	131
6.	ÖNERİLER.....	132
7.	KAYNAKLAR .....	133

## ÖZGEÇMİŞ



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

FOTOVOLTAİK GÜÇ ÜRETİM SİSTEMLERİ İÇİN BULANIK MANTIK TABANLI  
MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP SİSTEMİ

Recep ÇAKMAK

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ  
2012, 142 Sayfa

Artan enerji talebi ve fosil yakıtların zararlı etkileri nedeniyle alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesi yönünde bir eğilim vardır. Yenilenebilir enerji kaynağı olan Güneş enerjisinden elektrik üretimi yöntemlerinden biri de Güneş ışınımını doğrudan elektriğe çeviren fotovoltaik (FV) üreteçlerdir. FV üreteçlerin ürettikleri güç atmosfer koşullarına bağlıdır ve FV üreteçlerin akım-gerilim karakteristikleri doğrusal olmadığından belirli atmosfer koşullarında elde edilebilecek tek bir maksimum güç vardır. Bu nedenle maksimum gücün takibi ve bu güçte çalıştırılmasını sağlayan maksimum güç noktası takip (MGNT) birimi sistemin önemli bir parçasıdır.

Bu tezde, bulanık mantık denetleyici (BMD) tabanlı bir MGNT sistemi önerilmiş, modellenmiş, benzetimi yapılmış ve geleneksel değiştir&gözle (D&G) algoritması ile karşılaştırılmıştır. Önerilen sistemin kullanılması, daha hızlı ve daha esnek bir maksimum güç noktası takibi sağlamıştır. Ayrıca önerilen sistem, sürekli durumda daha kararlı bir güç elde edilmesini mümkün kılmıştır. FV dizisi, önerilen MGNT sistemi ile birlikte hem şebekeden bağımsız hem de şebekeye bağlı olarak çalıştırılmıştır. Bunun yanında yedek batarya ünitesi içeren FV sisteminin şebekeden bağımsız uygulamalarda verimli kullanımı için BMD tabanlı MGNT sistemine dayalı güç akış yönetimi önerilmiştir. Bataryanın güç akış yönünün önerilen MGNT sistemine göre belirlenmesiyle sistem etkin bir şekilde çalıştırılmıştır. Yapılan çalışmalar MATLAB/Simulink Simpower benzetim ortamında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular önerilen sistemin avantajlarını vurgulamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş enerjisi, Fotovoltaik sistemler, Maksimum güç noktası takibi, Bulanık mantık denetleyici, Güç akış yönetimi.

Master Thesis

SUMMARY

FUZZY LOGIC BASED MAXIMUM POWER POINT TRACKING SYSTEM FOR  
PHOTOVOLTAIC POWER GENERATION SYSTEMS

Recep ÇAKMAK

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Electrical-Electronics Graduate Program Program

Supervisor: Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ  
2012, 142 Pages

Due to increased energy demand and harmful effects of fossil fuels there is a tendency towards developing alternative energy sources. One of the methods is Photovoltaic (PV) generators which convert Sun radiation to electricity directly from the Sun as a renewable energy source. The power produced by the PV generator depends on atmospheric conditions and there is a unique maximum power at specific atmospheric conditions due to current versus voltage characteristics of PV generators which are nonlinear. Therefore, the Maximum Power Point Tracking (MPPT) unit is a key parameter of the system in that it provides the tracking of maximum power and operation.

In this thesis, a Fuzzy Logic Controller (FLC)-based MPPT system is suggested, modeled, simulated, and compared with the traditional Perturb and Observation (P&O) method. Using the proposed system provides faster and softer maximum power point tracking. Furthermore, the system allows more stable power at a steady state case. The PV array was employed with the proposed system in both grid-connected and standalone cases. Additionally, it is proposed that power flow management founded on FLC-based MPPT effectively employs the PV system including the backup battery unit in standalone applications. The system operated effectively via the switching of the backup battery power direction as with the proposed MPPT system. All of the studies were digitally executed on the MATLAB/Simulink Simpower simulation platform. The results highlighted the advantages of the proposed system.

**Key Words:** Solar energy, Photovoltaic systems, Maximum power point tracking, Fuzzy logic controller, Power flow management.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No:

Şekil 1.1.	Dünyadaki enerji tüketimi miktarları ve öngörülere [68].	10
Şekil 1.2.	Yıllara göre dünyadaki elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı ve öngörülere [68].	11
Şekil 1.3.	1990-2010 yılları arasında Türkiye’de üretilen elektrik enerjisi miktarları [75].	12
Şekil 1.4.	Güneş enerjisinden elektrik üretiminin 2008 yılı verileri ve yıllara göre değişimi öngörüsü [68].	14
Şekil 1.5.	Rüzgâr enerjisinden elektrik üretiminin 2008 yılı verileri ve yıllara göre değişimi öngörüsü [68].	15
Şekil 1.6.	Jeotermal enerjisinden elektrik üretiminin 2008 yılı verileri ve yıllara göre değişimi öngörüsü [68].	15
Şekil 1.7.	Hidroelektrik üretim tesislerinden elektrik üretiminin 2008 yılı verileri ve yıllara göre değişimi öngörüsü [68].	16
Şekil 1.8.	2006-2010 yılları arası için Trabzon’da m <sup>2</sup> ye düşen ortalama enerji miktarları	19
Şekil 1.9.	n tipi ve p-tipi silisyum yarıiletkenlerinde birleşim bölgesi	21
Şekil 1.10.	Güneş pilinde fotovoltaiik etki ile elektrik akımı oluşması[1,67 ve 98]	22
Şekil 1.11.	Farklı üretim teknolojileri ile üretilen fotovoltaiik modüllerin fiyat ve verimlilikleri [87].	24
Şekil 1.12.	Tipik bir FV pilin akım-gerilim ve güç gerilim eğrileri	26
Şekil 1.13.	Fotovoltaiik pillerden panel ve dizi oluşturulması [1, 98-99].	27
Şekil 1.14.	Seri bağlı FV pil sayısına göre akım-gerilim eğrisinin değişimi	28
Şekil 1.15.	Paralel bağlı FV pil sayısına göre akım-gerilim eğrisinin değişimi	29
Şekil 1.16.	Seri-paralel bağlı FV pil sayısına göre akım-gerilim eğrisinin değişimi	30
Şekil 1.17.	İdeal FV pil eşdeğer devre modeli	31
Şekil 1.18.	FV pilin basit eşdeğer devre modeli	31
Şekil 1.19.	FV pil standart modeli	32
Şekil 1.20.	Sabit sıcaklık altındaki FV dizisinin değişik ışınımlardaki güç-gerilim eğrileri	33
Şekil 1.21.	Sabit sıcaklık altındaki FV dizisinin değişik ışınımlardaki akım-gerilim eğrileri	34

Şekil 1.22.	Sabit ışınlım altındaki FV dizisinin değişik sıcaklıklardaki güç-gerilim eğrileri.....	35
Şekil 1.23.	Sabit ışınlım altındaki FV dizisinin değişik sıcaklıklardaki akım-gerilim eğrileri.....	35
Şekil 1.24.	Şebekeden bağımsız FV sisteminin genel yapısı .....	36
Şekil 1.25.	Şebekeye bağlı FV sisteminin genel yapısı.....	37
Şekil 1.26.	Şebekeye bağlı karma (hibrit) FV sisteminin genel yapısı.....	38
Şekil 1.27.	Yükseltici DA/DA dönüştürücünün genel yapısı.....	40
Şekil 1.28.	Düşürücü DA/DA dönüştürücünün genel yapısı.....	41
Şekil 1.29.	Şebekeye bağlantılı bir eviricinin genel yapısı [106].....	41
Şekil 1.30.	Darbe genlik modülasyonu ile anahtarlama sürelerinin ayarlanması.....	42
Şekil 1.31.	Doğrudan MGN araştırma tabanlı MGNT sisteminin genel yapısı .....	44
Şekil 1.32.	Bir FV üreticinin güç-gerilim eğrisi .....	45
Şekil 1.33.	Değiştir-gözle algoritması akış diyagramı [2].....	47
Şekil 1.34.	Değiştir-gözle algoritması akış diyagramı [5].....	48
Şekil 1.35.	Üçgen üyelik fonksiyonu.....	50
Şekil 1.36.	BMD'nin temel yapısı [115, 117].....	51
Şekil 1.37.	Bulanıklaştırma işlemi.....	52
Şekil 1.38.	Kural işleme ünitesinde kuralların işlenmesi .....	53
Şekil 1.39.	Durulaştırma işlemi .....	54
Şekil 2.1.	Önerilen BMD tabanlı MGNT sisteminin genel yapısı.....	56
Şekil 2.2.	FV üreticinin güç-akım eğrisi ve çalışma bölgeleri.....	57
Şekil 2.3.	MGNT için tasarlanan BMD denetleyicinin giriş ve çıkış parametreleri.....	58
Şekil 2.4.	BMD çıkışının integral işlemine tabi tutulması .....	59
Şekil 2.5.	BMD çıkışı kullanılarak $V_{ref}$ 'in belirlenmesi .....	59
Şekil 2.6.	BMD parametrelerinin belirlenen kurallara göre üç boyutlu gösterimi ...	60
Şekil 2.7.	FV üreticinin MGN'dan sapmaması için önerilen batarya şarj-deşarj yönetimi .....	62
Şekil 2.8.	FV dizi MATLAB/Simulink modeli .....	63
Şekil 2.9.	BMD genel benzetim modeli .....	64
Şekil 2.10.	Bulanıklaştırma biriminin Simulink modeli.....	65
Şekil 2.11.	Kural işleme ünitesi Simulink modeli.....	65
Şekil 2.12.	Durulaştırma işleminin Simulink modeli .....	66

Şekil 2.13.	Batarya yükü kullanılan şebekeden bağımsız FV sistemin benzetim modeli .....	67
Şekil 2.14.	Benzetimde kullanılan bataryanın şarj-deşarj eğrisi .....	68
Şekil 2.15.	Şebekeye bağlı FV sistemin benzetim modeli .....	69
Şekil 2.16.	FV üreteç ve bataryadan oluşan şebekeden bağımsız FV sistem.....	72
Şekil 3.1.	250 W/m <sup>2</sup> ışınım ve 25 °C sıcaklıkta 3.8 V'luk araştırma adımı için V <sub>ref</sub> , V <sub>FV</sub> ve I <sub>FV</sub> değişimi.....	74
Şekil 3.2.	250 W/m <sup>2</sup> ışınım ve 25 °C sıcaklıkta 3.8 V'luk araştırma adımı için FV dizi gücünün değişimi .....	74
Şekil 3.3.	250 W/m <sup>2</sup> ışınım ve 25°C sıcaklıkta 3.8 V'luk araştırma adımı için e <sub>PI</sub> ve DA/DA dönüştürücünün görev periyodundaki değişim.....	75
Şekil 3.4.	250 W/m <sup>2</sup> ışınım ve 25 °C sıcaklıkta 2.5 V'luk araştırma adımı için V <sub>ref</sub> , V <sub>FV</sub> ve I <sub>FV</sub> değişimi.....	76
Şekil 3.5.	250 W/m <sup>2</sup> ışınım ve 25°C sıcaklıkta 2.5 V'luk araştırma adımı için FV dizi gücünün değişimi .....	77
Şekil 3.6.	250W/m <sup>2</sup> ışınım ve 25°C sıcaklıkta 4.6 V'luk araştırma adımı için V <sub>ref</sub> , V <sub>FV</sub> ve I <sub>FV</sub> değişimi.....	78
Şekil 3.7.	250W/m <sup>2</sup> ışınım ve 25°C sıcaklıkta 4.6 V'luk araştırma adımı için FV dizi gücünün değişimi .....	78
Şekil 3.8.	250W/m <sup>2</sup> ışınım ve 25°C sıcaklıkta önerilen sistemde V <sub>ref</sub> , V <sub>FV</sub> ve I <sub>FV</sub> değişimi .....	79
Şekil 3.9.	250W/m <sup>2</sup> ışınım ve 25°C sıcaklıkta önerilen sistemde FV dizi gücünün değişimi .....	80
Şekil 3.10.	250W/m <sup>2</sup> ışınım ve 25°C sıcaklıkta önerilen sistemde FV dizinin ortalama gerilim, akım ve güç değerlerindeki değişimin üç boyutlu gösterimi.....	81
Şekil 3.11.	BMD girişindeki hata(e=dP <sub>FV</sub> /dI <sub>FV</sub> ) ve BMD çıkışdaki du değişimi.....	81
Şekil 3.12.	250 W/m <sup>2</sup> ışınım ve 25°C sıcaklıkta önerilen sistemde DA/DA dönüştürücünün görev periyodundaki değişim ve e <sub>PI</sub> değişimi.....	82
Şekil 3.13.	Yükseltici DA/DA dönüştürücü çıkış gerilimi ve batarya akımındaki değişimler .....	82
Şekil 3.14.	Sabit sıcaklık altında ani olarak artan ve azalan ışınım.....	83
Şekil 3.15.	Sabit sıcaklık değişken ışınımlarda 3.8 V arama adımı için V <sub>ref</sub> , V <sub>FV</sub> ve I <sub>FV</sub> değişimi .....	83
Şekil 3.16.	Sabit sıcaklık değişken ışınımlarda 3.8V arama adımı için FV dizi gücündeki değişim.....	84
Şekil 3.17.	Şekil 3.16'daki "a" bölgesinin büyütülmüş görünümü .....	85
Şekil 3.18.	Şekil 3.16'daki "b" bölgesinin büyütülmüş görünümü.....	85
Şekil 3.19.	Şekil 3.15'teki "c" bölgesinin büyütülmüş görünümü .....	86

Şekil 3.20.	Sabit sıcaklık altında iki kademeli olarak artan ışınlım.....	87
Şekil 3.21.	Önerilen sistemde ışınlımın iki kademeli artışında $V_{ref}$ , $V_{FV}$ ve $I_{FV}$ değişimi .....	87
Şekil 3.22.	Önerilen sistemde ışınlımın iki kademeli artışında FV dizi gücünün değişimi .....	88
Şekil 3.23.	Şekil 3.22'deki "a" bölgesinin büyütülmüş görünümü .....	89
Şekil 3.24.	Şekil 3.22'deki "b" bölgesinin büyütülmüş görünümü.....	89
Şekil 3.25.	Önerilen sistemde ışınlımın iki kademeli artışında FV dizinin ortalama gerilim ve güç değerlerindeki değişim .....	90
Şekil 3.26.	Önerilen sistemde ışınlımın iki kademeli artışında FV dizinin ortalama gerilim, akım ve güç değerlerindeki değişimin üç boyutlu gösterimi.....	90
Şekil 3.27.	Sabit sıcaklık altında iki kademeli olarak azalan ışınlım .....	91
Şekil 3.28.	Önerilen sistemde ışınlımın iki kademeli azalması durumunda $V_{ref}$ , $V_{FV}$ ve $I_{FV}$ değişimi .....	92
Şekil 3.29.	Önerilen sistemde ışınlımın iki kademeli azalması durumunda FV dizi gücünün değişimi .....	93
Şekil 3.30.	Şekil 3.29'daki "a" bölgesinin büyütülmüş görünümü .....	93
Şekil 3.31.	Şekil 3.29'daki "b" bölgesinin büyütülmüş görünümü.....	94
Şekil 3.32.	Önerilen sistemde ışınlımın iki kademeli azalışında FV dizinin ortalama gerilim ve güç değerlerindeki değişim .....	94
Şekil 3.33.	Önerilen sistemde ışınlımın iki kademeli azalışında FV dizinin ortalama gerilim, akım ve güç değerlerindeki değişimin üç boyutlu gösterimi.....	95
Şekil 3.34.	Sabit sıcaklık altında ani artan ve azalan ışınlım.....	95
Şekil 3.35.	Önerilen sistemde ışınlımın ani artması ve azalması durumunda $V_{ref}$ , $V_{FV}$ ve $I_{FV}$ değişimi .....	96
Şekil 3.36.	Önerilen sistemde ışınlımın ani artması ve azalması durumunda FV dizi gücünün değişimi .....	97
Şekil 3.37.	Şekil 3.36'daki "a" bölgesinin büyütülmüş görünümü .....	97
Şekil 3.38.	Şekil 3.36'daki "b" bölgesinin büyütülmüş görünümü.....	98
Şekil 3.39.	İkizkenar yamuk fonksiyonu şeklinde değişen ışınlım .....	98
Şekil 3.40.	Önerilen sistemde ikizkenar yamuk fonksiyonu şeklinde değişen ışınlım durumunda $V_{ref}$ , $V_{FV}$ ve $I_{FV}$ değişimi .....	99
Şekil 3.41.	Şekil 3.40'taki "a" bölgesinin büyütülmüş görünümü .....	99
Şekil 3.42.	Şekil 3.40'taki "b" bölgesinin büyütülmüş görünümü.....	100
Şekil 3.43.	Önerilen sistemde ikizkenar yamuk fonksiyonu şeklinde değişen ışınlım durumunda $I_{FV}$ ve $P_{FV}$ değişimi .....	100

Şekil 3.44.	Şekil 3.43'teki "a" bölgesinin büyültülmüş görünümü .....	100
Şekil 3.45.	Şekil 3.43'teki "b" bölgesinin büyültülmüş görünümü.....	101
Şekil 3.46.	Önerilen sistemde ikizkenar yamuk fonksiyonu şeklinde değişen ışınım durumunda "du" ve yükseltici da/da dönüştürücü çıkış gerilimi değişimi .....	101
Şekil 3.47.	Önerilen sistemde ikizkenar yamuk fonksiyonu şeklinde değişen ışınım durumunda da/da dönüştürücü görev periyodunun değişimi .....	102
Şekil 3.48.	Bozucu etki içeren sinüs fonksiyonu şeklinde değişen ışınım .....	102
Şekil 3.49.	Önerilen sistemde bozucu etki içeren sinüs şeklinde değişen ışınım durumunda $V_{ref}$ ve $V_{FV}$ değişimi .....	103
Şekil 3.50.	Önerilen sistemde bozucu etki içeren sinüs şeklinde değişen ışınım durumunda $I_{FV}$ ve $P_{FV}$ değişimi .....	103
Şekil 3.51.	Önerilen sistemde bozucu etkili sinüs şeklinde değişen ışınım durumunda "du" ve yükseleten da/da dönüştürücü çıkış geriliminin değişimi .....	104
Şekil 3.52.	Forward Euler integral yöntemi kullanıldığında $V_{ref}$ 'in değişimi .....	105
Şekil 3.53.	Trapezoid Euler integral yöntemi kullanıldığında $V_{ref}$ 'in değişimi .....	105
Şekil 3.54.	Backward Euler integral yöntemi kullanıldığında $V_{ref}$ 'in değişimi .....	106
Şekil 3.55.	Işınım ve sıcaklığın zamana göre değişimi .....	107
Şekil 3.56.	Işınım ve sıcaklığın zamana göre değiştiği durumda $V_{ref}$ , $V_{FV}$ ve $I_{FV}$ ...	107
Şekil 3.57.	Işınım ve sıcaklığın zamana göre değiştiği durumda $P_{FV}$ değişimi.....	108
Şekil 3.58.	Şebekeye bağlı durumda sabit sıcaklık ve ışınımda $V_{ref}$ ve $V_{FV}$ 'nin değişimi .....	109
Şekil 3.59.	Şekil 3.58'deki "a" bölgesinin büyültülmüş görünümü .....	109
Şekil 3.60.	Şekil 3.58'deki "b" bölgesinin büyültülmüş görünümü.....	110
Şekil 3.61.	Şebekeye bağlı durumda sabit sıcaklık ve ışınımda $I_{FV}$ ve $P_{FV}$ 'nin değişimi .....	110
Şekil 3.62.	Şekil 3.61'deki "c" bölgesinin büyültülmüş görünümü .....	111
Şekil 3.63.	Şekil 3.61'deki "d" bölgesinin büyültülmüş görünümü.....	111
Şekil 3.64.	Sabit sıcaklık ve ışınımda da bağlantı noktasındaki gerilimin değişimi	111
Şekil 3.65.	Şebeke geriliminin ve şebekeye aktarılan akımın efektif değerleri .....	112
Şekil 3.66.	Şebekeye aktarılan akımın anlık değişimi.....	112
Şekil 3.67.	Şekil 3.66'da belirtilen "e" bölgesinin büyültülmüş görünümü.....	113
Şekil 3.68.	Sabit sıcaklıkta artan ışınım .....	113
Şekil 3.69.	Şebekeye bağlı sistemde ışınımın artması durumunda $V_{ref}$ ve $V_{FV}$ 'nin değişimi .....	114
Şekil 3.70.	Şekil 3.69'da belirtilen "a" bölgesinin büyültülmüş görünümü.....	114

Şekil 3.71.	Şekil 3.69’da belirtilen “b” bölgesinin büyültülmüş görünümü.....	114
Şekil 3.72.	Şekil 3.66’da belirtilen “c” bölgesinin büyültülmüş görünümü.....	115
Şekil 3.73.	Şekil 3.69’da belirtilen “d” bölgesinin büyültülmüş görünümü.....	115
Şekil 3.74.	Şebekeye bağlı sistemde ışınımın artması durumunda $I_{FV}$ ve $P_{FV}$ ’nin değişimi .....	115
Şekil 3.75.	Şekil 3.74’te belirtilen “e” bölgesinin büyültülmüş görünümü.....	116
Şekil 3.76.	Şekil 3.74’te belirtilen “f” bölgesinin büyültülmüş görünümü .....	116
Şekil 3.77.	Şekil 3.74’te belirtilen “g” bölgesinin büyültülmüş görünümü .....	116
Şekil 3.78.	Şekil 3.74’te belirtilen “h” bölgesinin büyültülmüş görünümü .....	116
Şekil 3.79.	Işınımındaki artışta da bağlantı noktasındaki gerilimin değişimi .....	117
Şekil 3.80.	Işınımın artması durumunda şebeke gerilimi ve şebekeye aktarılan akımın efektif değerlerinin değişimi .....	117
Şekil 3.81.	Işınımın artması durumunda şebekeye aktarılan akımın anlık değişimi .....	118
Şekil 3.82.	Şekil 3.81’de belirtilen “m” bölgesinin büyültülmüş görünümü .....	119
Şekil 3.83.	Şekil 3.81’de belirtilen “n” bölgesinin büyültülmüş görünümü.....	119
Şekil 3.84.	Yük1 ( $P_{kontrolsüz}$ )’de meydana gelen değişim. ....	120
Şekil 3.85.	Yükte meydana gelen değişim durumunda $P_{ref}$ , $P_{yük}$ ve $P_{batarya}$ değişimi .....	121
Şekil 3.86.	Güç akış yönetim biriminin etkisiyle S1 anahtarının konumundaki değişim .....	122
Şekil 3.87.	Güç akış yönetim biriminin etkisiyle S2 anahtarının konumundaki değişim .....	122
Şekil 3.88.	Yükte meydana gelen değişim durumunda $V_{ref}$ ve $V_{FV}$ değişimi.....	123
Şekil 3.89.	Yükte meydana gelen değişim durumunda $I_{FV}$ ve $P_{FV}$ değişimi .....	123
Şekil 3.90.	B3 geriliminin değişimi.....	124
Şekil 3.91.	Yük2’nin akım, gerilim ve güç değerlerinin değişimi .....	124
Şekil 3.92.	Işınımında meydana getirilen değişim.....	125
Şekil 3.93.	Işınımında meydana gelen değişim durumunda $P_{ref}$ , $P_{yük}$ ve $P_{batarya}$ değişim .....	125
Şekil 3.94.	Işınımında meydana gelen değişim durumunda $V_{ref}$ ve $V_{FV}$ değişimi .....	126
Şekil 3.95.	Işınımında meydana gelen değişim durumunda $I_{FV}$ ve $V_{FV}$ değişimi .....	127
Şekil 3.96.	S1 anahtarının konumundaki değişiklik.....	127
Şekil 3.97.	S2 anahtarının konumundaki değişiklik.....	128



## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No:

Tablo 1.1.	Fotovoltaik pil teknolojileri ve karşılaştırılması [87, 100-101]. .....	25
Tablo 2.1.	FV üreticinin güç-akım eğrisi üzerindeki çalışma bölgelerine göre BMD kurallarının belirlenmesi için oluşturulan tablo .....	58
Tablo 2.2.	BMD tabanlı MGNT için oluşturulan kural tablosu .....	60
Tablo 2.3.	Standart test koşullarında FV panel ve FV dizisinin çeşitli parametreleri.....	67

## SEMBOLLER DİZİNİ

$P_M$	: Maksimum güç
$I_{MG}$	: Maksimum güç sağlayan akım
$V_{MG}$	: Maksimum güç sağlayan gerilim
$V_{AD}$	: Açık devre gerilimi
$I_{KD}$	: Kısa devre akımı
$V_{pil}$	: Fotovoltaik pilin gerilimi
$I_{pil}$	: Fotovoltaik pilin akımı
$I_{FV}$	: Foto akım
$I_D$	: Diyot Akımı
$R_s$	: Seri bağlı direnç
$R_p$	: Paralel bağlı direnç
$D$	: Görev periyodu
$I_0$	: Diyodun saturasyon (doyma) akımı
$q$	: Bir elektron yükü $=1,60217646 \times 10^{-19}$ C
$n$	: Diyot kalite faktörü (diyot ideallik faktörü)
$k$	: Boltzmann sabiti $= 1,3806503 \times 10^{-23}$ J/K
$S_x$	: Işınım şiddeti ( $W/m^2$ )
$T_x$	: Sıcaklık ( $^{\circ}C$ )
$T_a$	: Mutlak sıcaklık ( $^{\circ}C$ )
$C$	: Kondansatör
$L$	: İndüktans
$V_{\check{c}}$	: Çıkış gerilimi
$V_g$	: Giriş gerilimi
$V_{DA}$	: DA bağlantı noktası gerilimi
IGBT	: Yarıiletken anahtar (Insulated Gate Bipolar Transistor)
$f_s$	: Anahtarlama frekansı
$t_{on}$	: Yarıiletken anahtarın iletimde kalma süresi
$t_{off}$	: Yarıiletken anahtarın kesimde kalma süresi
$T$	: Periyot

D	: Görev periyodu
P	: Güç
$\Delta P$	: Güçteki değişim
$\Delta V$	: Gerilimdeki değişim
$\Delta I$	: Akımdaki değişim
V	: Gerilim
I	: Akım
P	: Güç
$\mu(x)$	: x deęişkeninin üyelik derecesi
e	: Hata
de	: Hatanın değişimi
du	: Bulanık mantık denetleyici çıkışındaki değişim
Ns	: Seri bağlı fotovoltatik panel sayısı
Np	: Paralel bağlı fotovoltatik panel sayısı
K <sub>P</sub>	: PI denetleyicisinin oransal katsayısı
K <sub>I</sub>	: PI denetleyicisinin integral katsayısı

## KISALTMALAR DİZİNİ

FV	: Fotovoltaik
MGNT	: Maksimum Güç Noktası Takip
MGN	: Maksimum Güç Noktası
BMD	: Bulanık Mantık Denetleyici
DA	: Doğru Akım
AA	: Alternatif Akım
OECD	: İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı
EIA	: U.S.Energy Information and Administration(ABD Enerji Bilgi İdaresi)
IEA	: International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
CPV	: Concentrated Photovoltaics (Yoğunlaştırılmış Fotovoltaikler)
MGNAY	: Maksimum Güç Noktası Araştırma Yöntemi
D&G	: Değiştir-Gözle
DGM	: Darbe Genlik Modülasyonu (PWM)
PWM	: Pulse-Width Modulation (Darbe-genişlik modülasyonu)
PI	: Proportional Integral (oransal integral)
NK	: Negatif küçük
NB	: Negatif büyük
SS	: Sıfır
PK	: Pozitif küçük
PB	: Pozitif büyük
$V_{\text{değişim}}$	: Nihai gerilim değişikliği
$V_{\text{ref}}$	: Maksimum güç üretilmesini sağlayacak olan referans gerilim
$V_{\text{FV}}$	: FV üreticinin gerilimi
$I_{\text{FV}}$	: FV üreticinin akımı
$P_{\text{FV}}$	: FV üreticinin gücü
$P_{\text{FVort}}$	: FV üreticinin ortalama gücü
$I_{\text{FVort}}$	: FV üreticinin ortalama akımı
$V_{\text{FVort}}$	: FV üreticinin ortalama gerilimi
MGNA	: Maksimum güç noktası araştırma

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Kâinatın başlangıcından bu yana, evrendeki ve dünyamızdaki faaliyetler var olan enerjinin bir biçimden bir başka biçime dönüşmesiyle gerçekleşmektedir. Örnek olarak, Güneş'te bulunan maddelerin iç yapısındaki enerji, nükleer patlamalar yoluyla açığa çıkmakta, fotonlar aracılığıyla dünyamıza kadar ulaşmaktadır. Ulaşan bu fotonlardaki enerji, bitkilerde fotosentez yoluyla yiyecekleri oluşturmaktadır. Bu yiyecekleri tüketmemizle bünyemizde hücresel bazda meydana gelen işlemler sonrasında yaşamsal faaliyetlerimizi sağlayacak enerji elde edilmektedir. Sosyal bir varlık olan insan, bireysel ve sosyal yaşamını sürdürmek üzere, tarımdan ticarete, ısınmadan ulaşım, hayatının her alanında enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Dünya nüfusunun artması, toplumun ihtiyaçlarının çoğalıp değişmesi, sanayi ve teknolojinin gelişmesiyle insanlığın ihtiyaç duyduğu enerji de artmıştır ve her geçen gün de artmaya devam etmektedir. İnsanoğlu, sanayiden tarıma, ticaretten ulaşım ve aydınlatmadan ısıtmaya birçok alanda enerjinin bir biçimi olan elektrik enerjisini kullanmaktadır. Elektrik enerjisinin üretiminde birçok enerji kaynağı kullanılmaktadır. Ancak ilk sırayı fosil yakıtlar almaktadır. Bu yakıtların çevreye verdikleri zararlar ise oldukça fazladır. Ayrıca bu zararlar, küresel ısınma ve ozon tabakasının incilmesi gibi endişe edilecek boyutlara gelmiştir. Öte yandan fosil yakıtların mevcut rezervlerinin bir sonu bulunmaktadır. Bu rezervler, dünyadaki enerji tüketiminde ve üretiminde yönelimin günümüzdeki gibi artarak devam etmesi durumunda yakında tükenenlerdir. Fosil yakıtların, çevreye verdikleri zararlardan ve tükenebilir enerji hammaddeleri olduklarından dolayı, tükenmeyen ve elektrik enerjisine dönüştürülme aşamalarında çevreye çok daha az zarar veren alternatif enerji kaynaklarına yönelimler söz konusu olmuştur. Bu alternatif enerji kaynakları, Dünya var oldukça sürekli yenilenmesinden dolayı yenilenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılmışlardır. Geçmişten bugüne insanoğlu, güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından çeşitli şekillerde yararlanmışlardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi söz konusu olduğundan beri, bu kaynakların elektrik enerjisine dönüştürülme yöntemlerinde, kullanılan yöntemlerin

verimliliğinin ve etkinliğinin artması yönünde ilerlemeler kaydedilmiştir. Günümüzde de bu ilerlemeler devam etmekte ve bu konuda bir hayli araştırma söz konusudur.

Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden birkaç şekilde yararlanılmakta olup, bunlardan biri de güneş ışığını doğrudan elektriksel büyüklükler olan akım ve gerilime çevirebilen Fotovoltaik ( FV ) pillerin kullanılmasıdır. Bir FV pilin ürettiği elektriksel güç oldukça küçük değerdedir (miliwattlar mertebesinde). İhtiyaç duyulan güce, akım ve gerilim değerine göre FV pillerin seri-paralel bağlanmasıyla FV panel elde edilir. FV panellerin seri-paralel bağlanması ile de daha büyük akım ve gerilim üretilmesine imkân sağlayan FV diziler oluşturulur. Genel olarak bunların hepsi FV üreteç olarak isimlendirilebilir. FV üreteçler, küçük güçlere ihtiyaç duyan sistemlerden, büyük güçlere ihtiyaç duyan sistemlere kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Şebekeden bağımsız ve taşınabilir uygulamalarda, şebekeye bağlı uygulamalarda, elektrikli araçlarda, uzay araçlarında ve batarya şarjı uygulamalarında elektrik enerjisi üretmek için FV üreteçlerden yararlanılmaktadır.

FV pilin ürettiği elektriksel güç çevre koşullarına bağlıdır. Sıcaklık ve/veya güneş ışınımının (radyasyonunun) değişmesiyle FV pilin üretebileceği akım ve gerilim de değişir, dolayısıyla güç artar veya azalır. FV pillerin çıkış büyüklüklerinden akım ve gerilim eğrileri doğrusal olmayan (non-linear) bir yapıya sahiptir. Yani üretilecek güç ve üretilen akım arasındaki ilişki doğrusal değildir. Belirli bir sıcaklık ve güneş ışınımında üretilebilecek tek bir maksimum güç vardır. Bu maksimum güç, güç-gerilim veya güç-akım eğrisi üzerinde maksimum güç noktası diye tabir edilir. Maksimum gücü meydana getiren akım ve gerilim değerleri, FV üreteçten maksimum ölçüde istifade edebilmemizi sağlayan akım ve gerilim değerleridir. Maksimum gücü sağlayan akım ve gerilim değerleri sıcaklık ve/veya ışınımın değişmesiyle değiştiğinden, FV üreteçten elde edilebilecek maksimum güç sıcaklık ve ışınımına bağlıdır.

Verimleri çok yüksek olmayan FV üreteçlerin fiyatları geçmiş yıllara göre azalmış olsa da alışlagelmiş (geleneksel) elektrik üretim yöntemlerine göre pahalıdır. Bu yüzden maksimum güç elde edilecek şekilde çalıştırılmaları oldukça önemlidir. Zira kurulumları yüksek maliyetler isteyen ve geleneksel elektrik üretim sistemlerine göre verimleri düşük olan FV sistemlerden maksimum derecede yararlanmak varken, hiç kimse daha az verimle çalıştırmak istemez. İşte bu yüzden, ışınım ve/veya sıcaklığın değişmesi

durumunda FV pilin üretebileceği maksimum gücün tespiti ve maksimum güç noktasında çalıştırılması gereklilik arz etmektedir.

FV üreticinin maksimum güçte çalışmasını temin etmek üzere maksimum güç noktası takip (MGNT) sistemleri geliştirilmiştir. MGNT sistemlerinin temel olarak iki mekanizmadan oluştuğu söylenebilir. Bunlardan birincisi, FV üreticinin verebileceği maksimum gücün veya bu gücü sağlayacak parametrenin/parametrelerin belirlenmesidir. MGNT sisteminin ikinci birimi ise FV üreticinin maksimum güçte çalışmasını temin edecek elektriksel müdahaledir. Literatürde birçok maksimum güç noktası (MGN) tespit yöntemleri ve FV üreticinin bu maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayacak çeşitli elektriksel müdahale yöntemleri içeren birçok MGNT sistemleri bulunmaktadır.

Öte yandan FV üreteçlerden elde edilebilecek güç coğrafi konuma, hava şartlarına, iklime, gece ve gündüz oluşuna bağımlılık gösterdiğinden, gün içerisinde üretilen güçte de değişkenlik olur. Bununla birlikte FV üreteç bir yükü besler ve bu yüke kesintisiz güç sağlama durumu söz konusu olduğunda, yükün ihtiyaç duyduğu gücü sağlamak üzere batarya gibi yedekleme ünitelerinden faydalanılır. Batarya ve FV üreteçten oluşan sistemde, gerektiğinde güç sağlayacak olan yedek batarya da FV üreteç tarafından şarj edilmelidir. Bataryanın şarj edildiği durumda, FV üreteç için beslenen yükün yanında, batarya da bir yük olarak sisteme dâhil olur ve ilave güç çeker. FV üreticinin gücü ve yükün talep ettiği güç göz önünde bulundurularak bataryanın şarj ve deşarj konumunda çalışmasının iyi bir şekilde yönetimi, FV üreteç ve bataryadan oluşan sistemden etkin bir biçimde yararlanmamızı sağlar.

Bu tez çalışmasında, bir esnek hesaplama (soft computing) yöntemi olan bulanık mantık tabanlı MGNT sistemi önerilmiştir. FV dizisi, önerilen MGNT sistemi ile birlikte kullanılarak şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı olarak MATLAB/Simulink benzetim ortamında çalıştırılmıştır. Önerilen MGNT sisteminde kullanılan bulanık mantık denetleyici (BMD) girişine FV dizisinin güçteki değişiminin akımdaki değişime oranı ve bu oranın değişimi uygulanarak, BMD çıkışından esnek bir değişim verisi alınmıştır. Bu esnek değişim verisi kullanılarak FV dizisinin maksimum güçte çalışmasını sağlayacak referans FV gerilimi üretilmiştir. FV dizisinin bu referans gerilim değerinde çalışması için, referans gerilim ve FV dizisinin ölçülen gerilimi arasındaki fark oransal-integral (PI) denetleyiciye uygulanmıştır. PI denetleyicisinin çıkışından DA/DA yükseltici dönüştürücüye uygulanacak olan görev periyodu elde edilmiştir. Bu görev periyodu, FV dizisinin maksimum güç üretmesini sağlayacak olan görev periyodudur. Şebekeden

bağımsız sistemde FV dizisi ve batarya bir doğru akım (DA) barasında birleştirilerek bir güç havuzu oluşturulmuştur. Bu güç havuzundan DA yükleri beslenebileceği gibi, bir evirici yardımıyla alternatif akım (AA) yükleri de beslenebilir. FV sistemin verimli ve etkin kullanımı için bulanık mantık tabanlı (esnek hesaplama tabanlı) maksimum güç noktası takibi (MGNT) sistemi ve batarya şarj-deşarj konumu yönetimi önerilmiş, MATLAB/Simulink ortamında benzetimi yapılmıştır. Önerilen sistemde, bulanık mantık tabanlı MGNT sistemi ile FV dizisinin maksimum güç noktasında çalışması sağlanmıştır. Böylece bulanık mantık tabanlı bir MGNT sistemi ile FV sistemin verimliliği artırılmıştır. MGNT sisteminde kullanılan BMD'nin ürettiği referans gerilimin değişiminden faydalanılarak, FV dizisinin gücündeki değişimin yönü ve yük gücü göz önünde bulundurulmuş, FV dizisinin maksimum güçte çalışmasından ödün verilmeyecek şekilde bataryanın şarj veyadeşarj konumuna geçmesi belirlenmiştir. Böylece hem FV üreticinin maksimum güç üretecek şekilde çalışması sağlanarak verimlilik artırılmış, hem de bataryanın şarj vedeşarj konumunda çalışması FV üreticinin ve yükün durumuna göre belirlenerek sistemin etkin kullanımı sağlanmıştır.

## 1.2. Literatür Araştırması

Bir FV üreticiden ( FV pil, FV panel veya FV dizisi ) maksimum gücün elde edilmesi iki şekilde gerçekleştirilebilir [1]:

- FV üreticinin yüzeyine daha fazla ışınımın gelmesini sağlayan mekanik yöntemlerle.
- FV üreticinin maksimum güç üretecek akım ve gerilimde çalıştıran elektriksel yöntemlerle.

Mekanik yöntemlerle maksimum gücün alınması ve buna ilişkin yöntemler bu tezin konusu dışındadır.

FV sistemlerini MGN'nda çalıştırmak için birçok MGNT yöntemleri mevcuttur. MGNT yöntemlerinde iki önemli kısım vardır. Bunlar, maksimum güç noktasının belirlenmesi ve belirlenen maksimum güçte çalışması için FV üreticinin (pil, panel veya diziye) yapılan etkidir. [2] numaralı çalışmada, MGNT yöntemleri, maksimum gücün araştırılması bakımından doğrudan ve dolaylı olmak üzere ikiye ayrılabilir denmiştir. Doğrudan araştırma yöntemlerinde, yalnızca FV üreticinin ait akım ve gerilim bilgisine ihtiyaç duyulurken; dolaylı araştırma yöntemlerinde, FV üreticinin akım ve gerilim



bilgisinin yanı sıra, FV üretece ait karakteristiklere, FV üreticinin çeşitli sıcaklık ve ışınım değerlerindeki eğrilerine de ihtiyaç duyulacağı belirtilmiştir. Tespit edilen maksimum gücü elde etmek için DA/DA dönüştürücü ile FV üreticinin çalışma gerilimi ve akımına etki edilerek maksimum gücün alınabileceği ifade edilmiştir.

Doğrudan MGNT yöntemlerinden değiştir-gözle (P&O-Perturb and Observation) metodu, uygulama kolaylığından dolayı [3], pratikte en çok kullanılan yöntemdir [2, 4-5]. Değiştir-gözle algoritması literatürde tepe tırmanma (hill climbing) algoritması olarak da adlandırılmaktadır. Her iki yöntem de aynı mantıkla çalışmaktadır. Ancak sisteme etki etme biçimleri farklıdır. Tepe tırmanma algoritmasında DA/DA dönüştürücüsüne uygulanan görev periyodu belirlenir ve dönüştürücüye direkt olarak uygulanır. Değiştir-gözle algoritmasında ise FV üreticinin maksimum güç üreteceği gerilim değeri belirlenerek, bu gerilim değerini sağlayacak olan görev periyodu bir denetleyici üzerinden DA/DA dönüştürücüsüne uygulanmaktadır [4, 6]. Bir diğer doğrudan MGNT yöntemi olan artan iletkenlik (Incremental Conductance) yöntemi [7, 8], değiştir-gözle algoritmasına alternatif olarak hızlı değişen atmosferik koşullarda daha iyi performans sunmak üzere geliştirilmiştir. Hem değiştir-gözle algoritmasında hem de artan iletkenlik yönteminde, algoritmanın her adımında DA/DA dönüştürücünün görev periyodu veya FV üreticinin maksimum güç üreteceği elektriksel parametre (akım, gerilim) değerine sabit bir değişken vasıtası ile artım veya azaltım yapılır. Her adımda bir değişiklik üreten bu sabit değişkenin küçük olması, maksimum güç noktası civarındaki salınımları azaltırken, maksimum güce ulaşma süresini arttırır. Sabit değişkenin büyük olması durumunda ise, maksimum güç noktasına çok daha hızlı ulaşılır ancak maksimum güç noktası civarında güçte meydana gelen salınımlar daha çok artar [2, 4-6, 9].

Literatürde mevcut olan MGNT yöntemleriyle ilgili ayrıntılı bilgiler ve karşılaştırmalar içeren inceleme çalışmaları [2, 4-6, 9-11] mevcuttur. Değiştir-gözle yöntemi ve artan iletkenlik yönteminin açık havada aynı performansı gösterdikleri ancak değiştir gözle yönteminin bulutlu havalarda artan iletkenlik yöntemine göre daha verimli olduğu tespit edilmiştir [9]. Değiştir-gözle algoritmasının artan iletkenlik yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiği yapılan deneysel çalışma sonuçları [11] ile ortaya konulmuştur. Ayrıca artan iletkenlik yönteminin gerçekleştirilmesi bakımından değiştir-gözle algoritmasına göre daha karmaşık bir yapıya sahip olduğu belirtilmiş [4, 9] ve doğruluğunun akım ve gerilim algılayıcılarının yüksek doğrulukla çalışmasına bağlı

olduğu ifade edilmiştir [12]. Değiştir-gözle ve artan iletkenlik yöntemlerinde maksimum güç noktası civarında meydana gelen salınımların önüne geçmek için, algoritmanın her adımında değişken katsayı kullanan yöntemler geliştirilmiştir. Ancak bu işlem, zaten diğer bazı MGNT yöntemlerine (örneğin bulanık mantık tabanlı MGNT) göre yavaş çalışan [4-5, 13] bu yöntemlerin daha da yavaş çalışmalarına neden olmaktadır [2, 4-6, 9]. Ayrıca değişken katsayı kullanan yöntemler [14-17], sabit katsayı yerine değişken katsayının belirlenmesi için FV üreticinin parametrelerine ihtiyaç duymaktadır ve algoritmanın karmaşıklığını arttırmaktadır [9] .

Literatürde mevcut olan birçok MGNT sistemi ve açıklamaları [2, 4-5, 9-10] inceleme çalışmalarında bulunmakla beraber bu çalışmalarda yer almayan bir diğer doğrudan MGN araştırma yöntemi de çevrimiçi araştırma algoritması olarak isimlendirilen [18-19] yöntemdir.

DA/DA dönüştürücüsü vasıtasıyla FV üreticinin gerilimine ve akımına etki ederek çalışan yöntemlerin yanında çeşitli yöntemler ile maksimum gücü tespit edip buna göre yük anahtarlayarak (devreye alıp çıkararak), FV üreticinden maksimum gücün alınması sağlayan yöntemler [20-22] de mevcuttur. Özel bir örnek olarak [21]'de MGN FV üreticinin akım ve gerilim bilgisi kullanılarak, güçteki değişimin çevrimiçi (on-line) tespiti ile elde edilmiştir. Bu amaçla FV panelin güç-akım eğrisi bölgelere ayrılıp analiz edilmiş ve bu analize göre tasarlanan bulanık karar verme ve bulanık mantık denetim sistemi birlikte kullanılarak yüklerin ve yedek bataryanın anahtarlanması işlemiyle FV üreticinden maksimum gücün alınması sağlanmıştır. Ayrıca, FV sisteme bağlı DA veya AA motorunu süren kısıyıcı görev periyoduna veya evirici (inverter) anahtarlama stratejisine etki ederek, FV üreticinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan yaklaşımlar [23-26] da mevcuttur.

[27]'de, taşınabilir olarak kullanılan FV panel ve üreticiden oluşan sistemde batarya şarjı ile ilgili çalışmaların yanında FV panelden daha fazla güç elde etmek için geleneksel değiştir-gözle algoritması ve türevleriyle çeşitli MGNT sistemleri önerilmiştir. Değiştir-gözle algoritmasının doğrudan görev periyodunda değişiklik yaparak kullanıldığı durumun birtakım sakıncalara neden olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle değiştir-gözle algoritmasının FV panelin maksimum güç üreteceği referans gerilimi belirlemek üzere değişimler yapması sağlanmıştır. Referans gerilim, FV panelin gerçek gerilimi ile karşılaştırılarak bir geri besleme sağlanmıştır. Geri beslemeden elde edilen hata, denetleyici üzerinden görev periyoduna dönüştürülerek DA/DA

dönüştürücüsüne uygulanmıştır. DA/DA dönüştürücüsünün görev periyoduna bu şekilde bir geri besleme kullanılarak etki eden MGNT sisteminin, doğrudan görev periyoduna etki ederek çalışan MGNT sistemine göre daha iyi sonuçlar verdiği deneysel olarak saptanmıştır.

Son yıllarda bulanık mantığın avantajlarından dolayı [28], çok sayıda bulanık mantık tabanlı MGNT yöntemleri ortaya konmuştur [21-22, 24-25, 29-51]. Bu çalışmalardan [29, 34-42, 44-47] elektriksel müdahale yöntemi olarak yükseltici DA/DA dönüştürücü kullanmış, [31,43] düşürücü DA/DA dönüştürücü kullanmışlar, [49] ise düşürücü-indirici DA/DA dönüştürücü kullanmıştır. Yükseltici DA/DA dönüştürücünün kullanılmasının batarya içeren MGNT sistemleri için daha uygun olacağı [52] belirtilmiş, diğer DA/DA dönüştürücülerine göre yükseltici DA/DA dönüştürücünün daha iyi dinamik sonuçlara sahip olduğu ve daha az maliyetli olduğu açıklanmıştır [53-54].

[51]'de, FV üreticinin maksimum güç üretmesi için, bir referans akım belirlenmiş ve FV üreticinin bu referans akımda çalışması için yükseltici DA/DA dönüştürücüsü kullanılmıştır. Referans akımı her adımda sabit bir katsayı ile değiştiren geleneksel değiştir-gözle algoritması ve her adımda güç ve akımdaki değişime göre değişken katsayı ile değiştiren bulanık mantık tabanlı yöntem karşılaştırılmıştır. Bulanık mantık tabanlı yöntem ile elde edilen deneysel ve benzetim sonuçları göstermiştir ki, maksimum gücü elde etmek üzere referans akımda yapılan değişimlerde bulanık mantıkla üretilen değişken katsayının kullanılması maksimum güç noktası civarındaki salınımları azaltmıştır. [29, 32, 36, 38-40, 42, 44-47, 49] çalışmaları da bulanık mantık tabanlı MGNT sisteminin değiştir-gözle/tepe tırmanma algoritmasına göre daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır.

Bulanık mantık tabanlı MGNT sistemi çalışmalarından [36-37, 39, 41-42, 45 ve 48] bulanık mantık denetleyici (BMD) girişi olarak FV üreticinin gücündeki değişiminin gerilimindeki değişimine oranı ( $e = \Delta P / \Delta V$ ) ve bu oranın değişimini ( $\Delta e$ ) kullanırken, [21, 35 ve 43] FV üreticinin gücündeki değişiminin akımındaki değişimine oranı ( $e = \Delta P / \Delta I$ ) ve bu oranın değişimini ( $\Delta e$ ) kullanmışlardır. [32-33] çalışmalarında ise; BMD girişi olarak FV üreticinin gücündeki değişim ( $\Delta P$ ) ve gerilimindeki değişim ( $\Delta V$ ) kullanılmıştır. [38, 40, 44, 47 ve 51] çalışmalarında BMD girişi olarak FV üreticinin gücündeki değişim ( $\Delta P$ ) ve FV üreticinin akımındaki değişim ( $\Delta I$ ) kullanılmış, [34]'te ise

FV üretic gerilimindeki değişim ( $\Delta V$ ) ve FV üretic akımındaki değişim ( $\Delta I$ ) kullanılmıştır.

BMD'nin giriş ve çıkışlarına ait üyelik fonksiyonlarının sıfıra yakın bölgedekilerin bacalarının daraltılması durumunda daha iyi sonuçların alındığı görülmüştür [28, 35]. BMD değişkenlerinin çeşitli optimizasyon algoritmaları ile ayarlanarak performansının artırılması için yapılan çalışmalar [55-56] da mevcuttur. Bununla birlikte yapay sinir ağları [57-58] ve bulanık sinir ağları [59] kullanarak gerçekleştirilen MGNT sistemleri de önerilmiştir. [60] numaralı çalışmada, bulanık mantık ve yapay sinir ağı kullanılarak gerçekleştirilen MGNT sistemleri karşılaştırılmıştır. Alınan sonuçlardan bulanık mantık tabanlı MGNT sisteminin daha verimli olduğu tespit edilmiştir.

FV üreticler güneş ışığının olmadığı zamanlarda elektrik üretmediğinden batarya ile birlikte kullanılır. [61]'de FV üretic ve depolama ünitesinden oluşan sistemde, akım tahmini tabanlı MGNT sistemi ve şarj denetimi gerçekleştirilmiştir. [62]'de evsel uygulamalarda kullanılan FV üretici ve bataryadan oluşan sistemde iki yönlü (bi-directional) dönüştürücü yardımıyla gerçekleşen bataryanın şarj ve deşarjının yönetimi önerilmiştir. [63]'de değişkenleri parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ile ayarlanan BMD ile, FV üreticinin gücü, yük gücü ve beslenmesi gereken kritik yüklerin durumuna göre bataryanın şarj ve deşarj konumunda çalışması yönetilmiştir. [64]'te ise artan iletkenlik yöntemi tabanlı MGNT sistemi ve bataryanın şarj deşarj denetimi birlikte gerçekleştirilmiştir. [65]'te iki yönlü dönüştürücü ile batarya enerji yönetim sistemi önerilmiştir. [21]'de yük ve batarya anahtarlama yapılarak gerçekleştirilen MGNT sisteminde bataryaların devreye alınıp çıkarılması, MGNT birimi referansı ile gerçekleştirilmiştir.

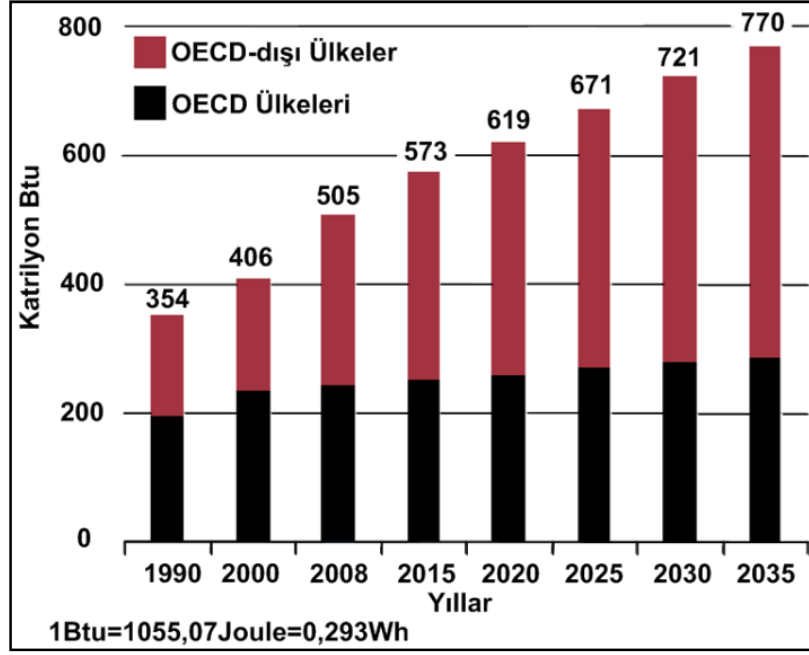
Bu çalışmada ise, FV dizisinin maksimum güçte çalışmasını temin etmek için, esnek hesaplama yöntemi olan bulanık mantığa dayalı bir MGNT sistemi önerilmiştir. FV dizisinin maksimum güçte çalışmasını temin edecek gerilim değeri BMD vasıtasıyla tespit edilmektedir. Yükselten DA/DA dönüştürücü ile sisteme müdahale edilerek FV dizisinin maksimum güçte çalışması sağlanmaktadır. FV dizisinin gücündeki değişmenin akımındaki değişmeye oranı ve bu oranın değişimi BMD'nin girişleri olarak kullanılmıştır. BMD çıkışından, BMD girişleri ve kural tabanına göre esnek olarak değişen bir gerilim değişim miktarı elde edilmiştir. Bu değişim miktarı kullanılarak FV dizisinin maksimum güçte çalışmasını temin edecek referans gerilim belirlenmiştir. Önerilen sistem ile geleneksel değiştir-gözle algoritması karşılaştırılmıştır. Önerilen

sistem, şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı FV sistemlerde kullanılarak performansı incelenmiştir. Ayrıca yedek bir batarya ünitesi içeren şebekeden bağımsız FV sistemde, bataryanın şarj veya deşarj konumunda çalışmasını BMD tabanlı MGNT biriminin tespit ettiği MGN'na göre yöneten güç akış yönetimi önerilmiştir. Böylece, BMD tabanlı MGNT biriminin FV dizisinin gücündeki değişmeyi sezmesiyle, FV dizisinin maksimum güç noktasından sapmaması ve yükün ihtiyaç duyduğu gücün sürekli kılınması sağlanmıştır.

### **1.3. Dünyada ve Türkiye'de Enerji**

İş yapabilme yeteneği olarak tanımlanan enerji [66], ekonomik ve toplumsal gelişme için vazgeçilemez bir gereklilik olup insanoğlunun tüm faaliyetlerinde hayati bir yere sahiptir [67]. Yapılan öngörü çalışmaları [68-70] dünyadaki nüfus artışına paralel, sanayileşme ve kentleşme ile birlikte enerjiye olan talebin giderek artacağına işaret etmektedir. Enerji tüketiminin geçmişten bugüne artması ve önümüzdeki yıllarda da artacak olmasının iki önemli nedeni vardır. Bunlardan birincisi nüfusunun istikrarlı bir biçimde artması, ikincisi ise daha iyi bir gelişmişlik ve konfora sahip olma çabalarıdır [67].

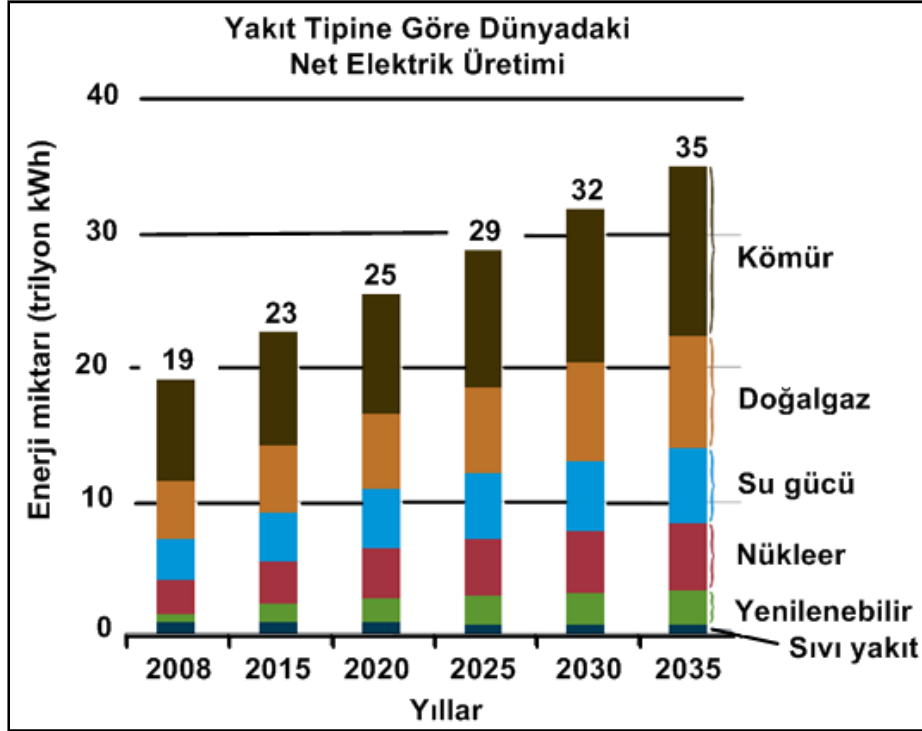
1990-2008 yılları arasında dünyadaki enerji tüketimi miktarları ve 2008-2035 yılları arası için yapılan enerji tüketimi öngörüsü [68] Şekil 1.1'de yer almaktadır. Özellikle hızlı nüfus artışına ve yüksek ekonomik büyüme oranlarına sahip OECD-dışı ülkelerde daha fazla bir enerji atışı olacağı öngörülmektedir.



Şekil 1.1. Dünyadaki enerji tüketimi miktarları ve öngörülleri [68].

ABD Enerji Bilgi İdaresi (EIA) tarafından yapılan öngörü çalışmasına göre, dünyada elektrik enerjisine talep gittikçe artmakta olup, net elektrik üretiminin 2008-2035 yılları arasında yıllık ortalama % 2,3 ile en hızlı büyüyen son kullanıcı enerji şekli olması öngörülmektedir. 2008-2035 yılları arası için elektrik üretimindeki en fazla büyümenin yıllık ortalama % 3,3 ile OECD ülkeleri dışında kalan gelişmekte olan ülkelerde olacağı öngörülmektedir. OECD ülkelerinde ise elektrik enerjisi üretiminde daha yavaş bir büyüme olacağı ve yıllık ortalama % 1,2 oranında elektrik enerjisi üretiminin artacağı öngörülmektedir. Benzer şekilde, Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency-IEA) tarafından yapılan öngörü çalışmasına [69] göre dünyadaki elektrik enerjisi ihtiyacı 2008-2035 yılları arasında yıllık % 2,2'lik bir artış gösterecektir.

Dünyadaki toplam nihai enerji tüketiminde elektriğin payı 1973'de % 9,6 iken, 2001 yılında % 15,6 olmuştur [71]. Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yapılan öngörüye göre, elektriğin nihai enerji tüketimindeki payının 2008'deki % 17 seviyesinden, 2020'de % 20'ye, 2035'de ise % 23'e çıkması beklenmektedir [72].

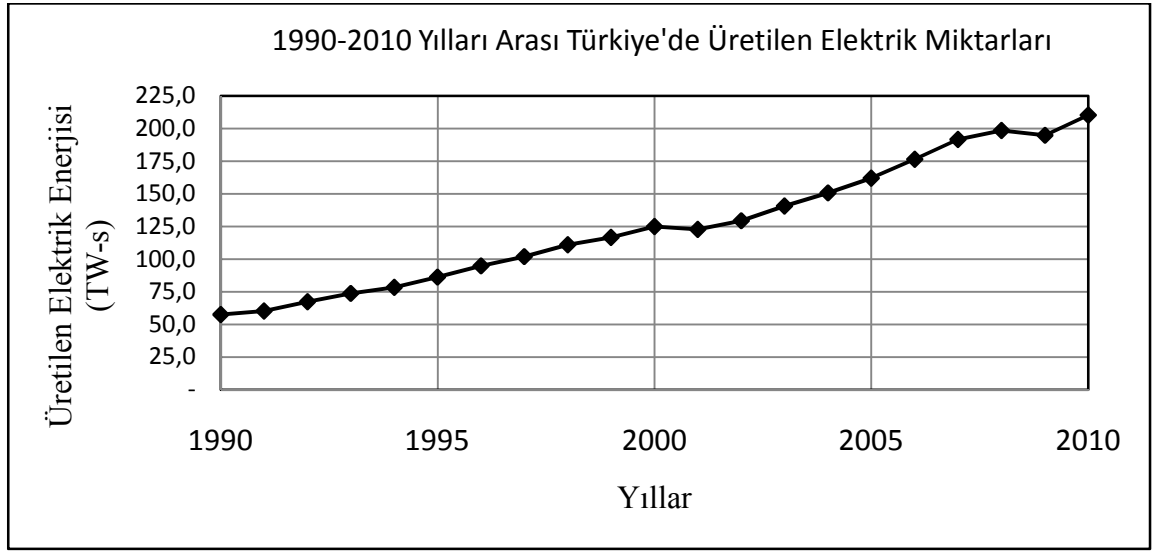


Şekil 1.2. Yıllara göre dünyadaki elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı ve öngörülleri [68].

Şekil 1.2’den de görüleceği üzere, 2008 yılında 19,1 trilyon kWh olan net elektrik üretiminin 2020’de 25,5 trilyon kWh’e, 2035 de ise 35,2 trilyon kWh’e ulaşacağı öngörülmektedir [68]. Artan elektrik ihtiyacı ve üretilen elektrik miktarının artması ile üretimde kullanılan fosil yakıtların sebep olduğu sera gazı salınımlarının artacağı, sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik uluslararası anlaşmaların yürürlüğe girmesine göre fosil kökenli yakıtların kullanımının önemli ölçüde değişebileceği belirtilmektedir ve 2008-2035 yılları arasında elektrik üretiminde kullanılan kaynaklar arasında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının en fazla artışa sahip olacağı beklenmektedir [68-70].

Ülkemizde 1990-2010 yılları arasındaki elektrik enerjisi üretimi miktarlarının değişimi Şekil 1.3’te görülmektedir. 2009 yılında 193,2 milyar kW-saat olan elektrik tüketimimiz 2010 yılı sonunda 211,2 milyar kW-saat olmuştur. 2009 yılında 29.870 MW olan belirli bir anda talep edilen en yüksek elektrik güç (puant güç) talebi, 2010 yılında 33.392 MW olmuştur. 2011 yılı Ekim sonu itibariyle, kurulu gücümüz 52.310 MW’a, puant güç talebi ise 36.122 MW’a yükselmiştir [72-73].

Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi'nin (TEİAŞ) 2010-2019 yılları arasında kapsayan öngörü çalışmasına [74] göre, 2019 yılında elektrik talebinin düşük senaryoya göre 367 milyar kW-saat, yüksek senaryoya göre 390 milyar kW-saat seviyesine ulaşması beklenmektedir. Aynı çalışmaya göre en yüksek elektrik güç talebinin 2019 yılında 57.000-60.000 MW olacağı öngörülmektedir. Gerekli yatırımların yapılmaması durumunda mevcut durumun 2016'daki elektrik ihtiyacını karşılayamayacağı belirtilmektedir.



Şekil 1.3. 1990-2010 yılları arasında Türkiye'de üretilen elektrik enerjisi miktarları [75].

Şekil 1.3'te 1990-2010 yılları arasında üretilen elektrik enerjisi miktarlarının değişimi görülmektedir [75]. Kaynaklar açısından bakıldığında, 2010 yılı itibariyle, 211.207,7 GWh'lik toplam elektrik üretiminin % 45,9'u doğalgazdan, % 18,4'ü yerli kömürden, % 24,5'i hidrolik kaynaklardan, % 6,9'u ithal kömürden, % 2,5'i sıvı yakıtlardan, % 1,35'i rüzgârdan ve % 0,47'si jeotermal ve biyogazdan sağlanmıştır [72].

Enerji üretimimizdeki büyük oranda dışa bağımlılığımızın önüne geçmek, enerji arz güvenliğimizin artırılmasını sağlamak ve sera gazı salınımlarını kontrol etmek amacıyla politikalar ve hedefler belirlenmiştir [76-78].



## 1.4. Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olan Güneş'ten Elektrik Üretimi

Ekonomik kalkınma ile enerji arasında sıkı bir bağ olduğu evrensel olarak kabul edilmektedir ve tarihsel veriler de bunu doğrulamaktadır. Ancak dünya nüfusunun, enerji tüketiminin ve endüstriyel faaliyetlerin artmasıyla çevre problemleri de artmıştır [79]. Geleneksel (conventional) enerji kaynakları veya yenilenemeyen enerji kaynakları olarak isimlendirilen [80] fosil yakıtlar, dünyadaki enerji tüketimi ve nüfusun artışının devam etmesi halinde önümüzdeki yıllarda enerji ihtiyacını karşılayamayacaktır [81].

Enerji üretiminde iklim değişikliği ile mücadele, artan enerji talebini karşılamak ve enerji arz güvenliğini korumak hâlihazırda küresel boyutta başa çıkılmaya çalışılan bir sorundur [67]. İnsanlığın karşı karşıya olduğu iklim değişikliği, küresel ısınma, hava kirliliği gibi çevre problemlerine çözüm için uzun vadeli çalışmalar sürdürülebilir kalkınma için gerekliliktir. Bu bakımdan yenilenebilir enerji kaynakları, en verimli ve etkin çözümlerden biri olarak görülmektedir [67, 79].

### 1.4.1. Yenilenebilir Enerji Kavramı ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Petrol, kömür gibi fosil yakıtlar Güneş enerjisinin geçmiş jeolojik dönemlerdeki depolanmış halidir ve belirli bir süre sonunda bitecek olan, sürdürülebilir olmayan enerji kaynaklarıdır [67]. Fosil yakıtlar yeryüzünde milyonlarca yılda oluştuğundan ve tekrar organik maddelerin fosil yakıtlara dönüşmesi için milyonlarca yıl gerektiğinden dolayı yenilenemeyen enerji kaynakları olarak tanımlanırlar [66]. Yenilenebilir enerji kaynakları ise, tabii süreç içinde zamanla tekrar yerini alan enerji kaynağı olarak tanımlanmaktadır ve sürdürülebilirliği temin etmektedirler [66].

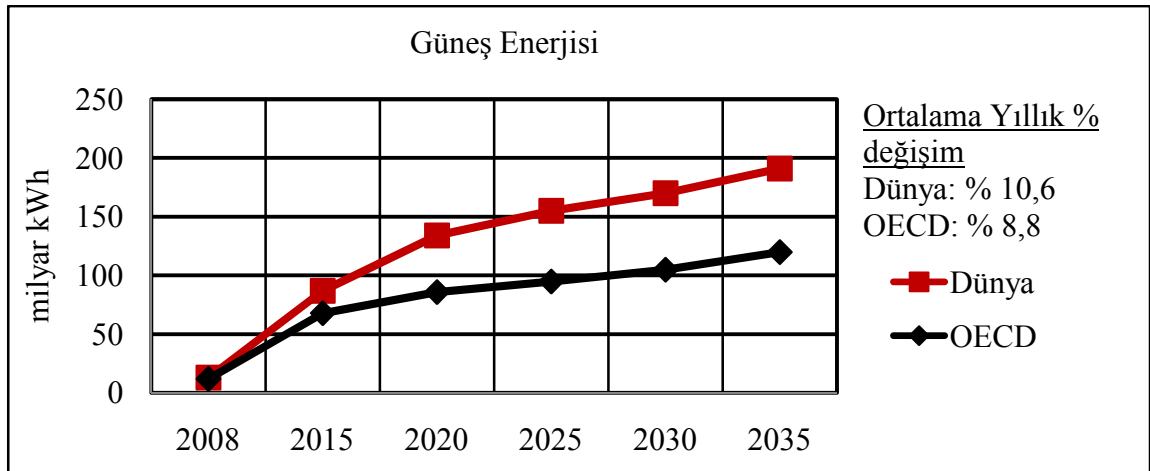
Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş enerjisi, kütle çekim enerjisi (gravatation/planetary energy) ve jeotermal enerji olmak üzere üçe ayrılabilir [82]. Güneş enerjisinin yeryüzündeki doğrudan ve dolaylı etkileri (güneş ışınımı (radyasyonu), rüzgârlar, su çevrimi, biyokülte), kütle çekim kuvvetlerinin etkileri (örneğin gelgitler) ve dünyanın iç kısmındaki ısı (jeotermal) yenilenebilir enerji teknolojileri ile kullanılabilir enerji formlarına dönüştürülerek kullanıma/satışa hazır enerji üretilir [79].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının, yenilenemeyen enerji kaynaklarına göre üstünlükleri, sürdürülebilir (bitmeyen) olması, dünyanın her yerinde bulunabilir olması

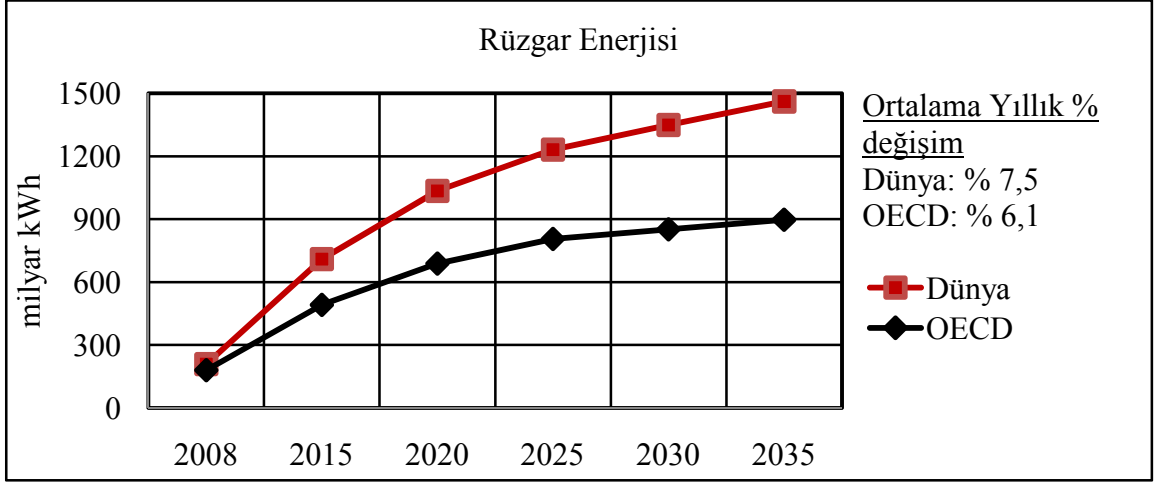
ve en önemlisi temiz ve çevre dostu olmasıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının mahzurları ise değişkenlik göstermesi, düşük yoğunluğa sahip olması ve genellikle yüksek kurulum maliyetlerine sahip olmasıdır [67]. Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak enerji üretimi gerçekleştiren yenilenebilir enerji teknolojilerinde, yenilenebilir enerji kaynaklarını toplama ve dönüştürmede verimliliğin artırılması, kurulum ve işletme maliyetlerinin düşürülmesi, uygulanabilirliğinin ve güvenilirliğinin artırılması yönünde önemli gelişmeler kaydedilmektedir [79]. Şimdiye kadar, tamamen ekonomik nedenlerden dolayı geleneksel enerji kaynaklarının gerisinde kalan yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyet olarak geleneksel enerji kaynakları ile orta vadede karşılaştırılabilir duruma gelmesi beklenmektedir [67].

#### 1.4.1.1. Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji

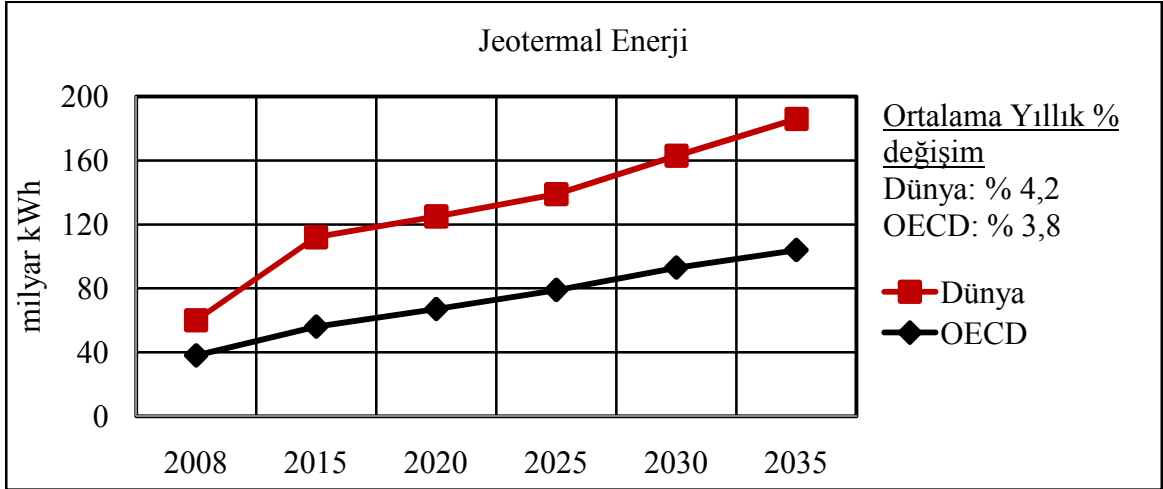
Yenilenebilir enerji kullanımının artması, CO<sub>2</sub> salınımını azaltır, bölgesel hava kirliliğini durdurur, bir ülkenin fosil yakıt ithalatına bağımlılığına mani olur ve toplumun belirli bir enerji kaynağına tutsak olmasını önler [67]. Yapılan öngörüler [68-70], yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırımların ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin artacağını belirtmektedir. Şekil 1.4, 1.5, 1.6 ve 1.7’de EIA tarafından yapılan çalışmaya göre [68], dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarından yapılan net elektrik üretimi ve kaynaklara göre dağılımı için 2008 verileriyle 2008-2035 dönemi için yapılan öngörüler yer almaktadır.



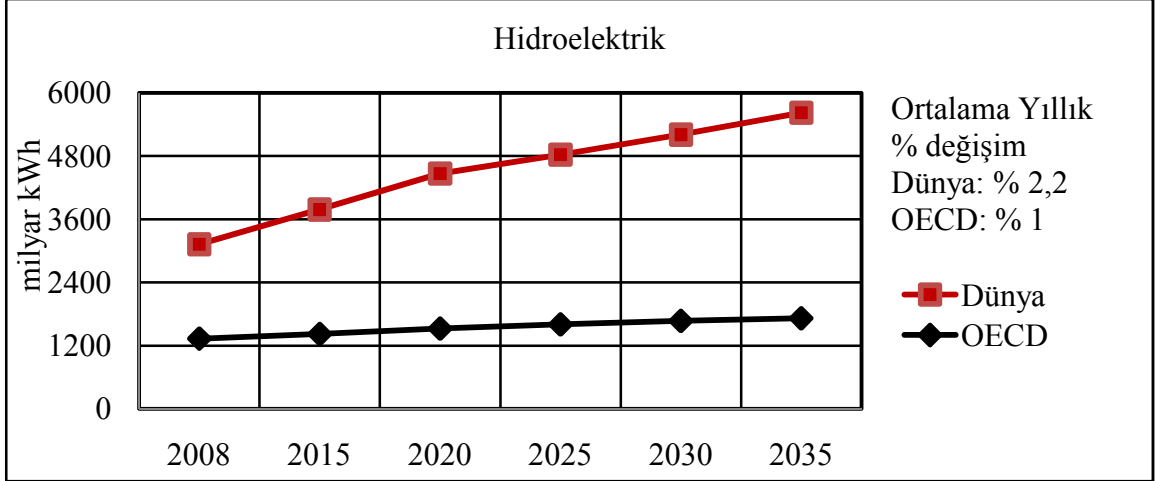
Şekil 1.4. Güneş enerjisinden elektrik üretiminin 2008 yılı verileri ve yıllara göre değişimi öngörüsü [68].



Şekil 1.5. Rüzgâr enerjisinden elektrik üretiminin 2008 yılı verileri ve yıllara göre değişimi öngörüsü [68].



Şekil 1.6. Jeotermal enerjisinden elektrik üretiminin 2008 yılı verileri ve yıllara göre değişimi öngörüsü [68].



Şekil 1.7. Hidroelektrik üretim tesislerinden elektrik üretiminin 2008 yılı verileri ve yıllara göre değişimi öngörüsü [68].

Elektrik üretiminde kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları arasında en fazla artışın güneş enerjisinden elektrik üretiminde yaşanması beklenmektedir [68]. Şekil 1.4 incelendiğinde, 2008 yılında 13 milyar kWh elektrik üretimi yapılan Güneş enerjisinden 2008-2035 yılları arasında yıllık ortalama % 10,6 artışla 2035 yılında 191 milyar kWh elektrik üretilmesi beklenmektedir.

Türkiye'nin girmeye aday olduğu Avrupa Birliği, 2020 hedefleri doğrultusunda [83], 2020 yılında;

- Sera gazı emisyonlarının % 20 azaltılması,
- Yenilenebilir enerji tüketimi payının % 20'ye çıkarılması,
- Enerji verimliliğinin % 20 iyileştirilmesi,

amaçlanmaktadır.

Ülkemizde ise enerji üretimindeki mevcut durum, yapılan öngörüler, Avrupa Birliği Mevzuatına paralel hale getirilmeye çalışılan yasal düzenlemeler ve İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında Kyoto Protokolü yükümlülükleri göz önünde bulundurularak yenilenebilir enerji kullanımı ile ilgili strateji ve politikalar belirlenmiştir [76-78]. Buna göre;

- Kaynak çeşitliliği sağlanarak yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji arzındaki payının artırılması amaçlanmıştır.
- 2023 yılına kadar enerji kaynakları arasında yenilenebilir enerjinin oranını %30'a çıkarılması ve enerji verimliliğinin artırılması hedeflenmiştir.

- Yenilenebilir enerji kullanımını teşvik için 2005'te Yenilenebilir Enerji Kanunu çıkarılmış ve 2010 yılı sonunda güncellenmiştir.

### 1.4.2. Güneş Enerjisi

Neredeyse bütün fosil ve yenilenebilir enerji kaynaklarının temelini oluşturan, doğrudan ve dolaylı etkileriyle yaşamın vazgeçilemez bir parçası olan Güneş, nükleer reaktör gibi çalışarak çok büyük miktarlarda ( $1,5 \times 10^{18}$  kWh) enerjiyi güneş ışınımı (radyasyonu) olarak dünya yüzeyine gönderir. Tahminlere göre Güneş, nükleer reaktör olarak  $4 \times 10^9$  yıl daha faaliyet gösterecektir [67].

Güneş'ten Dünya yüzeyine ulaşan enerji, birçok nedenle (atmosferdeki yansımaya, ozon tabakası, su buharı, oksijen ve karbondioksit tarafından emilme, hava kirliliği ve toz parçacıkları tarafından saçılma gibi) yeryüzüne azalarak ulaşır [1]. Atmosferden geçip yeryüzüne ulaşan ışınımın bir kısmı da tekrar atmosfere yansıtılır. Neticede toplam güneş radyasyonunun yaklaşık % 50'si atmosfer ve yeryüzünde kalır [67].

Güneş'ten atmosfer dışına gelen yıllık ortalama ışınım  $1367 \pm 2 \text{ W/m}^2$  'dir [82]. Atmosfer dışına gelen ışınım, ışınımın gelme açısına (dünyanın yörüngesindeki konumuna) göre değişirken, yeryüzüne ulaşan ışınım, yeryüzünün konumuna (ekvatora yakınlığına), atmosferdeki emilme ve yansımaya miktarlarına bağlıdır. Açık bir havada deniz seviyesindeki bir bölgeye dünya üzerindeki konumuna bağlı olarak 1000  $\text{W/m}^2$ lik bir ışınım ulaşabilir. Bu ışınım miktarı kısa periyotlarda 1400  $\text{W/m}^2$  ye ulaşabilir [1].

#### 1.4.2.1. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi

Güneş enerjisinden temelde iki şekilde elektrik enerjisi üretimi yapılır [82, 84]:

- Güneş ışığının ısısından istifade edilerek güneş ısı gücü üretim tesisleriyle,
- Güneş ışığı enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren yarıiletken malzemeden yapılmış FV pillerden oluşan sistemler ile.

Güneş enerjisinin ısısından istifade edilen sistemlerde, güneş ışınimleri toplayıcı mekanizmalar aracılığıyla bir noktaya toplanıp, elde edilen yüksek miktarda ısı enerjisinin oluşturduğu etkiler, enerji dönüşüm elemanları yardımıyla elektrik enerjisine çevrilir.

FV pillerde ise, yarı iletken pil malzemesi üzerine düşen güneş ışınımındaki fotonların herhangi bir mekanik hareket vb. olmaksızın yarıiletken malzemede oluşturduğu elektriksel etki neticesinde doğrudan elektriksel akım ve gerilim elde edilir. FV pillerle elektrik üretiminde önemli olan ışınımın şiddeti olup, sıcaklık ise verimi düşüren bir etkidir.

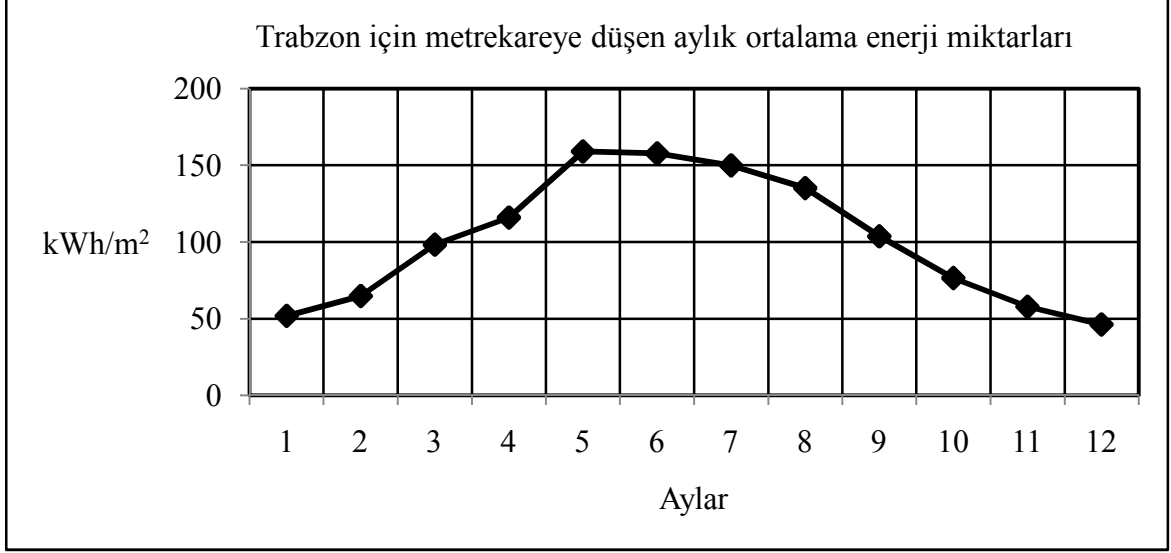
#### **1.4.2.2. Dünyada ve Türkiye’de FV Sistemler ile Elektrik Üretimi**

Geçmişten bugüne, FV panel fiyatları düşerken verimleri artmıştır. İlerleyen yıllar için FV panel fiyatlarındaki düşüşün devam edeceği, FV pil ve panel üretim teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte verimlerinin artışının süreceği öngörülmektedir. Bununla birlikte, dünyadaki FV kurulu gücünün artış göstereceği ve toplam elektrik üretimindeki payının artacağı, buna bağlı olarak sera gazı salınımında azalma sağlayacağı belirtilmektedir [85-87].

Ülkemizin Güneş enerjisi potansiyeli Portekiz ve İspanya haricindeki tüm Avrupa ülkelerinden fazladır [85, 88]. Ancak Türkiye’den daha kuzeyde yer alan ve  $m^2$ 'ye düşen Güneş radyasyonu bakımından Türkiye'nin gerisinde yer alan Almanya'da 2010 yılı verilerine göre, yaklaşık 17 GW kurulu FV gücü şebekeye bağlı olarak çalışmaktadır. Almanya 2010 yılında 7,4 GW'lık FV gücü eklemesiyle toplam kurulu FV gücünü 17,4 GW'a çıkarmıştır ve kurulu FV gücü bakımından dünyada ilk sıradadır [89-90]. 2010 yılı verilerine göre Almanya'nın kurulu FV gücü, dünyadaki toplam kurulu FV gücün % 43,5'ine denk gelmektedir [75]. Yapılan çalışmalar [85, 87, 90-91] hem Almanya'da, hem de Avrupa ve Dünya'da kurulu FV güç miktarının artacağını göstermektedir.

[88]'e göre ülkemiz yıllık 1300-1800 kWh/ $m^2$  arasında güneş ışınımı alan bir bölgededir. Ülkemizin güneş enerjisi potansiyelinin yıllık 380 milyar kW-saat olduğu belirtilmektedir [92]. Ülkemizin kuzeyindeki Doğu Karadeniz Bölgesi ve özelde Trabzon ilinin yıllık ışınım miktarları, Almanya'nın en fazla ışınım alan bölgesi ile eşdeğerdir [88]. Bu bilgi Devlet Meteoroloji İşleri (DMI) Müdürlüğü'nün ölçtüğü değerlerle de doğrulanmaktadır. DMI'nin 2006-2010 yılları için Trabzon'da  $m^2$ 'ye düşen enerji miktarları verileri kullanılarak Trabzon'da aylık ve yıllık metrekareye düşen ortalama güneş enerjisi miktarları hesaplanmıştır. Bu amaçla cal/ $cm^2$  cinsinden olan enerji miktarları, aylık ortalama gündüz süreleri göz önünde bulundurularak kWh/ $m^2$

cinsinden Şekil 1.8'deki gibi elde edilmiştir. Buna göre yıllık  $m^2$ 'ye ortalama 1218 kWh güneş enerjisi düştüğü tespit edilmiştir.



Şekil 1.8. 2006-2010 yılları arası için Trabzon'da  $m^2$ 'ye düşen ortalama enerji miktarları

Ülkemizde 2010 yılı sonu itibariyle şebeke bağlantılı ve şebekeden bağımsız olmak üzere toplam kurulu FV güç miktarı 6 MW olup [75], çeşitli üniversitelerde araştırma uygulama ve araştırma çalışmaları mevcuttur [89]. 2011 Ocak ayında değiştirilen Yenilenebilir Enerji Kanunu ile FV yatırımlarına teşvikler belirlenmiştir. Enerji ve çevre ile ilgili hazırlanan strateji planı ve strateji belgelerinde [76-78] mevcut güneş enerjisi potansiyelinden maksimum derecede istifade edilmesi amaçlanmıştır.

Enerji Bakanlığı tarafından güneş enerjisinden elektrik üretilebilecek bölgeler ve ne kadarlık bir üretime izin verileceği belirlenmiştir. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK) tarafından Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği'nde değişiklik yapılmıştır. Temmuz 2011'de Resmi Gazete'de yayınlanan yönetmeliğe [93] göre, 500 kW'a kadar olan yenilenebilir üretim tesislerinde üretim yapacak gerçek ve tüzel kişiler lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaf tutulmuştur. Yönetmelik kapsamındaki yenilenebilir enerji üretim tesislerinden kurulu gücü 11 kW altında olanların alçak gerilim (AG) seviyesinden, 11 kW üstünde olanlar ise teknik değerlendirmelere göre AG veya yüksek gerilim (YG) seviyesinden şebekeye bağlanabileceği belirtilmiştir.

### 1.5. Fotovoltaik Piller (Güneş Pilleri)

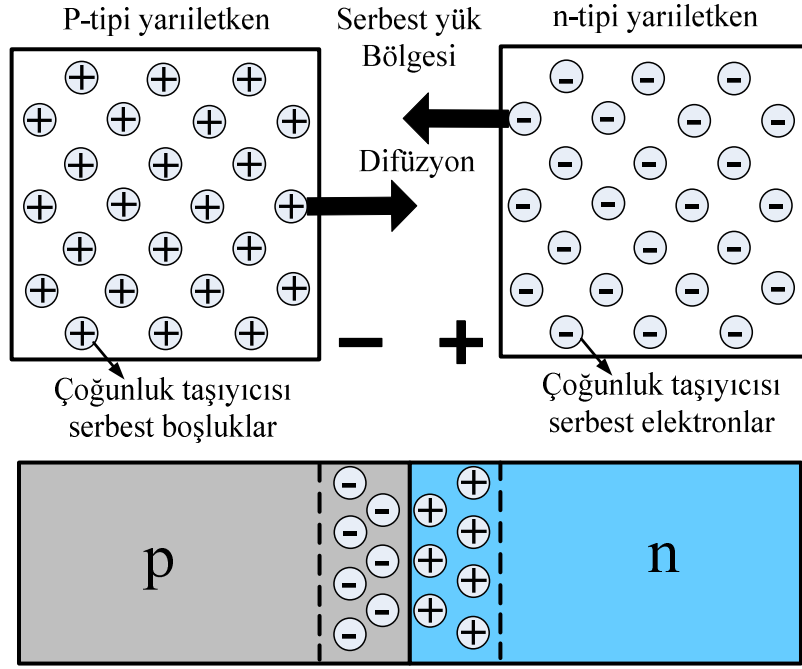
Fotovoltaik (FV) piller veya güneş pilleri, güneş ışığının enerjisini fotovoltaik etki yoluyla doğrudan elektrik enerjisine çeviren yarıiletken malzemeden yapılmış elemanlardır [1, 67 ve 94]. Fotovoltaik kelimesi Yunanca ışık anlamına gelen *photo* ve elektriksel gerilim birimi olan *volt* kelimelerinin birleşimi ile oluşmuştur [95]. FV piller elektrik üretmek için bataryalarda olduğu gibi herhangi bir kimyasal tepkimeye veya yakıt pillerinde olduğu gibi herhangi bir yakıtta ihtiyaç duymaz ve elektrik üreten generatörlerde olduğu gibi hareketli parçalar ihtiva etmezler [94].

FV malzemelerin tarihi 1839'da Fransız fizikçi Edmund Becquerel'in içerisinde iki metal elektrot bulunan zayıf bir elektrolit çözeltiyi ışığa maruz bıraktığında gerilimin arttığını gözlemlediği ve yayınladığı [96] deney sonuçlarına dayanır. Bu gelişmeden yaklaşık 40 yıl sonra Adams ve Day katı malzemelerde fotovoltaik etki ile ilgili ilk çalışmayı yaptılar [97] Selenyum'dan yaptıkları fotovoltaik etki ile çalışan piller %1-2 verimle çalışıyordu. Albert Einstein'ın 1904'te açıkladığı ve 1923'te Nobel ödülü aldığı fotovoltaik etkinin teorik olarak açıklanması ve Chokolaskinin kristal silisyum üretme çalışmaları FV pillerin gelişmesinde önemli yere sahiptir. Tüm bu gelişmeler günümüze kadar devam etmiş ve hala devam etmektedir.

FV pillerin yapımında genellikle silisyum yarıiletkeni kullanılmakla beraber, galyum arsenide, kadmiyum tellür, bakır indium diselenid gibi yarıiletkenler de kullanılır [1, 67 ve 82]. FV piller geleneksel diyotların fiziksel yapısında olduğu gibi p-tipi ve n-tipi iki yarıiletken tabakanın birleşiminden oluşan bir fiziksel yapıya sahiptir [84].

Şekil 1.9'da gösterildiği gibi, p-tipi ve n-tipi yarıiletken tabakalar bir araya getirildiğinde p-n birleşimi (junction) elde edilir. Bu birleşme ara yüzünde, n-tipi yarıiletkenin çoğunluk taşıyıcıları olan elektronlar p-tipi yarıiletken tarafına doğru yayılırlar ve ayrıldıkları kısım pozitif yüklü hale gelir. p-tipi yarıiletkenin çoğunluk taşıyıcıları olan boşluklar da n-tipi yarıiletken bölgesine doğru yayılarak ayrıldıkları kısmın negatif yüklü hale gelmesine neden olurlar. Böylece p-n birleşiminde serbest yük bölgesi adı verilen bir bölge oluşur ve bu bölgede bir gerilim bariyeri dolayısıyla bir elektrik alanı meydana gelir [1, 98].



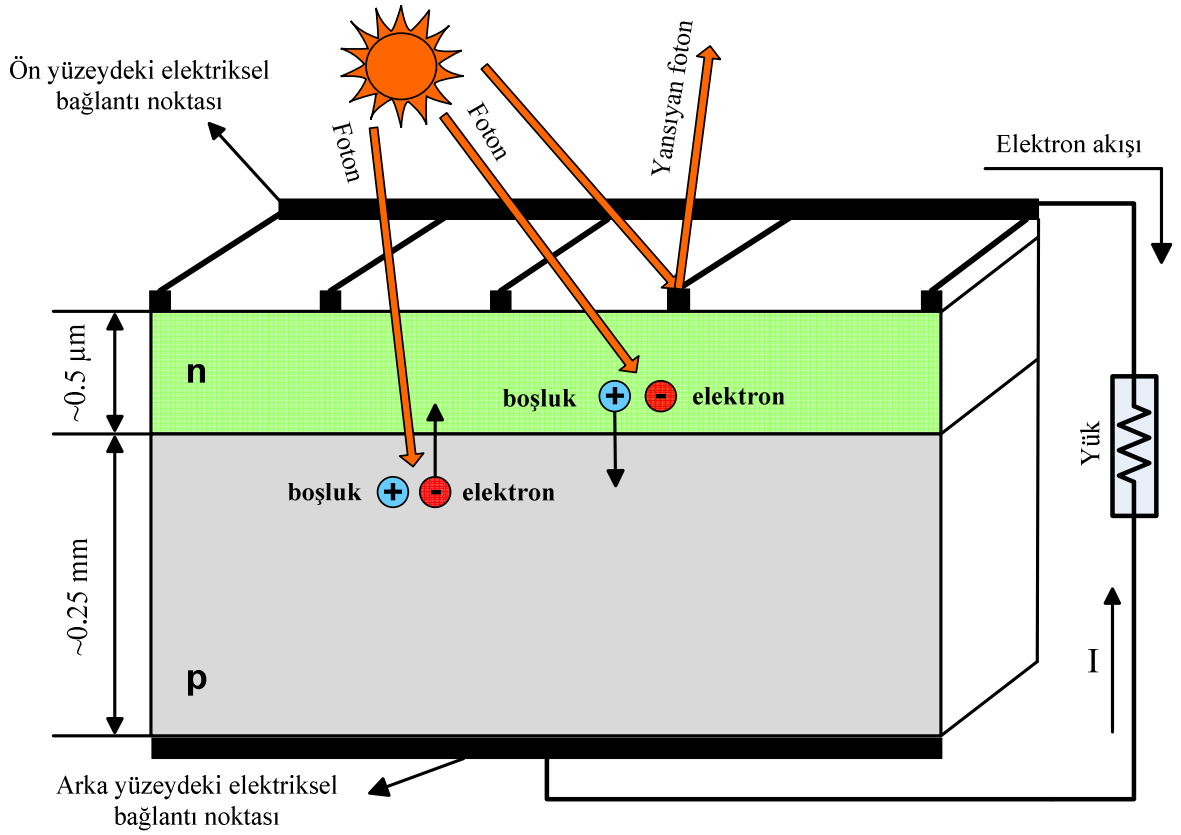


Şekil 1.9. n tipi ve p-tipi silisyum yarıiletkenlerinde birleşim bölgesi

Fotovoltaik piller, p-tipi ve p-tipi yarıiletkenle oranla çok daha ince olan n-tipi yarıiletken tabakaların birleşiminden oluşur. Fotovoltaik pilin arka yüzeyindeki elektriksel bağlantı pilin tüm yüzeyini kaplayacak şekilde yerleştirilirken, fotovoltaik pilin ön yüzeyi fotovoltaik pil yüzeyine gelen ışıktan daha fazla istifade etmek için ince şeritler halinde elektriksel bağlantı noktaları yerleştirilir.

Fotovoltaik etki ile elektriksel akım ve gerilimin oluşması Şekil 1.10'da görülmektedir. Güneş ışığının fotonları fotovoltaik pil malzemesi üzerinde p-katkılı ve n katkılı malzemelere ve bu iki malzemenin birleşim noktasına (jonksiyon) düştüğünde, fotonun enerjisi bant aralığı enerjisinden fazla ise, elektron boşluk çiftleri oluştururlar. Eğer fotonun enerjisi bant aralığı enerjisinden küçük ise foton enerjisi elektron-boşluk çifti oluşturamaz ve ısı enerjisine dönüşür. Fotonun oluşturduğu elektron boşluk çiftleri serbest yük bölgesinde bulunan elektrik alanı etkisiyle birbirlerinden ayrışarak harici olarak bulunan yük üzerinden geçerek akım oluştururlar. N-tipi yarıiletkende fotonun oluşturduğu elektron boşluk çiftlerinden boşluklar, birleşim bölgesindeki elektrik alanı etkisiyle p-tipi yarıiletken bölgesine sürüklenirler. P-tipi yarıiletken bölgesinde oluşan elektron boşluk çiftlerinden elektronlar ise birleşim bölgesindeki elektrik alanının etkisiyle n-tipi yarıiletken bölgesine sürüklenerek dış devrede mevcut bulunan yükün üzerinden dolaşarak yolunu tamamlarlar [1,98].

PN birleşiminden oluşan diyotlarda, birleşim noktasında meydana gelen gerilim bariyeri, pn birleşiminin ileri yönlü kutuplandırılması ile azalırken, ters yönlü kutuplanmada bu gerilim bariyeri daha da artar. İleri yönlü kutuplanmada pn birleşimindeki gerilim bariyerinin azalması ve ortadan kalkmasıyla devreden elektrik akımının akması pn yarıiletkenlerinin çoğunluk taşıyıcıları tarafından sağlanır. Fotovoltaik pillerde ise fotovoltaik etki ile oluşan elektrik akımında belirleyici olan p ve n tipi yarıiletken tabakalarda bulunan azınlık taşıyıcılarıdır [1,67 ve 98].



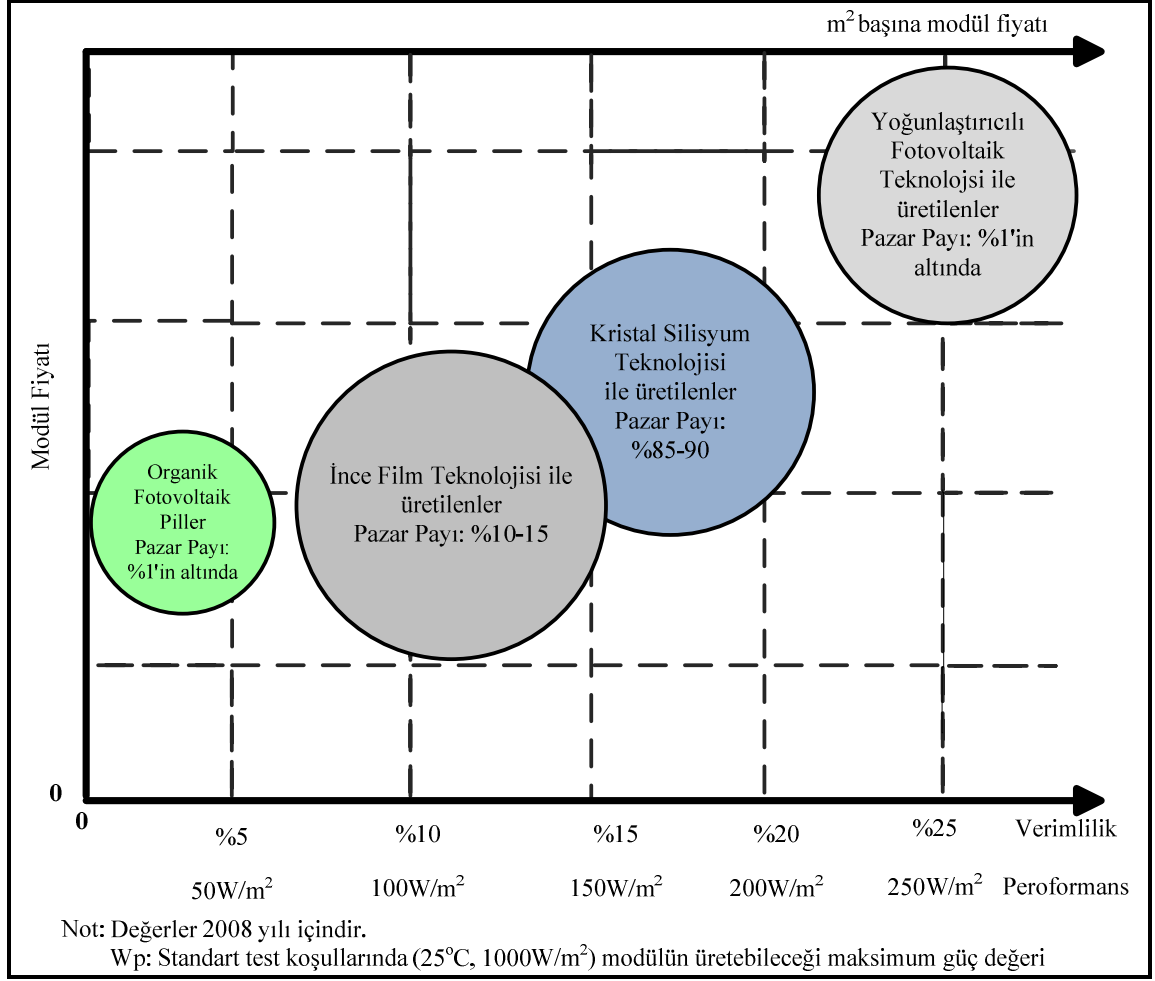
Şekil 1.10. Güneş pilinde fotovoltaik etki ile elektrik akımı oluşması [1,67 ve 98].

Fotovoltaik piller, yapım teknikleri, kullanılan malzemeler vb. gibi birçok değişkene göre sınıflandırılabilir. Fotovoltaik piller yapıldıkları malzemelerin kalınlığı bakımından kristal silisyumdan yapılanlar ve ince film şeklinde yapılanlar olarak kabaca ikiye ayrılabilir [1 ve 99]. Kristal silisyumdan yapılan ve ince film yapısında olan FV piller, üretim teknolojileri, verimleri, avantaj ve dezavantajları, kullanım yerleri ve pazar payları bakımından Tablo 1.1’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Bunlardan başka tekli kristal yapıya sahip silisyum ile ince tabaka amorfus silisyumun (a-Si) birleşiminden oluşan hibrit fotovoltaik piller de mevcuttur. Hibrit fotovoltaik pillerin ortasında tekli kristal yapıya sahip silisyum bulunur ve bunun her iki tarafı a-Si ile kaplanır. Hibrit fotovoltaik pillerle, çoklu kristal yapıya sahip fotovoltaik pillerle karşılaştırıldığında yıllık % 7 daha fazla enerji elde edilebilmektedir [1].

Bununla birlikte şu an geliştirme aşamasında olan yoğunlaştırıcı teknolojisine sahip fotovoltaik piller (*concentrated photovoltaics* (CPV) ) ve organik fotovoltaik pil çalışmaları da mevcuttur. CPV teknolojisinde optik toplayıcı ile güneş ışınları yüksek verimli küçük fotovoltaik pillerin üzerine düşürülerek elektrik üretiminin gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Optik toplayıcı fotovoltaik piller ve organik fotovoltaik pillerin geliştirilme süreçleri devam etmektedir [87].

Şekil 1.11'de çeşitli üretim teknolojisi ile üretilen fotovoltaik pil modüllerinin verimleri, fiyatları, metrekareye düşen modül fiyatları, pazar payları görülmektedir.



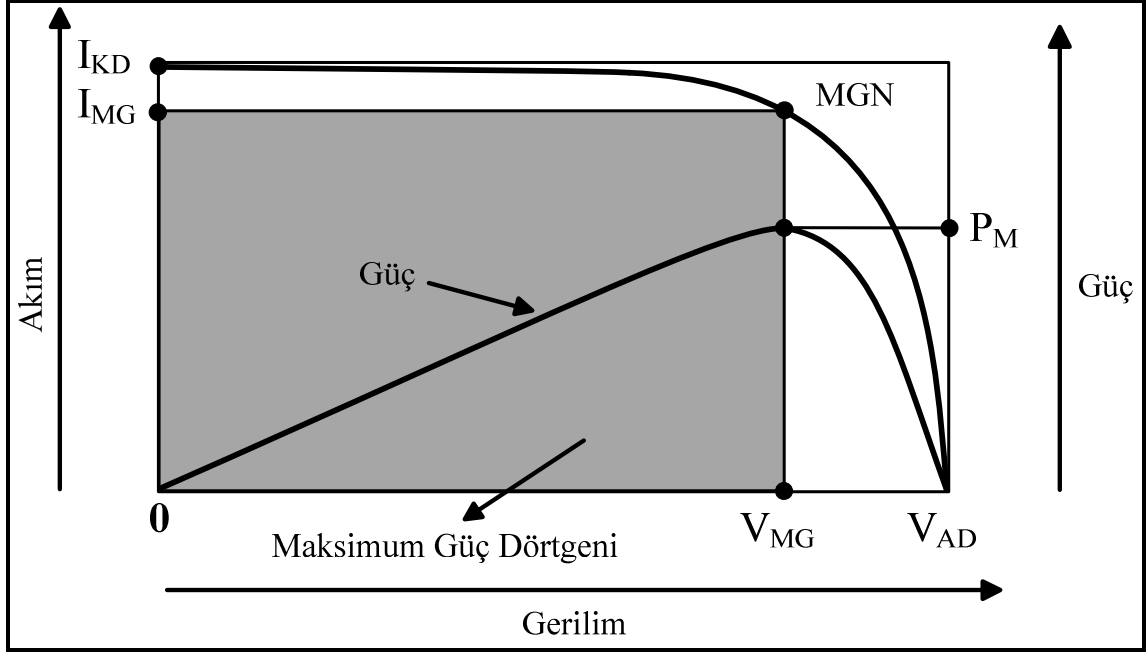
Şekil 1.11. Farklı üretim teknolojileri ile üretilen fotovoltaik modüllerin fiyat ve verimlilikleri [87].

Tablo 1.1. Fotovoltaik pil teknolojileri ve karşılaştırılması [87, 100-101].

	Kristal Silisyum teknolojisi ile üretilen fotovoltaik pillerden oluşturulan paneller(modüller)	İnce Film teknolojisi ile üretilen fotovoltaik pillerden oluşturulan paneller (modüller)
<b>Üretim Teknolojisi ve Verimleri</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tekli kristal silisyum (mono-crystalline silicon) (% 14-20)</li> <li>• Çoklu kristal silisyum (poly-crystalline silicon) (%13-15)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amorphus Silisyum(a-Si) (%6-9)</li> <li>• Bakır İndium Diselenid(CIS) (%10-12)</li> <li>• Cadmium Telluride (CdTe) (%9-11)</li> </ul>
<b>Avantajları</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verimliliği daha yüksektir</li> <li>• Daha az yer kaplar</li> <li>• Uzun yıllar performansını korur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Üretim maliyetleri daha azdır</li> <li>• Gölgenmeye karşı daha az etkilenir</li> <li>• Daha az sıcaklık duyarlılığına sahiptir</li> <li>• Kullanım alanları çok daha geniştir.</li> </ul>
<b>Dezavantajları</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maliyeti daha yüksektir</li> <li>• Kullanım alanları sınırlıdır</li> <li>• Gölgenme durumlarından daha fazla etkilenir</li> <li>• Sıcaklık duyarlılığı daha fazladır.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Şebeke bağlantılı Fotovoltaik Sistemler</li> <li>• Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Sistemler</li> </ul>
<b>Uygulama Yerleri</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Şebeke bağlantılı Fotovoltaik Sistemler</li> <li>• Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Sistemler</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daha çok taşınabilir sistemlerde</li> <li>• Şebeke bağlantılı Fotovoltaik Sistemlerde</li> </ul>
<b>Pazar Payları</b>	%85-90	%10-15

### 1.5.1. Fotovoltaik Pillerden FV Panel ve FV Dizilerin Elde Edilmesi

Bir fotovoltaik pilin (hücrenin) ürettiği gerilim ve akım dolayısıyla güç oldukça küçük değerdedir. Tipik bir fotovoltaik pilin belirli bir ışınım ve sıcaklık altında akım-gerilim eğrisi Şekil 1.12’de görülmektedir. Daha fazla güç elde etmek için fotovoltaik piller Şekil 1.13’te gösterildiği ihtiyaç duyulan güce göre seri-paralel bağlanarak fotovoltaik panel (modül) elde edilir. Seri bağlı FV pil sayısı panelin gerilim değerini belirlerken, paralel bağlı FV pil sayısı panelin akımını belirler. Fotovoltaik panellerin seri ve paralel bağlanması ile de fotovoltaik diziler elde edilir [99]. FV panel veya FV dizilerin akım-gerilim, güç-gerilim eğrileri, panelin tamamının aynı ışınım ve sıcaklık altında olması ve hücrelerin özdeş olması koşulu ile Şekil 1.12’deki tek bir FV pilin eğrileri ile benzer karakteristiğe sahiptirler. Değişen sadece belirli bir ışınım ve sıcaklık altında üretililecek maksimum güç, kısa devre akımı ve açık devre gerilimidir.



Şekil 1.12. Tipik bir FV pilin akım-gerilim ve güç gerilim eğrileri

Şekil 1.12’de tipik bir FV pilin güç-gerilim ve akım-gerilim eğrilerinde belirtilen değişkenler aşağıda açıklanmış olup, bunlar FV pilin veya bu pillerin seri-paralel bağlanmasıyla oluşan FV panellerin karakteristiklerini temsil ederler.

$V_{AD}$  : FV pilin uçları açık devre durumunda iken belirli bir ışınım ve sıcaklık altında ürettiği gerilim değeridir. Bu gerilime FV pilin açık devre gerilimi denir.

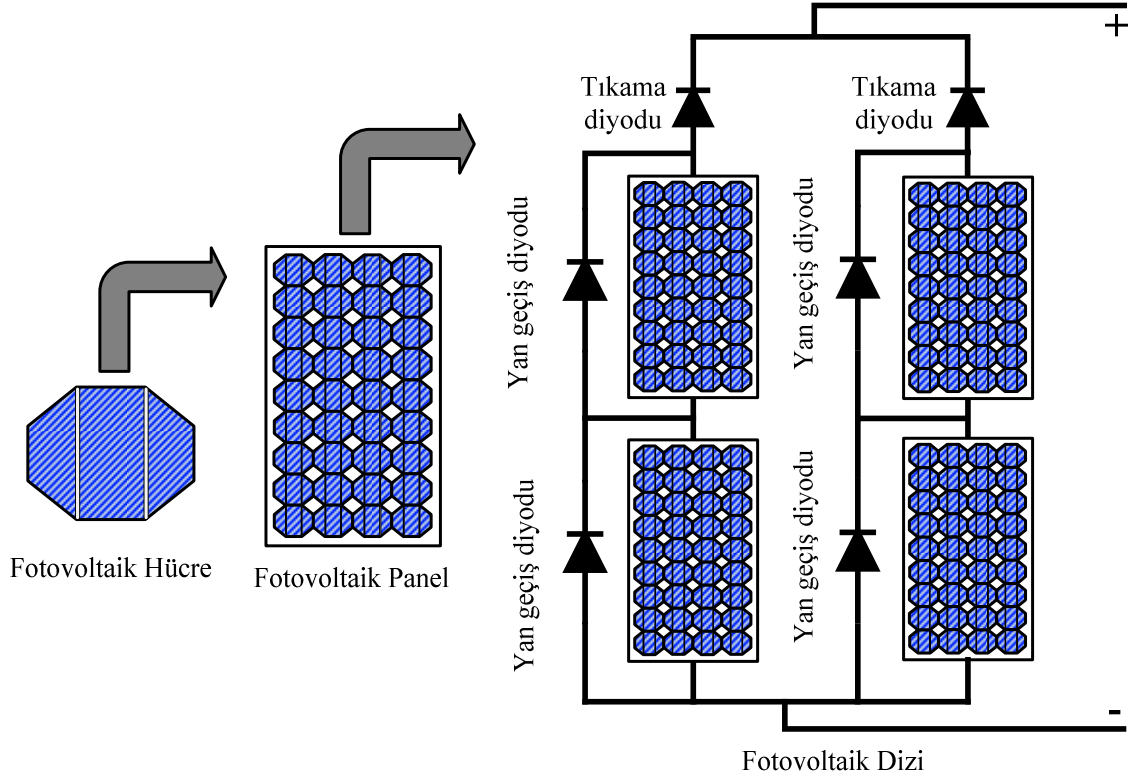
$I_{KD}$  : FV pilin uçları kısa devre durumunda iken, FV pilin verebileceği en yüksek akım olup, FV pilin kısa devre akımı olarak adlandırılır.

$P_M$  : Belirli bir ışınım ve sıcaklık altında FV pilin üretebileceği maksimum güç değeridir.

$I_{MG}$  : FV pilin maksimum güç sağlayacağı akım değeri.

$V_{MG}$  : FV pilin maksimum güç sağlayacağı gerilim değeri.

MGN : Maksimum güç noktası. Bu noktada FV pil, maksimum güç elde edilecek akım ve gerilim değerinde çalışmaktadır.

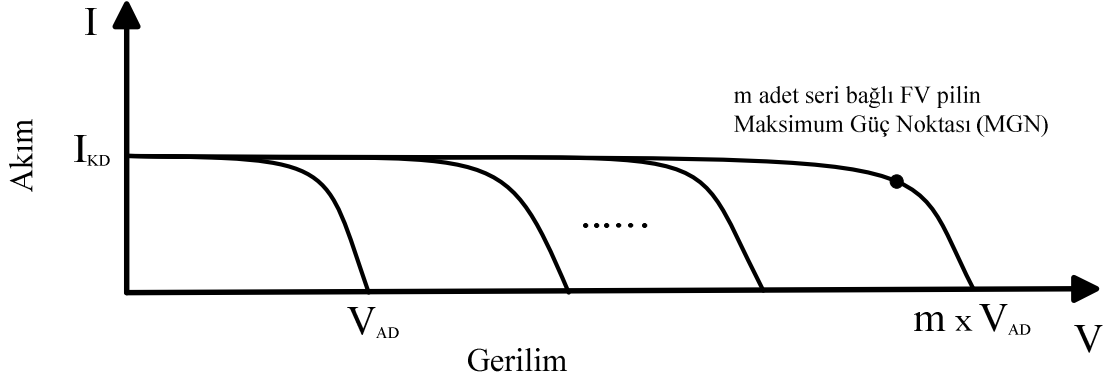


Şekil 1.13. Fotovoltaik pillerden panel ve dizi oluşturulması [1, 98-99].

Şekil 1.13'te FV pillerden FV dizi elde edilmesi şematik olarak verilmiştir. FV pillerin bir araya getirilerek panel oluşturma aşamasında ve panellerin bir araya getirilerek dizi oluşturma aşamalarında yan geçiş (bypass) diyodu kullanılır. Seri bağlı FV pil veya panel dizisinde, hücrelerden biri/bölümü veya panellerden bazısı/bazıları üzerinde çevresel nedenlerden dolayı gölgelenme olması durumunda, seri bağlı hat çıkışı bu gölgeli elemanların akım-gerilim değerleri tarafından belirlenir. Oysa gölgelenmeyen kısımdaki FV elemanlarda üretilen akım-gerilim değerleri dolayısıyla güç daha fazladır. İşte gölgelenme durumunda seri hat çıkışından daha fazla güç akışı elde etmek üzere yan geçiş diyotları kullanılır. Bununla birlikte akım akışının yalnızca FV üreteçten dış devreye doğru olmasını sağlamak için Şekil 1.13'te belirtilen tıkama diyotları kullanılır [1,98-99].

Seri bağlı pil sayısı üretilebilecek gerilimin artmasını sağlar. Şekil 1.14'te seri bağlı FV pil sayısına göre, FV pilin üretilbileceği gerilimdeki artış, üretilbileceği

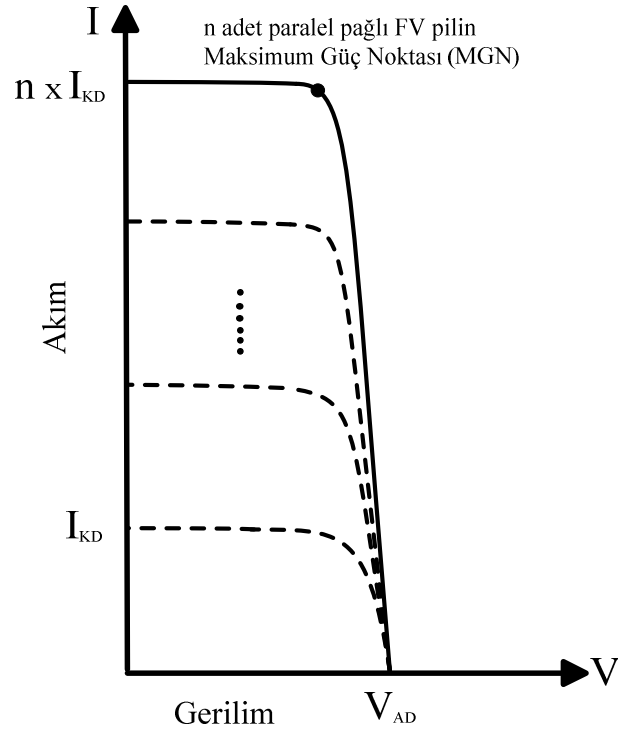
maksimum güçteki artış ve FV pilin akım-gerilim eğrisinde meydana gelen değişimler görülmektedir.



Şekil 1.14. Seri bağlı FV pil sayısına göre akım-gerilim eğrisinin değişimi

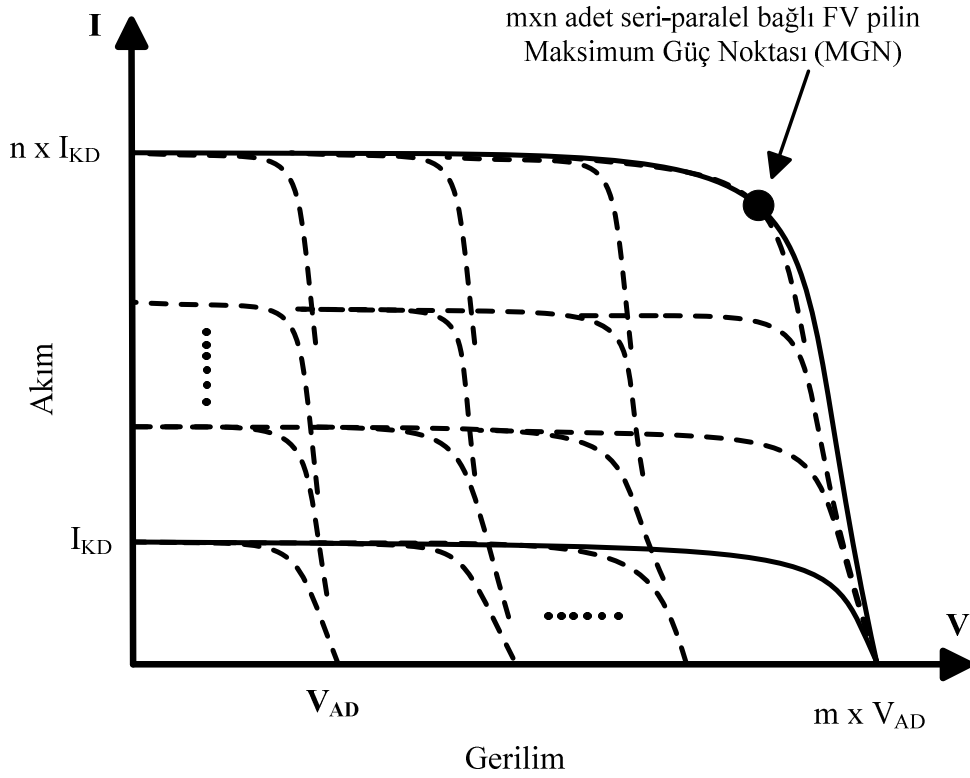
Seri pil sayısı üretilebilecek gerilimin artmasını sağlarken, paralel bağlı pil sayısı ise üretilebilecek akım değerinin artmasını sağlar. Şekil 1.15'te paralel bağlı FV pil sayısına göre üretilebilecek akımdaki artış, üretilebilecek maksimum güçteki artış ve FV pilin akım-gerilim eğrisinde meydana gelen değişimler görülmektedir.





Şekil 1.15. Paralel bağlı FV pil sayısına göre akım-gerilim eğrisinin değişimi

Şekil 1.16'da  $m$  tane seri bağlı,  $n$  tane de paralel bağlı FV pilden oluşan sistemin akım-gerilim eğrilerindeki değişim görülmektedir.

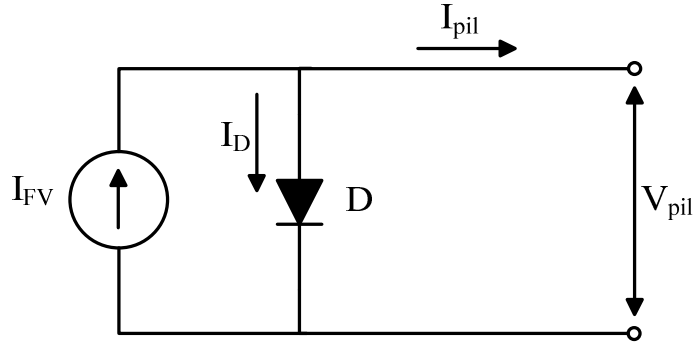


Şekil 1.16. Seri-paralel bağlı FV pil sayısına göre akım-gerilim eğrisinin değişimi

### 1.5.2. FV Pillerin Elektriksel Eşdeğer Devresi

İhtiyaç duyulan akım, gerilim ve gücü sağlamak için oluşturulan FV panel veya FV dizilerin elektriksel özelliklerin yapılan benzetim ile belirlenmesi gereklidir. Ayrıca FV panel veya FV dizisinin değişik ışınım şiddeti ve çalışma sıcaklığı ile gölgelenme durumlarında elektriksel çıkışlarının durumu ve değişiminin belirlenmesi, beslediği yükteki değişimler karşısındaki tepkisinin belirlenmesi ve sistemi verimli ve etkin kullanım için yapılması gerekenlerin önceden tasarlanması için de benzetime ihtiyaç duyulur [102]. Bu nedenle bir FV sistemin benzetiminin yapılabilmesi için, FV pilin elektriksel eşdeğer devre modeline ihtiyaç vardır [52, 102].

FV pillerin çeşitli elektriksel eşdeğer devreleri mevcuttur [1, 82, 102-103]. En basit eşdeğer devre modeli Şekil 1.17'de görülmektedir ve ideal model olarak isimlendirilmektedir [1]. Burada FV pil, bir akım kaynağı ve bir diyotla modellenmiş olup akım kaynağı, FV pil üzerine düşen ışıkla orantılı üretilen akımı temsil ederken, diyot FV pilin akım-gerilim karakteristiğini belirler [52].

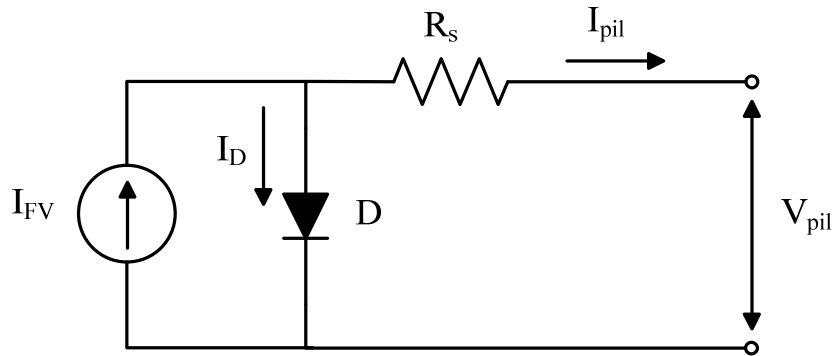


Şekil 1.17. İdeal FV pil eşdeğer devre modeli

FV pilin PN birleşimi ile bağlantı terminalleri arasında meydana gelen gerilim düşümünü temsil etmek üzere ideal modeldeki elemanlara ilaveten  $R_s$  direnci içeren FV pil elektriksel eşdeğer devresi Şekil 1.18'de görülmektedir ve basit model olarak isimlendirilmektedir [1, 82]. Bir FV pilde seri direncin neden olduğu kayıplar % 1'in altındadır ve seri direncin değeri eşitlik 1.1'de ifade edildiği gibidir [99].

$$R_s < \frac{0.01V_{AD}}{I_{KD}} \quad (1.1)$$

Bu tezde yapılan çalışmalarda FV pil elektriksel eşdeğer devre modeli olarak Gow ve Manning tarafından iki diyotlu model için gerçekleştirilen çalışmanın [103], Walker tarafından akım kaynağı, diyot ve seri dirençten oluşan ve Şekil 1.18'de görülen elektriksel eşdeğer devre modeline sadeleştirilmiş hali [52] kullanılmıştır.



Şekil 1.18. FV pilin basit eşdeğer devre modeli

Şekil 1.18'deki FV pil elektriksel eşdeğer devresi için Kirchoff'un akım denklemlerinden eşitlik 1.2 yazılabilir. Shokley diyot denklemleri temelinde eşitlik 1.2 eşitlik 1.3'teki gibi ifade edilebilir [52]. Bir FV pilin ürettiği akım eşitlik 1.4'te ifade edildiği gibi, ışınım şiddeti, pilin çalışma sıcaklığı ve pil gerilimine bağlı olarak değişir [52].

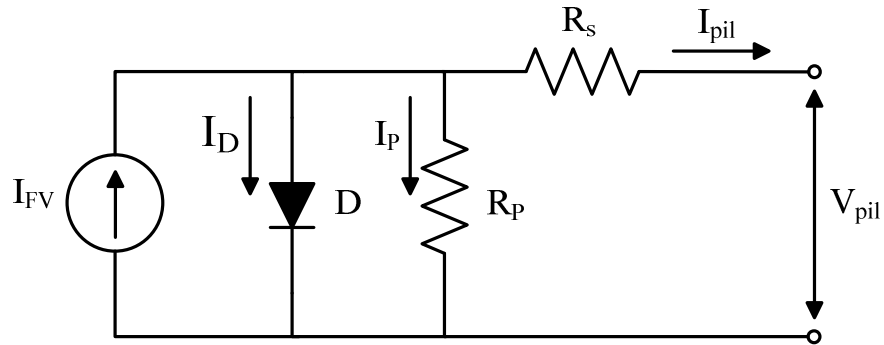
$$I_{pil} = I_{FV} - I_D \quad (1.2)$$

$$I_{pil} = I_{FV} - I_0 \left( e^{\frac{q(V+I R_s)}{nkT_a}} - 1 \right) \quad (1.3)$$

$$I_{FV} = f(V_{pil}, S_x, T_x) \quad (1.4)$$

Kaçak akımları temsil eden  $R_p$  paralel direncin basit modele ilavesiyle standart model veya tek diyotlu model olarak isimlendirilen [1, 82] FV pil elektriksel eşdeğer devresi elde Şekil 1.19'da yer almaktadır. Bir FV pilde paralel direncin neden olduğu kayıplar % 1'in altındadır ve paralel direncin değeri eşitlik 1.5'te ifade edildiği gibidir [99].

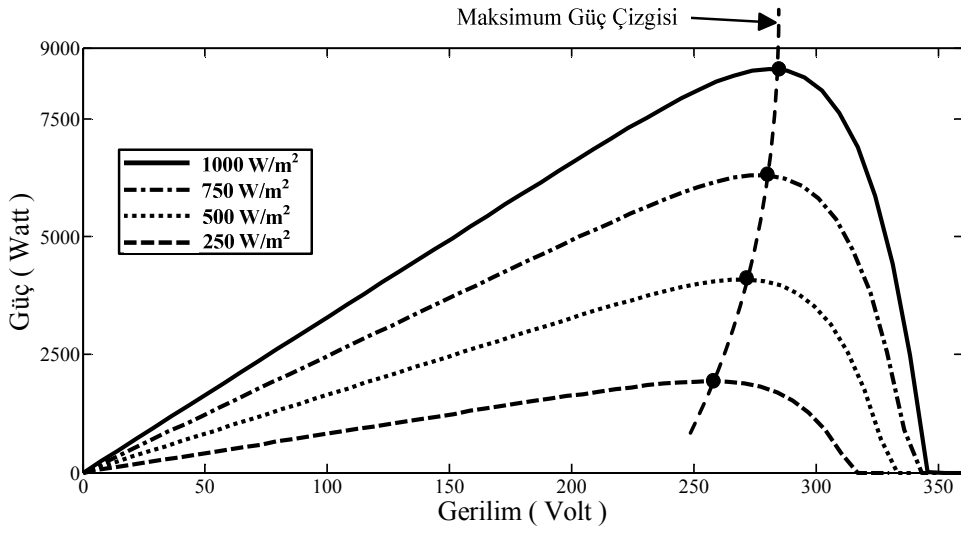
$$R_p > \frac{100V_{AD}}{I_{KD}} \quad (1.5)$$



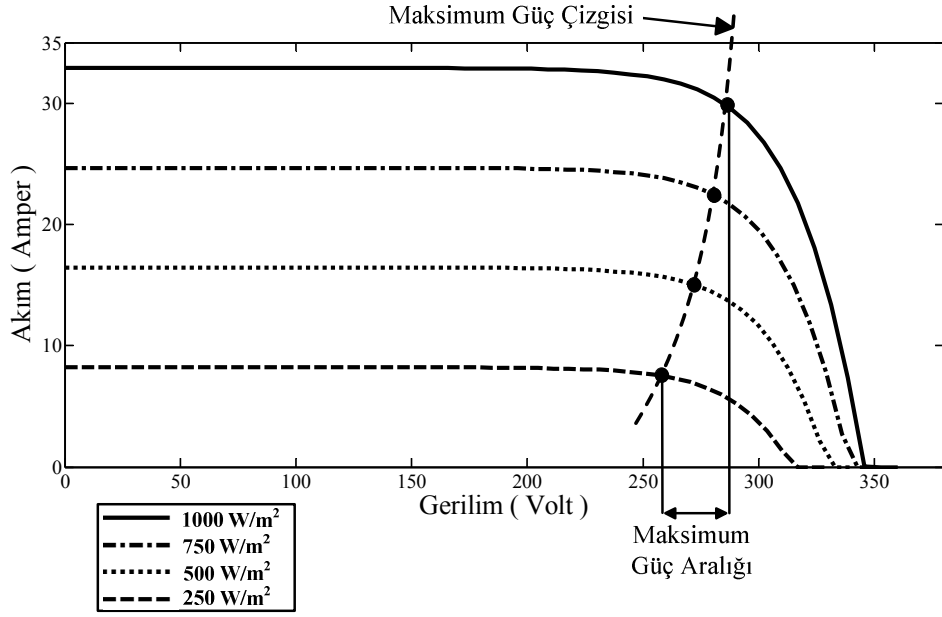
Şekil 1.19. FV pil standart modeli

### 1.5.3. FV Üreteç Gücünün Sıcaklık ve Işınmaya Bağlı Değişmesi

Eşitlik 1.5'te görüldüğü gibi, FV pilin üreteceği akım, sıcaklık ve ışınımına bağlıdır. Dolayısıyla sıcaklık ve ışınımın değişmesiyle FV pilin üreteceği güç de değişmektedir. FV pilin seri – paralel birleşimlerinden oluşan bir FV dizisinin akım-gerilim, ve güç-gerilim eğrilerinin sıcaklık ve ışınımına bağlı olarak değişimleri aşağıdaki şekillerde yer almaktadır.

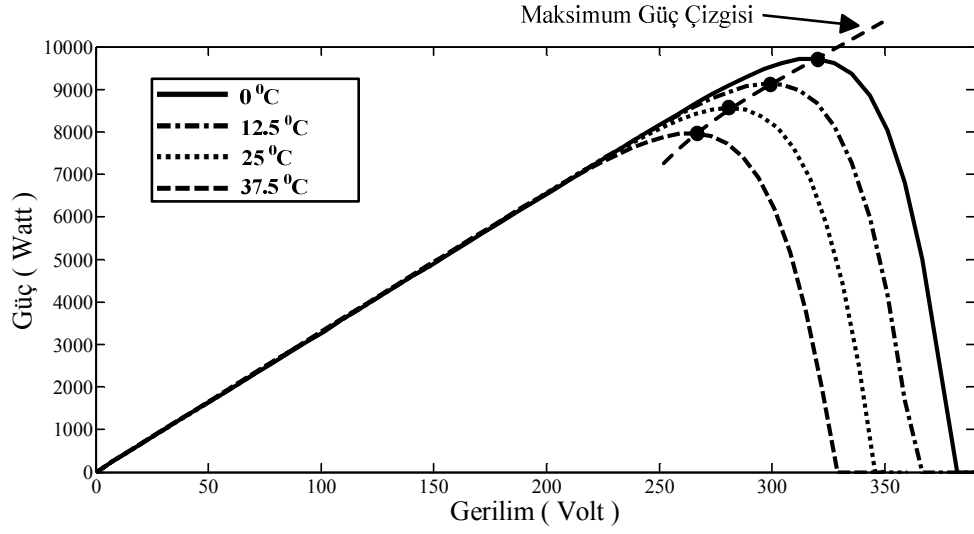


Şekil 1.20. Sabit sıcaklık altındaki FV dizisinin değişik ışınımlardaki güç-gerilim eğrileri

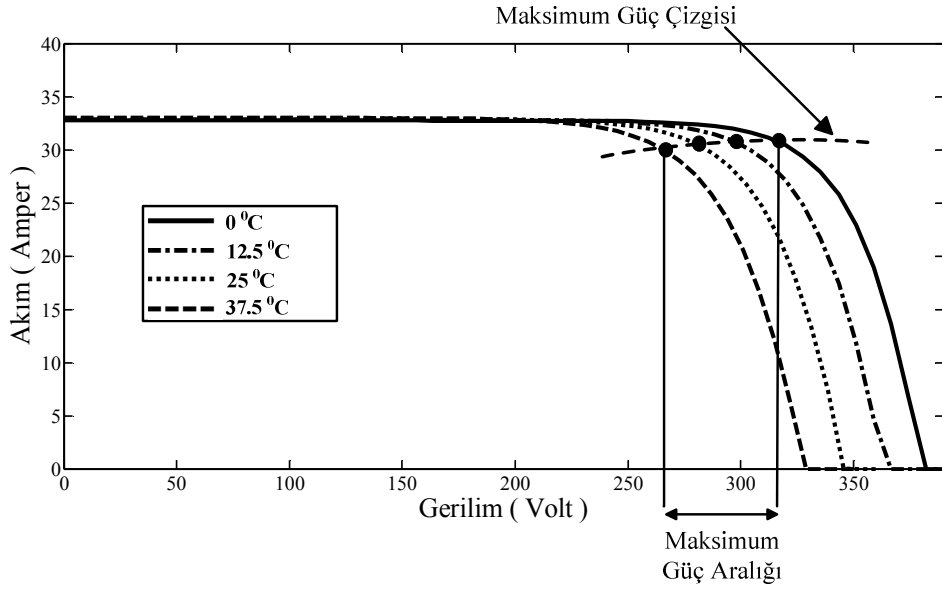


Şekil 1.21. Sabit sıcaklık altındaki FV dizisinin değişik ışınımlardaki akım-gerilim eğrileri

Şekil 1.20 ve Şekil 1.21’de 25 °C sabit sıcaklıktaki bir FV panel dizisinin farklı ışınım değerlerinde güç-gerilim ve akım-gerilim eğrilerinin değişimi görülmektedir. Işınımın artması durumunda FV panel dizisinin üretebileceği maksimum güç de artmaktadır. Aynı zamanda kısa devre akımı ve açık devre gerilimi değerleri de değişmektedir. Şekil 1.21’den görüleceği üzere, ışınımdaki değişiklik FV dizisinin üretebileceği akım değerinde büyük bir değişime neden olmuştur.



Şekil 1.22. Sabit ışınım altındaki FV dizisinin değişik sıcaklıklardaki güç-gerilim eğrileri



Şekil 1.23. Sabit ışınım altındaki FV dizisinin değişik sıcaklıklardaki akım-gerilim eğrileri

Şekil 1.22 ve Şekil 1.23'te  $1000 \text{ W/m}^2$  sabit ışık seviyesi altındaki bir FV panel dizisinin farklı sıcaklık değerlerinde güç-gerilim ve akım gerilim eğrilerinin değişimi görülmektedir. Şekillerden de görüleceği üzere, sıcaklığın artması, FV panel dizisinin üretebileceği maksimum gücün azalmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda sıcaklığa bağlı olarak FV panel dizisinin kısa devre akımı ve açık devre gerilimi değerleri de

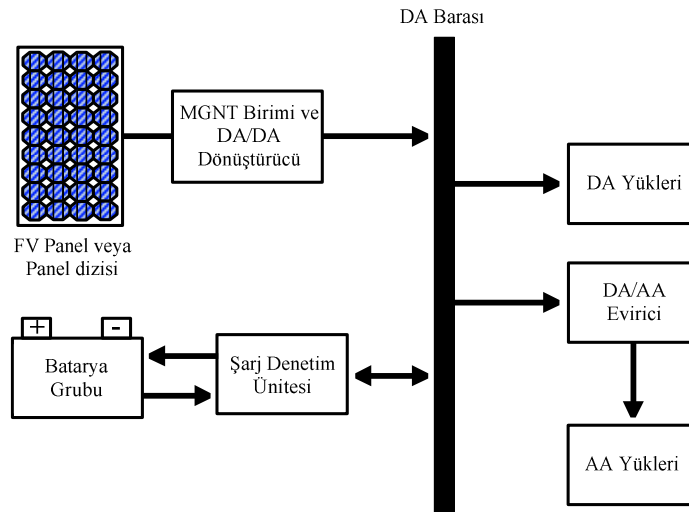
değişmektedir. Şekil 1.23'ten görüleceği üzere, sıcaklıktaki değişiklik, FV dizisinin üretebileceği maksimum güç sağlayan gerilim değerlerinde büyük bir değişime neden olmuştur.

## 1.6. FV Sistemler

FV sistemler, FV üreteç, depolama elemanları (bataryalar), yardımcı güç kaynakları ve yüke/şebekeye bağlantı elemanlarından oluşan, şebekeden bağımsız uygulamalarda ve şebekeye bağlı uygulamalarda elektrik gücü üreten sistemleridir [98].

### 1.6.1. Şebekeden Bağımsız FV Sistemler

Şebekeden bağımsız FV sistemler, elektrikli araçlar, şebekeden uzak yerlerde (dağ evi, iletişim merkezleri, meteorolojik gözlem istasyonları gibi), trafik işaret ve gözlem sistemlerinde, küçük uygulamalarda (saat, hesap makinesi gibi) ve su çıkarma/pompalama sistemlerinde kullanılmaktadır. Şebekeden bağımsız sistemler, yüke yalnız başına bağlanabileceği gibi, güneş ışığının olmadığı zamanlarda güç ihtiyacını karşılamak üzere depolama elemanı ile birlikte de bağlanabilir. Güneş enerjisinin süreksizlik arz etmesinin etkilerini gidermek için, FV üreteçler depolama elemanı ve diğer güç kaynakları ile birlikte karma(hibrit) olarak da güç üretiminde kullanılabilir [1, 98 ].



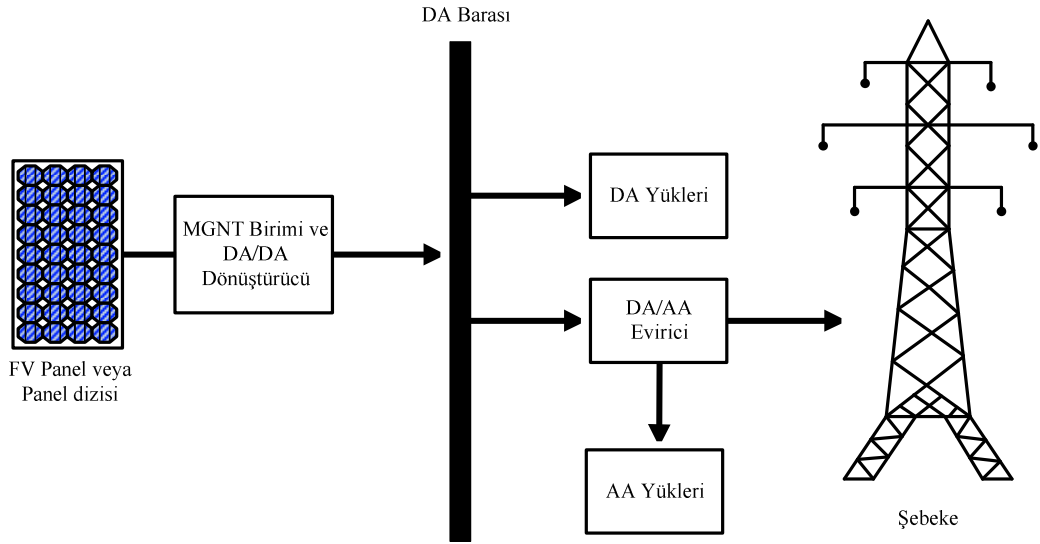
Şekil 1.24. Şebekeden bağımsız FV sisteminin genel yapısı



Şekil 1.24'te depolama elemanı içeren şebekeden bağımsız FV sisteminin genel yapısı yer almaktadır. Depolama elemanı ve FV üreticinin çıkışındaki güç DA biçiminde olduğundan, DA/AA evirici yardımıyla AA yüklerin ihtiyaç duyduğu AA biçimindeki güç sağlanır. Güneş ışığının olmaması veya yetersiz olması durumunda depolama elemanı olarak kullanılan batarya grubu yüklerin ihtiyaç duyduğu gerekli gücü sağlar. Batarya grubunun şarj ve deşarjı şarj denetim ünitesi ile gerçekleştirilir. DA yüklerinin geriliminin sabit tutulması ve ayarlanması amacıyla DA/DA dönüştürücüsünden faydalanılır. Ayrıca FV üreticiden maksimum güç alınması için yapılan elektriksel müdahale ve FV üreticinin çıkış geriliminin sabit tutulması için DA/DA dönüştürücüleri kullanılır.

### 1.6.2. Şebekeye Bağlı FV Sistemler

Şebekeye bağlı FV sistemler, üretim noktasında, doğrudan şebekeye bağlanabileceği gibi, evdeki şebeke bağlantı noktası üzerinden de şebekeye bağlantı yapılarak, şebekeye güç aktarımını gerçekleştirmede kullanılır [1, 98].



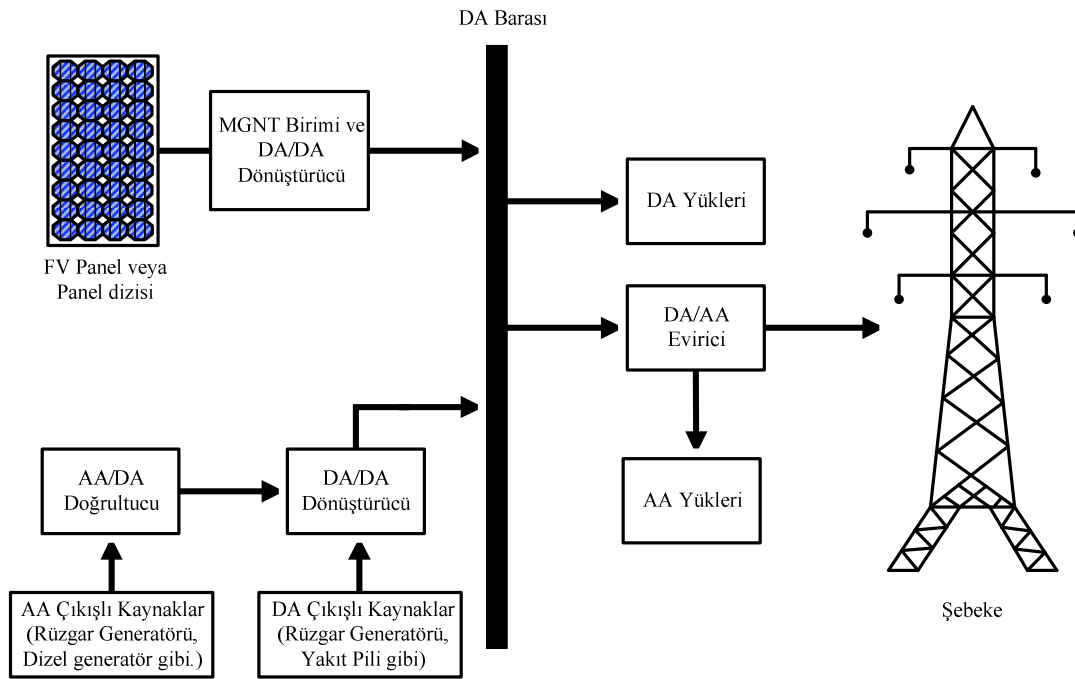
Şekil 1.25. Şebekeye bağlı FV sisteminin genel yapısı

Şebekeye bağlı FV sisteminin genel yapısı Şekil 1.25'te yer almaktadır. FV üreticinin çıkışından maksimum güç alınmasını sağlayan MGNT biriminde DA/DA dönüştürücüler

kullanılır. DA barası geriliminin sabit tutulması için ve DA yüklerinin gerilimin ayarlanmasında da DA/DA dönüştürücülerden faydalanılır. DA barasında DA biçiminde bulunan gücün, AA biçimindeki elektriksel büyüklükler ile çalışan şebekeye aktarımı için DA/AA eviriciler kullanılır.

### 1.6.3. Karma (Hibrit) Sistemler

FV üreteç ile birlikte, diğer güç kaynakları (rüzgar generatörü, yakıt pili, dizel generatörler gibi), gerekli dönüştürücüler, doğrultucular vasıtası ile ortak bir barada birleştirilip, evirici yardımıyla şebekeye AA gücün aktarılması sağlanabilmektedir [98]. Şekil 1.26'da karma FV sistemin genel yapısı görülmektedir.



Şekil 1.26. Şebekeye bağlı karma (hibrit) FV sisteminin genel yapısı

### 1.7. Bataryalar

Bataryalar enerjiyi elektrokimyasal biçimde saklayan elemanlardır [84]. İçerisinde bulunan elektrokimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren bataryalara şarj edilemeyen bataryalar denir. Elektrik enerjisini elektrokimyasal enerjiye çevirebilen (şarj) ve aynı

zamanda bu dönüşümün tersini de gerçekleştirebilen (deşarj) bataryalar ise şarj edilebilir bataryalar olarak adlandırılır [84, 104]. Şarj edilebilir bataryalar, FV sistemlerde güneş ışınımının yeterli olmadığı veya hiç olmadığı durumlarda güç ihtiyacını karşılamak üzere kullanılırlar.

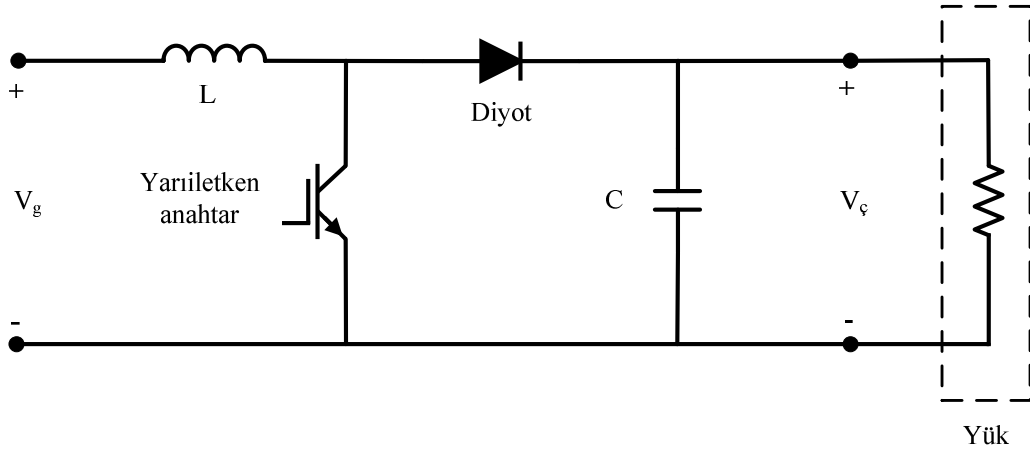
Kullanılan malzeme bakımından çeşitli batarya tipleri vardır (Nikel kadmiyum (NiCd), kurşun asit (lead acid), Nikel metal hidrid (NiMH) , Lityum iyon (Li-ion), Lityum polimer (Li-polymer) gibi) [84, 104]. Batarya kapasiteleri amper-saat (Ampere hours-Ah) cinsinden verilir. Örneğin tam dolu bir 12 V'luk batarya 10 saat boyunca 20 A sağlayabiliyorsa kapasitesi 200 Ah olarak ifade edilir [98].

### **1.8. DA/DA Dönüştürücüler**

DA/DA dönüştürücüler, yarıiletken anahtar ve diyot, kapasite, indüktans gibi çeşitli devre elemanlarından oluşurlar. Çeşitli DA/DA dönüştürücü yapıları mevcut olmakla birlikte, genel olarak DA/DA dönüştürücüler, bünyesinde bulunan yarı iletken elemanın çalışma sıklığının çeşitli yollarla ayarlanması neticesinde girişine uygulanan DA gerilimini kontrollü bir DA çıkışa çevirirler [105 ].

#### **1.8.1. Yükseltici DA/DA Dönüştürücüler**

Yükseltici DA/DA dönüştürücüler, çıkış gerilimi ( $V_c$ ) olarak, giriş geriliminden ( $V_g$ ) daha büyük bir DA gerilimi oluştururlar. Şekil 1.27'de yükseltici DA/DA dönüştürücünün temel yapısı yer almaktadır. Yarıiletken anahtar iletimde iken, diyot ters kutuplanır ve çıkış devresi girişten ayrılırken giriş devresi üzerinden endüktansta enerji depolanır. Anahtar kesime gidince, çıkış devresine hem giriş gerilimi hem de endüktans üzerindeki gerilim uygulanmış olur. Böylece yarıiletken anahtarın iletimde ve kesimde kalma sürelerinin ayarlanmasıyla, çıkış geriliminin seviyesi ayarlanabilir [105].

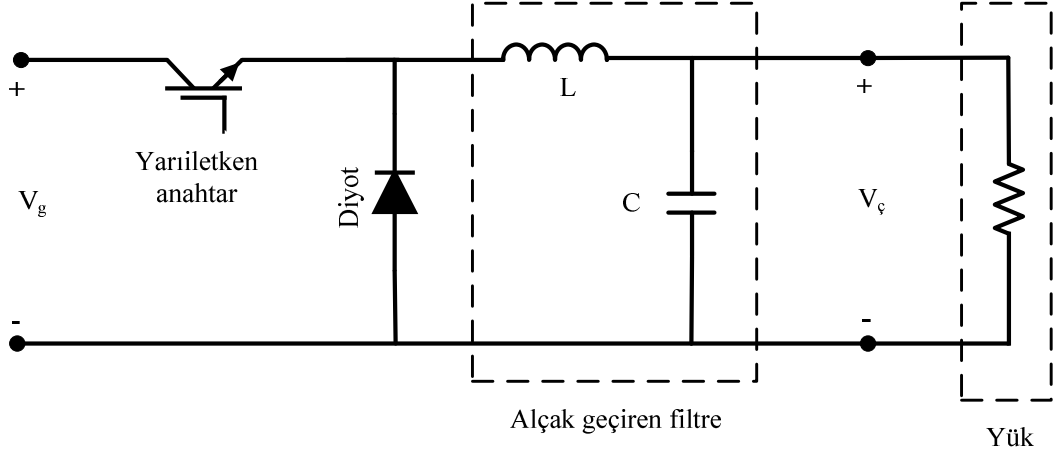


Şekil 1.27. Yükseltici DA/DA dönüştürücünün genel yapısı

Bu çalışmada MGNT sisteminde, elektriksel müdahale elemanı olarak avantajlarından dolayı [52-54] yükseltici DA/DA dönüştürücü kullanılmıştır.

### 1.8.2. Düşürücü DA/DA Dönüştürücüler

Düşürücü DA/DA dönüştürücüler, çıkış gerilimi ( $V_ç$ ) olarak, giriş geriliminden ( $V_g$ ) daha düşük bir DA gerilimi oluştururlar. Yarıiletken anahtarın iletimde ve kesimde kalma sürelerinin ayarlanmasıyla, çıkışa ortalama gerilim değeri giriş geriliminden daha düşük bir gerilim aktarılmış olur. Ancak anahtarın açık olması durumunda çıkış gerilimi 0 iken, anahtar kapalı konumda iken çıkış gerilimi giriş gerilimine eşit olur. Bu durumun önüne geçmek için dönüştürücü çıkışında alçak geçiren bir filtre kullanılır. Böylece dönüştürücü çıkışında ortalama değeri giriş geriliminden düşük olan ve kesikli bir formda olmayan DA gerilimi elde edilmiş olur [105]. Düşürücü DA/DA dönüştürücünün yapısı Şekil 1.28'de yer almaktadır.

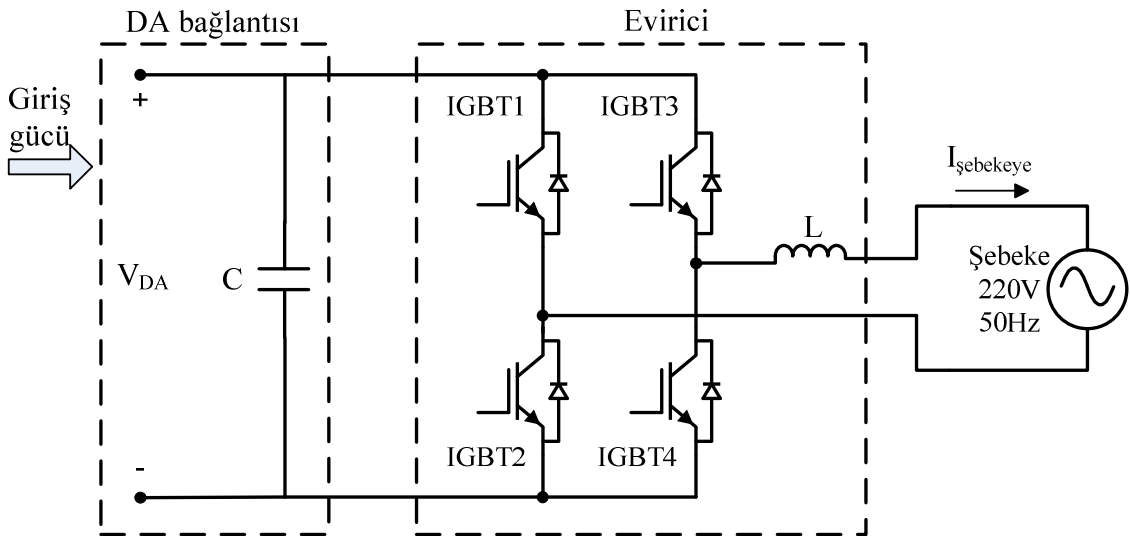


Şekil 1.28. Düşürücü DA/DA dönüştürücünün genel yapısı

Bu çalışmada FV üreteç ve bataryanın bağlı olduğu DA barasının gerilim değerini sabit tutmak ve DA yüklerinin gerilim değerlerini sabit tutmak için düşürücü DA/DA dönüştürücü kullanılmıştır.

### 1.9. DA/AA Eviriciler

Eviriciler, DA biçiminde olan akım ve gerilimi AA biçimine çeviren güç elektroniği devreleridir [105]. Şekil 1.29'da şebekeye bağlı tek fazlı bir eviricinin genel devre yapısı görülmektedir.

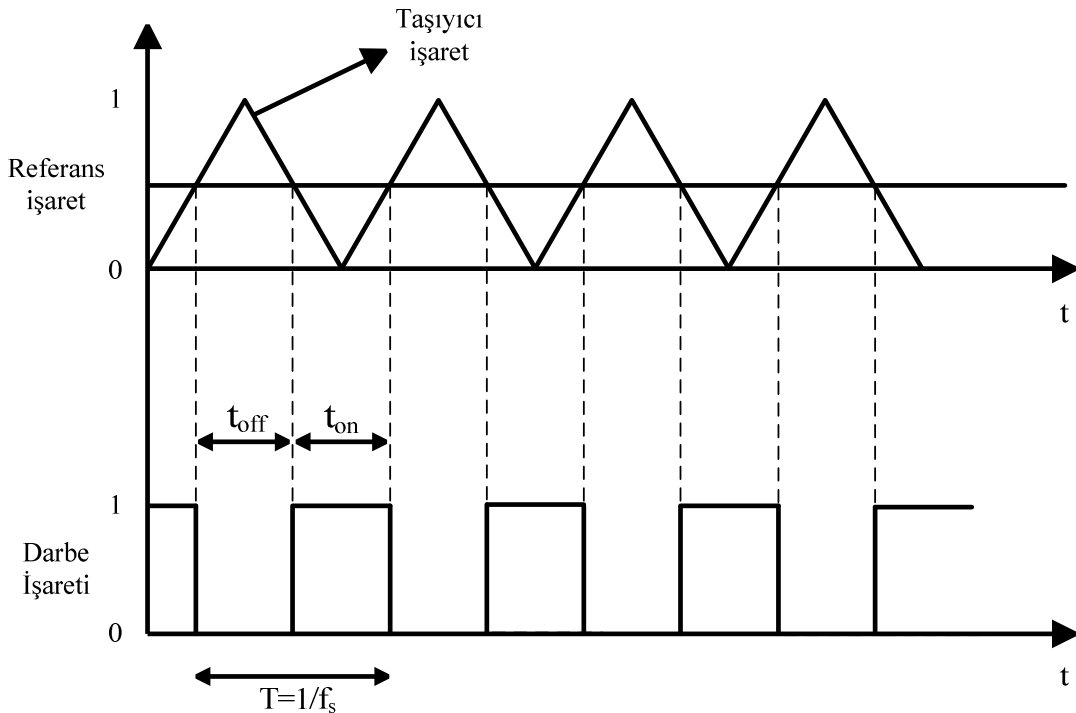


Şekil 1.29. Şebekeye bağlantılı bir eviricinin genel yapısı [106].

### 1.10. Darbe Genişlik Modülasyonu

Darbe genişlik modülasyonu (DGM), referans bir işaret ile belirli bir frekansa sahip taşıyıcı işaretin karşılaştırılması neticesinde anahtarlama süresinin belirlenmesi tekniğidir. Referans işaret, DA/DA dönüştürücüsünün anahtarlama süresinde [107] kullanılmak üzere denetleyici çıkışından gelen bir işaret olabileceği gibi evirici uygulamalarında [108] kullanılmak üzere sinüzoidal bir işaret de olabilir. Taşıyıcı işaret ise, belirli bir frekanstaki üçgen, testere dişi gibi işaretlerdir.

DA/DA dönüştürücülerde bulunan yarıiletken anahtarın iletimde ve kesimde kalma süresi, dönüştürücünün çıkış geriliminin değişmesini sağlar. Yükseltici dönüştürücülerde anahtarın iletimde kalma süresi arttıkça, çıkış gerilimi de artar. Düşürücü DA/DA dönüştürücülerde ise anahtarın iletimde kalma süresi artırılarak, dönüştürücü girişindeki gerilim daha fazla kısılmış olur ve dönüştürücü çıkışında giriş gerilimine göre daha düşük bir ortalama gerilim elde edilir. Yarıiletken elemanın görev periyodunun ne olacağını belirten referans sinyal ile sabit bir frekansa sahip taşıyıcı işaret karşılaştırılarak, MGNT sistemlerinde kullanılan DA/DA dönüştürücüsünün anahtarlama süresi ayarlanabilmektedir [2, 4].



Şekil 1.30. Darbe genlik modülasyonu ile anahtarlama sürelerinin ayarlanması

Sabit bir frekansa ( $f_s$ ) sahip üçgen taşıyıcı işaret ile referans işaretin karşılaştırılması neticesinde anahtarın iletim ve kesim sürelerinin belirlenmesi Şekil 1.30'da görülmektedir. Referans işaretin genliği taşıyıcı işaretin genliğinden büyük olduğu süre zarfı yarıiletken anahtar iletimde kalacağı süreyi belirlemektedir. Taşıyıcı işaretin genliğinin referans işaretin genliğinden büyük olduğu süre ise anahtarın kesimde kalacağı süreyi belirlemektedir. Anahtarın kesimde ve iletimde kaldığı süreye göre, anahtarın görev periyodu eşitlik 1.6'da ifade edilmektedir.

$$D = \frac{t_{on}}{T} \quad (1.6)$$

### 1.11. Maksimum Güç Noktası Takip (MGNT) Sistemleri

FV üreticinin üretebileceği maksimum güç ve bu gücü sağlayan akım-gerilim değerleri sıcaklık ve ışımla birlikte değişmektedir. Bu durum Şekil 1.20, 1.21, 1.22 ve 1.23'te görülmektedir. FV üreticilerin verimleri çok yüksek değildir ve fiyatları geçmiş yıllara göre azalmış olsa da alışlagelmiş/geleneksel elektrik üretim yöntemlerine göre pahalıdır. Bu yüzden maksimum güç elde edilecek şekilde çalıştırılmaları oldukça önemlidir. Zira kurulumları yüksek maliyetler isteyen ve geleneksel elektrik üretim sistemlerine göre verimleri düşük olan FV sistemlerden maksimum derecede yararlanmak varken hiç kimse daha az verimle çalıştırmak istemez. İşte bu yüzden, ışımlı miktarı ve sıcaklığın değişmesi durumunda FV pilin üretebileceği maksimum gücün tespiti ve bu maksimum güç noktasında çalıştırılması gereklilik arz etmektedir.

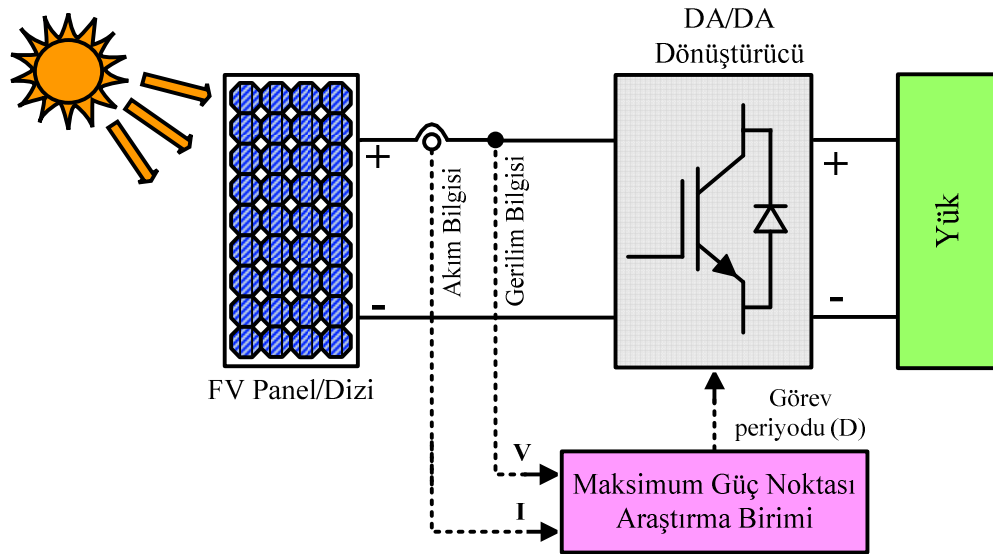
FV üreticinin maksimum güçte çalışmasını temin etmek üzere geliştirilen maksimum güç noktası takip (MGNT) sistemleri [2, 4-5, 9-10, 18-19] mevcuttur. MGNT sistemi içeren FV sistemden alınan enerjinin MGNT sistemi içermeyen FV sisteme göre % 45 daha fazla olduğu tespit edilmiştir [109].

MGNT sistemlerinin temel olarak iki mekanizmadan oluştuğu söylenebilir. Bunlardan birincisi, FV üreticinin verebileceği maksimum gücün veya bu gücü sağlayacak parametrenin/parametrelerin belirlenmesidir. MGNT sisteminin ikinci önemli birimi ise FV üreticinin maksimum güçte çalışmasını temin edecek elektriksel müdahaledir.

Literatürde birçok maksimum güç noktası (MGN) araştırma yöntemleri ve FV üreticinin bu maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayacak çeşitli elektriksel müdahale yöntemleri bulunmaktadır. MGNT sistemleri ve MGNT sistemlerinde kullanılan elektriksel müdahale yöntemleri ile ilgili bilgiler literatür araştırması bölümünde verilmiş olup, [52-54] yükseltici DA/DA dönüştürücü kullanımının avantajlarını bildirmektedir. Bu bölümde MGN araştırma yöntemleriyle ilgili genel bilgiler verilir, önerilen bulanık mantık tabanlı MGNT sistemiyle karşılaştırılan geleneksel değiştir-gözle algoritmasından bahsedilecektir.

### 1.11.1. Maksimum Güç Noktası Araştırma Yöntemleri

MGN araştırma yöntemleri doğrudan ve dolaylı olmak üzere ikiye ayrılabilir [2]. Dolaylı MGN araştırma yöntemlerinde, MGN, FV üretece ait akım ve gerilim bilgisinin yanı sıra, ışınım, sıcaklık, FV üretece ait karakteristikler gibi veriler kullanılarak ya da deneysel veriler ışığında sayısal analiz ve matematiksel yöntemlerle tahmin yoluyla bulunur. Doğrudan MGN araştırma yöntemleri ise, yalnızca FV üretece ait akım ve gerilim bilgisini kullanarak çeşitli algoritmalar veya esnek hesaplama yöntemleri (soft-computing) ile MGN'ni tespit ederler [2]. Doğrudan MGN araştırma tabanlı MGNT sisteminin genel yapısı Şekil 1.31'de görülmektedir.

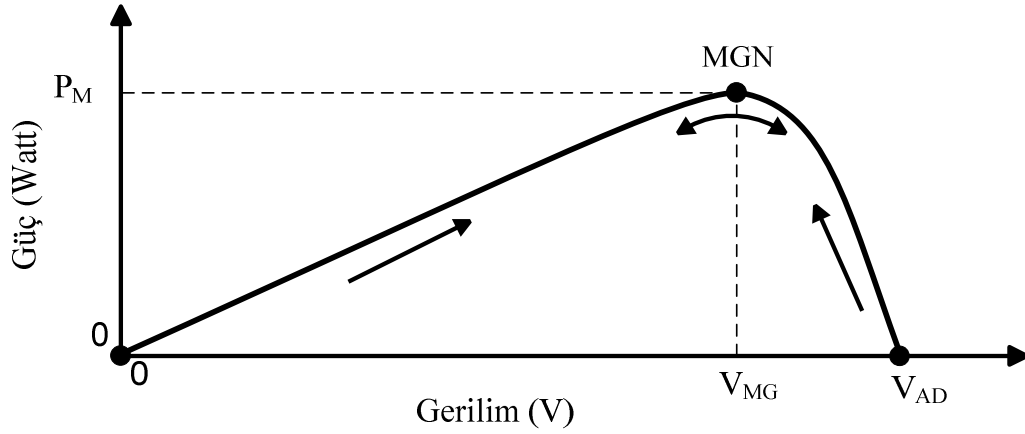


Şekil 1.31. Doğrudan MGN araştırma tabanlı MGNT sisteminin genel yapısı



### 1.11.1.1. Geleneksel-Değiştir Gözle Algoritması

Doğrudan MGN araştırma yöntemlerinden değiştir-gözle (P&O-Perturb and Observation) metodu, uygulama kolaylığından dolayı [3] pratikte en çok kullanılan yöntemdir [2, 4-5]. Değiştir-gözle algoritması literatürde tepe tırmanma algoritması olarak da adlandırılmaktadır. Her iki yöntem de aynı mantıkla çalışmakta ancak sisteme etki etme biçimleri farklıdır. Tepe tırmanma algoritmasında DA/DA dönüştürücüsüne uygulanacak olan görev periyodu belirlenir ve dönüştürücüye direkt olarak uygulanır. Değiştir-gözle algoritmasında ise FV üreticinin maksimum güç üreteceği gerilim değeri belirlenerek, bu gerilim değerini sağlayacak olan görev periyodu, DA/DA dönüştürücüsüne bir denetleyici üzerinden uygulanmaktadır [4, 6].



Şekil 1.32. Bir FV üreticinin güç-gerilim eğrisi

Şekil 1.32'deki FV üreticinin güç-gerilim eğrisi incelenirse;

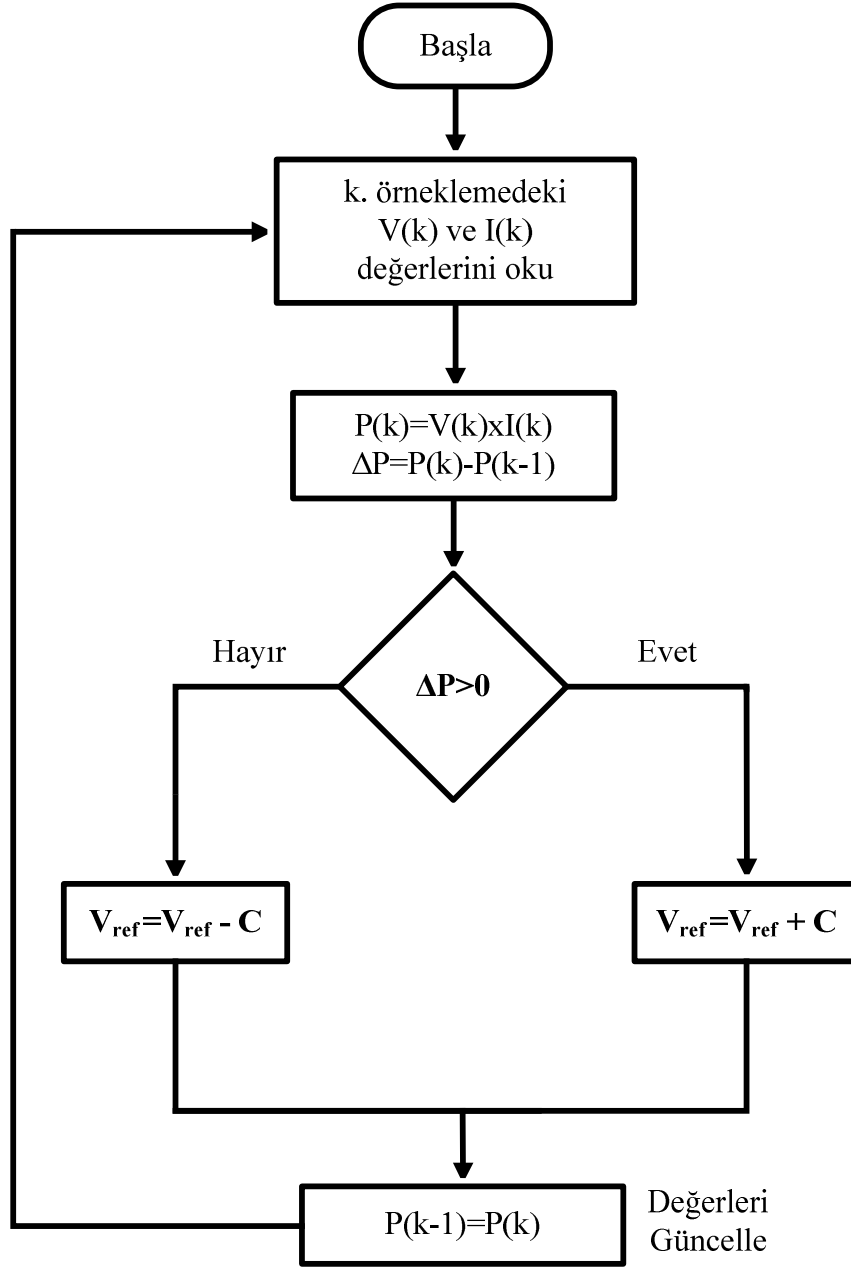
- Maksimum güç noktasının (MGN) sol tarafında;  
gerilim arttığında → güç artmakta,  
gerilim azaldığında → güç azalmaktadır.
- Maksimum güç noktasının (MGN) sağ tarafında ise;  
Gerilim arttığında → güç azalmakta,  
Gerilim azaldığında → güç artmaktadır.

Akış diyagramı Şekil 1.33'te yer alan değiştir-gözle algoritmasında, algoritmanın her adımını için FV üreticinin maksimum güç üreteceği gerilim veya akım değerine sabit bir

değişken (arama adımı) (C) vasıtası ile artım veya azaltım yapılır. Bu durum maksimum güç noktasına ulaşılan kadar devam eder. Gerilim değiştirildiğinde güçte bir artma var ise değişim aynı yönde devam eder, eğer güçte bir azalma söz konusu ise değişim yönü tersine çevrilir.

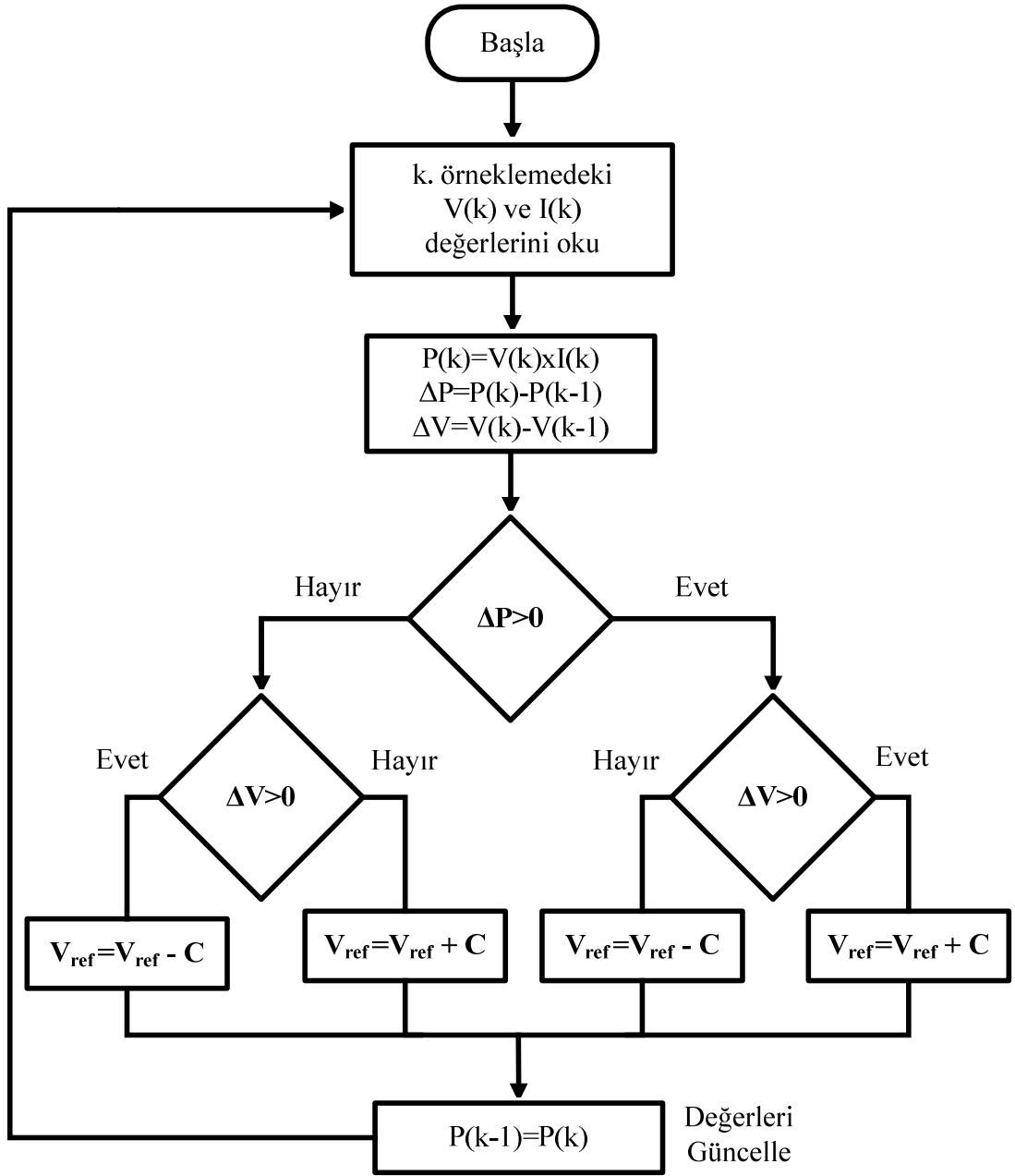
Ancak algoritmanın yapısı, Şekil 1.32’de gösterildiği gibi maksimum güç noktası civarında bir salınımaya yol açar. Her adımda bir değişiklik üreten sabit değişkenin küçük olması, maksimum güç noktası civarındaki salınımları azaltırken, maksimum güce ulaşma süresini arttırır. Tam tersi durumda ise maksimum güç noktasına çok daha hızlı ulaşılır ancak maksimum güç noktası civarında güçte meydana gelen salınımlar daha çok artar [2, 4-6, 9].

Bir diğer değiştir-gözle algoritması ise, gerilimin durumunu da göz önünde bulunduran bir yapıya sahiptir [5]. Bu algoritmanın yapısı ise Şekil 1.34’te görülmektedir.



Şekil 1.33. Değiştir-gözle algoritması akış diyagramı [2].

Değiştir-gözle algoritmasının maksimum güç noktası civarında güçte meydana getirdiği salınımları ortadan kaldırmak için bu yöntemlerin geliştirilmiş biçimleri önerilmiştir [14-17]. Bu yöntemlerde sabit adım yerine değişken adımlar kullanılmaktadır. Bu değişken adımların belirlenmesi FV üreticinin parametrelerine bağlıdır, ayrıca yöntemin karmaşıklığını artırmaktadır ve hızını azaltmaktadır [9].



Şekil 1.34. Değiştir-gözle algoritması akış diyagramı [5].

### 1.12. Bir Esnek Hesaplama Tekniği: Bulanık Mantık

Hayatımızda cereyan eden birçok olayda ifadelerimiz ve duygularımız kesin olmayan, bulanık bir yapıya sahiptir. Hayatımızda meydana gelen bu kesinlik içermeyen belirsiz durumlar, beynimiz tarafından değerlendirilir ve karara bağlanır. Günlük yaşamda sıkça kullandığımız ifadelerden, sıcak, soğuk, güzel, çirkin, hızlı, küçük,

büyük, biraz, çok fazla, az, azıcık, çok az, aşırı fazla, yaşlı, genç, orta yaşlı, gibi birçok terim belirsiz, bulanık bir yapıya sahiptir. Bu ifadelerin sahip oldukları sayısal değerler veya ölçütleri onları anlamlı kılar. Bu sayısal değerler veya ölçütler kesinlik yani ikili mantıktan uzaktır ve kişiden kişiye değişir. Örneğin, elektronik devreler üzerine çalışan bir kişi için birkaç amperlik akım değerleri çok büyük akım olarak ifade edilirken, güç üretim tesislerinde çalışan bir kişi için birkaç amper oldukça küçük olarak ifade edilir. Kimimiz orta yaşlı insanları tanımlarken 35-45 yaşları arasını orta yaşlı olarak ifade ederken, bir başkası 30-50 yaşları arasını orta yaşlı olarak ifade edebilir. Bununla birlikte bu bulanık değerler veya ölçütlere göre karşılaşılan durumlarda kararlar üretilir. Misal olarak, aracımızın hızı yavaş ise gaz pedalına biraz daha fazla basarız, hızımızı biraz düşürmek için fren pedalına biraz basarız, hızımızı çok fazla azaltmak istiyorsak fren pedalına çok fazla basarız.

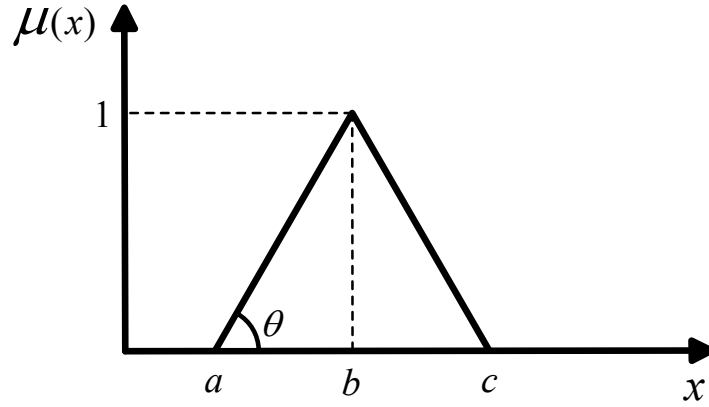
Yukarıda ifade edilen belirsizlik içeren bulanık ifadeler ile ilgili 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından yayınlanan makale [110] ile bulanık mantık ve bulanık küme teorisi geliştirilmiştir. Mamdani ve arkadaşlarının bulanık mantığın kontrol sistemlerinde uygulanabilirliği ile ilgili yayını [111] ile bulanık mantığa olan ilgi gitgide artmıştır. Japonların 1980 yılının ikinci yarısından itibaren ürünlerinde bulanık mantığı kullanması ile bulanık mantığa ilgi hız kazanmıştır ve günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır [112].

Zadeh, yapay sinir ağları, bulanık mantık, evrimsel hesaplama, olasılıkçı akıl yürütme gibi yaklaşımların hepsini birden esnek hesaplama yöntemleri (soft-computing) olarak adlandırmış [113] ve klasik (geleneksel) yöntemlere göre kesinlik içermeyen belirsizliğin hâkim olduğu alanlarda çok daha uygun olduğu ifade edilmiştir. Bulanık mantık, sözcüklerle hesaplamaya dayalı [114] bir esnek hesaplama yöntemi olup kesin akıl yürütme yerine yaklaşık akıl yürütmeye odaklanmaktadır [115]. İki değerli mantıkta (Aristo mantığında) her şey ya doğrudur ya da yanlıştır. Bulanık mantıkta ise, izin verilen her şeyin doğruluğu kesin olarak ayrıma tabi tutulmaz, derecelendirilir [115].

### **1.12.1. Bulanık Kümeler**

Bulanık mantık ve bulanık kümelerin kurucusu olarak kabul edilen Zadeh tarafından 1965'te yayınlanan makalede [110] açıklanan bulanık kümeler, bulanık ifadelerin temsilini ve bulanık kümedeki elemanların o kümeyle ait olma derecelerini

(üyelik derecelerini) içermektedir. Bulanık kümeler, üçgen, yamuk, sigmoid, çan vb. üyelik fonksiyonları ile ifade edilmektedir [115]. Bu tezde MGNT için geliştirilen bulanık mantık denetleyicide, üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Üçgen üyelik fonksiyonunun matematiksel ifadeleri aşağıda yer almaktadır [116]:



Şekil 1.35. Üçgen üyelik fonksiyonu

Şekil 1.35'teki üçgen üyelik fonksiyonu için x eksenini gösterirken y-ekseni üyelik derecelerini ( $\mu(x)$ ) belirtmektedir. Bu üyelik fonksiyonunu a, b ve c değerleri ile eşitlik 1.7'deki gibi tanımlanabilir:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (1.7)$$

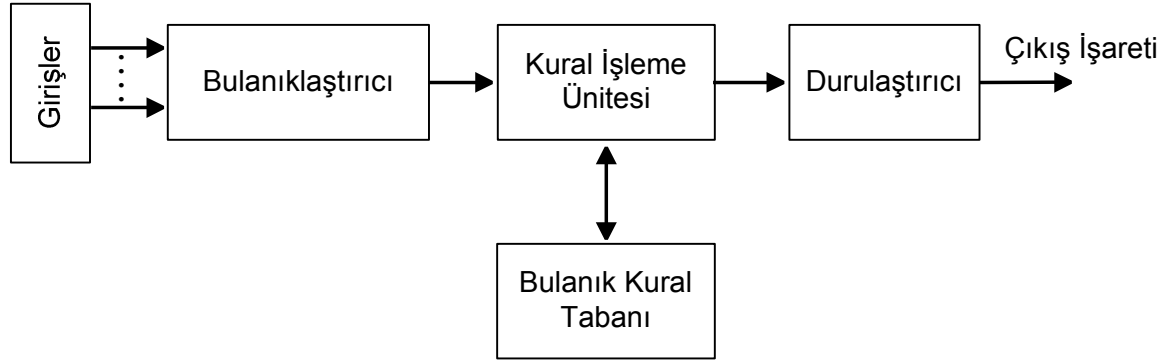
Eşitlik 1.7 daha kısa yazılmak istenirse eşitlik 1.8 elde edilir.

$$\mu(x) = \max \left[ \min \left( \frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b} \right), 0 \right] \quad (1.8)$$

### 1.12.2. Bulanık Mantık Denetleyiciler

Bulanık küme teorisi temelli olan bulanık mantık denetleyiciler (BMD), operatörün bilgi ve tecrübesinin dilsel değişkenler yardımıyla bulanık kümeler şeklinde ifade edilmesi ve “eğer...ise” temelli kuralların işlenmesine dayalı denetleyicilerdir. BMD ile operatör, sistemin dinamikleri ve matematiksel modeline ihtiyaç duymadan, sadece sistem çıkışına bakarak bilgi ve tecrübesine göre sistem girişini ayarlamaktadır [117].

BMD, bulanıklaştırıcı, kural tabanı ve durulaştırıcı birimlerinden oluşur.



Şekil 1.36. BMD'nin temel yapısı [115, 117].

BMD'nin ilk elemanı olarak bulanıklaştırıcı birimi devreye girerek kendisine uygulanan kesin girişleri, bu girişler için tanımlanan üyelik fonksiyonlarını kullanarak bulanıklaştırır [118]. Bulanıklaştırma işlemi sonucunda kesin girişlerin tanımlanan bulanık kümelerdeki üyelik dereceleri elde edilir.

Şekil 1.37'de bulanıklaştırma işleminin nasıl gerçekleştiğini anlamamızı sağlayan bir örnek yer almaktadır. Bu örnekte BMD'nin girişine uygulanan x ve y kesin girişlerinin kendilerine ait tanımlanan üyelik fonksiyonları tarafından bulanıklaştırılma işlemi görülmektedir. BMD girişleri (x,y) ve çıkışı (z) için tanımlanan bulanık kümeler aşağıdaki gibi adlandırılmıştır:

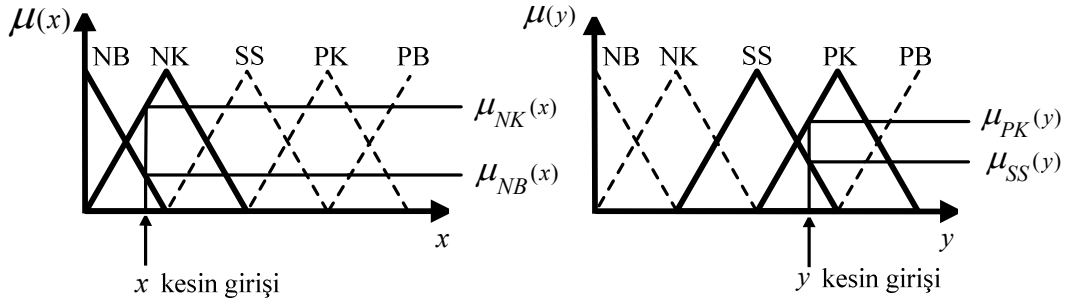
NB: Negatif Büyük

PK: Pozitif Küçük

SS: Sıfır

PB: Pozitif Büyük

NK: Negatif Küçük



Şekil 1.37. Bulanıklaştırma işlemi

Kural tabanı biriminde, bulanıklaştırıcıdan gelen kesin girişlere ait bulanık değerler kural tabanı biriminde hazır bulunan ve önceden belirlenen “eğer.... ise” (*if-then-else*) biçimine sahip koşullu cümleleriyle ifade edilen kurallar ile bulanık bir sonuç elde edilir [118]. Bulanık sonuçlandırma işlemi için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu çalışmada Mamdani bulanık sonuçlandırma yöntemi kullanılmıştır. Mamdani bulanık sonuçlandırma yöntemi, kural tabanındaki kuralların belirlenmesinde minimum alma işlemi gerçekleştirmektedir. Bulanıklaştırma biriminde elde edilen bulanık değerler için aşağıdaki bulanık kuralların olduğu durumu göz önüne alalım:

Eğer x NK ve y PK ise z NK

Eğer x NK ve y SS ise z SS

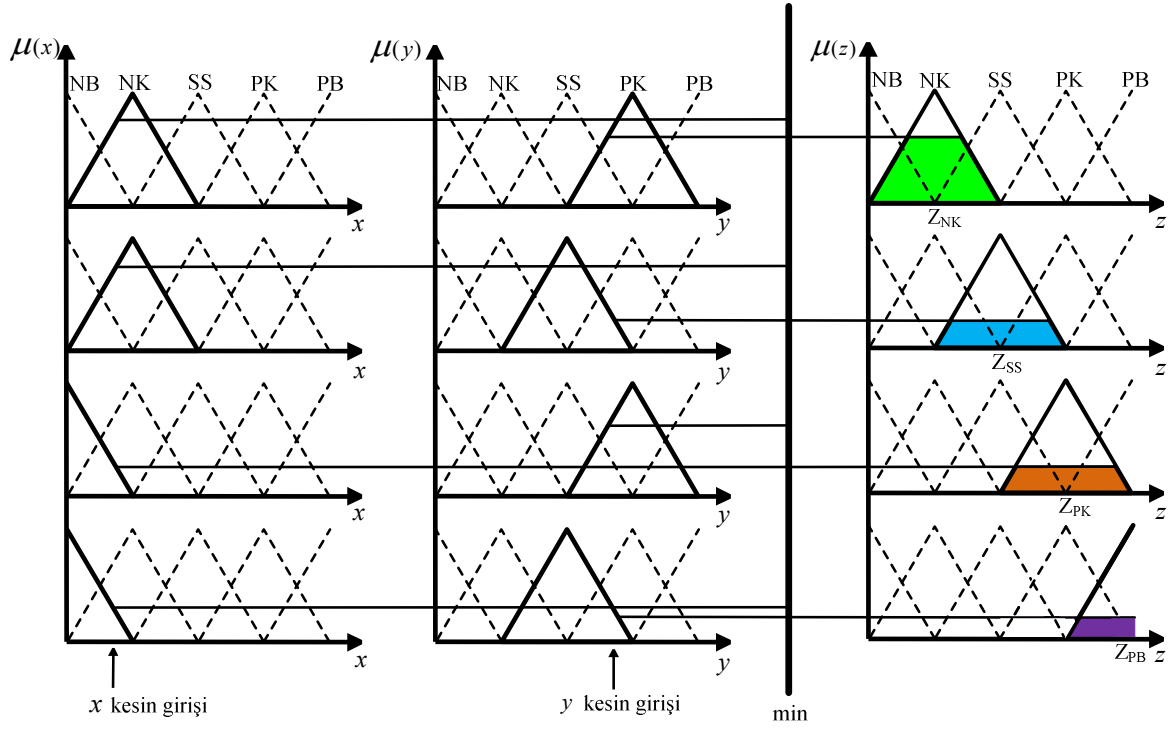
Eğer x NB ve y PK ise z PK

Eğer x NB ve y SS ise z PB

Bu kurallara göre, Mamdani yöntemine göre bulanık sonuçlandırma işlemi Şekil 1.38’de gösterildiği gibi yapılır. Kısaca matematiksel ifadesi ise eşitlik 1.9’da yer almaktadır.

$$\mu(z) = \min [\mu(x), \mu(y)] \quad (1.9)$$



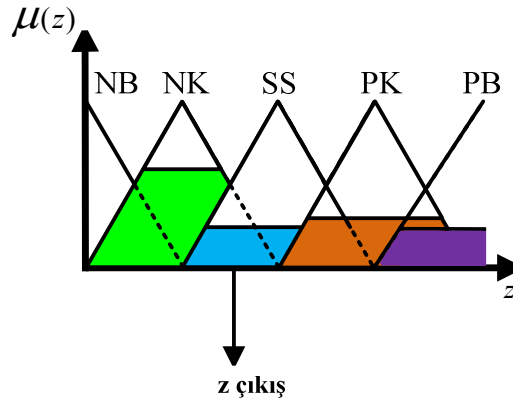


Şekil 1.38. Kural işleme ünitesinde kuralların işlenmesi

Bulanık mantık denetleyicinin son birimi olarak devreye giren durulaştırma biriminde, kural tabanı biriminde elde edilen bulanık sonuçlar durulaştırıcıda değerlendirilip, kesin bir sonuca dönüştürülür [118]. Durulaştırma işlemi için literatürde birçok yöntem mevcut olmakla beraber bu çalışmada bulanık mantık denetim uygulamalarında yaygın olarak kullanılan alanların merkezi yöntemi kullanılmıştır.

Bulanık mantık kural işleme ünitesini açıklayan örnek sonuçlarına göre, alanların merkezi yöntemine göre durulaştırma işlemi Şekil 1.39’da görülmektedir. Durulaştırma işleminin matematiksel ifadesi eşitlik 1.10’da yer almaktadır.

$$Z_{\text{çıkış}} = \frac{(\mu_{Z_{NK}})(z_{NK}) + (\mu_{Z_{SS}})(z_{SS}) + (\mu_{Z_{PK}})(z_{PK}) + (\mu_{Z_{PB}})(z_{PB})}{(\mu_{Z_{NK}}) + (\mu_{Z_{SS}}) + (\mu_{Z_{PK}}) + (\mu_{Z_{PB}})} \quad (1.10)$$



Şekil 1.39. Durulaştırma işlemi

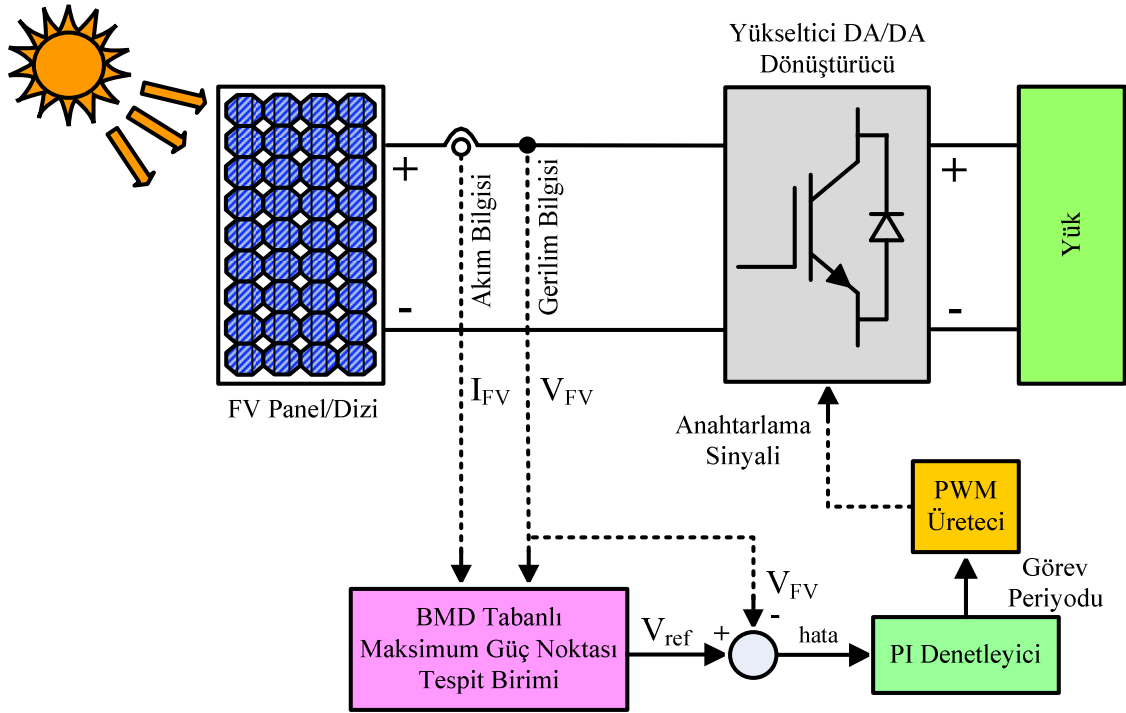
## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında bir esnek hesaplama yöntemi olan bulanık mantık tabanlı MGNT sisteminin tasarlanması ve benzetimi gerçekleştirilmiştir. BMD çıkışı ayrık zamanlı integral işlemine tabi tutularak FV dizisinin maksimum güç üretmesi için hangi gerilimde çalışması gerektiği bilgisi yani FV diziyi maksimum güçte çalıştırma parametresi elde edilmiştir. Önerilen BMD tabanlı MGNT sisteminin performansı ilk olarak şebekeden bağımsız FV sisteminde incelenmiştir. Önerilen sistem sonuçları geleneksel değiştir-gözle (D&G) algoritması sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ardından çeşitli atmosfer koşullarında önerilen sistemin bulguları elde edilmiştir. Daha sonra BMD çıkışında kullanılan integral işlemi için çeşitli ayrık zamanlı integral yöntemlerinin elde edilen sonuçlara etkisi incelenerek karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. İkinci olarak, önerilen MGNT sistemi içeren FV dizisinin şebekeye bağlı çalıştırılma durumundaki performansı incelenmiştir. Son olarak şebekeden bağımsız çalışan FV sistemde MGNT sistemi tabanlı bir batarya güç akış yönetim sistemi önerilmiştir. Öyle ki; yükte veya ışınım ve/veya sıcaklık değişmesi durumunda FV dizisinin maksimum güç noktasından sapmamasını sağlayacak şekilde yedek güç ünitesi olarak kullanılan bataryanın yük olarak veya kaynak olarak çalışması yönetilmiştir. BMD tabanlı MGNT sistemi içeren şebekeden bağımsız FV sistemin kontrollü ve kontrolsüz DA yüklerinden oluşan yük grubunu beslediği durumda, yükteki veya FV dizi gücündeki değişme durumunda maksimum güç noktasından ödün vermemeyi sağlayan güç akışı yönetim sistemi bulguları incelenmiştir. Yukarıda bahsi geçen çalışmalar MATLAB/Simulink benzetim ortamında modellenerek benzetimi yapılmış ve elde edilen sonuçlar verilmiştir.

### 2.1. Bulanık Mantık Denetleyici Tabanlı MGNT

[21] numaralı çalışmada, FV panelin güç – akım eğrisi 10 farklı bölgeye ayrılarak incelenmiş, buna göre bulanık mantık denetleyici ve bulanık mantık karar verme birimi geliştirilmek suretiyle yüklerin ve yedek bataryaların anahtarlama stratejisi temelinde MGNT sistemi geliştirilmiştir. Bu çalışmada ise, FV panel dizisinden maksimum güç elde edilmesi bir yükseltici DA/DA dönüştürücü vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. FV panel dizisinden maksimum güç elde etmek için BMD tabanlı bir maksimum güç noktası

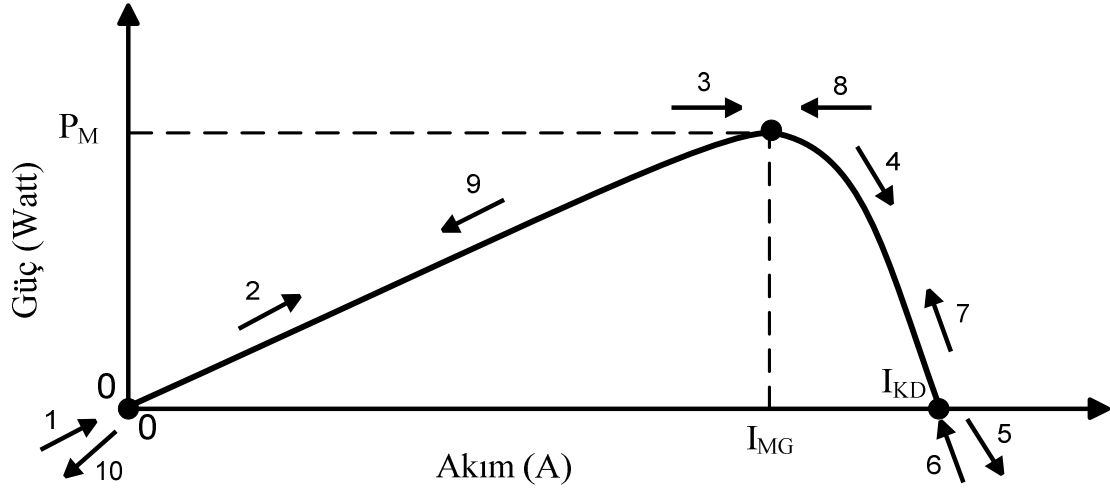
tespit birimi tasarlanmıştır. Tasarlanan maksimum güç noktası tespit birimiyle güneş radyasyonu (ışınımı) ve ortam sıcaklık ölçen algılayıcılar kullanmaksızın, FV dizisine ait akım ve gerilim değerlerini kullanarak BMD yardımıyla FV dizisinin maksimum güç üretebileceği gerilim değeri ( $V_{ref}$ ) belirlenmektedir. Belirlenen  $V_{ref}$ , FV dizisinin gerilimi ile karşılaştırılmakta, elde edilen hata bir PI denetleyiciye uygulanarak DA/DA dönüştürücünün görev periyodu belirlenmektedir. Önerilen BMD tabanlı MGNT sisteminin genel yapısı Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1. Önerilen BMD tabanlı MGNT sisteminin genel yapısı

### 2.1.1. MGN Tespitinde Kullanılan BMD Sisteminin Tasarımı

FV panel dizisinin maksimum güç üreteceği gerilim değerini ( $V_{ref}$ ) BMD vasıtasıyla belirlemek için, FV panel dizisine ait güç-akım eğrisinin değişimi Şekil 2.2’deki gibi 10 farklı bölge için incelenerek Tablo 2.1 oluşturulmuştur. Her bir bölgede güçteki değişimin akımdaki değişime oranı ve bu orandaki değişim göz önünde bulundurularak Tablo 2.2’de verilen kural tablosu oluşturulmuştur.

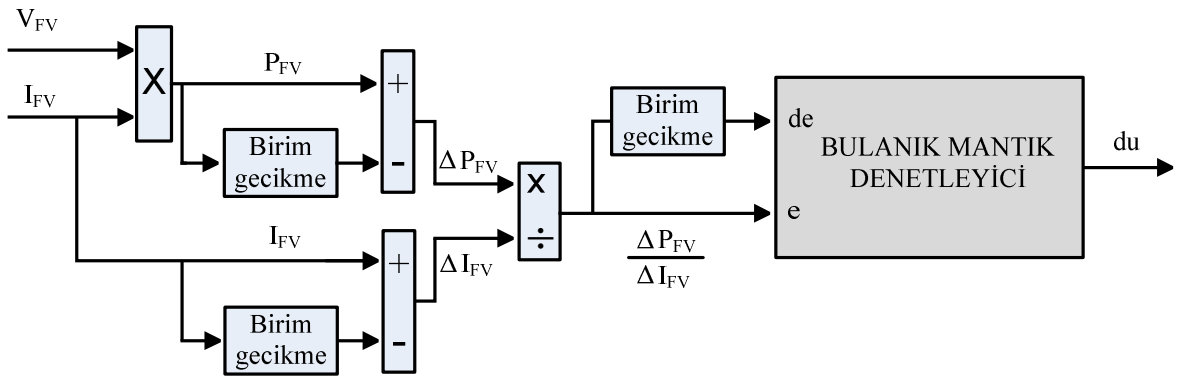


Şekil 2.2. FV üreticinin güç-akım eğrisi ve çalışma bölgeleri

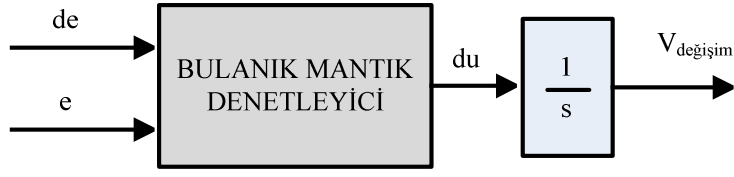
Bölüm 1.5.3'teki Şekil 1.21, 1.22 ve 1.23'ten de görüleceği üzere ışınmadaki değişim, üretilen akımı oldukça fazla etkilerken, FV dizinin verimini negatif yönde etkileyen sıcaklık değişimleri daha çok gerilim üzerinde değişiklik yapmaktadır. FV panel dizisinin ürettiği akım ve güç, daha çok ışıma bağlı olarak değiştiğinden, BMD girişine hata olarak güçteki değişimin akımdaki değişime oranı ve bu hatanın değişimi uygulanmıştır. BMD'nin giriş ve çıkış parametreleri Şekil 2.3'te yer almaktadır.

Tablo 2.1. FV üreticinin güç-akım eğrisi üzerindeki çalışma bölgelerine göre BMD kurallarının belirlenmesi için oluşturulan tablo

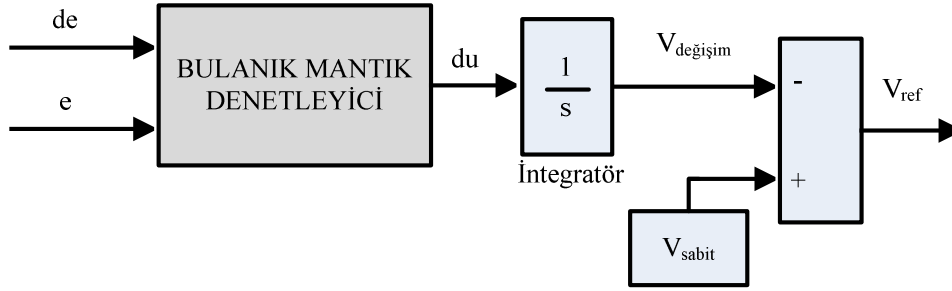
Çalışma Bölgeleri →										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta P$	+	+	0	-	-	+	+	0	-	-
$\Delta I$	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
$\frac{\Delta P}{\Delta I}$	+	+	0	-	-	-	-	0	+	+
$de$	+	+	0	-	-	-	-	0	+	+
$V_{ref}$	Çok azaltılmalı	Az azaltılmalı	Sabit kalmalı	Az artırılmalı	Çok artırılmalı	Çok azaltılmalı	Az azaltılmalı	Sabit kalmalı	Az artırılmalı	Çok artırılmalı
$du$	Çok artmalı	Az artmalı	Sabit kalmalı	Az azalmalı	Çok azalmalı	Çok artmalı	Az artmalı	Sabit kalmalı	Az azalmalı	Çok azalmalı



Şekil 2.3. MGNT için tasarlanan BMD denetleyicinin giriş ve çıkış parametreleri



Şekil 2.4. BMD çıkışının integral işlemine tabi tutulması



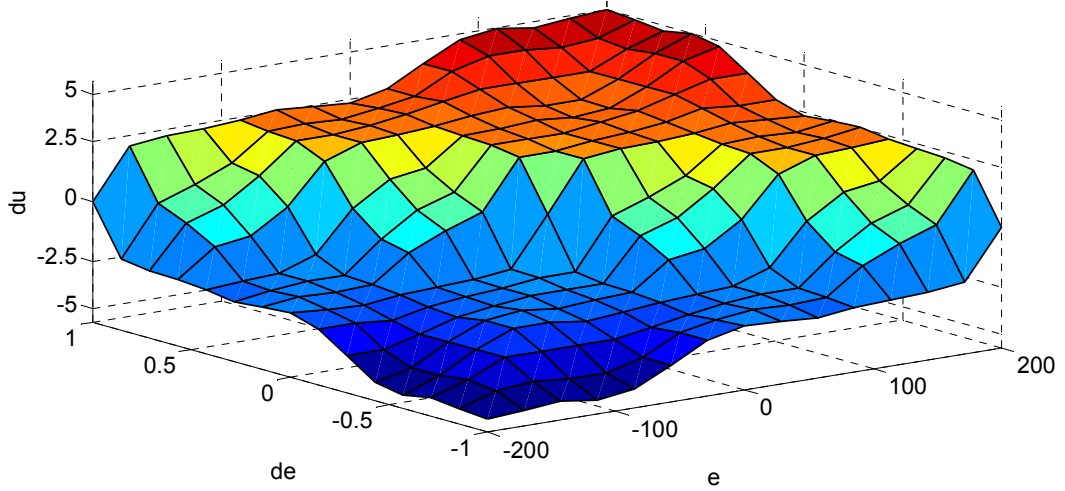
Şekil 2.5. BMD çıkışı kullanılarak  $V_{ref}$ 'in belirlenmesi

MGNT için tasarlanan BMD denetleyicinin giriş parametreleri olarak FV dizisinin gücündeki değişimin akımındaki değişime oranı ( $e$ ) ve bu oranın değişimi ( $de$ ) uygulanmaktadır. BMD'nin çıkışından ise, Tablo 2.1'deki kural tablosuna göre belirlenen değişim miktarı ( $du$ ) elde edilmektedir. BMD çıkışından elde edilen  $du$  çeşitli şekillerde kullanılabilir. Bu çalışmada, birlikte çalışmalar yürüttüğümüz University of New Brunswick öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Adel M. Sharaf Hoca'nın önerisiyle, BMD çıkışı biriktirici modunda çalışan integral işlemine tutulmuştur. Böylece nihai gerilim değişikliği ( $V_{değişim}$ ) Şekil 2.4'te gösterildiği gibi belirlenmektedir. Nihai gerilim değişikliği kullanılarak, FV dizisinin maksimum güç noktasında çalışmasını temin edecek referans gerilim ( $V_{ref}$ ) Şekil 2.5'te gösterildiği gibi elde edilmektedir.  $V_{sabit}$  gerilimi olarak, FV dizinin açık devre gerilimi veya bu gerilim değerine yakın bir değer alınabilir.

Tablo 2.2. BMD tabanlı MGNT için oluşturulan kural tablosu

e \ de	NB	NK	SS	PK	PB
PB	SS	PK	PK	PB	PB
PK	NK	SS	PK	PK	PB
SS	NK	NK	SS	PK	PK
NK	NB	NK	NK	SS	PK
NB	NB	NB	NK	NK	SS

BMD'nin giriş ve çıkış parametreleri ve belirlenen kurallara göre, BMD'nin girişleri ve çıkışının üç boyutlu olarak birbirleriyle olan ilişkisini gösteren şekil aşağıda yer almaktadır.



Şekil 2.6. BMD parametrelerinin belirlenen kurallara göre üç boyutlu gösterimi

### 2.1.1.1. Ayrık Zamanlı İntegral Yöntemleri

Sayısal (digital) ortamda matematiksel işlemler de sayısal olarak yapılmaktadır. Dolayısıyla integral işlemleri de sayısal ortama uygun bir biçimde gerçekleştirilmelidir. MATLAB/Simulink yazılımının “Simulink” araç kutusunun altındaki “Discrete” kütüphanesinde ayrık zamanlı matematiksel işlemleri temsil eden bloklar bulunmaktadır.



Bu bloklardan “discrete time integrator” bloğunda ayrık zamanlı integral işlemi için Euler yöntemi temelinde üç farklı integral yöntemi bulunmaktadır. Bu üç yöntem ve matematiksel ifadeleri aşağıda açıklanmaktadır [119]:

n’inci örnekleme için, ayrık zamanlı integral alıcı bloğun girişi  $u(n)$ , çıkışı  $y(n)$  ve  $x(n)$  durum değişkeni olmak üzere;

- Forward Euler Yöntemi

Bu yöntem soldan yaklaşım veya ileri yönlü dikdörtgen yöntemi olarak da bilinmektedir. Bu yöntemde ayrık zamanlı integral işlemi biriktirici modunda aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmektedir:

$$y(n) = y(n-1) + u(n-1) \quad (2.1)$$

- Backward Euler Yöntemi

Sağdan yaklaşım veya geri yönlü dikdörtgen yöntemi olarak da bilinen bu yöntemde ayrık zamanlı integral işlemi biriktirici modunda aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmektedir:

$$y(n) = y(n-1) + u(n) \quad (2.2)$$

- Trapezoidal Euler Yöntemi

Bu yöntemde ayrık zamanlı integral işlemi biriktirici modunda aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmektedir:

$$y(n) = x(n) + 1/2 * u(n) \quad (2.3)$$

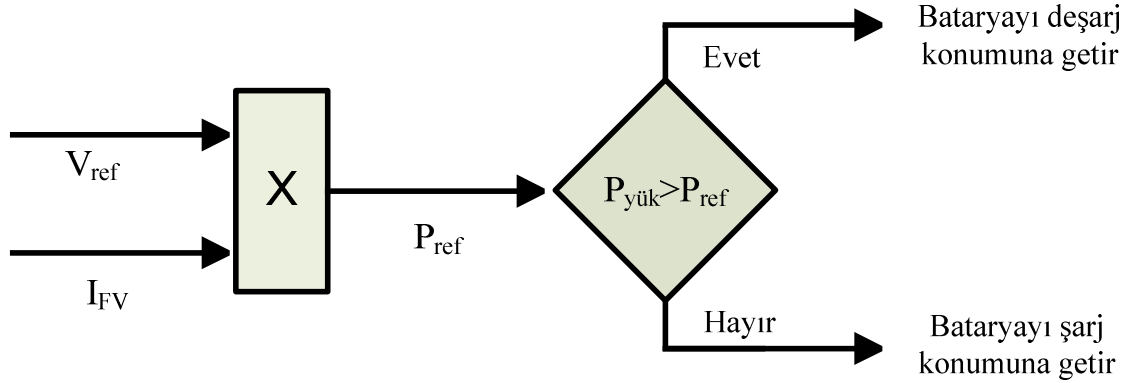
$$x(n) = y(n-1) + 1/2 * u(n-1) \quad (2.4)$$

BMD çıkışında kullanılan integral yöntemi olarak Bölüm 3’te elde edilen bulgular neticesinde, Backward Euler yöntemi ile daha iyi sonuçların alındığı tespit edilmiştir. Bu yüzden bu çalışmada Backward Euler yöntemi kullanılmıştır.

### 2.1.2. Maksimum Güç Noktası Tabanlı Güç Akış Yönetimi

Şebekeden bağımsız FV sistemlerde, güneş ışığının yeterli olmadığı zamanlarda yükün ihtiyaç duyduğu gücü sağlayabilmek için depolama birimi olarak bataryalardan faydalanılır. Güneş ışığının fazla olduğu durumlarda şarj edilerek, yedekte tutulurlar. Yedek batarya olarak da adlandırılan bu bataryalar, geceleyin veya güneş ışığının çok yetersiz olduğu durumlarda ise deşarj konumunda çalışarak yükü beslerler.

Gün içerisinde güneş ışınımı veya sıcaklıktaki değişimlerden dolayı yükün çektiği akım, FV üreticinin maksimum güç noktasındaki akımdan fazla olabilir. Bu durumda FV üreticinin maksimum güç elde edilecek akım çekilmediğinden, maksimum güç noktasından sapılmış olur. İşte bu durumun önüne geçmek için Şekil 2.7'deki yaklaşım önerilmiştir. MGN araştırması yapan BMD çıkışı kullanılarak belirlenen  $V_{ref}$  ile FV üreticinin o anki akımı ( $I_{FV}$ ) çarpılmasıyla maksimum güç referansı ( $P_{ref}$ ) gücü elde edilmiştir. Bu güç değeri FV üreticinin sağlayabileceği maksimum güç değeridir.  $P_{ref}$  ile yük gücü ( $P_{yük}$ ) karşılaştırılarak bataryanın şarj ve deşarj konumunda çalışması yönetilmiştir. Böylece maksimum güç noktası tabanlı güç akış yönetimi gerçekleştirilmiştir.



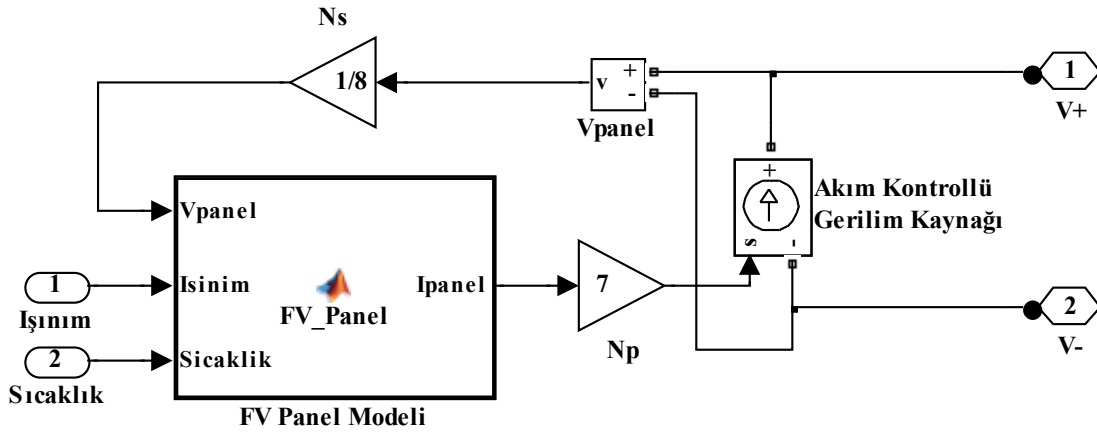
Şekil 2.7. FV üreticinin MGN'dan sapmaması için önerilen batarya şarj-deşarj yönetimi

## 2.2. Sistemin MATLAB/Simulink Modelleri

Benzetimi yapılan çalışmalarda kullanılan FV panel ve BMD'nin MATLAB/Simulink modelleri bu bölümde ayrıntılı olarak verilecektir. Batarya, güç elektroniği elemanları ve diğer bloklar Simulink'in araç kutularından (toolbox) alınarak kullanılmıştır.

### 2.2.1. FV Panel ve FV Dizi MATLAB/Simulink Modeli

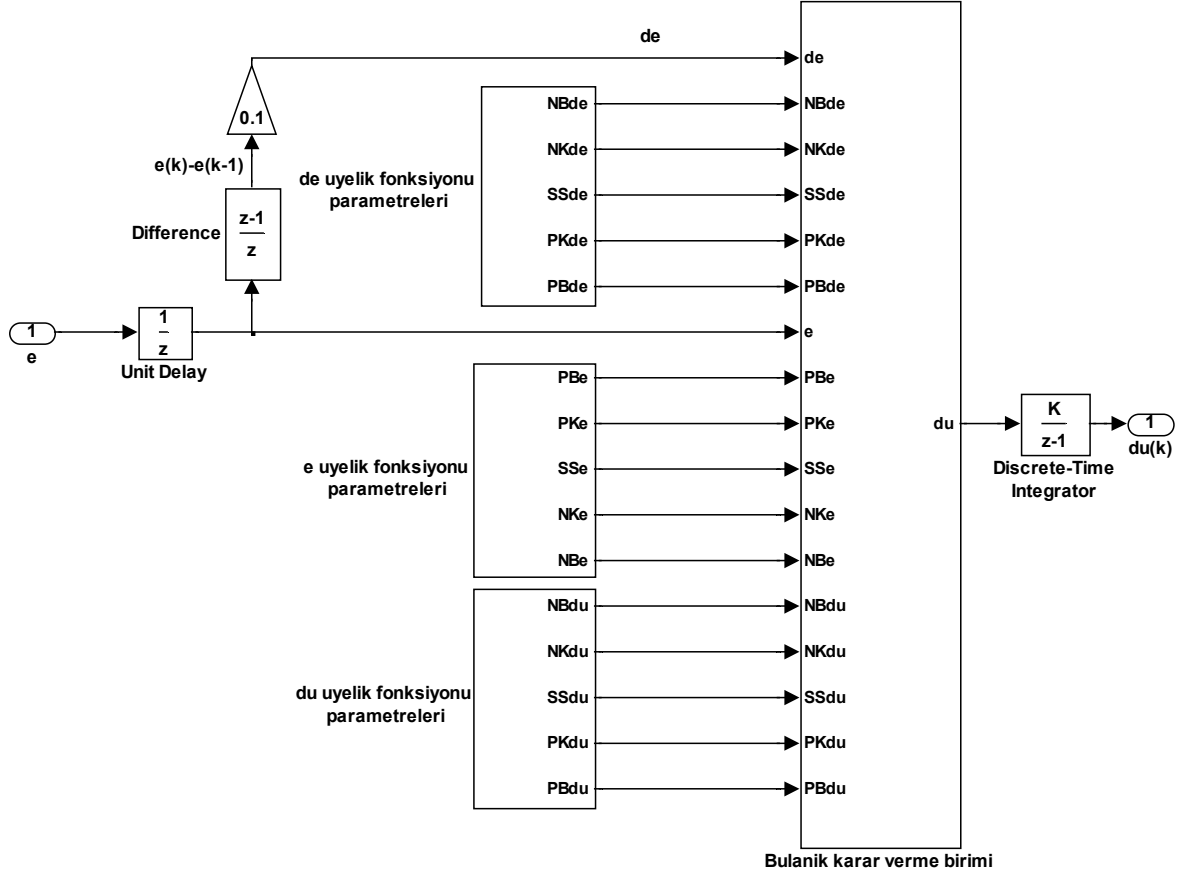
FV panel MATLAB/Simulink modeli, [52] numaralı kaynaktan uyarlanarak oluşturulmuştur. Bu amaçla [52]'de yer alan kodlar, bu çalışmada kullanılan FV panel modeli parametrelerine göre düzenlenerek Simulink fonksiyon bloğuna aktarılmıştır.



Şekil 2.8. FV dizi MATLAB/Simulink modeli

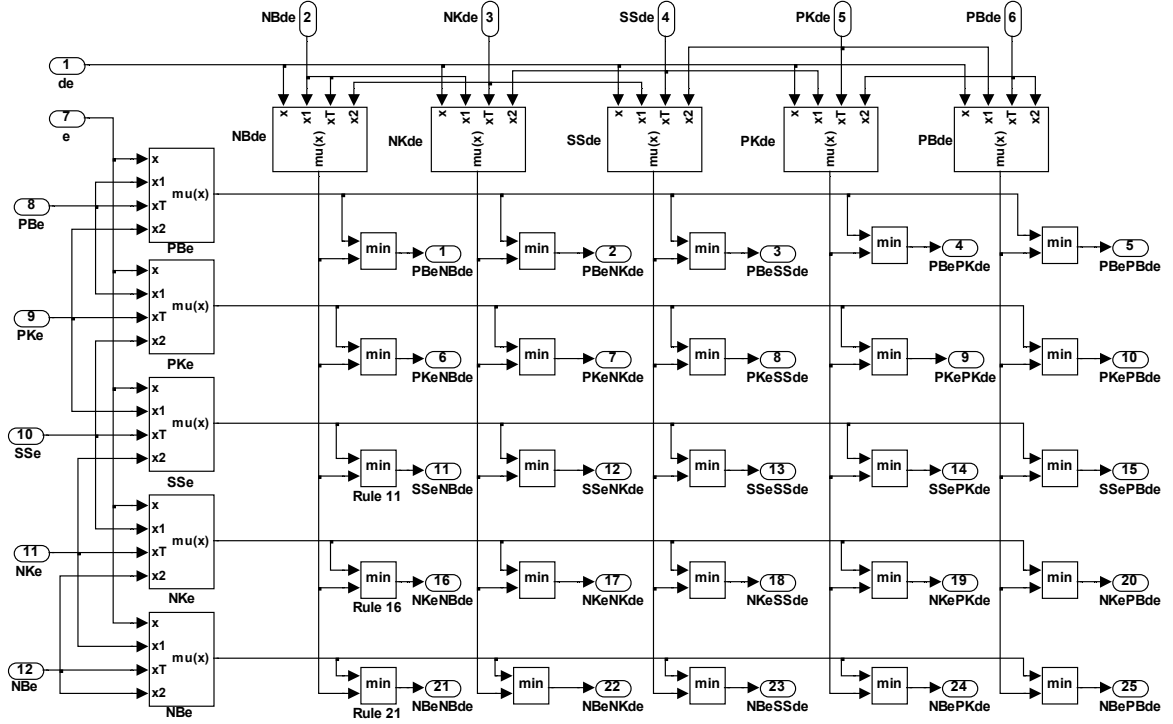
### 2.2.2. Bulanık Mantık Denetleyici MATLAB/Simulink Modeli

Benzetimde kullanılan BMD'nin MATLAB/Simulink modeli, [117] numaralı kaynaktan uyarlanmıştır. Aşağıdaki şekillerde BMD'nin içyapısındaki birimler ve Simulink modelleri yer almaktadır.



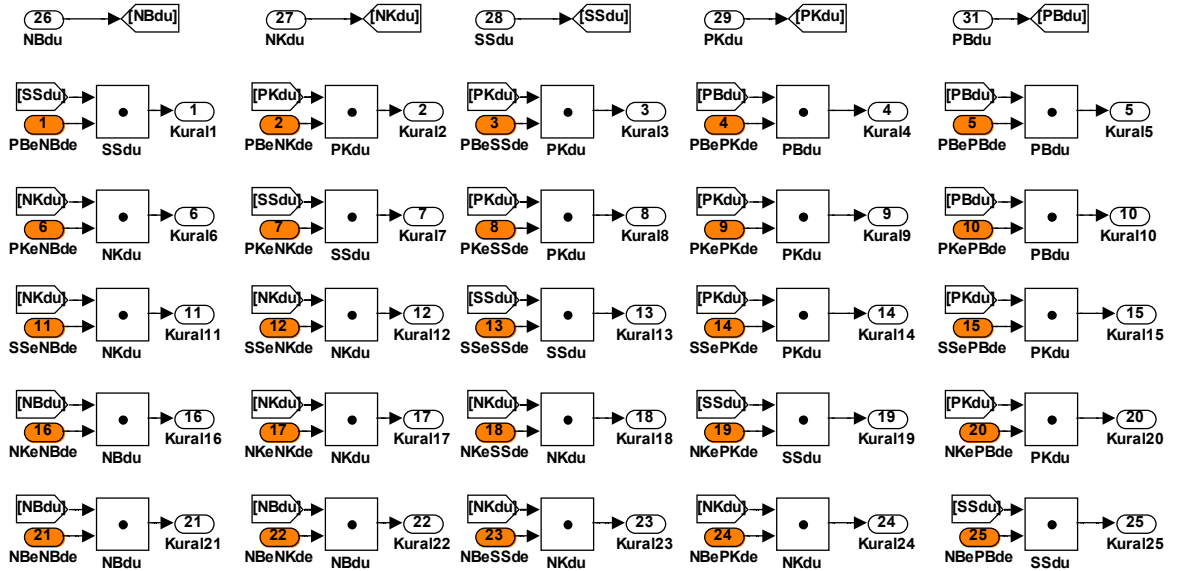
Şekil 2.9. BMD genel benzetim modeli

Şekil 2.9’da BMD’nin genel benzetim modeli yer almaktadır.  $e$ ,  $de$  üyelik fonksiyonu parametreleri;  $e$  ve  $de$  kesin girişlerini bulanıklaştıracak olan üçgen üyelik fonksiyonlarının parametrelerini içermektedir.  $du$  üyelik fonksiyonu parametreleri ise, BMD çıkışının üyelik fonksiyonu parametrelerini belirlemektedir. Bulanık mantık karar verme birimi, Şekil 2.10, 2.11 ve 2.12’de verilen bulanıklaştırma, kural işleme ve durulaştırma birimleridir.



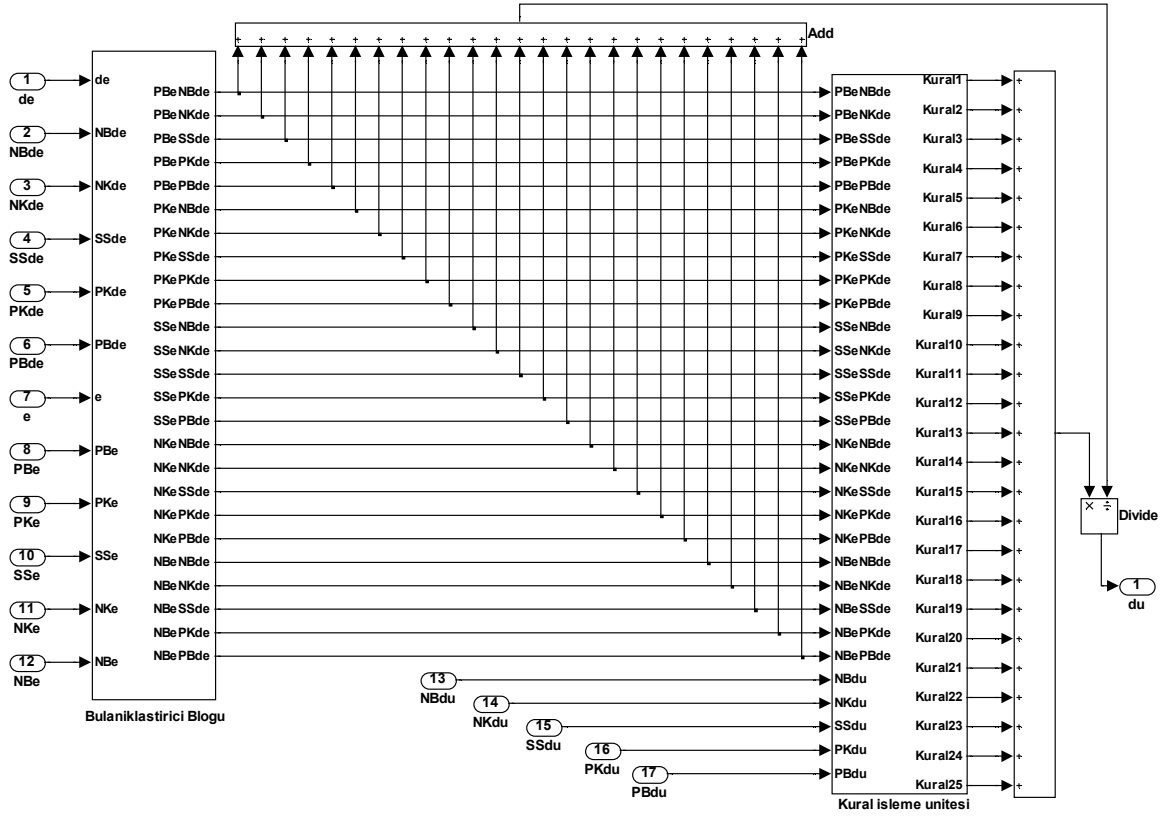
Şekil 2.10. Bulanıklaştırma biriminin Simulink modeli

Şekil 2.10, e ve de kesin girişlerini bulanıklaştırarak, elde edilen bulanık girişleri kural işleme ünitesine gönderen Simulink modelidir.



Şekil 2.11. Kural işleme ünitesi Simulink modeli

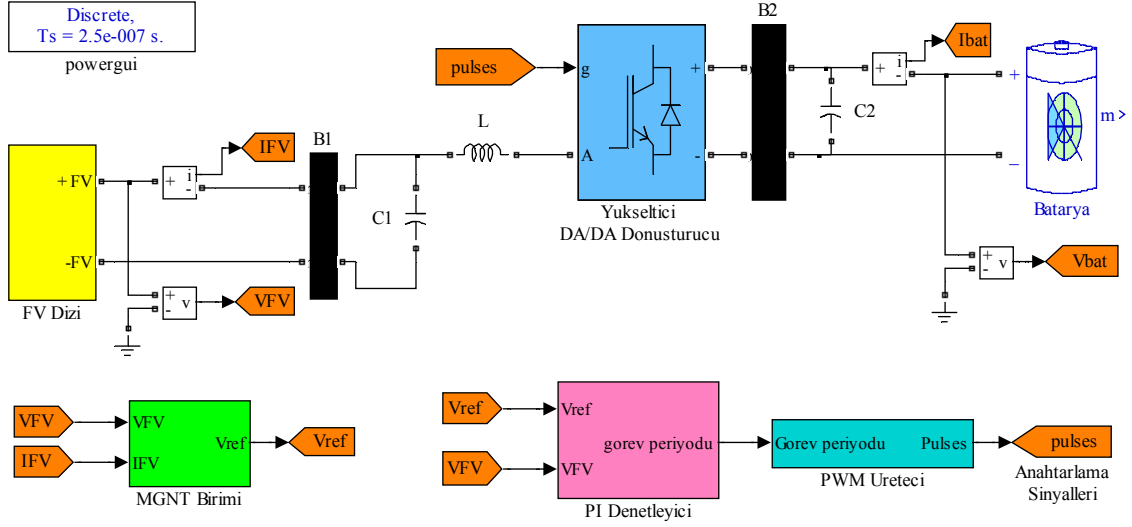
Şekil 2.11'deki kural işleme ünitesinde, kural tabanına göre işlenen kuralların sonucunda elde edilen bulanık çıkışlar, Şekil 2.12'deki durulaştırma işlemine tabi tutularak du kesin çıkışı elde edilir.



Şekil 2.12. Durulaştırma işleminin Simulink modeli

### 2.3. Önerilen Esnek Hesaplama Tabanlı MGNT ve Geleneksel Değiştir-Gözle Algoritmalarının Karşılaştırılması

Önerilen esnek hesaplama tabanlı MGNT sistemi, yük olarak bataryanın şarj edilmesi durumu için değiştir-gözle algoritması ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapmak için benzetimi yapılan sistemin genel Simulink modeli Şekil 2.13'te görülmektedir. Karşılaştırmalardan sonra çeşitli atmosfer koşulları için önerilen sistemin performansı incelenmiştir.



Şekil 2.13. Batarya yükü kullanılan şebekeden bağımsız FV sistemin benzetim modeli

Bu çalışmada yapılan tüm benzetimlerde FV dizisi 8 adet seri bağlı panel ve 7 adet paralel bağlı panelden oluşmaktadır. ISOFOTON firmasının IS-150S/24 paneli katalog değerlerinden yararlanılarak [52] numaralı kaynakta belirtilen modellemeye göre FV dizi benzetim modeli oluşturulmuştur.

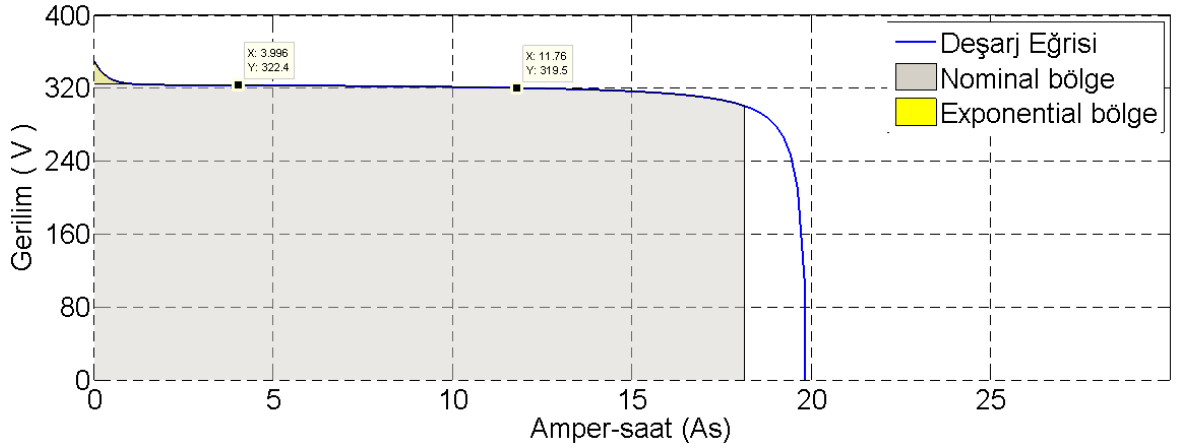
Tablo 2.3. Standart test koşullarında FV panel ve FV dizisinin çeşitli parametreleri

Elektriksel Parametreler	Katalog		Benzetim modeli	
	Panel	Dizi	Panel	Dizi
Açık devre gerilimi $V_{AD}(V)$	43,2	345,6	43,2	345,6
Kısa devre akımı $I_{KD}(A)$	4,7	32,9	4,7	32,9
Maksimum güç gerilimi $V_{MG}(V)$	34,6	276,8	34,8	280,8
Maksimum güç akımı $I_{MG}(A)$	4,35	30,45	4,38	30,47
Maksimum güç $P_M(W)$	150	8428,56	152,424	8560

Benzetimde kullanılan FV dizisinin gücü  $1000W/m^2$  ışınım ve  $25^{\circ}C$ 'de  $8,5 kW$ 'tır. FV panel ve bu panellerden oluşturulan FV dizisinin standart test koşullarındaki ( $1000W/m^2$  ışınım ve  $25^{\circ}C$ 'de) bazı elektriksel parametrelerinin katalog değerleri ve benzetim modeli değerleri Tablo 2.3'te verilmiştir. Işınımın ve sıcaklığın değişmesi

durumunda, bu FV dizinin akım-gerilim ve güç-gerilim eğrilerinin benzetim ortamında elde edilen değişimleri Bölüm 1.5.3'teki şekillerde yer almaktadır.

Yük olarak kullanılan bataryanın Simulink modeli, MATLAB/Simulink SimPower Systems araç kutusundan hazır olarak alınmış ve kullanılmıştır. Kullanılan bataryanın deşarj eğrisi ve bazı parametreleri Şekil 2.14'te görülmektedir. Batarya 320V, 20 Amper-saat nominal değerlere sahiptir.



Şekil 2.14. Benzetimde kullanılan bataryanın şarj-deşarj eğrisi

Şekil 2.13'teki benzetim modelinde yer alan C1 kapasitesi ve L1 indüktansı yükseltici DA/DA dönüştürücünün giriş filtresi elemanlarıdır. B3 barasına bağlı olan C2 kapasitesi ise, yükseltici DA/DA dönüştürücü çıkışındaki gerilimin düzgün bir formda olmasını sağlayan elemandır. Yükseltici DA/DA dönüştürücüsünü MGNT biriminden gelen  $V_{ref}$  değerine göre denetleyen PI denetleyecinin parametreleri ( $K_P$  ve  $K_I$ ) ve yukarıda açıklanan parametrelerin ( $C_1$ ,  $L_1$  ve  $C_2$ ) değerleri aşağıda yer almaktadır. DGM üreticinin anahtarlama frekansı ( $f_s$ ) 15 kHz'dir.

$C_1$  : 10  $\mu$ F

$L_1$  : 1mH

$C_2$  : 1000  $\mu$ F

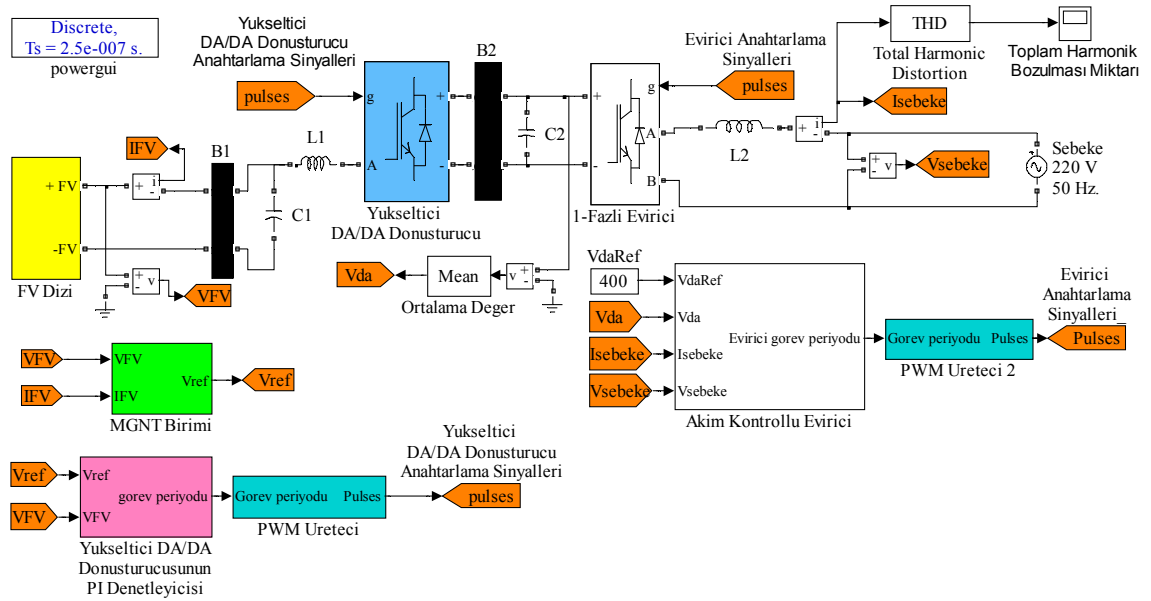
$K_P$  : 0,01

$K_I$  : 5



## 2.4. Önerilen MGNT Sisteminin Şebekeye Bağlı FV Sistemde Performansı

Önerilen MGNT sisteminin şebekeye bağlı FV sistemde kullanılabilirliğini incelemek üzere Şekil 2.15'te yer alan benzetim modeli oluşturularak benzetim yapılmıştır. FV sistemin tek fazlı şebekeye bağlantısı, akım kontrollü tek fazlı bir evirici ile gerçekleştirilmiştir. FV üretcin ürettiği güç bu evirici aracılığıyla 220 V, 50 Hz değerlerinde çalışan tek fazlı şebekeye aktarılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan akım kontrollü evirici, [106] numaralı çalışmadan uyarlanarak önerilen MGNT sisteminin şebekeye bağlı durumdaki performansını incelemek için kullanılmıştır. Dolayısıyla burada akım kontrollü evirici ile ilgili detay bilgiler verilmeyecektir. Daha fazla bilgi için ilgili referans [106] incelenebilir.



Şekil 2.15. Şebekeye bağlı FV sistemin benzetim modeli

Akım kontrollü evirici, DA bağlantı noktasının (DC-link) gerilimini sabit tutacak şekilde şebekeye aktarılacak olan akımın referans değerini değiştirmek suretiyle eviricinin anahtarlama etki eder. FV üreticinin gücü arttığında, DA bağlantı noktasında biriken enerji artacağından gerilimi de artacaktır. Akım kontrollü eviricinin denetleyicisi, DA bağlantı noktasındaki güç artışı nispetinde eviricinin referans akımını arttırarak şebekeye aktarılan akımın artmasını sağlar. Böylece DA bağlantı noktasındaki gerilim sabit tutulur. Bu gerilim azaldığında veya arttığında, akım kontrollü eviricinin referans akımı da değişir.

Şekil 2.15'teki benzetim modelindeki  $L_1, C_1$  ve MGNT birimi elemanı olan yükseltici DA/DA dönüştürücünün anahtarlama işaretlerini belirleyen DGM üreticinin anahtarlama frekansı Bölüm 2.3'te belirtilen değerlerle aynıdır.  $C_2$  kapasitesi, DA bağlantı noktasındaki kapasite olup değeri 10000  $\mu\text{F}$  seçilmiştir.  $L_2$  indüktansı şebekeye aktarılan akımı filtrelemek üzere kullanılan eleman olup, değeri 1,6 mH'dir. Eviricide bulunan anahtarların anahtarlama işaretlerinin üretiminde kullanılan DGM üreticinin anahtarlama frekansı 10 kHz'dir.

## **2.5. Yükteki Değişimler ve Işınım Değişmesi Durumunda Önerilen MGN Tabanlı Güç Akış Yönetiminin Tepkisi**

Şebekeden bağımsız çalışan FV üretici ve yedek bataryalardan oluşan sistemde, önerilen maksimum güç noktası tabanlı güç akış yönetiminin benzetimi için Şekil 2.16'daki Simulink benzetim modeli oluşturularak çalıştırılmıştır. Yükün ve ışınımın değişmesi durumlarına göre, önerilen sistemin performansı incelenmiştir. Şekil 2.16'daki modelde kullanılan MGNT birimi parametreleri,  $C_1$ ,  $L_1$  ve  $C_2$  elemanlarının değerleri, batarya parametreleri, yükseltici DA/DA dönüştürücüsünün PI denetleyicisi ve DGM üretici parametreleri Bölüm 2.3'te verilen değerlerle aynıdır.

FV üreticinin çıkışı, MGNT birimi elemanı olan yükseltici DA/DA dönüştürücüye bağlıdır. Bu dönüştürücü, MGNT sisteminden gelen referansa göre çalışarak, FV üreticinin gerilimini maksimum güç noktasında çalışacak şekilde tutmaya çalıştığından B2 barasındaki gerilim değişkenlik gösterir. FV üretici ve bataryaları aynı noktada birleştirerek yükü besleyen iki kaynak oluşturmak için B2 barası çıkışı düşürücü DA/DA dönüştürücü kullanılarak sabit 320 V gerilimde tutulmaktadır.

Batarya, MGN tabanlı güç akış yönetiminden gelen komutlarla D2 diyodu ve A1 anahtarı yoluyla şarj konumunda, D3 diyodu ve A2 anahtarı yoluyla da deşarj konumunda çalışmaktadır. Böylece batarya, güç veren ya da güç harcayan eleman olarak çalıştırılabilmektedir. B3 barasından önce yer alan D1 diyodu ise, FV dizi tarafına olası ters akımların akmasını engellemek üzere konulmuştur. Benzetimde yapılan çalışmalar bataryaların şarjını ayarlayan şarj regülatörünün sistemde mevcut olduğu varsayılarak gerçekleştirilmiştir.

Yük tarafında, sabit bir gerilim altında çalışan Yük2 ile B3 barasındaki gerilim altında çalışan Yük1 bulunmaktadır. Yük2, 220 V'ta 500W güç harcayan bir yüküdür. Yük1 ise, 310 V'ta 2.75 kW ve 6 kW'lık güç harcayan iki birimden oluşmaktadır. Yükün artması durumunu incelemek için bu iki yük aynı anda devreye alınarak toplam yükün artması sağlanmaktadır.

B2 barasını 320 V sabit gerilimde tutan ve Yük2'nin çalışma gerilimi olan 220 V sabit gerilim sağlayan düşürücü DA/DA dönüştürücüler PI denetleyici ile denetlenmektedir. Bu dönüştürücülerin çıkışında kullanılan alçak geçiren filtre ve denetleyicilerinin parametreleri aşağıda yer almaktadır:

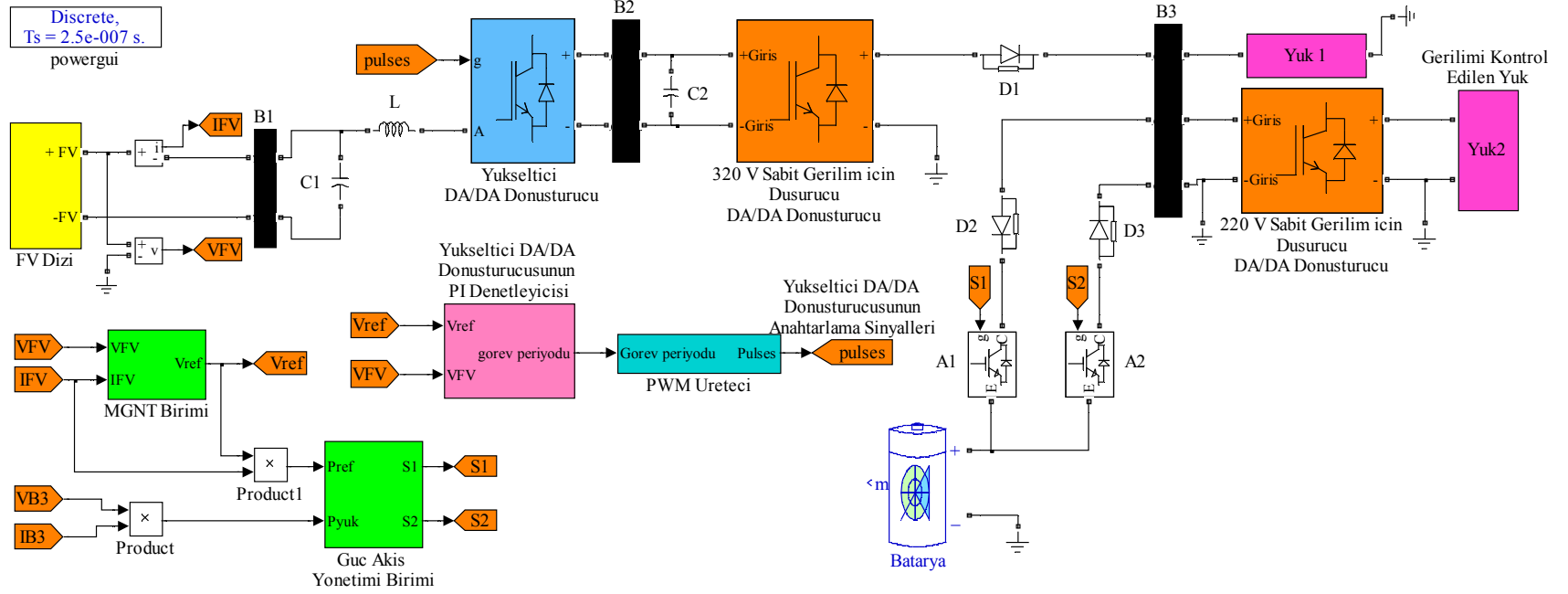
$K_p$ : 2

$K_i$ : 0,1

$R_f$ : 0,05  $\Omega$

$L_f$ : 5mH

$C_f$ : 100  $\mu$ F



Şekil 2.16. FV üreteç ve bataryadan oluşan şebekeden bağımsız FV sistem

### **3. BULGULAR**

#### **3.1. Şebekeden Bağımsız Çalışan FV Sistemde Elde Edilen Bulgular**

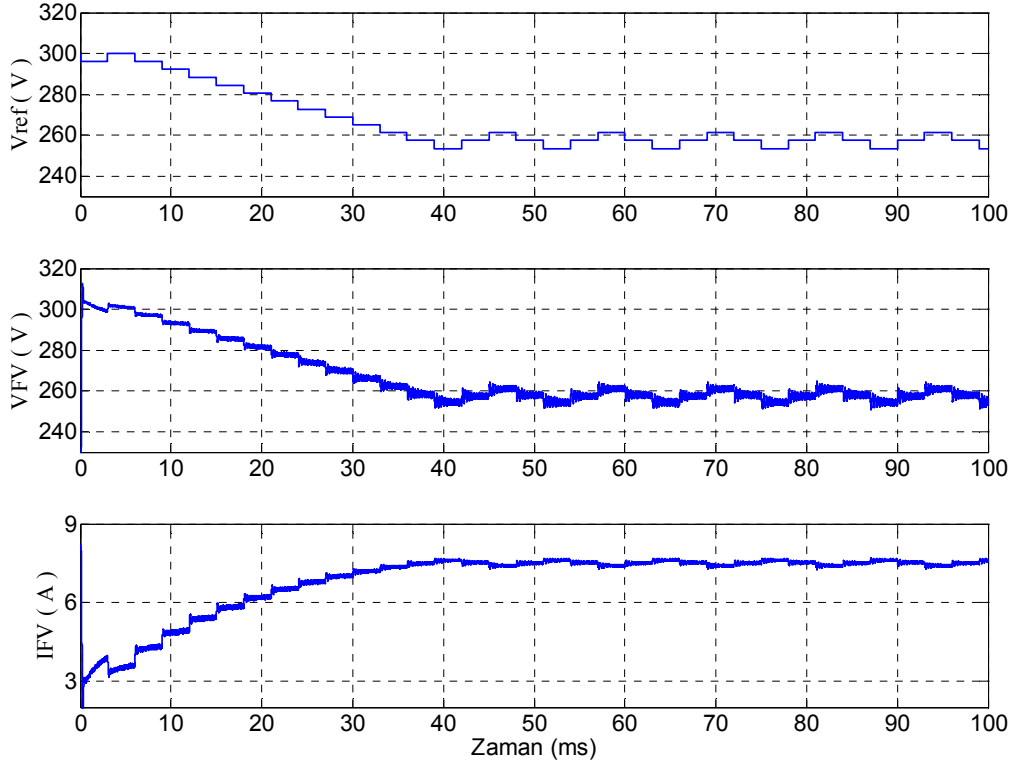
Bu bölümde benzetim modeli ve parametreleri Bölüm 2.3'te verilen şebekeden bağımsız çalışan FV sisteminde elde edilen bulgular verilmiştir.

##### **3.1.1. Sabit Işınım Sabit Sıcaklıkta D&G Algoritması ile MGNT Bulguları**

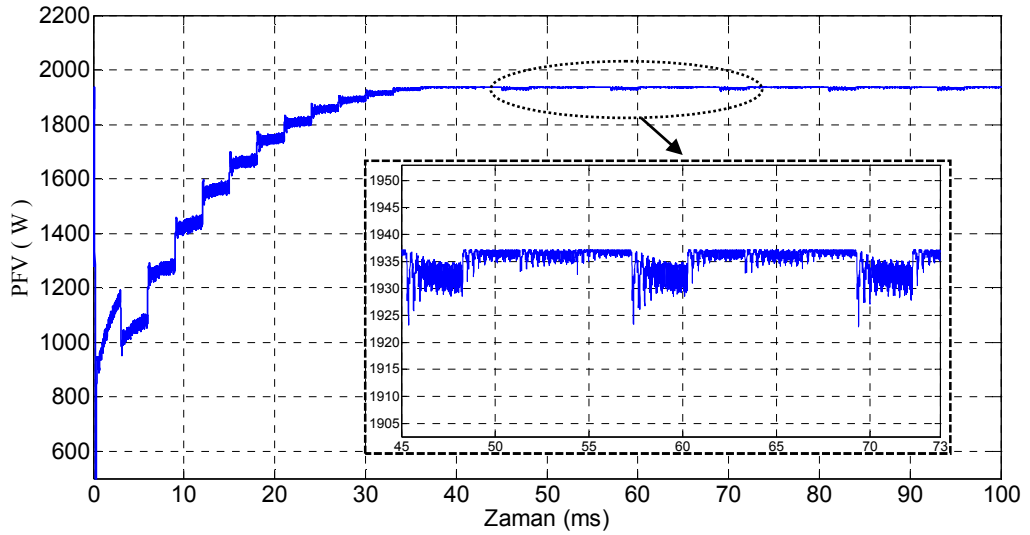
Sıcaklığın 25 °C'de sabit ve ışınım şiddetinin sabit 250 W/m<sup>2</sup> olduğu durum için, D&G algoritmasında değişik arama adımları için elde edilen bulgular aşağıda yer almaktadır. 25 °C ve 250 W/m<sup>2</sup> ışınımında FV dizinin üretebileceği maksimum güç değeri 1937 W'tır. Değişik arama adımlarının maksimum güce ulaşma süresine, sürekli durumda güçte meydana getirdiği dalgalanmalara ve maksimum güç noktası takip doğruluğuna olan etkileri ayrı ayrı verilerek karşılaştırma olanağı sağlanmıştır.

##### **3.1.1.1. Arama Adımının 3.8 V Seçilmesi Durumunda Elde Edilen Bulgular**

Arama adımının 3.8 V seçilmesi durumunda 100 ms'lik benzetim sonuçları aşağıdaki şekillerde yer almaktadır. Şekil 3.1'de referans gerilimin ( $V_{ref}$ ), FV dizi geriliminin ( $V_{FV}$ ) ve FV dizi akımının ( $I_{FV}$ ) değişimleri görülmektedir. Şekil 3.2'de FV dizi gücünün zamana bağlı değişimi yer almaktadır. Şekil 3.2 incelendiğinde maksimum güce 13 adımda yani 39 ms'de ulaşılmıştır. Toplam araştırma süresi ise 51 ms (17 adım) sürmüştür.

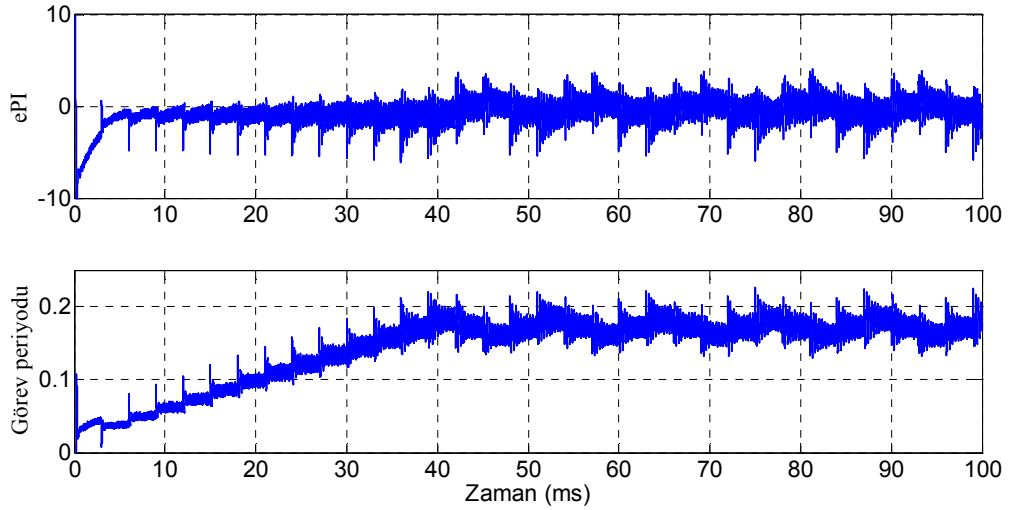


Şekil 3.1.  $250 \text{ W/m}^2$  ışınım ve  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıkta  $3.8 \text{ V}$ 'luk araştırma adımı için  $V_{ref}$ ,  $V_{FV}$  ve  $I_{FV}$  değişimi



Şekil 3.2.  $250 \text{ W/m}^2$  ışınım ve  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıkta  $3.8 \text{ V}$ 'luk araştırma adımı için FV dizi gücünün değişimi

FV dizinin  $250 \text{ W/m}^2$  ışınım ve  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıktaki gerçek maksimum güç değeri  $1937 \text{ W}$  iken  $3.8 \text{ V}$ 'luk sabit arama adımında yapılan benzetim için ortalama güç değeri  $1935.5 \text{ W}$  olarak bulunmuştur. Buradan sistemin  $\% 99,92$ 'lik bir doğrulukla maksimum gücü takip ettiği söylenebilir. Ancak algoritmanın yapısından dolayı referans gerilimdeki salınımlar akım ve gerilimde dolayısıyla güçte de salınımlara yol açmıştır. Sürekli durumda güçte meydana gelen  $14 \text{ W}$ 'lık salınımlar Şekil 3.2'de büyütülmüş boyutta görülmektedir. Şekil 3.3'te ise yükseltici DA/DA dönüştürücüyü MGNT biriminden gelen referans gerilimde çalıştırmak üzere görev yapan PI denetleyicinin hatası ( $e_{PI}$ ) ve DA/DA dönüştürücünün görev periyodunun değişimi yer almaktadır.



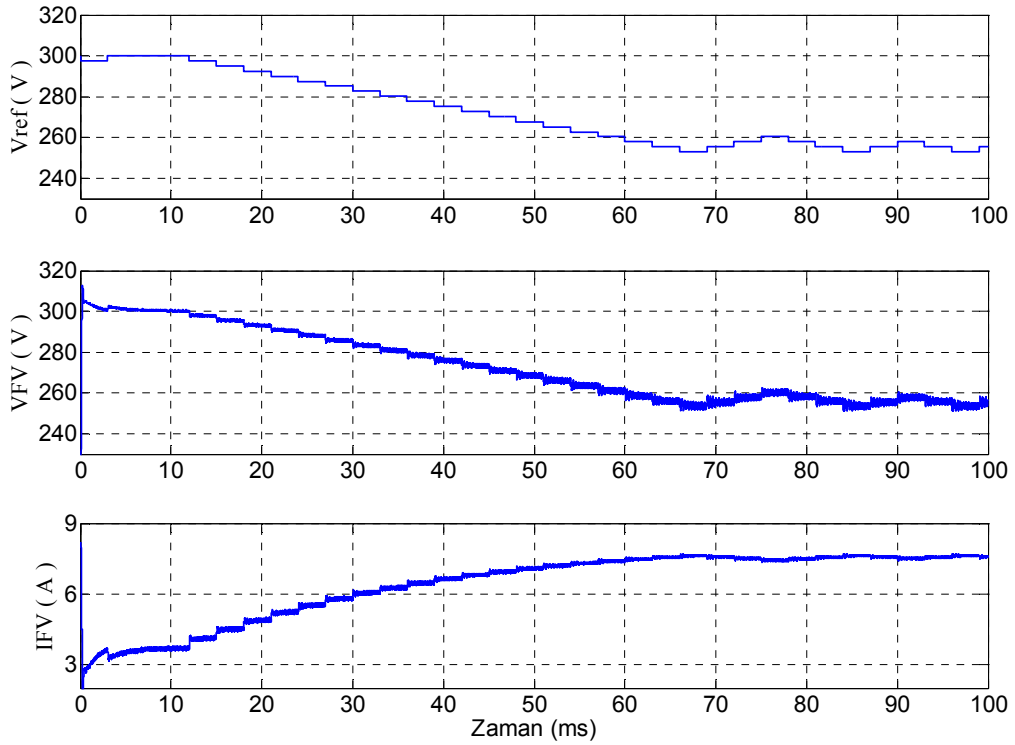
Şekil 3.3.  $250 \text{ W/m}^2$  ışınım ve  $25^\circ\text{C}$  sıcaklıkta  $3.8 \text{ V}$ 'luk araştırma adımı için  $e_{PI}$  ve DA/DA dönüştürücünün görev periyodundaki değişim

### 3.1.1.2. Arama Adımının $2.5 \text{ V}$ Seçilmesi Durumunda Elde Edilen Bulgular

$2.5 \text{ V}$ 'luk arama adımı seçilmesi durumu için  $100 \text{ ms}$ 'lik benzetim sonuçları aşağıdaki şekillerde yer almaktadır. Şekil 3.4'te referans gerilimin ( $V_{ref}$ ), FV dizi geriliminin ( $V_{FV}$ ) ve FV dizi akımının ( $I_{FV}$ ) değişimleri görülmektedir. Şekil 3.5'te FV dizi gücünün zamana bağlı değişimi yer almaktadır. Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 incelendiğinde maksimum güce  $22$  adımda yani  $66 \text{ ms}$ 'de ulaşıldığı görülmektedir. Toplam araştırma süresi ise  $81 \text{ ms}$  ( $27$  adım) sürmüştür. Oysa arama adımının  $3.8 \text{ V}$  olduğu durumda maksimum güce  $13$  adımda ( $39 \text{ ms}$ ) ulaşılmıştı ve toplam araştırma

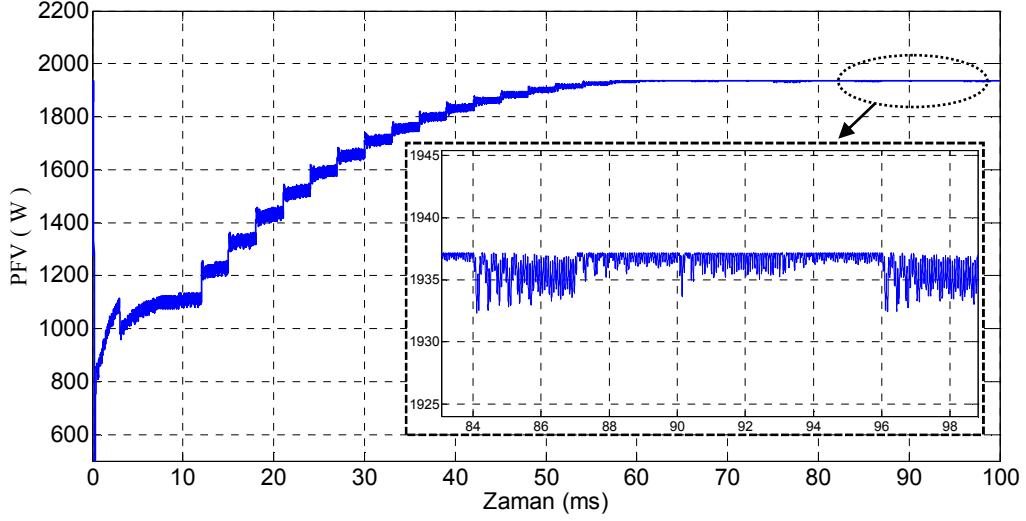
süresi 51 ms (17 adım) sürmüştü. Arama adımının 3.8 V olduğu duruma karşılaştırıldığında maksimum güce ulaşma süresinin ve toplam araştırma süresinin arama adımı miktarı ile ters orantılı olduğu görülmektedir.

D&G algoritması ile 2.5 V'luk sabit arama adımında yapılan benzetim için ortalama güç değeri 1936.3 W olarak bulunmuştur. FV üreticinin benzetimin yapıldığı atmosfer koşullarındaki gerçek maksimum güç değeri göz önüne alındığında sistemin % 99,96'lık bir doğrulukla maksimum gücü takip ettiği ve takip doğruluğunun arama adımının 3.8 V olduğu duruma göre arttığı görülmektedir. Bununla birlikte algoritmanın yapısından kaynaklanan salınımlar araştırma adımının 3.8 V olduğu duruma göre bir hayli azalarak sürekli durumda güçte meydana gelen salınımlar 14 W değerinden 5 W değerine inmiştir.



Şekil 3.4. 250 W/m<sup>2</sup> ışınım ve 25 °C sıcaklıkta 2.5 V'luk araştırma adımı için  $V_{ref}$ ,  $V_{FV}$  ve  $I_{FV}$  değişimi

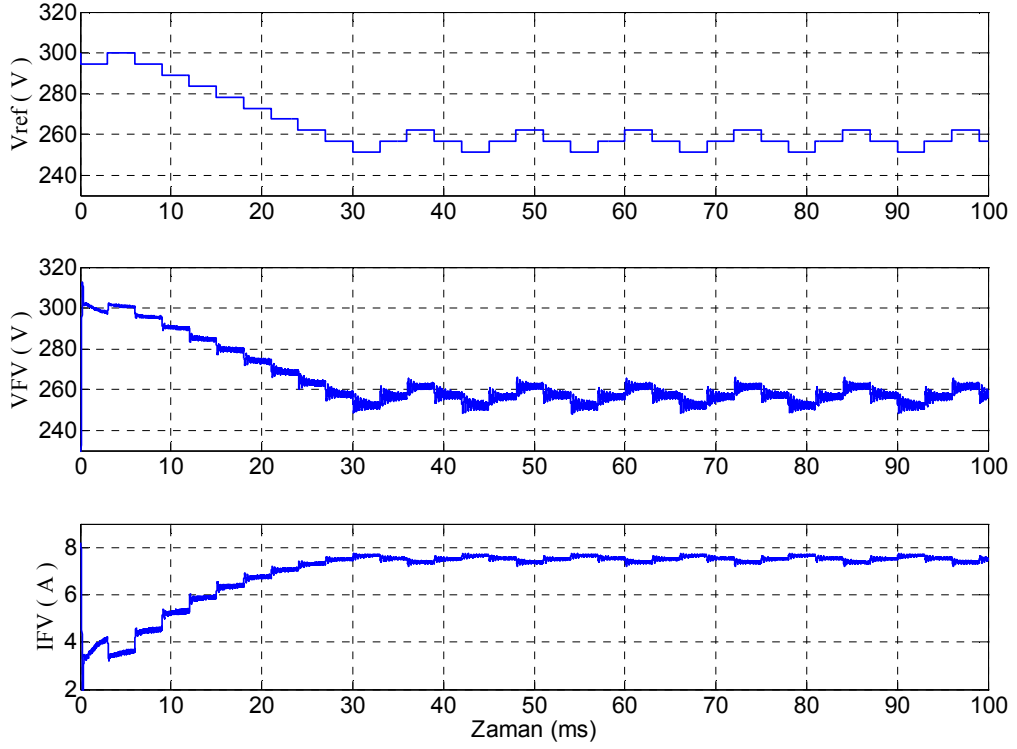




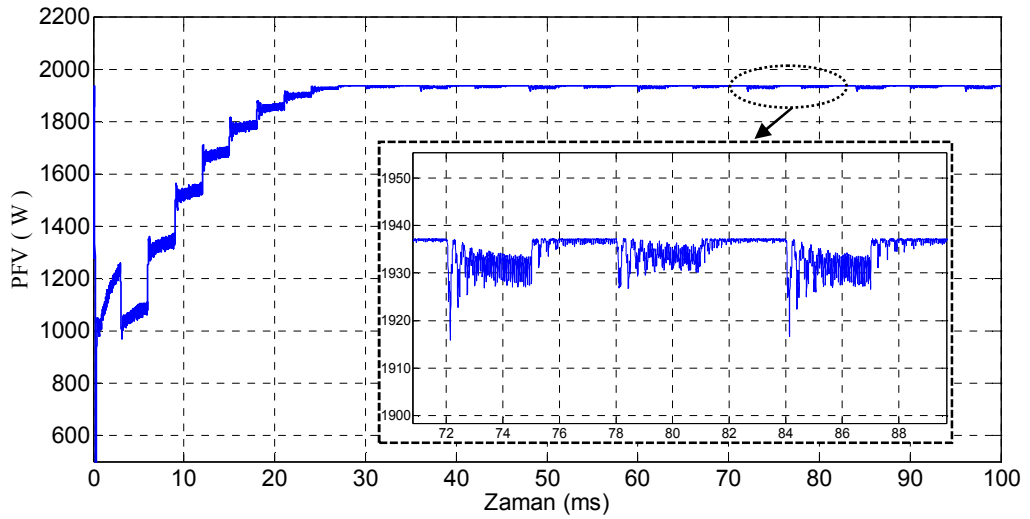
Şekil 3.5.  $250 \text{ W/m}^2$  ışınım ve  $25^\circ\text{C}$  sıcaklıkta  $2.5 \text{ V}$ 'luk araştırma adımı için FV dizi gücünün değişimi

### 3.1.1.3. Arama Adımının $4.6 \text{ V}$ Seçilmesi Durumunda Elde Edilen Bulgular

D&G algoritmasında arama adımının  $4.6 \text{ V}$  seçildiği durum için  $100 \text{ ms}$ 'lik benzetim sonuçları aşağıdaki şekillerde yer almaktadır. Şekil 3.6'da referans gerilimin ( $V_{\text{ref}}$ ), FV dizi geriliminin ( $V_{\text{FV}}$ ) ve FV dizi akımının ( $I_{\text{FV}}$ ) değişimleri görülmektedir. Şekil 3.7'de FV dizi gücünün zamana bağlı değişimi yer almaktadır. Şekil 3.6 ve Şekil 3.7 incelendiğinde maksimum güce  $10$  adımda yani  $30 \text{ ms}$ 'de ulaşılmıştır. Toplam araştırma süresi ise  $14$  adım ( $42 \text{ ms}$ ) olmuştur. Arama adımının  $3.8 \text{ V}$  ve  $2.5 \text{ V}$  olduğu durumlara göre maksimum güce çok daha hızlı ulaşılmış ve daha kısa bir araştırma süresi elde edilmiştir. Bununla birlikte maksimum güç noktası civarındaki güç dalgalanması artarak  $20 \text{ W}$  değerine yükselmiştir. Öte yandan sürekli durumda ortalama güç değeri  $1934,8 \text{ W}$  olarak ölçülmüştür. Ölçülen bu değer ve gerçek maksimum güç değeri göz önüne alındığında maksimum gücü takip doğruluğu  $\% 99,88$ 'e gerilemiştir.



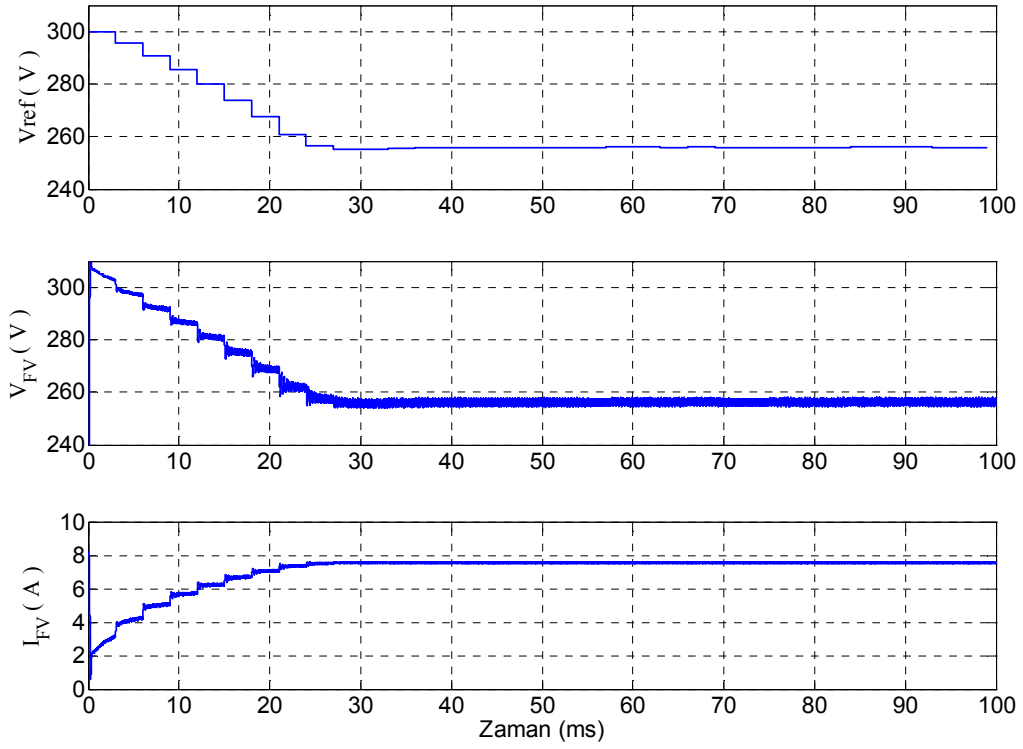
Şekil 3.6.  $250\text{W}/\text{m}^2$  ışınım ve  $25^\circ\text{C}$  sıcaklıkta  $4.6\text{ V}$ 'luk araştırma adımı için  $V_{ref}$ ,  $V_{FV}$  ve  $I_{FV}$  değişimi



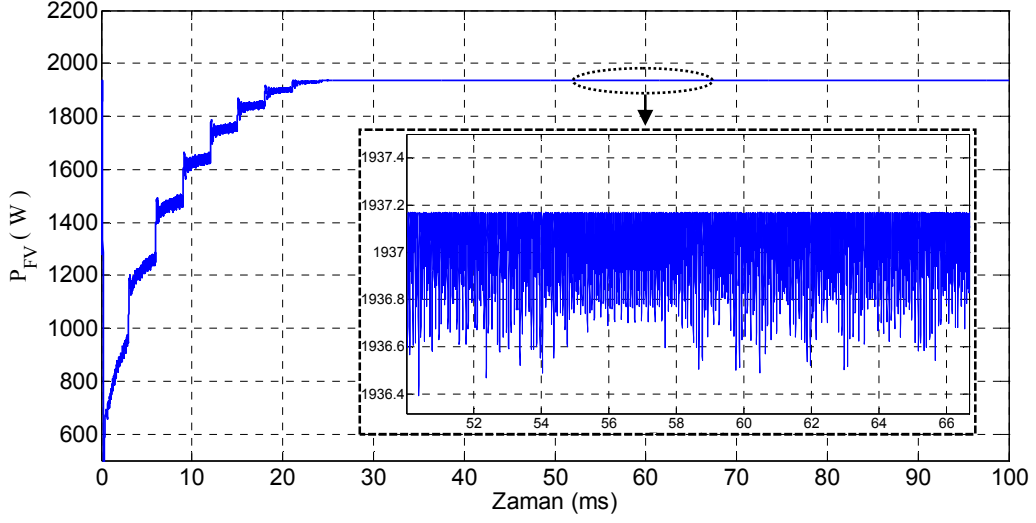
Şekil 3.7.  $250\text{W}/\text{m}^2$  ışınım ve  $25^\circ\text{C}$  sıcaklıkta  $4.6\text{ V}$ 'luk araştırma adımı için  $FV$  dizi gücünün değişimi

### 3.1.2. Sabit Işınm ve Sabit Sıcaklıkta BMD Tabanlı MGNT Bulguları

Işınmın  $250 \text{ W/m}^2$  ve sıcaklığın  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de sabit sabit olduğu durum için  $100 \text{ ms}$ 'lik benzetim sonucu önerilen BMD tabanlı MGNT yöntemiyle elde edilen bulgular aşağıdaki şekillerde yer almaktadır. Şekil 3.8'de referans gerilimin ( $V_{\text{ref}}$ ), FV dizi geriliminin ( $V_{\text{FV}}$ ) ve FV dizi akımının ( $I_{\text{FV}}$ ) değişimleri görülmektedir. Şekil 3.9'da FV dizi gücünün zamana bağlı değişimi yer almaktadır. Şekil 3.8 ve Şekil 3.9 incelendiğinde maksimum güce 10 adımda yani  $30 \text{ ms}$ 'de ulaşılmıştır. Toplam araştırma süresi ise 13 adım ( $39 \text{ ms}$ ) olmuştur. Sürekli durumda maksimum güç noktası civarındaki güç dalgalanmaları en fazla  $1 \text{ W}$  olarak ölçülmüştür. Sürekli durumda ortalama güç değeri  $1936.9 \text{ W}$  ölçülmüş olup, gerçek maksimum güç değeri göz önüne alındığında önerilen yöntemde maksimum güç % 99.999 doğrulukla takip edilmiştir.



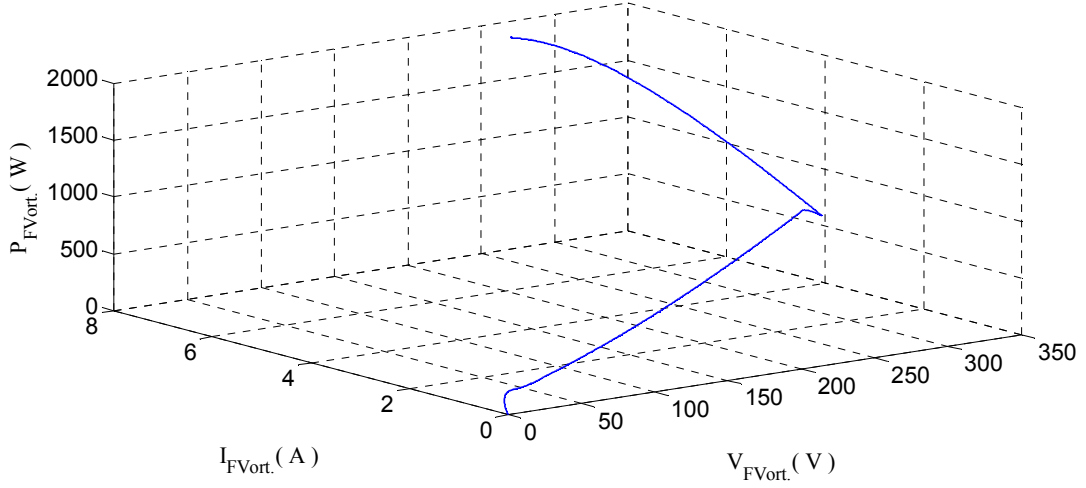
Şekil 3.8.  $250 \text{ W/m}^2$  ışınm ve  $25^\circ\text{C}$  sıcaklıkta önerilen sistemde  $V_{\text{ref}}$ ,  $V_{\text{FV}}$  ve  $I_{\text{FV}}$  değişimi



Şekil 3.9.  $250\text{W}/\text{m}^2$  ışınlam ve  $25^\circ\text{C}$  sıcaklıkta önerilen sistemde FV dizi gücünün değişimi

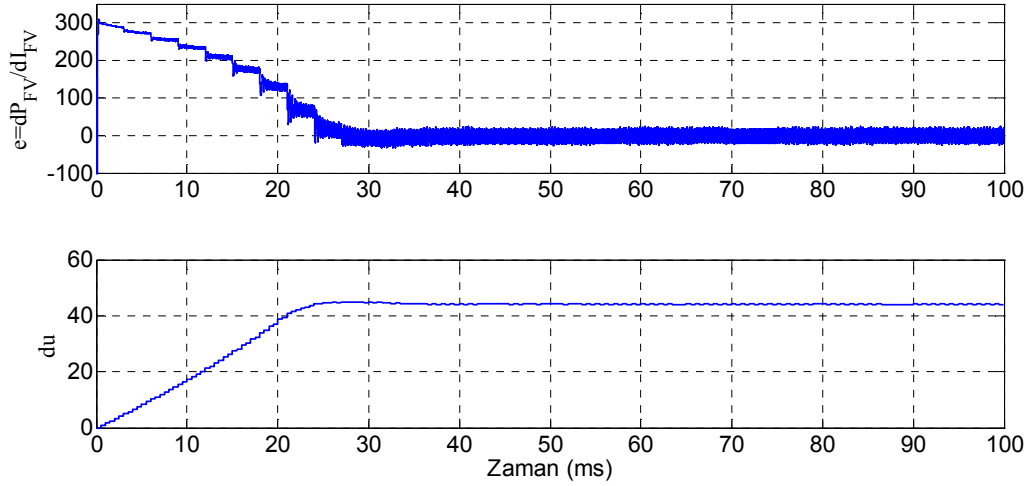
D&G algoritmasında çeşitli arama adımları için elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında, önerilen BMD tabanlı MGNT yönteminin maksimum güç noktasına daha hızlı ulaştığı, toplam araştırma süresinin daha kısa olduğu, sürekli durumda meydana gelen güç dalgalanmalarının oldukça az olduğu ve takip doğruluğunun daha iyi olduğu görülmektedir.

FV dizi gücünün maksimum güç noktasından uzak olduğu kısımlarda BMD referans gerilimde büyük değişikliklere yol açmış, maksimum güce yaklaşıldıkça referans gerilimdeki değişiklikleri esnek bir şekilde azaltmıştır. Böylece maksimum güç noktasına hızlı fakat yumuşak bir geçiş sağlanmıştır.

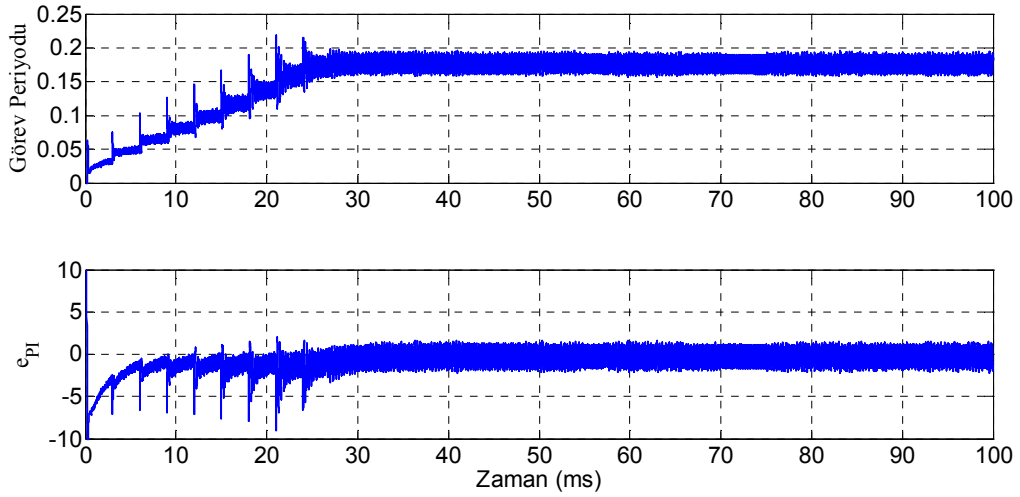


Şekil 3.10. 250W/m<sup>2</sup> ışınım ve 25°C sıcaklıkta önerilen sistemde FV dizinin ortalama gerilim, akım ve güç değerlerindeki değişimin üç boyutlu gösterimi

Önerilen BMD tabanlı MGNT yönteminde, FV dizinin ortalama güç, akım ve gerilim değerlerinin değişimi Şekil 3.10’da üç boyutlu grafik üzerinde gösterilmiştir. Şekil 3.11’de ise, BMD girişlerinden hata ( $e=dP_{FV}/dI_{FV}$ ) ve BMD çıkışındaki  $du$ ’nun değişimleri yer almaktadır.

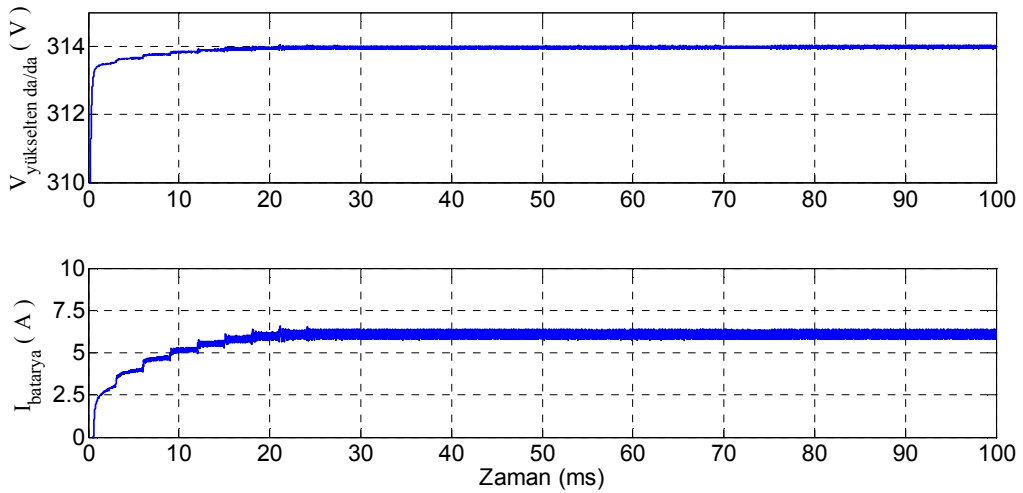


Şekil 3.11. BMD girişindeki hata( $e=dP_{FV}/dI_{FV}$ ) ve BMD çıkışdaki  $du$  değişimi



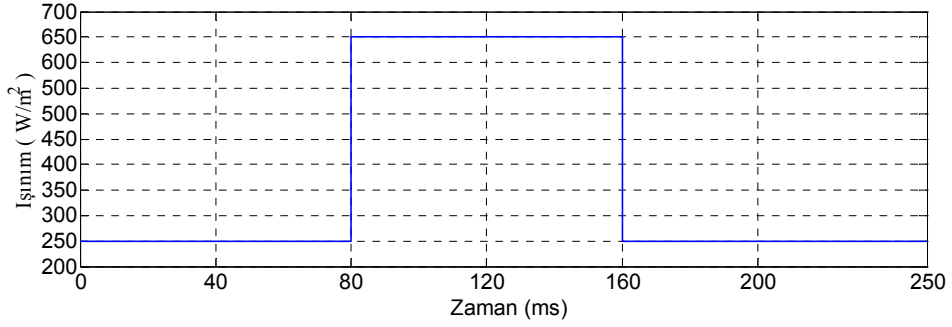
Şekil 3.12.  $250 \text{ W/m}^2$  ışınım ve  $25^\circ\text{C}$  sıcaklıkta önerilen sistemde DA/DA dönüştürücünün görev periyodundaki değişim ve  $e_{PI}$  değişimi

Yükseltici DA/DA dönüştürücünün görev periyodundaki değişim ve yükseltici DA/DA dönüştürücüyü MGNT biriminden gelen referans gerilimde çalıştırmak üzere görev yapan PI denetleyicinin hatasındaki değişim ( $e_{PI}$ ) Şekil 3.12’de görülmektedir. Yükseltici DA/DA dönüştürücünün çıkış gerilimi ve benzetimi yapılan sistemde yük olarak kullanılan bataryanın akımındaki değişimler Şekil 3.13’te yer almaktadır.



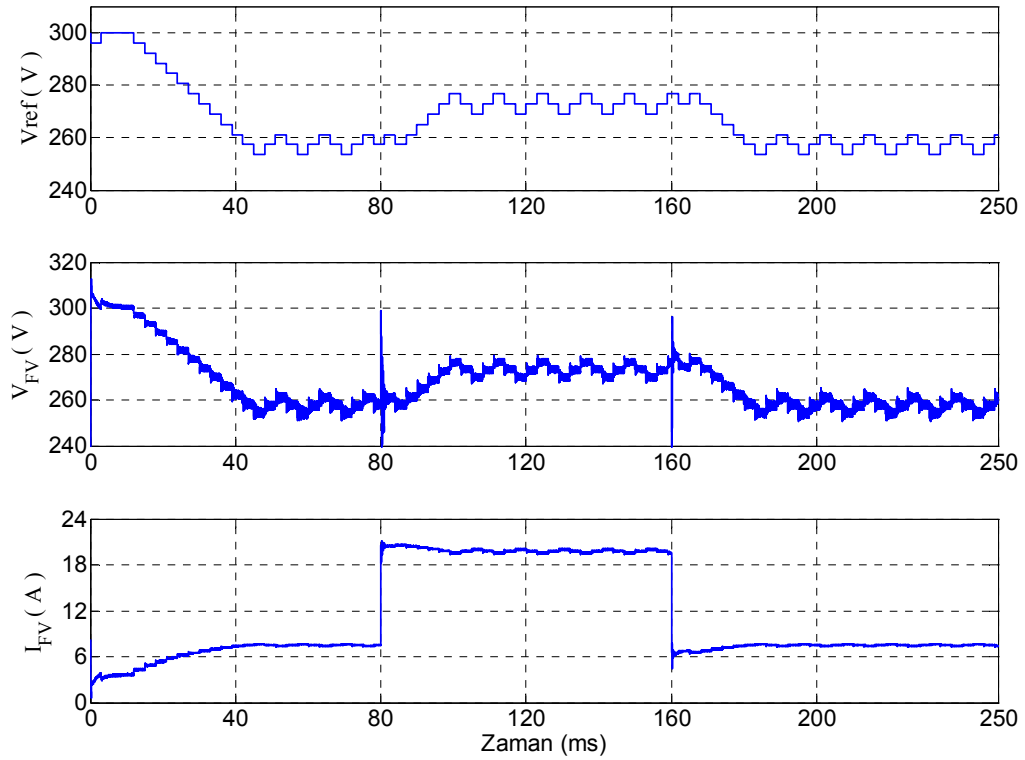
Şekil 3.13. Yükseltici DA/DA dönüştürücü çıkış gerilimi ve batarya akımındaki değişimler

### 3.1.3. Sabit Sıcaklık, Değişken Işınımlar Altında D&G Algoritması İçin Bulgular



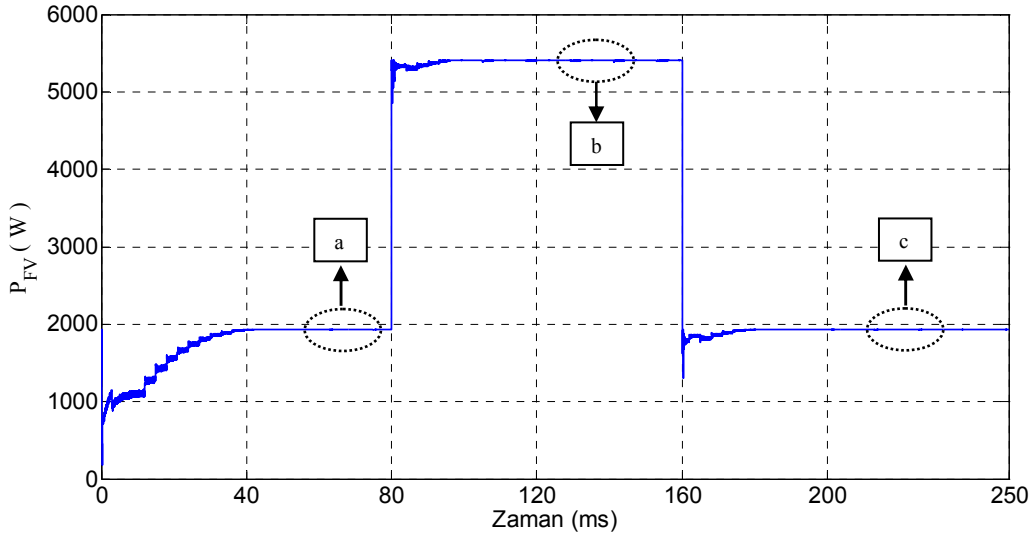
Şekil 3.14. Sabit sıcaklık altında ani olarak artan ve azalan ışınım

25 °C sabit sıcaklık altında ışınımın Şekil 3.14'teki gibi değişmesi durumunda, araştırma adımı 3.8 V olan D&G algoritması ile elde edilen benzetim sonuçları aşağıdaki şekillerde yer almaktadır.



Şekil 3.15. Sabit sıcaklık değişken ışınımlarda 3.8 V arama adımı için  $V_{ref}$ ,  $V_{FV}$  ve  $I_{FV}$  değişimi

Şekil 3.15'te referans gerilimin ( $V_{ref}$ ), FV dizi geriliminin ( $V_{FV}$ ) ve FV dizi akımının ( $I_{FV}$ ) değişimleri görülmektedir.  $250 \text{ W/m}^2$ 'lik ışınımında FV dizinin üretebileceği maksimum güç değerine 40 ms civarında ulaşılmıştır. Ardından maksimum güç noktası civarında referans gerilimde meydana gelen salınımlara bağlı olarak FV dizinin gerilim, akım ve güç değerlerinde salınımlar oluşmaktadır. Şekil 3.15'te görülen referans gerilimdeki salınımların neden olduğu güçteki dalgalanmalar Şekil 3.16'da belirtilen bölgelerin büyütülmüş görünümlerini gösteren şekillerde yer almaktadır.

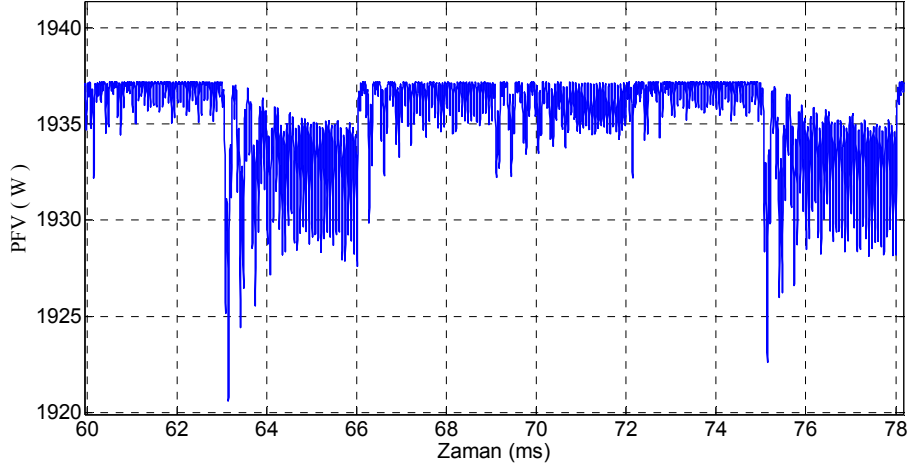


Şekil 3.16. Sabit sıcaklık değişken ışınımlarda 3.8V arama adımı için FV dizi gücündeki değişim

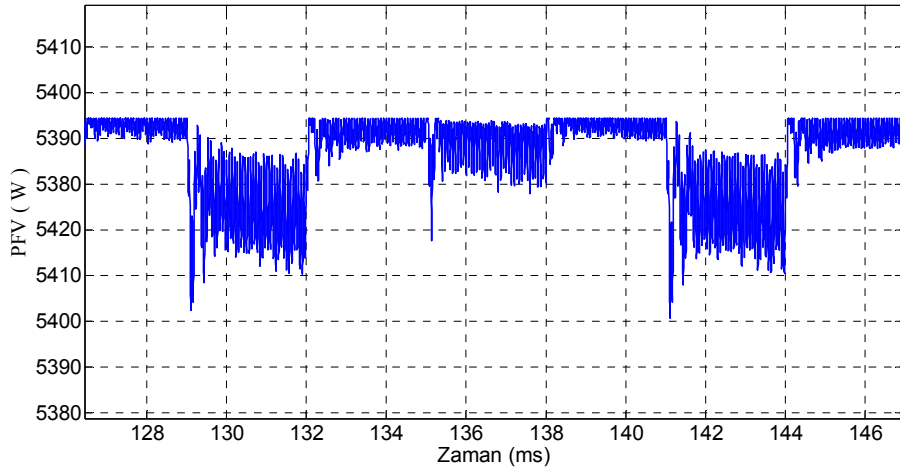
80. ms'de ışınım miktarının  $650 \text{ W/m}^2$ 'ye yükselmesinin ardından D&G algoritması referans gerilimde artışlar yaparak yeni maksimum güç noktasını bulmak üzere harekete geçmiş ve 15 ms sonra maksimum güç noktası civarına ulaşılmıştır. Işınım miktarının tekrar  $250 \text{ W/m}^2$ 'ye düşmesinin ardından D&G algoritması referans gerilimi azaltıcı yönde etki yaparak 20 ms lik araştırma süresinin ardından 180.ms civarında yeni maksimum güç noktasına ulaşılmıştır. Şekil 3.15'ten görüleceği üzere, 0-80 ms arasında ve 160-250 ms aralığında D&G algoritması tabanlı MGNT sistemi FV dizi gerilimini düşürerek FV akımının artmasını sağlamış ve böylece FV üretcin üretebileceği gücün artmasına olanak sağlamıştır. 80-160 ms aralığında ise, FV dizi geriliminin artması sağlanarak FV dizi akımının azalması yoluyla maksimum güç üretilmesine imkân sağlanmıştır.



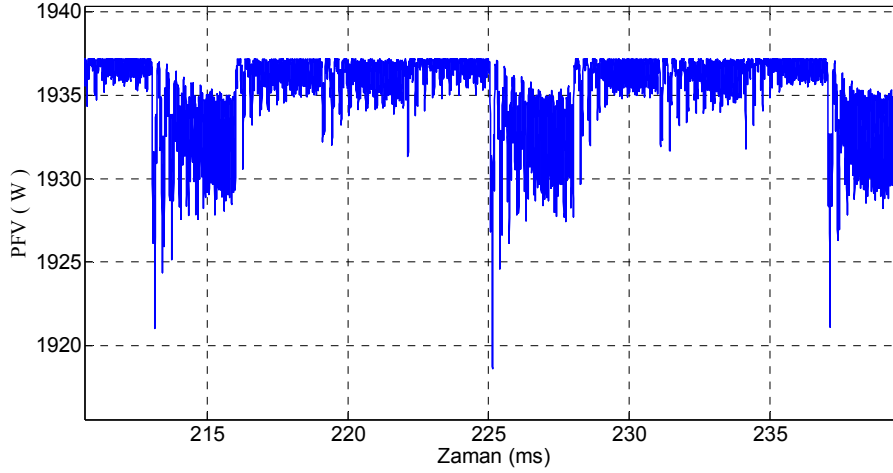
Şekil 3.16’da maksimum güç noktası civarına ulaşıldıktan sonra sürekli durumda güçte meydana gelen değişimleri belirtilen “a”, “b” ve “c” bölgelerinin büyültülmüş görünümleri Şekil 3.17, Şekil 3.18 ve Şekil 3.19’de yer almaktadır.



Şekil 3.17. Şekil 3.16’deki “a” bölgesinin büyültülmüş görünümü



Şekil 3.18. Şekil 3.16’deki “b” bölgesinin büyültülmüş görünümü



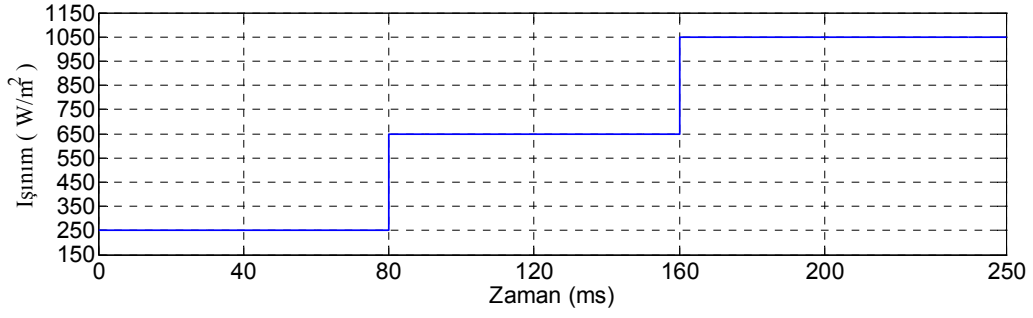
Şekil 3.19. Şekil 3.15'teki "c" bölgesinin büyültülmüş görünümü

### 3.1.4. Sabit Sıcaklık, Ani Değişen Işınlarda BMD Tabanlı MGNT Bulguları

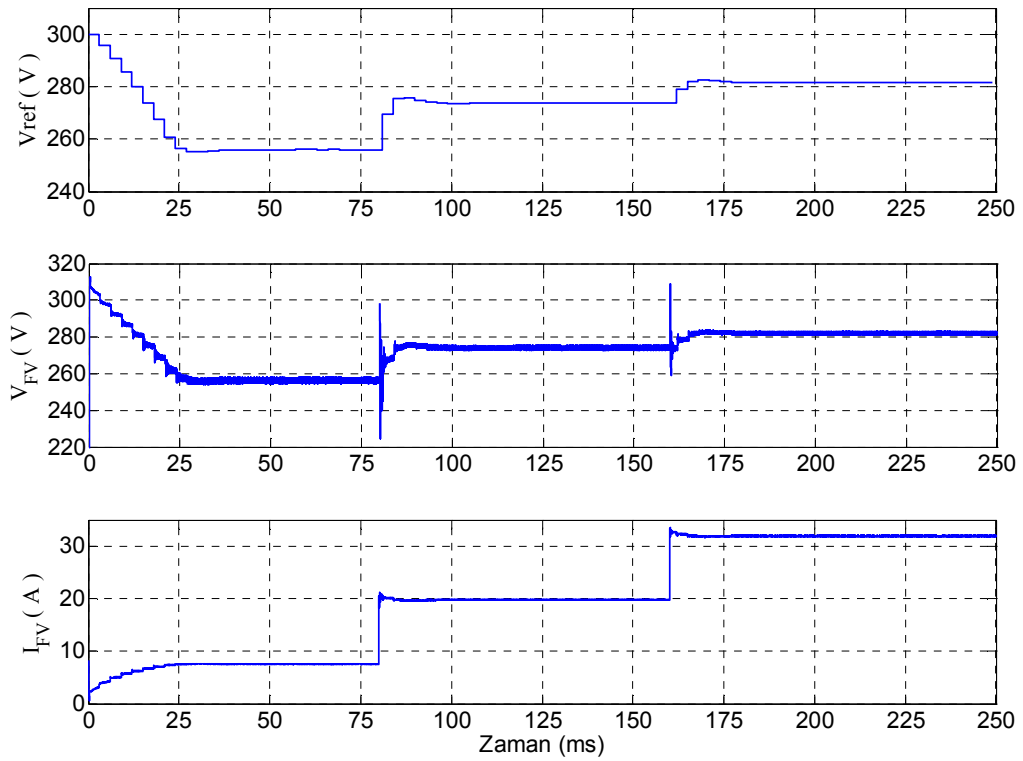
Bu bölümde, ışınımın ani olarak kademeli artışlarında, azalışlarında ve artış-azalışlarında önerilen BMD tabanlı MGNT yönteminin performansı incelenmiştir. Atmosfer koşullarından FV dizinin üreteceği güce en fazla etkisi olan ışınımın değiştiği durumlarda BMD tabanlı MGNT sisteminden alınan referans gerilim değeri, FV dizinin akım, gerilim ve güç parametreleri zamana bağlı olarak çizdirilmiştir, maksimum güce ulaşma süreleri belirtilmiştir. Ayrıca FV dizinin akım, gerilim ve güç eğrilerinin değişimleri üç boyutlu olarak çizdirilerek bu üç parametrede meydana gelen değişimler bir arada gösterilmiştir.

#### 3.1.4.1. Işınımın İki Kademeli Olarak Ani Artışı Durumu

Sıcaklık 25 °C'de sabit iken ışınım miktarının Şekil 3.20'deki gibi değiştiği durumda önerilen BMD tabanlı MGNT yöntemi ile elde edilen referans gerilim ( $V_{ref}$ ), FV dizinin gerilimi ( $V_{FV}$ ) ve FV dizi akımının ( $I_{FV}$ ) değişimleri Şekil 3.21'de yer almaktadır. Şekil 3.22'de ise FV dizi gücünün değişimi görülmektedir.



Şekil 3.20. Sabit sıcaklık altında iki kademeli olarak artan ışınlım



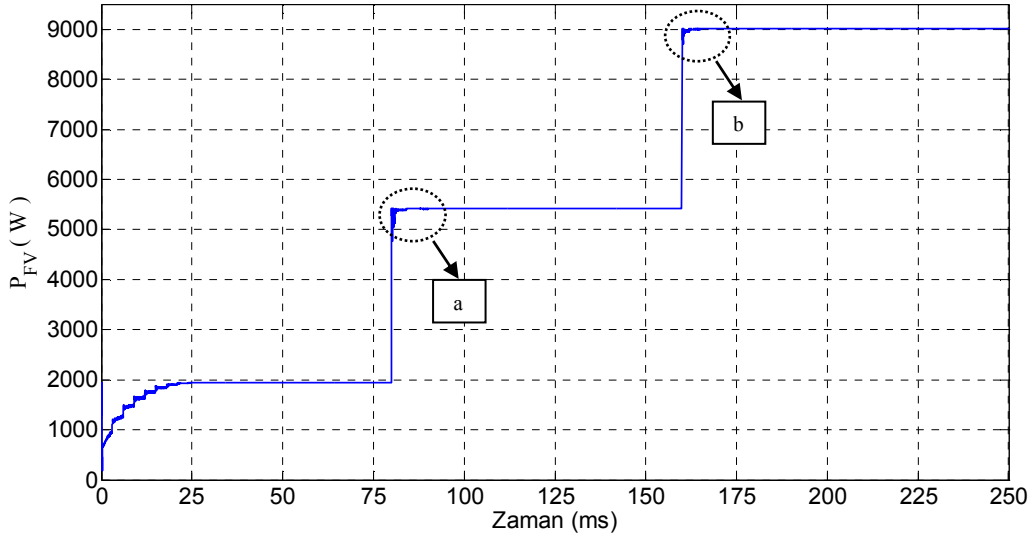
Şekil 3.21. Önerilen sistemde ışınlımın iki kademeli artışında  $V_{ref}$ ,  $V_{FV}$  ve  $I_{FV}$  değişimi

250 W/m<sup>2</sup> ışınlım değeriyle başlayan benzetimde, önerilen MGNT sisteminin ürettiği referans gerilim FV dizinin 25. ms'de maksimum güç noktasına ulaşmasını sağlamıştır. FV dizinin maksimum güce ulaşmasının ardından D&G algoritmasındaki gibi bir salınım oluşmamış, böylece FV dizi gücündeki dalgalanmalar en aza inmiştir.

İşınım miktarınının 80. ms'de 650 W/m<sup>2</sup>'ye yükselmesiyle BMD tabanlı MGNT birimi referans gerilim değerini hızla arttırarak, FV dizinin geriliminde meydana getirdiği artışa paralel FV dizi akımında düşüş sağlayarak yeni maksimum güç noktasına

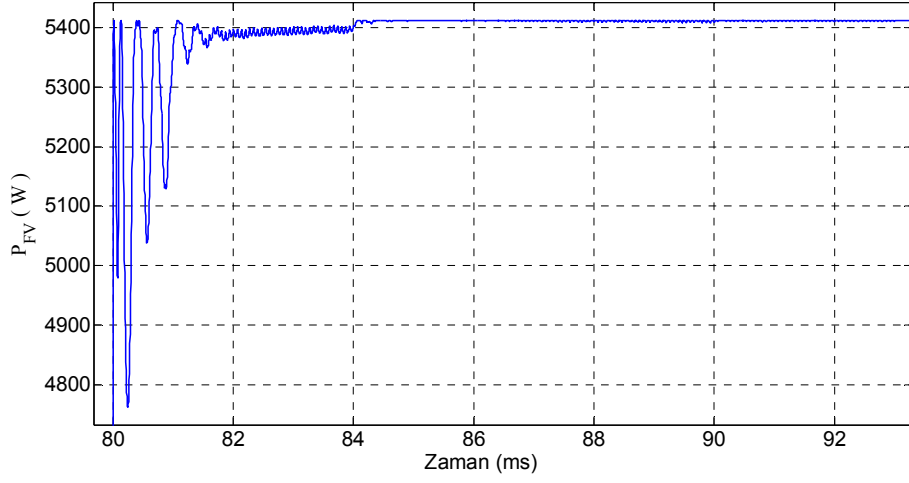
ulaşılmasını temin etmiştir. Işınımdaki artıştan sonra 10 ms içinde yeni maksimum güç noktasına ulaşılmış, 108. ms’de maksimum güç noktası araştırması sonlanarak referans gerilimin değeri korunmuş, güçteki dalgalanmalar en aza indirilmiştir.

160. ms’de ışınım miktarının  $1050 \text{ W/m}^2$ ’ye yükselmesiyle 10 ms’den daha kısa sürede maksimum güç noktasına ulaşılmıştır. 20 ms içinde toplam araştırma süresi sona ermiş ve 180. ms’den sonra referans gerilimdeki değişim, dolayısıyla FV dizi gücündeki dalgalanma çok küçük değerlere inmiştir.

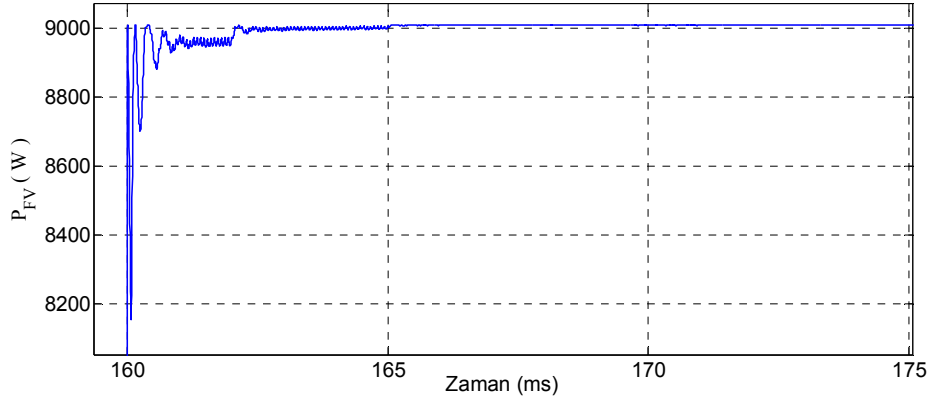


Şekil 3.22. Önerilen sistemde ışınımın iki kademeli artışında FV dizi gücünün değişimi

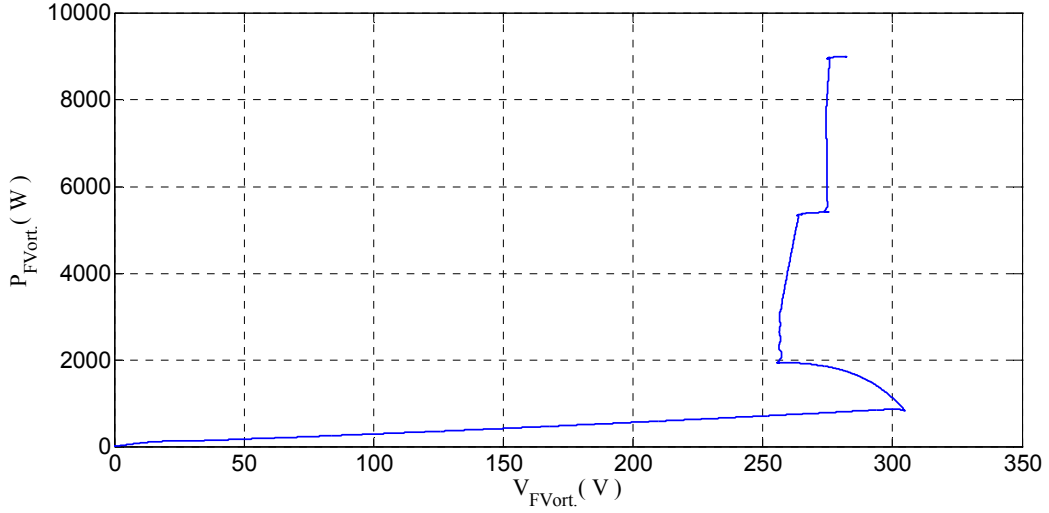
Şekil 3.22’de ışınımın değiştiği durumda güçte meydana gelen değişim görülmektedir. Şekil 3.22’de belirtilen “a” ve “b” bölgelerinin büyütülmüş görüntüleri Şekil 3.23 ve Şekil 3.24’te yer almaktadır.



Şekil 3.23. Şekil 3.22'deki "a" bölgesinin büyütülmüş görünümü

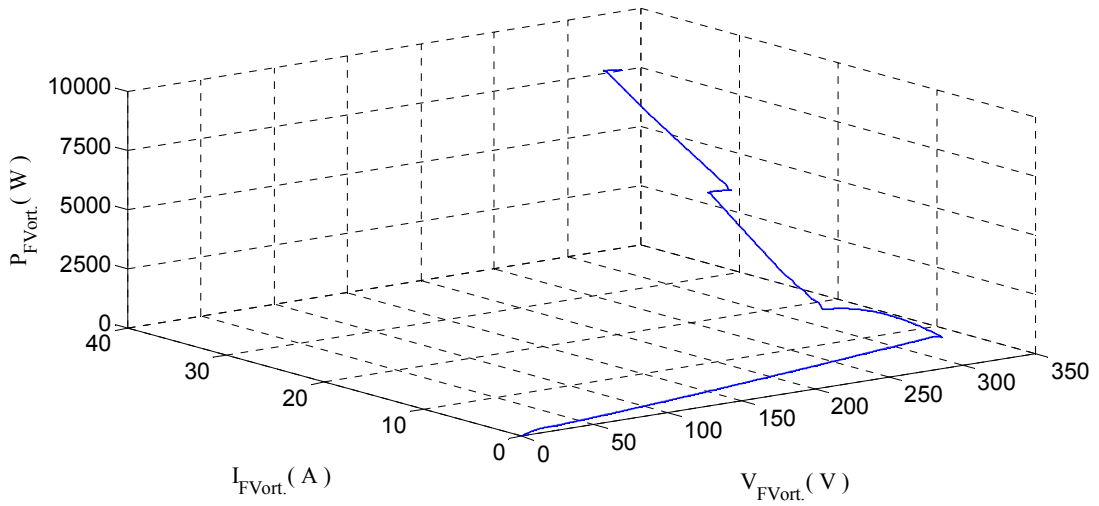


Şekil 3.24. Şekil 3.22'deki "b" bölgesinin büyütülmüş görünümü



Şekil 3.25. Önerilen sistemde ışınımın iki kademeli artışında FV dizinin ortalama gerilim ve güç değerlerindeki değişim

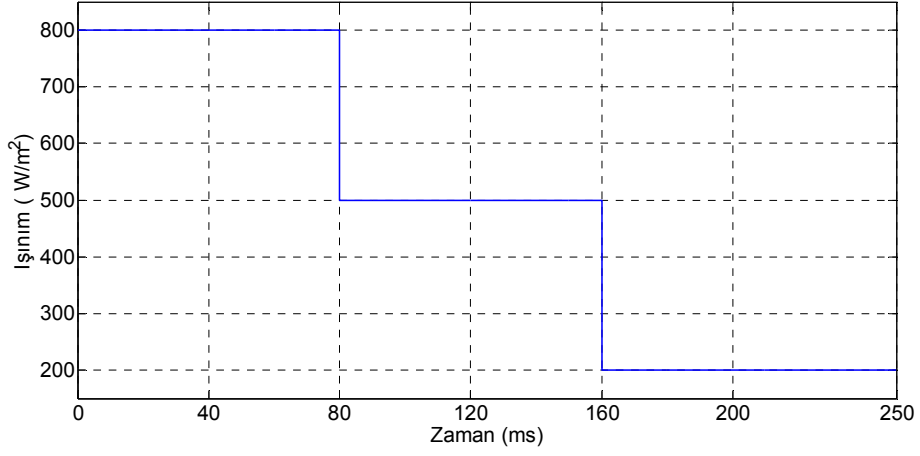
Işınımın değişmesi durumunda FV dizinin güç-gerilim değişimi Şekil 3.25'te yer almaktadır. FV dizinin güç-akım-gerilim parametrelerindeki değişimlerin üç boyutlu grafikte gösterimi Şekil 3.26'da görülmektedir.



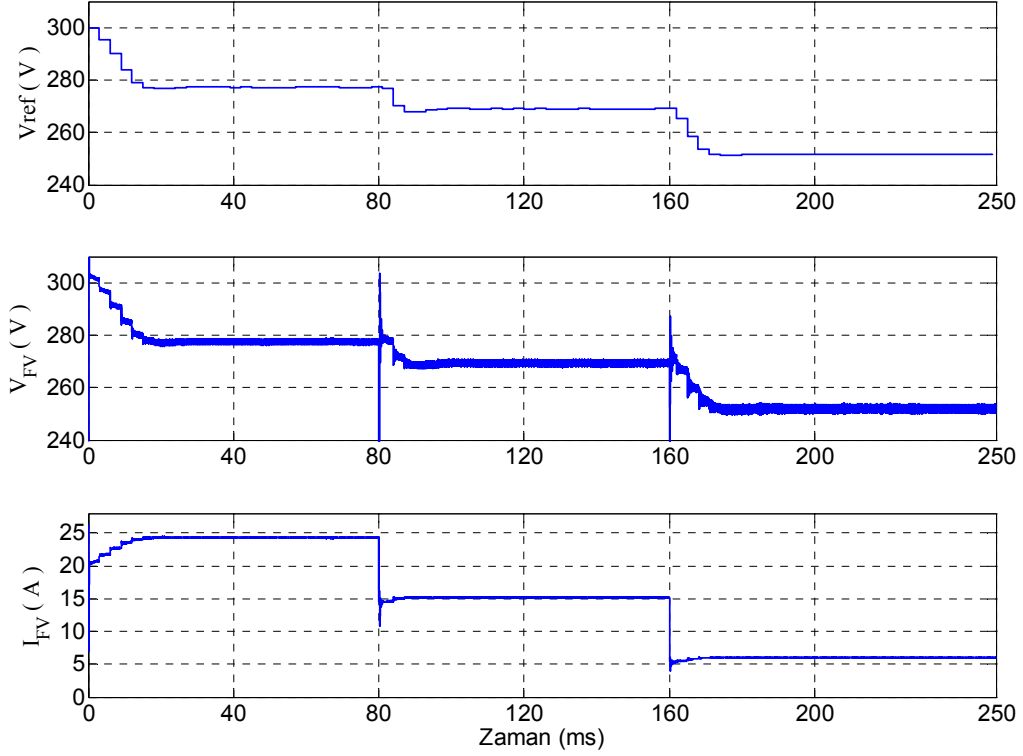
Şekil 3.26. Önerilen sistemde ışınımın iki kademeli artışında FV dizinin ortalama gerilim, akım ve güç değerlerindeki değişimin üç boyutlu gösterimi

### 3.1.4.2. Işınının İki Kademeli Olarak Ani Azalışı Durumu

Sıcaklık 25 °C’de sabit iken ışınım miktarının Şekil 3.27’deki gibi değiştiği durumda önerilen BMD tabanlı MGNT yöntemi ile elde edilen referans gerilim ( $V_{ref}$ ), FV dizinin gerilimi ( $V_{FV}$ ) ve FV dizi akımının ( $I_{FV}$ ) değişimleri Şekil 3.28’de yer almaktadır. Şekil 3.29’de ise FV dizi gücünün değişimi görülmektedir.



Şekil 3.27. Sabit sıcaklık altında iki kademeli olarak azalan ışınım

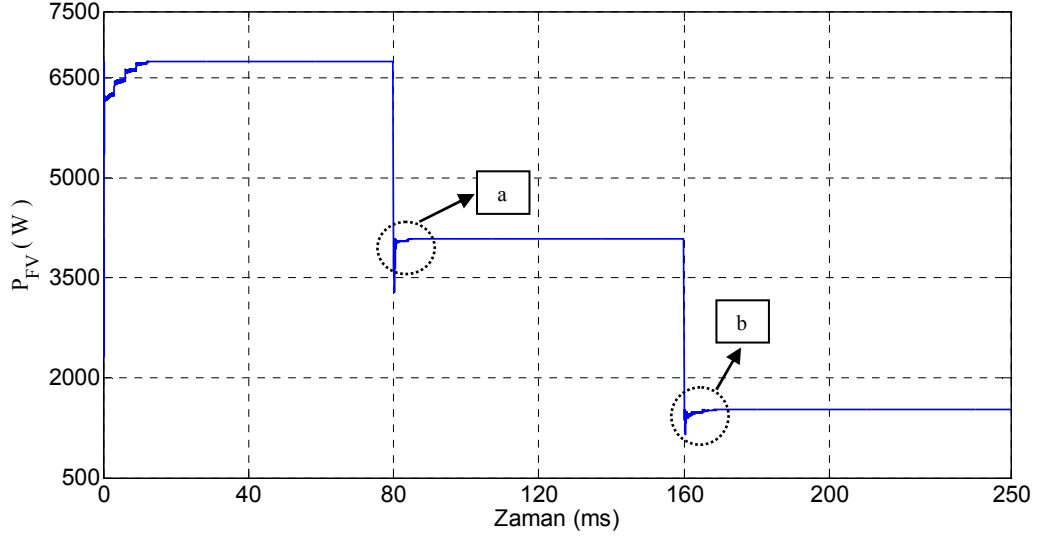


Şekil 3.28. Önerilen sistemde ışınının iki kademeli azalması durumunda  $V_{ref}$ ,  $V_{FV}$  ve  $I_{FV}$  değişimi

800 W/m<sup>2</sup> ışınım değeriyle başlayan benzetimde, önerilen MGNT sisteminin ürettiği referans gerilim FV dizinin 18. ms’de maksimum güç noktası civarına ulaşmasını sağlamıştır. FV dizinin maksimum güce ulaşmasının ardından D&G algoritmasındaki gibi sürekli durumda bir salınım oluşmamıştır. FV dizinin maksimum güç noktasından uzak olduğu kısımlarda BMD referans gerilimde büyük değişiklikler yapmış, maksimum güce yaklaştıkça referans gerilimdeki değişiklikleri esnek bir şekilde azaltmıştır.

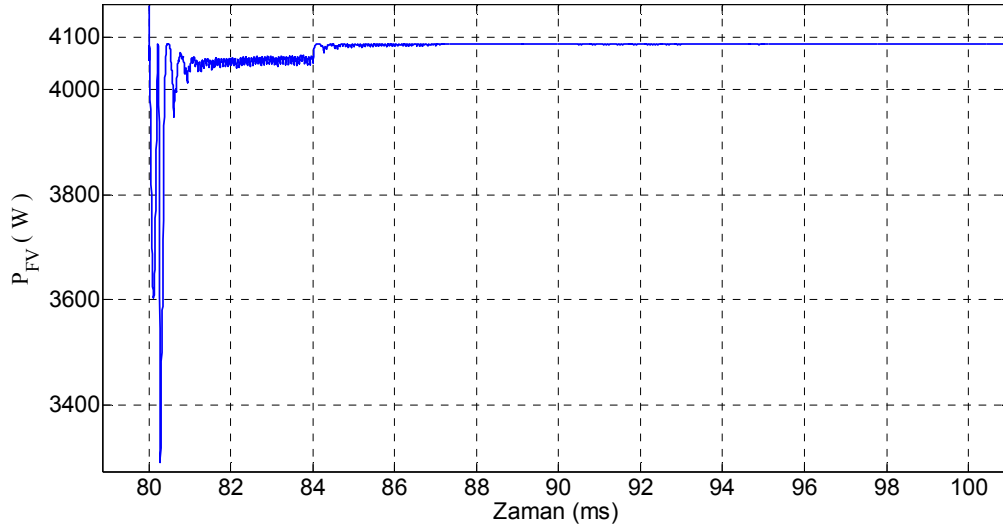
Işınım miktarının 80. ms’de 500 W/m<sup>2</sup>,ye düşmesiyle BMD tabanlı MGNT birimi referans gerilim değerini hızla düşürerek, FV dizinin geriliminde meydana getirdiği azalmaya paralel FV dizi akımında artışa yol açarak yeni maksimum güç noktasına ulaşmasını temin etmiştir. Maksimum güce yaklaştıkça referans gerilimdeki değişiklikler esnek olarak azalmıştır. Işınımdaki azalmadan 8 ms sonra yeni maksimum güç noktasına ulaşılmış, 100. ms’de maksimum güç noktası araştırması (MGNA) sonlanarak referans gerilimin değeri korunmuştur.



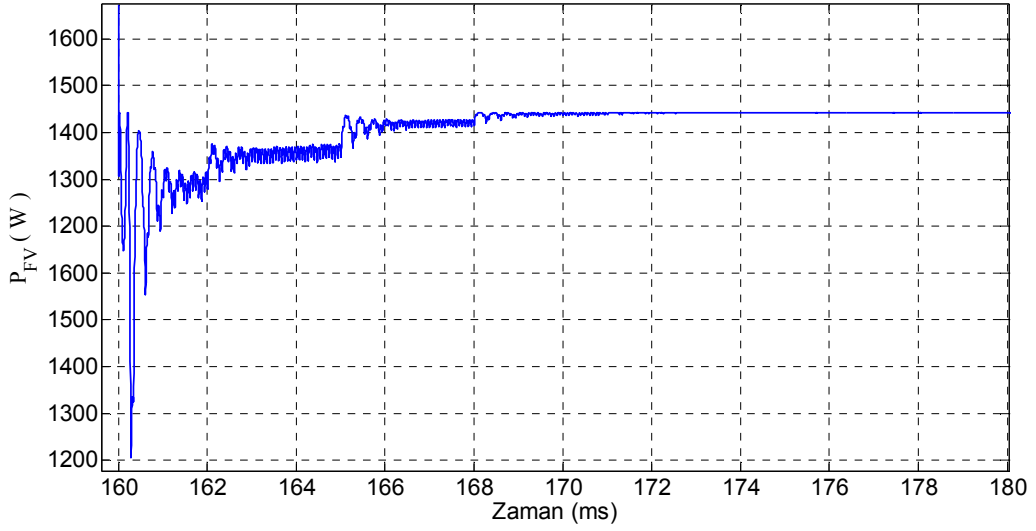


Şekil 3.29. Önerilen sistemde ışınının iki kademeli azalması durumunda FV dizi gücünün değişimi

Şekil 3.29’da yer alan FV dizi gücünün değişimi grafiğindeki “a” ve “b” bölgelerinin büyütülmüş görüntüleri Şekil 3.30 ve Şekil 3.31’de verilmiştir.

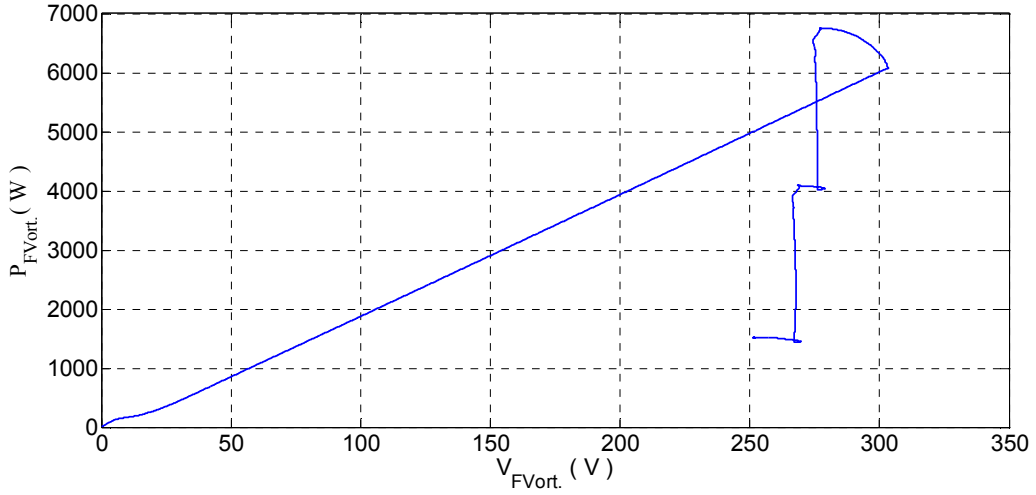


Şekil 3.30. Şekil 3.29’deki “a” bölgesinin büyütülmüş görünümü



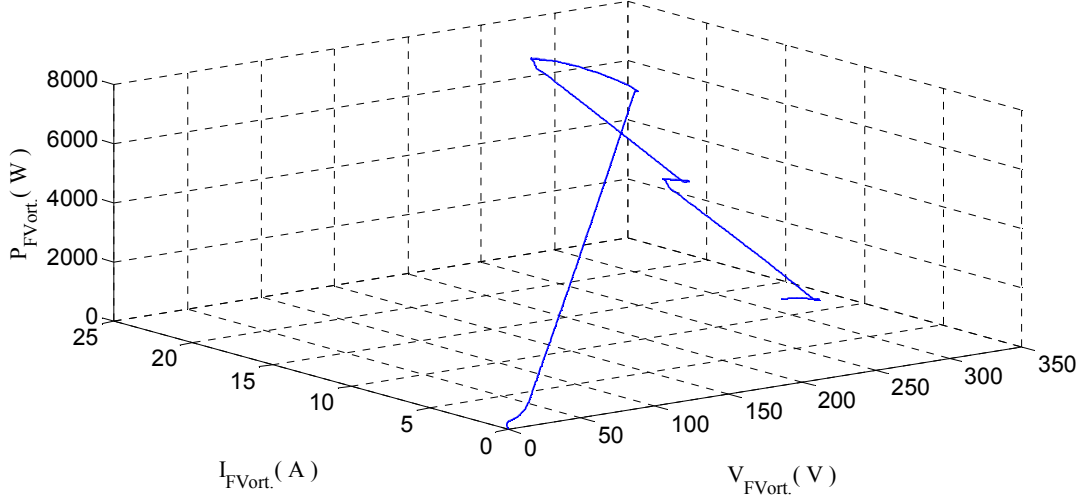
Şekil 3.31. Şekil 3.29'daki "b" bölgesinin büyütülmüş görünümü

160. ms'de ışınım miktarının  $200 \text{ W/m}^2$ 'ye düşmesiyle 172. ms'de maksimum güç noktasına ulaşılmıştır. Toplam 20 ms içinde MGNA süresi sona ermiş ve 180. ms'den sonra referans gerilimdeki değişim, dolayısıyla FV dizi gücündeki dalgalanma çok küçük değerlere inmiştir.



Şekil 3.32. Önerilen sistemde ışınımın iki kademeli azalışında FV dizinin ortalama gerilim ve güç değerlerindeki değişim

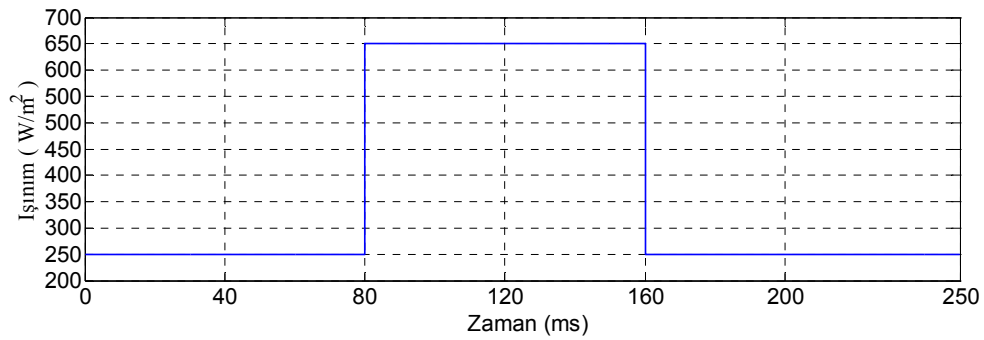
İşınımın kademeli olarak ani azalmalarında FV dizinin güç-gerilim değişimi Şekil 3.32’de yer almaktadır. FV dizinin güç-akım-gerilim parametrelerindeki değişimlerin üç boyutlu grafikte gösterimi ise Şekil 3.26’da görülmektedir.



Şekil 3.33. Önerilen sistemde ışınımın iki kademeli azalışında FV dizinin ortalama gerilim, akım ve güç değerlerindeki değişimin üç boyutlu gösterimi

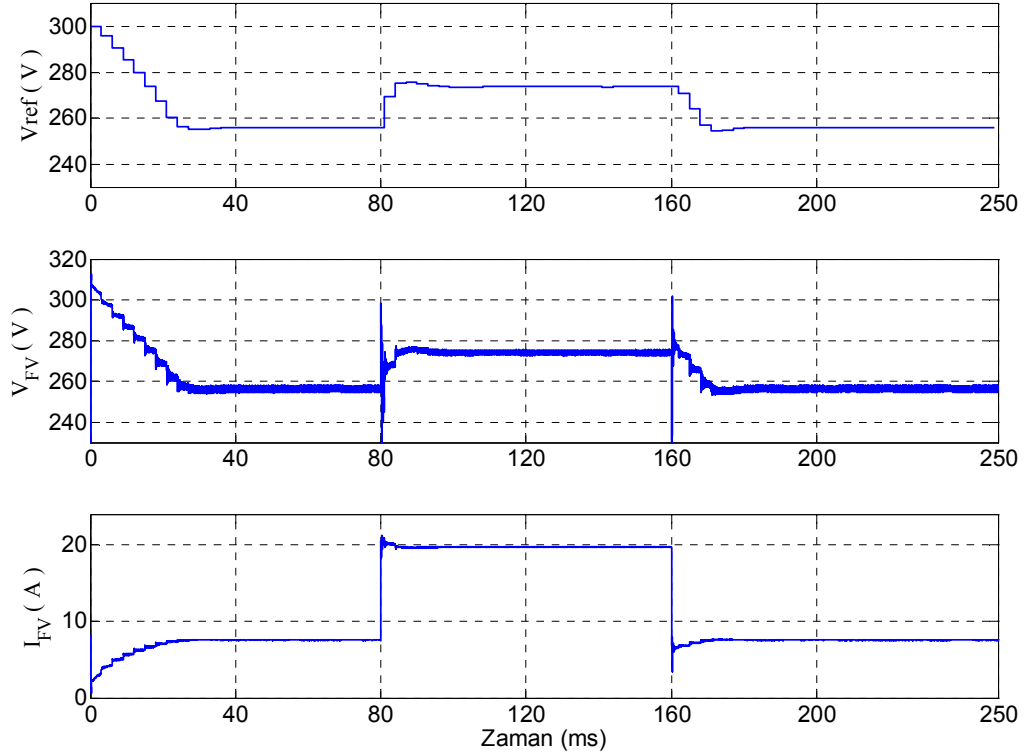
### 3.1.4.3. Işınımın Ani Artış-Azalış Durumu

Sıcaklık 25 °C’de sabit iken ışınım miktarının Şekil 3.34’teki gibi değiştiği durumda önerilen BMD tabanlı MGNT yöntemi ile elde edilen referans gerilim ( $V_{ref}$ ), FV dizinin gerilimi ( $V_{FV}$ ) ve FV dizi akımının ( $I_{FV}$ ) değişimleri Şekil 3.35’de yer almaktadır. Şekil 3.36’da ise FV dizi gücünün değişimi görülmektedir.



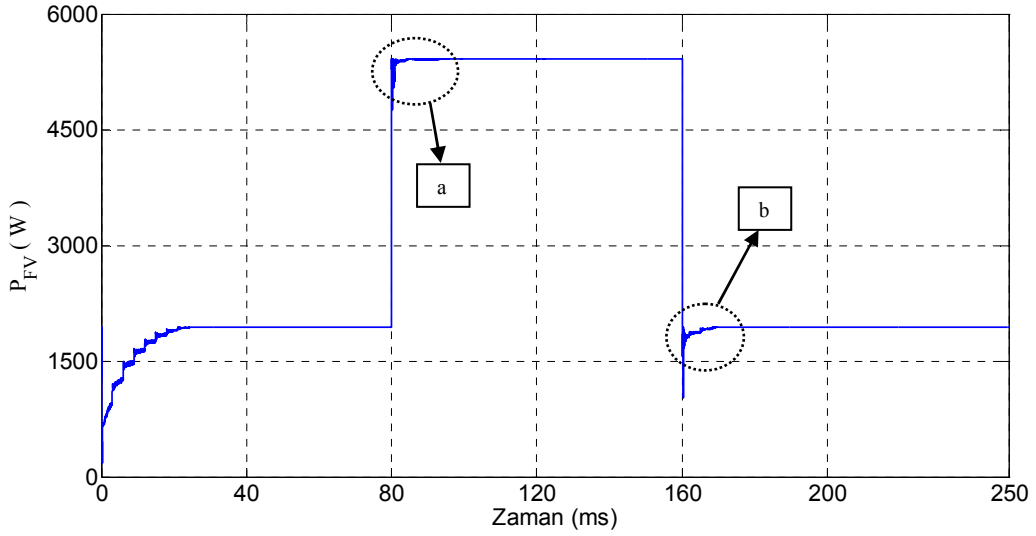
Şekil 3.34. Sabit sıcaklık altında ani artan ve azalan ışınım

250 W/m<sup>2</sup> ışınlım değeriyle başlayan benzetimde, önerilen MGNT sisteminin ürettiği referans gerilim FV dizinin 25. ms'de maksimum güç noktasına ulaşmasını sağlamıştır. Maksimum güç noktasından uzak olduğu kısımlarda BMD refererans gerilimde büyük değişiklikler yapmış, maksimum güce yaklaşıldıkça referans gerilimdeki değişiklikleri esnek bir şekilde azaltmıştır.



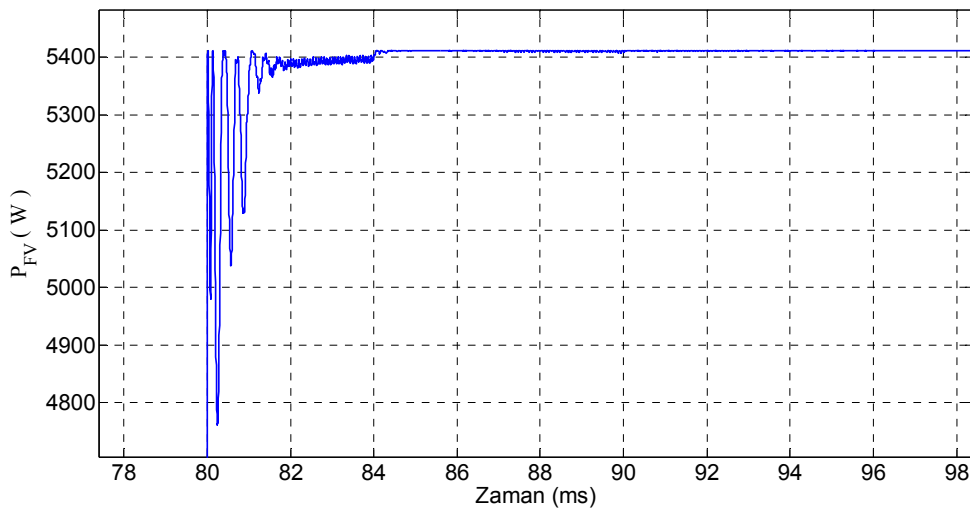
Şekil 3.35. Önerilen sistemde ışınlımın ani artması ve azalması durumunda  $V_{ref}$ ,  $V_{FV}$  ve  $I_{FV}$  değişimi

ışınlım miktarının 80. ms'de 650 W/m<sup>2</sup>'ye yükselmesiyle BMD tabanlı MGNT birimi referans gerilim değerini hızla artırarak, FV dizinin geriliminde meydana getirdiği artışa paralel FV dizi akımının azalmasını sağlayarak yeni maksimum güç noktasına ulaşmasını temin etmiştir. Maksimum güç noktasına yaklaştıkça referans gerilimdeki değişiklikler esnek olarak azalmıştır. ışınlımdaki artıştan 6 ms sonra yeni maksimum güç noktasına ulaşılmış, 100. ms'de MGNA sonlanarak referans gerilimin değeri korunmuştur.

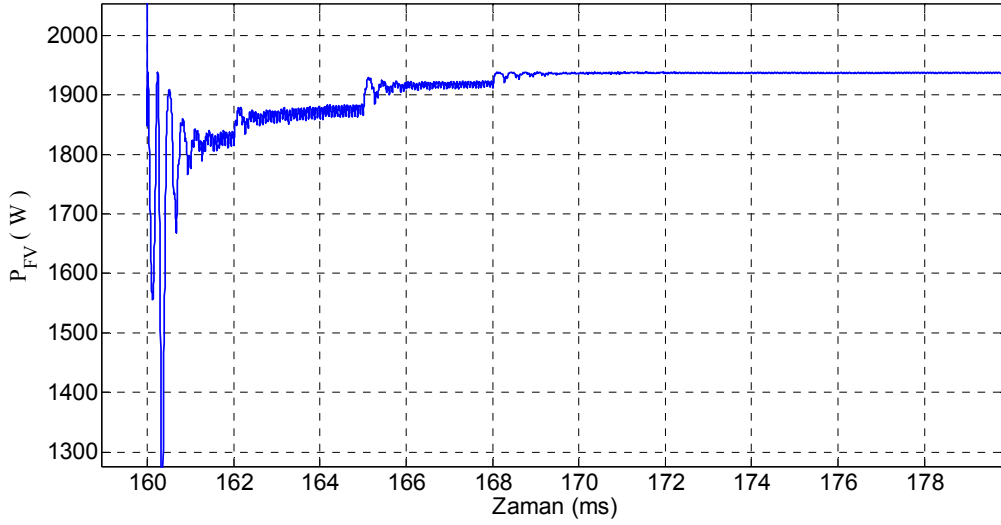


Şekil 3.36. Önerilen sistemde ışınımın ani artması ve azalması durumunda FV dizi gücünün değişimi

160. ms'de ışınım miktarının tekrar  $250 \text{ W/m}^2$ 'ye düşmesiyle 170. ms'de maksimum güç noktasına ulaşılmıştır. Toplam 20 ms içinde MGNA süresi sona ermiş ve 180. ms'den sonra referans gerilimdeki değişim, dolayısıyla FV dizi gücündeki dalgalanma çok küçük değerlere inmiştir. Şekil 3.36'da yer alan FV dizi gücünün değişimi grafiğindeki "a" ve "b" bölgelerinin büyütülmüş görüntüleri Şekil 3.37 ve Şekil 3.38'de verilmiştir.



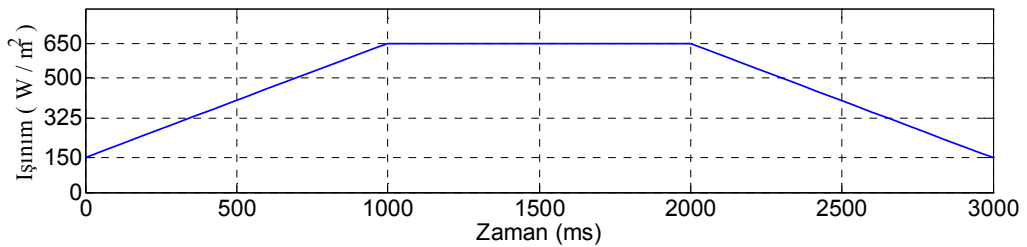
Şekil 3.37. Şekil 3.36'daki "a" bölgesinin büyütülmüş görünümü



Şekil 3.38. Şekil 3.36'daki "b" bölgesinin büyütülmüş görünümü

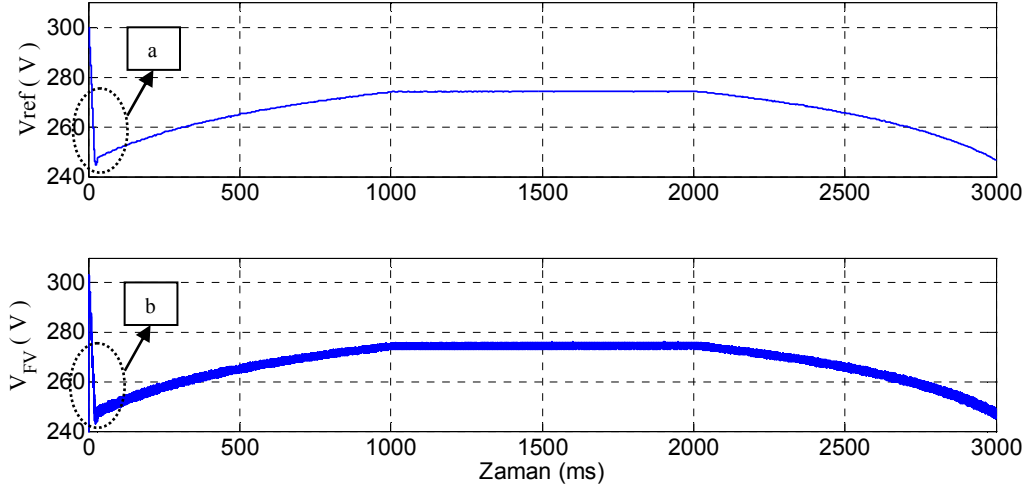
### 3.1.5. İkizkenar Yamuk Fonksiyonu Olarak Değişen Işınım Durumunda Önerilen Sistem Bulguları

Işınımın yavaş değişimlerle sürekli artması ve bir süre sonra uzun müddet sabit kalmasının ardından tekrar yavaş değişimlerle azalması durumunda önerilen BMD tabanlı MGNT sisteminin performansını görmek üzere ışınım miktarı Şekil 3.39'daki gibi değiştirilerek FV dizine uygulanmıştır. Şekil 3.39'daki şekil ikizkenar yamuk biçiminde olduğundan ikizkenar yamuk fonksiyonu şeklinde değişen ışınım diye adlandırılmıştır.



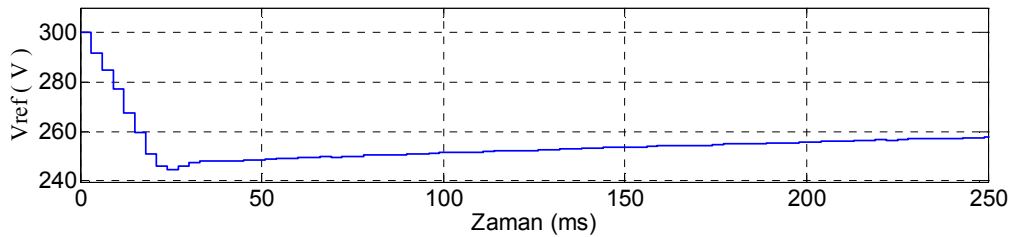
Şekil 3.39. İkizkenar yamuk fonksiyonu şeklinde değişen ışınım

25 °C sabit sıcaklık altında 0-1000 ms aralığında 150 W/m<sup>2</sup> değerinden başlayan ışınım 650 W/m<sup>2</sup>'ye yükselmiştir. 1000-2000 ms aralığında ise uzun bir müddet sabit kalmıştır. 2000-3000 ms aralığında azalarak tekrar 150 W/m<sup>2</sup> değerine düşmüştür.

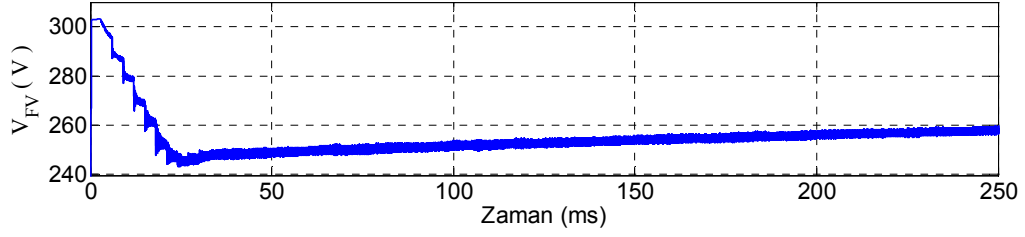


Şekil 3.40. Önerilen sistemde ikizkenar yamuk fonksiyonu şeklinde değişen ışınım durumunda  $V_{ref}$ ,  $V_{FV}$  ve  $I_{FV}$  değişimi

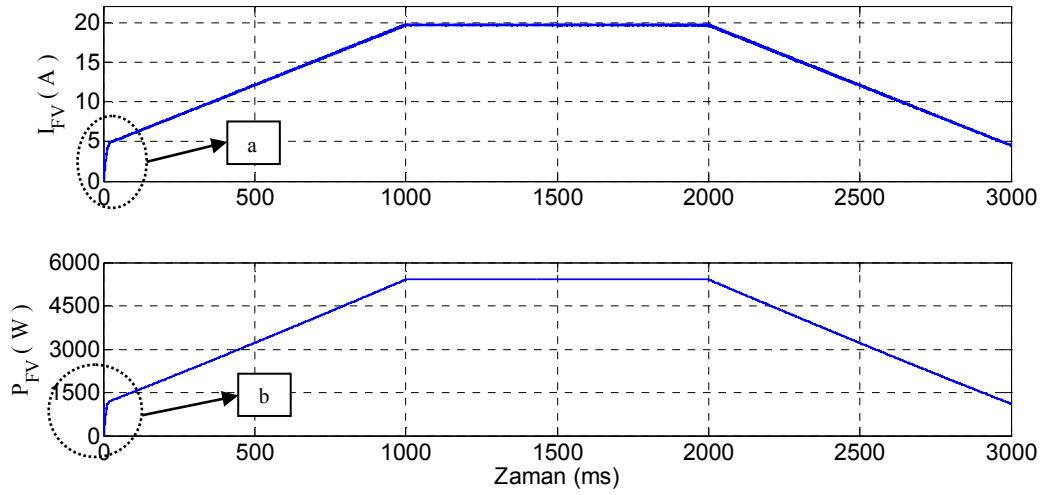
Sıcaklığın 25 °C sabit iken ışınımın Şekil 3.39'daki gibi değiştiği durumda önerilen BMD tabanlı MGNT yöntemi ile elde edilen referans gerilim ( $V_{ref}$ ) ve FV dizinin geriliminin ( $V_{FV}$ ) değişimleri Şekil 3.40'ta yer almaktadır. Şekilden de görüleceği üzere önerilen sistem çıkışından alınan  $V_{ref}$ , ışınımdaki değişmelere bağlı olarak maksimum güç elde edilmesini sağlayacak biçimde değişmiş böylece FV dizi gücünün ( $P_{FV}$ ) maksimum gücü izlemesi sağlanmıştır. Şekil 3.40'taki grafiklerde belirtilen "a" ve "b" bölgelerinin büyütülmüş görünümleri Şekil 3.41 ve Şekil 3.42'de verilmiştir.



Şekil 3.41. Şekil 3.40'taki "a" bölgesinin büyütülmüş görünümü

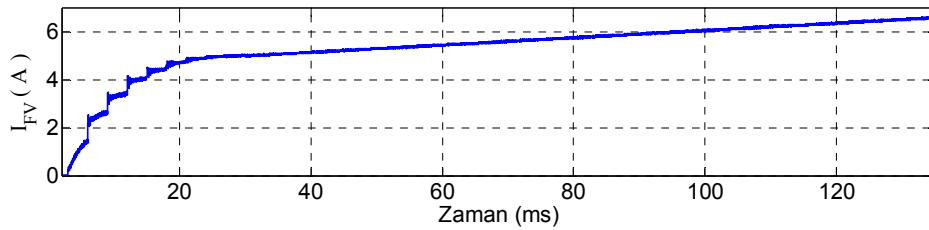


Şekil 3.42. Şekil 3.40'taki "b" bölgesinin büyütülmüş görünümü



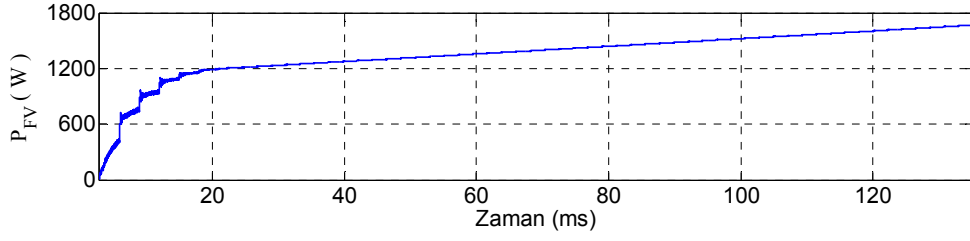
Şekil 3.43. Önerilen sistemde ikizkenar yamuk fonksiyonu şeklinde değişen ışınım durumunda  $I_{FV}$  ve  $P_{FV}$  değişimi

Şekil 3.43'te FV dizi akımı ( $I_{FV}$ ) ve gücünün ( $P_{FV}$ ) değişimleri yer almaktadır. Şekil 3.43'te belirtilen "a" ve "b" bölgelerinin büyütülmüş görünümleri aşağıdaki şekillerde yer almaktadır. Aşağıdaki şekiller Şekil 3.41 ve Şekil 3.42 ile birlikte incelendiğinde, sistemin 25 ms içinde maksimum güç noktasına ulaştığı ardından da değişen ışınımına bağlı olarak yeni maksimum güç değerlerini başarıyla takip ettiği görülmektedir.

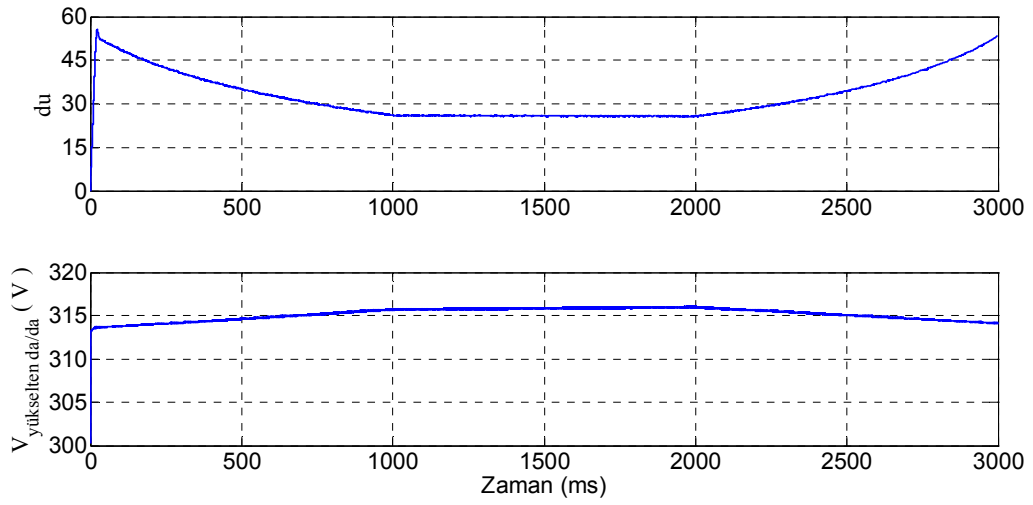


Şekil 3.44. Şekil 3.43'teki "a" bölgesinin büyütülmüş görünümü



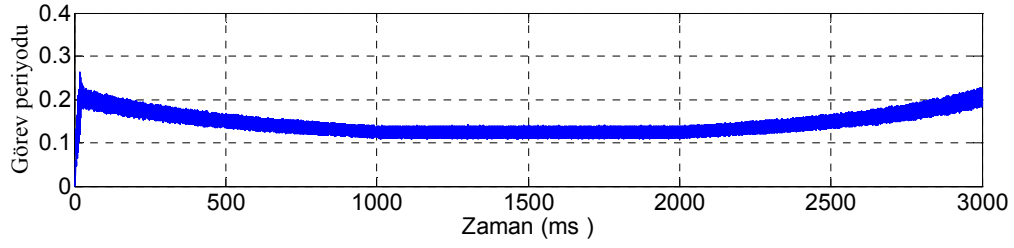


Şekil 3.45. Şekil 3.43'teki "b" bölgesinin büyütülmüş görünümü



Şekil 3.46. Önerilen sistemde ikizkenar yamuk fonksiyonu şeklinde değişen ışınım durumunda "du" ve yükseltici da/da dönüştürücü çıkış gerilimi değişimi

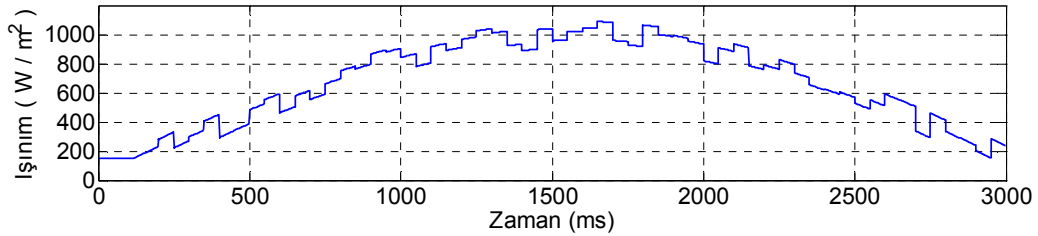
Önerilen MGNT sistemindeki bulanık mantık denetleyici çıkışının (du) değişimi ve MGNT biriminde elektriksel müdahale görevi gören DA/DA yükseltici dönüştürücünün çıkış gerilimindeki değişim Şekil 3.46'da verilmiştir. MGNT biriminden gelen  $V_{ref}$ 'e göre DA/DA dönüştürücüsünün görev periyodunu denetleyen PI denetleyicinin çıkışından alınan görev periyodunun değişimi Şekil 3.47'de yer almaktadır.



Şekil 3.47. Önerilen sistemde ikizkenar yamuk fonksiyonu şeklinde değişen ışınım durumunda da/da dönüştürücü görev periyodunun değişimi

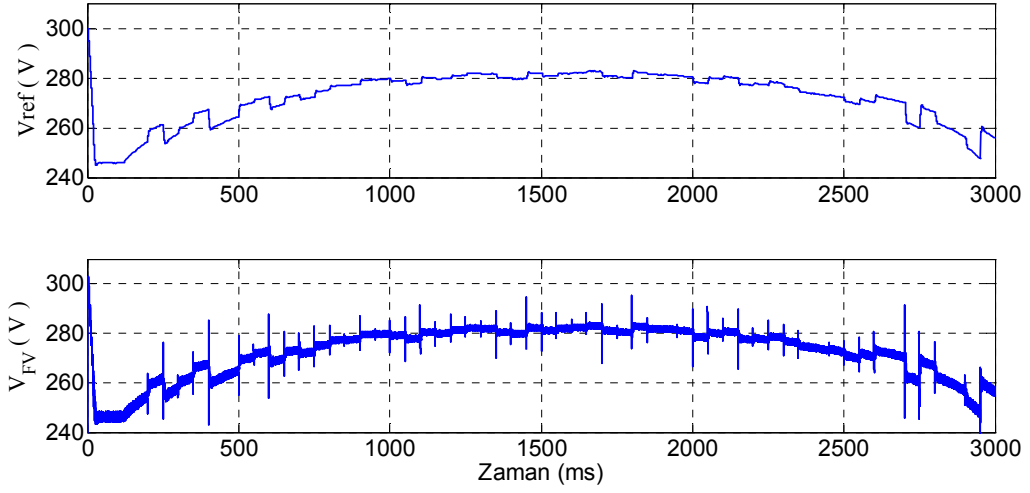
### 3.1.6. Bozucu Etkili Sinüs Fonksiyonu Olarak Değişen Işınım Durumunda Önerilen Sistem Bulguları

Işınımın belirli bir yörüngede yavaş değişmesi sırasında ani azalış ve artışların eklenmesiyle elde edilen ışınım biçimi durumunda BMD tabanlı MGNT sisteminin performansını görmek üzere, 25 °C sabit sıcaklıkta ışınım miktarı Şekil 3.48'deki gibi değiştirilerek FV diziyeye uygulanmıştır. Şekil 3.48'deki ışınımın değişimi bozucu eklenmiş yarım sinüs fonksiyonu şeklinde olduğundan bozucu etkili sinüs fonksiyonu şeklinde değişen ışınım diye adlandırılmıştır.

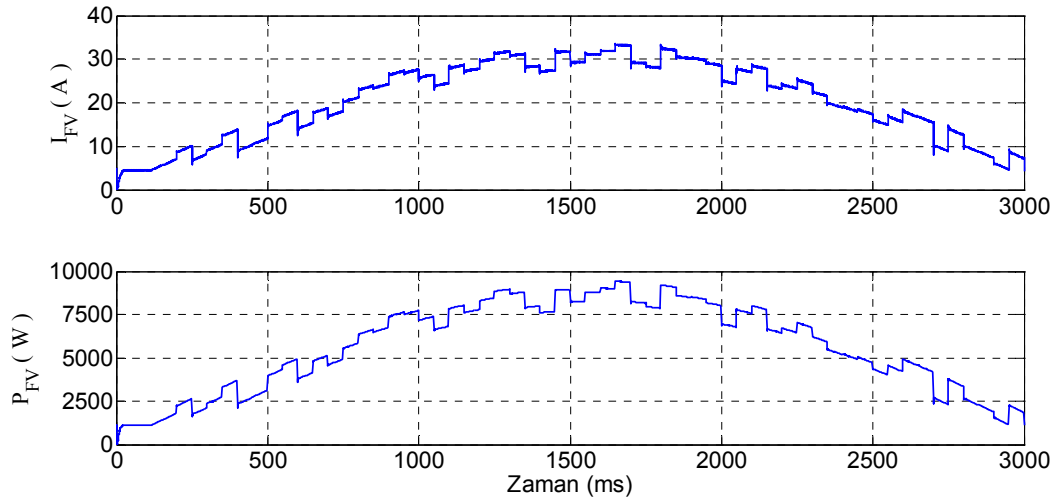


Şekil 3.48. Bozucu etki içeren sinüs fonksiyonu şeklinde değişen ışınım

Yukarıda belirtilen atmosfer koşullarında BMD tabanlı MGNT yöntemi ile elde edilen referans gerilim ( $V_{ref}$ ) ve FV dizinin geriliminin ( $V_{FV}$ ) değişimleri Şekil 3.49'da yer almaktadır. Şekilden de görüleceği üzere önerilen sistem çıkışından alınan  $V_{ref}$ , ışınımdaki değişmelere tepki vererek maksimum güç elde edilmesini sağlayacak biçimde değişmiş böylece FV dizi gücünün maksimum gücü izlemesi sağlanmıştır.



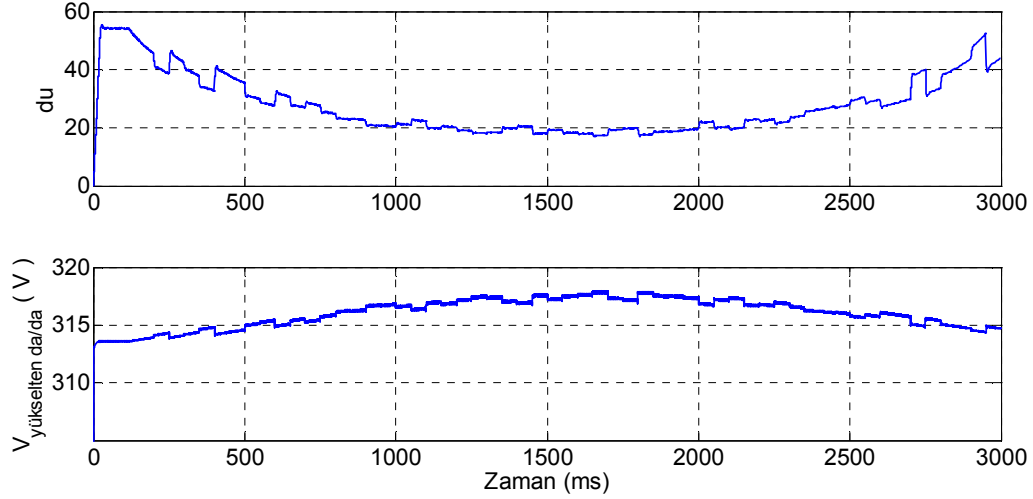
Şekil 3.49. Önerilen sistemde bozucu etki içeren sinüs şeklinde değişen ışınlım durumunda  $V_{ref}$  ve  $V_{FV}$  değişimi



Şekil 3.50. Önerilen sistemde bozucu etki içeren sinüs şeklinde değişen ışınlım durumunda  $I_{FV}$  ve  $P_{FV}$  değişimi

Şekil 3.50'de FV dizi akımı ( $I_{FV}$ ) ve gücünün ( $P_{FV}$ ) değişimleri yer almaktadır. Değişen ışınlıma bağlı olarak yeni maksimum güç değerlerini başarıyla takip ettiği görülmektedir.

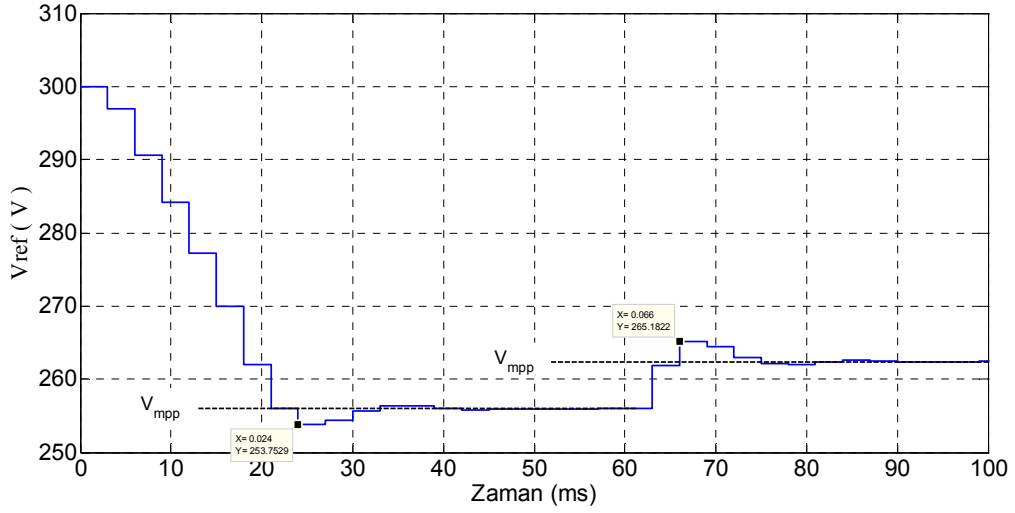
Önerilen MGNT sistemindeki bulanık mantık denetleyici çıkışının ( $du$ ) değişimi ve MGNT biriminde elektriksel müdahale görevi gören DA/DA yükseltici dönüştürücünün çıkış gerilimindeki değişim Şekil 3.51’de görülmektedir.



Şekil 3.51. Önerilen sistemde bozucu etkili sinüs şeklinde değişen ışınım durumunda “ $du$ ” ve yükselten da/da dönüştürücü çıkış geriliminin değişimi

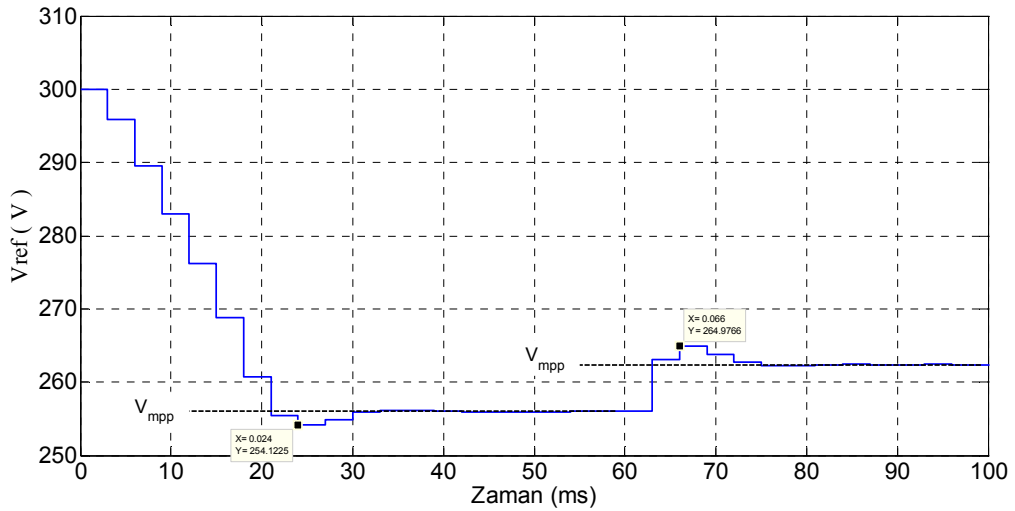
### 3.1.7. BMD Çıkışında Kullanılan İntegral Yönteminin Etkileri

BMD çıkışından kullanılan integratörde integral alma yönteminin MGNT yöntemine etkisini incelemek üzere, 2. Bölümde ayrıntıları açıklanan integral yöntemleri aynı şartlarda denenmiştir. Her bir yöntemde elde edilen referans gerilimdeki değişimler aşağıdaki şekillerde bulunmaktadır. Şekillerde kesik çizgilerle belirtilen  $V_{mpp}$ , maksimum gücün üretilmesini sağlayacak olan gerilim değeridir. Sabit sıcaklıkta ışınımın değişmesi durumunda her bir integral yöntemi için BMD çıkışından alınan referans gerilimin  $V_{mpp}$ 'ye ulaşma hızı, maksimum aşma miktarı ve sürekli durum kararlılığı incelenmiştir. 0-65 ms aralığında ışınım miktarı  $250 \text{ W/m}^2$  ve bu ışınım şiddetinde  $V_{mpp}$  değeri 256 V'dur. 65-100 ms aralığında ışınım miktarı  $350 \text{ W/m}^2$ 'ye yükselmiştir ve bu ışınım şiddetinde  $V_{mpp}$  değeri 262.3 V'tur.



Şekil 3.52. Forward Euler integral yöntemi kullanıldığında  $V_{ref}$ 'in değişimi

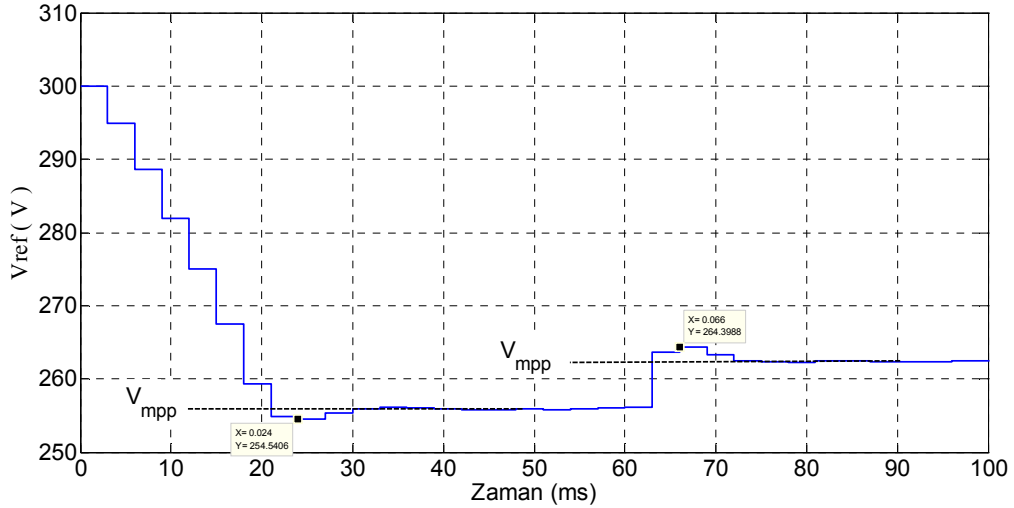
Forward Euler yöntemi kullanıldığında referans gerilimdeki değişim Şekil 3.52'de yer almaktadır. 0-65 ms aralığındaki durumda,  $V_{ref}$  değeri  $V_{mpp}$ 'yi 2.25 V aşmış, sürekli duruma 51 ms'de ulaşmıştır. Yani toplam araştırma süresi 51 ms sürmüştür. 65.ms'de ışınımın artması durumundan sonra  $V_{ref}$  değeri  $V_{mpp}$ 'yi 2.8 V aşmış, sürekli duruma 25 ms sonra ulaşmıştır.



Şekil 3.53. Trapezoid Euler integral yöntemi kullanıldığında  $V_{ref}$ 'in değişimi

Trapezoid Euler yöntemi kullanıldığında referans gerilimdeki değişim Şekil 3.53'te yer almaktadır. 0-65 ms aralığındaki durumda,  $V_{ref}$  değeri  $V_{mpp}$ 'yi 1.8 V aşmış, sürekli duruma 39 ms sonra ulaşmıştır. Yani toplam araştırma süresi 39 ms sürmüştür. 65. ms'de ışınımın artmasıyla  $V_{ref}$  değeri  $V_{mpp}$ 'yi 2.6 V aşmış sürekli duruma 16 ms sonra ulaşmıştır.

Backward Euler yöntemi kullanıldığında referans gerilimdeki değişim Şekil 3.54'te yer almaktadır. 0-65 ms aralığındaki durumda,  $V_{ref}$  değeri  $V_{mpp}$ 'yi 1.5 V aşmış, sürekli duruma 39 ms sonra ulaşmıştır. Yani toplam araştırma süresi 39 ms sürmüştür. 65. ms'de ışınımın artmasıyla  $V_{ref}$  değeri  $V_{mpp}$ 'yi 1.2 V aşmış sürekli duruma 13 ms sonra ulaşmıştır.

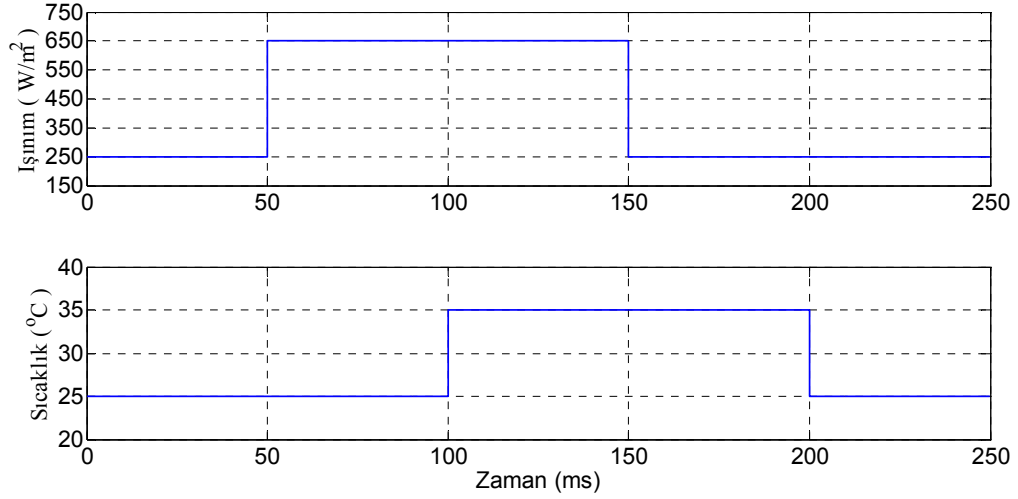


Şekil 3.54. Backward Euler integral yöntemi kullanıldığında  $V_{ref}$ 'in değişimi

Backward eular yöntemin kullanılması durumunda gerçek maksimum güç sağlayan gerilim değerine diğer yöntemlere nazaran daha hızlı ve en az aşmayla ulaşılmıştır. Bu nedenle önerilen sistemde Backward Euler yöntemi tercih edilmiştir.

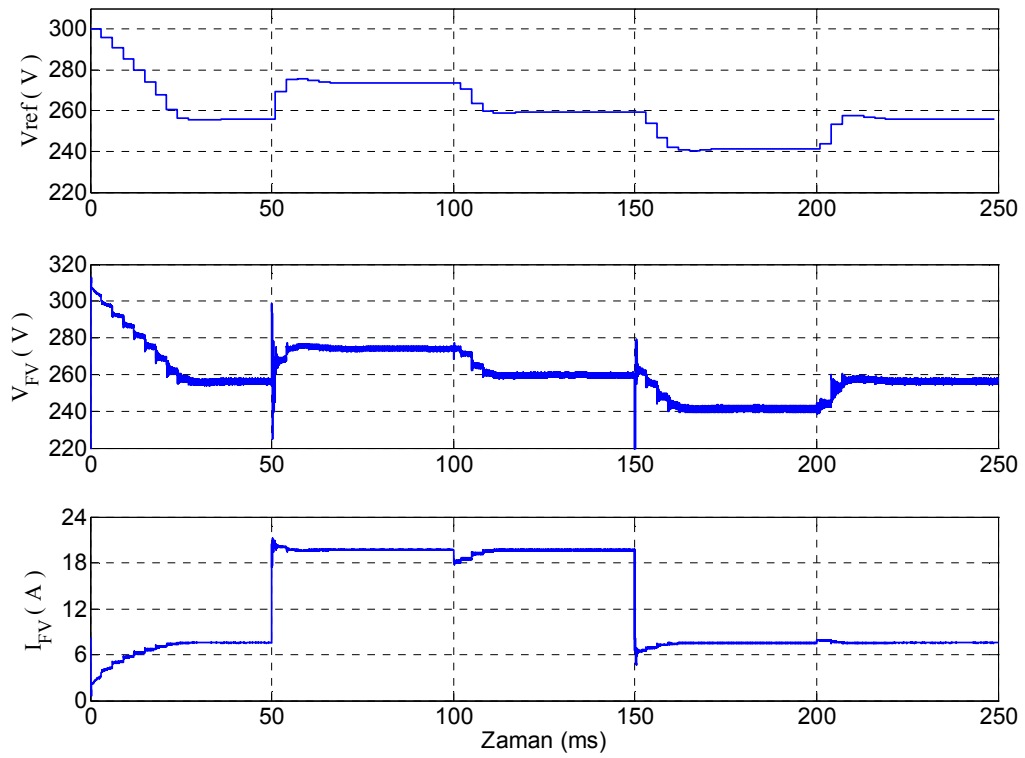
### 3.1.8. Değişken Işınım ve Sıcaklıklarda BMD Tabanlı MGNT Bulguları

Şimdiye kadar gerçekleştirilen benzetimlerde sıcaklığın sabit olduğu durumlar için, ışınım değişiminde elde edilen bulgular incelenmiştir. Bu kısımda hem ışınımın hem de sıcaklığın değişmesi durumunda elde edilen bulgular yer almaktadır.



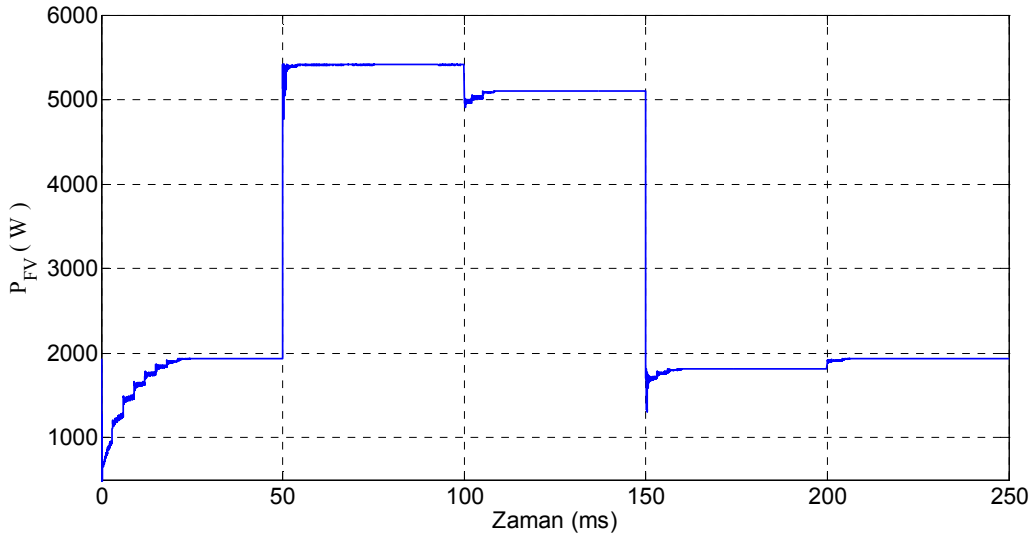
Şekil 3.55. Işınım ve sıcaklığın zamana göre değişimi

Işınım ve sıcaklığın Şekil 3.55'teki gibi değişmesi durumunda, BMD tabanlı MGNT yöntemi ile elde edilen bulgular aşağıdaki şekillerde yer almaktadır. Şekil 3.56  $V_{ref}$ , FV dizi gerilimi ( $V_{FV}$ ) ve FV dizi akımı ( $I_{FV}$ ) nin değişimlerini göstermektedir. Şekil 3.57 ise FV gücünün ( $P_{FV}$ ) değişimini göstermektedir.



Şekil 3.56. Işınım ve sıcaklığın zamana göre değiştiği durumda  $V_{ref}$ ,  $V_{FV}$  ve  $I_{FV}$

Işınım miktarı  $650 \text{ W/m}^2$  iken  $100. \text{ ms}$ 'de sıcaklığın  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 'den  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye yükselmesi, ışınımında herhangi bir değişme olmadığı halde üretilebilecek maksimum FV gücünün  $300 \text{ W}$  azalmasına yol açmıştır. Sıcaklığın artması ile BMD tabanlı MGNT,  $V_{\text{ref}}$  değerini azaltarak FV akımının yükselmesine yol açmış, böylece sıcaklığın  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  ve ışınımın  $650 \text{ W/m}^2$  olduğu atmosfer koşullarındaki maksimum güce ulaşılmasını sağlamıştır.



Şekil 3.57. Işınım ve sıcaklığın zamana göre değiştiği durumda  $P_{\text{FV}}$  değişimi

$150. \text{ ms}$ 'de ışınım miktarının  $650 \text{ W/m}^2$ 'den  $250 \text{ W/m}^2$ 'ye düşmesinin ardından  $200. \text{ ms}$ 'de sıcaklığın  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  azalması aynı ışınım değerinde üretilebilecek maksimum güç değerinin  $124 \text{ W}$  artmasını sağlamıştır. Sıcaklığın azalmasıyla BMD tabanlı MGNT,  $V_{\text{ref}}$  değerini arttırarak FV akımının azalmasına yol açmış, böylece sıcaklığın  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  ve ışınımın  $250 \text{ W/m}^2$  olduğu atmosfer koşullarındaki maksimum güce ulaşılmasını sağlamıştır.

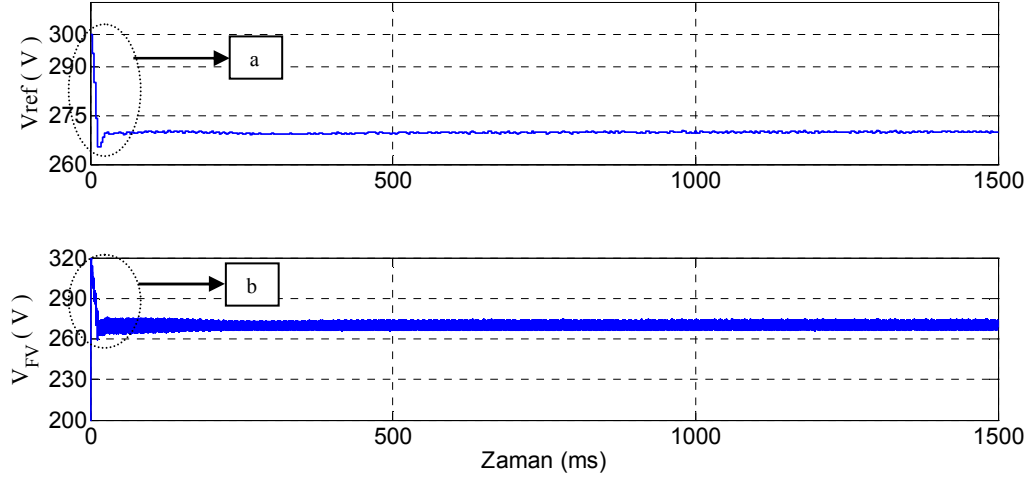
### 3.2. Önerilen Sistemin Şebekeye Bağlı Durumdaki Performansı

Önerilen MGNT sisteminin akım kontrollü bir evirici yardımıyla şebekeye güç aktardığı durumda, sabit ışınım ve değişken ışınımlarda elde edilen bulgular aşağıdaki bölümlerde yer almaktadır.



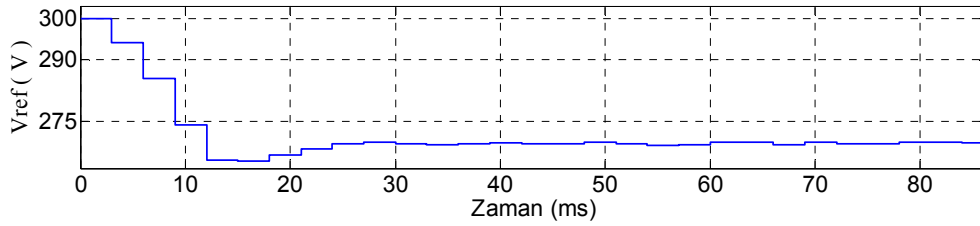
### 3.2.1. Sabit Sıcaklık ve Işınımında Sistem Performansı

Sıcaklığın  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve ışınımın  $500\text{ W/m}^2$  olduğu atmosfer koşullarında şebekeye bağlı çalışan FV sistemde, BMD tabanlı MGNT ile elde edilen bulgular aşağıdaki şekillerde yer almaktadır.

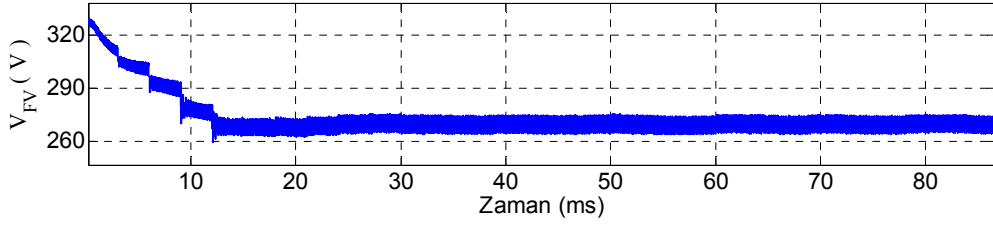


Şekil 3.58. Şebekeye bağlı durumda sabit sıcaklık ve ışınımında  $V_{ref}$  ve  $V_{FV}$ 'nin değişimi

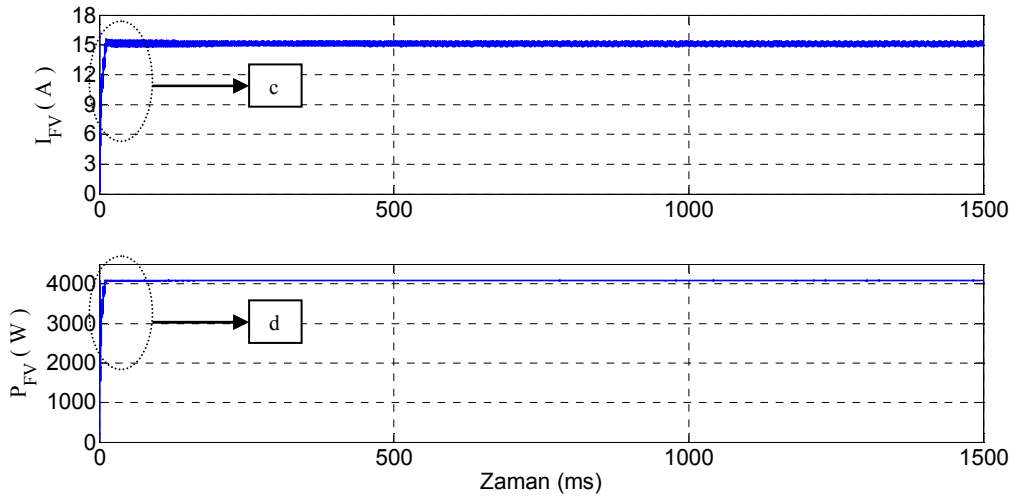
$V_{ref}$  ve FV dizi gerilimi ( $V_{FV}$ ) değişimleri Şekil 3.58'de yer almaktadır. Şekil 3.58'de belirtilen "a" ve "b" bölgelerinin büyütülmüş görünümü aşağıdaki şekillerde bulunmaktadır. Toplam araştırma süresi 30 ms sürmüştür ve 30. ms'den sonra  $V_{ref}$ 'in değişimi sürekli hale geçmiştir. DA bağlantı noktasındaki gerilimde meydana gelen salınımlar, FV diziden çekilen akımda da salınımlara yol açmaktadır. BMD tabanlı MGNT sistemi bu salınımları tolere ederek gücün dalgalanmasının önüne geçmek üzere sürekli halde  $V_{ref}$ 'te küçük değişiklikler yapmıştır.



Şekil 3.59. Şekil 3.58'deki "a" bölgesinin büyütülmüş görünümü

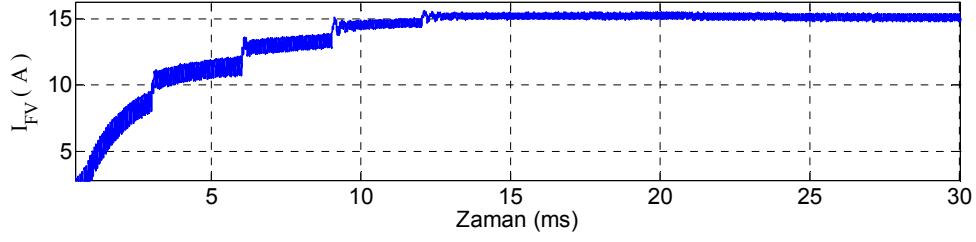


Şekil 3.60. Şekil 3.58'deki "b" bölgesinin büyütülmüş görünümü

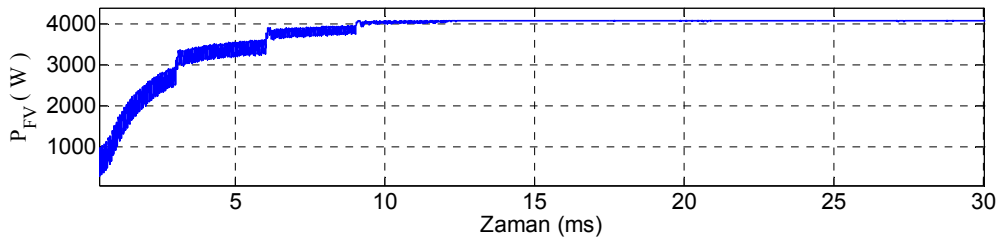


Şekil 3.61. Şebekeye bağlı durumda sabit sıcaklık ve ışıнімda  $I_{FV}$  ve  $P_{FV}$ 'nin değişimi

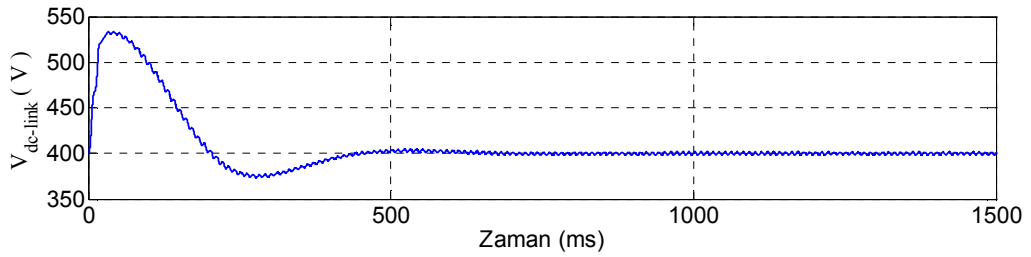
FV dizi akımı ve FV dizi gücünün değişimleri Şekil 3.61'de gösterilmiştir. Şekil 3.62 ve Şekil 3.63, FV akımındaki ve FV gücündeki değişimlerde belirtilen bölgelerin büyütülmüş görünümünü göstermektedir. Şekil 3.63'ten de görülebileceği gibi maksimum güç noktasına 15. ms'de büyük oranda ulaşılmıştır. Toplam araştırma süresinin sonunda ise güçteki dalgalanmalar en aza inmiştir.



Şekil 3.62. Şekil 3.61'deki "c" bölgesinin büyütülmüş görünümü

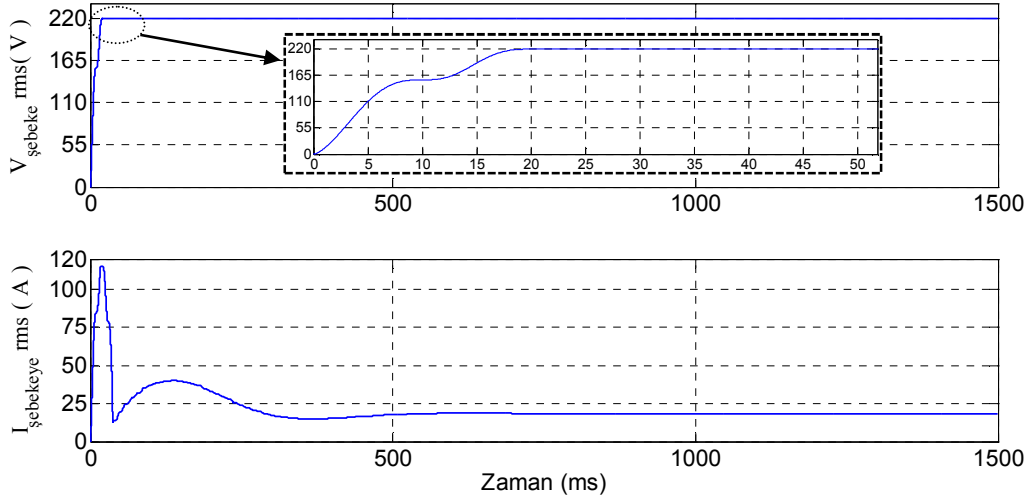


Şekil 3.63. Şekil 3.61'deki "d" bölgesinin büyütülmüş görünümü



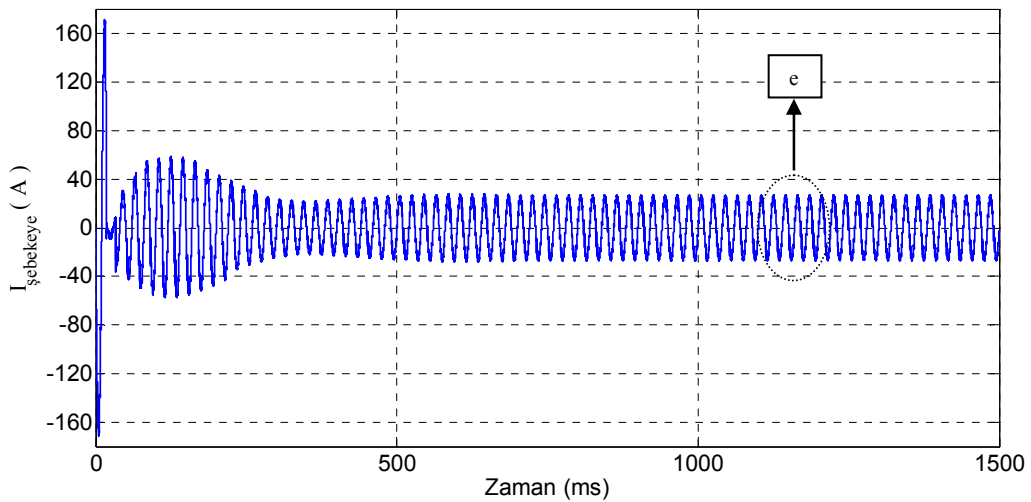
Şekil 3.64. Sabit sıcaklık ve ışınlımda da bağlantı noktasındaki gerilimin değişimi

DA bağlantı noktasındaki gerilim, DA bağlantı kapasitörü üzerindeki gerilimdir. Akım kontrollü bir inverterin referans akımının değiştirilmesi suretiyle DA bağlantı noktasındaki gerilim 400 V referans değerinde sabit tutulmaktadır. DA bağlantı gerilimi referans değerinin üzerine çıktığında inverterin referans akımı artırılmakta böylece DA bağlantı noktasından daha fazla akım çekilerek gerilimin düşmesi sağlanmaktadır. DA bağlantı geriliminin referans değerinin altına inmesi durumunda ise tam tersi durum uygulanarak gerilimin referans değerini koruması gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.64 DA bağlantı noktasındaki DA geriliminin değişimini göstermektedir.

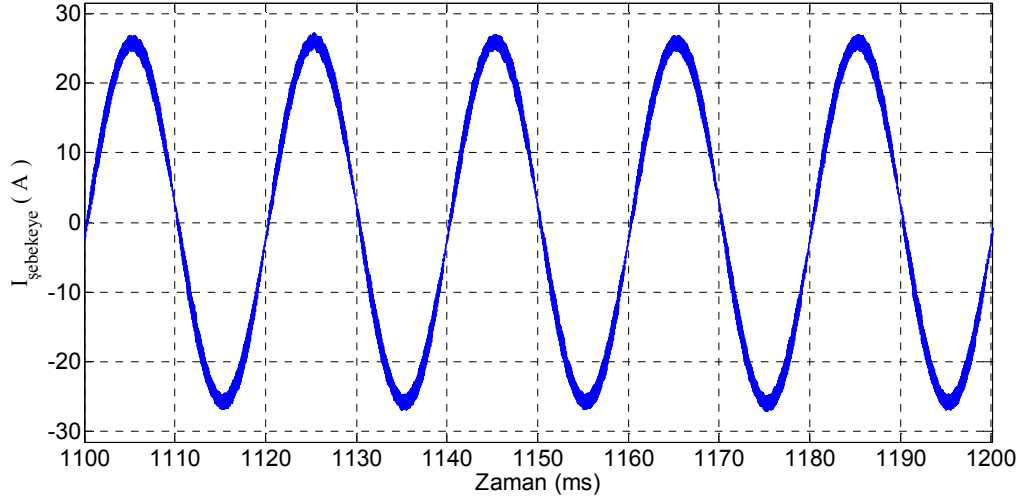


Şekil 3.65. Şebeke geriliminin ve şebekeye aktarılan akımın efektif değerleri

Şebeke gerilimi ve şebekeye aktarılan akımın efektif (rms) değerindeki değişimler Şekil 3.65'te yer almaktadır. Şebekeye aktarılan akım geçici durumdaki ani artış değerinden sonra, DA bağlantı noktasındaki gerilim değerindeki değişime paralel bir değişim göstermiştir. DA bağlantı noktası geriliminin sürekli halde referans gerilim değerine oturmasıyla, şebekeye aktarılan akımın efektif değeri 18 A olmuştur. Sürekli durumda şebekeye aktarılan akımdaki toplam harmonik bozulması (THD) % 4 olarak tespit edilmiştir. Şekil 3.66'da şebekeye aktarılan akımın anlık değişimi görülmektedir. Şekil 3.67'de şebekeye aktarılan akımın 5 periyotluk değişiminin büyütülmüş görünümü yer almaktadır.



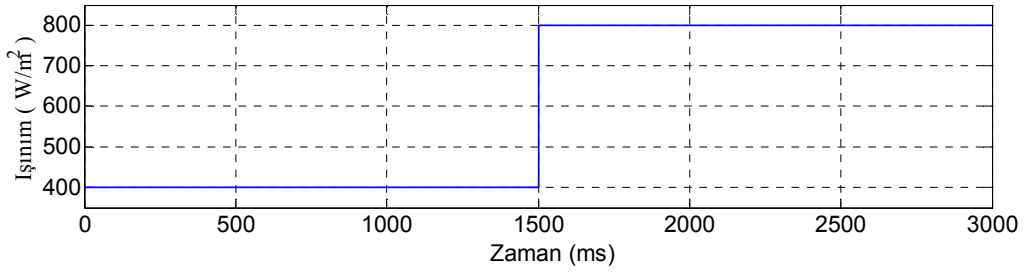
Şekil 3.66. Şebekeye aktarılan akımın anlık değişimi



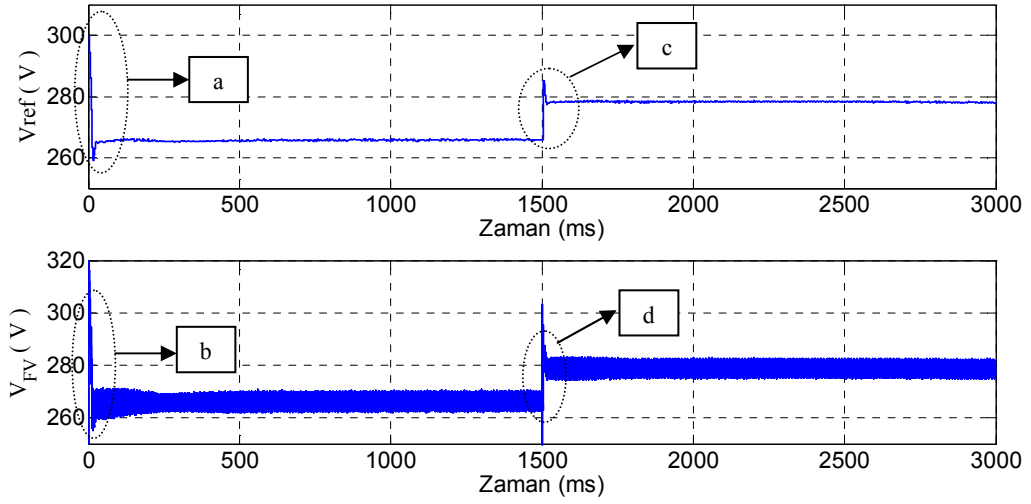
Şekil 3.67. Şekil 3.66’da belirtilen “e” bölgesinin büyültülmüş görünümü

### 3.2.2. Işınımdaki Artış Durumunda Sistem Performansı

Işınının artması durumunda şebekeye bağlı çalışan FV sistemde meydana gelen değişiklikleri görmek için 25 °C sabit sıcaklık altında ışınının Şekil 3.68’deki gibi değişmesi durumunda elde edilen bulgular aşağıdaki şekillerde verilmiştir.  $V_{ref}$  ve FV dizi geriliminin değişimi Şekil 3.69’da yer almaktadır.

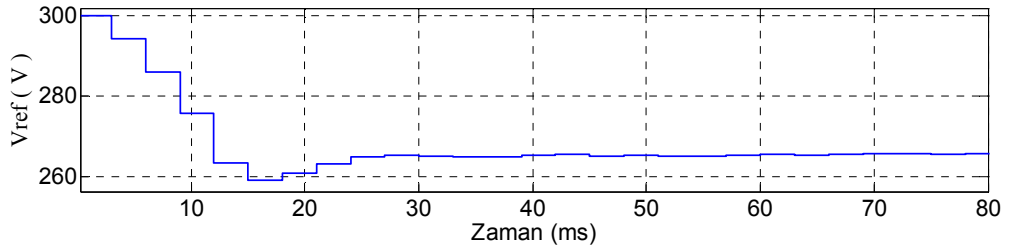


Şekil 3.68. Sabit sıcaklıkta artan ışınım

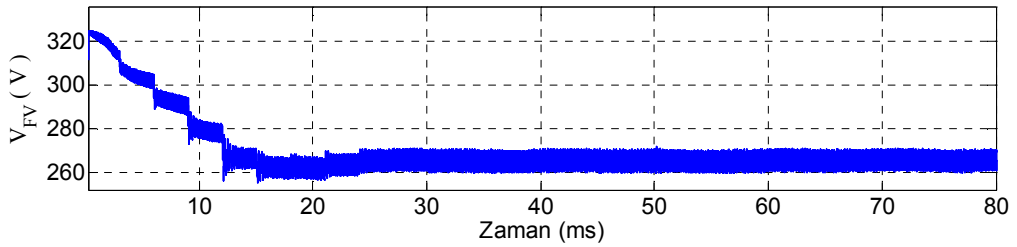


Şekil 3.69. Şebekeye bağlı sistemde ışıınının artması durumunda  $V_{ref}$  ve  $V_{FV}$ 'nin değişimi

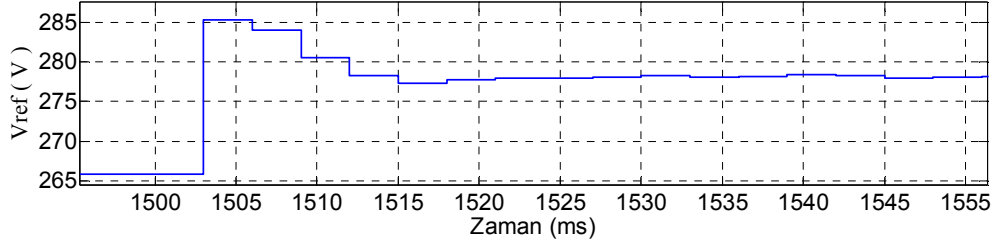
Şekil 3.69'da belirtilen a,b,c ve d bölgelerinin büyütülmüş görünümleri aşağıdaki şekillerde yer almaktadır.



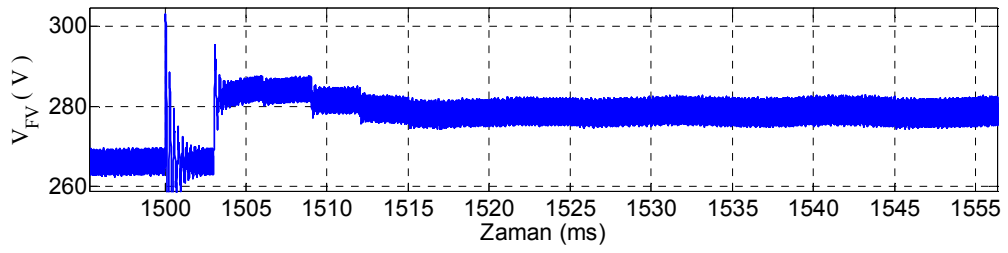
Şekil 3.70. Şekil 3.69'da belirtilen "a" bölgesinin büyütülmüş görünümü



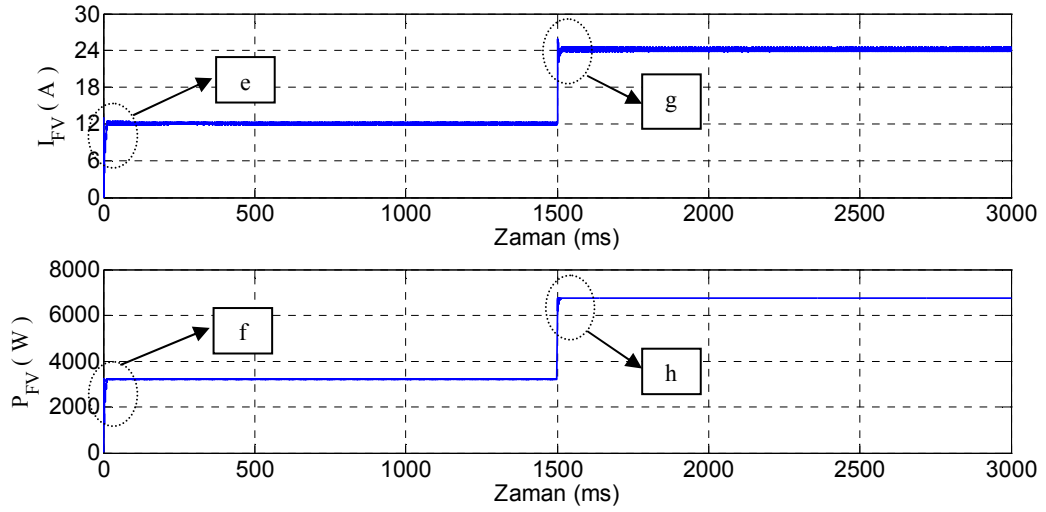
Şekil 3.71. Şekil 3.69'da belirtilen "b" bölgesinin büyütülmüş görünümü



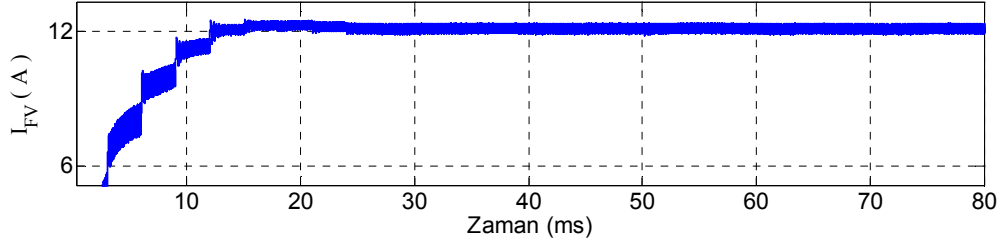
Şekil 3.72. Şekil 3.66'da belirtilen "c" bölgesinin büyültülmüş görünümü



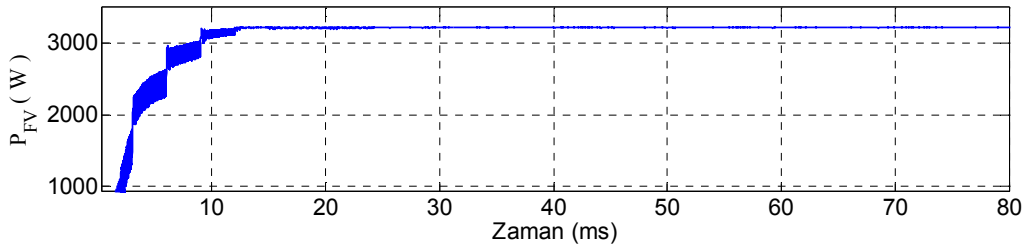
Şekil 3.73. Şekil 3.69'da belirtilen "d" bölgesinin büyültülmüş görünümü



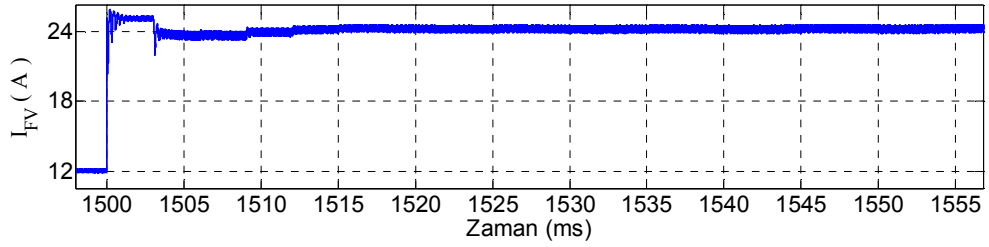
Şekil 3.74. Şebekeye bağlı sistemde ışıının artması durumunda  $I_{FV}$  ve  $P_{FV}$ 'nin değişimi



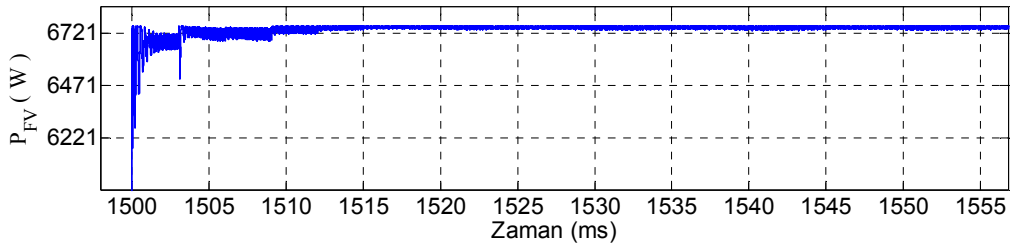
Şekil 3.75. Şekil 3.74'te belirtilen "e" bölgesinin büyütülmüş görünümü



Şekil 3.76. Şekil 3.74'te belirtilen "f" bölgesinin büyütülmüş görünümü



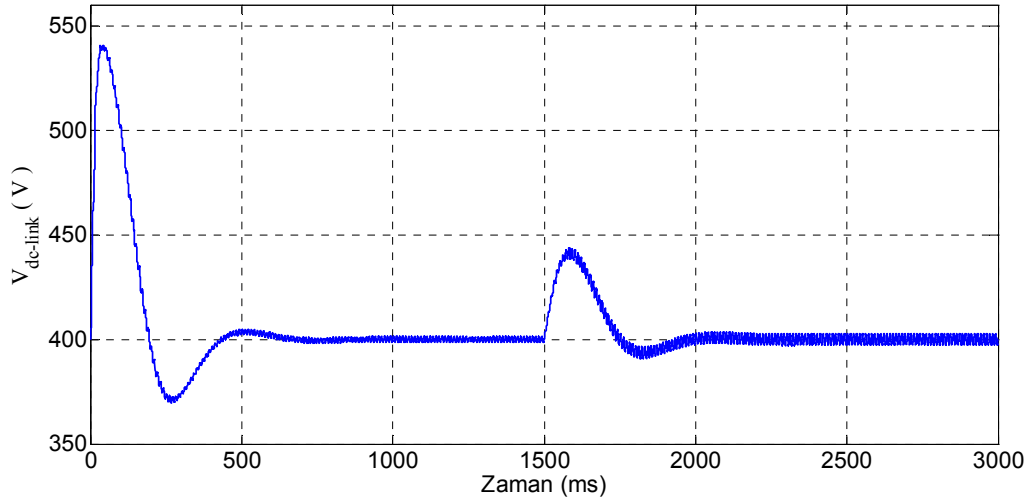
Şekil 3.77. Şekil 3.74'te belirtilen "g" bölgesinin büyütülmüş görünümü



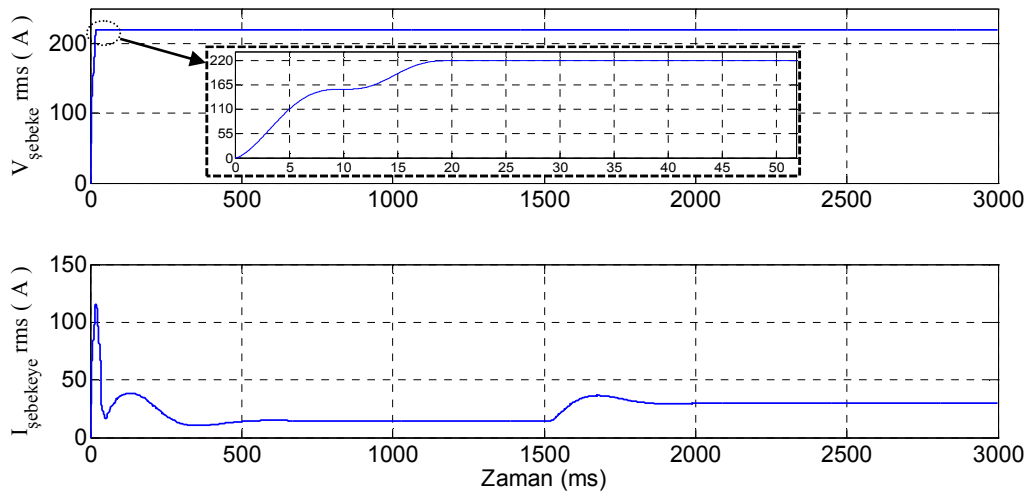
Şekil 3.78. Şekil 3.74'te belirtilen "h" bölgesinin büyütülmüş görünümü



DA bağlantı noktasındaki gerilimin değişimi Şekil 3.79’da yer almaktadır. Işınımın 1500. ms’de artmasıyla, DA bağlantı noktasının geriliminde de bir artış meydana gelmiştir. Akım kontrollü eviricinin denetleyicisi şebekeye aktarılacak olan akımın referans değerini yükseltmesiyle, şebekeye aktarılan akım artmış, böylece DA bağlantı noktasının gerilimi 400 V değerinde sabit tutulmuştur. Işınım artmadan önce sürekli durumda DA bağlantı gerilimindeki dalgalanma 2 V iken, ışınımın  $800 \text{ W/m}^2$ ’ye yükselmesiyle 5 V’a yükselmiştir.

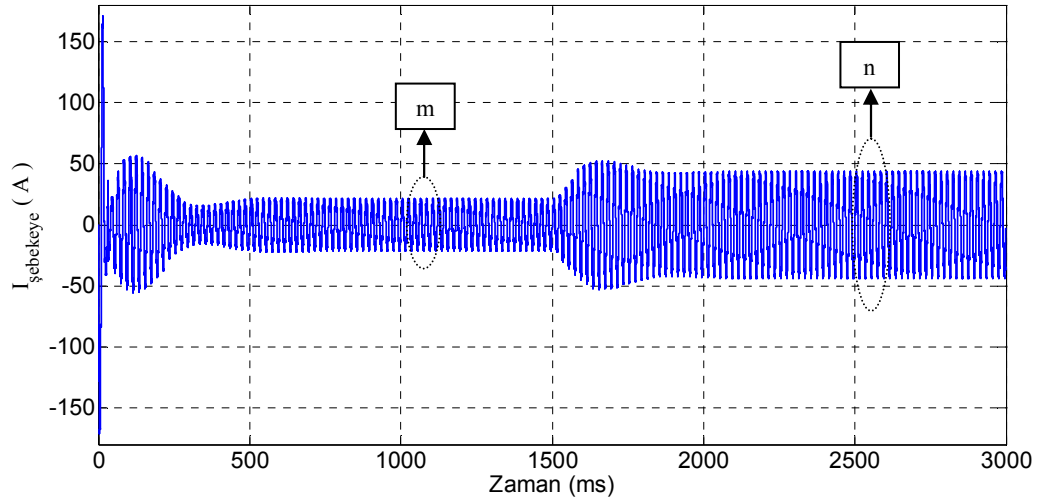


Şekil 3.79. Işınımındaki artışta da bağlantı noktasındaki gerilimin değişimi



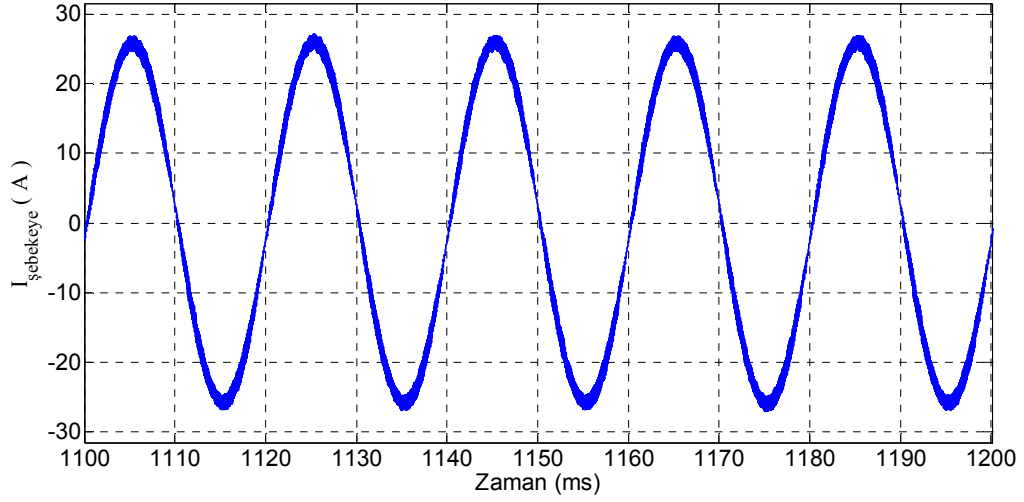
Şekil 3.80. Işınımın artması durumunda şebeke gerilimi ve şebekeye aktarılan akımın efektif değerlerinin değişimi

Şebeke gerilimi ve şebekeye aktarılan akımın efektif (rms) değerindeki değişimler Şekil 3.80’de yer almaktadır. Işınımın  $400 \text{ W/m}^2$  olduğu bölümde şebekeye aktarılan akım, geçici durumdaki ani artış değerinden sonra DA bağlantı noktasındaki gerilim değerindeki değişime paralel bir değişim göstermiştir. DA bağlantı noktası geriliminin sürekli halde referans gerilim değerine oturmasıyla, şebekeye aktarılan akımın efektif değeri  $14,45 \text{ A}$  olmuştur. Sürekli durumda şebekeye aktarılan akımdaki toplam harmonik bozulması (THD) % 5 olarak tespit edilmiştir. Işınımın  $800 \text{ W/m}^2$ ’ye yükselmesiyle şebekeye aktarılan akım da artarak sürekli durumda  $30,22 \text{ A}$  değerine yükselmiştir. THD ise % 2,4 olarak ölçülmüştür. Işınım arttıkça şebekeye aktarılan akımın kalitesinin de arttığı görülmektedir.

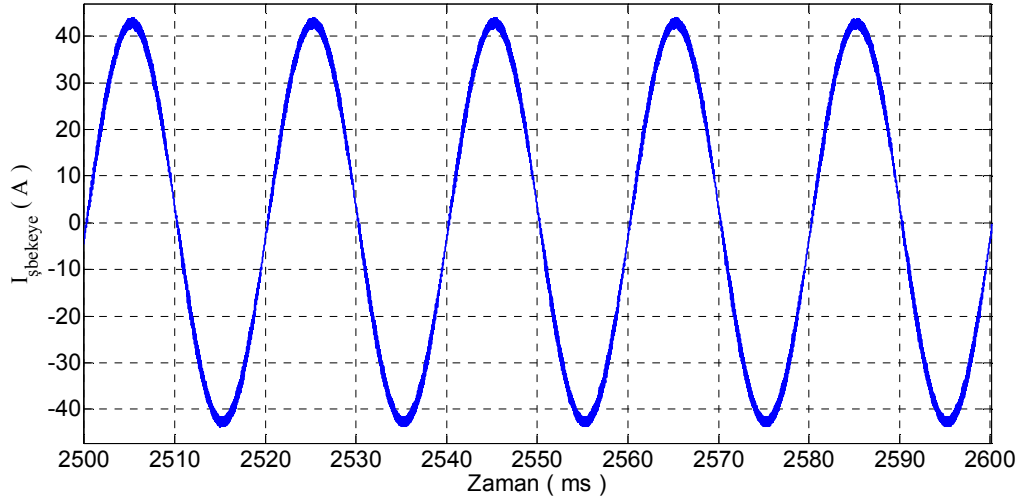


Şekil 3.81. Işınımın artması durumunda şebekeye aktarılan akımın anlık değişimi

Şekil 3.81’de şebekeye aktarılan akımın anlık değişimi görülmektedir. Şekil 3.82 ve Şekil 3.83’te ise de şebekeye aktarılan akımın 5 periyotluk değişiminin büyütülmüş görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 3.82. Şekil 3.81’de belirtilen “m” bölgesinin büyültülmüş görünümü



Şekil 3.83. Şekil 3.81’de belirtilen “n” bölgesinin büyültülmüş görünümü

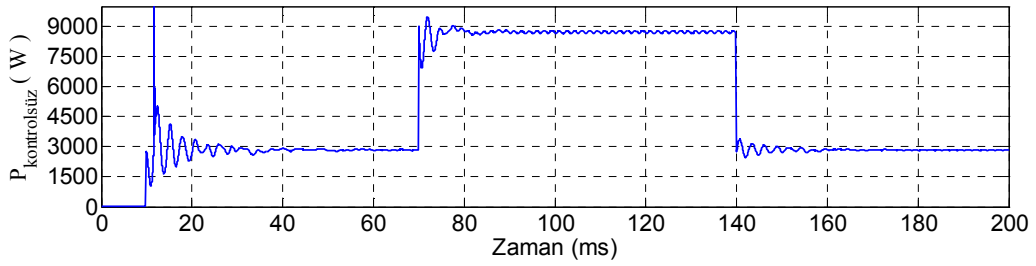
### 3.3. MGNT Tabanlı Güç Akış Yönetimi Bulguları

Bu bölümde, yükün ve ışımının değişmesi durumları için önerilen güç akış yönetiminin tepkileri yer almaktadır.

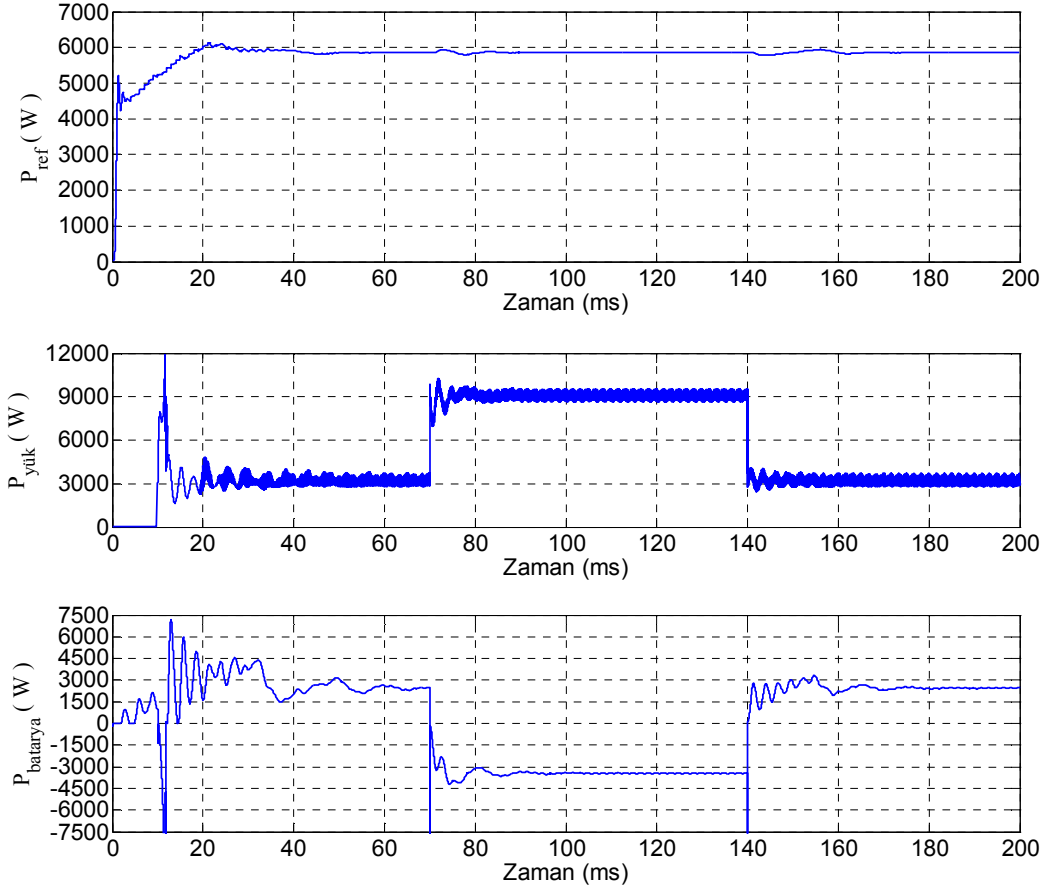
### 3.3.1. Yükteki Değişmeler Durumunda Sistem Tepkisi

Şebekeden bağımsız sistemin beslediği yükte, ani bir artış meydana geldiğinde, batarya gücü bu yükü besleyebilecek durumda ise, FV üretcin maksimum güç noktasında kaymasına müsaade edilmeden bataryalar devre girerek FV üretece destek çıkmaktadır. Böylece sistemdeki yüklere aktarılan gücün sürekliliği sağlanırken, FV üretcin maksimum güç noktasından sapmasının önüne geçilmiştir.

Şekil 3.84'te kontrolsüz yük olarak isimlendirilen Yük1'de meydana gelen değişiklikler görülmektedir. 70. ms'de yük1 ( $P_{\text{kontrolsüz}}$ ) 2800 W değerinden, 8700 W değerine yükselmiştir. 140.ms'de ise eski değerine inmiştir. Yük1'deki bu değişiklik, sistemin beslediği toplam yükün değişmesine neden olmuştur. FV dizinin maksimum güç referansına ( $P_{\text{ref}}$ ) göre, toplam yükteki değişim ( $P_{\text{yük}}$ ) ve batarya gücünün ( $P_{\text{batarya}}$ ) akış yönündeki değişim Şekil 3.85'te yer almaktadır.

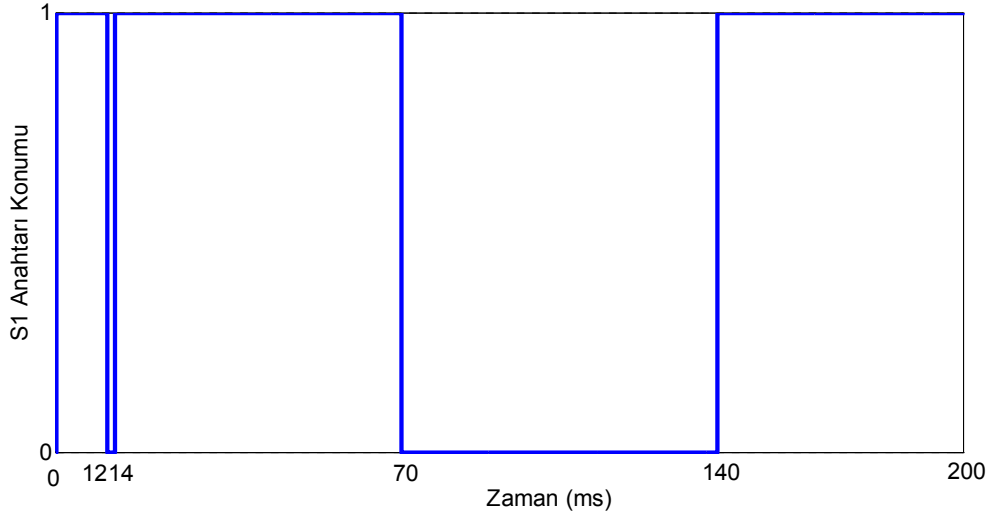


Şekil 3.84. Yük1 ( $P_{\text{kontrolsüz}}$ )'de meydana gelen değişim.

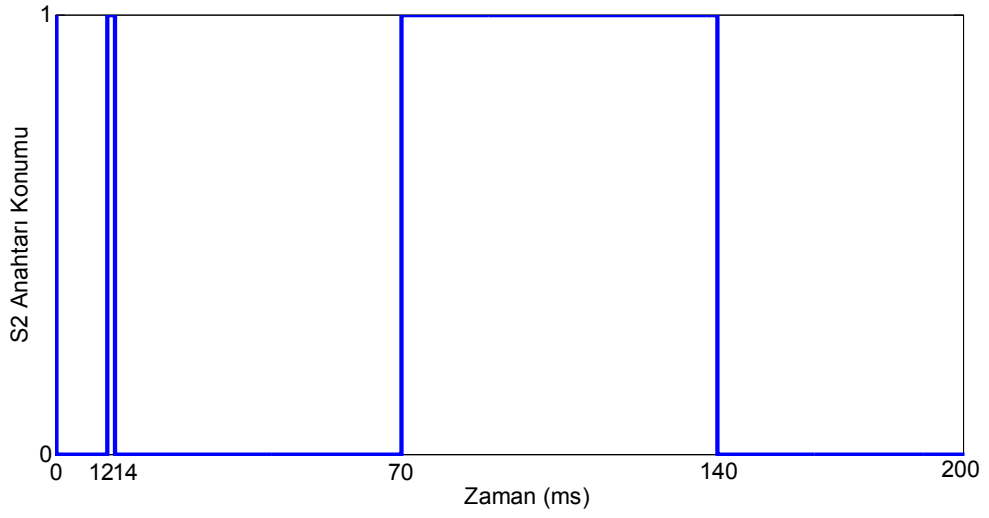


Şekil 3.85. Yükte meydana gelen değişim durumunda  $P_{ref}$ ,  $P_{yük}$  ve  $P_{batarya}$  değişimi

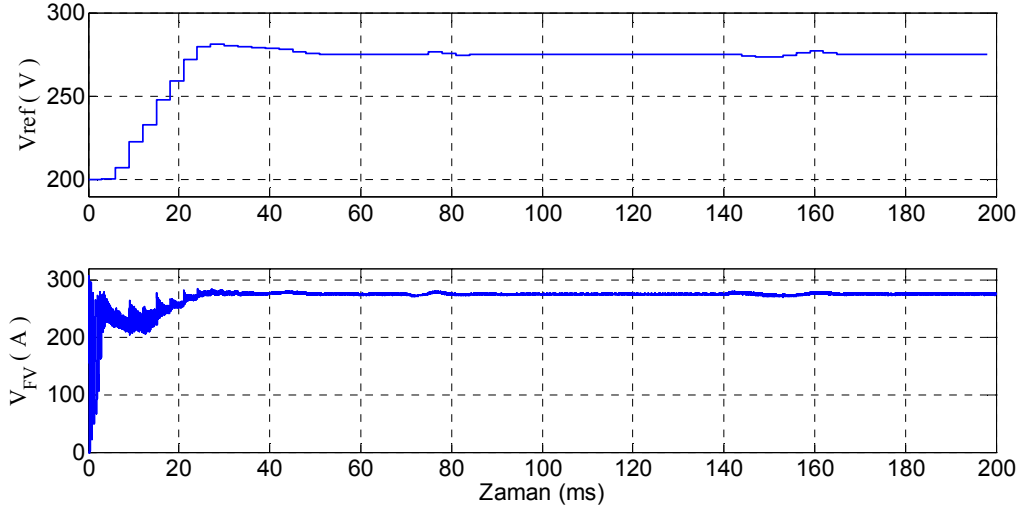
FV sistemin beslediği toplam yükün artması durumunda, önerilen sistem aracılığıyla batarya şarj konumundan ayrılarak, deşarj konumuna geçirilmiştir. Böylece FV dizi maksimum güçten ayrılmadan, yüklerin beslenmesi devam etmiştir. Bataryanın güç akış yönünün değişmesini sağlayan güç anahtarlarının değişimleri Şekil 3.86 ve Şekil 3.87’de görülmektedir.



Şekil 3.86. Güç akış yönetim biriminin etkisiyle S1 anahtarının konumundaki değişim

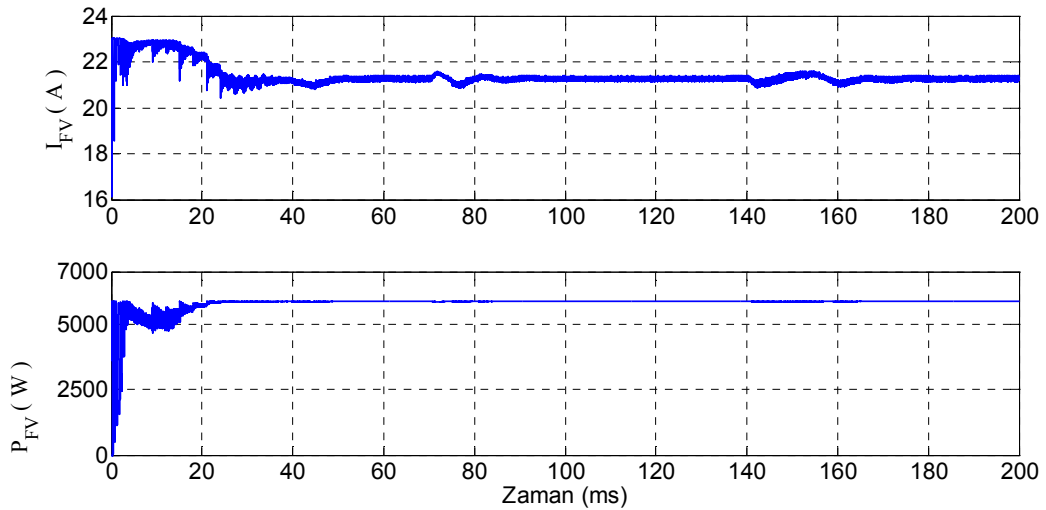


Şekil 3.87. Güç akış yönetim biriminin etkisiyle S2 anahtarının konumundaki değişim



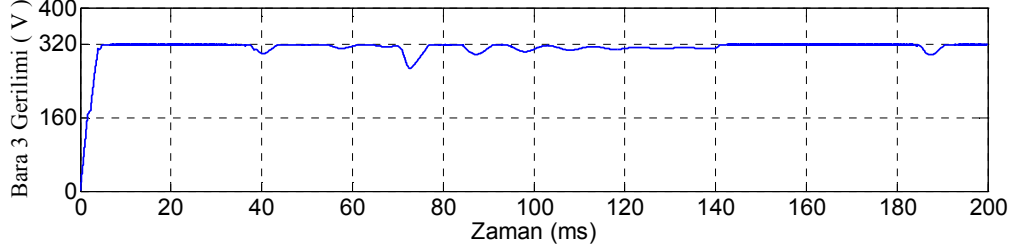
Şekil 3.88. Yükte meydana gelen değişim durumunda  $V_{ref}$  ve  $V_{fv}$  değişimi

Şekil 3.88’de MGNT biriminin ürettiği referans gerilim ( $V_{ref}$ ) ve FV dizi geriliminin ( $V_{fv}$ ) değişimleri bulunmaktadır. MGNT birimi, yük tarafında meydana gelen değişimlere tepki göstererek FV gücünün maksimum güç noktasından ayrılmamasını sağlamıştır. FV dizi akımı ( $I_{fv}$ ) ve FV dizi gücünün ( $P_{fv}$ ) değişimleri Şekil 3.89’da yer almaktadır. Sistemi maksimum güçte tutmak için  $V_{ref}$ ’te meydana gelen 75-80 ve 145-165. ms aralıklarındaki tepkiler, FV dizi akımı ve geriliminde değişimlere yol açarak gücün maksimumda kalmasını sağlamıştır.



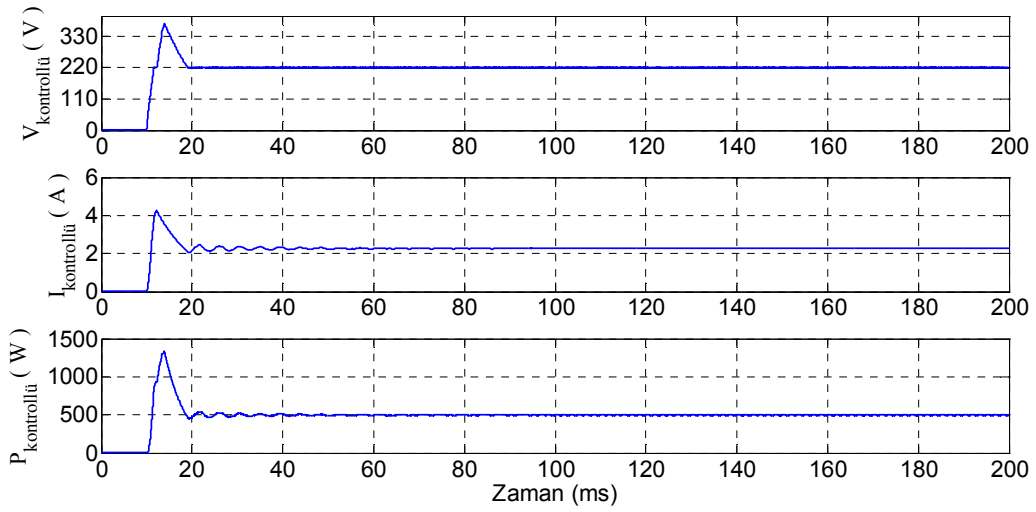
Şekil 3.89. Yükte meydana gelen değişim durumunda  $I_{fv}$  ve  $P_{fv}$  değişimi

Düşürücü DA/DA dönüştürücü yardımıyla 320 V değerinde sabit tutulmaya çalışılan Bara3 (B3) geriliminin değişimi Şekil 3.90'da yer almaktadır.



Şekil 3.90. B3 geriliminin değişimi

Düşürücü DA/DA dönüştürücü ile sabit bir gerilim altında çalışan ve kontrollü yük olarak adlandırılan yük2'nin gerilim ( $V_{\text{kontrollü}}$ ), akım ( $I_{\text{kontrollü}}$ ) ve güç ( $P_{\text{kontrollü}}$ ) değerleri aşağıdaki şekilde görülmektedir.

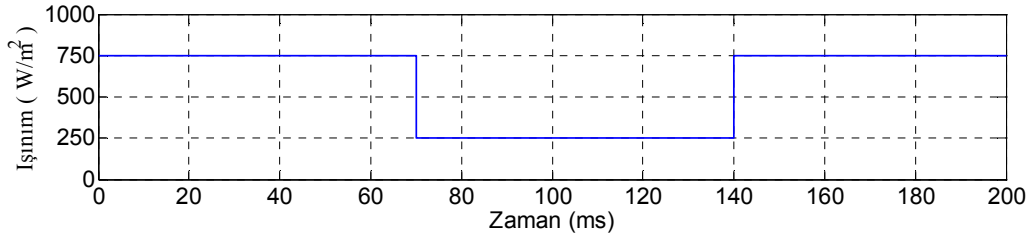


Şekil 3.91. Yük2'nin akım, gerilim ve güç değerlerinin değişimi

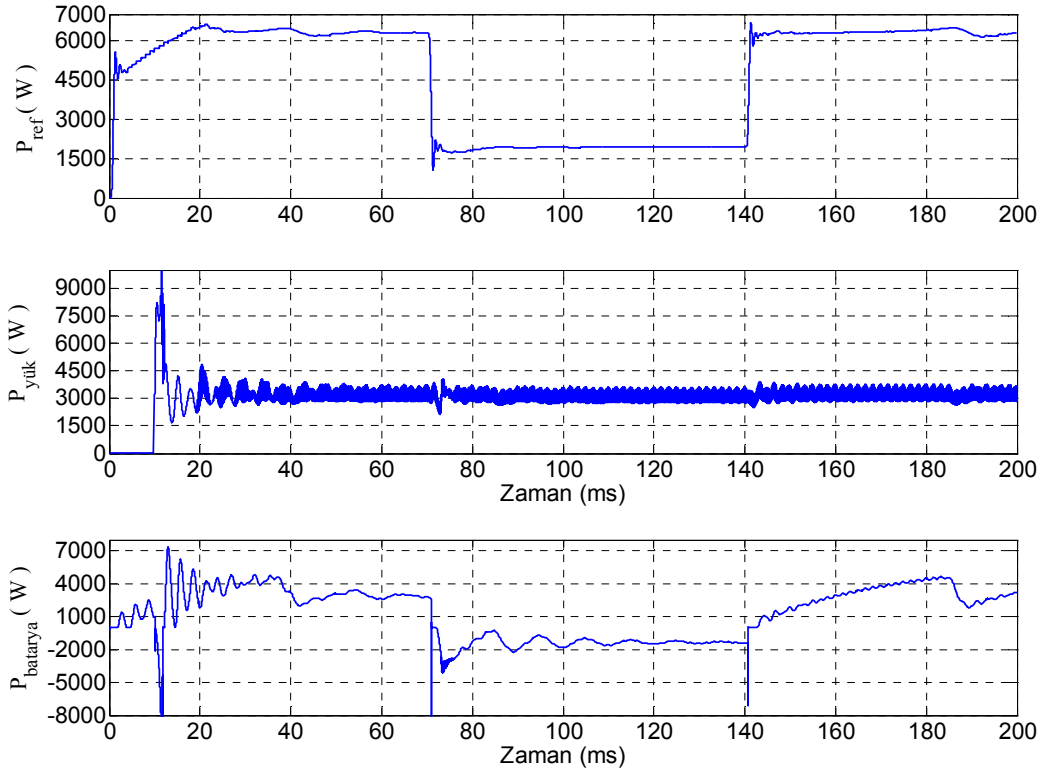


### 3.3.2. Işınının Değişmesi Durumunda Sistem Tepkisi

Şebekeden bağımsız çalışan FV sistemde, yük gücü sabit iken, ışınının Şekil 3.92’de görüldüğü gibi azalması ve tekrar artması durumunda elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir. Işınının azalması durumunda FV dizinin üretebileceği maksimum güç de azalmıştır. Bu durumda yükün ihtiyaç duyduğu gücün sağlanması ve FV dizinin maksimum güç referansından ayrılmayacak şekilde çalışmasını temin etmek üzere S1 ve S2 anahtarlarının konumlarını önerilen güç akış yönetimi sistemi tarafından değiştirmiştir.

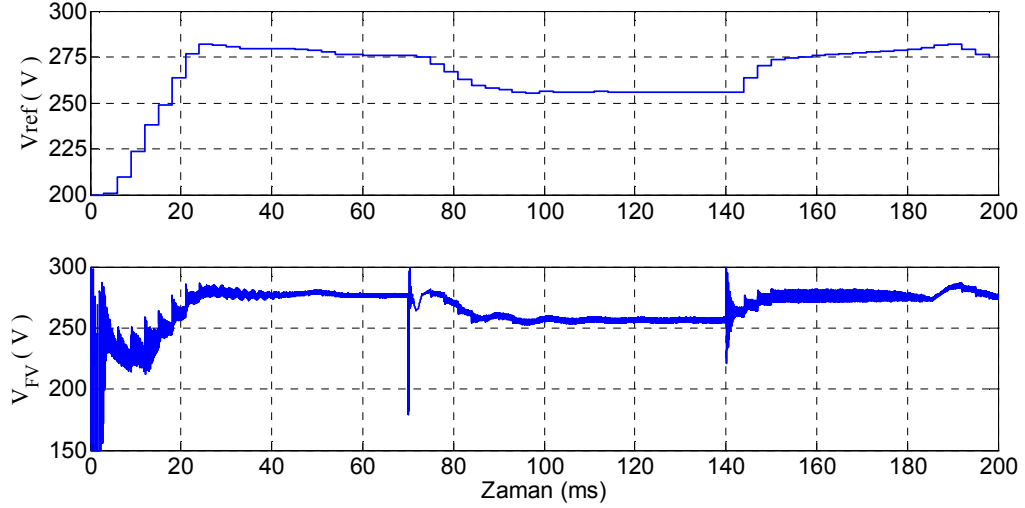


Şekil 3.92. Işınımında meydana getirilen değişim



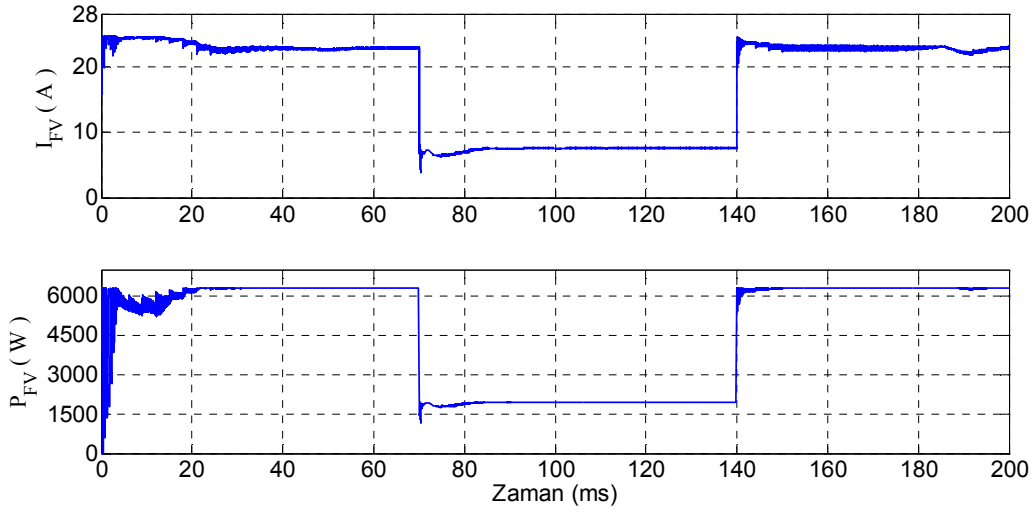
Şekil 3.93. Işınımında meydana gelen değişim durumunda  $P_{ref}$ ,  $P_{yük}$  ve  $P_{batarya}$  değişim

Maksimum güç referansı, yük gücü ve batarya gücündeki değişimler Şekil 3.93'te bulunmaktadır. FV dizinin üretebileceği maksimum güç, yükün ihtiyaç duyduğu toplam güçten daha az olduğu durumda, devreye giren batarya, eksik kalan gücü tamamlamıştır.

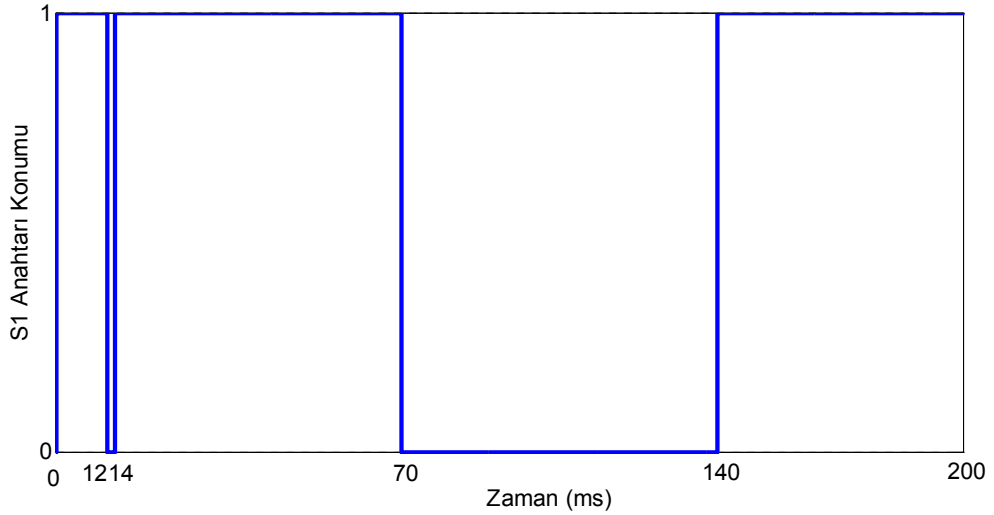


Şekil 3.94. Işınımda meydana gelen değişim durumunda  $V_{ref}$  ve  $V_{FV}$  değişimi

Şekil 3.94'te MGNT biriminin ürettiği referans gerilim ( $V_{ref}$ ) ve FV dizi geriliminin ( $V_{FV}$ ) değişimleri bulunmaktadır. MGNT birimi, hem ışıınımda meydana gelen değişikliklere hem de yük tarafında meydana gelen değişimlere tepki göstererek FV gücünün maksimum güç noktasından ayrılmamasını sağlamıştır. FV dizi akımı ( $I_{FV}$ ) ve FV dizi gücünün ( $P_{FV}$ ) değişimleri Şekil 3.95'te yer almaktadır. Sistemi maksimum güçte tutmak için  $V_{ref}$ 'te meydana gelen tepkiler, FV dizi akımı ve geriliminde değişimlere yol açarak gücün maksimumda kalmasını sağlamıştır.

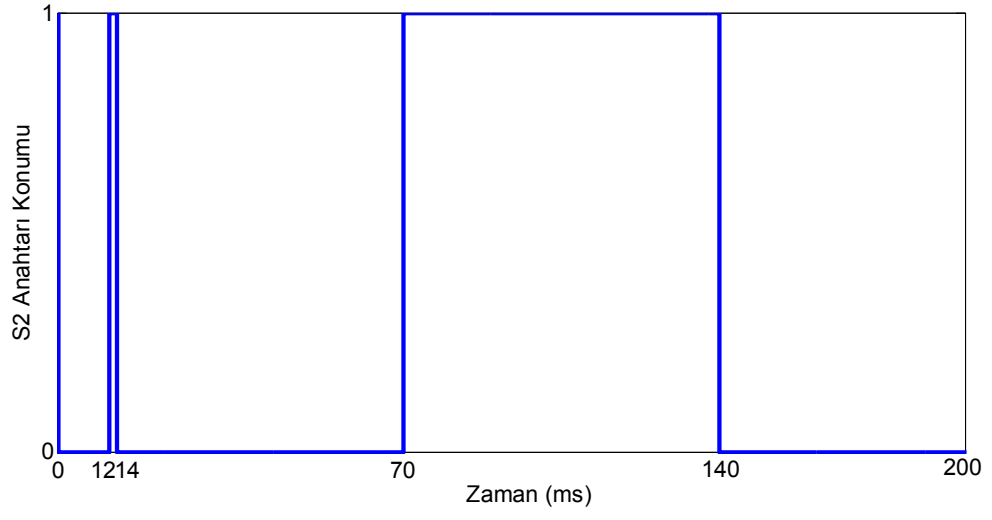


Şekil 3.95. Işınımda meydana gelen değişim durumunda  $I_{FV}$  ve  $P_{FV}$  değişimi



Şekil 3.96. S1 anahtarının konumundaki değişiklik

FV sistemin beslediği sistemde, ışınımın azalmasıyla üretilebilecek maksimum gücün yükün ihtiyaç duyduğu toplam güçten daha az olması durumunda önerilen MGN tabanlı güç akış yönetimi birimi aracılığıyla batarya şarj konumundan ayrılarak, deşarj konumuna geçirilmiştir. Böylece FV dizi azalan ışınımdaki yeni maksimum güç noktasından ayrılmadan, yüklerin beslenmesi devam etmiştir. Bataryanın güç akış yönünün değişmesini sağlayan güç anahtarlarının değişimleri Şekil 3.96 ve Şekil 3.97’de görülmektedir.



Şekil 3.97. S2 anahtarının konumundaki değişiklik

#### 4. İRDELEME

MGNT sisteminde BMD tabanlı MGN araştırma yöntemi kullanıldığında, geleneksel D&G algoritmasının kullanıldığı duruma göre maksimum güç noktası daha hızlı takip edilmiştir. Ayrıca D&G algoritması sürekli durumda maksimum güç noktası civarında FV gücünde dalgalanmalara yol açmaktadır. Araştırma adımının küçültülmesi bu dalgalanmaları azaltırken, maksimum güce ulaşma süresini arttırmaktadır. Büyük araştırma adımı seçildiğinde maksimum güce daha hızlı ulaşılmakta ancak sürekli durumda FV gücündeki dalgalanmalar daha fazla olmaktadır. BMD tabanlı MGNT sisteminde maksimum güce yaklaşıldıkça, maksimum güç parametresi daha az değişikliğe uğratıldığından, maksimum güç noktasına yumuşak ve hızlı bir şekilde ulaşılmıştır. Sürekli durumdaki güç dalgalanmaları ise çok daha az olmuştur.

Işınının peş peşe hızlı artışlarında, peş peşe azalışlarında ve artıp azalması durumlarında BMD tabanlı MGNT sistemi maksimum gücü başarılı bir şekilde takip etmiştir. Işınının yavaş yavaş artıp, uzun bir müddet sabit kaldığı ve sonra yavaş yavaş azaldığı durumda ise; BMD tabanlı sistem, ışınımdaki artış ve azalışlara göre maksimum güç parametresini uygun bir şekilde değiştirerek maksimum gücü takip etmiş, ışınının uzun bir müddet sabit kaldığı durumda ise maksimum güç parametresinin mevcut durumunu korumuştur.

Işınının belirli bir yönde yavaş değişimi esnasında meydana gelen artış ve azalışların olduğu durumda BMD tabanlı MGNT sistem, meydana gelen değişimlere göre tepki göstererek maksimum gücün takibini gerçekleştirmiştir.

Öte yandan BMD çıkışında kullanılan integratörde integral alma yöntemlerinin etkisinin belirlendiği benzetimden elde edilen bulgular Backward Euler integral yöntemi ile daha iyi sonuçlar elde edildiğini göstermiştir.

Önerilen MGNT sisteminin şebekeye bağlı FV sisteminde kullanılması durumunda da başarılı bir maksimum güç noktası takibi yaptığı görülmüştür. Işınım şiddeti arttıkça FV sistemden şebekeye aktarılan akım kalitesinin de arttığı tespit edilmiştir. DA bağlantı noktasında akım kontrollü inverterin referans geriliminin kontrolüyle belirli bir referans değerinde tutulmaya çalışılan DA geriliminde meydana gelen dalgalanmaların da ışınım şiddeti arttıkça arttığı belirlenmiştir.

Şebekeden bağımsız uygulamalarda, yedek batarya ve FV diziden oluşan sistemde, batarya gücünün FV üreteçten maksimum güç elde edilecek şekilde yönetimi için önerilen sistemde atmosfer ve yük koşullarında meydana gelebilecek senaryolar için bulgular elde edilmiştir. Yükte meydana gelebilecek ani artışlar durumunda, FV sistem maksimum güç noktasında çalışacak şekilde bataryanın güç akış yönünde değişiklik meydana gelmiştir. Böylece yüke aktarılan güçte süreklilik sağlanırken, FV dizinin maksimum güç noktasından sapmasının da önüne geçilmiştir. Yükün sabit olduğu durumda, ışımda bir azalma ve artış meydana geldiğinde ise, FV üreteç mevcut yükü besleyecek gücü üretebilecek bir maksimum güçte çalışmıyorsa, önerilen güç akış yönetim sistemi bataryaları deşarj konumuna alarak sistemi desteklemiştir.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada güneş enerjisinden elektrik üretimi yapan FV üreteçleri maksimum güç noktasında çalıştırmak ve bu maksimum güç noktasını takip etmek üzere BMD tabanlı MGNT sistemi önerilmiştir. Önerilen sistemin tasarımı, modellenmesi, benzetimi ve geleneksel D&G algoritması ile karşılaştırması yapılmıştır. Önerilen sistem, hem şebekeden bağımsız sistemde hem de şebekeye bağlantılı FV sistemde kullanılarak çeşitli atmosfer koşullarında performansı incelenmiş, her iki uygulamada da kullanılabilirliği ortaya konulmuştur. Bununla birlikte şebekeden bağımsız sistemlerde kullanılan yedek bataryaların güç akış yönetimi için, MGNT tabanlı bir güç akış yönetimi gerçekleştirilmiştir. Maksimum güç referanslı bir güç akış yönetimiyle FV üreticinin maksimum güç noktasında çalışması temin edilmiş, bataryanın etkin kullanımı gerçekleştirilmiş, imkânlar ölçüsünde yüke aktarılan gücün sürekliliği sağlanmıştır.

BMD tarafından üretilen maksimum gücü araştırma adımları, belirlenen hata ve hatadaki değişime göre BMD kural işleme birimi tarafından önceden oluşturulmuş kurallara göre kendi kendine azalıp çoğalabilen esnek bir yapıya sahiptir. Böylece FV üreteç gücü maksimum güç noktasından uzak iken büyük araştırma adımlarıyla maksimum güç noktasına hızla yaklaşmış, maksimum güce yaklaştıkça bu adımların değeri azalarak maksimum güce yumuşak bir şekilde ulaşılmıştır. Bunun sonucunda maksimum gücün takibi hızlı ve yumuşak bir şekilde gerçekleştirilmiş ve sürekli durumda güçte meydana gelen dalgalanmaları en az seviyeye indirmiştir.

Önerilen maksimum güç noktası tabanlı batarya güç akışı yönetimiyle, yük gücü ve FV üreticinin maksimum gücü göz önünde bulundurularak bataryanın şarj veya deşarj konumunda çalışması belirlenmiştir. Böylece gücün bataryaya akması ya da bataryadan güç sağlanması, FV üreticinin maksimum güçten sapmasını engelleyecek şekilde gerçekleştirilmiştir.

## 6. ÖNERİLER

Bu çalışmada FV üreticinin akım ve gerilim bilgisini kullanarak maksimum güç noktasının tespitini ve bu güç noktasında çalışmayı temin etmek üzere BMD tabanlı bir MGNT sistemi önerilmiş, modellenmiş ve benzetimi yapılmıştır. Bulanık mantık denetleyicinin üyelik fonksiyonlarının parametreleri çeşitli en iyileme teknikleri ile optimize edilebilir. Aynı şekilde sabit DA gerilimi elde etmek üzere kullanılan DA/DA dönüştürücülerinde ve MGNT biriminde kullanılan yükselten DA/DA dönüştürücüsünde kullanılan PI denetleyicilerinin parametreleri de parçacık sürü optimizasyonu, genetik algoritma gibi eniyileme yöntemleri ile belirlenebilir.

MGNT sisteminin yanında yük tarafında meydana gelen dalgalanmaların kaynak tarafına ulaşmasını engelleyecek ve güç kalitesini arttıracak çeşitli dinamik filtreler sisteme ilave edilebilir.

FV panellerin seri-paralel bağlanması ile oluşan FV dizide parçalı gölgelenme durumlarında panellerden bir kısmı gölgeli iken bir kısmı gölgelenmeye maruz kalmayabilir. Bu gibi durumlarda yan geçiş (bypass) diyodu etkisiyle lokal maksimum güç noktaları ve global maksimum güç noktası olmak üzere birden fazla maksimum güç noktaları oluşur. Böyle bir durumun benzetimi için FV dizinin benzetim modelinin uygun hale getirilmesiyle, parçalı gölgelenme durumlarında oluşan maksimum güç noktalarından global maksimum güç noktasının tespitine yönelik maksimum güç noktası araştırma çalışmaları gerçekleştirilebilir.



## 7. KAYNAKLAR

1. Deutsche Gesellschaft Fur Sonnenenergie (Dgs), Planning and Installing Photovoltaic Systems: A Guide for Installers, Architects and Engineers, Second Edition, Earthscan, London, 2008.
2. Salas, V., Olias, E., Barrado, A. ve Lázaro, A., Review of the Maximum Power Point Tracking Algorithms for Stand-Alone Photovoltaic Systems, Solar Energy Materials and Solar Cells , 90 (2006) 1555-1578.
3. Kim, Y., Jo, H. ve Kim, D., A New Peak Power Tracker for Cost-Effective Photovoltaic Power System, Proceedings of the 31st Intersociety Energy Conversion Engineering Conference (IECEC 96), August 1996, Washington, 3, 1673-1678.
4. ESRAM, T. ve Chapman, P.L., Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques, IEEE Transactions on Energy Conversion, 22, 2 (2007) 439–449.
5. Jain, S. ve Agarwal, V., Comparison of the Performance of Maximum Power Point Tracking Schemes Applied to Single-Stage Grid-Connected Photovoltaic Systems, IET Electric Power Applications, 1, 5 (2007) 753–762.
6. Liu, F., Kang, Y., Zhang, Y. ve Duan, S., Comparison of P&O and Hill Climbing MPPT Methods for Grid-Connected PV Converter, 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA 2008), June 2008, Singapore, 804–807.
7. Waszynczuk, O., Dynamic Behavior of a Class of Photovoltaic Power Systems, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-102, 9 (1983) 3031-3037.
8. Hussein, K.H., Muta, I., Hoshino, T. ve Osakada, M., Maximum Photovoltaic Power Tracking: An Algorithm for Rapidly Changing Atmospheric Conditions, IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution, 142, 1 (1995) 59-64.
9. Hohm, D.P. ve Ropp, M.E., Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 11 (2003) 47-62.
10. Berrera, M., Dolara, A., Faranda, R. ve Leva, S., Experimental Test of Seven Widely-Adopted MPPT Algorithms, 2009 IEEE Bucharest PowerTech Conference, 2009, Bucharest, 1-8.

11. Durusu, A., Fotovoltaik Güneş Sistemlerinde Kullanılan Maksimum Güç Noktası Takip Ediciler için Farklı Algoritmaların Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.
12. Qin, S., Wang, M., Chen, T. ve Yao, X., Comparative Analysis of Incremental Conductance and Perturb-and-Observation Methods to Implement MPPT in Photovoltaic System, International Conference on Electrical and Control Engineering (ICECE), September 2011, Yichang, 5792–5795.
13. Lalouni, S., Rekioua, D., Rekioua, T. ve Matagne, E., Fuzzy Logic Control of Stand-Alone Photovoltaic System with Battery Storage, Journal of Power Sources, 193 (2009) 899-907.
14. Xiao, W. ve Dunford, W.G., A Modified Adaptive Hill Climbing MPPT Method for Photovoltaic Power Systems, 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC 2004), June 2004, Aachen, 1957-1963.
15. Pandey, A., Dasgupta, N. ve Mukerjee, A., K., Design Issues in Implementing MPPT for Improved Tracking and Dynamic Performance, 32nd Annual IEEE Industrial Electronics Conference (IECON 2006), November 2006, Paris, 4387-4391.
16. Liu, F., Duan, S., Liu, F., Liu, B. ve Kang, Y., "A Variable Step Size INC MPPT Method for PV Systems, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 55, 7 (2008) 2622-2628.
17. Al-Diab, A. ve Sourkounis, C., Variable Step Size P&O MPPT Algorithm for PV Systems, 12th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM 2010), May 2010, Brasov, 1097-1102.
18. Altas, I.H. ve Sharaf, A.M., A Novel On-line MPP Search Algorithm for PV Arrays, IEEE Transactions on Energy Conversion, 11,4 (1996) 748-754.
19. Altas, I.H. ve Sharaf, A.M., A Novel Photovoltaic On-Line Search Algorithm for Maximum Energy Utilization, International Conference on Communication, Computer and Power (ICCCP'07), February 2007, Oman.
20. Altas, I.H. ve Sharaf, A.M., Novel Control Strategies Using Load Matching for Maximum Photovoltaic Energy Utilization, IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE 2007) , April 2007, Vancouver, BC, 1578–1581.
21. Altas, I.H. ve Sharaf, A.M., A Novel Maximum Power Fuzzy Logic Controller for Photovoltaic Solar Energy Systems, Renewable Energy, 33 (2008) 388-399.
22. Alam, M.S., Real-Time Maximum Power Tracking and Robust Load Matching of a Stand-Alone Photovoltaic System, PhD Thesis, Tennessee Technological University, The Faculty of Graduate School, Cookeville, 2009.

23. Gonzalez-Llorente, J., Ortiz-Rivera, E.I., Salazar-Llinas, A. ve Jimenez-Brea, E., Analyzing the Optimal Matching of Dc Motors to Photovoltaic Modules via Dc-Dc Converters, 25th Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), February 2010, Palm Springs, CA, 1062-1068.
24. Altas, I.H. ve Sharaf, A.M., A Fuzzy Logic Power Tracking Controller for a Photovoltaic Energy Conversion Scheme, Electric Power Systems Research, 25 (1992) 227–238.
25. Altas, I.H., Control Strategies For Maximum Power Tracking And Energy Utilization Of A Stand-Alone Photovoltaic Energy System, PhD Thesis, University of New Brunswick, Faculty of Engineering, Department of Electrical Engineering, Fredericton, NB, 1993.
26. Reaz Ul Haque, A.R.M.N., Novel Maximum Power Tracking For Photovoltaic Energy Utilization Schemes, MSc Thesis, University of New Brunswick, Graduate Academic Unit of Electrical and Computer Engineering, Fredericton, NB, 2004.
27. Boico, F.M., Improving Battery Charging with Solar Panels, PhD Thesis, Northeastern University, Department of Electrical and Computer Engineering, Boston, Massachusetts, 2008.
28. Veerachary, M., Senjyu, T. ve Uezato, K., Neural-Network-Based Maximum-Power-Point Tracking of Coupled-Inductor Interleaved-Boost-Converter-Supplied PV System Using Fuzzy Controller, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 50,4 (2003) 749-758.
29. Won, C., Kim, D., Kim, S., Kim, W. ve Kim, H., A New Maximum Power Point Tracker of Photovoltaic Arrays Using Fuzzy Controller, 25th Annual IEEE Power Electronics Specialist Conference (PESC'94), June 1994, Taipei, 1, 396-403.
30. Wu, T.F., Chang, C.H. ve Chen, Y.K., A Fuzzy-Logic-Controlled Single-Stage Converter for PV-Powered Lighting System Applications, Thirty-Fourth IEEE Industry Applications Conference, October 1999, Phoenix, AZ, 3, 1685-1692.
31. Yaragatti, U.R., Rajkiran, A.N. ve Shreesha, B.C., A Novel Method of Fuzzy Controlled Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic Systems, 2005 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT 2005), December 2005, Hong Kong, 1421–1426.
32. Lalouni, S., Rekioua, D., Rekioua, T., ve Matagne, E., Fuzzy Logic Control of Stand-Alone Photovoltaic System with Battery Storage, Journal of Power Sources, 193, 2(2009) 899-907.
33. Li, J. ve Wang, H., Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Generation Based on the Fuzzy Control Method, 2009 International Conference on Sustainable Power Generation and Supply (SUPERGEN'09), April 2009, Nanjing, 1-6.

34. Chang, Y. ve Chang, C., A Maximum Power Point Tracking of PV System by Scaling Fuzzy Control, Proceedings of International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2010 (IMECS 2010), March 2010, Hong Kong, II.
35. Patcharaprakiti, N., Premrudeepreechacharn, S. ve Sriuthaisiriwong, Y., Maximum Power Point Tracking Using Adaptive Fuzzy Logic Control for Grid-Connected Photovoltaic System, 2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, January 2002, New York, NY, 1, 372-377.
36. Belaidi, R., Fathi, M., Haddouche, A., Chikouche, A., Kaci, G. M. ve Smara, Z., Study and Simulation of a Mppt Controller Based on Fuzzy Logic Controller for Photovoltaic System, 6th International Green Energy Conference (IGEC-6), June 2011, Eskişehir, 689-699.
37. Zhang, C. ve Zhao, D., MPPT with Asymmetric Fuzzy Control for Photovoltaic System, 4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, May 2009, Xi'an, 2180-2183.
38. Takun, P., Kaitwanidvilai, S. ve Jettanasen, C., Maximum Power Point Tracking using Fuzzy Logic Control for Photovoltaic Systems, Proceedings of International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2011 (IMECS 2010), March 2011, Hong Kong, II.
39. Cheikh, M.S.A., Larbes, C., Kebir, G.F.T. ve Zerguerras, A., Maximum Power Point Tracking Using a Fuzzy Logic Control Scheme, Revue des Energies Renouvelables, 10, 3 (2007) 387-395.
40. Subiyanto, Mohamed, A. ve Hannan, M.A., Maximum Power Point Tracking in Grid Connected PV System Using a Novel Fuzzy Logic Controller, Proceedings of 2009 IEEE Student Conference on Research and Development (SCORED 2009), November 2009, UPM Serdang, 349-352.
41. Khan, S.A. ve Hossain, M.I., Design And Implementation of Microcontroller Based Fuzzy Logic Control for Maximum Power Point Tracking of a Photovoltaic System, 6th International Conference on Electrical and Computer Engineering (ICECE 2010), December 2010, Dhaka, 322-325.
42. Petreus, D., Moga, D., Rusu, A., Patarau, T. ve Daraban, S., A Maximum Power Point Tracker for a Photovoltaic System Under Changing Luminosity Conditions, 2010 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, July 2010, Bari, 1, 556-561.
43. Masoum, M.A.S. ve Sarvi, M., A New Fuzzy-Based Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Applications, Iranian Journal of Electrical & Electronic Engineering, 1 (2005) 28-35.

44. D'Souza, N.S., Lopes, L.A.C. ve Liu, X., An Intelligent Maximum Power Point Tracker Using Peak Current Control. IEEE 36th Conference on Power Electronics Specialists, June 2005, Recife, 172-177.
45. Messai, A., Mellit, A., Pavan, A.M., Guessoum, A. ve Mekki, H., FPGA-Based Implementation of a Fuzzy Controller (MPPT) for Photovoltaic Module, Energy Conversion and Management, 52, 7 (2011) 2695-2704.
46. Bouchafaa, F., Hamzaoui, I. ve Hadjammar, A., Fuzzy Logic Control for the Tracking of Maximum Power Point of a PV System, Energy Procedia, 6 (2011) 633-642.
47. Alajmi, B.N., Ahmed, K.H., Finney, S.J. ve Williams, B., W., Fuzzy-Logic-Control Approach of a Modified Hill-Climbing Method for Maximum Power Point in Microgrid Standalone Photovoltaic System, IEEE Transactions on Power Electronics, 26, 4 (2011) 1022-1030.
48. Pang, L., Wang, H., Li, Y., Wang, J. ve Wang, Z., Analysis of Photovoltaic Charging System Based on MPPT, 2008 IEEE Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application (PACIIA'08), December 2008, Wuhan, 498-501.
49. Chim, C.S., Neelakantan, P., Yoong, H.P. ve Teo, K.T.K., Fuzzy Logic Based MPPT for Photovoltaic Modules Influenced by Solar Irradiation and Cell Temperature, 13th International Conference on Computer Modelling and Simulation (UKSim 2011), April 2011, Cambridge, 376-381.
50. Mathew, A., ve Selvakumar, A.I., MPPT Based Stand-Alone Water Pumping System, 2011 International Conference on Computer, Communication and Electrical Technology (ICCCET 2011), March 2011, Tamilnadu, 455-460.
51. D'Souza, N.S., Variable Perturbation Size Maximum Power Point Tracking Algorithms For Photovoltaic Systems, Concordia University, Department of Electrical and Computer Engineering, MSc Thesis, Montreal, 2006.
52. Walker, G., Evaluating MPPT Converter Topologies Using a MATLAB PV Model, Journal of Electrical & Electronics Engineering, Australia, 21, 1 (2001) 49-56.
53. Femia, N., Lisi, G., Petrone, G., Spagnuolo, G. ve Vitelli, M., Distributed Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Arrays: Novel Approach and System Analysis, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 55,7 (2008) 2610-2621.
54. Xiao, W., Ozog, N. ve Dunford, W.G., Topology Study of Photovoltaic Interface for Maximum Power Point Tracking, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 54, 3 (2007) 1696-1704.

55. Khaehintung, N., Kunakorn, A. ve Sirisuk, P., A Novel Fuzzy Logic Control Technique Tuned by Particle Swarm Optimization for Maximum Power Point Tracking for a Photovoltaic System Using a Current-Mode Boost Converter with Bifurcation Control, International Journal Of Control, Automation And Systems, 8, 2 (2010) 289-300.
56. Messai, A., Mellit, A., Guessoum, A. ve Kalogirou, S. A., Maximum Power Point Tracking Using a GA Optimized Fuzzy Logic Controller and its FPGA Implementation, Solar Energy ,85, 2, (2011) 265-277.
57. Veerachary, M., Senjyu, T. ve Uezato, K., Feedforward Maximum Power Point Tracking of PV Systems Using Fuzzy Controller, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 38, 3 (2002) 969-981.
58. Saad, N.H., Sattar, A.A. ve Mansoar, A.M., Artificial Neural Controller for Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic System, The Eleventh International Middle East Power System Conference (MEPCON'2006), December 2006, El-Minia, 562-567.
59. Chaouachi, A., Kamel, R.M. ve Nagasaka, K., Microgrid Efficiency Enhancement Based on Neuro-Fuzzy MPPT Control for Photovoltaic Generator, 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), June 2010, Honolulu, HI, 2889-2894.
60. Ben Salah, C. ve Ouali, M., Comparison of Fuzzy Logic and Neural Network in Maximum Power Point Tracker for PV Systems, Electric Power Systems Research, 81,1 (2011) 43-50.
61. Mutoh, N. ve Inoue, T.A., Controlling Method for Charging Photovoltaic Generation Power Obtained by a MPPT Control Method to Series Connected Ultra-Electric Double Layer Capacitors, 39th IEEE Industry Applications Conference, October 2004, Seattle, 2264-2271.
62. Chiang, S. J., Chang, K. T. ve Yen, C. Y., Residential Photovoltaic Energy Storage System, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 45, 3 (1998) 385-394.
63. Welch, R. ve Venayagamoorthy, G.K., A Fuzzy-PSO Based Controller for a Grid Independent Photovoltaic System, 2007 IEEE Swarm Intelligence Symposium, (SIS 2007), April 2007, Honolulu, HI, 227-233.
64. Locment, F., Sechilariu, M. ve Houssamo, I., Batteries and DC Charge Control of Stand-Alone Photovoltaic System Experimental Validation, 14th International Power Electronics and Motion Control Conference, (EPE-PEMC 2010), September 2010, Ohrid, T12 43-T12 48.
65. Ul Haq, S.B., Smart Home: A Solar Based Stand-Alone System, MSc Thesis, Department of Electrical Engineering, Northern Illinois University, DeKalb,IL, 2011.

66. Maczulak, A., Renewable Energy: Sources and Methods, Facts On File Inc., New York, 2010.
67. Şen, Z., Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques, Atmosphere, Environment, Climate Changing and Renewable Energy, 1st Edition, Springer, London, 2008.
68. U.S. Energy Information Administration (EIA), International Energy Outlook 2011
69. International Energy Agency (IEA), World Energy Outlook 2010.
70. BP, Energy Outlook 2030, London, January 2011.
71. International Energy Agency (IEA), Energy Statistics Manual 2010-Turkish Version, [http://www.iea.org/stats/docs/statistics\\_manual\\_turkish.pdf](http://www.iea.org/stats/docs/statistics_manual_turkish.pdf), 9 Mayıs 2012.
72. Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ), Elektrik Üretim Sektör Raporu 2010, 2010.
73. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından Plan ve Bütçe Komisyonuna Sunulan 2012 Yılı Bütçe Sunumu, Kasım 2011, [http://www.enerji.gov.tr/yayinlar\\_raporlar/2012\\_Plan\\_ve\\_Butce\\_Komisyonu\\_Konusmasi.pdf](http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/2012_Plan_ve_Butce_Komisyonu_Konusmasi.pdf), 12 Nisan 2012.
74. Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ), Türkiye Elektrik Enerjisi 10 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu (2010-2019), Ekim 2010.
75. BP “Statistical Review of World Energy 2011”, <http://www.bp.com/statisticalreview>, 9 Mayıs 2012.
76. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2010-2014 Stratejik Kalkınma Planı.
77. T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı Yüksek Planlama Kurulu, Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi, 2009, [http://www.enerji.gov.tr/yayinlar\\_raporlar/Arz\\_Guvenligi\\_Strateji\\_Belgesi.pdf](http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Arz_Guvenligi_Strateji_Belgesi.pdf), 9 Mayıs 2012.
78. T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi (2010-2020), Nisan 2010, Ankara.
79. Kalogirou, S., Solar Energy Engineering: Process and Systems, 1st Edition, Academic Press, California, 2009.
80. [http://www.ehow.com/facts\\_5522988\\_conventional-nonconventional-sources-energy.html](http://www.ehow.com/facts_5522988_conventional-nonconventional-sources-energy.html), 10 Mayıs 2012.

81. Goswami, Y.D., Energy: The Burning Issue : There are no easy answers to the energy conundrum, but a fundamental agreement on the questions is essential, Refocus, 8,1 (2007) 22-25.
82. Quaschnig, V., Understanding Renewable Energy Systems, 1st Edition, Earthscan, London, 2005.
83. European Commission, EUROPE 2020 A strategy for smart, sustainable and inclusive growth, Brussels, 2010.
84. Patel, M.R., Wind and Solar Power Systems, CRC Press LLC., New York, 2009.
85. European Photovoltaic Industry Association (EPIA), SET For 2020, Brussels, 2009.
86. European Photovoltaic Industry Association (EPIA), Global Market Outlook for Photovoltaics until 2015, Brussels, May 2011.
87. International Energy Agency (IEA), Technology Roadmap Solar Photovoltaic Energy, Paris, 2010.
88. European Commission, Joint Research Center, Institute for Energy and Transport (IET), Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eur.htm>, 9 Mayıs 2012.
89. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21),Renewables 2011 Global Status Report, Paris, 2011.
90. International Energy Agency (IEA), Photovoltaic Power Systems Programme Annual Report 2010.
91. International Energy Agency (IEA), Clean Energy Progress Report, Paris, 2011.
92. Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ), 2010-2014 Stratejik Planı, 2010, Ankara.
93. T.C. Resmi Gazete, Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik, 28001, 21.07.2011.
94. Curley, R., Renewable and Alternative Energy (Energy: Past, Present, and Future), Rosen Educational Services, New York, 2011.
95. [http://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_cell](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell) , 10 Mayıs 2012.
96. Becquerel, A.E., On Electric Effects under the Influence of Solar Radiation, Comtes Rendus de l'Academie des Sciences, 9 (1839) 31-33.
97. Adams, W. G. ve Day, R.E., The Action of Light on Selenium, Proceedings of the Royal Society, A25 (1876) 113–117.



98. Lynn, P.A., *Electricity from Sunlight: An Introduction to Photovoltaics*, 1st Edition, John Wiley & Sons Inc., West Sussex, 2010.
99. Masters, G.M., *Renewable And Efficient Electric Power Systems*, John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, 2004.
100. <http://www.solarbuzz.com/going-solar/understanding/technologies>, 10 Mayıs 2012.
101. <http://www.py.com/pv.htm> PV/Solar Panels/Modules, 10 Mayıs 2012.
102. Altaş, İ.H., Fotovoltaj Güneş Pilleri: Eşdeğer Devre Modelleri ve Gün Işığı ile Sıcaklığın Etkileri, Aylık 3e (Enerji, Elektrik, Elektromekanik) Dergisi, 46, (1998) 86-91.
103. Gow, J.A. ve Manning, C.D., Development of a photovoltaic array model for use in power-electronics simulation studies, IEE Proceedings - Electric Power Applications, 146, 2 (1999) 193-200.
104. Luque, A., Hegedus, S., *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, John Wiley & Sons Inc., West Sussex, 2003.
105. Mohan, N., Undeland, T.M. ve Robbins, W.P., (Çevirenler: Tuncay, N., Gökaşan, M. ve Boğosyan, S.), *Güç Elektroniği Çeviriciler, Uygulamalar ve Tasarım*, 2. Baskıdan Çeviri, Literatür Yayınları, İstanbul, 2003.
106. Shao, R., *Power Converters For Residential PV and Hybrid Systems*, PhD Thesis, University of New Brunswick, Graduate Academic Unit of Electrical and Computer Engineering, Fredericton, NB, 2010.
107. Mishimia, T., Takeuchi, Y. ve Nakaoka, M., A new high step-up voltage ratio soft switching PWM boost DC-DC power converter with edge resonant switched capacitor modular, 14th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE 2011), 2011, Birmingham, 1-10.
108. Yu, Z., Mohammed, A. ve Panahi, I., A Review of Three PWM Techniques, Proceedings of the 1997 American Control Conference, June 1997, Albuquerque, NM, 1., 257-261.
109. Santos, J.L., Antunes, F., Chebab, A. ve Cruz, C., A Maximum Power Point Tracker for PV Systems Using a High Performance Boost Converter, Solar Energy, 80, 7 (2006) 772-778.
110. Zadeh L.A., Fuzzy Sets, Information and Control, 8 (1965) 338-353.
111. Mamdani, E.H. ve Assilian, S., An experiment in Linguistic Synthesis With a Fuzzy Logic Controller, Int. J. Man-Machine Studies, 7 (1975) 1-13.

112. Altaş, İ.H., Bulanık Mantık: Bulanıklılık Kavramı, Aylık 3e (Enerji, Elektrik, Elektromekanik) Dergisi, 62 (1999), 80-85.
113. Zadeh, L.A., Fuzzy Logic, Neural Networks and Soft Computing, Communications of the ACM, 37, 3 (1994) 77-84.
114. Zadeh, L.A., Fuzzy Logic=Computing with words, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 4, 2 (1996) 103-111.
115. Baykal, N. ve Beyan, T., Bulanık Mantık Uzman sistemler ve Denetleyiciler, Bıçaklar Kitabevi, Ankara, 2004.
116. Zekai Şen, Bulanık Mantık, İlkeleri ve Modelleme (Mühendislik ve Sosyal Bilimler, Genişletilmiş 3. Baskı, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2009.
117. Altas, I.H. ve Sharaf, A.M., A Generalized Direct Approach for Designing Fuzzy Logic Controllers in Matlab/Simulink GUI Environment, International Journal of Information Technology and Intelligent Computing, 1, 4 (2007).
118. Altaş, İ.H., Bulanık Mantık: Bulanık Denetim, Aylık 3e (Enerji, Elektrik, Elektromekanik) Dergisi, 64 (1999), 76-81.
119. <http://www.mathworks.com/help/toolbox/simulink/slref/discretetimeintegrator.htm>  
1, 22 Mart 2012.

## ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Erzincan ili, Kemah ilçesi, Dikyamaç Köyü'nde doğdu. Kemah Lisesi'nde başladığı lise eğitimini Erzincan Atatürk Lisesi'nde okul birincisi olarak 2005 yılında tamamladı. Aynı yıl Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2009 yılında Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölüm ikincisi ve Mühendislik Fakültesi ikincisi olarak lisans eğitimini tamamladı. Eylül 2009'da Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Kasım 2010'da Tübitak Yurt içi Bilim İnsanı Destekleme Programı kapsamındaki yurt içi yüksek lisans bursunu kazandı. Ocak 2011'de Yüksek Öğretim Kurulu yurt dışı yüksek lisans araştırma bursunu kazandı. Bu kapsamda Kanada'da bulunan University of New Brunswick'te Sustainable Power Research Group'da ziyaretçi araştırmacı olarak çalıştı. İyi derecede İngilizce bilen Çakmak, Ağustos 2009'da Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak başladığı görevini halen sürdürmektedir.

### YAYINLARI:

- 1. Çakmak R. ve Altaş, İ.,H.,** Sıvı Seviye Sisteminin Bulanık Mantık ve PSO Ayarlı PI ile Denetimi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Günleri, 2011, Ankara.
- 2. Çakmak, R.,** Altas, I.H. ve Sharaf, A.M., Modeling of FLC-Incremental Based MPPT using DC-DC Boost Converter for Standalone PV System, International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications 2012 (INISTA 2012), July 2012, Trabzon. (Kabul edildi, henüz yayınlanmadı)