

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

ŞEBEKE BAĞLANTISIZ GÜNEŞ VE RÜZGAR ENERJİ
SİSTEMLERİNİN YÖNETİMİ, KONTROLÜ VE İZLENMESİ
İÇİN YENİ YAKLAŞIMLAR

SERHAT DUMAN

KOCAELİ 2015

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

ŞEBEKE BAĞLANTISIZ GÜNEŞ VE RÜZGAR ENERJİ
SİSTEMLERİNİN YÖNETİMİ, KONTROLÜ VE İZLENMESİ
İÇİN YENİ YAKLAŞIMLAR

SERHAT DUMAN

Doç.Dr. Nuran YÖRÜKEREN
Danışman, Kocaeli Üniv.

Prof.Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ
Eş Danışman, KTÜ

Prof.Dr. Mehmet Ali YALÇIN
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.

Doç.Dr. Uğur GÜVENÇ
Jüri Üyesi, Düzce Üniv.

Prof.Dr. Semra ÖZTÜRK
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Doç.Dr. Bora ALBOYACI
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Doç.Dr. Ayşen BASA ARSOY
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.



Tezin Savunulduğu Tarih: 16.06.2015

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Elektrik enerjisi üretiminde kullanılan fosil yakıtlı kaynaklar, hava kirliliği, küresel ısınma ve ozon tabakasının incilmesi gibi endişe edilebilecek boyutlarda çevreye zarar vermektedir. Ancak mevcut rezervlerin bir gün tükeneceği düşünülerek araştırmacılar var olan enerji kaynaklarının yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunmasına ve etkin bir şekilde kullanılması çalışmalarına yönelmişlerdir. Artan enerji talebinin temiz, ekonomik, sürekli, güvenli ve çevre kirliliğine neden olmadan karşılanabilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi hızla artmıştır. Bu tez çalışmada, güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmede kullanılan fotovoltaiik (FV) sistemin maksimum güç üretecek şekilde çalıştırılması için yapay sinir ağlarına dayalı maksimum güç noktası takip (MGNT) algoritması önerilmiştir. Önerilen MGNT algoritması kullanılarak, şebekeden bağımsız olan FV sistemler için deneysel çalışmalar yapılmış ve ayrıca benzetim çalışmaları ile incelenmiştir. Ayrıca, FV sistemlerin farklı çevresel koşullar altında karakteristik eğrilerinin incelenebildiği, MGNT algoritmalarının karşılaştırılabildiği ve şebekeden bağımsız sistemler için farklı yük durumlarında analizin ve benzetimin yapılabildiği güneş enerjisi sanal laboratuvarı isimli yazılım geliştirilmiştir. Rüzgar enerjisi üretim sistemlerinde, rüzgar hızının değişken olması nedeniyle her zaman rüzgar türbinlerinden tüketiciye kaliteli bir enerji aktarılamamaktadır. Rüzgar türbinlerinde yüke aktarılan enerjinin kalitesini arttırmak için hibrit güç filtresi düzenleyicisi (HGFD) önerilmiştir. HGFD'nin kontrolü için üç çevrimli dinamik hata toplamına bağılı bir kontrol algoritması geliştirilmiştir.

Tez çalışması boyunca gösterdiği destek ve yönlendirmeleriyle çalışmamın tamamlanmasında büyük emeği olan değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Nuran YÖRÜKEREN'e, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım ikinci danışman hocam Sayın Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ'a şükranlarımı ve teşekkürlerimi sunarım. Değerli fikirlerini paylaşarak bu çalışmaya katkı sağlayan University of New Brunswick öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Adel M. SHARAF'a teşekkür ederim. Ayrıca, çalışmalarım sırasında kritik noktalarda bana doğru yolu gösteren ve doktora tez izleme jürisinde bulunan hocalarım Sayın Doç. Dr. Bora ALBOYACI ve Sayın Doç. Dr. Uğur GÜVENÇ'e, tez ile ilgili çalışmalarımda desteklerini esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Dr. Mustafa DURSUN'a ve Düzce Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde bulunan tüm değerli çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, bu süreçte vermiş olduğu destek, göstermiş olduğu sabır ve anlayış için sevgili eşim Özlem DUMAN'a teşekkürlerimi, biricik kızım Ecrin Duru DUMAN'a sevgilerimi sunarım.

2012/067 numaralı doktora tez destekleme ve 2013/011 numaralı projelere verdiği maddi destekten ötürü Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne de teşekkür ederim.

Haziran – 2015

Serhat DUMAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
TABLOLAR DİZİNİ	xiv
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR	xv
ÖZET.....	xix
ABSTRACT.....	xx
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER.....	3
1.1. Tez Çalışmasının Amacı ve Başlatılma Sebepleri	3
1.2. Önceki Çalışmalar	5
1.2.1. FV sistemler için sanal laboratuvar	5
1.2.2. FV sistemler için MGNT algoritmaları	7
1.2.3. Rüzgar enerjisi sistemleri için literatür araştırması.....	15
1.3. Tez Çalışmasının Katkıları	20
1.4. Tez Düzeni	21
2. GÜNEŞ ENERJİSİ.....	23
2.1. Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi Kullanımı	23
2.2. FV Piller	25
2.3. FV Pilin Devre Modelleri.....	28
2.4. FV Paneller ve Dizilerin Elde Edilmesi	31
2.5. FV Pilin Karakteristikleri	34
2.6. FV Sistemler.....	37
2.6.1. Şebekeden bağımsız sistemler.....	37
2.6.2. Şebeke bağlantılı sistemler	38
2.7. FV Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları.....	39
2.7.1. FV sistemlerin avantajları	39
2.7.2. FV sistemlerin dezavantajları.....	39
2.8. Maksimum Güç Noktası Takip Algoritmaları	39
2.8.1. Değiştir gözetle algoritması	40
2.8.2. Artan iletkenlik algoritması.....	42
3. RÜZGAR ENERJİSİ.....	45
3.1. Dünya’da ve Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Kullanımı	45
3.2. Rüzgar Enerjisi Üretim Sistemleri	51
3.3. Rüzgar Gücü.....	53
3.4. Rüzgar Türbininde Kullanılan Generatörler.....	56
3.4.1. Doğru akım generatörleri	56
3.4.2. Senkron generatörler	56
3.4.3. Asenkron generatörler	58
3.5. Rüzgar Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları.....	60
3.5.1. Rüzgar enerjisinin avantajları	60
3.5.2. Rüzgar enerjisinin dezavantajları	60
3.6. Asenkron Makinalar	60

3.6.1. Asenkron makinanın d-q yapıdaki matematiksel modeli.....	63
3.7. Asenkron Generatörler	64
4. YAPAY SİNİR AĞLARI VE BULANIK MANTIK TEMELLİ HİBRİT PSO-YAA OPTİMİZASYON ALGORİTMASI	66
4.1. Yapay Sinir Ağları	66
4.1.1. Yapay sinir ağlarının üstünlükleri	67
4.1.2. Yapay sinir ağının oluşturulması	68
4.1.3. Yapay sinir ağlarında öğrenme	70
4.1.4. Öğrenme oranının ağ üzerindeki etkisi	71
4.1.5. Momentum teriminin ağ üzerindeki etkisi	71
4.1.6. Gizli katman sinir sayısının ağ üzerindeki etkisi	71
4.1.7. Hata farkı değişkeninin ağ üzerindeki etkisi	71
4.1.8. Danışmanlı geri yayımlı yapay sinir ağı modeli	71
4.2. Bulanık Mantık.....	78
4.3. Yerçekimsel Arama Algoritması.....	79
4.4. Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması	83
4.5. Hibrit PSO-YAA Optimizasyon Algoritması	84
4.6. Geliştirilen Bulanık Mantık Temelli Hibrit PSO-YAA Optimizasyon Algoritması.....	85
4.6.1. Bulanık mantık kullanarak h parametresinin optimizasyonu	86
4.6.2. Bulanık mantık temelli hibrit PSO-YAA algoritmasının test fonksiyonlarına uygulanması	88
5. ÖNERİLEN YAKLAŞIMLAR	95
5.1. Bulanık Mantık Temelli Hibrit PSO-YAA Yardımlı YSA Tabanlı MGNT Algoritması	95
5.2. Hibrit Güç Filtresi Düzenleyicisi ve Kontrol Algoritması	106
5.2.1. Sistemin yapısı	106
5.2.2. Sistemin denetimi	109
6. GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ İÇİN SANAL LABORATUVAR	114
6.1. Sanal Laboratuvar Açılış Ekranı	118
6.2. FV Modül Analizi	118
6.3. MGNT Algoritmaları Analizi.....	124
6.4. Gölge FV Modül Analizi	128
6.5. FV Modül AA Yük Analizi.....	129
7. BENZETİM SONUÇLARI.....	131
7.1. Önerilen YSA Modeline Dayalı MGNT Algoritmasının Benzetim Çalışmaları	131
7.1.1. FV panel benzetim modeli	131
7.1.2. Önerilen MGNT algoritması benzetim modeli	132
7.1.3. Önerilen MGNT algoritması ve klasik değiştir-gözetle algoritmasının karşılaştırılması	133
7.1.4. Önerilen MGNT tabanlı güç akışı yönetimi.....	143
7.2. Rüzgar Enerjisi Çevrim Sistemi Benzetim Çalışmaları	164
7.3. Hibrit FV/REÇS Benzetim Çalışması	188
8. UYGULAMA SONUÇLARI.....	198
8.1. Önerilen MGNT Algoritmasının Uygulama Sonuçları	198
8.2. Rüzgar Enerjisi Çevrim Sistemi Uygulama Sonuçları	210
8.3. İnternet Tabanlı Enerji İzleme Sistemi.....	218
8.3.1. LabVIEW programının hazırlanması	218

8.3.2. Sanal enstrümantasyon	220
8.3.3. LabVIEW ile veri toplama	222
8.3.4. DAQmx fonksiyonu	222
8.3.5. NI-PCI 6251 veri toplama kartı.....	226
8.3.6. İnternet tabanlı erişim arayüzü	228
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	232
KAYNAKLAR	236
EKLER.....	250
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	257
ÖZGEÇMİŞ	261

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Türkiye güneş haritası	25
Şekil 2.2.	P-tipi ve n-tipi yarı iletkenin birleşim olayı	26
Şekil 2.3.	FV pil yapısı ve elektrik elde edilmesi	27
Şekil 2.4.	Basitleştirilmiş FV pil modeli	28
Şekil 2.5.	Tek diyot FV pili devre modelinin geliştirilmiş hali	28
Şekil 2.6.	FV pilin eşdeğer devre modeli	29
Şekil 2.7.	İki diyot FV pil devre modeli	30
Şekil 2.8.	FV hücreden FV panel elde edilmesi	31
Şekil 2.9.	FV panelden FV dizi elde edilmesi	32
Şekil 2.10.	Seri bağlı FV pil veya panel sayısına göre akım-gerilim ilişkisi	33
Şekil 2.11.	Paralel bağlı FV pil veya panel sayısına göre akım-gerilim ilişkisi	33
Şekil 2.12.	Farklı ışınımlarda FV pilin akım-gerilim eğrileri	34
Şekil 2.13.	Farklı ışınımlarda FV pilin güç-gerilim eğrileri	35
Şekil 2.14.	Farklı sıcaklıklarda FV pilin akım-gerilim eğrileri	36
Şekil 2.15.	Farklı sıcaklıklarda FV pilin güç-gerilim eğrileri	36
Şekil 2.16.	Şebekeden bağımsız FV sistem yapısı	37
Şekil 2.17.	Şebeke bağlantılı FV sistem yapısı	38
Şekil 2.18.	Değiştir gözetle algoritması akış diyagramı	41
Şekil 2.19.	Değiştir gözetle algoritması için güç-gerilim ilişkisi eğrisi	42
Şekil 2.20.	Artan iletkenlik algoritması akış diyagramı	43
Şekil 2.21.	Artan iletkenlik algoritması için güç gerilim ilişkisi	44
Şekil 3.1.	Yıllara göre dünya genelinde kurulan rüzgar enerjisi üretim santrali gücü (MW)	47
Şekil 3.2.	Yıllara göre dünya genelinde kurulan toplam rüzgar enerjisi üretim santrali gücü (MW)	47
Şekil 3.3.	Türkiye'deki rüzgar enerjisi santrallerinin yıllık kurulum potansiyeli (MW)	48
Şekil 3.4.	Türkiye'deki yıllara göre rüzgar enerjisi üretim santralinin toplam gücü (MW)	48
Şekil 3.5.	Bölgelere göre rüzgar enerjisi üretim santralinin dağılımı	49
Şekil 3.6.	Bölgelere göre rüzgar enerjisi üretim santralinin kurulu güçleri (MW)	49
Şekil 3.7.	İllere göre rüzgar enerjisi üretim santralinin kurulu güçleri (MW)	50
Şekil 3.8.	Rüzgar türbin modelleri (a) yatay eksenli rüzgar türbini, (b) dikey eksenli rüzgar türbini	51
Şekil 3.9.	Rüzgar türbini pervanesinden geçen havanın enerji hareketi	54
Şekil 3.10.	Rotoru sargılı senkron generatörlü rüzgar türbin sistemi	57
Şekil 3.11.	Yükseltici DA-DA kıyıcı SMSG rüzgar türbin sistemi	58
Şekil 3.12.	Çift eviricili SMSG rüzgar türbin sistemi	58
Şekil 3.13.	ÇBAG rüzgar türbin sistemi	59

Şekil 3.14.	SKAG rüzgar türbin sistemi	59
Şekil 3.15.	Asenkron makinanın tork-kayma karakteristiği	65
Şekil 4.1.	Yapay sinir hücresinin yapısı	67
Şekil 4.2.	Dört katmanlı YSA yapısı	70
Şekil 4.3.	Danışmanlı öğrenme modeli	72
Şekil 4.4.	Tek çıkışlı iki katmanlı geri yayımlı YSA yapısı	72
Şekil 4.5.	Yerel minimum noktası	77
Şekil 4.6.	Bulanık mantık blok diyagramı	79
Şekil 4.7.	YAA akış diyagramı	83
Şekil 4.8.	Hibrit PSO-YAA algoritmasının akış diyagramı	85
Şekil 4.9.	Bulanık mantığın ((a)-(b)) giriş, (c) çıkış üyelik fonksiyonları	87
Şekil 4.10.	Bulanık mantık temelli hibrit PSO-YAA algoritmasının akış diyagramı	89
Şekil 4.11.	Tek modlu seçilen test fonksiyonlarının yakınsama eğrileri (a) F1, (b) F2, (c) F3, (d) F6	92
Şekil 4.12.	Çok modlu seçilen test fonksiyonlarının yakınsama eğrileri (a) F9, (b) F10, (c) F11, (d) F13	93
Şekil 5.1.	Önerilen MGNT algoritması için YSA yapısı	96
Şekil 5.2.	Popülasyondaki bir ajanın yapısı	101
Şekil 5.3.	Bulanık mantığın ((a),(b)) girişleri, (c) çıkışı	102
Şekil 5.4.	YSA eğitiminde kullanılan bulanık PSO-YAA algoritmasının akış diyagramı	104
Şekil 5.5.	Test verileri için önerilen YSA modelinin ve gerçek çıkış değerlerinin karşılaştırılması	105
Şekil 5.6.	Test verileri için klasik YSA modelinin ve gerçek çıkış değerlerinin karşılaştırılması	106
Şekil 5.7.	Rüzgar enerjisi güç üretim sisteminin tek hat devre şeması	107
Şekil 5.8.	Sistemin açık devre şeması	107
Şekil 5.9.	S1 anahtarı açık S2 anahtarı kapalı devre şeması	108
Şekil 5.10.	S1 anahtarı kapalı S2 anahtarı açık devre şeması	109
Şekil 5.11.	Anahtarlama sinyallerinin üretildiği sistem	109
Şekil 5.12.	Üç çevrim hata toplayıcısı algoritması	110
Şekil 5.13.	Ağırlıklı PID denetleyicisi	110
Şekil 5.14.	Sincap kafesli bir fazlı asenkron generatörün bağlantı şeması	111
Şekil 5.15.	Asenkron generatörün eşdeğer devresi	113
Şekil 6.1.	Güneş enerjisi sanal laboratuvarı açılış ekranı	118
Şekil 6.2.	Dört farklı yaklaşım ile FV modül analizi ekranı	119
Şekil 6.3.	Bir diyot modeli ışıınım değişimi analiz ekranı	119
Şekil 6.4.	Bir diyot modeli sıcaklık değişimi analiz ekranı	120
Şekil 6.5.	İki diyot modeli ışıınım değişimi analiz ekranı	121
Şekil 6.6.	İki diyot modeli için sıcaklık değişimi analiz ekranı	121
Şekil 6.7.	Detaylı analiz menüsü	122
Şekil 6.8.	Yaklaşım 3 için ışıınım değişimi analiz ekranı	123
Şekil 6.9.	Yaklaşım 3 için sıcaklık değişimi analiz ekranı	123
Şekil 6.10.	Yaklaşım 4 için ışıınım değişimi analiz ekranı	123
Şekil 6.11.	Yaklaşım 4 için sıcaklık değişimi analiz ekranı	124

Şekil 6.12.	MGNT algoritmaları analiz ekranı (değiştir gözetle algoritması).....	124
Şekil 6.13.	Değiştir gözetle algoritması için detaylı analiz ekranı	125
Şekil 6.14.	MGNT algoritmaları analiz ekranı (artan iletkenlik algoritması).....	126
Şekil 6.15.	Artan iletkenlik algoritması için detaylı analiz ekranı	126
Şekil 6.16.	MGNT algoritmalarının analiz ekranı (MGNT algoritmalarının karşılaştırılması)	127
Şekil 6.17.	MGNT algoritmalarının karşılaştırılması için detaylı analiz ekranı	127
Şekil 6.18.	Gölge FV modül açılış ekranı	128
Şekil 6.19.	Gölge FV modül analiz ekranı (bir diyot modeli).....	129
Şekil 6.20.	Gölge FV modül analiz ekranı (iki diyot modeli).....	129
Şekil 6.21.	FV modül için MGNT'siz DA-AA analiz ekranı.....	130
Şekil 6.22.	FV modül için MGNT'li DA-AA analiz ekranı.....	130
Şekil 7.1.	FV panel MATLAB/Simulink benzetim modeli.....	131
Şekil 7.2.	YSA benzetim modeli	132
Şekil 7.3.	Birinci gizli katman benzetim modeli	132
Şekil 7.4.	Birinci gizli katman birinci sınır benzetim modeli.....	133
Şekil 7.5.	Şebekeden bağımsız FV sistemin benzetim modeli	133
Şekil 7.6.	Değiştir gözetle algoritması benzetim modeli.....	134
Şekil 7.7.	Amaçlanan ve D&G algoritmalarının FV panel gerilimine ait benzetim sonuçları.....	135
Şekil 7.8.	Amaçlanan ve D&G algoritmalarının FV panel akımına ait benzetim sonuçları.....	135
Şekil 7.9.	Amaçlanan ve D&G algoritmalarının FV panel gücüne ait benzetim sonuçları.....	136
Şekil 7.10.	Amaçlanan ve D&G algoritmalarının FV panel gücüne ait yakınlştırılmış benzetim sonuçları.....	136
Şekil 7.11.	Amaçlanan ve D&G algoritmalarının görev periyodu değişimi	137
Şekil 7.12.	Denetleyiciye giren hata sinyali değişimi	138
Şekil 7.13.	Işınım şiddeti değişimi	139
Şekil 7.14.	Ani değişen ışınımda amaçlanan ve D&G algoritmalarının FV panel gerilimleri	139
Şekil 7.15.	Ani değişen ışınımda amaçlanan ve D&G algoritmalarının FV panel akımları.....	140
Şekil 7.16.	Ani değişen ışınımda amaçlanan ve D&G algoritmalarının FV panel güçleri	140
Şekil 7.17.	400 W/m ² ışınımda amaçlanan ve D&G algoritmalarının FV panel gücüne ait yakınlştırılmış benzetim sonuçları	141
Şekil 7.18.	800 W/m ² ışınımda amaçlanan ve D&G algoritmalarının FV panel gücüne ait yakınlştırılmış benzetim sonuçları	141
Şekil 7.19.	Ani değişen ışınımda amaçlanan ve D&G algoritmalarının görev periyodu değişimi.....	142
Şekil 7.20.	Ani değişen ışınımda denetleyiciye giren hata sinyali	142
Şekil 7.21.	Batarya şarj-deşarj yönetim sistemi blok diyagramı	143
Şekil 7.22.	FV panel ve bataryadan oluşan şebekeden bağımsız sistem	144
Şekil 7.23.	Güç yönetiminin benzetim modeli	145

Şekil 7.24.	FV sistemin akım, gerilim ve güç eğrileri.....	146
Şekil 7.25.	B3 ve B4 yük barası gerilimleri	147
Şekil 7.26.	B3 ve B4 yük barası akımları.....	148
Şekil 7.27.	Yük değişimlerinde FV sistem, batarya ve yük barası güç değişimleri.....	149
Şekil 7.28.	Güç akışı yönetim biriminin etkisiyle S1 ve S2 anahtarlarının konum değişimleri.....	149
Şekil 7.29.	Yük değişimlerine göre batarya şarj durumu	150
Şekil 7.30.	Işınım şiddetinde meydana gelen değişimler durumunda FV sistemin gerilimi, akımı ve güç değişimi	151
Şekil 7.31.	Işınım şiddeti ve yük talebi değişimlerinde B3 ve B4 yük barası gerilimleri	151
Şekil 7.32.	Işınım şiddeti ve yük talebi değişimlerinde B3 ve B4 yük barası akımları	152
Şekil 7.33.	Işınım şiddeti ve yük talebi değişimlerinde FV sistem, batarya ve yük barası güç değişimleri	153
Şekil 7.34.	Işınım şiddeti ve yük talebi değişimlerinde S1 ve S2 anahtarlarının konum değişimleri.....	154
Şekil 7.35.	Işınım ve yük değişimlerine göre batarya şarj durumu	154
Şekil 7.36.	FV sistem ve bataryadan oluşan DA ve AA yüklerin beslendiği şebekeden bağımsız sistem	155
Şekil 7.37.	Işınım şiddetinin değişmesi ile FV sistemin gerilim, akım ve güç eğrileri.....	157
Şekil 7.38.	Değişen çalışma koşullarında B3 ve B4 DA yük baraları gerilimleri.....	157
Şekil 7.39.	Değişen çalışma koşullarında B3 ve B4 yük baraları akımları.....	158
Şekil 7.40.	Değişen çalışma koşulları için FV sistem, batarya ve B3 DA barası güçleri	159
Şekil 7.41.	Değişen çalışma koşullarında S1 ve S2 anahtarlarının konum değişimleri.....	160
Şekil 7.42.	AA yük barası gerilimleri.....	161
Şekil 7.43.	AA yük barası gerilimlerinin yakınlaştırılmış hali.....	161
Şekil 7.44.	Evirici faz-faz arası çıkış gerilimi	162
Şekil 7.45.	AA yük barası akımları	162
Şekil 7.46.	AA yük barası akımlarının yakınlaştırılmış hali	163
Şekil 7.47.	AA yük barası güçleri	163
Şekil 7.48.	Açık devre koşulu için sistem modeli	165
Şekil 7.49.	Açık devre koşulu için benzetim modeli.....	165
Şekil 7.50.	Açık devre koşulu için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimleri (HGFD'siz).....	166
Şekil 7.51.	Açık devre koşulu için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimlerinin yakınlaştırılmış hali (HGFD'siz).....	166
Şekil 7.52.	Açık devre koşulu için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimleri (HGFD'li).....	167
Şekil 7.53.	Açık devre koşulu için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimlerinin yakınlaştırılmış hali (HGFD'li).....	168
Şekil 7.54.	Açık devre koşulu için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimlerinin etkin değerleri.....	168

Şekil 7.55.	Açık devre koşulu için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimlerinin etkin değerlerinin yakınlaştırılmış hali.....	169
Şekil 7.56.	Açık devre koşulu için generatör barası aktif, reaktif ve görünür güç değişimleri	170
Şekil 7.57.	Açık devre koşulu için yük barasının aktif, reaktif ve görünür güç değişimleri	170
Şekil 7.58.	Açık devre koşulu için generatör barası güç faktörü değişimi.....	171
Şekil 7.59.	Açık devre koşulu için üç çevrim evg, ep _g , eig hataları ve toplam hata değişimi	171
Şekil 7.60.	Açık devre koşulu için generatör barasının güç-gerilim-akım değerlerindeki değişimin üç boyutlu gösterimi	172
Şekil 7.61.	Kısa devre koşulu için sistem modeli.....	173
Şekil 7.62.	Kısa devre koşulu için benzetim modeli	173
Şekil 7.63.	Kısa devre koşulu için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimleri (HGFD'siz).....	174
Şekil 7.64.	Kısa devre koşulu için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimlerinin yakınlaştırılmış hali (HGFD'siz).....	174
Şekil 7.65.	Kısa devre koşulu için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimleri (HGFD'li).....	175
Şekil 7.66.	Kısa devre koşulu için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimlerinin yakınlaştırılmış hali (HGFD'li).....	176
Şekil 7.67.	Kısa devre koşulu için generatör ve yük barası gerilim ve akım değişimlerinin etkin değerleri.....	176
Şekil 7.68.	Kısa devre koşulu için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimlerinin etkin değerlerinin yakınlaştırılmış halleri	177
Şekil 7.69.	Kısa devre koşulu için generatör barası aktif, reaktif ve görünür güç değişimleri	178
Şekil 7.70.	Kısa devre koşulu için yük barası aktif, reaktif ve görünür güç değişimleri	178
Şekil 7.71.	Kısa devre koşulu için generatör barası güç faktörü değişimi	179
Şekil 7.72.	Kısa devre koşulu için üç çevrim evg, ep _g , eig hataları ve toplam hata değişimi	179
Şekil 7.73.	Kısa devre koşulu için generatör barasının güç-gerilim-akım değerlerindeki değişimin üç boyutlu gösterimi	180
Şekil 7.74.	Değişken rüzgar hızı için benzetim modeli.....	181
Şekil 7.75.	Rüzgar hızı değişimi.....	181
Şekil 7.76.	Değişken rüzgar hızı için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimleri (HGFD'siz).....	182
Şekil 7.77.	Değişken rüzgar hızı için generatör ve yük barası, gerilim, akımlarının değişimlerinin yakınlaştırılmış halleri (HGFD'siz).....	182
Şekil 7.78.	Değişken rüzgar hızı için generatör ve yük barası gerilim, akımlarının değişimleri (HGFD'li)	183
Şekil 7.79.	Değişken rüzgar hızı için generatör ve yük barasının gerilim, akım değişimlerinin yakınlaştırılmış hali (HGFD'li)	183
Şekil 7.80.	Değişken rüzgar hızı için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimlerinin etkin değerleri.....	184
Şekil 7.81.	Değişken rüzgar hızı için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimlerinin etkin değerlerinin yakınlaştırılmış hali.....	184

Şekil 7.82.	Değişken rüzgar hızı için generatör barasının aktif, reaktif ve görünür güç değişimleri.....	185
Şekil 7.83.	Değişken rüzgar hızı için yük barasının aktif, reaktif ve görünür güç değerleri	186
Şekil 7.84.	Değişken rüzgar hızı için generatör barasın güç faktörü.....	186
Şekil 7.85.	Değişken rüzgar hızı koşulu için üç çevrim evg, ep _g , eig hataları ve toplam hata değişimi.....	187
Şekil 7.86.	Değişken rüzgar hızı koşulu için generatör barasının güç-gerilim-akım değerlerindeki değişimin üç boyutlu gösterimi	187
Şekil 7.87.	Hibrit sistemin benzetim modeli	189
Şekil 7.88.	FV sistemin (a) gerilimi (b) akımı (c) gücü	190
Şekil 7.89.	DA ve AA yük baralarının güçleri	191
Şekil 7.90.	Generatör barası (a) aktif (b) reaktif (c) görünür güç değişimleri	192
Şekil 7.91.	AA yük barası (a) reaktif güç (b) görünür güç değişimleri.....	193
Şekil 7.92.	Generatör barası (a) gerilim değişimi (b) yakınlaştırılmış hali (c) etkin değeri	194
Şekil 7.93.	Yük barası (a) gerilim değişimi (b) yakınlaştırılmış hali (c) etkin değeri	195
Şekil 7.94.	Generatör barası (a) akım değişimi (b) yakınlaştırılmış hali (c) etkin değeri	196
Şekil 7.95.	Yük barası (a) akım değişimi (b) yakınlaştırılmış hali (c) etkin değeri	197
Şekil 8.1.	FV sistem uygulama düzeneğinin blok diyagramı	199
Şekil 8.2.	FV paneller (a) Sıcaklık ve nem sensörü, (b) Işınım sensörü, (c) FV paneller	200
Şekil 8.3.	Deneysel düzenek.....	200
Şekil 8.4.	Veri toplama cihazı	201
Şekil 8.5.	Amaçlanan MGNT algoritmasının uygulama sonuçları (gerilim).....	201
Şekil 8.6.	Amaçlanan MGNT algoritmasının uygulama sonuçları (akım)	202
Şekil 8.7.	Değiştir gözetle algoritmasının uygulama sonuçları (gerilim).....	202
Şekil 8.8.	Değiştir gözetle algoritmasının uygulama sonuçları (akım)	202
Şekil 8.9.	Amaçlanan MGNT algoritmasının uygulama sonuçları (güç).....	203
Şekil 8.10.	Değiştir gözetle algoritmasının uygulama sonuçları (güç)	203
Şekil 8.11.	DGM sinyali (mavi: önerilen yaklaşım, kırmızı: değiştir gözetle)	203
Şekil 8.12.	Önerilen MGNT ve değiştir gözetle algoritmasının uygulama sonuçları	204
Şekil 8.13.	Farklı çalışma zamanı için amaçlanan MGNT algoritmasının uygulama sonuçları (gerilim)	205
Şekil 8.14.	Farklı çalışma zamanı için amaçlanan MGNT algoritmasının uygulama sonuçları (akım).....	205
Şekil 8.15.	Farklı çalışma zamanı için değiştir gözetle algoritmasının uygulama sonuçları (gerilim)	205
Şekil 8.16.	Farklı çalışma zamanı için değiştir gözetle algoritmasının uygulama sonuçları (akım).....	206

Şekil 8.17.	Farklı çalışma zamanı için değiştir gözetle ve önerilen MGNT algoritması sonuçları	206
Şekil 8.18.	Farklı çalışma zamanı için amaçlanan MGNT algoritması sonuçları (güç).....	207
Şekil 8.19.	Farklı çalışma zamanı için değiştir gözetle algoritması sonuçları (güç).....	207
Şekil 8.20.	Farklı çalışma koşulu için amaçlanan MGNT algoritması ve değiştir-gözetle algoritması sonuçları	208
Şekil 8.21.	Farklı çalışma koşulu için amaçlanan MGNT algoritması sonuçları (gerilim).....	208
Şekil 8.22.	Farklı çalışma koşulu için amaçlanan MGNT algoritması sonuçları (akım).....	209
Şekil 8.23.	Farklı çalışma koşulu için değiştir gözetle algoritması sonuçları (gerilim).....	209
Şekil 8.24.	Farklı çalışma koşulu için değiştir gözetle algoritması sonuçları (akım).....	209
Şekil 8.25.	Güneş enerjisi izleme sistemi.....	210
Şekil 8.26.	Rüzgar enerjisi çevrim sistemi (a) hibrit güç filtresi düzenleyicisi (b) rüzgar emülatörü.....	211
Şekil 8.27.	Rüzgar enerjisi çevrim sistemi deneysel düzeneği.....	211
Şekil 8.28.	Sabit rüzgar hızında HGFD'siz uygulama sonuçları.....	212
Şekil 8.29.	Sabit rüzgar hızında HGFD'siz uygulama sonuçları (20ms örnekleme zamanı için)	213
Şekil 8.30.	HGFD'siz sabit rüzgar hızında generatör barasına ait güç faktörü uygulama sonuçları	213
Şekil 8.31.	Sabit rüzgar hızında açık devre çalışma koşulu için HGFD'siz uygulama sonuçları.....	213
Şekil 8.32.	Sabit rüzgar hızında açık devre çalışma koşulu için HGFD'siz yakınlaştırılmış uygulama sonuçları	214
Şekil 8.33.	Sabit rüzgar hızında kısa devre çalışma koşulu için HGFD'siz uygulama sonuçları.....	214
Şekil 8.34.	Sabit rüzgar hızında kısa devre çalışma koşulu için HGFD'siz yakınlaştırılmış uygulama sonuçları	214
Şekil 8.35.	Sabit rüzgar hızı altında HGFD'li uygulama sonuçları.....	215
Şekil 8.36.	HGFD'li sabit rüzgar hızında generatör barasına ait güç faktörü uygulama sonuçları	216
Şekil 8.37.	Sabit rüzgar hızında açık devre çalışma koşulu için HGFD'li uygulama sonuçları	216
Şekil 8.38.	Sabit rüzgar hızında açık devre çalışma koşulu için HGFD'li yakınlaştırılmış uygulama sonuçları.....	216
Şekil 8.39.	Sabit rüzgar hızında kısa devre çalışma koşulu için HGFD'li uygulama sonuçları	217
Şekil 8.40.	Sabit rüzgar hızında kısa devre çalışma koşulu için HGFD'li yakınlaştırılmış uygulama sonuçları.....	217
Şekil 8.41.	Anahtarlama sinyali.....	217
Şekil 8.42.	LabVIEW başlangıç menüsü.....	219
Şekil 8.43.	Ön panel ve blok diyagram	219
Şekil 8.44.	Labview (a) kontrol paleti (b) fonksiyon paleti	220
Şekil 8.45.	Araç paleti	221

Şekil 8.46.	LabVIEW ile hazırlanan sanal enstrüman.....	221
Şekil 8.47.	Sisteme sanal DAQ kartı tanııtma işlemi (a) ölçüm penceresi (b) NI-DAQmx cihaz menüsü seçimi (c) istenilen DAQ cihazının listeden seçilmesi.....	223
Şekil 8.48.	DAQmx fonksiyonunun seçilmesi	224
Şekil 8.49.	DAQ asistan	224
Şekil 8.50.	DAQ cihazı analog ve dijital sinyal giriş ve çıkış sinyal seçimi	225
Şekil 8.51.	Bağlantı girişı veya çıkışı seçilmesi	225
Şekil 8.52.	Sistemde işlenecek sinyallerin özelliklerinin belirlenmesi	225
Şekil 8.53.	NI-PCI 6251 DAQ kartı	226
Şekil 8.54.	Web yayınlama aracı	228
Şekil 8.55.	LabVIEW sunucunun başlatılması.....	229
Şekil 8.56.	Programın web adresi.....	229
Şekil 8.57.	Kullanıcı bilgisayar üzerinde hazırlanan program görüntüsü	230

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1.	Dünya genelindeki FV kapasiteleri	23
Tablo 2.2.	Avrupa ülkeleri FV kapasite tahminleri	24
Tablo 3.1.	Dünyadaki rüzgar enerjisi santrallerinin kurulu gücü	46
Tablo 4.1.	h parametresinin belirlenmesinde kullanılan kural tablosu	87
Tablo 4.2.	Tek modlu test fonksiyonları	90
Tablo 4.3.	Çok modlu test fonksiyonları	90
Tablo 4.4.	Çok modlu sabit boyutlu test fonksiyonları	91
Tablo 4.5.	Tek modlu test fonksiyonları sonuçları	91
Tablo 4.6.	Çok modlu test fonksiyonu sonuçları	93
Tablo 4.7.	Çok modlu sabit boyutlu test fonksiyonları sonuçları	94
Tablo 5.1.	Etkinlik fonksiyonları	100
Tablo 5.2.	Sayısal olarak ifade edilen kural tablosu	102
Tablo 5.3.	Dilsel olarak ifade edilen kural tablosu	103
Tablo 5.4.	Optimizasyon işlemi sonunda elde edilen etkinlik fonksiyonları	103
Tablo 5.5.	Her iki algoritmaya ait istatistiksel sonuçlar	105
Tablo 7.1.	FV sistem benzetim modeli parametreleri	134
Tablo 7.2.	Güç yönetimi benzetim çalışması parametreleri	146
Tablo 7.3.	DA-AA yüklerin beslendiği şebekeden bağımsız FV sistem benzetim modeli parametreleri	156
Tablo 7.4.	Rüzgar güç üretim sisteminin benzetim modeli parametreleri	164
Tablo 7.5.	Hibrit benzetim modeli parametreleri	188
Tablo 8.1.	Uygulama devresinin parametre değerleri	199
Tablo 8.2.	Rüzgar enerjisi üretim sistemi uygulama devresi parametreleri	212

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

A	: Kanat süpürme alanı
a_1, a_2	: Diyot idealite faktörü
a_i^d	: Yerçekimsel arama algoritmasında ivme
B	: Motor miline indirgenmiş toplam viskoz sürtünme katsayısı
b	: Eğri uydurma katsayısı
best	: Yerçekimsel arama algoritmasında en iyi değer
C_p	: Türbin verimi
C_{SI}	: Işınım şiddetine bağlı akım katsayısı
C_{SV}	: Işınım şiddetine bağlı gerilim katsayısı
C_{TI}	: Sıcaklığa bağlı akım katsayısı
C_{TV}	: Sıcaklığa bağlı gerilim katsayısı
c_1, c_2	: Parçacık sürü optimizasyonunda hızlanma katsayıları
D	: Görev periyodu
dEU	: En iyi uygunluk değerinin değişimi
dEUV	: En iyi uygunluk değerinin değişiminin normalizasyon değeri
du	: Bulanık mantık çıkış değeri
E	: Yapay sinir ağlarında performans indeksi
EU	: En iyi uygunluk değeri
EUV	: En iyi uygunluk değerinin normalizasyon değeri
e	: Hata
E_k	: Kinetik enerji
F_i^d	: Toplam kütle
F_{ij}^d	: d. boyuttaki i ve j kütleleri arasındaki kuvvet
gbest	: Parçacık sürü optimizasyonunda o ana kadarki en iyi çözüm
GW	: Gigawatt
G	: Yerçekimi sabiti
G_0	: Yerçekimi sabitinin başlangıç değeri
I	: Pilin çıkış akımı, (A)
I_D	: Diyot akımı, (A)
I_{FV}	: Foton akımı, (A)
I_G	: Asenkron generatör akımı, (A)
I_{kd}	: FV pilin kısa devre akımı, (A)
I_L	: Yük akımı, (A)
I_p	: Paralel kol akımı, (A)
I_{phx}	: FV pilin çıkış akımı, (A)
I_S	: Diyotun ters doyum akımı, (A)
I_s	: Stator akımı, (A)
i_{rd}	: Rotor d eksen akımı, (A)
i_{rq}	: Rotor q eksen akımı, (A)
i_{sd}	: Stator d eksen akımı, (A)
i_{sq}	: Stator q eksen akımı, (A)
J	: Motor miline indirgenmiş toplam eylemsizlik momentini
k	: Boltzmann sabiti

K_D	: PID denetleyicinin türevsel katsayısı
K_e	: Karesel toplam hatanın çarpım katsayısı
K_G	: Güç çevrimi katsayısı
K_I	: PID denetleyicinin integral katsayısı
K_P	: PID denetleyicinin oransal katsayısı
k_p	: Modül karakteristik katsayısı
kW	: Kilowatt
kWh	: Kilowatt saat
L_r	: Rotor çevre endüktansı, (H)
L_s	: Stator sargı endüktansı, (H)
m^2	: Metrekare
m	: Kütle
mH	: Milihenry
M_{ai}	: Yerçekimsel kütle
M_i	: Eylemsizlik kütlesi
M_{pi}	: Pasif yerçekimsel kütle
M_{rr}	: Rotor çubukları arası ortak endüktansı
M_{ss}	: Stator faz sargıları arası karşıt endüktansı
MW	: Megawatt
N	: Yerçekimsel arama algoritmasında toplam kütle sayısı
N_s	: Seri hücre sayısı
n	: İdealite faktörü
n_s	: Statorun senkron hızı, (d/dak.)
p	: Çift kutup sayısı
P_{fv}	: FV pil gücü, (W)
P_G	: Generatör aktif güç, (W)
P_r	: Rüzgardan elde edilecek güç
P_{ref}	: Referans güç, (W)
P_t	: Türbinden elde edilecek güç, (W)
r	: Diyot faktörü
$R_ç$	: Çubuk direnci, (Ω)
R_h	: İki çubuk arasındaki halka parçası direnci, (Ω)
R_{ij}	: i ve j kütleleri arasındaki öklit mesafesi
R_p	: FV pil paralel direnç, (Ω)
R_r	: Rotor faz sargı direnci, (Ω)
R_s	: FV pil seri direnci, (Ω)
R_s	: Stator faz sargı direnci, (Ω)
R^2	: Korelasyon katsayısı
S	: Rüzgar türbinin kanatlara yapacağı basınç
S_G	: Generatör görünür gücü, (VA)
S_x	: Güneş ışıma şiddeti, (W/m^2)
t	: İterasyon sayısı
T	: Referans çalışma sıcaklığı, ($^{\circ}C$)
T_a	: Referans ortam sıcaklığı, ($^{\circ}C$)
T_x	: Sıcaklık değeri, ($^{\circ}C$)
t_{max}	: Maksimum iterasyon sayısı
TWh	: Terawatt saat
V	: Pilin çıkış gerilimi, (V)
V_{ad}	: FV pilin açık devre gerilimi, (V)

V_{cx}	: FV pilin çıkış gerilimi, (V)
V_G	: Asenkron generatör gerilimi, (V)
V_L	: Yük gerilimi, (V)
v_i	: Yapay sinir ağlarında toplama işlemi
v_i^d	: Yerçekimsel arama algoritmasında i. kütlenin d. boyuttaki hızı
V_{max}	: Maksimum hız
V_{max0}	: Başlangıç maksimum hız
V_r	: Rüzgar hızı, (m/s)
V_{ref}	: Referans gerilim, (V)
V_s	: Stator gerilimi, (V)
V_{sd}	: Stator d eksen gerilimi, (V)
V_{sq}	: Stator q eksen gerilimi, (V)
V_T	: Terminal gerilimi, (V)
y^I, y^{II}	: Yapay sinir ağlarında birinci ve ikinci katman çıkışları
y_m	: Yapay sinir ağından istenen çıkış
y_d	: Yapay sinir ağı çıkışı
y_{rx}, y_{sx}	: Etkinlik fonksiyonlarını temsil eden değişkenler
Q_G	: Generatör reaktif gücü, (VAr)
q	: Elektron yükü
W	: Watt
w	: Parçacık sürü optimizasyonunda ağırlık fonksiyonu
w_{ij}	: Yapay sinir ağlarında ağırlıklar
worst	: Yerçekimsel arama algoritmasında en kötü değer
x_i^d	: Yerçekimsel arama algoritmasında i. kütlenin d. boyuttaki konumu
ω	: Mil hızı, (rad/s)
ω_s	: Stator açısal hızı, (rad/s)
ρ_h	: Yoğunluk, (kg/m ³)
θ	: Motor mili dönme açısı
θ_j	: Yapay sinir ağında eşik değeri
ψ_r	: Rotor akı vektörü
ψ_{rd}	: Rotor d eksen akısı
ψ_{rq}	: Rotor q eksen akısı
ψ_s	: Stator akı vektörü
ψ_{sd}	: Stator d eksen akısı
ψ_{sq}	: Stator q eksen akısı
δ_c	: Gerçek çıkış
δ_d	: İstenen çıkış
α	: Yerçekimsel arama algoritmasında sabit değer
α_{pr}	: Yapay sinir ağlarında momentum katsayısı
α_s	: Işınım şiddetindeki değişim
μ_i	: Bulanık mantık üyelik derecesi
η_{pr}	: Yapay sinir ağlarında öğrenme katsayısı
γ_{IG}	: Akım çevrimi katsayısı
γ_{VG}	: Gerilim çevrimi katsayısı
μF	: Mikro farad
Ω	: Ohm
Δe	: Hatadaki değişim
ΔI	: Akımdaki değişim
ΔP	: Güçteki değişim

ΔV	: Gerilimdeki değişim
ΔV_{ad}	: FV pilin açık devre gerilim değeri değişimi
Δw_{ji}	: Katmanlardaki ağırlık değişimi

Kısaltmalar

AA	: Alternatif Akım
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
BM	: Bulanık Mantık
BPSOYAA	: Bulanık Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Yerçekimsel Arama Algoritması
ÇBAG	: Çift Beslemeli Asenkron Generatör
DA	: Doğru Akım
DGM	: Darbe Genişlik Modülasyonu
DSP	: Sayısal İşaret İşleyicisi (Digital Signal Processing)
D&G	: Değiştir Gözetle Algoritması
EAAİS	: Esnek Alternatif Akım İletim Sistemi
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
FV	: Fotovoltaik
HGFD	: Hibrit Güç Filtresi Düzenleyicisi
I-V	: Akım-Gerilim
MGN	: Maksimum Güç Noktası
MGNT	: Maksimum Güç Noktası Takip
OKHK	: Ortalama Karesel Hatanın Karekökü
P	: Pozitif
PB	: Pozitif Büyük
PÇB	: Pozitif Çok Büyük
PI	: Oransal İntegral
P-I	: Güç-Akım
PID	: Oransal İntegral Türevsel
PK	: Pozitif Küçük
PO	: Pozitif Orta
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu
P-V	: Güç-Gerilim
REÇS	: Rüzgar Enerjisi Çevrim Sistemi
REÜS	: Rüzgar Enerjisi Üretim Sistemleri
RFT	: Radyal Fonksiyon Temelli
RSSG	: Rotoru Sargılı Senkron Generatör
SDGM	: Sinüs Darbe Genişlik Modülasyonu
SKAG	: Sincap Kafesli Asenkron Generatör
SMSG	: Sabit Mıknatıslı Senkron Generatör
YAA	: Yerçekimsel Arama Algoritması
YSA	: Yapay Sinir Ağları

ŞEBEKE BAĞLANTISIZ GÜNEŞ VE RÜZGAR ENERJİ SİSTEMLERİNİN YÖNETİMİ, KONTROLÜ VE İZLENMESİ İÇİN YENİ YAKLAŞIMLAR

ÖZET

Günümüzde, temiz enerji kaynakları ya da yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş ve rüzgar enerjisi sistemlerinin kullanımı giderek artmaktadır. Güneş enerjisi çevrim sistemleri yenilenebilir kaynakları içerisinde önemli bir yere sahiptir. Bu tez çalışmasında, güneş enerjisi sistemlerinin modellenmesi, benzetimi ve analizinin yapılabilmesi amacıyla Matlab programı kullanılarak güneş enerjisi sanal laboratuvarı isimli bir benzetim yazılımı geliştirilmiştir. Ayrıca, güneş ve rüzgar enerjisi çevrim sistemlerinin benzetimi, uygulaması ve internet tabanlı izlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla fotovoltaiik sistemin maksimum güç noktasını belirlemek için bulanık mantık temelli hibrit parçacık sürü optimizasyon ve yerçekimsel arama algoritması tarafından eğitilmiş yapay sinir ağına dayalı maksimum güç noktası takip (MGNT) algoritması önerilmiştir. Önerilen MGNT algoritması ve değiştir gözetle algoritmasının karşılaştırılması, benzetim çalışmaları ve uygulaması yapılmıştır. Rüzgar enerjisi üretim sistemlerinde rüzgar hızının ve çalışma koşullarının değişken olması, tüketiciye iletilen enerjinin kalitesini etkilemekte ve geriliminin kararsız olmasına neden olmaktadır. Önerilen hibrit güç filtresi düzenleyicisi ile rüzgar türbininden yüklere aktarılan enerjinin kaliteli, gerilimin kararlı ve iyileştirilmiş güç faktörünün olması amaçlanmıştır. Ayrıca, filtreleme kontrol işleminde kullanılan yeni dinamik üç çevrimli hata toplamına bağlı bir denetleyici yapısı önerilmiştir. Önerilen filtre ve denetleyicinin farklı çalışma koşulları altında benzetimi ve laboratuvar ortamında uygulaması yapılmıştır. Son olarak, LabVIEW paket programında hazırlanan ara yüz ile güneş ve rüzgar enerji çevrim sistemlerinin internet tabanlı gerçek zamanlı izlenmesi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hibrit Güç Filtresi Düzenleyicisi, İnternet Tabanlı İzleme, MGNT Algoritması, Optimizasyon, Yenilenebilir Enerji Kaynakları.

NOVEL APPROACHES FOR THE MANAGEMENT, CONTROL AND MONITORING OF THE OFF-GRID SOLAR AND WIND ENERGY SYSTEMS

ABSTRACT

Nowadays, photovoltaic and wind energy systems from the clean energy sources or renewable energy sources are being increasingly implemented. Solar energy conversion systems have a significant place within the renewable energy sources. In this thesis, a simulation tool named as solar energy virtual laboratory was developed using Matlab in order to provide modeling, simulation and analysis of solar energy systems. Also, the aim of this thesis is to carry out simulation, application and web based monitoring of solar and wind energy conversion system. Maximum power point tracking (MPPT) algorithm based artificial neural network which training by hybrid particle swarm optimization and gravitational search algorithm based on fuzzy logic is proposed to determination maximum power point of the photovoltaic system. The comparison, simulation studies and application of the proposed MPPT algorithm and perturb-observe algorithms have been performed. The wind velocity and the operating conditions are variable in wind energy systems which have been caused the transmitted energy quality to consumer and instability of the voltage. The energy quality transferred to the loads from the wind turbine, stable voltage and improved power factor are suggested with the proposed hybrid power filter compensator. Besides, a control structure depends on a novel dynamic three loop errors is also proposed to be used in the filter control process. The simulation and application in laboratory are performed the under different operating conditions of the proposed filter and controller. Finally, web based monitoring in real time of the solar and wind energy conversion systems have been performed using software written in LabVIEW.

Key Words: Hybrid Power Filter Correction, Web Based Monitoring, MPPT Algorithm, Optimization, Renewable Energy Resources.

GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması, enerji fiyatındaki artış, sanayi ve teknolojiye hızlı gelişmeler enerji talebini arttırırken, var olan enerji kaynaklarına alternatif kaynakların bulunmasını zorunlu hale getirmiştir. Elektrik enerjisinin üretiminde fosil yakıtlı, doğal gaz ve nükleer enerjiye dayalı birçok enerji kaynağı kullanılmaktadır. Bu kaynaklar hava kirliliği, küresel ısınma ve ozon tabakasının incilmesi gibi endişe edilebilecek boyutlarda çevreye zarar verecek duruma gelmişlerdir. Günümüzde daha çok kullanılan fosil yakıtlı enerji üretim sistemleri dünyadaki enerji tüketim talebini karşılamaktadır. Ancak mevcut rezervlerin bir gün tükeneceği düşünülerek araştırmacılar var olan enerji kaynaklarının yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunmasına ve etkin bir şekilde kullanılması çalışmalarına yönelmişlerdir. Alternatif ya da yenilenebilir enerji kaynakları sürekli ve bitmeyecek kaynaklar olarak tanımlanmaktadır. Artan enerji talebinin temiz, ekonomik, sürekli, güvenli ve çevre kirliliğine neden olmadan karşılanabilmesi için yapılan çalışmalar sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi hızla artmıştır.

Güneş ve rüzgar enerjisi en çok kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından. Yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinde, güneş ışığı doğrudan fotovoltaiik piller vasıtası ile elektriksel akım ve gerilim büyüklüklerine çevrilerek elektrik üretimi yapılır. Elektrik üretiminde kullanılan FV pilin ürettiği elektriksel güç küçük değerlerde olduğundan talep edilen güce göre, FV piller seri ve paralel bağlanarak istenilen akım ve geril değerleri elde edilir. FV pillerin seri ve paralel bağlanmasıyla FV paneller, panellerin seri ve paralel bağlanmasıyla yüksek değerlerde akı ve gerilim üretilmesini sağlayan büyük güçlü FV sistemler elde edilmektedir. Bu sistemler şebekeden bağımsız, şebekeye bağlı uygulamalarda, elektrikli araçlarda elektrik enerjisi üretmek için kullanılmaktadırlar. Güneş enerjisi üretim sistemlerinde FV pilin ürettiği güç güneş ışınım şiddeti ve sıcaklık gibi çevresel koşullara bağlıdır. Sıcaklık, güneş ışınımı şiddetinin değişmesiyle FV pilin üretebileceği gerilim ve akım değeri değişeceği için güç değeri artmakta veya azalmaktadır. FV pillerin gerilim ve akım çıkış büyüklükleri, üretilen güç ve akım değeri arasında doğrusal

olmayan bir yapı bulunmaktadır. Sabit sıcaklık ve güneş ışınlamında, üretilebilecek sabit maksimum güç noktası güç gerilim veya güç akım eğrileri üzerinde gösterilmektedir. FV panelin üretebileceği maksimum gücü sağlayan akım ve gerilim değerleri sıcaklık ve güneş ışınlamı şiddetinin değişmesiyle farklı değerler almakta olup, panelden üretebilecek maksimum güç sıcaklık ve güneş ışınlamı şiddeti gibi çevresel koşullara bağlıdır. Verimleri çok yüksek değerlerde olmayan FV sistemlerin kurulum maliyetleri geleneksel elektrik üretim sistemlerine göre pahalı olduğundan, maksimum gücü elde edebilecek şekilde çalıştırılmaları oldukça önem taşımaktadır. Başka bir deyişle hiçbir yatırımcı, kurulum maliyeti yüksek olan bu sistemleri düşük verimle çalıştırmak istemeyecektir. Bu nedenle güneş ışınlamı şiddeti veya sıcaklık gibi çevre koşulları ile verimi değişen FV sistemlerin üreteceği maksimum gücün tespiti ve bu güçte çalıştırılmaları gerekliliği giderek artmaktadır.

Rüzgar enerjisi ise en çok kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından diğeridir. Rüzgar enerjisi, rüzgarı oluşturan hava akımının sahip olduğu hareket enerjisi olarak tanımlanmakta olup, hareket enerjisi ile elektrik üretilmektedir. Rüzgar enerjisinde elektrik enerjisi üretimi için en çok Sabit Mıknatıslı Senkron Generatör (MSG), Sincap Kafesli Asenkron Generatör (SKAG) ve Çift Beslemeli Asenkron Generatör (ÇBAG) kullanılmaktadır. Rüzgar hızının değişken olması nedeniyle üretilen elektrik enerjisinin tüketicilerde kullanılabilmesi için genlik ve frekans ayarının yapılması gerekmektedir. Tüketici tarafındaki yükün sabit olmaması, yüklerin belirsiz zamanlarda devreye girip çıkması üretilen ve tüketilen güçler arasındaki dengeyi bozarak istenmeyen gerilim, frekans ve güç değişimlerinin oluşmasına yol açmaktadır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Tez Çalışmasının Amacı ve Başlatılma Sebepleri

Güneş ve rüzgar enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en çok kullanılan kaynaklardan olup, güneş enerjisinden elektrik üretmek için kullanılan FV sistemler, var olan fosil yakıtlı enerji üretim sistemlerine göre ilk kurulum maliyetleri oldukça pahalı olan enerji üretim sistemleri olarak ifade edebiliriz. Bu nedenle dolaydır ki, kurulan sistemin bulunduğu coğrafi yapıya, iklime, güneş ışınım şiddeti ve sıcaklık gibi çevresel koşullara göre, FV sistemlerin üreteceği maksimum güç ve maksimum güç noktası doğrusal olmayan bir şekilde değişkenlik göstermektedir.

Güneş enerjisinde kullanılan FV panellerin farklı çevresel koşullar altında ürettikleri gerilim ve akım değerlerinin eğrileri arasında doğrusal olmayan bir yapı bulunmaktadır. Bu durum araştırmacıları güneş enerjisi sistemlerinin modellenmesi, benzetimi ve analizi çalışmalarına yönlendirmiştir. Tez çalışmasının temel amaçlarından biri, güneş enerjisi sistemlerinin modellenmesi, benzetimi ve analizinin yapılabilirdiği güneş enerjisi sanal laboratuvarı isimli yazılımın geliştirilmesidir. Kullanıcı bu yazılımda, güneş enerjisinde kullanılan FV panellerin katalog bilgilerini kullanarak farklı çevresel koşullar altında akım-gerilim (I-V), güç-gerilim (P-V) ve güç-akım (P-I) karakteristik eğrilerini inceleyebilmektedir. MGNT algoritmalarından değiştir gözetle, artan iletkenlik algoritmalarının farklı çevresel ve adım katsayısı koşullarında ayrı ayrı veya birlikte karşılaştırmasını, buna ek olarak şebekeden bağımsız FV sistemler için farklı yük durumlarında analizini ve benzetimini yapabilmektedir.

Araştırmacılar değişen çevresel koşullara göre FV sistemden elde edilebilecek en yüksek verimi sağlayabilmek için maksimum güç noktası izleme algoritmaları geliştirme çalışmalarına yönelmişlerdir. Tez çalışmasının temel amaçlarından diğeri, FV sistemlerin değişen çevresel şartlara göre üretilebilecekleri maksimum güç noktasının belirlenmesi ve bu maksimum güç noktasında çalıştırılması için son zamanlarda geliştirilen sezgisel algoritmalarından biri kullanılarak, eğitilecek olan

yapay sinir ağı (YSA) modeline dayalı maksimum güç noktası takip algoritmasını oluşturmaktır. Sezgisel algoritma olarak, 2010 yılında [1] Mirjalili ve Hashim tarafından hibrit bir optimizasyon algoritması haline getirilen yerçekimsel arama algoritması (YAA) ve parçacık sürü optimizasyon (PSO) algoritmasının Duman ve diğ. [2] bulanık mantık (BM) algoritması kullanarak geliştirdikleri hibrit PSO-YAA algoritması kullanılmıştır. YSA eğitiminde, ezberleme olayının olmaması ve istenilen sonuca ulaşılabilmesi için en uygun ağ yapısının belirlenmesi gerekmektedir. Klasik ileri beslemeli geri yayımlı ağ yapılarında sinir sayılarının fazla olması ezberleme olayını oluştururken, sinir sayılarının az olması ise eğitimin başarısını düşürmektedir. Bundan dolayıdır ki, YSA'nın gerçek zamanlı uygulamalarında ağın hesaplama yükünü belirleyen en önemli etken sinir sayısı olup, hem ezberleme olayından kaçma hem de eğitme işleminin gerçekleşmesini sağlayacak en az sinir yapısını sağlayan ağ tasarımı yapılarak gerçek zamanlı uygulama yapılabilir. Ayrıca, uygun etkinlik fonksiyonlarının belirlenmesi istenen sonuca daha iyi yaklaşabilmeyi sağlayan en önemli parametrelerden diğeridir. YSA'nın ağ yapısında genellikle etkinlik fonksiyonlarından biri seçilerek ağ tasarımı yapılmaktadır Bu tez çalışmasında, ezberleme olayından kaçınılması, gerçek zamanlı uygulamanın yapılabilmesi için az sayıda sinir sayısına sahip ağ yapısı kullanılmıştır. İleri beslemeli geri yayımlı bu ağ yapısında her sinir için kullanılan aynı etkinlik fonksiyonu yerine ağ yapısının başarısını arttırabilmek için geliştirilen bulanık mantık temelli hibrit PSO-YAA algoritması ile YSA'nın etkinlik fonksiyonlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen optimizasyon algoritması tarafından sinirlerdeki etkinlik fonksiyonları belirlenen YSA yapısı MGNT algoritması olarak, klasik algoritmalarından değiştir gözetle algoritması ile şebekeden bağımsız sistemlerde hem benzetim çalışmaları hem de laboratuvar ortamında gerçek zamanlı uygulamaları yapılmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en çok kullanılan enerji kaynaklarından diğeri rüzgar enerjisidir. Rüzgar enerjisi üretim sistemlerinde değişken rüzgar hızı ve çalışma koşulları, rüzgar enerjisinden üretilen ve tüketiciye iletilen enerjinin kalitesi etkilemekte olup, gerilimin de kararsız olmasına neden olmaktadır. Bu tez çalışmasının üçüncü temel amacı, rüzgar enerjisi üretim sistemleri için diğerlerinden farklı olarak rüzgar türbini ile beslenen üç fazlı bir asenkron generatör ile tek fazlı

yüklerin beslenmesi sağlanarak, önerilen HGFD'si ile rüzgar türbininden yüklere aktarılan enerjinin kaliteli, gerilimin kararlı ve iyileştirilmiş güç faktörünün olması amaçlanmıştır. Ayrıca, filtreleme kontrol işleminde kullanılan yeni dinamik üç çevrimli hata toplamına bağlı bir denetleyici yapısı önerilmiştir. Önerilen filtre ve denetleyicinin farklı çalışma koşulları altında benzetimi ve laboratuvar ortamında uygulaması yapılmıştır.

Son olarak, yenilenebilir enerji kaynakları için internet tabanlı ölçüm ve izleme sistemi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistemde güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi için gerekli ışıınım şiddeti, sıcaklık, akım ve gerilim bilgileri tasarlanan ölçme kartları vasıtasıyla okunarak, eşzamanlı örnekleme özelliğine sahip veri toplama kartı aracılığıyla bilgisayara aktarılıp, LabVIEW paket programında hazırlanan yazılım yardımıyla eşzamanlı olarak internet ortamına aktarılması sağlanmış ve internet tabanlı yenilenebilir enerji izleme sistemi elde edilmiştir.

1.2. Önceki Çalışmalar

Günümüzde, genel olarak fosil yakıtlı kaynaklar elektrik enerjisi üretiminde en çok kullanılan kaynaklar olup, hava kirliliği, küresel ısınma ve ozon tabakasının incilmesi gibi durumların ortaya çıkmasına neden olarak çevreye zarar vermektedirler. Bu durumlar ve artan enerji talebi göz önünde bulundurularak temiz, ekonomik, sürekli ve çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı giderek artmaktadır. Bu bölümde, yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi ve rüzgar enerjisinin tez konusu ile bağlantılı olarak literatürde yer alan çalışmalar değerlendirilmiştir.

1.2.1. FV sistemler için sanal laboratuvar

FV modüllerin güneş ışıınım şiddeti ve sıcaklık gibi değişen çevresel şartlara bağımlı olarak üreteceği akım ve gerilim değerleri değişmekte olup, akım ve gerilim büyüklüklerinin eğrileri arasında doğrusal olmayan akım-gerilim, güç-gerilim, güç-akım karakteristiklerini gösteren bir yapı bulunmaktadır. Bu durum araştırmacıları güneş enerjisi sistemlerinin modellenmesi, benzetimi ve analizi çalışmalarına yönlendirmiştir.

Altaş ve Sharaf FV hücrelerin basit devre eşitliklerini kullanarak Matlab/Simulink paket programında FV dizi benzetim modelini oluşturmuşlardır. Farklı yük tipleri, güneş ışınım şiddeti ve sıcaklık gibi değişen çevresel koşullar düşünülerek geliştirilen FV sistemin analizi yapılmıştır [3]. Altın ve Yıldırımoglu LabVIEW/Matlab paket programı tabanlı bir FV simülatör tasarımı yapmışlardır. Çalışmalarında kullanıcı üretici firmanın katalog bilgilerini, çevresel şartları simülatörde gerekli yerlere girmekte olup, simülatör kullanıcıya FV sistemin üretebileceği maksimum akım, gerilim, güç değerlerini ve bu değerler doğrultusunda modelin I-V, P-V eğrilerini analiz etmesine olanak sunmaktadır. Yazarlar diğer çalışmalarında aynı paket programlarını kullanarak şebeke bağlantılı FV sistem simülatörü tasarımını amaçlamışlardır. Bu çalışmalarında ise kullanıcı tasarımını yapmak istediği FV sisteme ait bilgileri belirtilen yerlere girerek istenilen koşullar altında analiz çalışmalarını yapabilmektedir. Ayrıca analiz süresince FV sisteme ait karakteristik özellikleri gösteren eğrilerini ve şebekeye bağlantı noktasındaki akım, gerilim eğrilerini de inceleyebilmektedir [4,5]. Belhaouas ve diğ. çalışmalarında bir FV hücre veya modülün güneş ışınım şiddeti, sıcaklık ve havanın kısmi bulutluluk durumu gibi çevresel koşullara bağımlı olarak değişen elektriksel davranışı ve karakteristiğini Matlab/Simulink paket programında hazırladıkları ara yüz çalışması ile analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında iki diyotlu FV sistem modelini kullanmışlar, ayrıca girilen model parametrelerine bağımlı olarak modele ait I-V ve P-V karakteristik eğrilerin incelenmesini sağlamışlardır [6].

Lee ve diğ. FV sistemlerin doğrusal olmayan ve karmaşık bir matematiksel yapıya sahip olduklarını, bu durumu standart test koşullarındaki FV modülün katalog bilgilerinden sadece akım, gerilim eğrilerini kullanarak önerdikleri basit yapıdaki modelle geliştirdiklerini belirtmişlerdir. Bu modeli gerçek hava koşulları altında ölçülen değerlerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Benzetim çalışmasından ve deneysel sonuçlardan elde edilen değerleri LabVIEW tabanlı hazırladıkları simülatör programında analiz etme olanağını kullanıcıya sunmuşlardır [7].

Ozkop ve Altas lisans öğrencileri için sanal FV sistem laboratuvarının tasarımını Matlab/GUI paket programı vasıtası ile gerçekleştirmiştir. Hazırlanan FV sistem sanal laboratuvarında kullanıcı farklı ışınım ve sıcaklık koşulları altında FV sistemin

I-V ve P-V karakteristiklerini inceleyebilmekte, FV sistemin DA ve AA'daki yük modellerinde analizini de yapabilmektedir [8].

Bu tez çalışmasında, güneş enerjisi sistemlerinin modellenmesi, benzetimi ve analizinin yapılabildiği güneş enerjisi sanal laboratuvarı isimli yazılım Matlab programı kullanılarak geliştirilmiştir. Güneş enerjisinde kullanılan FV panellerin katalog bilgileri kullanılarak farklı çevresel koşullar altında I-V, P-V ve P-I karakteristik eğrileri geliştirilen yazılım ile incelenebilmektedir. MGNT algoritmalarından değiştir gözetle, artan iletkenlik gibi en çok bilinen MGNT algoritmalarının farklı çevresel ve adım katsayısı koşullarında ayrı ayrı veya birlikte karşılaştırması ve ayrıca şebekeden bağımsız FV sistemler için farklı yük durumlarında analiz ve benzetim çalışmaları yapılabilmektedir.

1.2.2. FV sistemler için MGNT algoritmaları

FV sistemlerden maksimum gücün elde edilebilmesi aşağıda belirtildiği gibi [9];

- FV sistemlerin yüzeyine daha fazla güneş ışınımı sağlayabilmek için mekanik yöntemlerin kullanıldığı algoritmalar olarak,
- FV sistemlerin değişen çevresel şartlara göre üretebileceği maksimum güç değerindeki akım ve gerilim noktalarında çalıştırılmasını sağlayan algoritmalar olarak ifade edilir.

MGN'nin belirlenmesi yöntemleri [10]'da dolaylı ve doğrudan olarak açıklanmaktadır. Dolaylı yöntemler FV sistemlerin ürettiği akım, gerilim bilgisinin yanı sıra güneş ışınım şiddeti, sıcaklık gibi çevresel şartlara bağımlı olduğunu, doğrudan arama yöntemi ise FV sistemin akım ve gerilim bilgilerine bağlı olduğu, başka bir çalışmada ise [11] MGNT algoritmalarının iki ana grupta toplanabileceği anlatılmaktadır. Değiştir-gözetle, artan iletkenlik ve tepe tırmanma algoritmaları olarak en iyi bilenen algoritmalar ilk grup, bulanık mantık, yapay sinir ağları ve sezgisel algoritmalar olarak bilenen yumuşak hesaplama yöntemleri ikinci grup yöntem olarak sınıflandırılmaktadır.

İlk grup yöntemlerden değiştir gözetle MGNT algoritması uygulanabilirliği açısından daha kolay olduğu için pratikte daha çok kullanılan yöntem olarak söylenebilir. Bu algoritma, FV sistemlerin çalışma noktası değiştirildiğinde meydana gelecek olan

değişimin gözlenmesi ve böylece maksimum güç noktasına doğru sonraki değişimin belirlenmesi prensibine dayanmaktadır. Algoritmada güce göre gerilimin ya da akımın değişimi göz önüne alınarak uygulama yapılabilmekte olup aynı zamanda algoritma MGN'ye ulaşmayı sağlayacak bir sonraki darbe genişlik modülasyonun oranına da karar verebilmektedir. Bölgedeki atmosferik koşulların hızlı değişimine karşın tepkisinin yavaş olması ve ani değişimlerde MGN'yi yanlış yönde araması algoritmanın zayıf yönleri olarak ifade edilebilir. Algoritma sistemde sürekli olarak değiştir-gözetle işlemini yaptığından MGN'ye ulaştığında burada sabitlenemediği için maksimum güç noktasında sürekli olarak salınım yapmasına yol açmakta ve sistemde bir miktar güç kaybına neden olmaktadır [12-18]. Diğer yöntem olan artan iletkenlik metodu, FV sistemin çıkış gücünün değişiminin gerilime oranının sıfır olduğu yer MGN olduğunu, pozitif olduğu yeri MGN'nin solu, negatif olduğu yeri MGN'nin sağı olarak belirlemesi temeline dayanmaktadır [19-21]. Bu metodun değiştir-gözetle algoritmasına göre avantajı hızlı değişen atmosferik olaylara uyum sağlaması olarak ifade edilirken, her iki algoritmanın da MGN'yi ararken üretecekleri referans sinyalin değişimi sabit bir değişken vasıtası ile yapılmaktadır. Bu değişkenin küçük olması MGN civarındaki salınımları azaltırken, MGN'ye ulaşma süresini arttırmaktadır. Sabit değişkenin büyük olması MGN'ye daha hızlı ulaşılmasını sağlarken MGN civarındaki salınımların daha çok artmasına neden olmaktadır.

Araştırmacılar, klasik algoritmaların dezavantajlarını ortadan kaldırmak ve çevresel koşullara daha hızlı uyum sağlayan ikinci grup yöntemler olarak belirtilen [11] yapay zekaya dayalı veya yumuşak hesaplama yöntemleri adı da verilen algoritmalar kullanarak sistemin performansını arttırmaya çalışmışlardır. Bu algoritmalar BM dayalı MGNT algoritmasında [22-26] BM girişleri olarak FV sistemin üreteceği gücün değişiminin (ΔP) gerilimdeki değişime (ΔV) oranı hata ($e = \Delta P / \Delta V$) ve hatanın değişimi (Δe) kullanılmışlardır. BM dayalı başka çalışmalarda ise giriş olarak [27-30] FV sistemin üreteceği gücün değişiminin akımdaki değişime (ΔI) oranı hata ($e = \Delta P / \Delta I$), hatanın değişimi (Δe) kullanımı amaçlanmıştır. Diğer bir çalışmada [31] ise FV sistemin gerilimindeki değişim (ΔV) ve akımındaki değişim (ΔI), farklı bir çalışmada [32] ise FV sistemin üreteceği gücün değişimi (ΔP) ve akımındaki

değişimi (ΔI) kullanılmıştır. BM'nin çıkışı olarak D anahtarlama sinyalinin oranı kullanılması düşünülmüştür.

Nabulsi ve Dhaouadi çalışmalarında BM temelli ikili MGNT algoritması önermişlerdir. Yazarlar önerdikleri MGNT algoritması ile gün boyunca paneli iki eksenli olarak kontrol edilebilen güneş takip sistemini ve bulanık mantık temelli değiştir gözetle algoritması kullanarak FV sistemin değişen çevre koşullarında üretebileceği maksimum gücü bulmayı hedeflemişlerdir. Bu algoritmada, BM'nin çıkışı değiştir gözetle algoritmasında kullanılacak olan değişim katsayını belirlemekte olup, bu katsayının uyarlanabilir hale gelmesi sağlanmaktadır. Elde edilen deneysel ve benzetim sonuçlarına göre amaçlanan algoritmanın geleneksel değiştir-gözetle algoritmasına göre MGN'de oluşan salınımları sönümlemede ve MGN'ye hızlı yakınsamada daha etkili olduğunu belirtmişlerdir [24].

Cheikh ve diğ. BM dayalı MGNT algoritması önerirlerken, bu algoritmada FV sistemin üreteceği gücün değişiminin gerilim değişimine oranı hata ve hatanın zamana göre değişimi BM'nin girişleri olarak kabul etmişlerdir. Amaçladıkları MGNT algoritmasını farklı sıcaklık ve ışıyım koşulları altında benzetim çalışmaları yaparak incelemişler, elde edilen benzetim sonuçlarını bilinen değiştir-gözetle algoritmasından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Önerdikleri algoritmanın, değiştir-gözetle algoritmasına göre kısa zamanda kararlı bir şekilde maksimum güç noktasını bulmada daha iyi sonuçlar verdiğini söylemişlerdir [26].

Alajmi ve diğ. tepe tırmanma (hill-climbing) MGNT algoritmasının dezavantajlarını ortadan kaldırmayı planlayan BM dayalı yeni bir MGNT algoritması önermişlerdir. Algoritmada FV sistemin üreteceği gücün ve akımın değişimi BM girişleri, çıkış olarak DA-DA yükseltici dönüştürücünün anahtarlama elemanın sinyali (D) olarak belirlemişlerdir. Amaçlanan algoritma ile sabit ve değişken çevre koşulları altında FV sistemin üreteceği MGN'nin belirlenmesinde geleneksel tepe tırmanma algoritmasına göre hızlı ve doğru bir şekilde bulabileceğini belirtmişlerdir [32].

Masoum ve Sarvi güneş panellerinde kullanılmak üzere bulanık mantık temelli maksimum güç noktası izleme algoritması önermişlerdir. Bu algoritmada, bulanık mantık girişleri olarak; gücün değişiminin akımın değişimine oranı, bu oranın zamana göre değişimi ve konvertörün anahtarlama elemanına gelen tetikleme

sinyalinin bir önceki değeri olarak belirlemişlerdir. Önerdikleri algoritmanın farklı çalışma koşulları altında elde ettikleri benzetim ve uygulama sonuçlarına göre etkililiğini göstermişlerdir [33].

Larbes ve diğ. genetik algoritma kullanarak optimize edilmiş bulanık mantık temelli maksimum güç noktası izleyicisini geliştirmişlerdir. Bu algoritma için farklı sıcaklık ve ışıyım çalışma koşulları altında benzetim çalışmaları yapmışlar ve bu algoritmanın sonuçlarını değiştir-gözetle algoritmasından elde ettikleri sonuçlar ile karşılaştırmışlardır [34]. Messai ve diğ. [35] BM algoritmasının en uygun üyelik fonksiyonlarını elde etmek için genetik algoritma kullanmışlardır. Genetik algoritma ile optimize edilmiş bulanık mantık algoritmasını güneş panelleri için maksimum güç noktasını bulmada yeni bir yaklaşım olarak önermişlerdir. Bu algoritma için de farklı çalışma koşulları altında benzetim çalışmaları uygulanmış ve geleneksel yöntemlerden olan değiştir gözetle algoritmasından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre önerdikleri yaklaşımın daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir.

YSA, karmaşık problemlerin çözümünde alternatif bir metot olarak son zamanlarda büyük ölçüde kabul görmektedir. Literatürde BM algoritmasının yanı sıra YSA'ya dayalı MGNT algoritmaları da araştırmacılar tarafından FV sistemlerin değişen hava koşullarına göre üretebileceği maksimum gücün belirlenmesinde kullanılmaktadır [36-40]. YSA'da giriş parametreleri olarak FV sistemin açık gerilim değeri (V_{ad}), kısa devre akımı (I_{kd}), güneş ışıyım şiddeti, sıcaklık değeri veya bunların kombinasyonları, çıkış parametreleri olarak referans gerilim, referans akım ve D anahtarlama sinyalinin oranı kullanılabilmektedir [11].

Liu ve diğ. sinir ağı temelli MGNT algoritması önermişlerdir. Bu algortmada giriş olarak FV sistemin açık devre gerilimi, kısa devre akımı, maksimum gerilim değeri, maksimum akım değeri ve seri hücre sayısı kullanılmış olup, çıkış parametresi olarak parçalı doğru bölümlenmesi (piecewise line segments) algoritmasının parametreleri ve eğri uydurma algoritmasının katsayıları belirlenmiştir. Yazarlar böylece YSA'ya dayalı iki farklı hibrit MGNT algoritmasının uygulanabilirliğini farklı çevresel koşullar altında benzetim ve deneysel çalışmalar yaparak araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre çevresel koşulların olağan ve ani değişimlerinde algoritmanın

MGN'yi araması hızlı ve doğru bir şekilde olduğunu, amaçlanan algoritmaların basit ve uygulanabilirliğinin düşük maliyette olacağını söylemişlerdir [41].

Rai ve diğ. FV sistemler için YSA temelli MGNT algoritması modeli geliştirmişlerdir. YSA girişi olarak güneş ışıyım şiddeti, sıcaklık verileri alınarak, o anki çevresel koşullara göre FV sistemin üreteceği maksimum gücü çıkış olarak belirlemişlerdir. Amaçlanan algoritmanın çeşitli çevre ve yük koşulları altında benzetim çalışmaları yapılarak, algoritmanın bu koşullar altında oluşan MGN'yi belirlemede geleneksel yaklaşıma göre daha etkili olduğunu göstermişlerdir [42].

Torres ve diğ. sinir ağı tabanlı denetleyici kullanarak şebeke bağlantılı bir FV sistemde maksimum güç noktasının izlenmesini incelemişlerdir. Denetleyici, sinir ağından alınan bilgiyi kullanarak DA-DA gerilim yükseltici dönüştürücü için kontrol sinyali üretmekte olup, FV sistemin maksimum güç noktasındaki gerilim değerinde çalışmasını sağlamaktadır. Güneş panelinin açık devre gerilimi ve zaman, sinir ağının giriş parametreleri olarak kullanılmıştır [43].

Samangkool ve Premrudeepreechacharn şebeke bağlantılı FV sistemler için YSA'ya dayalı bir MGNT yöntemi önermişlerdir. FV sistemi bir DA-DA yükseltici dönüştürücü kullanarak şebeke bağlantısını bir fazlı evirici üzerinden gerçekleştirmişlerdir. MGNT algoritması, gerilim yükseltici dönüştürücüde anahtarlama elemanını kontrol ederken, tek fazlı eviricideki anahtarlama elemanlarının kontrolünü ise sinüzoidal dalga formunda akım üretme amacıyla histerezis akım kontrolü ile yapılmaktadır. Böylece sistemin yüksek güç faktörü ve düşük harmonik içereceğini belirtmişler, farklı çevresel koşullar altında benzetim ve deneysel çalışmalar yaparak, elde edilen sonuçlara göre YSA'nın geleneksel metoda göre sisteme daha fazla güç sağladığı sonucuna varmışlardır [44].

Zhang ve Bai FV sistemlerin I-V karakteristiklerinin ve maksimum güç noktalarının modellenmesinde radyal fonksiyon temelli (RFT) sinir ağları uygulamışlardır. Çalışmalarında yük gerilimi, güneş ışıyım şiddeti, sıcaklık değerlerini giriş örnekleri olarak RFT sinir ağının optimal sayısının bulunması amacıyla genetik algoritma tabanlı RFT sinir ağı eğitme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar göre değişen hava koşullarında amaçlanan algoritmanın en uygun güç noktası izleme

amacıyla FV sistemlerin kontrolünde kullanılması için uygun olacağını belirtilmişlerdir [45].

Sabiyanto ve diğ. hopfield yapay sinir ağı kullanarak optimize edilmiş bulanık mantık temelli maksimum güç noktası izleyicisi algoritması önermişlerdir. Hopfield yapay sinir ağını BM algoritmasının giriş ve çıkış değerlerinin bulanıklaştırılması işleminde optimal genişlik değerlerini belirlemede kullanmışlardır. Çeşitli çalışma koşulları altında benzetim çalışmaları yapılmış ve benzetim sonuçlarına göre önerdikleri algoritmanın diğer geleneksel algoritmalara göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir [46].

Sabiyanto ve diğ. hopfield yapay sinir ağı kullanarak optimize edilmiş bulanık mantık temelli maksimum güç noktası izleyicisi algoritmasını amaçlamışlardır. Hopfield yapay sinir ağını BM algoritmasının en uygun üyelik fonksiyonlarını ayarlama işleminde kullanarak, farklı çalışma koşulları altında deneysel çalışmalar yapmışlardır. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre önerdikleri algoritmanın diğer geleneksel algoritmalarından daha iyi sonuçlar verdiğini söylemişlerdir [47].

Kulaksız ve Aydoğdu YSA temelli maksimum güç noktası izleyici algoritması önererek, farklı çalışma koşulları altında benzetim çalışmaları yapmışlardır. Bu benzetim çalışmalarında, dönüştürücünün anahtarlama periyodunun ayarlamasında BM temelli denetleyici kullanmışlardır. Benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçlara göstermiştir ki; önerilen algoritmanın değiştir gözetle algoritmasına göre daha iyi sonuçlar vermektedir [48].

Dzung ve diğ. yapay sinir ağı kullanarak yeni bir maksimum güç noktası izleme algoritması kullanarak, öncelikle güç değişimi hesabı yapılmıştır. Güç değişiminin gerilim değişimine oranının bir önceki değişim oranından büyük ise modellenen YSA devreye girer, değil ise artan iletkenlik metodu devreye girmektedir. Amaçlanan yaklaşımın farklı çalışma koşulları altında hem benzetim hem de deneysel çalışmaları yapılmış olup, elde edilen sonuçlara göre amaçlanan yaklaşımın etkililiği gösterilmiştir [49].

Punitha ve diğ. FV sistemler için artan iletkenlik algoritmasına dayalı yapay sinir ağı kullanarak hibrit MGNT algoritmasını geliştirmişlerdir. Amaçlanan MGNT algoritmasının güneşli ve gölgeli çevresel koşullar altında benzetim çalışmaları yapılarak, elde edilen sonuçlar değiştir-gözetle ve BM'ye dayalı temel tırmanma algoritması ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre önerilen yaklaşımın MGN'yi izlemede etkili olduğu anlaşılmıştır [50].

Makhloufi ve diğ. değişen güneş ışıınımı ve sıcaklık koşulları altında FV sistem için YSA'ya dayalı MGNT algoritması önermişlerdir. Önerilen yaklaşımın benzetim modeli FV modül ve DA-DA yükseltici dönüştürücüden oluşmaktadır. Değiştir-gözetle ve önerilen yaklaşımdan elde edilen benzetim sonuçlarına göre YSA'ya dayalı MGNT algoritması çalışma koşullarındaki değişimlere karşı daha etkili olduğu gösterilmiştir [51].

Rai ve diğ. farklı çevresel koşullar altında FV sistemin üretebileceği akım ve gerilim değerlerine karşılık gelen güç noktasının YSA ile tahmin edildiği MGNT algoritmasını uygulayarak, farklı test verileri için önerilen YSA modelinin benzetim çalışmalarını yapmışlardır[52].

Sedaghati ve diğ. FV sistem için YSA'ya dayalı maksimum güç noktası izleme algoritmasının, hızlı ve doğru bir şekilde izleme avantajlarına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Farklı atmosferik koşullar altında YSA tarafından belirlenen MGN'nin referans gerilimi yardımıyla DA-DA yükseltici dönüştürücünün MGN'de çalıştırılması için kontrol edilerek benzetim çalışmaları yapılmıştır. Benzetim sonuçlarına göre önerilen yaklaşımın dinamik performansının diğer algoritmalar göre daha iyi olduğunu belirtilmiştir [53].

Syafaruddin ve diğ. kısmi gölgeli koşullar altında FV sistemin maksimum enerji üretiminin tahmini ve MGN'yi kontrol etmek için YSA ve BM kullanmışlardır. Maksimum güç noktasındaki gerilim ve güç YSA tarafından elde edilerek sistemin karmaşıklığı ortadan kaldırılmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, YSA kısmi gölgeli koşullar altında FV sistemin gerilimi ve gücü arasındaki ilişkiyi başarıyla gerçekleştirmiştir. Kutupsal bilgiye dayalı BM denetleyicisi FV sistemi en uygun çalışma noktasındaki çalışma geriliminde tutmak için uygulanmıştır. Önerilen sistemin farklı FV sistem dizilişleri için uygulamaları yapılmış ve elde edilen

uygulama sonuçlarına göre önerilen yaklaşımın değişen çevresel koşullar altında maksimum güç noktasını belirlemede etkin bir yaklaşım olduğunu söylemişlerdir [54].

Rizzo ve Scelba çok hızlı değişen ve gölgeli koşullar altında FV sistemlerin maksimum güç noktasını belirlemede YSA temelli yeni bir MGNT algoritması önermişlerdir. Önerilen yaklaşımda sadece FV sistemin akım ve gerilim bilgilerini kullanırken, çevresel çalışma koşullarını ölçen sensörlere gerek duyulmadığını belirtilmiştir. Yapılan benzetim çalışmalarına göre önerilen yaklaşımın MGNT'yi belirlemede etkili olduğunu göstermişlerdir [55].

Rezk ve Hasaneen, FV sistemler için YSA dayalı maksimum güç noktası takip algoritması kullanarak, farklı çevresel koşullar altında yapılan benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçları değiştir gözetle algoritmasından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmışlardır. Karşılaştırma sonuçlarına göre FV sistemin ürettiği enerjide önerilen yaklaşım 11,28% artış sağladığı gösterilmiştir [56].

Jiang ve diğ. kısmi gölgeli koşullar altında FV sistemin çalışması için Hibrit bir MGNT algoritması önermişlerdir. Önerilen yaklaşım değiştir-gözetle algoritması ve YSA'nın kombinasyonu olup, hem benzetim hem de uygulama yapılarak etkinliği gösterilmiştir. Amaçlanan yaklaşım dört farklı MGNT algoritması ile karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlara göre önerilen yaklaşımın diğer yaklaşımlardan daha fazla enerji ürettiği, MGN'yi etkili bir şekilde izlediğini söylemişlerdir [57].

Khanaki ve diğ. çalışmalarında ani ve yavaş değişen güneş ışıınımı koşulları altında maksimum güç noktasının belirlenmesinde YSA dayalı MGNT algoritması ve değiştir-gözetle algoritmasının karşılaştırılmasını yapmışlardır. Değişen ışıınım koşulları altında yapılan benzetim çalışmalarına göre MGN'yi bulmada YSA'ya dayalı MGNT algoritmasının değiştir-gözetle algoritmasına göre daha iyi olduğunu belirtmişlerdir [58].

Kulaksız ve Akkaya genetik algoritma ile optimize edilmiş YSA'ya dayalı MGNT algoritmasını şebekeden bağımsız FV sistem için kullanmışlardır. Genetik algoritma çok katmanlı sinir ağı yapısındaki sinir sayısını belirlemek için kullanılmıştır. FV sistem, maksimum güç noktasında çalıştırılırken oluşan salınımların önerilen YSA

yaklaşımı ile azaltıldığı yapılan benzetim ve deneysel çalışmalar ile gösterilmiştir [59].

Lin ve diğ. ise hibrit güç üretim sisteminin benzetim ve uygulama çalışmalarını yapmışlardır. FV sistemde maksimum güç noktasının belirlenmesi için radyal fonksiyon temelli sinir ağına dayalı MGNT algoritması önermişlerdir. Sinir ağı girişi olarak sıcaklık, FV sistemin gerilimi ve akım değerleri, maksimum güç noktasındaki referans gerilimi ise çıkış olarak belirlemişlerdir. Önerdikleri yaklaşımın maksimum güç noktasını belirlemede değiştir-gözetle algoritmasına göre daha iyi performans gösterdiğini söylemişlerdir [60].

Tez çalışmamda, yukarıda geniş bir şekilde yer verilen literatür çalışması yapılarak tüm çalışmalar değerlendirilerek, YSA'ya dayalı MGNT algoritması önerilmesine karar verilmiştir. YSA'nın gerçek zamanlı uygulamalarında ağın hesaplama yükünü belirleyen en önemli etken sinir sayısı iken, uygun etkinlik fonksiyonlarının belirlenmesi de istenen sonuca daha iyi yaklaşabilmeyi sağlayan diğer önemli etkindir. Bu durum göz önünde bulundurularak ağ yapısının başarısını arttırabilmek için BM temelli hibrit PSO-YAA algoritması ile YSA'nın etkinlik fonksiyonlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen optimizasyon algoritması tarafından sinirlerdeki etkinlik fonksiyonları ile belirlenen YSA yapısı MGNT algoritması olarak benzetim çalışmalarında kullanılmış ve laboratuvar ortamında denenmiştir.

1.2.3. Rüzgar enerjisi sistemleri için literatür araştırması

Üç fazlı sincap kafesli kendinden uyarımlı asenkron Generatör kullanımı giderek artmakta olup [61-73], asenkron generatörün fazları arasına yıldız bağlı kondansatör grubu yerleştirilerek tek fazlı yüklerin beslenmesi sağlanırken, sistemde gerilim düzenlemesi de yapılabilmektedir. Kullanılan kondansatör değerlerinin belirlenmesi için farklı yöntemler kullanılmakta olup, öz değer yöntemi bunlardan birisi olarak belirtilmektedir [65]. Farklı bir çalışmada kondansatör değerleri deneysel olarak belirlenirken [62], diğer bir çalışmada ise kondansatör değerlerinin hesaplanması için Rosenbrock metodu kullanılmaktadır. Kullanılan algoritma, sistemin maksimum güç değerine karşılık gelen maksimum çıkış gücünü sağlayan seri ve paralel kondansatörlerin değerlerini vermektedir. Böylece benzetim ve deneysel çalışmalar için gerekli gerilim regülasyonu sağlanabilir [67].

Mahato ve diğ. üç fazlı makine kullanarak kendinden uyarımlı bir fazlı asenkron generatör için gerekli olan minimum ve maksimum uyarım kapasitelerinin özdeğer yaklaşımı tarafından belirlenebileceğini söylemişlerdir. Yükteki artış ile gerekli olan minimum kapasite değerinin azaldığı gözlenmektedir. Geleneksel olarak, kendinden uyarımlı asenkron generatör için gerekli olan minimum ve maksimum kapasiteler her fazdaki devre eşitliği modeline dayalı olarak yüksek dereceden doğrusal olmayan polinomal eşitlik tarafından çözülmektedir. Önerilen metot ile yüksek dereceden polinomal eşitliğin çözümündeki karmaşıklık ortadan kaldırılmaktadır. Önerilen yaklaşım tarafından elde edilen kapasite değerleri geleneksel yöntem tarafından elde edilen kapasite değerleri ile deneysel çalışmalar yapılarak karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntemin doğruluğu deneysel çalışmalarda gösterilmiştir [68].

Mahato ve diğ., üç kapasitörle yıldız bağlı üç fazlı asenkron makinenin generatör olarak çalıştırılması ve bir fazlı asenkron motor yükünü beslediği bir sistem yapısında geçici durum analizi çalışmalarını incelemişlerdir. Burada motor yükü devreye girdiğinde ya kapasite değerleri arttırılmakta ya da sönümlleme rezistansı değeri değiştirilerek terminal geriliminin sürekli sabit kalması sağlanmaktadır. Sistemin motor ile yüklenmesi sonucunda terminal geriliminin sabit kalması için sönümlleme rezistansının seçiminde bir algoritma geliştirmişlerdir. Benzetim ve deneysel sonuçlar modelin geçerliliğini ortaya çıkarmıştır [69].

Gao ve diğ. bir fazlı yüklerin beslenmesinde kullanılan üç fazlı kendinden uyarımlı asenkron generatörde etkili gerilim regülasyonu için mikro denetleyici temelli elektronik yük denetleyicisinin analizini, tasarımını ve uygulamasını yapmışlardır. Amaçlanan elektronik yük denetleyicisi kontrolsüz doğrultucu, filtre kapasite, IGBT anahtarlama elemanı ve seri yükten oluşmaktadır. Amaçlanan sistem makine terminallerinde etkili bir gerilim regülasyonu sağlamakta olup, benzetim sonuçlarından elde edilen değerler deneysel sonuçlarla desteklenmiştir [70].

Bunlardan farklı olarak tek fazlı güç üretimi için üç fazlı kendinden uyarımlı asenkron generatörün asimetric uyarım konfigürasyonunun dinamik modeli referans d-q eksen teorisine dayalı olarak geliştirilmiştir. Asenkron generatörün fazlarından a-b arasına C, b-c arasına 2C kondansatör bağlanarak, C-2C şeklinde bir konfigürasyon yapılmaktadır. Sisteme bağlanacak tek fazlı yük ise a-b fazları arasına

yerleştirilerek üç fazlı asenkron generatör tek fazlı generatör olarak çalıştırılmaktadır [71]. Bir fazlı asenkron generatörler de generatör fazları arasına bir seri bir de paralel kondansatörler bağlanarak tek fazlı yüklerin beslenmesi için hem benzetim hem de deneysel çalışmalar yapılmış olup, sistemin gerilim regülasyonu sağlanmaya çalışılmıştır [72,73].

Bayhan ve Rub çift beslemeli asenkron generatörün rotor pozisyonunun belirlenmesi için iki farklı sensörsüz yöntemin analizini ve karşılaştırmasını yapmışlardır. Stator akısına dayalı model referans adaptif sistem ve rotor pozisyonlu faz kilitlemeli yöntemlerini çalışmalarında kullanmışlardır. Matlab/Simulink ortamında benzetim çalışmaları oluşturulmuştur. Benzetim sonuçlarına göre stator akısına dayalı model, referans adaptif sistem metodunun rotor pozisyonu faz kilitleme yöntemine göre daha az yerleşme zamanına sahipken, değişen hız çalışma koşulları altında rotor pozisyonu faz kilitleme yöntemi daha iyi performans göstermiştir [74]. Başka çalışmalarında ise, çift beslemeli asenkron generatör için pozisyon sensörü kullanmadan model prediktif kontrol yöntemini önermişlerdir. Farklı çalışma koşulları altında benzetim çalışmaları yapmışlardır. Benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre önerilen yaklaşımın yük ve hız değişimi koşulları altında mükemmel performans gösterdiğini belirtmişlerdir [75].

Demirbaş ve Bayhan, rüzgar üretim sistemlerinde kullanılan çift beslemeli asenkron generatörün şebeke bağlantısı için bir senkronizasyon algoritması önermişlerdir. Değişen hız koşullarında generatörün çalıştırılması vektör kontrol ile yapılırken, şebeke ve generatörün stator gerilimleri arasındaki faz farkını bastırma için PLL algoritması ile yapılmıştır. Benzetim çalışmaları sonucunda senkronizasyon algoritmasının hızlı olduğu görülmüştür [76].

Ahmed ve diğ. bir fazlı kendinden uyarımlı asenkron generatör de çıkış gerilimini ayarlamak için bir fazlı statik VAR kompanzatör kullanımını amaçlamışlardır. Gerilim regülasyonunda bir fazlı statik VAR kompanzatörün uyarım kapasite değerini ayarlama PI denetleyici kullanılmıştır. Küçük boyutlu bir fazlı kendinden uyarımlı asenkron generatörün gerilim kontrolü için bir prototip tasarlanmış olup benzetim ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Benzetim ve deneysel sonuçlar hızlı cevap verme yüksek performans açısından sistemin etkinliğini doğrulamaktadır [77].

Şahin ve diğ. konut ve ticari yükler için Esnek Alternatif Akım İletim Sistemine (EAAİS) dayalı yeni bir filtre tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Üç fazlı asenkron generatörde kondansatörler vasıtasıyla bir fazlı yüklerin beslenmesi sağlanmıştır. Farklı çalışma koşulları altında Matlab/Simulink kullanılarak benzetim çalışmaları yapılmıştır. Yazarlar, EAAİS temelli dinamik gerilim regülatörünün gerilim regülasyonu sağlamada ve güç faktörünü iyileştirmede etkili olduğunu belirtmişlerdir [78].

Yanmaz ve diğ. bir fazlı mikro rüzgar güç üretim sistemlerinde hem gerilim kararlılığı hem de güç kalitesi problemlerini gidermek için bir dinamik gerilim regülatörü/anahtarlama güç filtresi tasarımı önermişlerdir. Bu tasarımın yanı sıra, filtreleme kontrol işleminde kullanılan yeni dinamik üç çevrimli hata toplamına bağlı bir denetleyici yapısı önerilmiştir. Yüksek güç kalitesi, sabit frekans ve istenilen gerilim seviyesi için toplam dinamik hata sinyali modifiye edilmiş BM denetleyici kullanılarak en aza indirgenmeye çalışılmıştır. Modifiye edilmiş BM denetleyiciden elde edilen benzetim sonuçları PI denetleyiciden elde edilen benzetim sonuçları ile karşılaştırılarak performansları değerlendirilmiştir. Farklı yük koşullarında, modifiye edilmiş BM denetleyicinin PI denetleyiciye göre yük barasındaki gerilim kararlılığını sağlamada daha etkili olduğu görülmüştür [79].

Aboul-Seoud ve Sharaf, üç çevrimli hata toplayıcısı algoritması tarafından sürülen PI denetleyici kontrollü dinamik gerilim regülatörü önermişlerdir. Önerilen model rüzgar enerjisi sistemlerinde kullanılan sincap kafesli asenkron generatörün farklı yük koşulları altında güç kalitesini iyileştirmek için kullanılmıştır. Rüzgar hızında ve yükteki değişimlerin güç kalitesini etkilediği benzetim çalışmalarında görülmüştür. Dinamik gerilim regülatörlü ve regülatörsüz yapılan benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre dinamik gerilim regülatörünün güç kalitesini iyileştirmede önemli katkılar sağladığı belirtilmiştir [80].

Sharaf ve diğ. rüzgar enerjili dağıtım sistemi için modüle edilmiş güç filtre kompensatörü kullanarak, modelde anahtarlama elemanını sürece darbe genişlik modülasyonunun ayarlanmasında üç çevrim hata sürücü algoritması PI denetleyicisini sürmede kullanılmıştır. Farklı çalışma koşullarında yapılan benzetim

alışmalarına göre önerilen modelin g faktörünü düzeltmede ve güç kalitesini iyileştirmede etkili olduğu belirtilmiştir [81].

Sharaf ve diğ. kendinden uyarımlı sincap kafesli asenkron generatör kullanılan rüzgar enerji çevrim sistemlerinde gerilim kararlılığını sağlamak için EAAİS temelli modüle edilmiş güç filtresi kompensatörü tasarlamışlardır. Tasarlanan modelde  çevrim hata toplayıcısı algoritması kullanılarak farklı çalışma ve yük koşulları altında benzetim çalışmaları yapılmıştır. Önerilen modelin ve kontrol algoritmasının gerilim kararlılığını, g faktörünü ve g kullanımını iyileştirdiği gösterilmiştir [82].

Sharaf ve diğ. tarafından asenkron generatör kullanarak şebekeden bağımsız rüzgar enerjisi çevrim sistemlerinde AA/DA/AA dönüştürücünün sürülmesi için üç çevrimli gerilim hatası izleme algoritması BM denetleyici vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Farklı alışma koşulları altında yapılan benzetim çalışmalarına göre önerilen üç çevrimli gerilim hatası izleme algoritmasının gerilim kararlılığını ve g kullanımını iyileştirmede oldukça etkili olduğunu göstermişlerdir [83].

El-Gammal ve Sharaf rüzgar enerjili dağıtım sistemlerinde gerilim kararlılığı ve reaktif güç kompanzasyonu için EAAİS'ne dayalı filtre kompensatörleri kullanmışlardır. Bu kompensatörler enerji kayıplarının azalmasında, harmonik seviyelerini en aza indirmede, gerilim kararlılığı ve g kalitesinde iyileştirmeler sağlamışlardır. Asimetrik anahtarlamalı darbe genişlik modülasyonuna dayalı modifiye edilmiş PID denetleyici sistemin dinamik performansını iyileştirmek için geliştirilmiştir. Denetleyiciye giren dinamik hatayı minimize etmek için çok amaçlı parçacık sürü optimizasyon ve genetik algoritma yöntemleri kullanılarak modifiye edilmiş PID denetleyicinin kazançları ayarlanmıştır. Çok amaçlı parçacık sürü optimizasyon algoritması, PID denetleyicinin kazançlarını ayarlama da etkili olmaktadır [84].

Tez çalışmamın rüzgar enerjisini ihtiva eden kısmında, benzetimi ve uygulaması yapılan sistem ile tek fazlı yüklerin beslenmesini sağlanarak, nerilen HGFD'si ile rüzgar türbininin yüklere aktarılan enerjinin kaliteli, gerilimin kararlı ve iyileştirilmiş g faktörünün olması amaçlanırken, kontrol işleminde yeni dinamik üç çevrimli hata toplamına bağlı bir denetleyici yapısı önerilmiştir.

1.3. Tez Çalışmasının Katkıları

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi en çok kullanılanlarından ikisidir. Bu tez çalışması kapsamında ele alınan güneş ve rüzgar enerjisi üretim sistemlerinde yapılan benzetim ve uygulama sonuçlarına göre tezin özgün katkıları şu şekilde özetlenebilir.

FV pillerde, değişen çevresel koşullar göre ürettikleri akım ve gerilim değerlerinin eğrileri arasında doğrusal olmayan bir yapı söz konusu olmaktadır. Bu nedenle tez çalışmamda güneş enerjisi sistemlerinin modellenmesi, benzetimi ve analizlerinin yapılabilirdiği güneş enerjisi sanal laboratuvarı isimli yazılım geliştirilmiştir.

Hibrit PSO-YAA optimizasyon algoritması BM kullanılarak geliştirilmiştir. Geliştirilen optimizasyon algoritması 23 Benchmark probleminde ve YSA'nın etkinlik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılmıştır. YSA'nın tüm sinirlerinde kullanılan bir etkinlik fonksiyonu yerine geliştirilen optimizasyon algoritması tarafından belirlenen etkinlik fonksiyonları ile YSA'nın eğitimi yapılarak YSA'nın eğitimdeki başarısı arttırılmıştır. Bu tez çalışması Üstün'ün [85] yaptığı çalışmayı destekleyerek literatürdeki yerini almasını sağlayacaktır.

Geliştirilen optimizasyon algoritması ile etkinlik fonksiyonları belirlenen YSA modeli güneş enerjisi üretim sistemlerinde değişen çevresel koşullara uyum sağlayabilen yeni bir MGNT algoritması olarak sunulmuştur.

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en çok kullanılan enerji kaynaklarından diğeri rüzgar enerjisi olup, tez çalışması kapsamında rüzgar enerjisi üretim sistemleri için diğelerinden farklı olarak rüzgar türbini ile beslenen üç fazlı bir asenkron generatörün tek fazlı yükleri beslemesi sağlanmıştır. Rüzgar türbininden yüklere aktarılan enerjinin kaliteli, gerilimin kararlı ve iyileştirilmiş güç faktörünün olmasını sağlayan hibrit güç filtresi düzenleyicisi ve filtreleme kontrol işleminde kullanılan dinamik üç çevrimli hata toplamına bağlı bir denetleyici yapısı önerilmiştir.

Son olarak, yenilenebilir enerji kaynakları için LabVIEW paket programında hazırlanan yazılım yardımıyla eşzamanlı olarak internet tabanlı ölçüm ve izleme sistemi gerçekleştirilmiştir.

Tüm çalışmaların pratik uygulaması laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir.

1.4. Tez Düzeni

Bölüm 2’de Dünya’da ve Türkiye’de güneş enerjisinin kullanımı, FV piller, pillerin eşdeğer devre modelleri, FV paneller ve diziler, FV pilin karakteristikleri, FV sistemler, FV sistemlerin avantajları ve dezavantajları, MGNT algoritmaları ile ilgili genel bilgiler verilmiştir.

Bölüm 3’de Dünya’da ve Türkiye’de rüzgar enerjisinin kullanımı, rüzgar enerjisi üretim sistemleri, rüzgar gücü, rüzgar türbininde kullanılan generatörler, rüzgar enerjisinin avantajları ve dezavantajları, asenkron makinalar ve generatörler hakkında teorik bilgilere yer verilmektedir.

Bölüm 4’de yapay sinir ağları ve geliştirilen bulanık mantık temelli hibrit PSO-YAA optimizasyon algoritması detaylı bir şekilde değerlendirilmektedir.

Bölüm 5’de FV sistemler için geliştirilen bulanık mantık temelli hibrit PSO-YAA optimizasyon algoritması tarafından eğitilmiş yapay sinir ağı tabanlı maksimum güç noktası takip algoritması, rüzgar enerjisi çevrim sistemleri için önerilen hibrit güç filtresi düzenleyicisi ve kontrol algoritması gösterilmektedir.

Bölüm 6’da Güneş enerjisi sistemleri için Matlab/GUI tabanlı geliştirilen sanal laboratuvar detaylı bir şekilde bu bölümde anlatılmıştır.

Bölüm 7’de benzetim çalışmalarının sonuçları verilmektedir. Şebekeden bağımsız sistemler için önerilen MGNT algoritmasının benzetim sonuçları, önerilen HGFD’li rüzgar enerjisi çevrim sistemi (REÇS) için benzetim çalışmaları, hibrit FV/REÇS’nin benzetim çalışmalarının sonuçları ve yorumlamaları bu bölümde yer almaktadır.

Bölüm 8’de ise uygulama sonuçları ve önerilen yaklaşımlar için tasarlanan uygulama devreleri anlatılmaktadır. FV sistemler için önerilen MGNT algoritması ve klasik algoritmalarından değiştir-gözetle algoritmasının karşılaştırmalı uygulama sonuçları, rüzgar enerjisi çevrim sistemi için önerilen HGFD’sinin uygulama sonuçları ve LabVIEW paket programında hazırlanan ara yüz ile internet tabanlı yenilenebilir enerji izleme sisteminin uygulaması yapılmıştır.

Son olarak Bölüm 9’da tez çalışmasından elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler ifade edilmekte olup, tez çalışmasına bağlı olarak yapılabilecek diğer çalışmalarda bu bölümde yer verilmektedir.

2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklinde meydana gelen füzyon olayı ile açığa çıkan ışıma enerjisi olarak ifade edilebilir [86]. Dünya ile güneş arasındaki mesafe yıl boyunca sabit olmadığı için güneş ışıınımı 1325W/m^2 ile 1420W/m^2 arasında değişmekte ve atmosfer dışındaki yıllık ortalama güneş ışıınım değeri $1367\pm 2\text{W/m}^2$ olarak belirtilmektedir [87,88]. Güneş ışıınımı Dünya yüzeyine ulaşp atmosfere girdikten sonra bir kısmı atmosfer tabakaları, bulutlar ve atmosferdeki parçacıklar tarafından emilirken, bir kısmı da geri yansıtılmaktadır. Atmosferi geçip yeryüzüne ulaşan güneş ışıınımının bir bölümü ise tekrardan atmosfere yansıtılmaktadır. Bu olaylar sonucunda toplam güneş radyasyonun yaklaşık 50%'si atmosfer ve yeryüzünde kalmaktadır [89].

2.1. Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerjisi Kullanımı

2009 yılının sonunda Dünya genelinde kurulu FV sistem 23GW iken, 2010 yılında 40,3GW, 2011 yılında 70,5GW, 2012 yılında 100GW üzerinde, 2013 yılında ise 138,9GW olmuştur. 138,9GW'lık kurulu güç ile her yıl 160TWh elektrik üretilebilir. Bu üretilen enerji miktarı ile 45 milyon hanenin yıllık enerji tüketimi karşılanabilmektedir. Tablo 2.1'de 2012-2013 yılları arasında yeni kurulan FV sistemlerinin kapasiteleri ülkelere göre verilmiştir [90].

Tablo 2.1. Dünya genelindeki FV kapasiteleri

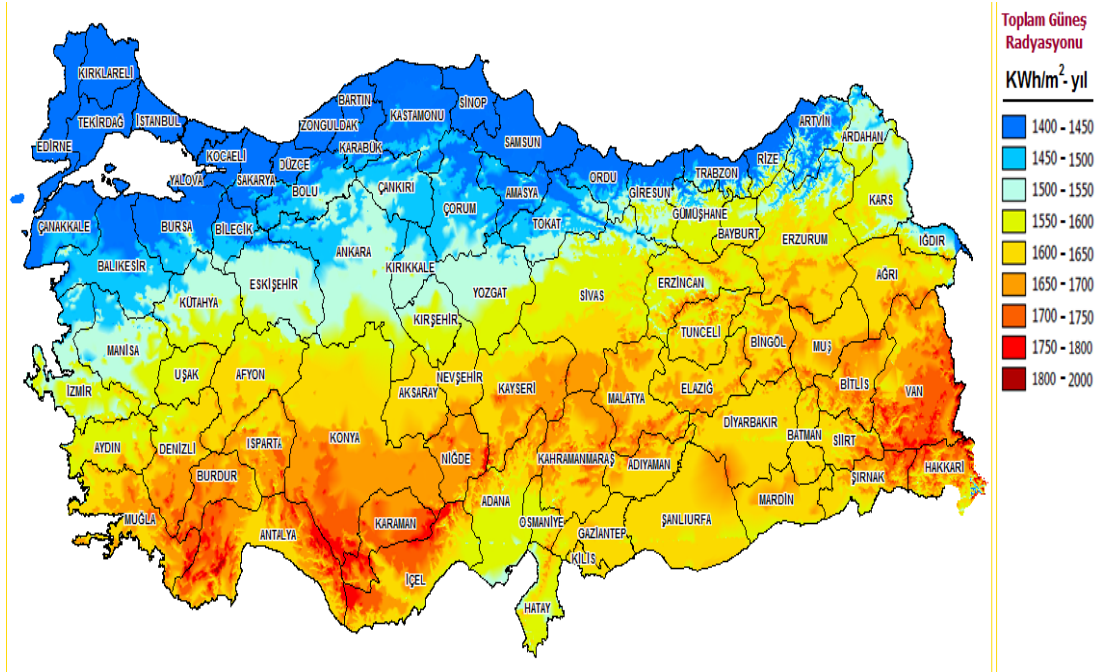
Ülkeler	Eklenen 2012 (MW)	Toplam 2012 (MW)	Eklenen 2013 (MW)	Toplam 2013 (MW)
Almanya	7604	32411	3304	35715
Belçika	683	2768	215	2983
Bulgaristan	843	1010	10	1020
Büyük Britanya	925	1829	1546	3375
Çek Cumhuriyeti	116	2087	88	2175
Danimarka	316	332	216	548
Fransa	1115	4060	613	4673
Hollanda	195	360	305	665
İtalya	3759	16479	1448	17928
İspanya	332	5221	118	5340
Romanya	46	51	1100	1151
Türkiye	5	12	6	18
Yunanistan	912	1536	1043	2549

Tablo 2.2. Avrupa ülkeleri FV kapasite tahminleri

Ülkeler	Hızlandırılmış 2020 Senaryosu (MW)	Hızlandırılmış 2030 Senaryosu (MW)
Almanya	65000	100000
Avusturya	4000	10000
Belçika	7000	13000
Bulgaristan	3000	6500
Büyük Britanya	20000	40000
Çek Cumhuriyeti	4000	9000
Danimarka	1000	2500
Estonya	400	800
Finlandiya	1000	2000
Fransa	30000	70000
Hollanda	3000	15000
İrlanda	400	2000
İspanya	18000	45000
İsviçre	1000	6000
İtalya	42000	65000
Kıbrıs	300	800
Letonya	400	800
Litvanya	400	1000
Lüksemburg	400	1000
Macaristan	2000	5000
Malta	250	400
Polonya	5000	20000
Portekiz	3000	8000
Romanya	5000	10000
Slovakya	3000	6000
Slovenya	1500	3000
Yunanistan	8000	16000
Toplam 27 AB	229050	458800

Çin 2013 yılında 11,8GW ile Dünya'nın en büyük FV sistemini şebekeye bağlarken, 9,3GW ile İtalya 2011 yılında, Almanya 7,4GW ve 7,6GW FV sistemlerini 2010, 2012 yıllarında şebekeye bağlamışlardır. 2013 yılında 6,9GW'lık FV sistemi şebekeye bağlayan Japonya Çin'in ardından ikinci, 4,8GW'lık FV sistemi şebekeye bağlayan ABD ise 2013 yılında üçüncü olmuştur. 2013 yılında Almanya 3,3GW'lık FV sistem kurulumu ile Dünya'da dördüncü Avrupa'da ise birinci sırada yer alırken, Büyük Britanya 1,5GW'lık FV sistem kurulumu ile Avrupa'da ikinci sırada yer almıştır [90]. Tablo 2.2'de ise Avrupa ülkelerindeki 2020 ve 2030 yılları arasında öngörülen toplam FV sistem kapasiteleri verilmiştir [91].

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nce hazırlanan, Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına göre, ülkemizin yıllık toplam güneşlenme süresi 2737 saat olarak belirtilmektedir. Başka bir deyişle yıllık ortalama ışıınım süresi 7,5 saat/gün şeklinde de ifade edilebilir. Ülkemizin yıllık toplam güneş ışıınımı 1527kWh/m² iken, günlük güneş ışıınım değeri 4,2kWh/m² olarak belirtilmiştir [92,93]. Şekil 2.1'de ülkemizin güneş enerjisi haritası gösterilmiştir [92].



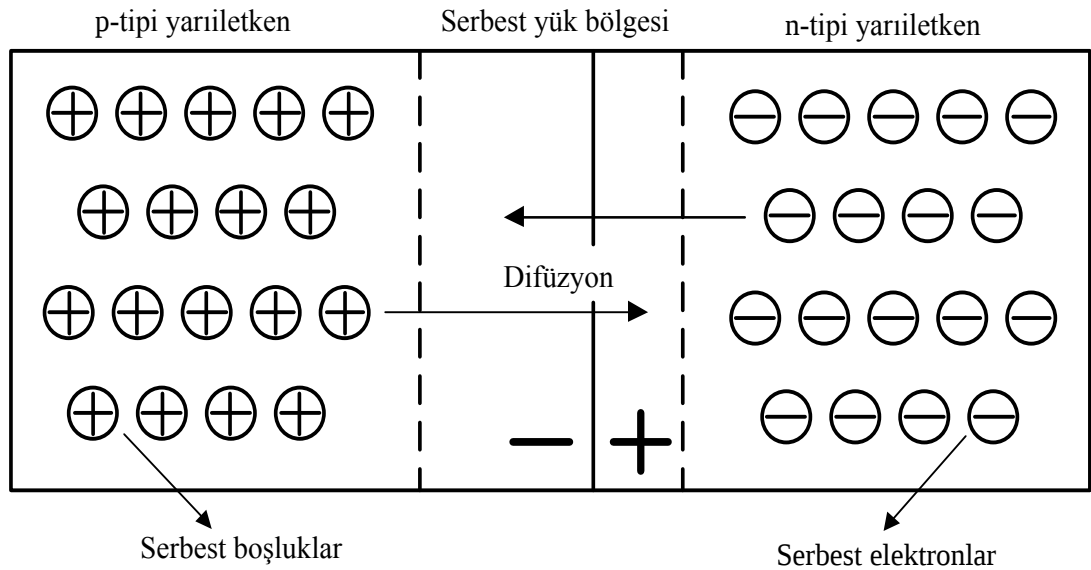
Şekil 2.1. Türkiye güneş haritası

Ülkemizde FV sistemlerin kullanımının yaygınlaşabilmesi için, 10/05/2005 tarihli 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu 29/12/2010 yılında revize edilmiş, 2013 yılında mevzuat çalışmaları tamamlanmıştır. 2013 Yılı lisanslı elektrik üretimi için Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu'na (EPDK) yapılan başvuruların teknik değerlendirme çalışmaları devam etmekte olup, ilk safhada 600MW kurulu güce sahip olan FV santral için lisans verilecektir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2023 hedefine göre ilerleyen yıllarda kademeli olarak kapasite artırılıp en az 3000MW lisanslı FV santral kurulu gücüne ulaşılması planlanmaktadır. Ayrıca 10/03/2012 tarihinde 28229 sayılı resmi gazetede yayınlanan "Elektrik Piyasasında Lisansız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik" te yapılan değişiklik ile tüketim tesisinden bağımsız olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisleri için en fazla 500kW'a kadar tüzel kişilerin lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaf tutulduğu belirtilmiştir.

2.2. FV Piller

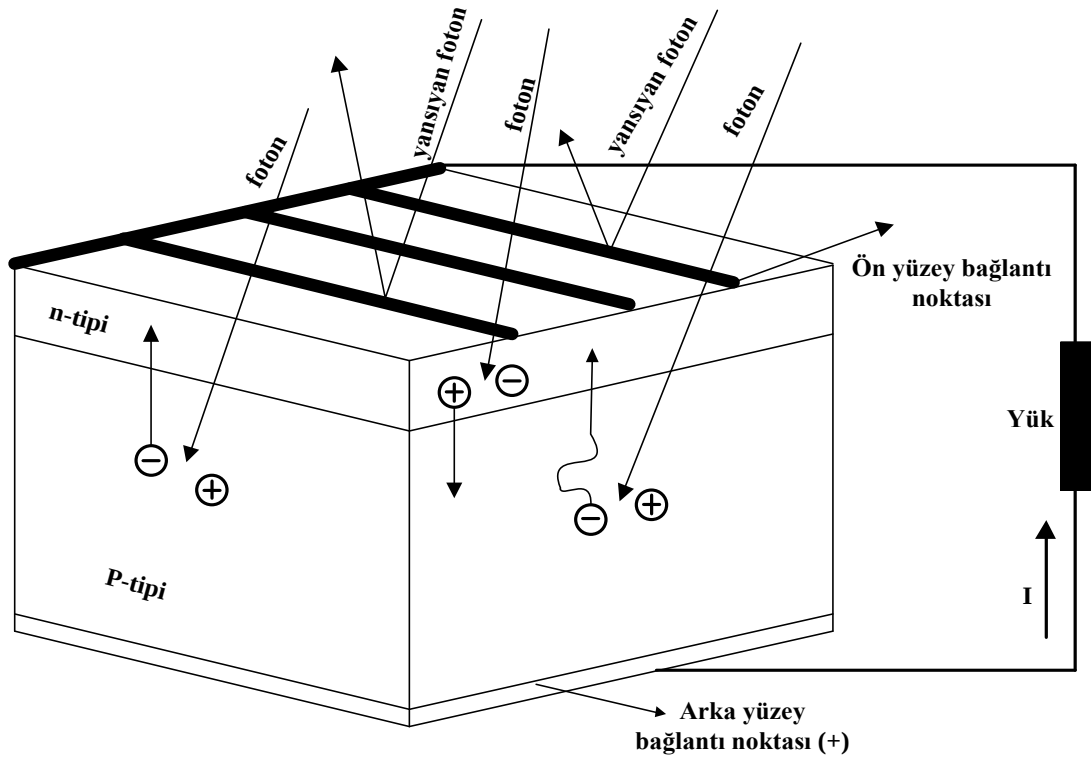
FV piller, yüzeylerine gelen güneş ışığını fotovoltaik etki yoluyla doğrudan elektrik enerjisi üretimini sağlayan yarıiletken malzemeden yapılmış elemanlar olarak ifade edilirler. Fotovoltaik kelimesinin kökü Latince'de ışık anlamında kullanılan "photo" ve elektriksel bir büyüklük olan gerilimin birimi "volta" (Count Volta, 1745-1827

İtalyan fizikçi) kelimelerinin birleşiminden oluşmaktadır [87,89]. Generatörlerde ki hareketli parçalar, güneş ışığını doğrudan kullanarak elektrik enerjisi dönüştüren FV sistemlerde bulunmazlar. 1839 yılında Becquerel, elektrolit çözelti içerisinde bulunan iki elektrot arasındaki gerilimin elektrolit çözelti üzerine düşen ışığın etkisine bağlı olarak değiştiğini tespit etmiştir [94]. 1876 yılında selenyum kristalleri üzerindeki FV etki Adams ve Day tarafından gösterilmiştir [95]. 1914 yılında FV hücrelerin verimliliği 1% değerine ulaşmasına rağmen, 1954 yılında Chapin ve diğ. tarafından güneş enerjisini 6% verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren silikon FV hücreler geliştirilmiştir [96]. Yıllar içerisinde FV pillerin geliştirilmesi günümüze kadar devam etmiş ve hala araştırmacılar tarafından FV pillerin verimini artırma çalışmaları devam etmektedir. Silisyum yarıiletkeni genellikle FV pillerin yapımında kullanılırken, amorf silisyum, kadmiyum tellür, bakır indiyum diselenid, galyum arsenid gibi yarıiletken malzemelerde FV pillerin yapımında kullanılmaktadır [87,97,98]. FV pillerin fiziksel yapıları p tipi ve n tipi yarıiletken malzemelerin birleşiminden oluşan klasik diyotların fiziksel yapılarına benzemektedir [99]. P-N birleşimi, p-tipi ve n-tipi yarıiletken malzemelerin birleştirilmesiyle elde edilmektedir. Birleşme esnasında, n-tipi yarıiletkendeki serbest elektronlar p-tipi yarıiletken tarafına doğru hareket ederken, p-tipi yarıiletkendeki serbest boşlukların n-tipi yarıiletkene doğru hareket etmesi olarak da ifade edilebilir. Birleşim sonucunda gerilim bandı Şekil 2.2’de gösterilen serbest yük bölgesinde oluşmaktadır [87,100].



Şekil 2.2. P-tipi ve n-tipi yarı iletkenin birleşim olayı

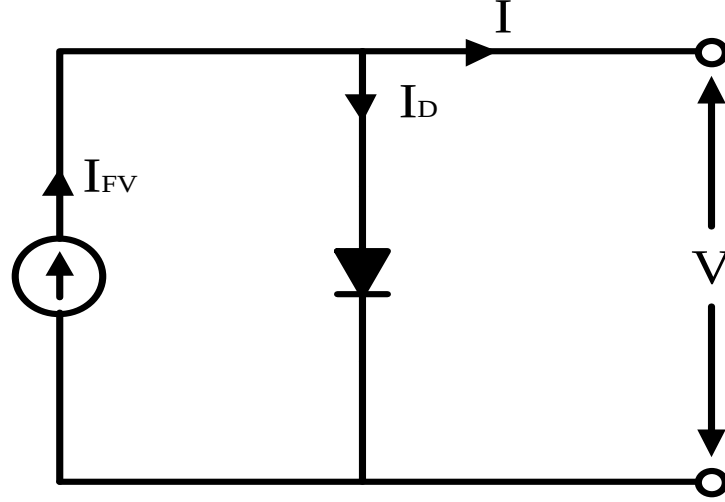
FV piller, genellikle birkaç santimetrekare boyutunda p-tipi ve n-tipi yarıiletken malzemelerin birleşiminden oluşmaktadır. Yarıiletken p ve n tipi malzemelerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan FV pillerde silisyum malzemeye periyodik cetvelin beşinci grubunda bulunan bir elementin katkılanması ile n tipi malzeme elde edilmektedir. Benzer şekilde periyodik cetvelin üçüncü grubunda bulunan bir elementin silisyum malzemeye eklenmesiyle p tipi malzeme ortaya çıkmaktadır. Güneş ışığının foton enerjisi, oluşturulan malzemenin eklem bölgesine düştüğünde fotonun enerjisi yasak bant enerjisinden büyükse hareketli elektronlar ve boşluklar oluşturmaktadır. Fotonun oluşturduğu hareketli elektronlar ve boşluklar, eklem bölgesinde bir potansiyel fark meydana getirerek yük üzerinden akım geçişini sağlamaktadır. Şekil 2.3’de FV pil yapısı ve elektriğin elde edilmesi gösterilmektedir. Şekil 2.3’den de görüldüğü gibi, daha fazla ışıktan yararlanabilmek için FV pilin ön yüzüne şeritler halinde elektriksel bağlantı noktaları yerleştirilerek ön yüzey bağlantı noktası, arka yüzey bağlantı noktası ise pilin tüm yüzeyini kaplayacak şekilde oluşturulur. Oluşturulan bu yüzeyler sayesinde yüke akım geçişi Şekil 2.3’de görüldüğü gibi arka yüzeyden ön yüzeye doğru olmaktadır [86,87,100-102].



Şekil 2.3. FV pil yapısı ve elektrik elde edilmesi

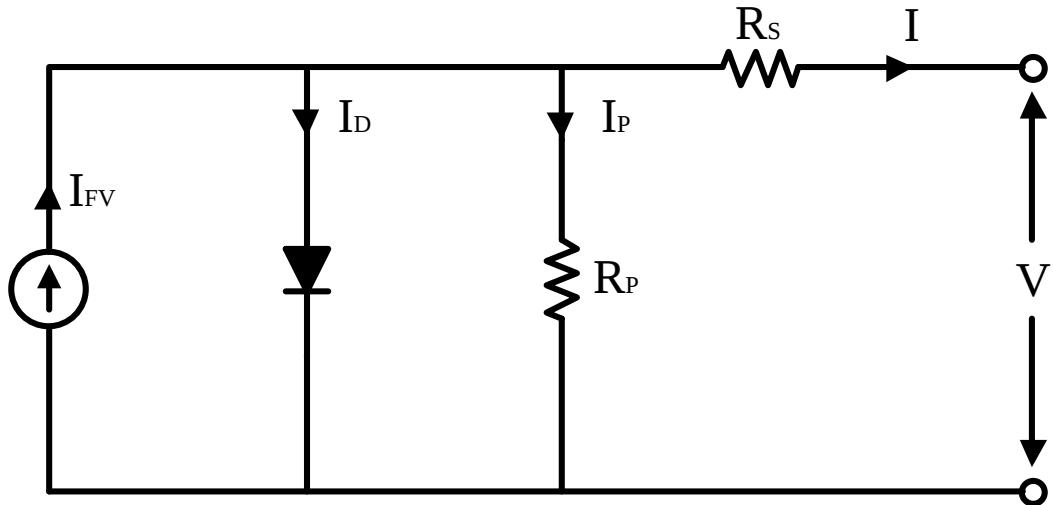
2.3. FV Pilin Devre Modelleri

Literatürde bulunan FV pil eşdeğer devre modelleri Şekil 2.4 ile Şekil 2.7 arasında gösterilmektedir.



Şekil 2.4 Basitleştirilmiş FV pil modeli

Şekil 2.4’te birçok ihmal yapılarak bir akım kaynağı ve ona paralel bağlı bir diyottan meydana gelen basitleştirilmiş FV pil devre modelinin eşdeğer devresi gösterilmektedir. Şekil 2.5’te ise geliştirilmiş tek diyot FV pil devre modeli gösterilmektedir. Bu modelde R_s seri direnci güneş pili üzerinde meydana gelen gerilim düşümlerini, R_p paralel direnci ise modelde oluşan kaçak akımları temsil etmek amacı ile basitleştirilmiş FV pil devre modeline eklenmiştir [87].



Şekil 2.5. Tek diyot FV pili devre modelinin geliştirilmiş hali

Kirchhoff akım kanununa göre Şekil 2.4'teki FV pil eşdeğer devre çözülürse,

$$I = I_{FV} - I_D \quad (2.1)$$

ifadesi elde edilmektedir. Denklem (2.1)'de I_{FV} foton akımını, I_D diyot akımını ve I panelin çıkış akımının göstermektedir. Denklem (2.2)'de diyot akımının matematiksel ifadesi gösterilmektedir [87].

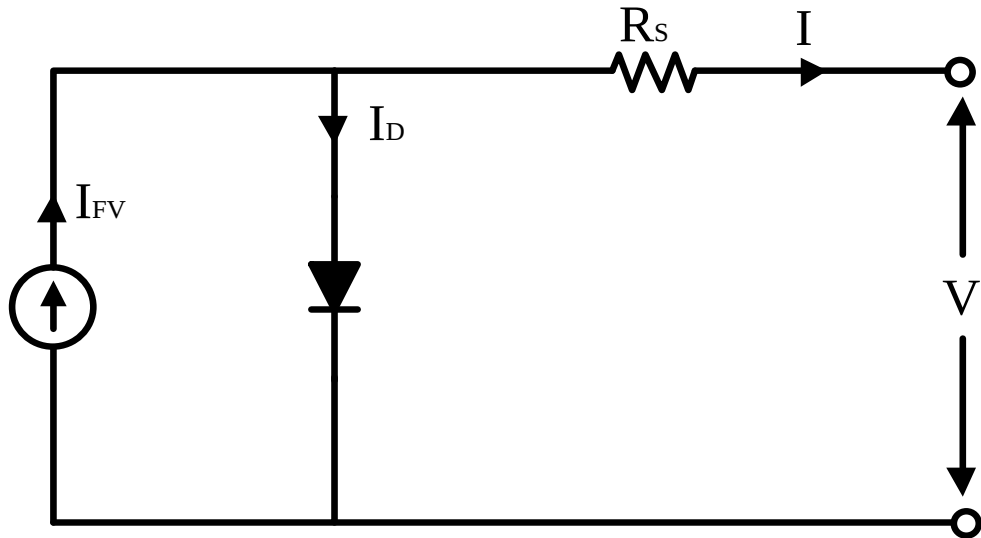
$$I_D = I_S \left[\left(e^{\frac{V}{rV_T}} \right) - 1 \right] \quad (2.2)$$

I_S diyotun ters doyum akımını, V_T termal gerilimi, V pilin çıkış gerilimini ve r ise diyot faktörü olarak tanımlanmaktadır [87]. Şekil 2.5'de gösterilen tek diyot FV pili geliştirilmiş modeline Kirchhoff akım yasası uygulanırsa Denklem (2.3)'teki ifade elde edilmektedir.

$$I_{FV} - I_D - I_p - I = 0 \quad (2.3)$$

$$I_{FV} - I_S \left[\left(e^{\frac{q(V+I \times R_s)}{n \times k \times T}} \right) - 1 \right] - \frac{V + I \times R_s}{R_p} - I = 0 \quad (2.4)$$

q elektron yükü ($1,6021917 \times 10^{-19}$), k Boltzmann sabiti ($1,380622 \times 10^{-23}$), n idealite faktörü, T ise referans çalışma sıcaklığını göstermektedir.



Şekil 2.6. FV pilin eşdeğer devre modeli

Şekil 2.6'daki FV pilin eşdeğer devre modelinde R_p paralel direnç R_s direncinden daha büyük değerde kabul edilerek ihmal edilmiş, yapılan benzetim çalışmalarında ve pratikte en çok kullanılan model haline getirilmiştir. Bu devre modeline ait matematiksel ifade aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$I = I_{FV} - I_D \quad (2.5)$$

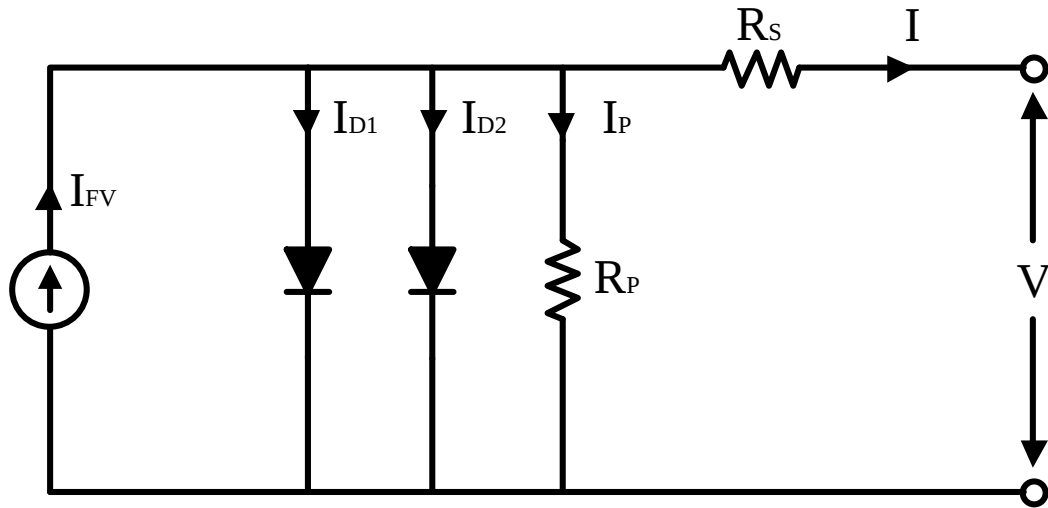
$$I = I_{FV} - I_S \left[\left(e^{\frac{q(V+I \times R_s)}{n \times k \times T}} \right) - 1 \right] \quad (2.6)$$

$$V = \frac{n \times k \times T}{q} \ln \left(\frac{I_{FV} + I_S - I}{I_S} \right) - I \times R_s \quad (2.7)$$

Şekil 2.7'de gösterilen iki diyot güneş pili modeline ait matematiksel eşitlikler Denklem (2.8) ve (2.9) gösterilmektedir [103,104].

$$I = I_{FV} - I_{D1} - I_{D2} - I_P \quad (2.8)$$

$$I = I_{FV} - I_{S1} \left[\left(e^{\frac{V+I \times R_s}{a_1 \times V_{T1}}} \right) - 1 \right] - I_{S2} \left[\left(e^{\frac{V+I \times R_s}{a_2 \times V_{T2}}} \right) - 1 \right] - \frac{V + I \times R_s}{R_p} \quad (2.9)$$

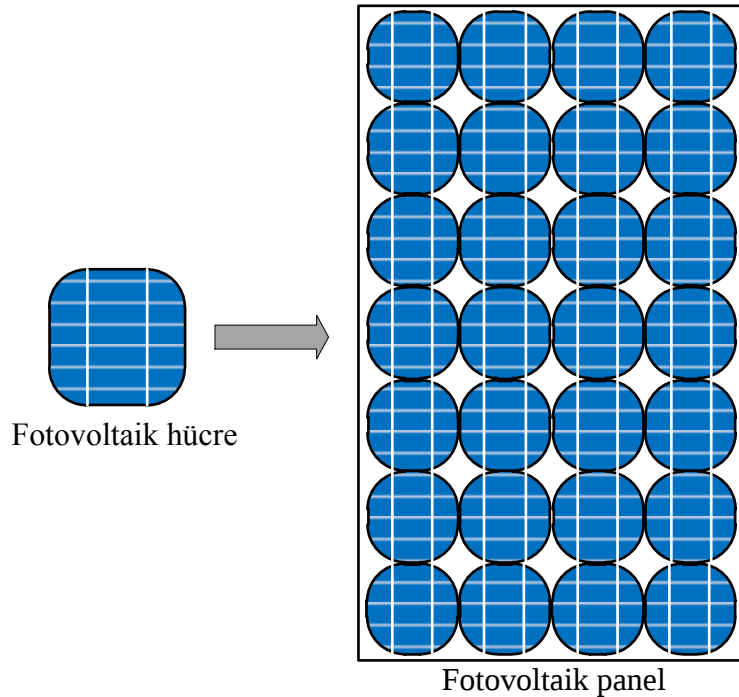


Şekil 2.7. İki diyot FV pil devre modeli

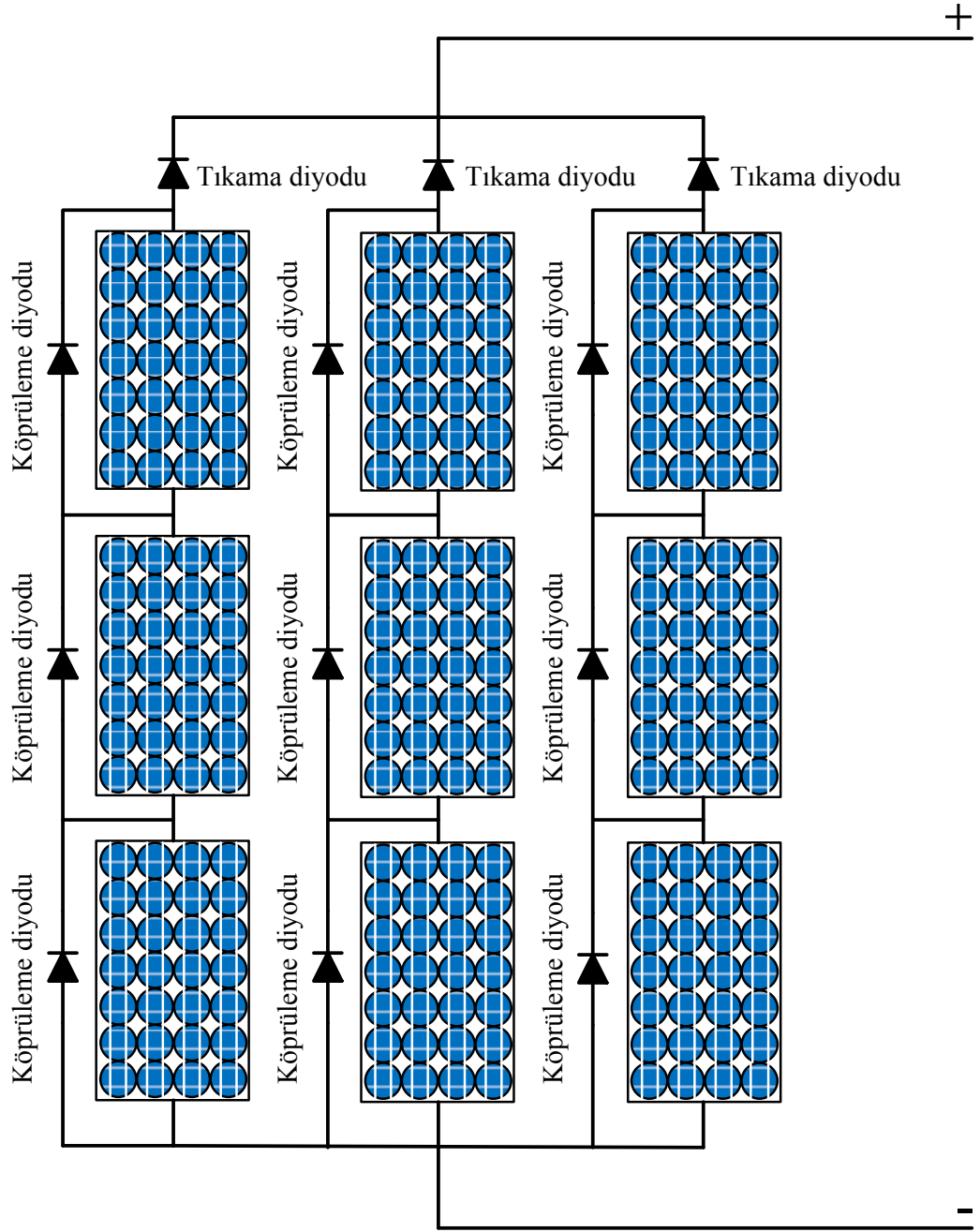
Burada I_{FV} foton akımını, V_{T1} ve $V_{T2} = (nkT/q)$ D_1 ve D_2 diyotlarının termal gerilimini ifade etmektedir. I_{S1} ve I_{S2} D_1 ve D_2 diyotlarının ters doyum akımlarını, R_s , R_p FV pilinin seri ve paralel dirençlerini göstermektedir. a_1 ve a_2 FV pilinde kullanılan malzemeye göre değişen diyot idealite faktörlerini, I FV pilin çıkış akımını, V ise FV pilin çıkış gerilimini belirtir.

2.4. FV Paneller ve Dizilerin Elde Edilmesi

FV pil veya hücreler çevresel şartlara bağımlı olarak düşük güç üretirler. FV pillerin seri-paralel bağlanmaları ile FV panelleri oluşturulur. Şekil 2.8’de FV pil veya hücreden FV panel elde edilmesine ait blok diyagram gösterilmektedir. Şekil 2.9’da ise FV panellerin istenilen güç doğrultusunda elektriksel olarak seri-paralel bağlanması ile elde edilen FV dizisi verilmektedir. Böylece istenilen gücü elde edebilmek için gerekli olan akım ve gerilim değerleri FV diziler vasıtası ile elde edilebilmektedir.



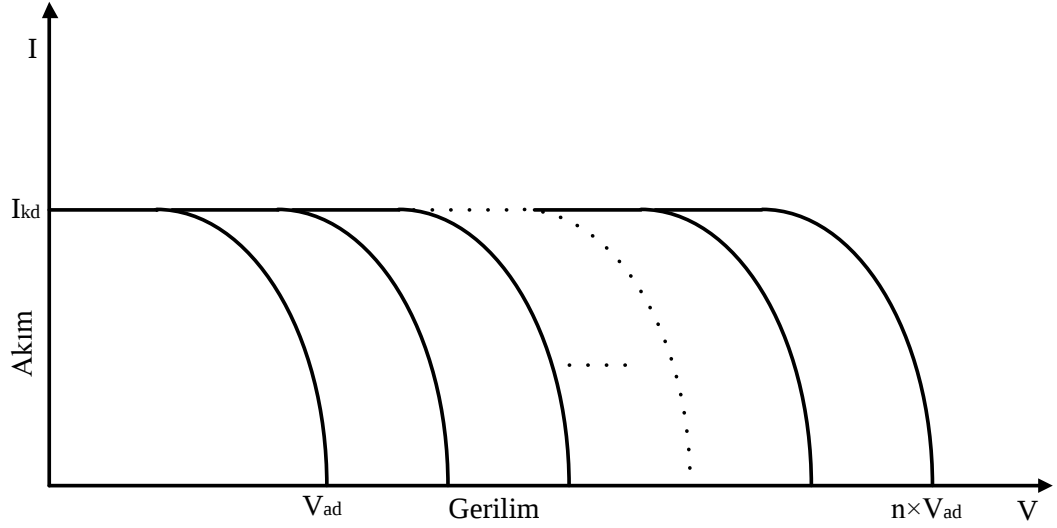
Şekil 2.8. FV hücreden FV panel elde edilmesi



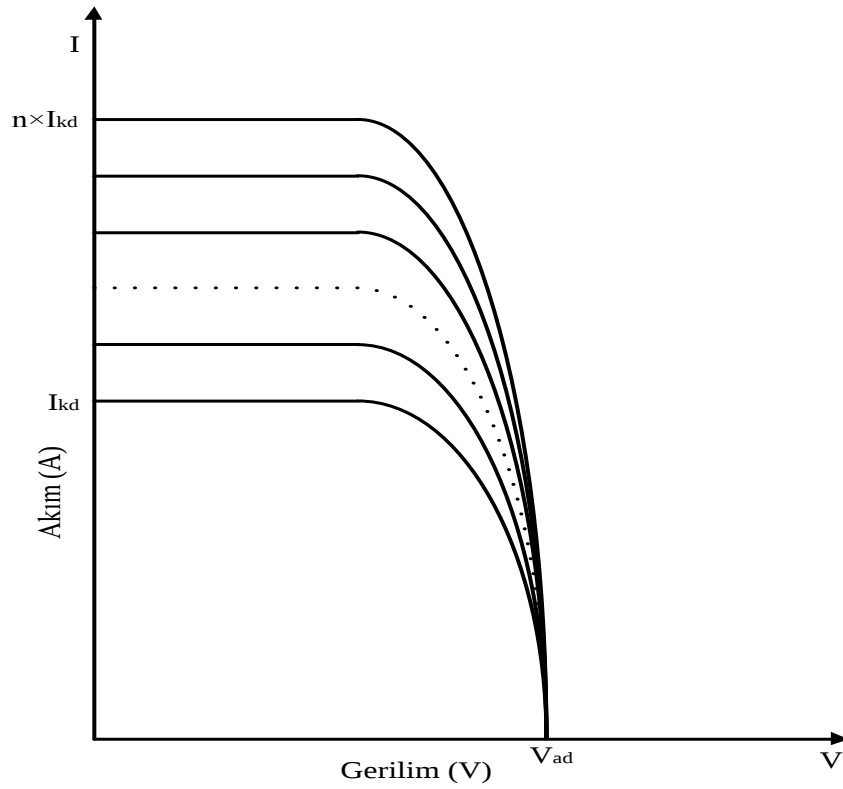
Şekil 2.9. FV panelden FV dizi elde edilmesi

FV pillerden panel veya dizi oluşturulması sürecinde köprüleme diyodu kullanılmaktadır. FV dizileri oluşturan FV panellerin üzerlerine her zaman aynı düzeyde ışınım düşmediği veya panellerden bazılarının gölgelenme etkisi altında kalması durumu göz önünde bulundurulduğunda köprüleme diyotlarının etkisi yüksektir. FV dizinin veya panelin belli bir bölgesine düşen gölge FV panel veya dizinin gölgesiz olan kısmından alınacak yüksek performansı etkileyeceğinden dolayı seri hat çıkışından daha fazla güç elde edebilmek ve sistemin zarar görmesini

engellemek için köprüleme diyotları kullanılır. Ayrıca her bir seri hat seri bir diyot ile dış devreye bağlanarak olası ters akımların geçişleri de engellenmiş olur [99-101].



Şekil 2.10. Seri bağlı FV pil veya panel sayısına göre akım-gerilim ilişkisi

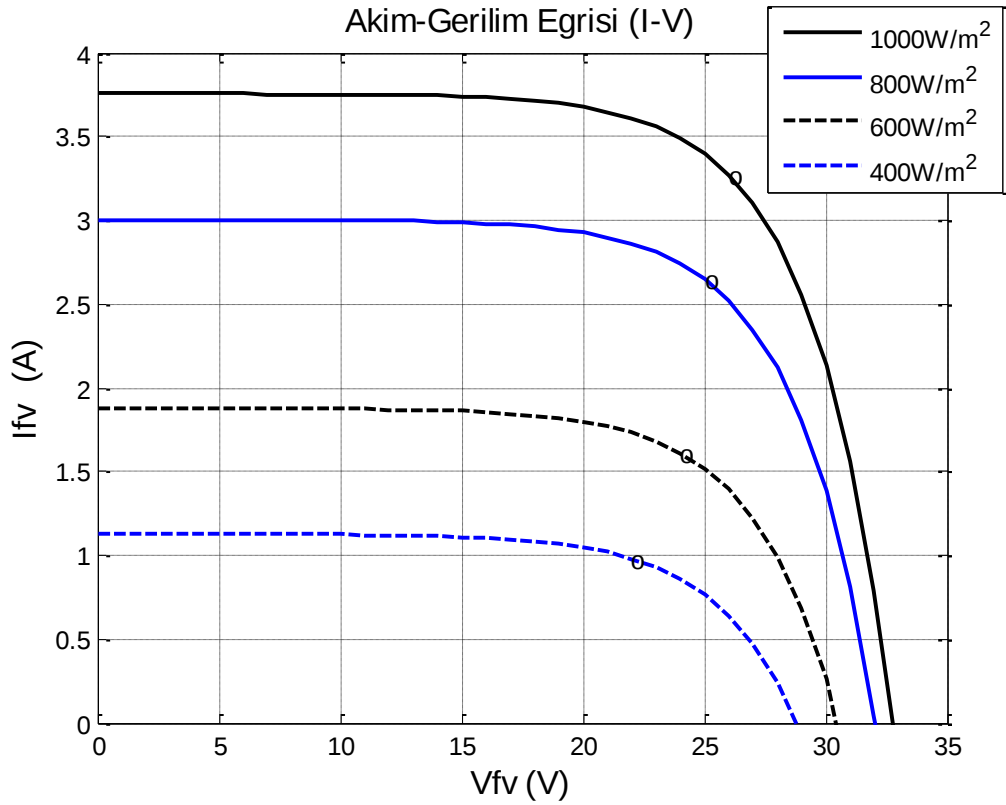


Şekil 2.11. Paralel bağlı FV pil veya panel sayısına göre akım-gerilim ilişkisi

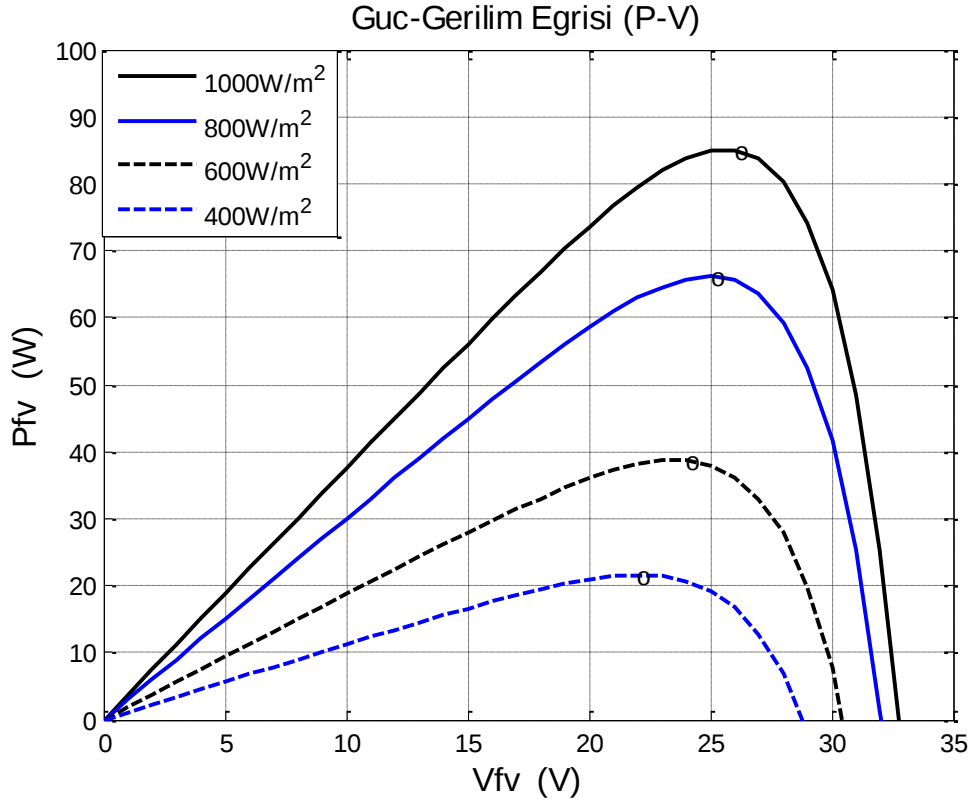
İstenilen güce göre seri olarak birbirine bağlanan FV piller ile üretilebilecek gerilim değerinin artması sağlanır. Seri olarak birbirine bağlanan FV pillere ait akım-gerilim ilişkisi Şekil 2.10'da, Şekil 2.11'de ise paralel olarak birbirine bağlanan FV pillere ait akım-gerilim ilişkisi verilmektedir. Böylece istenilen güce göre FV pillerin paralel bağlanması ile üretilebilecek akım değerinin artması sağlanır.

2.5. FV Pilin Karakteristikleri

Işınım şiddeti ve sıcaklık FV pilin karakteristiğini etkileyen en önemli faktörlerdir. Şekil 2.12 ve Şekil 2.15 arasında bu faktörlere bağlı FV pilin karakteristik eğrileri gösterilmekte, Şekil 2.12'de sabit sıcaklık değişen ışınım koşulları altında FV pilin akım-gerilim, Şekil 2.13'te ise güç-gerilim ilişkisi belirtilmektedir.

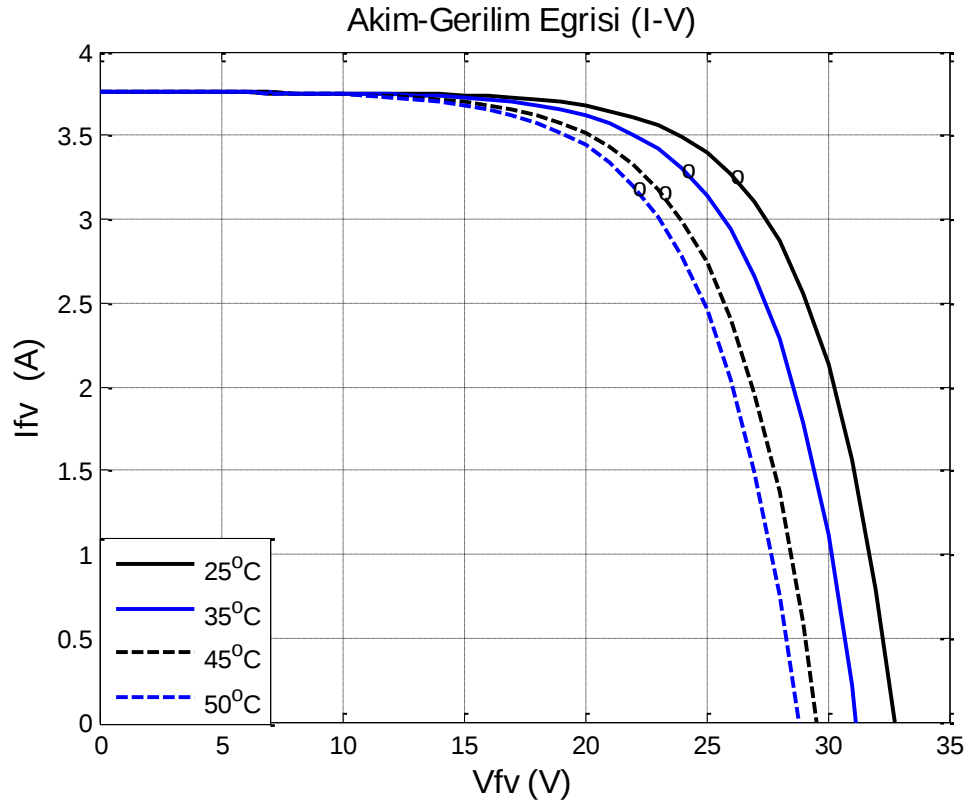


Şekil 2.12. Farklı ışınımlarda FV pilin akım-gerilim eğrileri

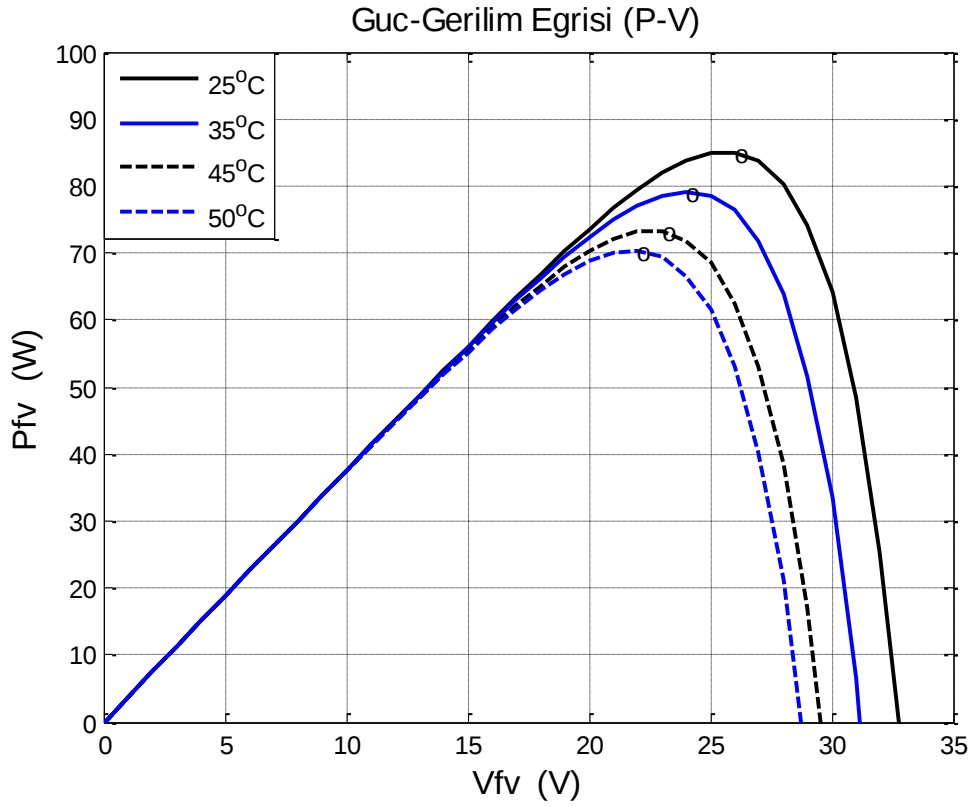


Şekil 2.13. Farklı ışınlımlarda FV pilin güç-gerilim eğrileri

Şekil 2.12'den de görüldüğü gibi değişen ışınlım şiddeti koşulları altında FV pilin kısa devre akımı doğrusal olarak, açık devre gerilimi ise logaritmik olarak değişmektedir. Ayrıca maksimum güç noktaları için akım değerleri birbirlerinden çok farklı değerlerde oluşurken, gerilim değerleri birbirlerine çok yakın değerlerde oluşmaktadır. Işınlım şiddetinin artması ile FV pilin çıkış akımı ve çıkış geriliminde meydana gelen artış, Şekil 2.13'de görüldüğü gibi FV pilin çıkış gücünde de ortaya çıkmaktadır. Şekil 2.14 ve Şekil 2.15'te sabit ışınlım değişken sıcaklık koşulları altında FV pilin akım-gerilim ilişkisi ve güç-gerilim ilişkisi verilmektedir. Şekil 2.14'deki akım-gerilim karakteristiğinden de görüldüğü gibi sıcaklık, akımın artmasına neden olurken en büyük etkisini FV pilin çıkış gerilimini azaltarak göstermektedir. Ayrıca FV pilin üretebileceği maksimum gücü sağlayabilecek gerilim değerlerinde de azalmaya neden olmuştur. Gerilimde meydana gelen bu azalma FV pilin üretebileceği gücü olumsuz yönde etkilediği ve maksimum güç noktalarının sıcaklık değerleri arttıkça azalan değerler aldığı Şekil 2.15'den açıkça görülmektedir.



Şekil 2.14. Farklı sıcaklıklarda FV pilin akım-gerilim eğrileri



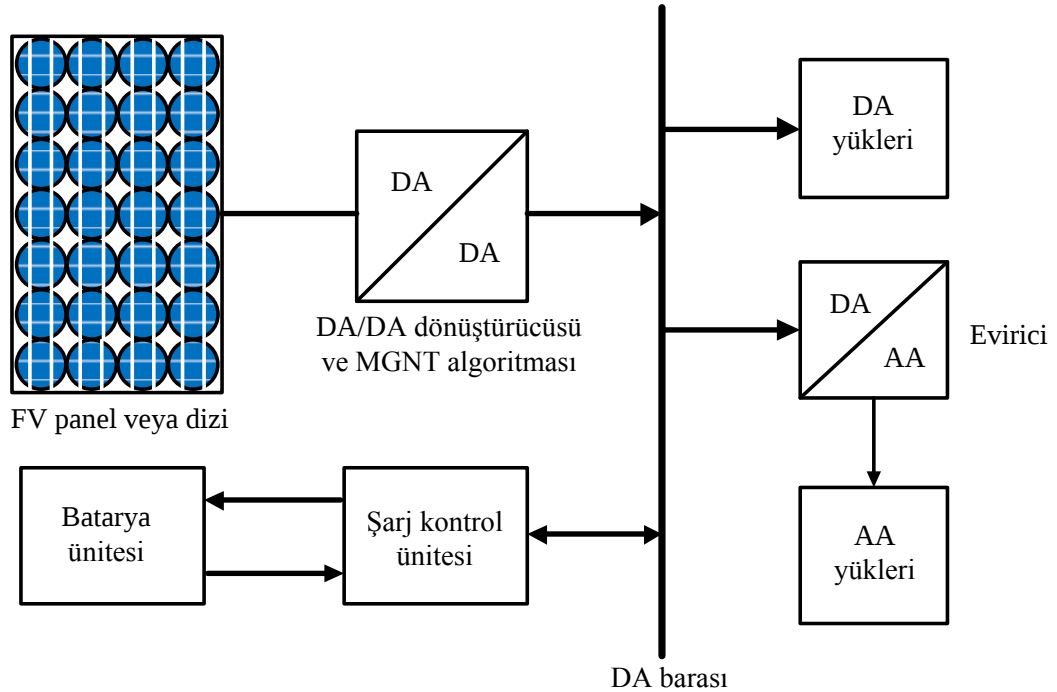
Şekil 2.15. Farklı sıcaklıklarda FV pilin güç-gerilim eğrileri

2.6. FV Sistemler

FV sistemler şebekeden bağımsız ve şebeke bağlantılı olarak iki şekilde incelenebilmektedir.

2.6.1. Şebekeden bağımsız sistemler

Şebekeden bağımsız FV sistemler, şebekeye erişimin veya şebeke bağlantısının mümkün olmadığı elektrik enerjisi ihtiyacı olan her yerde kullanılmaktadır. Şekil 2.16'da şebekeden bağımsız FV sistemin yapısı gösterilmektedir. Şebekeden bağımsız sistemler güneş ışınımının olmadığı veya yetersiz kaldığı zamanlarda yükü beslemek için depolama ünitelerini bünyelerinde bulundurlar. Şebekeden bağımsız FV sistemler temel olarak FV panel veya dizi, depolama ünitesi olarak batarya, DA/DA dönüştürücüsü, DA/AA eviricisi ve şarj kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Güneş ışınımının olmadığı veya yetersiz kaldığı durumlarda yükün ihtiyacını karşılamak için bataryadan gerekli olan enerji şarj kontrol ünitesi tarafından şarj deşarj durumlarının kontrolü ile gerçekleşir.

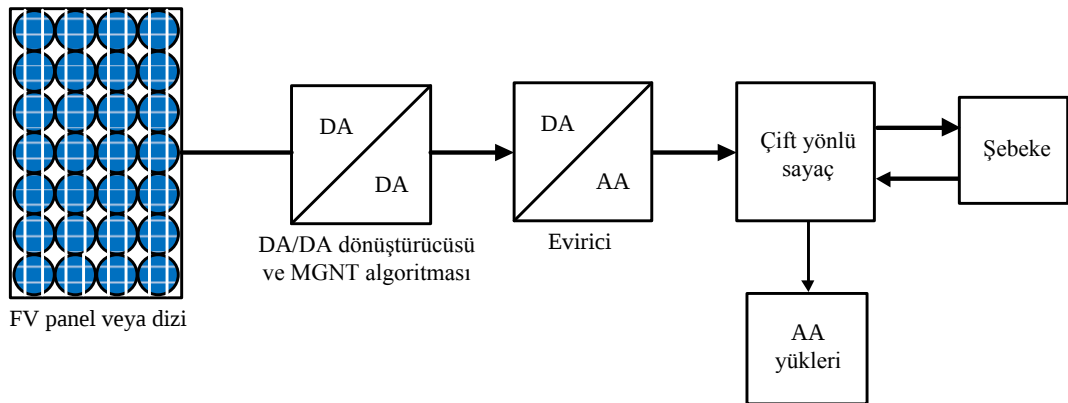


Şekil 2.16. Şebekeden bağımsız FV sistem yapısı

DA yük barasındaki yükün geriliminin sabit tutulması DA/DA dönüştürücü vasıtası ile sağlanırken, AA yük barasındaki yükün ihtiyacı olan güç DA/AA eviricisi ile sağlanmaktadır [100,101].

2.6.2. Şebeke bağlantılı sistemler

Şebeke bağlantılı FV sistemlerde enerji depolamaya ihtiyaç duyulmadığı için şebekeden bağımsız sistemlerdeki gibi depolama ünitelerine gerek duyulmamaktadır. Şebeke bağlantılı FV sistemler iki şekilde oluşturulabilir. FV sistemlerde üretilen DA bir evirici vasıtası ile AA çevrilerek doğrudan şebekeye verilebilmekte, ayrıca eviriciden sonra çift yönlü sayaç kullanılarak hem çeşitli AA yüklerinin beslenebilmesi hem de üretilen fakat kullanılmayan fazla enerjinin de şebekeye verilmesi sağlanmaktadır [105]. Şebeke bağlantılı FV sisteme ait blok diyagram Şekil 2.17’de gösterilmektedir.



Şekil 2.17. Şebeke bağlantılı FV sistem yapısı

2.7. FV Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları

FV sistemlerin avantajları ve dezavantajlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz [102,106].

2.7.1. FV sistemlerin avantajları

- Güneş enerjisi tükenmeyen bir enerji kaynağıdır.
- FV sistemler hareketli parçaları yapısında barındırmadığı için elektrik üretiminde kullanılan hareketli sistemlere göre daha az bakıma ihtiyaç duyarlar.
- Enerji girdisi olan güneş enerjisi tüm dünyada ücretsiz bulunması nedeniyle ücretsiz temin edilebilir.
- Modüler bir yapıya sahip olduğu için istenilen güç çıkışına göre FV panel ekleme veya çıkarma işlemi yapılabilir.
- Güneş enerjisi çevre dostu olup doğaya atık madde bırakmaz.

2.7.2. FV sistemlerin dezavantajları

- FV sistemlerin büyük güçler üretebilmesi için diğer sistemlere göre çok geniş alanlar gereklidir.
- Güneş enerjisinin yoğunluğu azdır ve sürekli bir yapıya sahip değildir.
- FV sistemlerin ilk kurulum maliyetleri yüksektir.
- Şebekeden bağımsız sistemler ışıınım olmadığı zamanlarda depolama ünitesine ihtiyaç duyarlar.
- Güneşten gelen enerji isteğe bağlı olmayıp kontrol edilemez.

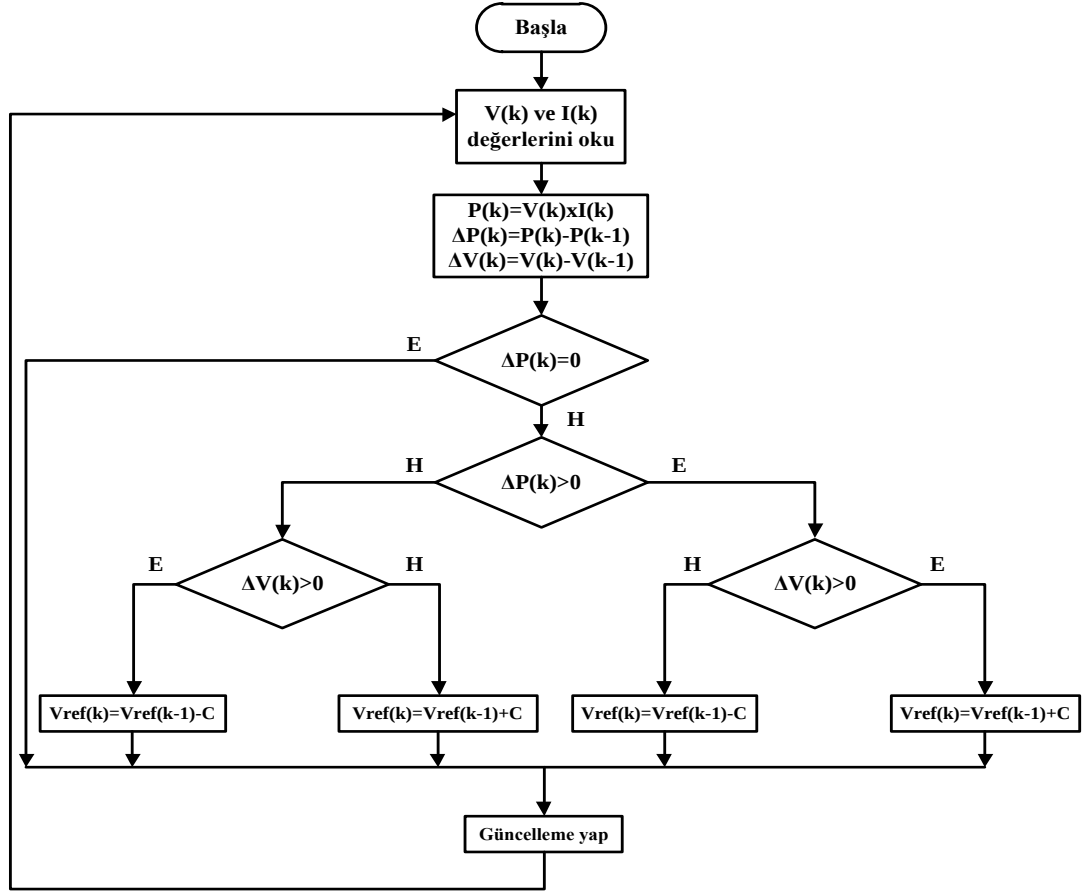
2.8. Maksimum Güç Noktası Takip Algoritmaları

FV paneller veriminin yüksek olmaması, değişen güneş ışıınımı ve sıcaklık değerleri güneş enerjisi vasıtası ile FV sistemlerden elde edebileceğimiz güç değerinin değişmesine neden olmaktadır. Bu durum FV panellerden elde edilebilecek maksimum verimi engellemekte, o anki çevresel koşullar altında yüke aktarılan

gerilim ve akım değerlerine göre üretebilecek maksimum güce karşılık gelen gerilim ve akım değerlerinin altında kalmasına sebep olur. Değişen çevresel koşullar altında FV sistemin çalışma verimini arttırmak için MGNT algoritmaları ile akım gerilim eğrisindeki maksimum güç elde edilir. Bu algoritmaların temel çalışma prensibine göre değişen çevresel koşullar altında yüke sağlanacak maksimum güç için panelden çekilecek akım ve gerilim değerlerinin maksimum güç noktasına karşılık gelen değerler olmasına dayalıdır. FV sistemler bu değerlerde çalıştırılabilmesi için MGNT algoritmaları tarafından kontrol edilen DA/DA dönüştürücüleri ve/veya evirici gibi güç elektroniği devrelerine ihtiyaç duyulmaktadır [107-110]. MGNT algoritmaları dolaylı ve doğrudan olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Dolaylı MGNT algoritmaları FV sistemin katalog bilgilerinin yanı sıra, ışıınım, sıcaklık ve değişen çevresel koşullara göre FV panele ait karakteristikleri içeren veri tabanına dayalı bilgileri kullanarak matematiksel yöntemlerle maksimum güç noktasını bulmaya çalışan algoritmalarlardır. FV panel veya sisteme ait akım, gerilim bilgilerini kullanarak maksimum güç noktasını bulan algoritmalar da doğrudan MGNT algoritmaları olarak ifade edilmektedir [111]. Tez çalışmasında geliştirilen MGNT algoritmasının karşılaştırılabilmesi için literatürde sunulan ve yaygın olarak kullanılan algoritmalarından bazıları aşağıdaki bölümde incelenmiştir.

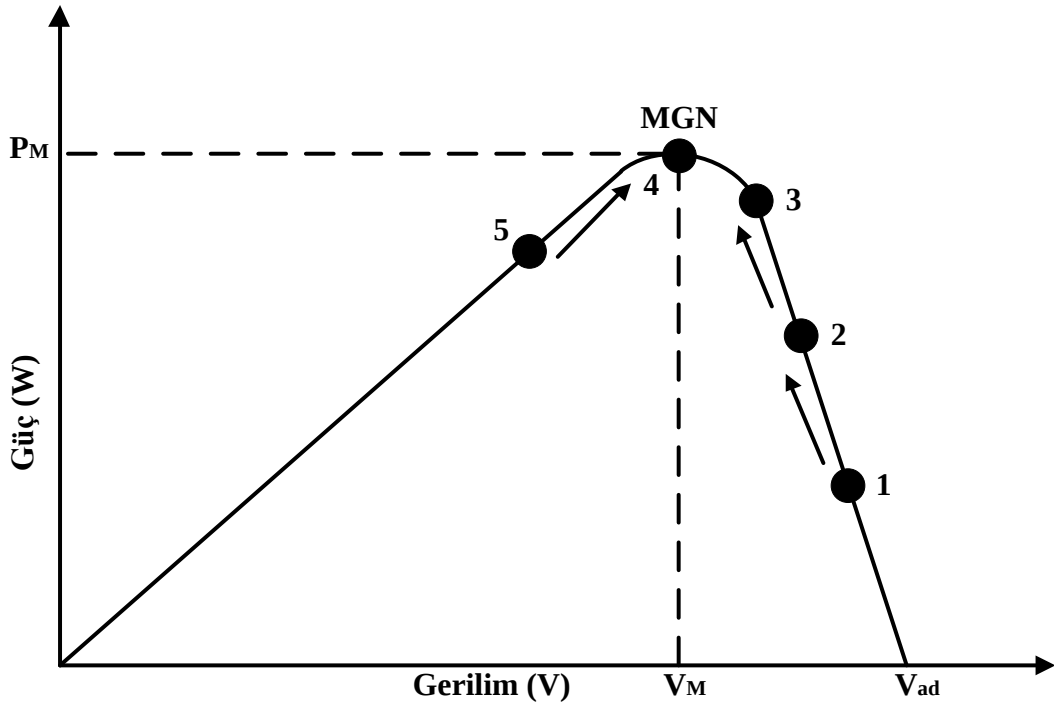
2.8.1. Değiştir gözetle algoritması

Değiştir gözetle algoritması, uygulaması kolay ve yapısının basit olması nedeniyle yaygın olarak kullanılan MGNT algoritmalarından biridir. Değiştir gözetle algoritmasına ait akış diyagramı Şekil 2.18’de gösterilmektedir. Bu algoritmanın çalışma prensibi, FV sistemin çıkış gücünün gözlenmesine ve sistemin gerilim veya akım değerinin bir sonraki değişiminin hesaplanmasına dayanmakta olup algoritma MGN’ye ulaşıncaya kadar referans akım veya gerilim değerini sürekli olarak sabit bir değişken vasıtası ile arttırıp veya azaltma işlemi yapılması şeklindedir [107,112-114]. Şekil 2.19’daki güç-gerilim ilişkisini gösteren eğri incelendiğinde 1 noktada meydana gelen güç değeri 2 noktasında oluşan güç değerinden küçük olduğundan referans gerilimi belirlenen adım arama katsayısı kadar azaltılır. 3 noktasındaki güç iki noktasındaki güçten büyük olduğu için referans gerilimi azaltılmaya devam edilmektedir.



Şekil 2.18. Değişir gözetle algoritması akış diyagramı

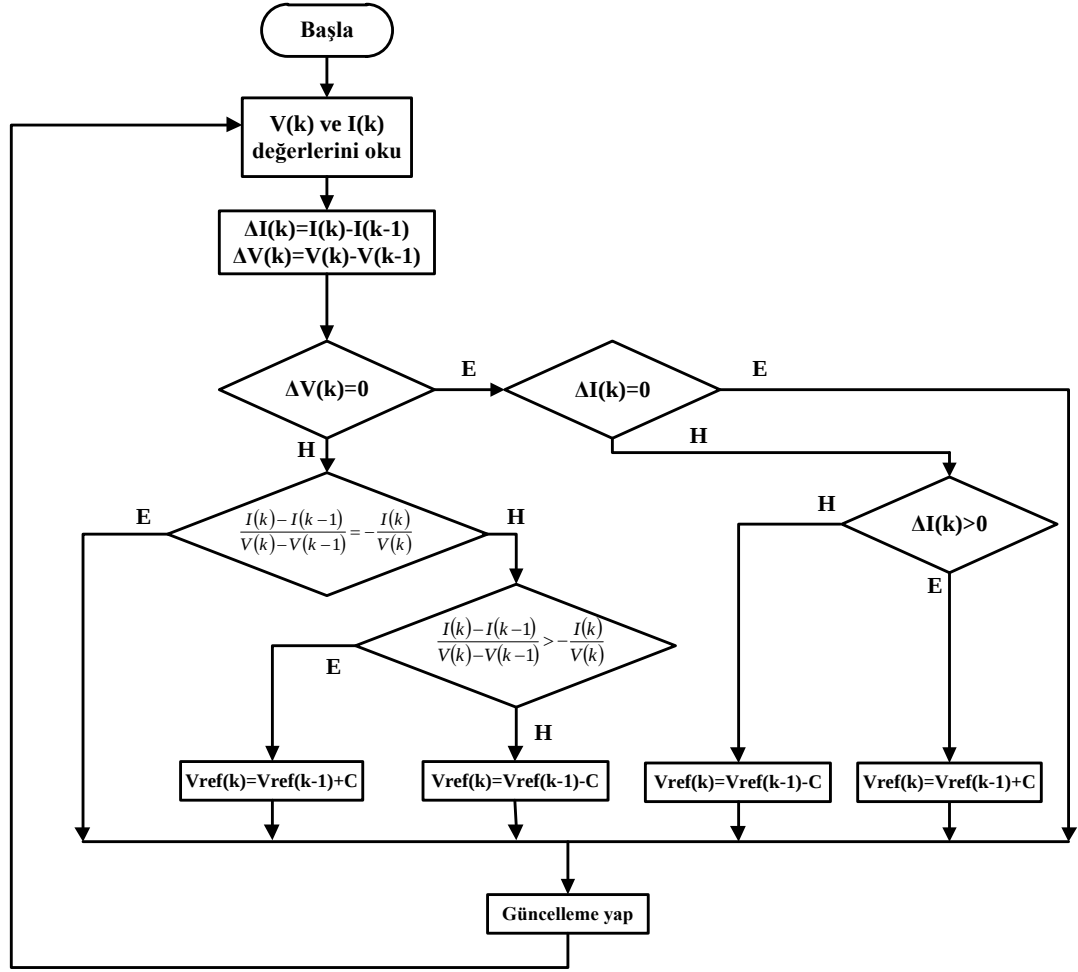
Eğer çalışma durumu 3 noktasından 5 noktasına kayarsa 5 noktasındaki güç değeri 3 noktasındaki güç değerinden küçük olduğu için referans gerilimi adım arama katsayısı kadar artırılır. Bu durum 4 noktasındaki maksimum güç noktasına ulaşmaya kadar devam etmektedir. Böylece algoritma sürekli olarak maksimum güç noktasını arama işlemi yaptığı için maksimum güç noktasında sabitlenemez. Algoritmanın maksimum güç noktası etrafında salınım yapmasına neden olmaktadır. Salınımlar güç kayıplarının artmasına neden olabilir. Salınımları kontrolü arama adım büyüklüğü değiştirilerek azaltılabilir. Arama adım büyüklüğü küçük seçilirse algoritmanın maksimum güç noktasına ulaşma süresi uzarken güç noktası etrafında oluşan salınımlar azalır, adım büyüklüğü büyük seçilirse maksimum güç noktasına ulaşma süresi kısalırken güç noktası etrafında oluşan salınımlar artmaktadır [100,112]. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için değişken arama adımının kullanılması geliştirilmiştir. Geliştirilen bu algoritma maksimum güç noktasına yaklaştığında arama adımını küçülterek aramasına devam eder [112,115].



Şekil 2.19. Değişir gözetle algoritması için güç-gerilim ilişkisi eğrisi

2.8.2. Artan iletkenlik algoritması

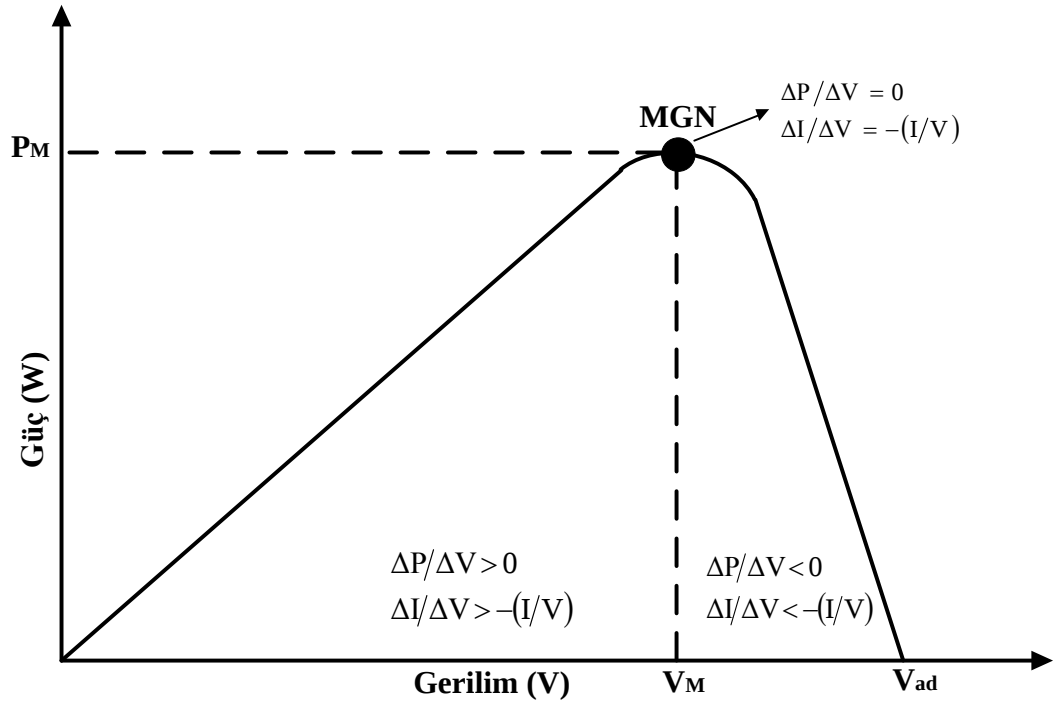
Artan iletkenlik algoritması ani değişen atmosferik koşullar altında değişir gözetle algoritmasının hızlı cevap verememesi durumunu ortadan kaldırmak için geliştirilmiştir. Artan iletkenlik algoritmasına ait akış diyagramı Şekil 2.20’de gösterilmiştir [116]. Algoritma öncelikle FV sistemin akım ve gerilim değerlerinin ölçülmesi ile başlar. Ölçülen bu değerler vasıtası ile akım ve gerilimin değişimi hesaplanır. Eğer gerilim değişimi sıfıra eşitse algoritma bir sonraki aşamada akımın değişiminin sıfıra eşit olup olmadığını kontrol eder. Akımın değişimi sıfıra eşitse bir önceki referans gerilimini çıkışa verir. Eğer akımın değişimi sıfıra eşit değilse akım değişiminin sıfırdan büyük olup olmadığını kontrol eder. Akım değişimi sıfırdan büyükse referans gerilimini adım katsayısı kadar arttırır, sıfırdan küçük ise adım katsayısı kadar azaltır. Gerilim değişimi sıfıra eşit değilse maksimum güç noktasında $dI/dV = -I/V$ eşitliği oluşursa herhangi bir işleme gerek duyulmadan çıkışa bir önceki referans gerilimi gönderilir. Eğer maksimum güç noktasında $dI/dV = -I/V$ eşitliği oluşmaz ise $dI/dV > -I/V$ koşuluna bakılır. Bu koşul sağlanıyor ise referans gerilimi adım katsayısı kadar arttırılır. Koşul sağlanmıyor ise referans gerilimi adım katsayısı kadar azaltılarak çıkışa gönderilir.



Şekil 2.20. Artan iletkenlik algoritması akış diyagramı

Şekil 2.21’de görüldüğü gibi güç, maksimum güç noktasının sol tarafında ise gerilimle orantılı olarak arttığından dP/dV pozitiftir. Güç maksimum güç noktasında ise $dP/dV=0$ şartını sağlamaktadır. Güç maksimum güç noktasının sağ tarafında ise gerilimle ters orantılı değiştiğinden dP/dV negatiftir [107,108,116]. Denklem (2.10)’da artan iletkenlik algoritmasına ait denklemler gösterilmektedir.

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dV} &= \frac{d(I \times V)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} = 0 \\ \frac{dI}{dV} &= -\frac{I}{V} \end{aligned} \quad (2.10)$$



Şekil 2.21. Artan iletkenlik algoritması için güç gerilim ilişkisi

3. RÜZGAR ENERJİSİ

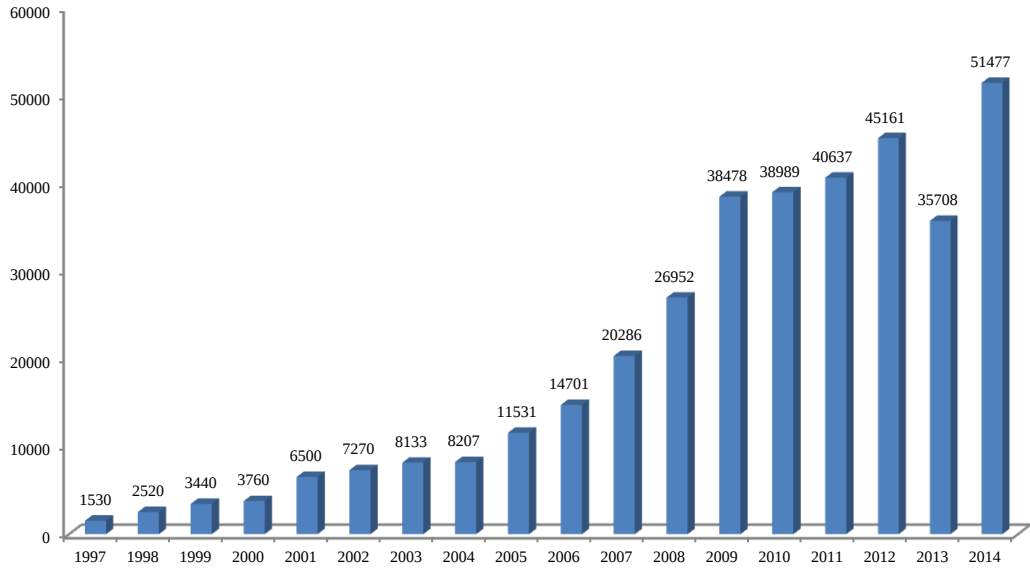
Rüzgar enerjisi insanlık tarihi boyunca kullanılmış ve çok önemli rol sahibi olan eski bir enerji çeşididir. İnsanlar değirmenlerde tahıl üretiminde, bir sahilden diğer bir sahile gitmek için kayıkların yüzdürülmesinde, su pompaları vasıtası ile su çıkarma işleminde rüzgar enerjisinden faydalanmışlardır. Bilindiği gibi, güneş tarafından dünyanın bir kısmı ısıtılırken, yoğunluğu düşerek yükselen havanın sebep olduğu hava kütleleri düşük basınç bölgelerine hareket eder. Bu hareket rüzgar olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde, rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretimi giderek yaygınlaşmakta olup, elektrik enerjisi üretiminde zararlı gazlar ortaya çıkarmadığı ve atmosferi kirletmediği için temiz enerji kaynağı da denilmektedir [102, 117,118].

3.1. Dünya’da ve Türkiye’de Rüzgar Enerjisi Kullanımı

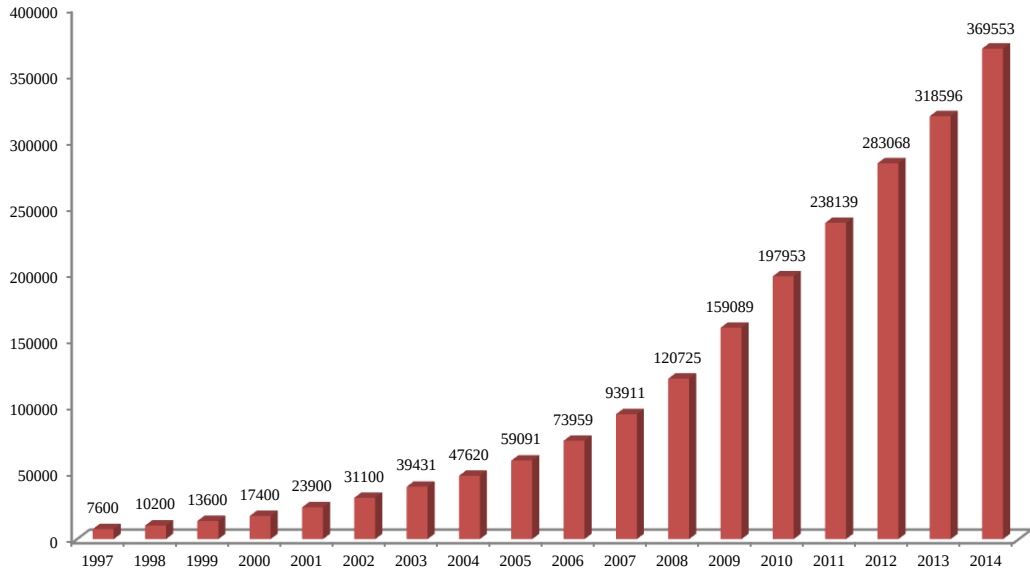
Küresel rüzgar enerjisi konseyinin 10 Şubat 2015 tarihinde yayınladığı küresel rüzgar enerjisi istatistiği 2014 raporuna göre, dünya genelinde 2013 yılının sonunda ve 2014 yılında kurulan rüzgar enerjisi santrallerinin güçleri Tablo 3.1’de gösterilmiştir. Ayrıca 2014 yılı sonu itibarıyla ülkelerin sahip oldukları rüzgar enerjisi kurulu güçleri de MW bazında gösterilmiştir [119]. Rapora göre 2014 yılında Afrika ve Orta Doğu ülkeleri içerisinde Fas, Aysa’da Çin, Avrupa’da Almanya, Latin Amerika ve Karayipler’de Brezilya, Kuzey Amerika’da Amerika Birleşik Devletleri, Pasifik bölgesinde ise Avustralya rüzgar enerjisi santrali kurulumlarında ilk sırada yer almaktadırlar. 2014 yılı toplam rüzgar enerjisi kurulu güçlerinde ise bölgelere göre yine aynı ülkeler ilk sırada yer almaktadırlar. Ayrıca Şekil 3.1’de dünya genelinde 1997-2014 yılları arasında yıllık bazda kurulan rüzgar enerjisi üretim santrallerinin MW cinsinden kurulum güçleri, Şekil 3.2’de ise aynı yıllar içerisinde dünya genelindeki rüzgar enerjisi üretim santrallerinin toplam güçleri MW cinsinden gösterilmektedir. Şekil 3.1’e göre her yıl kurulan rüzgar enerjisi üretim santrallerinin güçleri artarak devam ederken, sadece 2013 yılında bir önceki yıla göre düşme görülmüştür.

Tablo 3.1. Dünyadaki rüzgar enerjisi santrallerinin kurulu gücü

Afrika ve Orta Doğu	2013 Sonu (MW)	2014 Yeni Kurulan (MW)	2014 Sonu (Toplam) (MW)
Fas	487	300	787
Güney Afrika	10	560	570
Mısır	550	60	610
Tunus	255	-	255
Etiyopya	171	-	171
Yeşil Burun (Cape Verde)	24	-	24
Diğerleri	115	14	129
Toplam	1612	934	2545
Asya	2013 Sonu (MW)	2014 Yeni Kurulan (MW)	2014 Sonu (Toplam) (MW)
Çin	91412	23351	114763
Hindistan	20150	2315	22465
Japonya	2669	130	2789
Tayvan	614	18	633
Güney Kore	561	47	609
Tayland	223	-	223
Pakistan	106	150	256
Filipinler	66	150	216
Diğerleri	167	-	167
Toplam	115968	26161	142119
Avrupa	2013 Sonu (MW)	2014 Yeni Kurulan (MW)	2014 Sonu (Toplam) (MW)
Almanya	34250	5279	39165
İspanya	22959	28	22987
İngiltere	10711	1736	12440
Fransa	8243	1042	9285
İtalya	8558	108	8663
İsveç	4382	1050	5425
Portekiz	4730	184	4914
Danimarka	4807	67	4845
Polonya	3390	444	3834
Türkiye	2958	804	3763
Romanya	2600	354	2954
Hollanda	2671	141	2805
İrlanda	2049	222	2272
Avusturya	1684	411	2095
Yunanistan	1866	114	1980
Diğerleri	5715	835	6543
Toplam	121573	12820	133969
Latin Amerika ve Karayipler	2013 Sonu (MW)	2014 Yeni Kurulan (MW)	2014 Sonu (Toplam) (MW)
Brezilya	3466	2472	5939
Şili	331	506	836
Uruguay	59	405	464
Arjantin	218	53	271
Kostarika	148	50	198
Nikaragua	146	40	186
Honduras	102	50	152
Peru	2	146	148
Karayipler	250	-	250
Diğerleri	55	28	83
Toplam	4777	3749	8526
Kuzey Amerika	2013 Sonu (MW)	2014 Yeni Kurulan (MW)	2014 Sonu (Toplam) (MW)
Amerika Birleşik Devletleri	61110	4854	65879
Kanada	7823	1871	9694
Meksika	1859	522	2381
Toplam	70792	7247	77953
Pasifik Bölgesi	2013 Sonu (MW)	2014 Yeni Kurulan (MW)	2014 Sonu (Toplam) (MW)
Avustralya	3239	567	3806
Yeni Zelanda	623	-	623
Pasifik Adaları	12	-	12
Toplam	3874	567	4441
Dünya Toplamı	318596	51477	369553

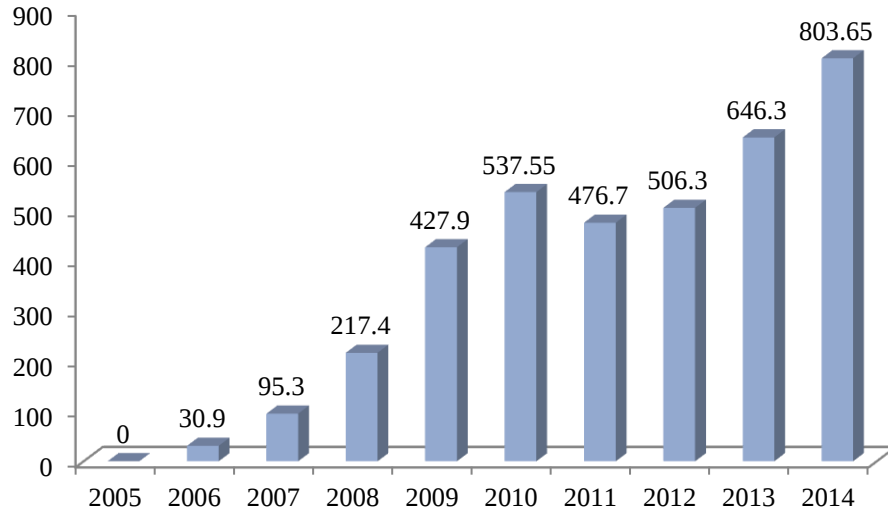


Şekil 3.1. Yıllara göre dünya genelinde kurulan rüzgar enerjisi üretim santrali gücü (MW)

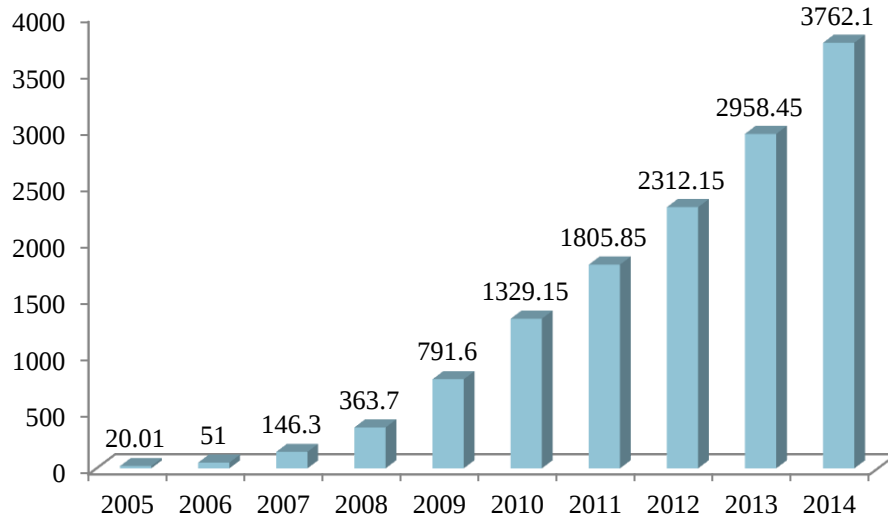


Şekil 3.2. Yıllara göre dünya genelinde kurulan toplam rüzgar enerjisi üretim santrali gücü (MW)

Şekil 3.2'ye göre 1997-2014 yılları arasında dünya genelinde kurulan rüzgar enerjisi üretim santrallerinin toplam kapasiteleri her yıl bir önceki yıla göre artarak devam etmiştir.



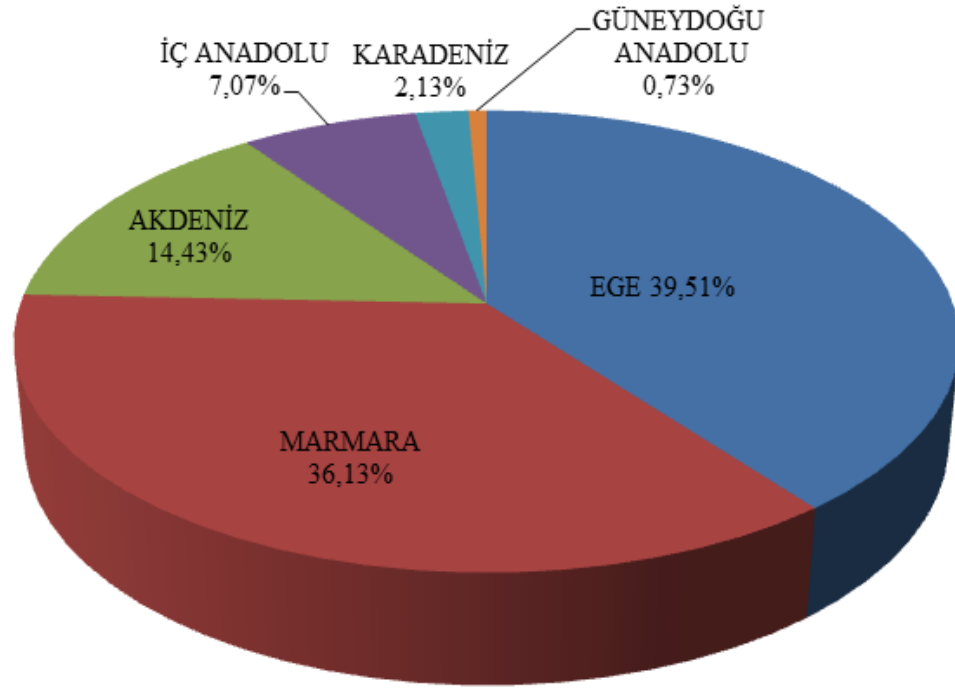
Şekil 3.3. Türkiye’deki rüzgar enerjisi santrallerinin yıllık kurulum potansiyeli (MW)



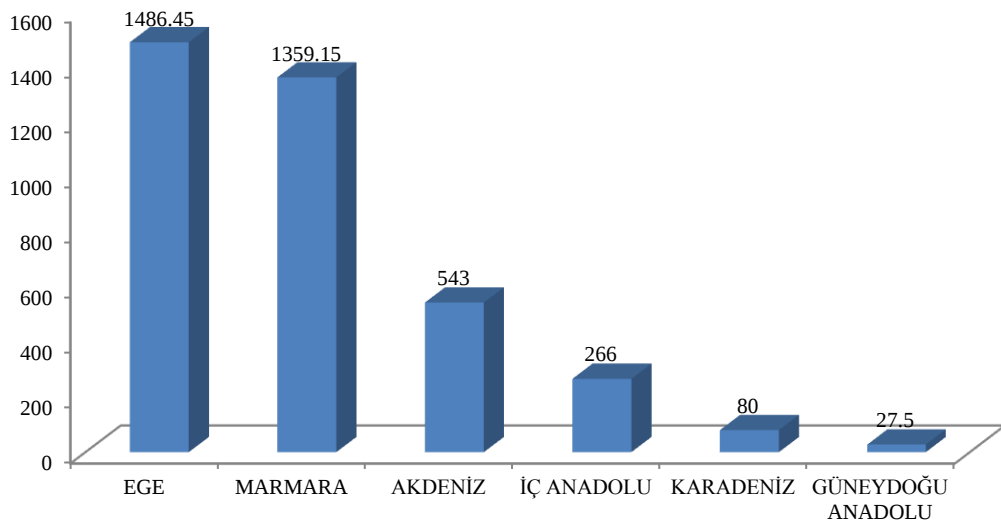
Şekil 3.4. Türkiye’deki yıllara göre rüzgar enerjisi üretim santralinin toplam gücü (MW)

Türkiye coğrafi konumu nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Rüzgar enerjisi, alternatif enerji kaynakları içerisinde önemli bir konumdadır. 2005 yılından itibaren ülkemizde rüzgar enerjisinin kurulumu ve kullanımı her geçen yıla nazaran artarak devam etmiştir. Şekil 3.3’de ülkemizde yıllık kurulan ve işletmeye alınan rüzgar enerjisi santrallerin MW cinsinden güçlerinin grafiği verilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi yıllık kurulum güçleri artarak devam etmiştir. 2011 yılında 60MW yakın kurulum kapasitesi bir önceki yıla göre düşüş göstermiştir. Şekil 3.4’te ise 2005-2014 yılları

arasında ülkemizde işletmede olan toplam rüzgar enerjisi üretim kapasiteleri belirtilmektedir. Ülkemizin 2014 yılı sonunda rüzgar enerjisi santrali açısından 3762,1MW kurulu güce sahip olduğu görülmektedir. Şekil 3.5'te işletmede olan rüzgar enerjisi santrallerinin kurulu güç bakımından bölgelere yüzdesel dağılım grafiği verilmektedir [120].

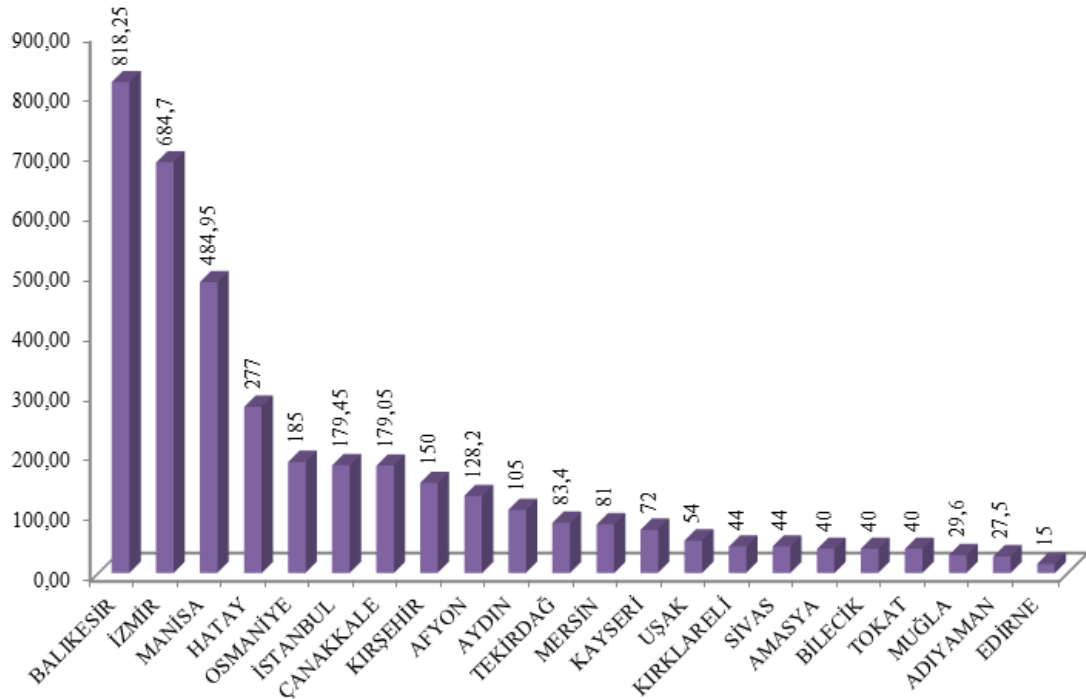


Şekil 3.5. Bölgelere göre rüzgar enerjisi üretim santralinin dağılımı



Şekil 3.6. Bölgelere göre rüzgar enerjisi üretim santralinin kurulu güçleri (MW)

Şekil 3.5'teki grafiğe göre 39,51%'lik oranla Ege bölgesi işletmede olan rüzgar enerjisi santrali açısından birinci sırada yer alırken 36,13% ile Marmara bölgesi ikinci sırada yer almaktadır. Bu bölgeleri Akdeniz, İç Anadolu, Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri takip etmektedir. Şekil 3.6'da ise rüzgar enerjisi santralının bölgelere göre kurulu güçleri MW cinsinden gösterilmektedir. Ege bölgesi rüzgar enerjisi açısından 1486,45MW kurulu güce sahip olup, Marmara bölgesi ise 1359,15MW kurulu güce sahiptir. Şekil 3.7'de işletmede olan rüzgar enerjisi santrallerinin illere göre kurulu güçlerinin dağılımı MW cinsinden verilmektedir. Balıkesir ili rüzgar enerjisinde kurulu güç bakımından 818,25MW ile birinci sırada yer alırken, İzmir ili 684,7MW, Manisa ili 484,95MW, Hatay ili 277MW ve Osmaniye ili 185MW ile Balıkesir ilinin ardından sıralanmaktadırlar. Bütün bu grafiklere göre, Marmara ve Ege bölgeleri bölgeler bazında, Balıkesir, İzmir ve Manisa illeri ise iller bazında rüzgar potansiyellerine göre ülkemizdeki rüzgar enerjisi santrallerinin daha çok kurulduğu bölgeler ve iller olarak öne çıkmaktadırlar. Muğla, Adıyaman ve Edirne ise rüzgar enerjisi santrallerinin kurulum gücü bakımından en az güce sahip iller olarak belirtilmektedirler [120].



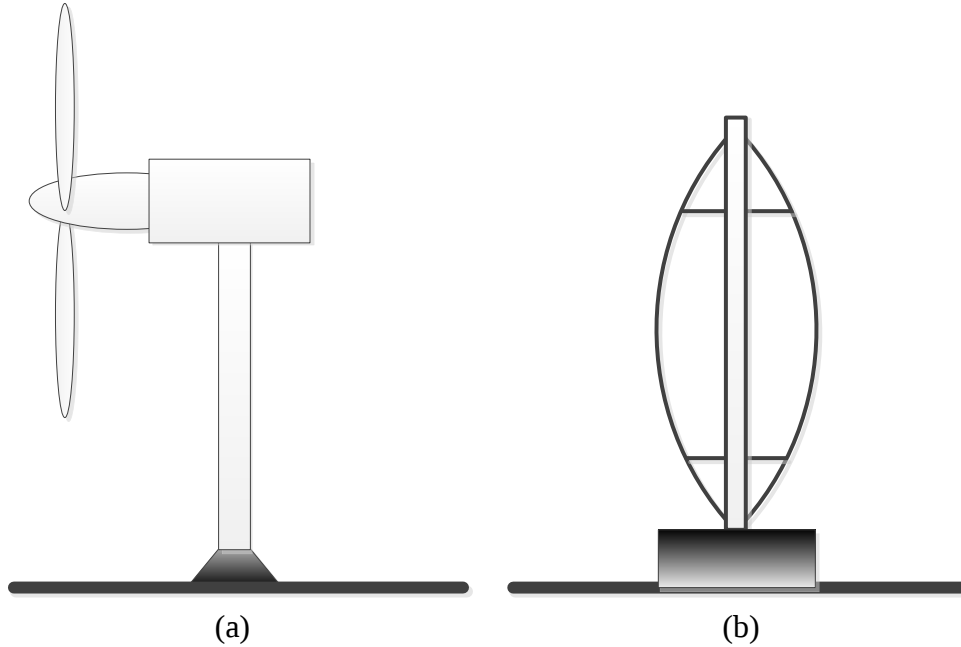
Şekil 3.7. İllere göre rüzgar enerjisi üretim santralının kurulu güçleri (MW)

3.2. Rüzgar Enerjisi Üretim Sistemleri

Rüzgar enerjisi üretim sistemleri (REÜS), rüzgar hızını pervanesi vasıtası ile hareket enerjisine çeviren ve bu enerjiyi dişli sistemi yardımıyla generatöre aktararak generatörden elektrik enerjisi elde eden sistemlerdir. Şekil 3.8’de genel olarak kullanılan rüzgar türbin modelleri gösterilmektedir. Şekil 3.8 (a)’da yatay eksenli rüzgar türbini gösterilmekte olup bu türbinlerde rotor yer konumuna göre yatay ekseninde çalışmaktadır. Şekil 3.8 (b)’de gösterilen düşey eksenli rüzgar türbininde ise dönme eksenini rüzgar yönüne dik olup, kanatları düşey konumdadır. REÜS kanatlar, kuyruk, kule, rotor, vites kutusu, eğim donanımı, fren sistemi, generatör, doğrultucu ve gerilim düzenleyici, akü, evirici gibi parçalardan oluşmaktadır [102, 121,122].

Rüzgar türbinleri yapılarına, güçlerine, çalışma hızlarına ve şebeke bağlantı durumlarına göre sınıflandırılabilirler [102,123]. Yapılarına göre rüzgar türbinleri ikiye ayrılır;

- Yatay eksenli rüzgar türbini
- Düşey eksenli rüzgar türbini



Şekil 3.8. Rüzgar türbin modelleri (a) yatay eksenli rüzgar türbini, (b) düşey eksenli rüzgar türbini

Güçlerine göre rüzgar türbinleri dört sınıfa ayrılmaktadırlar.

- Mikro türbinler (50W-2kW)
- Küçük güçlü rüzgar türbinleri (2kW-40kW)
- Orta güçlü rüzgar türbinleri (40kW-999kW)
- Büyük güçlü rüzgar türbinleri (1MW'dan daha büyük)

Çalışma hızlarına göre rüzgar türbinleri iki sınıfa ayrılmaktadır.

- Sabit hızlı rüzgar türbinleri
- Değişken hızlı rüzgar türbinleri

Şebeke bağlantısı açısından düşünüldüğünde rüzgar türbinleri iki sınıfta incelenir.

- Şebekeye bağlı rüzgar türbinleri
- Şebekeden bağımsız rüzgar türbinleri

Rüzgar türbinlerinde kullanılan generatörler,

Asenkron generatörler;

- Sincap kafesli asenkron generatörler
- Rotoru sargılı asenkron generatörler;
- OptiSlip asenkron generatörler
- Çift beslemeli asenkron generatörler

Senkron generatörler;

- Rotoru sargılı senkron generatörler
- Sabit mıknatıslı senkron generatörler

Doğru akım generatörleri olmak üzere üç sınıfta incelenirler.

3.3. Rüzgar Gücü

Havada V_r hızı ile hareket eden m kütesinin sahip olduğu kinetik enerji Denklem (3.1)'de gösterilmektedir.

$$E_k = \frac{1}{2} m V_r^2 \quad (3.1)$$

Hareketli hava kütlesi, kanat süpürme alanı A olan bir rüzgar türbinin pervanesine çarptığında kinetik enerjinin bir kısmı frenlenir ve türbin kanatlarının hareket etmesi sağlanır. Türbin kanatlarına V_r hızı ile çarpan ρ_h yoğunluğundaki havanın kütesel debisi,

$$m = \rho_h V_r A \quad (3.2)$$

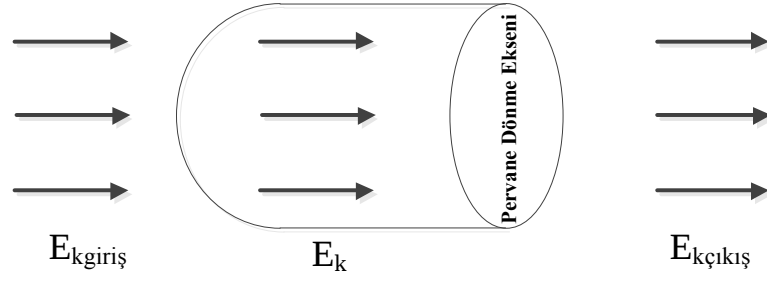
şeklinde ifade edilir. Güç birim zamanda iş yapabilme yeteneği olarak tanımlandığından, rüzgarın birim zamanda iş yapabilme yeteneği Denklem (3.3)'de gösterilmiştir. Rüzgardan elde edilebilecek teorik güç ise Denklem (3.4)'te gösterilmiştir.

$$P_r = \left(\frac{1}{2} m V_r^2 \right) / t \quad (3.3)$$

$$P_r = \frac{1}{2} \rho_h A V_r^3 \quad (3.4)$$

Tüm sistemlerde olduğu gibi, rüzgar dönüşüm sistemlerinde de bu teorik gücün tamamen kullanılması mümkün değildir. Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemindeki toplam verim, türbin verimine, dişli mekanizmasının verimine, mekanik kavrama sisteminin verimine ve generatör verimine bağlı olup, bunlardan en önemlisi C_p ile ifade edilen türbin verimidir. Rüzgar türbininden elde edilecek verimin 59,26%'yı aşamayacağı Betz tarafından ortaya konulmuştur [122,124,125].

Rüzgar pervanesinden geçen havanın enerji hareketi Betz teoremine göre Şekil 3.9'da gösterilmektedir [122,124,125].



Şekil 3.9. Rüzgar türbini pervanesinden geçen havanın enerji hareketi

Rüzgar pervanesinden geçen havanın enerji dengesi Denklem (3.5)'teki gibi ifade edilir.

$$E_k = E_{kgiriş} - E_{kçıkış} \quad (3.5)$$

Hareket halindeki rüzgarın taşıdığı kinetik enerji,

$$E_k = \frac{1}{2} m (V_r^2 - V_{r2}^2) \quad (3.6)$$

şeklinde ifade edilir. Birim zamanda türbinden elde edilecek güç Denklem (3.7)'de gösterilmektedir.

$$P_t = \frac{E_k}{t} = \frac{1}{2} \frac{dm}{dt} (V_r^2 - V_{r2}^2) \quad (3.7)$$

Burada dm/dt ifadesi m ile gösterilirse türbinden elde edilecek güç Denklem (3.8)'deki gibidir.

$$P_t = \frac{1}{2} m (V_r^2 - V_{r2}^2) \quad (3.8)$$

Rüzgarın türbin kanatlarında yapacağı iş, rüzgar tarafından kanatlara uygulanan birim zamandaki basınca bağlı olup,

$$P_t = S V_{r1} \quad (3.9)$$

şeklinde ifade edilir. Rüzgar türbinin kanatlarına yapacağı basınç ise Denklem (3.10) gösterilmektedir.

$$S = m(V_r - V_{r2}) \quad (3.10)$$

Denklem (3.8) ve Denklem (3.9)'daki ifadeler birbirlerine eşitlenip, Denklem (3.10)'da yerine konursa, Denklem (3.11)'deki ifade elde edilir.

$$mV_{r1}(V_r - V_{r2}) = (1/2)m(V_r^2 - V_{r2}^2) \quad (3.11)$$

Buradan,

$$V_{r1} = \frac{1}{2}(V_r + V_{r2}) \quad (3.12)$$

şeklinde ifade elde edilir. Denklem (3.2)'deki ifade kullanılarak türbinden geçen havanın kütesel debisi Denklem (3.8)'de yerine yazıldığında Denklem (3.13) elde edilir.

$$P_t = \frac{1}{2}\rho_h AV_{r1}(V_r^2 - V_{r2}^2) \quad (3.13)$$

Denklem (3.12)'deki ifade Denklem (3.13)'de yerine yazılırsa,

$$P_t = \frac{1}{4}\rho_h A(V_r + V_{r2})(V_r^2 - V_{r2}^2) \quad (3.14)$$

ifadesi elde edilir. P_t ve P_r değerleri birbirlerine oranlandığında,

$$C_p = \frac{P_t}{P_r} = \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{V_{r2}}{V_r} \right)^2 \right] \left[1 + \left(\frac{V_{r2}}{V_r} \right) \right] \quad (3.15)$$

türbin verimi olan C_p elde edilmektedir.

$$\frac{V_{r2}}{V_r} = n \quad (3.16)$$

olarak ifade edildiğinde C_p değeri Denklem (3.17)'deki gibi bulunur.

$$C_p = \frac{1}{2}(1 - n^2)(1 + n) \quad (3.17)$$

Türbin verim katsayısı C_p 'nin türevi alınıp sıfıra eşitlendiğinde C_p 'yi maksimum yapan n değeri $1/3$ olarak bulunur. C_p 'nin maksimum olabilmesi için rüzgar giriş hızı türbinden çıkış hızının 3 katı olacak şekilde kanatların tasarlanması gerektiğini göstermektedir. Böylece türbinden elde edilecek maksimum verim 59,26% olup, pratikte bu değer 45% olmaktadır [122,124,125].

3.4. Rüzgar Türbininde Kullanılan Generatörler

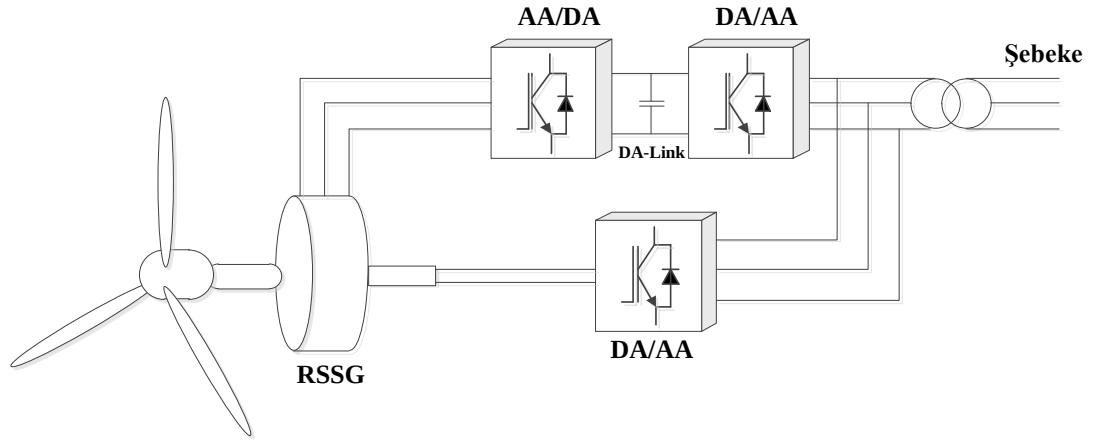
Rüzgar enerjisi üretim sistemlerinde türbinin ürettiği mekanik enerjisi en az kayıpla elektrik enerjisine dönüştürmek için, farklı hız ve çıkış kombinasyonları kullanılmakta olup, rüzgar türbinlerinde üç çeşit generatör tipi kullanılmaktadır [125, 126].

3.4.1. Doğru akım generatörleri

Doğru akım makinaları, düşük güvenilirlik ve bakım gerektirmesi gibi dezavantajlara sahip olmasına rağmen, hız kontrollerinin kolay olması nedeniyle endüstride yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. DA generatörleri elektriğin şebekeden bağımsız olarak kullanıldığı yerlerde kurulan küçük güçlü rüzgar türbinlerinde tercih edilmektedir [125, 126].

3.4.2. Senkron generatörler

Senkron generatörler stator ve rotor olmak üzere iki ana kısımdan oluşmaktadırlar. Üç fazlı sargıların oluşturduğu ve harici bir yükü besleyen kısma stator, manyetik alanın meydana geldiği kısma ise rotor denilmektedir. Manyetik alan, daimi mıknatıslardan ya da sargılardan akan akımdan üretilir. Rüzgar türbinlerinde kullanılan senkron generatör, rotoru sargılı (alan sargılı) ve sabit (daimi) mıknatıslı senkron generatörler olmak üzere ikiye ayrılır [125, 126].



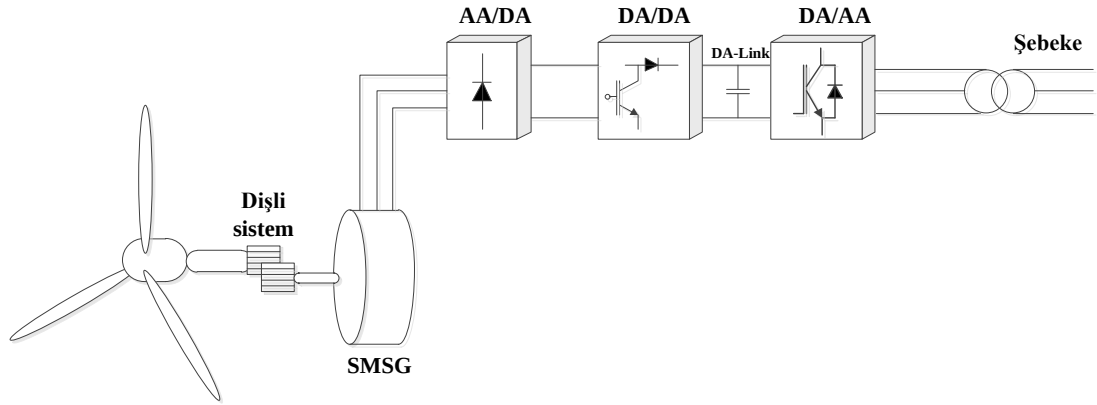
Şekil 3.10. Rotoru sargılı senkron generatörlü rüzgar türbin sistemi

- Rotoru sargılı (alan sargılı) senkron generatörler

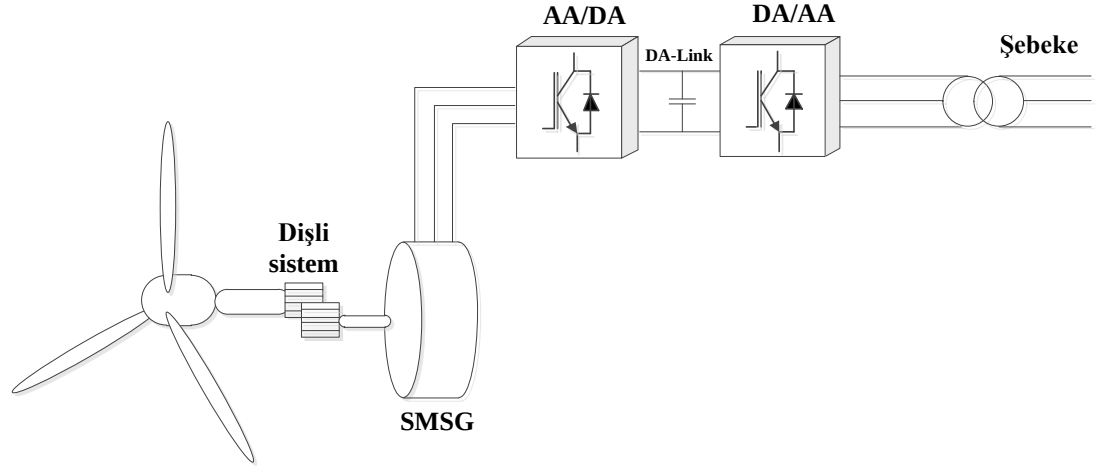
Rotoru sargılı senkron generatörün stator sargısı çift yönlü akım akışının olabildiği gerilim kaynaklı iki eviricinin arka arkaya bağlanmasından meydana gelmiş tam ölçekli güç dönüştürücüsü üzerinden şebekeye bağlanmaktadır. Şekil 3.10'da değişken hızlı RSSG'ye ait rüzgar türbin sisteminin blok diyagramı gösterilmiştir [126]. Rotor sargısı veya alan sargısı kontrollü bir doğrultucu tarafından beslenmektedir. Şebeke tarafındaki evirici aktif ve reaktif gücü denetlerken, stator tarafındaki evirici ise elektromanyetik torku denetlemektedir [125, 126].

- Sabit (daimi) mıknatıslı senkron generatörler

Şekil 3.11'de üç fazlı kontrolsüz doğrultucunun ardına yükseltici tip DA-DA kıyıcısının DA barasına bağlanmış, bu bara ise DA-AA eviricisi vasıtası ile şebekeye bağlandığı sabit mıknatıslı senkron generatörün kullanıldığı rüzgar türbini blok diyagramı gösterilmektedir. Şebeke tarafındaki evirici giriş güç faktörünü kontrol ederken aynı zamanda DA bara geriliminide regüle etmektedir. DA-DA kıyıcısı ise sistemde elektromanyetik torku kontrol etmektedir [126]. Şekil 3.12'de ise farklı SMSG'li rüzgar güç sistemi görülmektedir. Bu sistemde iki evirici bir DA barası üzerinde arka arkaya bağlanarak şebeke bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Bu sistemin Şekil 3.11'deki sisteme göre avantajı alan yönlendirmeli kontrol kullanılarak generatör ve güç elektroniği devresindeki kayıpları azaltıp, optimal çalışma noktasına yakın bir çalışma elde edilmesidir [126].



Şekil 3.11. Yükseltici DA-DA kırıyıcı MSG rüzgar türbin sistemi



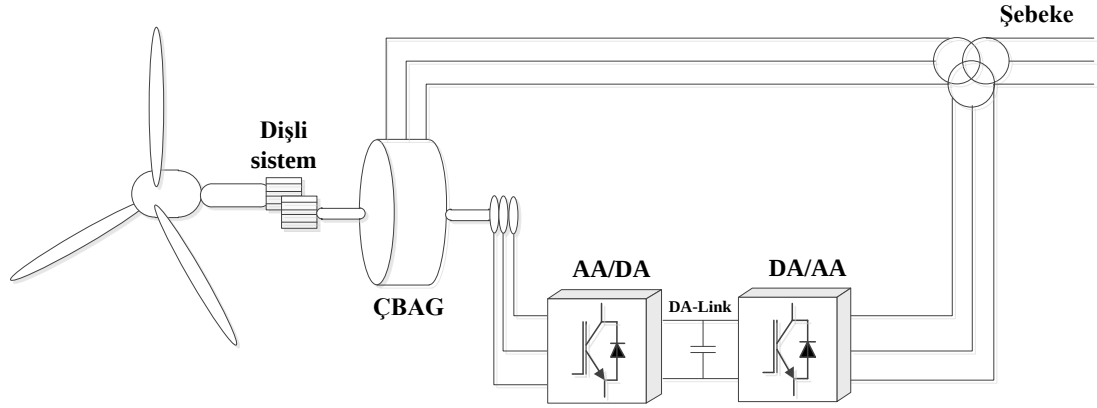
Şekil 3.12. Çift eviricili MSG rüzgar türbin sistemi

3.4.3. Asenkron generatörler

Rüzgar türbinlerinde, alternatif akım üretmek için asenkron generatörlerde kullanılmaktadır. Emniyetli olmaları ve maliyetlerinin düşük olması en önemli tercih sebebidir. Rüzgar türbinlerinde rotoru sargılı (alan sargılı) veya sincap kafesli olmak üzere iki tip asenkron generatör kullanılmaktadır [126].

- Çift beslemeli asenkron generatör

Çift beslemeli asenkron generatör kullanılan rüzgar enerjisi üretim sistemlerinde stator sargıları şebeke doğrudan bağlanırken rotor sargıları çift yönlü akım akışının olabildiği gerilim kaynaklı iki evirici üzerinden şebekeye bağlanmaktadır.

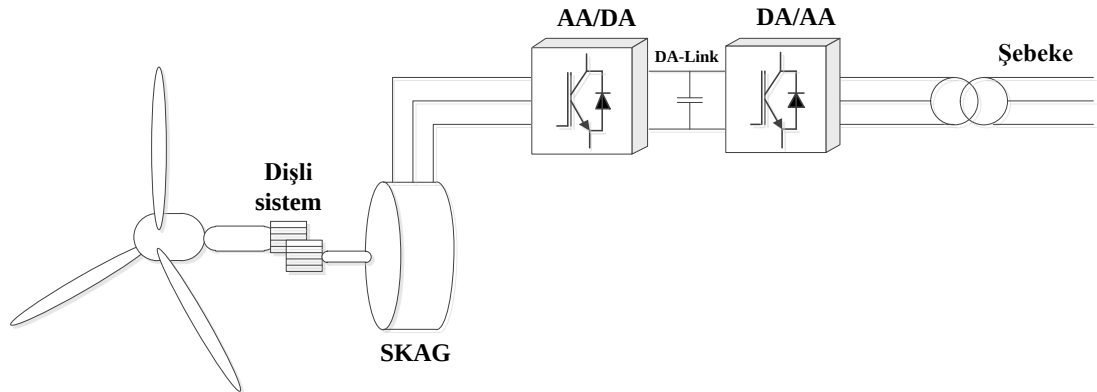


Şekil 3.13. ÇBAG rüzgar türbin sistemi

Rotor tarafındaki dönüştürücü generatörün ihtiyacı olan reaktif gücü sağlamakta ve manyetik torku ayarlamaktadır. Şebeke tarafındaki dönüştürücü ise DA bara gerilimini sabit tutmaktadır. Şekil 3.13’de ÇBAG’nin kullanıldığı rüzgar türbin sistemine ait blok diyagram gösterilmiştir [125, 126].

- Sincap kafesli asenkron generatör

Sincap kafesli asenkron generatör rüzgar türbinlerinde kullanılan asenkron generatör çeşitlerinden biridir. Şekil 3.14’de SKAG’nin kullanıldığı rüzgar türbin sistemine ait blok diyagram gösterilmekte olup, iki evirici bir DA barası üzerinde arka arkaya bağlanarak şebeke bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Stator tarafındaki evirici manyetik torku kontrol etmekte ve generatörün ihtiyacı olan reaktif gücü sağlamaktadır. Şebeke tarafındaki evirici ise sistemden şebekeye aktarılan aktif ve reaktif denetlemekte ve DA bara gerilimini sabit tutmaktadır [125, 126].



Şekil 3.14. SKAG rüzgar türbin sistemi

3.5. Rüzgar Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları

Rüzgar enerjisinin avantajlarını ve dezavantajlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz [102,118,127].

3.5.1. Rüzgar enerjisinin avantajları

- Rüzgar türbinleri yakıt olarak rüzgarı kullandıklarından fosil yakıtlı, kömür ve doğal gazlı santraller gibi çevreyi kirletmezler. Doğa dostu bir enerji çeşididir.
- Hiçbir zaman bitmeyen bir enerji çeşidi olup, enerji üretim sırasında hammadde maliyeti yoktur.
- Tek tek kurulabildiği gibi rüzgar türbinlerinin birleşmesi ile rüzgar çiftlikleri oluşturulur.
- Rüzgar türbinleri veya çiftlikleri kuruldukları alanlarda tarım ve hayvancılığı etkilemez. Bu nedenle tarım ve hayvancılık faaliyetleri devam ettirilir.
- Rüzgar çiftliklerinin söküm maliyeti sökülen türbinlerin hurda maliyetinden karşılanmaktadır.
- Sadece karaya değil aynı zamanda deniz veya okyanuslara da kurulabilirler.

3.5.2. Rüzgar enerjisinin dezavantajları

- İlk kurulum maliyetleri yüksektir.
- Rüzgar hızı değişken olduğu için üretilen enerji değişkendir.
- Gürültü kirliliğine ve kuş ölümlerine neden olabilirler.
- Betz limiti nedeniyle elde ettiği mekanik gücün 59%'unu kullanabildiği için verimleri düşüktür.

3.6. Asenkron Makinalar

Alternatif gerilimle çalışan, elektrik enerjisini hareket enerjisine dönüştüren elektrik makinalarıdır. Değişik güçlerde hem motor hem de generatör olarak çalıştırılabilirler.

Rotor, stator, rotor yatakları, pervane ve yan kapaklardan meydana gelmiş elektromekanik enerji dönüşümü yapabilen elektrik makinalarıdır. Motor olarak çalıştırıldıklarında statorundan verilen elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirerek milinden yüke aktaran elektrik makinalarıdır. Sincap kafesli veya kısa devre rotorlu asenkron motor, çoğunlukla motor olarak kullanılıp statoru 3, rotoru m fazlı bir yapıya sahiptir. Toplu parametrelili model oluşturulurken önce motora ait eşdeğer devre parametreleri aşağıdaki denklemler ile tanımlanabilir [128].

$$[R_s] = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix}_{3 \times 3} \quad [L_s] = \begin{bmatrix} L_s & M_{ss} & M_{ss} \\ M_{ss} & L_s & M_{ss} \\ M_{ss} & M_{ss} & L_s \end{bmatrix}_{3 \times 3} \quad (3.18)$$

$$[R_r] = \begin{bmatrix} 2(R_h + R_\zeta) & -R_\zeta & 0 \dots & 0 \dots & -R_\zeta \\ -R_\zeta & 2(R_h + R_\zeta) & -R_\zeta & 0 \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -R_\zeta & 0 & 0 \dots & R_\zeta & 2(R_h + R_\zeta) \end{bmatrix}_{m \times m} \quad (3.19)$$

$$[L_r] = \begin{bmatrix} L_r & M_{rr} & . & . & M_{rr} \\ M_{rr} & L_r & . & . & M_{rr} \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ M_{rr} & . & . & . & L_r \end{bmatrix}_{m \times m} \quad (3.20)$$

Burada s ve r indisleri stator ve rotor devre büyüklüklerini göstermekte olup, stator faz sargıları ile rotor çubukları arasındaki ortak endüktans matrisi makinanın açısall konumuna bağlı olarak Denklem (3.21)'de gösterilmektedir.

$$[M_{s,r}(\theta)] = M_m \begin{bmatrix} \text{Cosp}\theta & \text{Cos}\left(p\theta + \frac{2\pi}{m}\right) & \dots & \text{Cos}\left(p\theta + \frac{2(m-1)\pi}{m}\right) \\ \text{Cos}\left(p\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \text{Cos}\left(p\theta - \frac{2\pi}{3} + \frac{2\pi}{m}\right) & \dots & \text{Cos}\left(p\theta - \frac{2\pi}{3} + \frac{2(m-1)\pi}{m}\right) \\ \text{Cos}\left(p\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \text{Cos}\left(p\theta + \frac{2\pi}{3} + \frac{2\pi}{m}\right) & \dots & \text{Cos}\left(p\theta + \frac{2\pi}{3} + \frac{2(m-1)\pi}{m}\right) \end{bmatrix}_{3 \times m} \quad (3.21)$$

Rotor çubukları ve stator faz sargıları arasındaki karşıt endüktans denklemi Denklem (3.22) ile ifade edilir.

$$[M_{r,s}(\theta)] = [M_{s,r}(\theta)]^T \quad (3.22)$$

Rotor ve stator endüktanslarının bir araya getirilmesi ile toplam endüktans matrisi Denklem (3.23)'te gösterilir. Burada L_s matrisi 3×3 boyutunda L_r matrisi $m \times m$ boyutunda $M_{s,r}$ matrisi ise $3 \times m$ boyutundaki matrislerdir.

$$[L_{s,r}(\theta)] = \begin{bmatrix} [L_s] & [M_{s,r}(\theta)] \\ [M_{r,s}(\theta)] & [L_r] \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

Akım ve gerilim ifadeleri vektör formda Denklem (3.24)'teki gibi ifade edilir.

$$[I_s] = \begin{bmatrix} I_{as} \\ I_{bs} \\ I_{cs} \end{bmatrix} \quad [V_s] = \begin{bmatrix} V_{as} \\ V_{bs} \\ V_{cs} \end{bmatrix} \quad [V_r] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad [I_r] = \begin{bmatrix} i_{r1} \\ i_{r2} \\ \vdots \\ i_{rm} \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

a, b, c indisleri stator fazlarına 1,2,...,m indisleri ise rotor fazlarına ait indisleri ifade etmektedir. Stator ve rotor faz akıları vektör formda Denklem (3.25)'teki gibidir.

$$[\psi_s] = \begin{bmatrix} \psi_{as} \\ \psi_{bs} \\ \psi_{cs} \end{bmatrix} \quad [\psi_r] = \begin{bmatrix} \psi_{r1} \\ \psi_{r2} \\ \vdots \\ \psi_{rm} \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

Stator ve rotora ait akı ve akım arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$[\psi_s] = [L_s][I_s] + [M_{s,r}(\theta)][I_r] \quad (3.26)$$

$$[\psi_r] = [L_r][I_r] + [M_{r,s}(\theta)][I_s] \quad (3.27)$$

Stator ve rotor eşdeğer devre denklemleri için yukarıdaki denklemler kullanılarak Denklem (3.28) ve Denklem (3.29) elde edilir.

$$[V_s] = [R_s][I_s] + \frac{d}{dt}[\psi_s] = [R_s][I_s] + \frac{d}{dt} \{ [L_s][I_s] + [M_{s,r}(\theta)][I_r] \} \quad (3.28)$$

$$[0] = [R_r][I_r] + \frac{d}{dt}[\psi_r] = [R_r][I_r] + \frac{d}{dt} \{ [L_r][I_r] + [M_{r,s}(\theta)][I_s] \} \quad (3.29)$$

Elektriksel denklemlerin yanı sıra elektromekanik dönüşüm için gerekli hareket denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$M_e = \frac{1}{2} \left[\begin{bmatrix} I_s \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} I_r \end{bmatrix}^T \right] \frac{\partial}{\partial \theta} \left[L_{s,r}(\theta) \right] \begin{bmatrix} I_s \\ I_r \end{bmatrix} = J \frac{d^2 \theta}{dt^2} + B \frac{d\theta}{dt} \quad (3.30)$$

3.6.1. Asenkron makinanın d-q yapıdaki matematiksel modeli

Asenkron makinalarda sistemin analizini kolaylaştırmak için asenkron makina duran eksen takımından senkron hızla dönen bir d-q eksen takımına taşınır ve durum değişkenleri frekanstan bağımsız hale getirilir. Asenkron motora ait d-q referans yapıdaki gerilim denklemleri aşağıdaki gibidir [128].

$$\begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R'_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R'_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_s & 0 & L_m & 0 \\ 0 & L_s & 0 & L_m \\ L_m & 0 & L'_r & 0 \\ 0 & L_m & 0 & L'_r \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega_s L_s & \omega_s L_m & 0 \\ \omega_s L_s & 0 & 0 & \omega_s L_m \\ \omega_r L_m & 0 & 0 & -\omega_r L_r \\ 0 & \omega_r L_m & \omega_r L_r & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix} \quad (3.31)$$

$$M_e = p L_m (i_{sq} i_{rd} - i_{sd} i_{rq}) = J \frac{d^2 \theta}{dt^2} + B \frac{d\theta}{dt} \quad (3.32)$$

Açısal hız Denklem (3.33)'deki gibi ifade edilir.

$$\omega_s = \omega_r + p\omega \quad (3.33)$$

Burada ω_s stator akımlarının açısal hızını, ω_r rotor akımları açısal hızını ve ω motor milinin açısal hızını ifade etmektedir. Denklem (3.34)'te ifadeler gösterilmektedir.

$$\omega_s = \frac{d\theta}{dt} = 2\pi \frac{n_s}{60} \quad n_s = \frac{60f_s}{p} \quad \omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (3.34)$$

d-q eksen yapısındaki akı ve akım arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\Psi_{sd} = L_s i_{sd} + L_m i_{rd} \quad (3.35)$$

$$\psi_{sq} = L_s i_{sq} + L_m i_{rq} \quad (3.36)$$

$$\psi_{rd} = L_r' i_{rd} + L_m i_{sd} \quad (3.37)$$

$$\psi_{rq} = L_r' i_{rq} + L_m i_{sq} \quad (3.38)$$

d-q eksen yapısındaki rotor ve stator eksen takımlarına göre durum uzay modeli Denklem (3.39) ve Denklem (3.43) arasında gösterilmektedir.

$$\frac{di_{sd}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} \left[-R_E i_{sd} + \sigma L_s \omega_s i_{sq} + \frac{L_m R_r'}{L_r'^2} \psi_{rd} + p\omega \frac{L_m}{L_r'} \psi_{rq} + V_{sd} \right] \quad (3.39)$$

$$\frac{di_{sq}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} \left[-R_E i_{sq} - \sigma L_s \omega_s i_{sd} - p\omega \frac{L_m}{L_r'} \psi_{rd} + \frac{L_m R_r'}{L_r'^2} \psi_{rq} + V_{sq} \right] \quad (3.40)$$

$$\frac{d\psi_{rd}}{dt} = \frac{R_r' L_m}{L_r'} i_{sd} - \frac{R_r'}{L_r'} \psi_{rd} + \omega_r \psi_{rq} \quad (3.41)$$

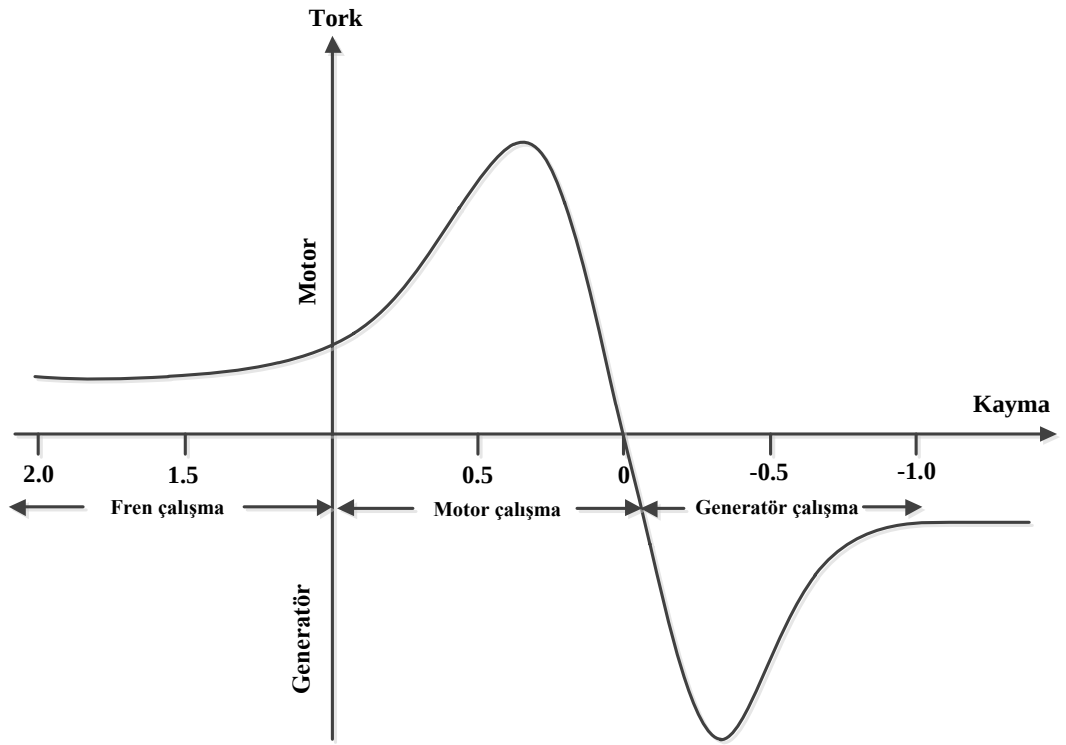
$$\frac{d\psi_{rq}}{dt} = \frac{R_r' L_m}{L_r'} i_{sq} - \omega_r \psi_{rd} - \frac{R_r'}{L_r'} \psi_{rq} \quad (3.42)$$

$$M_e = p \frac{L_m}{L_r'} (i_{sq} \psi_{rd} - i_{sd} \psi_{rq}) = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega \quad (3.43)$$

Sistemin d-q eksen yapısındaki modelinde dört adet stator ve rotor akımları ile bir adet açısal hız olmak üzere beş adet birinci dereceden denklem oluşmaktadır [128].

3.7. Asenkron Generatörler

Asenkron makinalar motor olarak çalıştırılabilirdiği gibi generatör olarak da çalıştırılabilir. Rotor, dışardan bir mekanik sürücü vasıtası ile döner alan yönünde ve senkron hızın üzerinde bir hızla döndürülmesi sonucunda sargılardan elektriksel güç elde edilir. Bu durumda, kayma sıfırdan küçük olduğu için rotor dönme sayısı senkron hızdaki dönme sayısından fazla, stator akımının yönü 180° derece değişmiş ve şebekeye enerji aktarımı yapılmaktadır. Şekil 3.15'te motorun karakteristiğinden kayma değerine bakılarak hangi şekilde çalıştığı gösterilmektedir [129].



Şekil 3.15. Asenkron makinanın tork-kayma karakteristiği

4. YAPAY SİNİR AĞLARI VE BULANIK MANTIK TEMELLİ HİBRİT PSO-YAA OPTİMİZASYON ALGORİTMASI

4.1. Yapay Sinir Ağları

YSA, insan beyninin fizyolojisi göz önünde bulundurularak geliştirilmiş ve biyolojik sinir ağlarını taklit eden bilgisayar programları olarak tanımlanabilir. Genellikle YSA programcının geleneksel yeteneklerini içermeyen, kendi kendine öğrenebilen, ezberleyebilen ve bilgiler arasında ilişkiler kurabilme becerisine sahip yapılardır. Beynin yapısından esinlenerek geliştirilen bir sinir ağının en temel bileşeninin tüm özellikleri beyinle aynı olmadığı gibi bazı özelliklerinin de beyinde biyolojik karşılığı bulunmamaktadır [130].

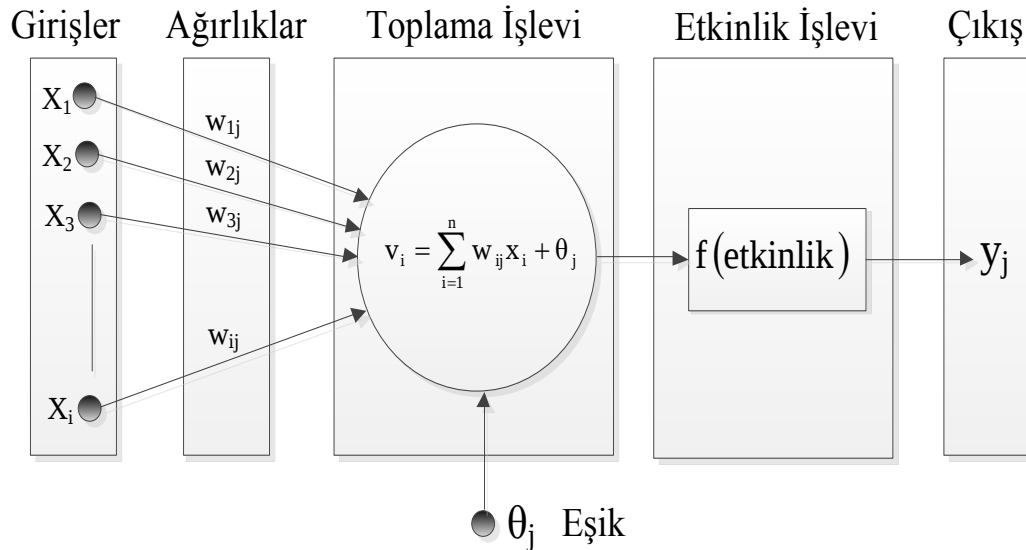
1943 yılında McCulloch ve Pitts tarafından insan beyninin hesaplama yeteneğinden esinlenerek, mantık devreleri ile oluşturulan basit bir sinir ağı modeli ile YSA üzerine ilk çalışma gerçekleştirilmiştir [131]. Wiener sinirlerin çalışması ve davranış özelliklerini ele aldığı “Cybernetics” isimli kitabını 1948 yılında yayınlarken, 1949 yılında “Organization of Behavior” isimli kitabı ile Hebb öğrenme ile ilgili temel teoriye değinmiştir. Hebb bu kitabında öğrenebilen ve uyum sağlayabilen sinir ağları modeli için temel oluşturacak Hebb Kuralı’nı ortaya koymuştur [130]. Birçok araştırmacı Hebb kuralından esinlenerek YSA’nın performansını arttırıcı çalışmalarda bulunmuşlardır. 1957 yılında Rosentblatt’ın perceptron gerçekleştirmesinden sonra YSA alanındaki gelişmeler neticesinde beyin işlevlerini modelleyebilmek için tek katmanlı eğitilebilen ve tek çıkışa sahip perceptron yapısı oluşturulmuştur [130,132]. Werbos 1970 yılında geri yayımlı YSA modelini geliştirerek, ilk uygulamasını dinamik model tahmininde gerçekleştirmiştir. Ayrıca Grossberg ve Kohonen yapay sinir ağlarının geliştirilmesi konusunda önemli ilerlemeler kaydetmişlerdir. 1980’li yılların başında Hopfield geri yayımlı ağların eğitimi için Hopfield modelini ortaya koymuş ve takip eden yıllar içerisinde diğer önemli modeller bulunmuştur [130]. YSA’lar insan beyninin modellenmesine dayanmakta olup, her biri ağırlık bağlantıları ile birbirlerine bağlı çok sayıda sinir hücresine sahiptirler. Şekil 4.1’de yapay bir sinir hücresinin temel yapısı

gösterilmektedir [130]. Şekil 4.1’de gösterilen yapay sinir hücresi girişler, ağırlıklar, toplama işlevi, etkinlik işlevi ve çıkış kısmından oluşmaktadır. Girişler önceki sinirlerden veya dış dünyadan alınan bilgiyi sinire getirir. Ağırlıklar yapay sinir tarafından alınan girişlerin yapay sinir üzerindeki etkisini belirleyen uygun katsayılar olarak tanımlanırlar. Her bir giriş kendine ait bir ağırlık değerine sahip olup, ağırlık değerinin büyük olması kendisine ait girişin yapay sinire güçlü bağlanması ya da önemli olması, küçük olması zayıf bağlanması ya da önemli olmaması anlamına gelmektedir. Toplama işlevi v_i , sinirdeki her bir girişin kendisine ait ağırlıklar ile çarpımının toplamı eşik θ_j değeri ile toplanarak etkinlik işlevine gönderildiği kısım olarak ifade edilir. Toplama işlevinin sonucu etkinlik işlevinden geçirilerek çıkışa iletilir. Çıkış etkinlik işlevi sonucunda bilginin dış dünyaya ya da kendinden sonra gelen bir sinire giriş olarak gönderildiği yerdir [130].

4.1.1. Yapay sinir ağlarının üstünlükleri

YSA’nın klasik sistemlere göre üstünlükleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir [133,134].

- Doğrusal olmama: Bu özelliği YSA’nın doğadaki her probleme uygulanabilmesini sağlar.



Şekil 4.1. Yapay sinir hücresinin yapısı

- Öğrenme: YSA'yı diğer yaklaşımlardan ayıran başlıca özelliktir. YSA'lar bir problemi öğrenebilmesi için probleme ait giriş ve çıkış verilerine karşılık gelen çıkış verilerinin veya sadece verilerinin sağlanması gerekir.
- Genelleme yapma: Eğitim sürecinin tamamlanmasının ardından YSA eğitim verisinin dışındaki veriler içinde çıkış üretmektedir. Test verilerinin bilinen sistem çıkışları ile YSA'nın çıkış değerlerinin karşılaştırması yapılarak, ürettiği çıkışların kabul edilir düzeyde olup olmadığı incelenebilir. Bu uygulama genellemenin testi olarak bilinir.
- Adaptasyon: YSA parametreleri değişen probleme veya sisteme uygun çözümler üretebilmek için tekrar tekrar eğitilebilmektedirler. Eğitim gerçek zamanlı gerçekleştirilir.
- Veri işleme: biyolojik sistemlerde veri dağınık bir yapıda saklandığından, YSA'da ağırlıklar üzerine paralel olarak dağıtılmış bir şekilde temsil edilmekte, korunmakta ve işlenmektedir. Ağırlıklar herhangi bir anda YSA'nın problemle ilgili olarak sahip olduğu bilgiyi ifade etmektedirler.
- Hataya, gürültüye karşılık duyarlılık ve tolerans: YSA'nın genelleme yeteneği gerçekleştirilen testler ile sınanmaktadır. Genelleme, yeterli seviyede ise giriş vektörünü tanımlayan parametrelerden bazılarının verilmemesi veya sağlanmaması durumunda ya da ağırlıklardan bazılarının kullanılmaz duruma gelmesi halinde de giriş vektörünü karşılayan çıkış verilerinin YSA tarafından kabul edilebilir doğrulukta üretilmesidir.
- Donanım: YSA'lar paralel yapısı nedeniyle büyük ölçekli entegre devre teknolojisi ile oluşturulabilmektedir. Bu özelliği, hızlı bilgi işleme yeteneğini ve örnek tanıma, işaret işleme, sistem kimliklendirme ve denetim gibi gerçek zaman uygulamalarındaki kullanımını arttırmaktadır.

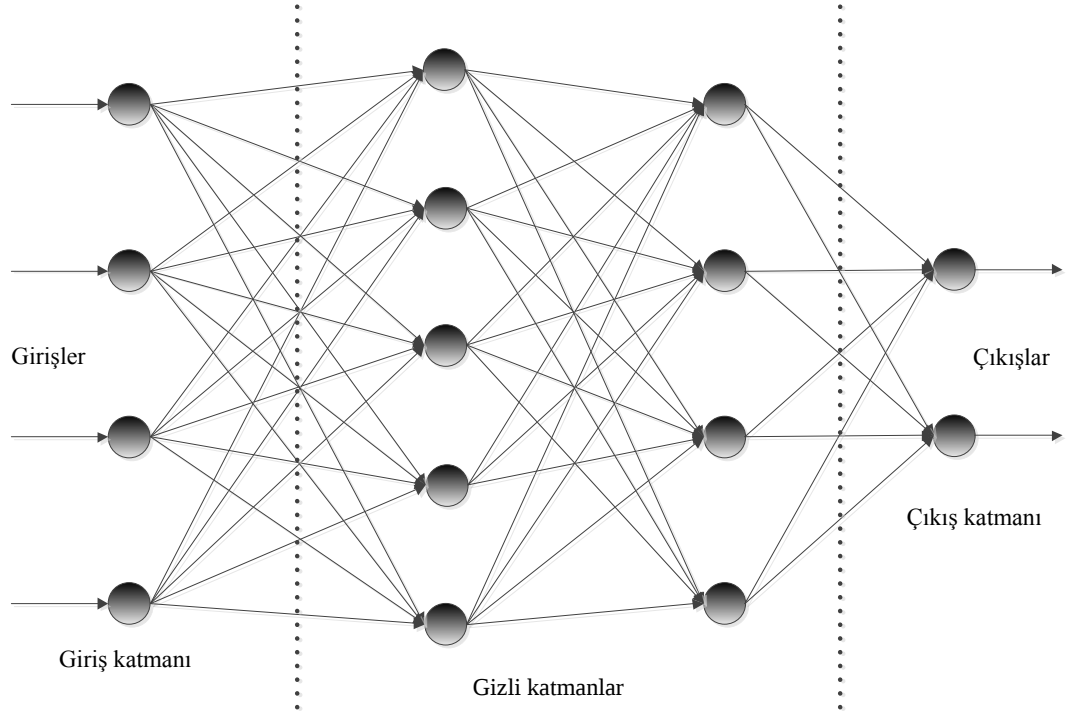
4.1.2. Yapay sinir ağının oluşturulması

Sinir olarak adlandırılan çok sayıdaki hücrenin veya işlem elemanının bir araya gelmesinden YSA oluşturulur. YSA'daki her bir sinir hücresi, kendisinden sonra gelen tüm sinir hücrelerine bağlanabildiği gibi sadece farklı katmanlardaki sinir hücrelerine de bağlanabilme özelliğine sahiptirler [108,133,134]. Hiyerarşik sinir ağı en çok üzerinde çalışılmış ağ yapısı olması özelliği, Rosentblatt'ın 1958 yılında öğrenme yeteneğine sahip olan örnek tanıma aygıtını ortaya çıkarmış olmasından

kaynaklanmaktadır. Hiyerarşik sinir ağı düğümlerin sıralı bir şekilde bağlanmasından oluşmaktadır. Bu ağın özelliği sahip olduğu basit dinamiklerdir. Giriş katmanına gelen bilgi sinirler arasındaki bağlantılar yoluyla diğer katmana iletilmektedir. Bilgi diğer katmanlara iletilmeden önce giriş katmanının düğümleri tarafından üzerinde basit bir işleme tabi olur. Son katman olan çıkış katmanına kadar bu süreç devam eder. Verilen bilgi ilk katmandaki giriş ağı içinde ileri doğru yayılır. Her bir katmandaki düğümlere önceki katmandaki düğümlerden gelen girişlere izin verilir. Bir düğüm kendisinden sonraki herhangi bir düğüme bağlanabilirken kendisine asla bağlanamaz. Son katmana gelen bilgiler ağın çıkışı olarak ifade edilir [130,133,134].

Geri beslemeli ve tekrarlanan ağı yapılarında en azından bir düğüm geriye yayıldığı bir dönüş bağlantısı bulunmaktadır. Tekrarlanan ağı yapıları tamamen veya parçalı olarak geri besleme yollarına sahip olduklarından tasarımları ve davranışları oldukça karmaşıktır. Sadece giriş ve çıkış katmanları olan gizli katmanı olmayan ağı yapıları karmaşık işlevleri hesaplama yeteneğinden yoksundur. Bu nedenle karmaşık hesaplamaların yapılabilmesi için oluşturulan ağı yapılarında bir gizli katman bulunmalıdır. Burada her bir sinir doğrusal olmayan bir etkinlik işlevini hesaplayabilmektedir. Şekil 4.2’de iki gizli katmana sahip dört katmanlı bir YSA yapısı görülmektedir.

Şekil 4.2’de gösterilen ağı yapısının bir katmanındaki her bir sinir bir sonraki katmanın bütün sinirleri ile bağlantılıdır. Aynı katmandaki sinirler arasında veya geri besleme şeklinde bağlantılar yoktur. Giriş katmanından alınan bilgiler, giriş katmanı ve gizli katman arasında bulunan bağlantı ağırlıkları ile çarpılarak gizli katmana gönderilir. Gizli katmandaki sinirlere gelen girişler toplanıp etkinlik işlevinden geçirildikten sonra gizli katman ile çıkış katmanı arasındaki bağlantı ağırlıkları ile çarpılarak çıkış katmanına iletilir. Çıkış katmanındaki sinirlerde kendisine gelen bu bilgileri toplayarak buna uygun bir çıkış üretirler. Bu tip YSA yapısında giriş katmanından çıkış katmanına doğru oluşturulan gizli katmanlar üzerinden tek yönlü bir iletişim bulunmaktadır [130,133,134].



Şekil 4.2. Dört katmanlı YSA yapısı

4.1.3. Yapay sinir ağlarında öğrenme

Sinir ağlarında istenen sonucun elde edilebilmesi için uygun değerli ağırlıklar ve doğru bağlantılar seçilerek ağın uyarlanabilir olması sağlanmalıdır. Ağın bu koşulları karşılayabilmesi için ya sistemin davranışlarını öğrenmeli ya da kendi kendini örgütlemelidir. Kalıcı yenilenmeler için gözlemlene veya eğitim faaliyetlerinden çıkan sonuçlar öğrenme olarak tanımlanabilir. Öğrenme YSA'nın ayrılmaz bir parçası olduğu için giriş değerlerine veya bu girişlerin çıkışlarına bağlı olarak ağın bağlantı ağırlıklarını değiştiren veya ayarlayan kural ile öğrenme gerçekleştirilir. YSA'da bilgi, ağdaki düğümleri birbirine bağlayan bağlantıların ağırlıklarında depolanmaktadır. Bir ağda öğrenme, istenen işlevi yerine getirecek şekilde ağırlıkların ayarlanma sürecidir. YSA'da öğrenme ağırlıkların değiştirilmesi ile gerçekleştirilirken, sinirler arası bağlantılar üzerindeki ağırlıkların belirli bir yöntem uyarınca dinamik olarak değiştirilebilen ağlar eğitilebilirler. Eğitilebilen ağlar, gönderilen bir girişin hangi sınıfa ait olduğuna karar verirken yeni şekilleri de tanımlayabilmektedir [130,133,134].

4.1.4. Öğrenme oranının ağ üzerindeki etkisi

Öğrenme oranı ağ performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Öğrenme oranının değerleri ağın eğitimi işleminde küçük bir değer olarak seçilirse eğitime işlemi uzun zaman alırken bu değerın büyütülmesi ile eğitime işlemi daha kısa zaman içinde tamamlamaktadır. Öğrenme oranının değerinin artırılması ile öğrenme için gerekli adım sayısında azalma ve ağın toplam hatası üzerinde bir iyileştirme meydana gelmektedir. Öğrenme oranının çok büyük değerlerde verilmesi durumunda pek bir yakınsama olayı meydana gelmemektedir [130,133,134].

4.1.5. Momentum teriminin ağ üzerindeki etkisi

Momentum teriminin hesaplamalara ilave edilmesi sonucunda ağ performansı üzerinde momentum teriminin etkili olduğu görülmüştür. Momentum teriminin hesaplamaya katılmasıyla adım sayısında ve toplam ağ hatasında bir düşüş meydana gelirken, bu terimin yüksek alındığı ağ yapısında hatanın sifıra doğru daha fazla eğilimle yaklaştığı görülmektedir [130,133,134].

4.1.6. Gizli katman sinir sayısının ağ üzerindeki etkisi

Gizli katmandaki sinir sayılarının artması bilgisayarda yapılan benzetim sırasında hem hafızayı hem de işlemcinin yükünü arttırırken öğrenme işlemini daha hassas tamamlamaktadır. Gizli katmandaki sinir sayısının az miktarda alınması ağın hatırlama yeteneğini olumsuz yönde etkileyebilmektedir [130,133,134].

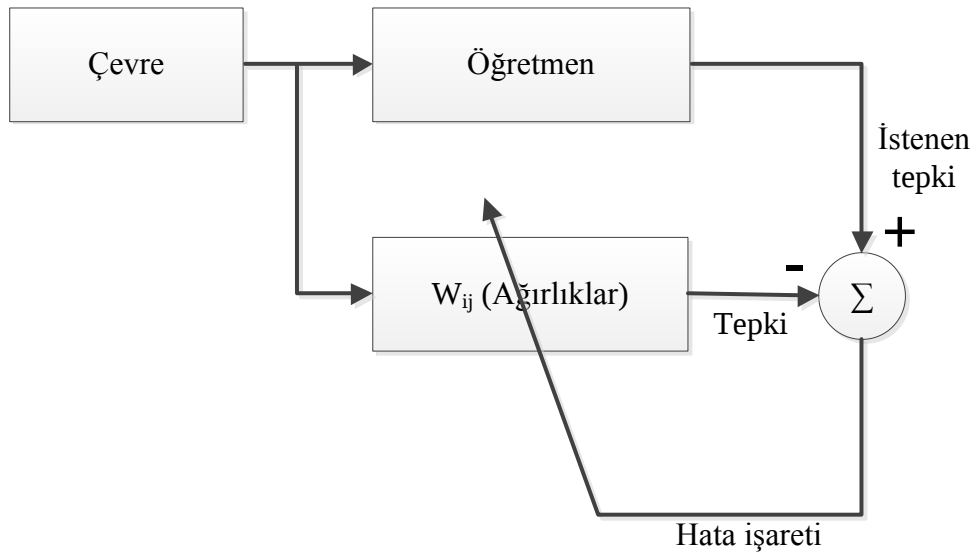
4.1.7. Hata farkı değişkeninin ağ üzerindeki etkisi

Hata farkı değeri ya da tolerans istenilen toplam çıkış hatasındaki hassasiyetle ilgilidir. Küçük tolerans değerleri ağdaki toplam çıkış hatasının sifıra doğru yaklaştırarak bağlantı ağırlıklarındaki hassasiyeti de aynı oranda arttırmaktadır. Bu değerin küçülmesi ağın eğitim süresini ve adım sayısını arttırmaktadır [130,133,134].

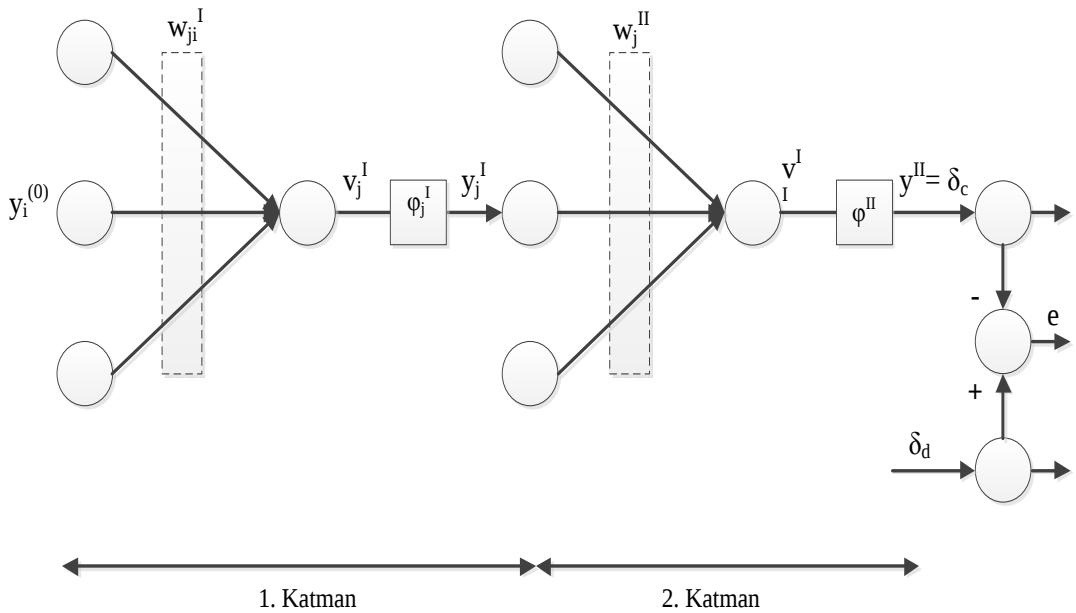
4.1.8. Danışmanlı geri yayımlı yapay sinir ağı modeli

Danışmanlı öğrenmede giriş ve çıkış çiftlerinden oluşan eğitim bilgileri bulunmaktadır. Ağ girişine gelen bilgiye göre ürettiği çıkış değerini, istenilen çıkış değeri ile karşılaştırarak ağırlıkların güncellenmesinde kullanılacak bilgiyi elde eder.

İstenilen değer ile ağıın ürettiği çıkış değeri arasındaki fark hata değeri olarak önceden belirlenmiş değerden küçük oluncaya kadar devam edilir. Hata değeri istenilen hata değerinin altına düştüğünde tüm ağırlıklar sabitlenerek ağıın eğitim işlemi sonlandırılır [130,134]. Danışmanlı öğrenme modeli Şekil 4.3'te gösterilmiştir. YSA'da sinir ağılarının ağırlıklarının ayarlanmasında geri yayılım tekniği çok güçlü bir metottur. Şekil 4.4'te tek çıkışlı iki katmanlı geri yayımlı bir YSA modeli gösterilmiştir. Tek çıkışlı iki katmanlı sinir ağılarındaki ağırlıklar aşağıdaki denklemlere göre her adımda güncelleştirilir [133,134].



Şekil 4.3. Danışmanlı öğrenme modeli



Şekil 4.4. Tek çıkışlı iki katmanlı geri yayımlı YSA yapısı

I. katmandaki ağırlık değerinin bulunması Denklem (4.1)'de verilmiştir.

$$w_{ji}^I(k) = w_{ji}^I(k-1) + \Delta w_{ji}^I(k) \quad (4.1)$$

II. katmandaki ağırlık değerinin bulunması Denklem (4.2)'de verilmiştir.

$$w_j^{II}(k) = w_j^{II}(k-1) + \Delta w_j^{II}(k) \quad (4.2)$$

Denklem (4.1) ve (4.2)'deki Δw_{ji}^I ve Δw_j^{II} ağırlık değişimlerinin bulunması için gerekli hesaplamalar aşağıdaki gibi gerçekleştirilir.

Hata $e=e(t)$ istenen çıkış değeri $\delta_d = \delta_d(t)$ ile gerçek çıkış değeri $\delta_c = \delta_c(t)$ arasındaki farktır. Hata değeri Denklem (4.3)'e göre hesaplanır.

$$e(t) = \delta_d(t) - \delta_c(t) \quad (4.3)$$

Performans veya performans indeksi (E), hatanın (e) karesinin yarısı olarak Denklem (4.4)'deki gibi gösterilir.

$$E = \frac{1}{2} e^2 = \frac{1}{2} (\delta_d - \delta_c)^2 \quad (4.4)$$

Geriye yayılım algoritmasında performans indeksi (E)'nin minimize edilmesine çalışılmaktadır. Şekil 4.4'te gösterilen iki katmanlı sinir ağında $y^{II} = \delta_c$ ifadesi ikinci katmanın çıkışı ya da sinir ağının çıkışı olarak ifade edilir. y^I ise birinci katmandaki sinirin çıkışı olup aynı zamanda ikinci katmanın girişidir. Çıkış katmanından itibaren performans indeksi Denklem (4.5)'deki gibi ifade edilir.

$$\frac{\partial E}{\partial w_j^{II}} = \frac{\partial E}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial y^{II}} \frac{\partial y^{II}}{\partial v^{II}} \frac{\partial v^{II}}{\partial w_j^{II}} \quad (4.5)$$

$y_j^I = \frac{\partial v^{II}}{\partial w_j^{II}}$ ifadesi Denklem (4.5)'de yerine konulduğunda Denklem (4.6) elde edilir.

$$\frac{\partial E}{\partial w_j^{II}} = \frac{\partial E}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial y^{II}} \frac{\partial y^{II}}{\partial v^{II}} y_j^I \quad (4.6)$$

Denklem (4.6)'nın sağ tarafındaki türevli kısım δ^{II} gibi bir değişkenle ifade edildiğinde Denklem (4.7) elde edilir.

$$\delta^{\text{II}} = \frac{\partial E}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial y^{\text{II}}} \frac{\partial y^{\text{II}}}{\partial v^{\text{II}}} \quad (4.7)$$

Bu ifadeden yararlanarak Denklem (4.6) yeniden düzenlenirse Denklem (4.8) elde edilir.

$$\frac{\partial E}{\partial w_j^{\text{II}}} = \delta^{\text{II}} y_j^{\text{I}} \quad (4.8)$$

Denklem (4.7)'deki her bir türevin bileşenlerinin açılımı aşağıdaki gibi yapılır. Denklem (4.9)'da performans indeksi ile hata arasındaki türevin sonucu gösterilmektedir.

$$\frac{\partial E}{\partial e} = e \quad (4.9)$$

Denklem (4.10)'de hata ile II. Katman çıkışı veya ağın gerçek çıkışı arasındaki türevin sonucu verilmiştir.

$$\frac{\partial e}{\partial y^{\text{II}}} = -1 \quad (4.10)$$

Elde edilen bu değerler Denklem (4.7)'de yerine konulduğunda Denklem (4.11) elde edilir.

$$\delta^{\text{II}} = -e \varphi^{\text{II}}(v^{\text{II}}) \quad (4.11)$$

$$\varphi^{\text{II}}(v^{\text{II}}) = \frac{\partial y^{\text{II}}}{\partial v^{\text{II}}} \quad (4.12)$$

II. katmanın ağırlık değişimi $(\Delta w_{ji}^{\text{II}})$ öğrenme katsayısı (λ^{II}) ile orantılı olup aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\Delta w_j^{\text{II}}(k) = \lambda^{\text{II}} \frac{\partial E}{\partial w_j^{\text{II}}}(k) \quad (4.13)$$

$$\Delta w_j^{\text{II}}(k) = \lambda^{\text{II}} \delta^{\text{II}}(k) y_j^{\text{I}}(k) \quad (4.14)$$

Denklem (4.14)'de elde edilen ağırlık değişimi Denklem (4.2)'de yerine konulduğunda II. katmanın ağırlık değerleri yenilenir.

II. katman için yapılan tüm ağırlık ayarlamaları I. katman içinde yapılacaktır.

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ji}^{\text{I}}} = \frac{\partial E}{\partial y_j^{\text{I}}} \frac{\partial y_j^{\text{I}}}{\partial v_j^{\text{I}}} \frac{\partial v_j^{\text{I}}}{\partial w_{ji}^{\text{I}}} \quad (4.15)$$

Denklem (4.15)'in en sağ tarafındaki türevli kısım (p_i) gibi bir değişkenle ifade edilirse Denklem (4.16) elde edilir.

$$p_i = \frac{\partial v_i}{\partial w_{ji}^{\text{I}}} \quad (4.16)$$

Denklem (4.16), Denklem (4.15)'te yerine konulduğunda Denklem (4.17) elde edilir.

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ji}^{\text{I}}} = \frac{\partial E}{\partial y_j^{\text{I}}} \frac{\partial y_j^{\text{I}}}{\partial v_j^{\text{I}}} p_i \quad (4.17)$$

Denklem (4.17)'nin sağ tarafındaki türevli kısımlar δ_j^{I} gibi bir değişkenle ifade edilirse Denklem (4.18) elde edilir.

$$\delta_j^{\text{I}} = \frac{\partial E}{\partial y_j^{\text{I}}} \frac{\partial y_j^{\text{I}}}{\partial v_j^{\text{I}}} \quad (4.18)$$

Denklem (4.17) yeniden yazılacak olursa Denklem (4.19) elde edilir.

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ji}^{\text{I}}} = \delta_j^{\text{I}} p_i \quad (4.19)$$

I katman içinde delta kuralı uygulanırsa ağırlık değişim değerleri aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\Delta w_{ji}^{\text{I}} = \lambda^{\text{I}} \frac{\partial E}{\partial w_{ji}^{\text{I}}} \quad (4.20)$$

$$\Delta w_{ji}^I = \lambda^I \delta_j^I p_i \quad (4.21)$$

Denklem (4.21), Denklem (4.14)'te olduğu gibi II. katman için yapılan ağırlık ayarlamasına benzerdir. Burada λ^I değişkeni I. katman için kullanılan öğrenme sabitidir. Denklem (4.22)'deki türevli kısım δ^I gibi bir değişkenle gösterildiğinde aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\delta_j^I = \frac{\partial E}{\partial y_j^I} \frac{\partial y_j^I}{\partial v_j^I} = \left[\delta^II \quad w_j^II \right] \varphi^I(v_j^I) \quad (4.22)$$

Denklem (4.22)'nin sağ tarafındaki ifadeler Denklem (4.23) ve Denklem (4.24)'te verilmiştir.

$$\frac{\partial y_j^I}{\partial v_j^I} = \varphi^I(v_j^I) \quad (4.23)$$

$$\frac{\partial E}{\partial y_j^I} = \delta^II w_j^II \quad (4.24)$$

$$\frac{\partial E}{\partial y_j^I} = \frac{\partial E}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial y^II} \frac{\partial y^II}{\partial v^II} \frac{\partial v^II}{\partial y_j^I} = \delta^II w_j^II \quad (4.25)$$

Burada Denklem(4.25)'in sağ tarafındaki Denklem (4.26) ve Denklem (4.27)'de verilmiştir.

$$\delta^II = \frac{\partial E}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial y^II} \frac{\partial y^II}{\partial v^II} \quad (4.26)$$

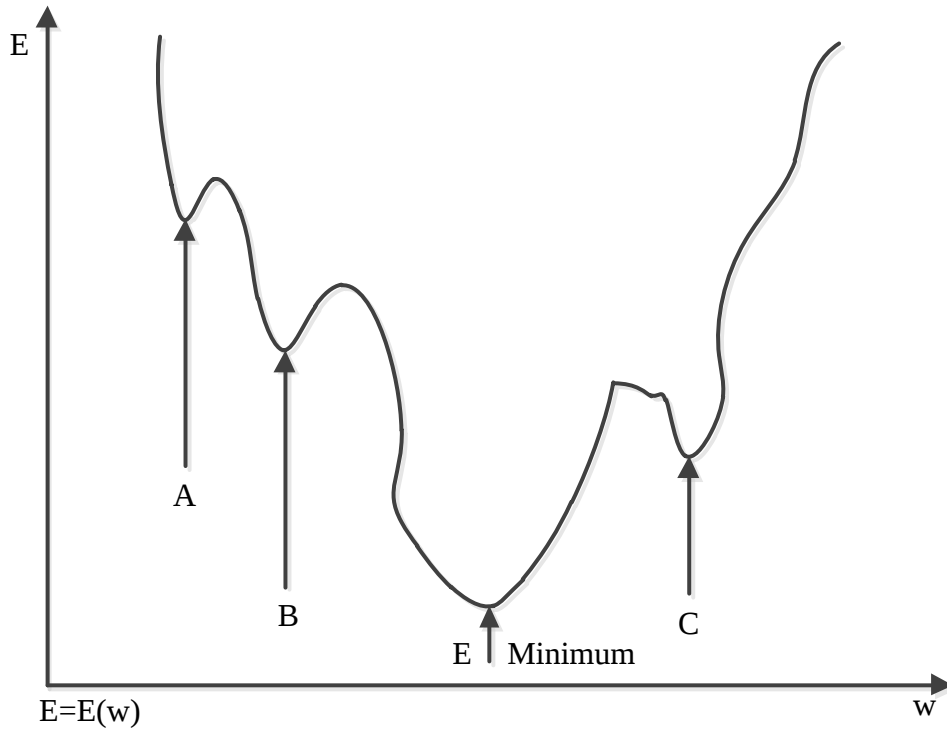
$$w_j^II = \frac{\partial v^II}{\partial y_j^I} \quad (4.27)$$

Her bir katmandaki λ^I ve λ^II öğrenme katsayıları değişkendir. Ayrıca yerel minimum noktasını yakalamak içinde momentum katsayısı kullanılır. Bu değişken $0 < \mu < 1$ aralığında seçilmelidir. Her bir katmanın ağırlıkları ayarlamaları için momentum katsayısı Denklem (4.28) ve Denklem (4.29)'daki gibi kullanılır.

$$w_{ji}^I(k+1) = w_{ji}^I(k) + \mu^I(w_{ji}^I(k) - w_{ji}^I(k-1)) \quad (4.28)$$

$$w_j^II(k+1) = w_j^II(k) + \mu^II(w_j^II(k) - w_j^II(k-1)) \quad (4.29)$$

Ağırlık vektörü ve performans indeksi arasındaki değişim Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü değişik yerel minimum noktaları bulunmakta olup öğrenme ve momentum katsayılarının en uygun şekilde ayarlanarak gerçek minimum noktası elde edilmelidir.



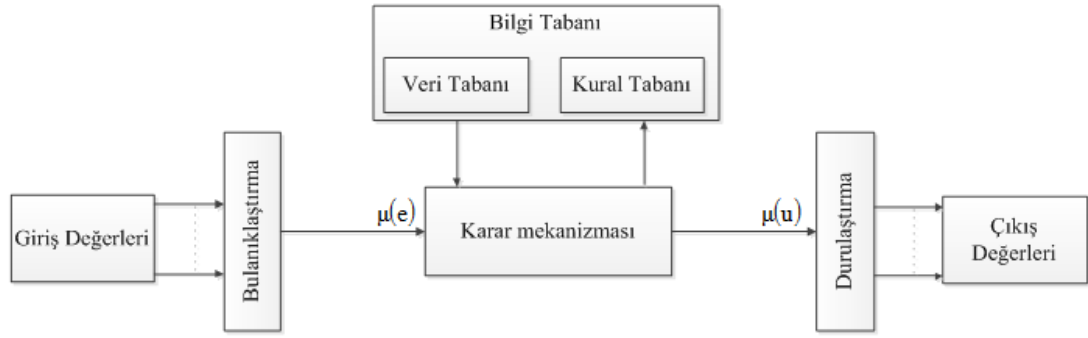
Şekil 4.5. Yerel minimum noktası

4.2. Bulanık Mantık

Bulanık mantık teorisi, 1965 yılında Zadeh tarafından yayınlanan makalede bulanık kümeler, bulanık ifadelerin gösterimi, bulanık kümeye ait elemanın kümeye aitlik derecelerinin belirlenmesi şeklinde ifade edilmiştir. Bulanık kümeler yamuk, üçgen, çan eğrisi, gaussian, sigma gibi üyelik fonksiyonları ile belirtilmektedir [100,130,135]. Matematiksel ifadelerin yeterli olmadığı durumlarda doğrusal sistemlere uygulanan yöntemleri uygulamak iyi performans vermeyebilir. Son yıllarda böyle sistemlerin modellenmesi ve denetlenmesinde bulanık mantığa dayalı modellemeler kullanılmaktadır. Bulanık mantığa dayalı modellemeler insanların kolayca anlayabileceği dilsel ifadelerle gösterilir [136,137].

Bulanık mantık kullanıcın bilgi ve tecrübesini dilsel değişkenler yardımı ile bulanık kümeler şeklinde ifade edilmesine dayalı sistemlerdir. Bulanık mantık bulanıklaştırıcı, karar mekanizması ve durulaştırıcı olarak adlandırılan üç temel bölümden oluşmaktadır. Karar mekanizması veri tabanı ve kural tabanı olarak iki kısımdan oluşur. Bulanık mantığa ait blok diyagram Şekil 4.6'da gösterilmiştir [130,136,137].

- Bulanıklaştırma birimi: Bulanıklaştırma sistemden alınan giriş bilgilerini dilsel ifadelere dönüştürme işlemi olarak ifade edilir. Bulanıklaştırma operatörü, fiziksel bir ifadeyi bulanık bir ifadeye dönüştürdüğünde oluşan bulanık ifadenin belirlenmiş alan içerisinde bir üyelik değerine sahip olmasını sağlar [130,136,137].
- Bilgi tabanı: Bilgi tabanı, bulanık mantık sisteminin temelini oluşturmakta olup karar verme biriminin kural tabanında kullanıldığı bilgileri aldığı veri tabanı ve dilsel denetim kurallarının bulunduğu kural tabanı olmak üzere iki kısımda incelenir [130,136,137].



Şekil 4.6. Bulanık mantık blok diyagramı

- Karar verme birimi: Karar verme birimi bulanık mantığın çekirdek kısmı olarak tanımlanabilir. Bu birim, bulanık kavramları işlemesi ve çıkarım yapması ile gerekli denetimi sağlar. Bulanık mantıkta bulanık içermeyi tanımlamanın birçok yolu bulunmakta olup, bulanık mantık denetleyicisi için hangi yöntemin kullanılacağı daha çok sezgisel olarak belirlenir. Bulanık çıkarım işlemi için birçok yöntem kullanılmakta olup, Max-Dot, Min-Max, Tsukamoto ve Takagi-Sugeno en çok kullanılan yöntemler arasındadır [130,136,137].
- Durulaştırma birimi: Bulanık çıkarım işleminin sonucu bulanık bir küme olduğu için durulaştırma işlemi bulanık niceliği kesin bir niceliğe çeviren kısımdır. Bu sonucun tekrar sisteme uygulanması için bulanık mantığın giriş değeri gibi sayısal bir değere dönüştürülerek çıkışa verilmesi gerekmektedir. Durulaştırma işleminde değişik yöntemler kullanılmakta olup, maksimum üyelik yöntemi, ağırlık merkezi yöntemi, ağırlık ortalaması yöntemi en çok kullanılan yöntemler olarak adlandırılabilir [130,137].

4.3. Yerçekimsel Arama Algoritması

YAA, Rashedi ve arkadaşları tarafından geliştirilen Newton'un hareket ve yerçekimi kanunlarına dayalı bir optimizasyon algoritmasıdır [138]. YAA, son zamanlarda geliştirilen sezgisel arama algoritmalarından biri olup birçok araştırmacı tarafından çeşitli optimizasyon problemlerin çözümünde kullanılmıştır [139-147]. Yerçekimi ve hareket kanunlarından esinlenilerek geliştirilen YAA, etkin bir hesaplama yeteneğine sahiptir. YAA'nın arama uzayındaki her bir parçacık, bir kütle olarak kabul edilmektedir. Yerçekimi kuvvetine maruz kalan kütleler arama uzayında hareket ederek en iyi çözüme ulaşmaya çalışırlar. Başka bir ifadeyle, kütleler arası etkileşim sağlanırken, yerçekimi kuvveti bütün kütlelerin en ağır olan kütleyle doğru hareket

etmesini sağlar. İyi çözüme karşılık gelen ağır kütle, hafif olan diğer kütlelerden daha yavaş hareket ederek bu kütleleri kendine doğru çekecektir. Durdurma kriteri olarak iterasyon sayısının bitiminde, kütlesi en fazla olan parçacık problemin en iyi çözümü anlamını taşımaktadır.

YAA'da, öncelikle kullanılan yerçekimi sabitinin (G_0) değeri ve arama uzayının içerisindeki toplam kütle sayısı problemin çözümü için belirlenmektedir. N adet kütleden oluşan arama uzayında i. kütlenin pozisyonunun Denklem (4.30)'daki gibi ifade edilir.

$$X_i = (x_i^1, \dots, x_i^d, \dots, x_i^n) \quad i=1,2,\dots,N \quad (4.30)$$

x_i^d , i. kütlenin d. boyuttaki konumunu belirtirken, N arama uzayının boyutunu belirtir. Eğer problem bir minimizasyon problemi ise Denklem (4.31) ve Denklem (4.32), maksimizasyon problemi ise Denklem (4.33) ve Denklem (4.34) kullanılır.

Minimizasyon problemi:

$$\text{best}(t) = \min_{j \in \{1, \dots, M\}} \text{fit}_j(t) \quad (4.31)$$

$$\text{worst}(t) = \max_{j \in \{1, \dots, M\}} \text{fit}_j(t) \quad (4.32)$$

Maksimizasyon problemi:

$$\text{best}(t) = \max_{j \in \{1, \dots, M\}} \text{fit}_j(t) \quad (4.33)$$

$$\text{worst}(t) = \min_{j \in \{1, \dots, M\}} \text{fit}_j(t) \quad (4.34)$$

Algoritmanın başlangıcında kullanıcı tarafından belirlenen yerçekimi sabitine atanan başlangıç değerinin iterasyona bağlı olarak azaltılması, arama hızının kontrol edilmesi ve t. iterasyondaki yer çekimi sabiti Denklem (4.35) ve Denklem(4.36) gibi ifade edilmektedir.

$$G(k) = G(G_0, t) \quad (4.35)$$

$$G(k) = G_0 e^{\left(-\alpha \frac{t}{T}\right)} \quad (4.36)$$

G_0 , yerçekimi sabitinin başlangıç değeri, α , sabit değer, t , iterasyon sayısı ve T maksimum iterasyon sayısıdır. Arama uzayında bulunan kütlelerin yerçekimsel (M_{ai}), pasif yerçekimsel (M_{pi}) ve eylemsizlik kütleleri (M_i) eşit alınarak Denklem (4.37), Denklem (4.38) ve Denklem (4.39)'daki gibi hesaplamalar yapılır.

$$M_{pi} = M_{ai} = M_{ii} = M_i \quad (4.37)$$

$$m_i(t) = \frac{\text{fit}_i(t) - \text{worst}(t)}{\text{best}(t) - \text{worst}(t)} \quad (4.38)$$

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^M m_j(t)} \quad (4.39)$$

Toplam kütle hesabı Denklem (4.40)'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$F_i^d(t) = \sum_{j \in k \text{ best} \neq i} \text{rand}_j F_{ij}^d(t) \quad (4.40)$$

F_{ij}^d , t anında d . boyutta i ve j kütleleri arasındaki kuvvet, $M_j(t)$, k anındaki j . kütlelerin aktif kütlesi, $R_{ij}(t)$, i ve j kütleler arası öklit mesafesi, ε kullanıcı tarafından belirlenen küçük sabit bir değer, $x_j^d(t)$, $x_i^d(t)$ i ve j kütlelerinin d . boyuttaki konumudur. Denklem (4.41) ve Denklem (4.42)'de gösterilmektedir.

$$F_{ij}^d(t) = G(t) \frac{M_i(t) \times M_j(t)}{R_{ij}(t) + \varepsilon} (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \quad (4.41)$$

$$R_{ij}(t) = \left(\|X_i(t), X_j(t)\|_2 \right) \quad (4.42)$$

Denklem (4.43) ve Denklem (4.44)'te kütlelerin ivmelenme denklemleri gösterilmektedir.

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_{ii}(t)} \quad (4.43)$$

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_{ii}(t)} = \sum_{j \in \text{bestj} \neq i} \text{rand}_j G(t) \frac{M_j(t)}{R_{ij}(t) + \varepsilon} (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \quad (4.44)$$

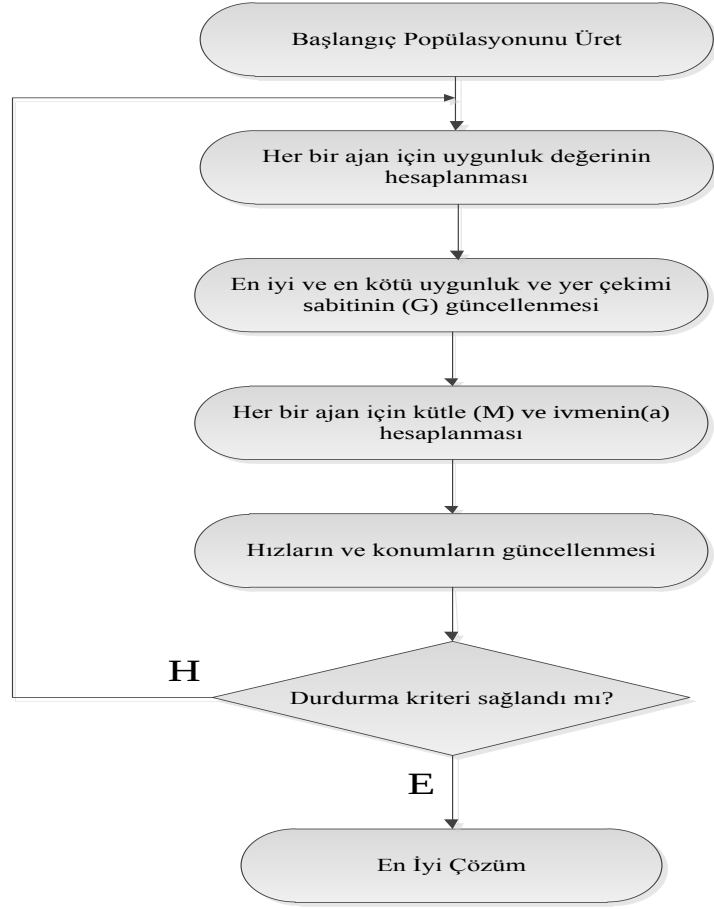
Kütleler etkileşimleri sonucunda kazandıkları ivme ile bir sonraki iterasyondaki hızlarını belirlerler. Denklem (4.45)'te kütlenin bir sonraki iterasyondaki hızı gösterilmektedir.

$$v_i^d(t+1) = \text{rand}_i \times v_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (4.45)$$

rand_i , 0 ile 1 arasında rastgele atanan bir sayıdır. Denklem (4.46)'da hız değişimiyle birlikte her bir kütlenin arama uzayındaki yerinin konum güncellemesi yapılır.

$$x_i^d(t+1) = v_i^d(t+1) + x_i^d(t) \quad (4.46)$$

İstenilen durdurma kriteri sağlanana kadar algoritma en uygun değeri aramaya devam eder. Şekil 4.7'de YAA'nın akış diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 4.7. YAA akış diyagramı

4.4. Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması

PSO, 1995 yılında Kennedy ve Eberhart tarafından uçan kuş sürülerinin sosyal davranışlarından esinlenerek geliştirilen popülasyon temelli olup son zamanlarda bir sıkça kullanılan optimizasyon algoritmalarından biridir [148-150]. PSO algoritmasında arama uzayındaki en iyi çözümü bulmak için her bir aday çözüm parçacık olarak ifade edilir. Her bir parçacık bir sonraki iterasyondaki konumunu hız vektörünü, kendi tecrübesi (pbest) ve sürü tecrübesini (gbest) kullanarak ayarlamaktadır. Yerel en iyi ve küresel en iyi olmak üzere iki önemli özellik algoritmanın yapısında bulunmaktadır. pbest, her bir parçacığın o ana kadar başardığı en iyi çözümün konumunu çözüm uzayında takip etmesi olarak ifade edilmektedir. Tüm popülasyonda bulunan her bir parçacık arasındaki en iyi değere sahip parçacığın değeri gbest olarak tanımlanır. PSO sezgisel algoritmasına ait denklemler, Denklem (4.47) ve Denklem (4.48) ile ifade edilmektedir.

$$v_i(t+1) = w \times v_i(t) + c_1 \times \text{rand} \times (pbest_i - x_i(t)) + c_2 \times \text{rand} \times (gbest_i - x_i(t)) \quad (4.47)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (4.48)$$

Burada, $v_i(t)$ t. iterasyondaki i. parçacığın hızı, w ağırlık fonksiyonu, c_1 ve c_2 hızlanma katsayıları, rand 0 ile 1 arasında bir sayı ve $x_i(t)$ t. iterasyondaki i. parçacığın pozisyonu olarak ifade edilir.

4.5. Hibrit PSO-YAA Optimizasyon Algoritması

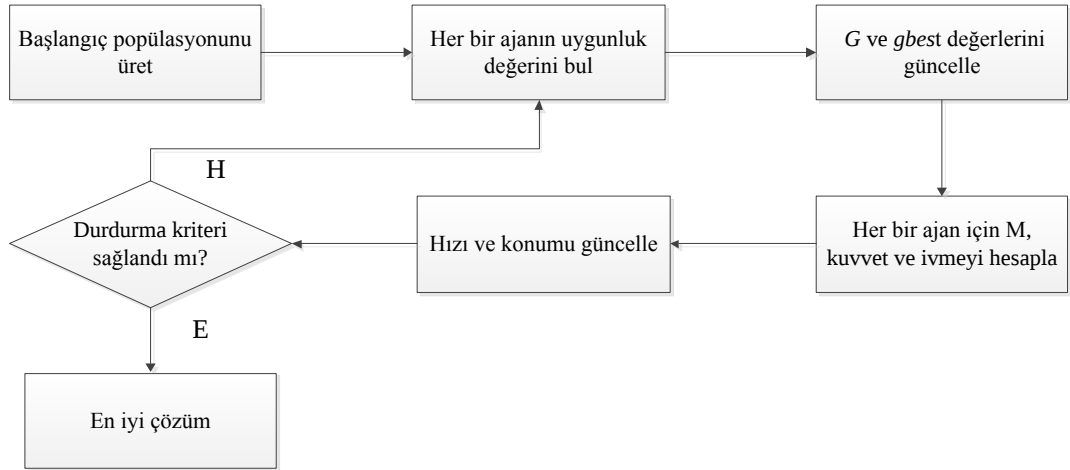
İki sezgisel yaklaşımın homojen veya heterojen olarak birlikte çalışabilen düşük veya yüksek seviyeli hibrit bir optimizasyon algoritması haline getirilebilir. Düşük seviyeli heterojen yapı kullanarak YAA ile PSO hibrit bir optimizasyon algoritması haline Mirjalili ve Hashim tarafından 2010 yılında getirilmiştir. Hibrit algoritma her iki sezgisel yaklaşımın işlevselliklerinin kombinasyonudur. Biri diğerinden sonra kullanılmadığı için birlikte çalışabilen ya da paralel olarak çalışabilen yapı olarak tanımlanırlar. İki farklı sezgisel yaklaşım olduğu için heterojen yapıdadır [1]. Algoritma, PSO'daki sosyal davranış yeteneği ile YAA'nın yerel arama kabiliyetinin kombinasyonu olarak ifade edilir. Denklem (4.49)'da bu algoritmaların kombinasyonu gösterilmektedir.

$$v_i(t+1) = w \times v_i(t) + c_1' \times \text{rand} \times ac_i(t) + c_2' \times \text{rand} \times (gbest - x_i(t)) \quad (4.49)$$

Burada, $v_i(t)$ t. iterasyondaki i. ajanın hızı, w ağırlık fonksiyonu, c_1' ağırlık faktörü, rand 0 ile 1 arasında bir sayı ve $ac_i(t)$ t. iterasyondaki i. ajanın ivmesi, $gbest$ ise o ana kadar ki en iyi çözümdür. Bir sonraki iterasyonda ajanların konumları Denklem (4.50)'ye göre değiştirilir.

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (4.50)$$

Hibrit PSO-YAA algoritmasında tüm ajanlar belirtilen sınırlar içerisinde rasgele oluşturulur. Popülasyondaki her bir ajan için aday çözüm olarak uygunluk değerleri hesaplanır. Yerçekimi sabiti, her bir ajanın kütlesi, yerçekimi kuvveti ve her bir ajanın ivmesi sırasıyla Denklem (4.36), Denklem (4.39), Denklem (4.41) ve Denklem (4.44)'e göre hesaplanır.



Şekil 4.8. Hibrit PSO-YAA algoritmasının akış diyagramı

Her bir ajanın ivmesi hesaplandıktan sonra o ana kadarki en iyi çözüm güncellenir. Denklem (4.49)'a göre tüm ajanların hızları hesaplanarak Denklem (4.50)'de görüldüğü gibi ajanların konumları güncellenir. Algoritmanın çalışma süreci durdurma kriteri sağlanıncaya kadar devam eder. PSO-YAA algoritmasının akış diyagramı Şekil 4.8'de gösterilmektedir.

4.6. Geliştirilen Bulanık Mantık Temelli Hibrit PSO-YAA Optimizasyon Algoritması

Khajehzadeh ve diğ. 2012 yılında YAA'nın hız denklemlerine sınırlama yaklaşımı getirerek YAA'nın daha etkili çözüme ulaşmasını amaçlamışlardır [151]. Araştırmacılar klasik YAA'daki ajanın hızı sezgisel bir yapıya sahip olduğu için kontrol edilemeyen bir yörüngede ve problem uzayında geniş bir alanda hareket ettiğini belirtirler. Çözüm uzayında meydana gelen salınımları, ani patlama ve sapmaları önlemek amacı ile belirlenen aralığa göre ajanın hızının sınırlandırılmasını aşağıdaki gibi ifade etmektedirler.

$$-V_{\max} \leq v_i^d \leq V_{\max} \quad (4.51)$$

$$V_{\max} = \left(1 - \left(t/t_{\max}\right)^h\right) \times V_{\max0} \quad (4.52)$$

$$V_{\max0} = \beta \times (x_{\max} - x_{\min}), \quad 0 < \beta \leq 1 \quad (4.53)$$

$V_{\max}$ probleme bağılı olarak değışen maksimum hızı belirtir. Maksimum hız, iterasyona bağılı olarak bir ajanın konumunun koordinatlarındaki maksimum değışim olarak tanımlanır. Maksimum hız değıri çok büyükse ajanlar iyi sonuca doğıru hareket eder. Eğıer çok küçükse ajanların hareketi arama uzayında sınırlıdır. Bu yüzden en iyi çözüme ulaşmayabilir. Optimizasyon problemlerinde sezgisel yaklaşımların başarısı iki temel karakteristiğıe sahip olmasına bağılıdır. Arama uzayındaki tüm parçaları araştırabilme yeteneğıine ve küresel çözüm etrafındaki en iyi çözüme yakınsayabilme kabiliyeti olarak ifade edilir. $V_{\max0}$ başlangıç maksimum hızı, β 0 ile 1 arasında bir sayı, $t_{\max}$, maksimum iterasyon, t ise şu andaki iterasyon sayısını ifade etmektedir.

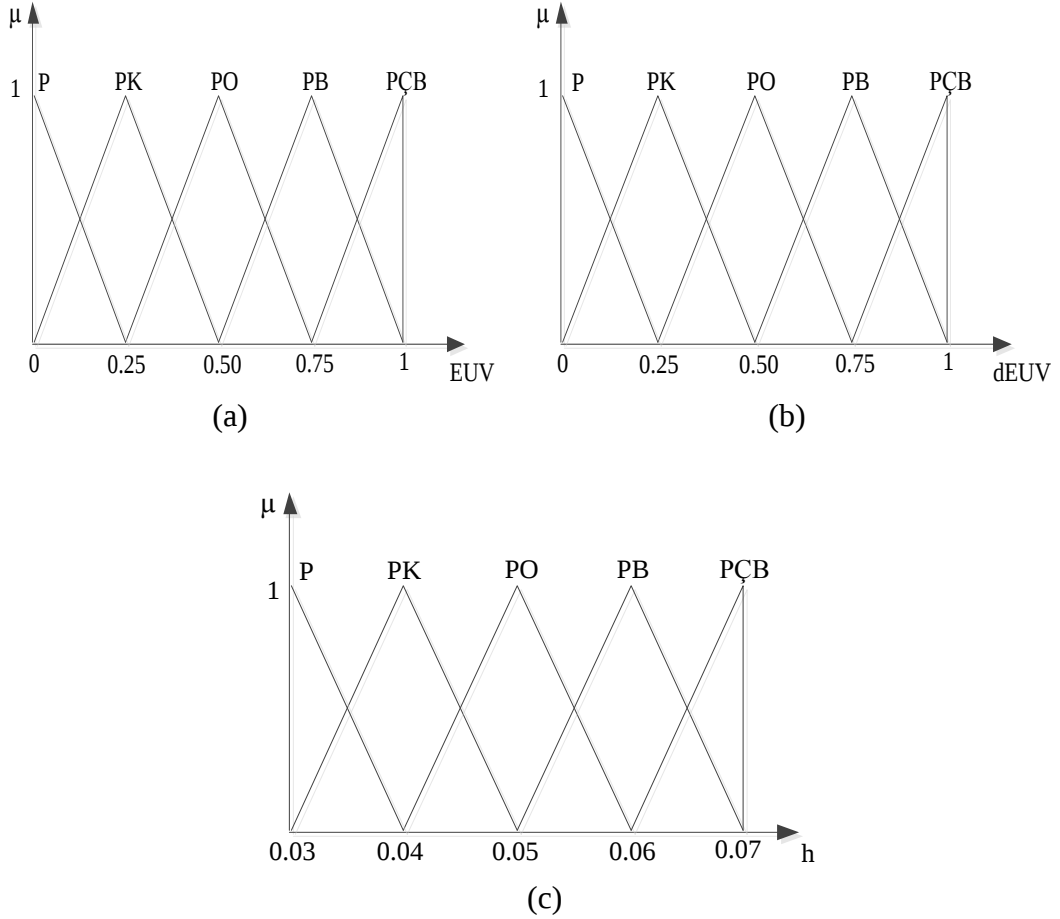
4.6.1. Bulanık mantık kullanarak h parametresinin optimizasyonu

Bu tez çalışmasında, hibrit PSO-YAA optimizasyon algoritmasının tüm ajanlarının hızlarını ayarlamak için sınırlama yaklaşımı yöntemi kullanılarak algoritmanın performansı arttırılmıştır. Ayrıca h parametresi bulanık mantık kullanılarak optimize edilmiştir. Khajehzadeh ve diğı. elde ettikleri benzetim sonuçlarına göre h parametresinin en uygun değıerinin 0.03 ile 0.07 arasında seğıilmesi gerektiğini çalışmalarında belirtmişlerdir. Bu değıer probleme bağılı olarak kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Probleme göre değışen, kullanıcı tarafından belirlenen h parametresi bulanık mantıkla optimize edilerek uyarlanabilir hale getirilmiştir. Böylece kullanıcı etkisi ortadan kaldırılmıştır. Algoritmada kullanılan bulanık mantığın girişleri EU, en iyi uygunluk değıeri ve dEU, en iyi uygunluk değıerinin değıişimi, çıkışı ise h parametresidir. EUV, her bir iterasyon için en iyi aday çözümün performansı olarak tanımlanır. EU ve dEU değıerleri Denklem (4.54) ve Denklem (4.55)'e göre normalize edilir.

$$EUV = \frac{EU - EU_{\min}}{EU_{\max} - EU_{\min}} \quad (4.54)$$

$$dEUV = \frac{dEU - dEU_{\min}}{dEU_{\max} - dEU_{\min}} \quad (4.55)$$

Bu çalışmada giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları için üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Şekil 4.9’da çıkış ve girişlerin üyelik fonksiyonları gösterilmiştir. Denklem (4.56)’da ise üçgen üyelik fonksiyonunun matematiksel ifadesi verilmiştir.



Şekil 4.9. Bulanık mantığın ((a)-(b)) giriş, (c) çıkış üyelik fonksiyonları

Tablo 4.1. h parametresinin belirlenmesinde kullanılan kural tablosu

	<u>dEU</u>	P	PK	PO	PB	PÇB
EU						
P		PO	PO	PO	PK	PK
PK		PO	PO	PK	PK	P
PO		PO	PK	P	PB	PB
PB		PK	P	P	PB	PÇB
PÇB		P	P	PB	PÇB	PÇB

$$\mu(x) = \max \left[\min \left(\frac{x - x_1}{x_2 - x_1}, \frac{x_3 - x}{x_3 - x_2} \right), 0 \right] \quad (4.56)$$

Bulanık mantığın en önemli kısmı kullanıcı deneyimine göre belirlenen kural tabanı olarak ifade edilir. h parametresinin belirlenmesinde kullanılan kural tablosu Tablo 4.1’de gösterilmektedir. Şekil 4.9’da görülen h parametresinin belirlenmesinde kullanılan bulanık mantığın girişleri ve çıkışı için tanımlanan bulanık kümeler aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

- P : Pozitif
- PK : Pozitif küçük
- PO : Pozitif orta
- PB : Pozitif büyük
- PÇB : Pozitif çok büyük

Durulaştırma işleminde ağırlıkların merkezi yönetimi metodu kullanılmış olup Denklem (4.57)’de bu denkleme ait matematiksel ifade gösterilmiştir.

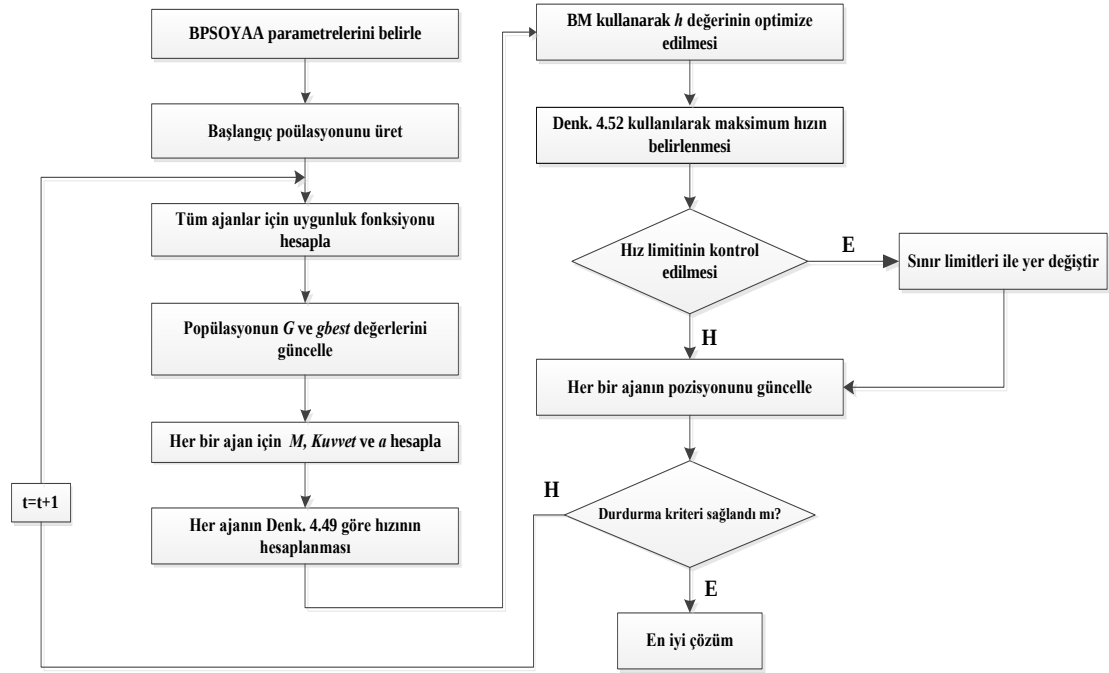
$$du(k) = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i(du) du_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i(du)} \quad (4.57)$$

Şekil 4.10’da geliştirilen bulanık mantık temelli hibrit PSO-YAA algoritmasının akış diyagramı gösterilmektedir [2].

4.6.2. Bulanık mantık temelli hibrit PSO-YAA algoritmasının test fonksiyonlarına uygulanması

Geliştirilen optimizasyon algoritmasının performansı ölçmek ve test etmek için standart 23 adet Benchmark test fonksiyonuna uygulanmıştır [152]. Bu test fonksiyonlarından biri tek modlu veya tek bir optimum noktaya sahip, ikisi de çok modlu veya bir çok yerel optimum noktası ve bir tek global optimum noktasına sahip olmak üzere bölüme ayrılır. Tablo 4.2, Tablo 4.3 ve Tablo 4.4’de test fonksiyonları gösterilmiştir. Geliştirilen optimizasyon algoritması Mirjalili’nin 2010 yılında yaptığı

çalışmanın sonuçları ile doğru bir şekilde karşılaştırılabilmesi için algoritmaya ait ayar parametreleri Mirjalili'nin çalışmasında kullanıldığı şekilde kabul edilmiştir.



Şekil 4.10. Bulanık mantık temelli hibrit PSO-YAA algoritmasının akış diyagramı

Algoritmaya ait ayar parametreleri, popülasyon sayısı $N=30$, c_1' ve c_2' değerleri 0,5, 1,5, G_0 ve α değerleri 1, 20, w ve β değerleri ise 0 ile 1 arasında rasgele seçilmiştir. Geliştirilen optimizasyon algoritması Tablo 4.2'de gösterilen F_1 - F_7 'e kadar olan tek modlu test fonksiyonlarına uygulanmış olup, Tablo 4.5'tede elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Şekil 4.11'de seçilen test fonksiyonlarına ait yakınsama eğrileri verilmiştir. Tablo 4.5'e göre elde edilen sonuçlar incelendiğinde geliştirilen optimizasyon algoritmasından elde edilen sonuçların daha iyi olduğu, ancak F_5 test fonksiyonu için geliştirilen optimizasyon algoritmasından elde edilen sonucun PSO-YAA algoritmasından elde edilen sonuçtan daha kötü olduğu görülmektedir. Geliştirilen algoritma Tablo 4.3'te gösterilen F_8 - F_{13} 'e kadar olan çok modlu test fonksiyonlarına uygulanmış olup, Tablo 4.6'da elde edilen sonuçlar özetlenmiştir. Şekil 4.12'de seçilen çok modlu test fonksiyonlarına ait yakınsama eğrileri gösterilmiştir. Çok modlu test fonksiyonlarından elde edilen sonuçlar incelendiğinde amaçlanan optimizasyon algoritmasının diğer sezgisel yaklaşımlarda daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmüştür. F_8 ve F_{13} test fonksiyonları için PSO-YAA algoritmasının daha iyi sonuca sahip olduğu Tablo 4.6'da belirtilmiştir. Son olarak

amaçlanan algoritma Tablo 4.4'te gösterilen çok modlu sabit boyutlu test fonksiyonlarına uygulanmıştır.

Tablo 4.2. Tek modlu test fonksiyonları

Test fonksiyonları	Boyut	Aralık
$F_1(x) = \sum_{i=1}^n x_i^2$	30	[-100,100]
$F_2(x) = \sum_{i=1}^n x_i + \prod_{i=1}^n x_i $	30	[-10,10]
$F_3(x) = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^i x_j \right)^2$	30	[-100,100]
$F_4(x) = \max_i \{ x_i , 1 \leq i \leq n \}$	30	[-100,100]
$F_5(x) = \sum_{i=1}^{n-1} \left[100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2 \right]$	30	[-30,30]
$F_6(x) = \sum_{i=1}^n ([x_i + 0,5])^2$	30	[-100,100]
$F_7(x) = \sum_{i=1}^n i x_i^4 + \text{random}[0,1)$	30	[-1,28,1,28]

Tablo 4.3. Çok modlu test fonksiyonları

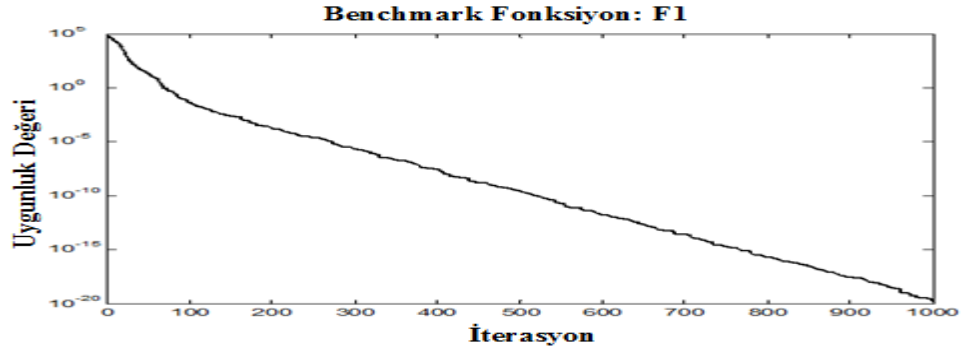
Test fonksiyonları	Boyut	Aralık
$F_8(x) = \sum_{i=1}^n -x_i \sin(\sqrt{ x_i })$	30	[-500,500]
$F_9(x) = \sum_{i=1}^n [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10]$	30	[-5,12,5,12]
$F_{10}(x) = -20 \exp\left(-0,2 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2}\right) - \exp\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(2\pi x_i)\right) + 20 + e$	30	[-32,32]
$F_{11}(x) = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \prod_{i=1}^n \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right) + 1$	30	[-600,600]
$F_{12}(x) = \frac{\pi}{n} \left\{ 10 \sin(\pi y_1) + \sum_{i=1}^{n-1} (y_i - 1)^2 [1 + 10 \sin^2(\pi y_{i+1})] \right\} + \sum_{i=1}^n u(x_i, 10, 100, 4)$	30	[-50,50]
$y_i = 1 + \frac{x_i + 1}{4}, u(x_i, a, k, m) = \begin{cases} k(x_i - a)^m & x_i > a \\ 0 & -a < x_i < a \\ k(-x_i - a)^m & x_i < -a \end{cases}$		
$F_{13}(x) = 0,1 \left\{ \frac{\sin^2(3\pi x_i) + \sum_{i=1}^n (x_i - 1)^2 [1 + \sin^2(3\pi x_i + 1)]}{(x_n - 1)^2 [1 + \sin^2(2\pi x_n)]} \right\} + \sum_{i=1}^n u(x_i, 5, 100, 4)$	30	[-50,50]

Tablo 4.4. Çok modlu sabit boyutlu test fonksiyonları

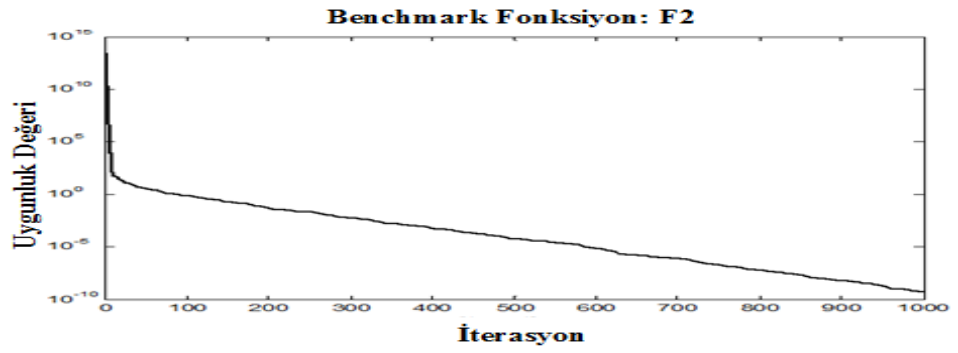
Test fonksiyonları	Boyut	Aralık
$F_{14}(x) = \left(\frac{1}{500} \sum_{j=1}^{25} \frac{1}{j + \sum_{i=1}^2 (x_i - a_{ij})^6} \right)^{-1}$	2	[-65,536,65,536]
$F_{15}(x) = \sum_{i=1}^{11} \left[a_i - \frac{x_1(b_i^2 + b_i x_2)}{b_i^2 + b_i x_3 + x_4} \right]^2$	4	[-5,5]
$F_{16}(x) = 4x_1^2 - 2,1x_1^4 + \frac{1}{3}x_1^6 + x_1x_2 - 4x_2^2 + 4x_2^4$	2	[-5,5]
$F_{17}(x) = \left(x_2 - \frac{5,1}{4\pi^2} x_1^2 + \frac{5}{\pi} x_1 - 6 \right)^2 + 10 \left(1 - \frac{1}{8\pi} \right) \cos x_1 + 10$	2	[-5,10] × [0,15]
$F_{18}(x) = \left[1 + (x_1 + x_2 + 1)^2 (19 - 14x_1 + 3x_1^2 - 14x_2 + 6x_1x_2 + 3x_2^2) \right] \times$ $\left[30 + (2x_1 - 3x_2)^2 \times (18 - 32x_1 + 12x_1^2 + 48x_2 - 36x_1x_2 + 27x_2^2) \right]$	2	[-2,2]
$F_{19}(x) = -\sum_{i=1}^4 c_i \exp \left(-\sum_{j=1}^3 a_{ij} (x_j - p_{ij})^2 \right)$	3	[0,1]
$F_{20}(x) = -\sum_{i=1}^4 c_i \exp \left(-\sum_{j=1}^6 a_{ij} (x_j - p_{ij})^2 \right)$	6	[0,1]
$F_{21}(x) = -\sum_{i=1}^5 \left[(x - a_i)(x - a_i)^T + c_i \right]^{-1}$	4	[0,10]
$F_{22}(x) = -\sum_{i=1}^7 \left[(x - a_i)(x - a_i)^T + c_i \right]^{-1}$	4	[0,10]
$F_{23}(x) = -\sum_{i=1}^{10} \left[(x - a_i)(x - a_i)^T + c_i \right]^{-1}$	4	[0,10]

Tablo 4.5. Tek modlu test fonksiyonları sonuçları

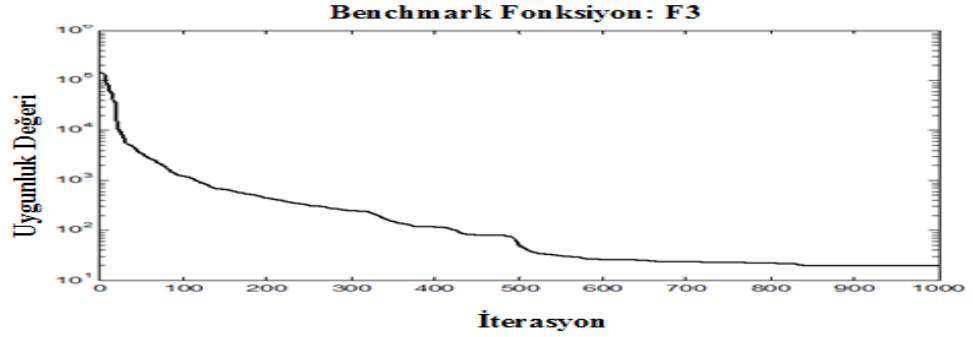
Fonksiyonlar		PSO[1]	YAA[1]	PSOYAA[1]	BPSOYAA[2]
F ₁	En iyi	8,75×10 ⁻⁶	7,92×10 ⁻¹⁷	4,91×10 ⁻¹⁹	1,5867×10⁻²⁰
	Ortalama	2,83×10 ⁻⁴	1,19×10 ⁻¹⁶	6,66×10 ⁻¹⁹	3,8685×10⁻²⁰
F ₂	En iyi	7,07×10 ⁻⁶	4,17×10 ⁻⁸	3,18×10 ⁻⁹	5,8850×10⁻¹⁰
	Ortalama	5,50×10 ⁻³	4,77×10 ⁻⁸	3,79×10 ⁻⁹	8,4808×10⁻¹⁰
F ₃	En iyi	1,91×10 ³	297,666	43,2038	19,6363
	Ortalama	5,19×10 ³	734,566	409,936	25,2579
F ₄	En iyi	2,41×10 ⁻⁸	9,72×10 ⁻⁹	2,96×10⁻¹⁰	1,2785×10 ⁻⁵
	Ortalama	4,38×10 ⁻⁷	1,47×10 ⁻²	3,37×10⁻¹⁰	1,3334×10 ⁻⁵
F ₅	En iyi	15,5933	26,2566	22,4221	16,5267
	Ortalama	201,665	35,0076	56,2952	19,3894
F ₆	En iyi	4,51	8,17×10 ⁻¹⁷	5,76×10 ⁻¹⁹	1,5887×10⁻²⁰
	Ortalama	4,96	1,67×10 ⁻¹⁶	7,40×10 ⁻¹⁹	3,2733×10⁻²⁰
F ₇	En iyi	1,05×10 ⁻¹	8,07×10 ⁻²	2,77×10 ⁻²	2,67×10⁻²
	Ortalama	2,60×10 ⁻¹	4,58×10 ⁻¹	5,09×10 ⁻²	4,90×10⁻²



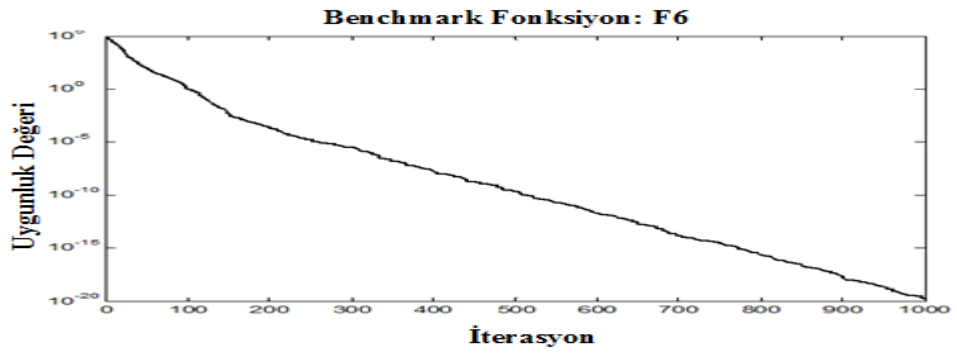
(a)



(b)



(c)

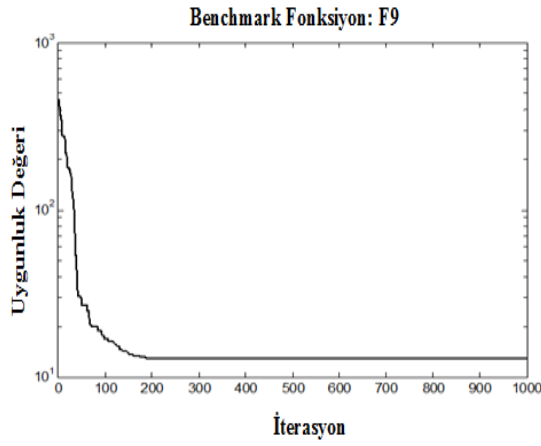


(d)

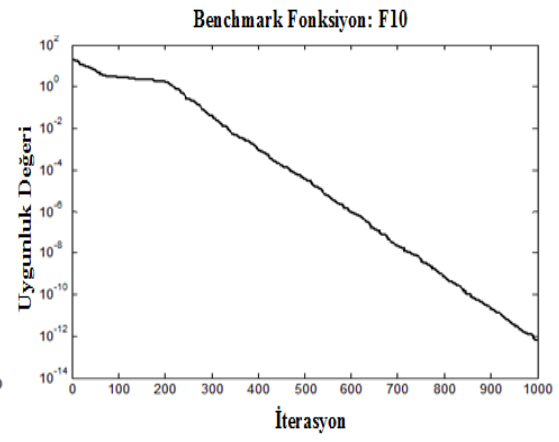
Şekil 4.11. Tek modlu seçilen test fonksiyonlarının yakınsama eğrileri
(a) F1, (b) F2, (c) F3, (d) F6

Tablo 4.6. Çok modlu test fonksiyonu sonuçları

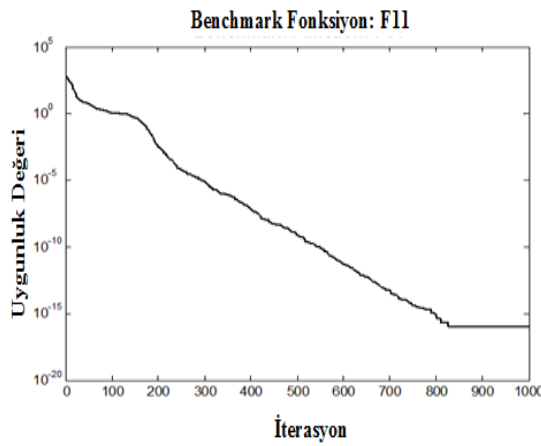
Fonksiyonlar		PSO[1]	YAA[1]	PSOYAA[1]	BPSOYAA[2]
F ₈	En iyi	7802,34	-3127,8	-12569	$-8,5743 \times 10^3$
	Ortalama	-5909,47	-2437,52	-12213,7	$-8,5743 \times 10^3$
F ₉	En iyi	55,7182	24,1444	19,1371	12,9345
	Ortalama	72,9581	31,1185	22,6777	13,7961
F ₁₀	En iyi	$2,48 \times 10^{-12}$	$5,57 \times 10^{-9}$	$5,97 \times 10^{-12}$	$6,2617 \times 10^{-13}$
	Ortalama	$4,85 \times 10^{-10}$	$7,76 \times 10^{-9}$	$6,68 \times 10^{-12}$	$8,6230 \times 10^{-13}$
F ₁₁	En iyi	$9,96 \times 10^{-7}$	3,96	$1,16 \times 10^{-16}$	$1,8504 \times 10^{-17}$
	Ortalama	$5,43 \times 10^{-3}$	6,98	$1,48 \times 10^{-3}$	$1,1102 \times 10^{-16}$
F ₁₂	En iyi	$1,06 \times 10^{-1}$	$1,06 \times 10^{-1}$	6,43	$1,1335 \times 10^{-6}$
	Ortalama	2,29	$1,95 \times 10^{-1}$	23,4	$4,7219 \times 10^{-6}$
F ₁₃	En iyi	$1,10 \times 10^{-2}$	$1,1 \times 10^{-2}$	$7,87 \times 10^{-19}$	$1,6345 \times 10^{-17}$
	Ortalama	$8,97 \times 10^{-2}$	$3,30 \times 10^{-3}$	$7,78 \times 10^{-19}$	$4,3170 \times 10^{-17}$



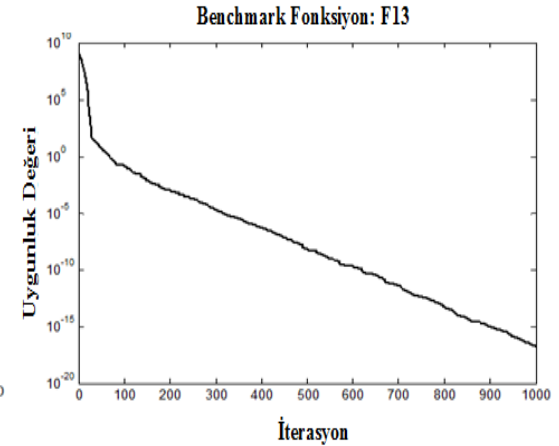
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.12. Çok modlu seçilen test fonksiyonlarının yakınsama eğrileri (a) F9, (b) F10, (c) F11, (d) F13

Tablo 4.7. Çok modlu sabit boyutlu test fonksiyonları sonuçları

Fonksiyonlar		PSO[1]	YAA[1]	PSOYAA[1]	BPSOYAA[2]
F ₁₄	En iyi	0,998	1,0003	0,998	0,9980
	Ortalama	0,998	3,14	1,49	0,9980
F ₁₅	En iyi	$9,77 \times 10^{-4}$	$2,50 \times 10^{-3}$	$3,07 \times 10^{-4}$	$3,07 \times 10^{-4}$
	Ortalama	$1,04 \times 10^{-3}$	$5,33 \times 10^{-3}$	$8,56 \times 10^{-4}$	$3,0749 \times 10^{-4}$
F ₁₆	En iyi	-1,0316	-1,0316	-1,0316	-1,0316
	Ortalama	-1,0316	-1,0316	-1,0316	-1,0316
F ₁₇	En iyi	39,79	39,79	39,79	0,3979
	Ortalama	39,79	39,79	39,79	0,3979
F ₁₈	En iyi	3	3	3	3,0000
	Ortalama	3	3	3	3,0000
F ₁₉	En iyi	-3,8628	-3,86019	-3,8628	-3,8628
	Ortalama	-3,8628	-3,8625	-3,8628	-3,8628
F ₂₀	En iyi	-2,9587	-2,2641	-2,6375	-3,3220
	Ortalama	-1,60048	-1,65077	$-8,92 \times 10^{-1}$	-3,3220
F ₂₁	En iyi	-10,1532	-5,05520	-10,1532	-10,1532
	Ortalama	-6,5752	-3,66413	-7,25959	-10,1532
F ₂₂	En iyi	-10,4029	-10,4029	-10,4029	-10,4029
	Ortalama	-8,05697	-10,4028	-7,53978	-10,4029
F ₂₃	En iyi	-10,5364	-10,5364	-10,5364	-10,5364
	Ortalama	-7,33602	-10,5363	-7,52233	-10,5364

Amaçlanan yaklaşımın F₁₄-F₂₃'e kadarki test fonksiyonlarına uygulanmasından elde edilen sonuçlar Tablo 4.7'de gösterilmiştir. Tablo 4.7'de elde edilen sonuçlardan açıkça görülmektedir ki, amaçlanan yaklaşım diğer sezgisel algoritmalarından daha iyi sonuca ulaşmaktadır.

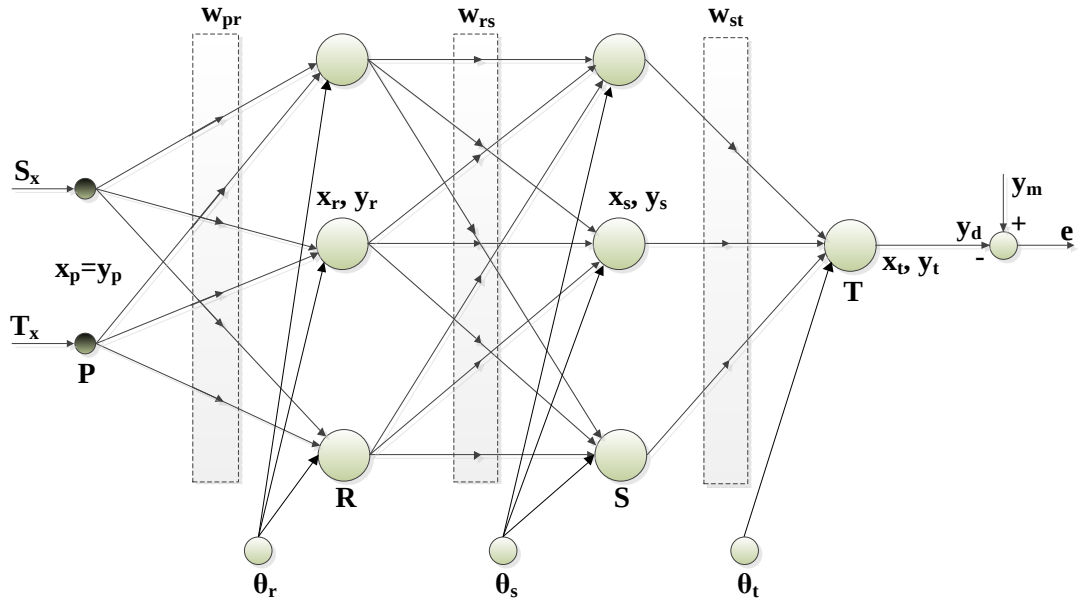
5. ÖNERİLEN YAKLAŞIMLAR

Bu tez çalışmasında güneş enerjisi üretim sistemleri için bulanık mantık temelli hibrit PSO-YAA algoritması tarafından eğitilmiş YSA tabanlı yeni bir MGNT algoritması önerilmiştir. Ayrıca rüzgar enerjisi üretim sistemlerinde kullanılan üç fazlı sincap kafesli asenkron generatörler kondansatörler yardımıyla tek faza indirgenerek bir fazlı mikro rüzgar güç üretim sistemi, yeni bir hibrit güç filtresi düzenleyicisi kullanılarak tasarlanmıştır. Bu bölümde güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi üretim sistemleri için önerilen yaklaşımlar detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

5.1. Bulanık Mantık Temelli Hibrit PSO-YAA Yardımlı YSA Tabanlı MGNT Algoritması

Önerilen YSA tabanlı MGNT algoritması gün boyunca değişen ışıınım şiddeti ve sıcaklık değerine göre FV panellerden üretilecek maksimum gücün izlenmesini sağlamaktadır. Önerilen MGNT yaklaşımı gerilim tabanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Maksimum güç noktasındaki gerilim değeri, ışıınım ve sıcaklık ile doğrusal olmayan bir değişim gösterdiği için doğrusal fonksiyon yaklaşım teknikleri, eğri uydurma yöntemleri ile matematiksel bir bağıntı kurulması da mümkün olmamaktadır. Bu nedenle ışıınım ve sıcaklığa bağlı olarak bulunan referans gerilimi için YSA uygun bir çözüm sağlayabilmektedir [108,153].

YSA eğitiminde istenilen sonuca ulaşılabilmesi ve ezberleme olayından kaçınılabilmesi için en uygun ağ yapısının tasarlanması gerekmektedir. Klasik ileri beslemeli geri yayımlı ağ yapılarında sinir sayılarının fazla olması ezberlemeye yol açmakta olup sinir sayılarının az olması ise eğitim başarısını düşürmektedir. Gerçek zamanlı uygulamalarda ağın hesaplama yükünü belirleyen en önemli etken sinir sayısıdır. Hem ezberleme olayından kaçma hem de eğitme işleminin gerçekleşmesini sağlayacak en az sinir yapısını sağlayan ağ tasarımı yapılarak gerçek zamanlı uygulama yapılır. Ayrıca aynı sayıda düğüm ve bağlantı ağırlığı ile istenen sonuca daha iyi yaklaşabilmesi bir sinir ağının etkinliğini gösteren temel ölçüttür.



Şekil 5.1. Önerilen MGNT algoritması için YSA yapısı

Uygun etkinlik fonksiyonlarının seçilmesi istenen sonuca daha iyi yaklaşabilmeyi belirleyen en önemli parametrelerden diğeridir. Geleneksel sinir ağı yapısında genellikle bilinen etkinlik fonksiyonlarından biri seçilerek ağ tasarımı yapılmaktadır [85]. Bu tez çalışmasında, ezberleme olayından kaçınılması, gerçek zamanlı uygulamanın yapılabilmesi için az sayıda sinir sayısına sahip 2-3-3-1 şeklindeki ağ yapısı kullanılmıştır. Şekil 5.1’de kullanılan YSA mimarisi gösterilmektedir. İleri beslemeli geri yayımlı bu ağ yapılarında her sinir için kullanılan aynı etkinlik fonksiyonu yerine ağ yapısının başarısını arttırabilmek için geliştirilen bulanık mantık temelli hibrit PSO-YAA algoritması ile YSA’nın etkinlik fonksiyonlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Şekil 5.1’deki YSA mimarisine ait ileri besleme algoritması, ağırlıkların ve eşik katsayıların güncellenmesinde kullanılan danışmanlı geri yayılım algoritması denklemleri Denklem (5.1) ve Denklem (5.24) arasında ifade edilmektedir.

- İleri besleme algoritması

İleri besleme algoritmasında girişten çıkışa doğru bir akış bulunmaktadır. Her bir giriş çifti için ağırlık, eşik ve etkinlik fonksiyonlarına bağlı olarak aşağıda verilen denklemler kullanılarak gerçek çıkış değeri y_d hesaplanır. P giriş katmanı, R ve S gizli katmanlar, T ise ağın çıkış katmanı olarak ifade edilir. Algoritmanın her bir

katmanında x düğümlerin girişlerini, y ise düğümlerin çıkışlarını belirtirken, Denklem (5.1) ise P katmanındaki giriş ve çıkışları göstermektedir.

$$x_p = \{G_x, T_x\}, \quad y_p = x_p \quad (5.1)$$

Birinci gizli katmandaki her bir r düğümü için giriş ve çıkışlar Denklem (5.2)'deki gibi ifade edilmektedir. w_{pr} , P ve R katmanları arasındaki ağırlıkları belirtmektedir.

$$x_r = \sum_{p=0}^P y_p w_{pr} + \theta_r \quad y_r = y(x_r) \quad (5.2)$$

İkinci gizli katmandaki her bir s düğümü için giriş ve çıkışlar Denklem (5.3)'de gösterilmektedir.

$$x_s = \sum_{r=0}^R y_r w_{rs} + \theta_s \quad y_s = y(x_s) \quad (5.3)$$

T çıkış katmanındaki t düğümü için giriş ve çıkış değerleri Denklem (5.4)'teki gibidir.

$$x_t = \sum_{s=0}^S y_s w_{st} + \theta_t \quad y_t = y(x_t) \quad (5.4)$$

Burada $y_d = y_t$ ağın gerçek çıkışıdır.

- Geri yayılım algoritması

Danışmanlı eğitim tabanlı geri yayımlı öğrenme algoritması Denklem (5.5)'te verilen enerji fonksiyonuna bağlı olarak hata değeri geri yayılır ve ağırlık ve eşik değerlerinin değişimleri bulunur. η öğrenme, α momentum katsayısıdır.

$$E(k) = \frac{1}{2} e^2(k) \quad (5.5)$$

$$e(k) = y_m(k) - y_d(k) \quad y_d = y_t \quad (5.6)$$

Zincir kuralı ağdaki ağırlıkların değişiminin hesaplanması için uygulandığında Denklem (5.7) ve Denklem (5.12) arasındaki eşitlikler elde edilir.

$$\Delta w_{st}(k) = \alpha_{st} \Delta w_{st}(k-1) + \eta_{st} \left(-\frac{\partial E}{\partial w_{st}} \right) \quad (5.7)$$

$$\Delta w_{st}(k) = \alpha_{st} \Delta w_{st}(k-1) + \eta_{st} \left(-\frac{\partial E}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial y_t} \frac{\partial y_t}{\partial x_t} \frac{\partial x_t}{\partial w_{st}} \right) \quad (5.8)$$

$$\Delta w_{rs}(k) = \alpha_{rs} \Delta w_{rs}(k-1) + \eta_{rs} \left(-\frac{\partial E}{\partial w_{rs}} \right) \quad (5.9)$$

$$\Delta w_{rs}(k) = \alpha_{rs} \Delta w_{rs}(k-1) + \eta_{rs} \left(-\frac{\partial E}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial y_t} \frac{\partial y_t}{\partial x_t} \frac{\partial y_s}{\partial y_s} \frac{\partial x_s}{\partial w_{rs}} \right) \quad (5.10)$$

$$\Delta w_{pr}(k) = \alpha_{pr} \Delta w_{pr}(k-1) + \eta_{pr} \left(-\frac{\partial E}{\partial w_{pr}} \right) \quad (5.11)$$

$$\Delta w_{pr}(k) = \alpha_{pr} \Delta w_{pr}(k-1) + \eta_{pr} \left(-\frac{\partial E}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial y_t} \frac{\partial y_t}{\partial x_t} \frac{\partial y_s}{\partial y_s} \frac{\partial x_s}{\partial y_r} \frac{\partial y_r}{\partial x_r} \frac{\partial x_r}{\partial w_{pr}} \right) \quad (5.12)$$

Ağırlıkların değişimi hesaplandıktan sonra ağırlıkların ifadesi Denklem (5.13) ve Denklem (5.15) arasındaki eşitliklerdeki gibi tanımlanır.

$$w_{st}(k+1) = w_{st}(k) + \Delta w_{st}(k) \quad (5.13)$$

$$w_{rs}(k+1) = w_{rs}(k) + \Delta w_{rs}(k) \quad (5.14)$$

$$w_{pr}(k+1) = w_{pr}(k) + \Delta w_{pr}(k) \quad (5.15)$$

Öğrenme algoritmasında eşik değerlerinin güncellemesi yapılırken, ağırlıkların değişimindeki gibi zincir kuralı uygulanarak eşik değerlerinin değişimleri Denklem (5.16) ve Denklem (5.21)'deki hesaplanır.

$$\Delta \theta_t(k) = \alpha_{st} \Delta \theta_t(k-1) + \eta_{st} \left(-\frac{\partial E}{\partial \theta_t} \right) \quad (5.16)$$

$$\Delta \theta_t(k) = \alpha_{st} \Delta \theta_t(k-1) + \eta_{st} \left(-\frac{\partial E}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial y_t} \frac{\partial y_t}{\partial x_t} \frac{\partial x_t}{\partial \theta_t} \right) \quad (5.17)$$

$$\Delta\theta_s(k) = \alpha_{rs}\Delta\theta_s(k-1) + \eta_{rs}\left(-\frac{\partial E}{\partial\theta_s}\right) \quad (5.18)$$

$$\Delta\theta_s(k) = \alpha_{rs}\Delta\theta_s(k-1) + \eta_{rs}\left(-\frac{\partial E}{\partial e}\frac{\partial e}{\partial y_t}\frac{\partial y_t}{\partial x_t}\frac{\partial x_t}{\partial y_s}\frac{\partial y_s}{\partial x_s}\frac{\partial x_s}{\partial\theta_s}\right) \quad (5.19)$$

$$\Delta\theta_r(k) = \alpha_{pr}\Delta\theta_r(k-1) + \eta_{pr}\left(-\frac{\partial E}{\partial\theta_r}\right) \quad (5.20)$$

$$\Delta\theta_r(k) = \alpha_{pr}\Delta\theta_r(k-1) + \eta_{pr}\left(-\frac{\partial E}{\partial e}\frac{\partial e}{\partial y_t}\frac{\partial y_t}{\partial x_t}\frac{\partial x_t}{\partial y_s}\frac{\partial y_s}{\partial x_s}\frac{\partial x_s}{\partial y_r}\frac{\partial y_r}{\partial x_r}\frac{\partial x_r}{\partial\theta_r}\right) \quad (5.21)$$

Denklem (5.22) ve Denklem (5.24) arasında güncellenmiş eşik değerlerinin eşitlikleri gösterilmektedir.

$$\theta_t(k+1) = \theta_t(k) + \Delta\theta_t(k) \quad (5.22)$$

$$\theta_s(k+1) = \theta_s(k) + \Delta\theta_s(k) \quad (5.23)$$

$$\theta_r(k+1) = \theta_r(k) + \Delta\theta_r(k) \quad (5.24)$$

Şekil 5.1'deki MGNT algoritması olarak kullanılan YSA mimarisinin geliştirilen bulanık mantık temelli hibrit PSO-YAA algoritması ile etkinlik fonksiyonlarının belirlenmesi aşamasında YSA'nın giriş ve çıkış veri seti, deneysel ölçümlerden elde edilen ışınlım, sıcaklık değerleri ve o değerlere karşılık gelen maksimum güç noktasındaki gerilim değeri Ammonit marka veri toplama cihazında kaydedilerek elde edilmiştir. Sinir ağının eğitilmesinde kullanılmak üzere toplam 856 adet veri elde edilmiş olup, bunların 770 adedi eğitime için, 86 adedi ise test etmek için kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında gerçek zamanlı uygulamanın yapılabilmesi için bir giriş katmanı, iki gizli katman ve bir çıkış katmanına sahip dört katmanlı ileri beslemeli geri yayımlı ağ yapısı kullanılmış olup, geliştirilen bulanık temelli hibrit PSO-YAA optimizasyon algoritmasının ağın eğitimindeki başarısının belirlenebilmesi için öncelikle ağ geleneksel yapıda eğitilmiştir. En çok kullanılan etkinlik fonksiyonlarından biri olan Denklem (5.25)'te gösterilen lojistik sigmoid

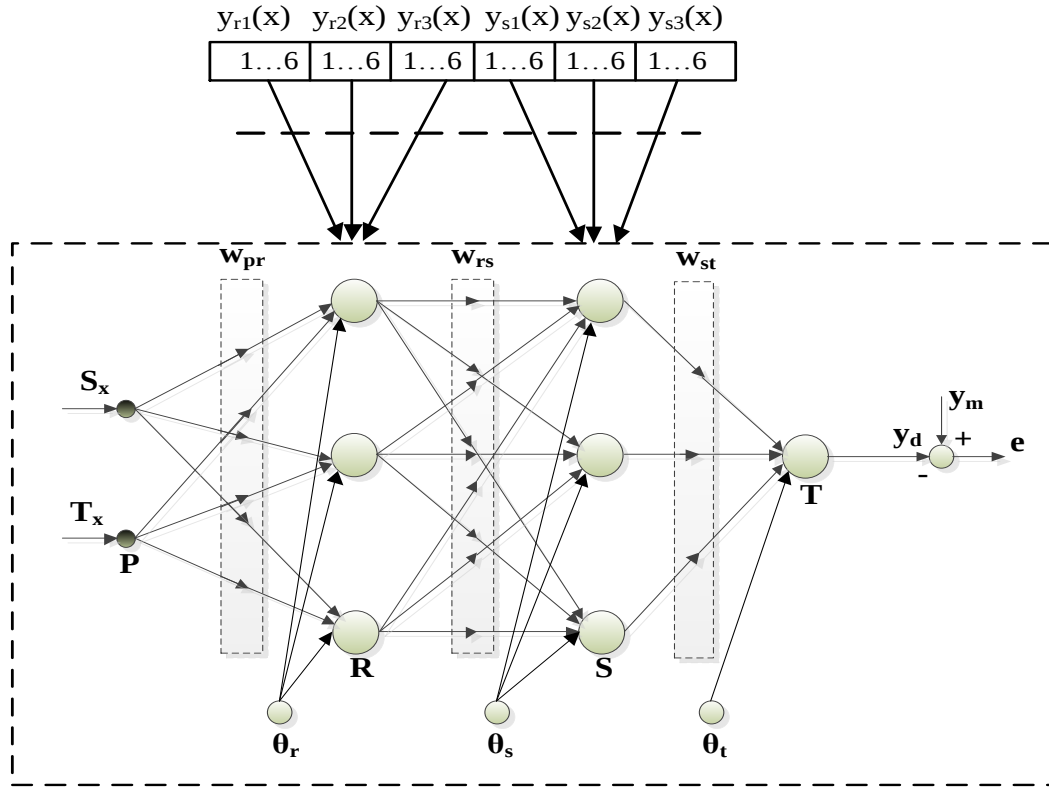
etkinlik fonksiyonu ağıın tüm sinirlerinde etkinlik fonksiyonu olarak kullanılarak geleneksel yapıda eğitime işlemi yapılmıştır.

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (5.25)$$

Geleneksel yapıda eğitime işlemi bittikten sonra, bulanık mantık temelli hibrit PSO-YAA optimizasyon algoritması ile Şekil 5.1'deki ağ yapısı eğitilerek gizli katmanlardaki sinirlere ait etkinlik fonksiyonları bulunmuştur. Etkinlik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan fonksiyonlar Tablo 5.1'de gösterilmiştir. Tablo 5.1'de verilen kare, kübik, lojistik sigmoid, hiperbolik tanjant, radyal tabanlı ve sinüs fonksiyonları olmak üzere toplam 6 adet fonksiyon seçilmiştir. Tabloda görülen numaralandırmaya göre optimizasyon algoritmasındaki gerçek kodlama da aynı biçimiyle 1-6 aralığında kullanılmıştır. Her bir etkinlik fonksiyonu önerilen optimizasyon algoritmasındaki her bir ajanın değişkenlerini temsil etmektedir. Optimizasyon algoritmasına ait parametreler, popülasyon sayısı $N=10$, c_1 ve c_2 değerleri 2,3, 2, G_0 ve α değerleri 10, 20, w ve β değerleri ise 0 ile 1 arasında rasgele belirlenmiş olup, değişken sayısı ise gizli katmandaki toplam sinir sayısı 6 olarak belirlenmiştir. Algoritmada değişkenler birleşerek ajanı ajanlar da popülasyonu oluşturmaktadır. Popülasyondaki her bir ajanın görünümü Şekil 5.2'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Etkinlik fonksiyonları

No	Etkinlik fonksiyonun ismi	Etkinlik fonksiyonu
1	Kare fonksiyon	$f(x) = x^2$
2	Kübik fonksiyon	$f(x) = x^3$
3	Lojistik sigmoid fonksiyon	$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$
4	Tanjant hiperbolik fonksiyon	$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$
5	Radyal tabanlı fonksiyon	$f(x) = e^{-x^2}$
6	Sinüs fonksiyon	$f(x) = \sin(x)$



Şekil 5.2. Popülasyondaki bir ajanın yapısı

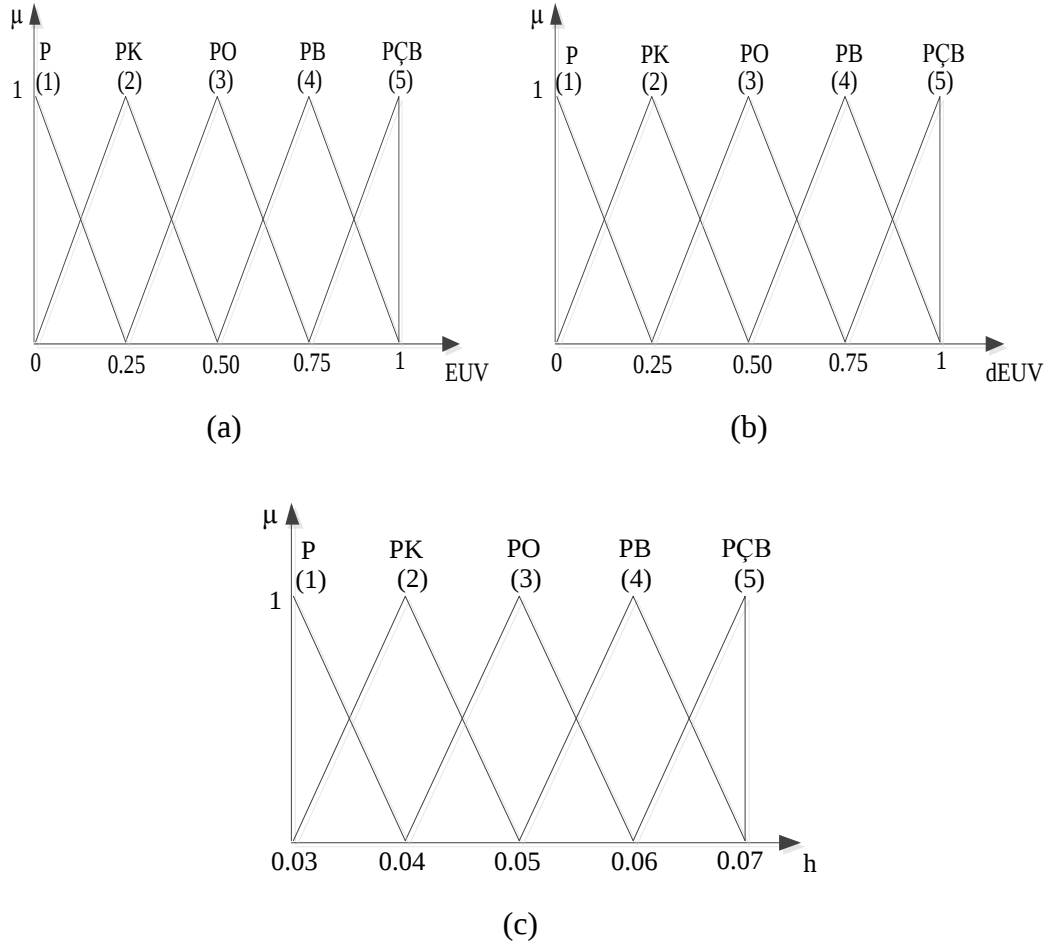
Ajan, 2-3-3-1 olarak Şekil 5.2’de gösterilen sinir ağının gizli katmanlarındaki etkinlik fonksiyonlarını temsil eden $y_{r1}(x)$, $y_{r2}(x)$, $y_{r3}(x)$, $y_{s1}(x)$, $y_{s2}(x)$, $y_{s3}(x)$ toplam 6 değişkenden oluşturulur. Popülasyondaki her bir ajanın değişkenlerinin tanımlanmasında 1-6 arası tam sayılar kullanılmıştır. Geliştirilen optimizasyon algoritmasına ait başlangıç popülasyonunun değeri 10 olarak seçilmiş ve popülasyondaki her bir ajanın değişkenlerinin değerleri ise 1-6 arasında rasgele atanmıştır. Başlangıç popülasyonu belirlendikten sonra her bir ajanın, sinir ağı algoritmasındaki tüm örnekler için ağı eğitimi gerçekleştirerek uygunluk değerleri Denklem (5.26)’da gösterilen ifadeye göre hesaplanmaktadır.

$$f = \sum_{k=1}^K |e(k)| = \sum_{k=1}^K |(y_m(k) - y_d(k))| \quad (5.26)$$

Uygunluk değeri hesaplandıktan sonra algoritma Bölüm 4.6.’da verildiği gibi uygulanmıştır. Uygulama esnasında h parametresinin bulanık mantık ile belirlenmesinde kullanılan kural tablosu Denklem (5.27)’ye göre belirlenmiştir.

Ayrıca giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları için üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır.

$$i = \frac{x + y}{2} \quad (5.27)$$



Şekil 5.3. Bulanık mantığın ((a),(b)) girişleri, (c) çıkışı

Tablo 5.2. Sayısal olarak ifade edilen kural tablosu

	dEU	1	2	3	4	5
EU						
1		1	1	2	2	3
2		1	2	2	3	3
3		2	2	3	3	4
4		2	3	3	4	4
5		3	3	4	4	5

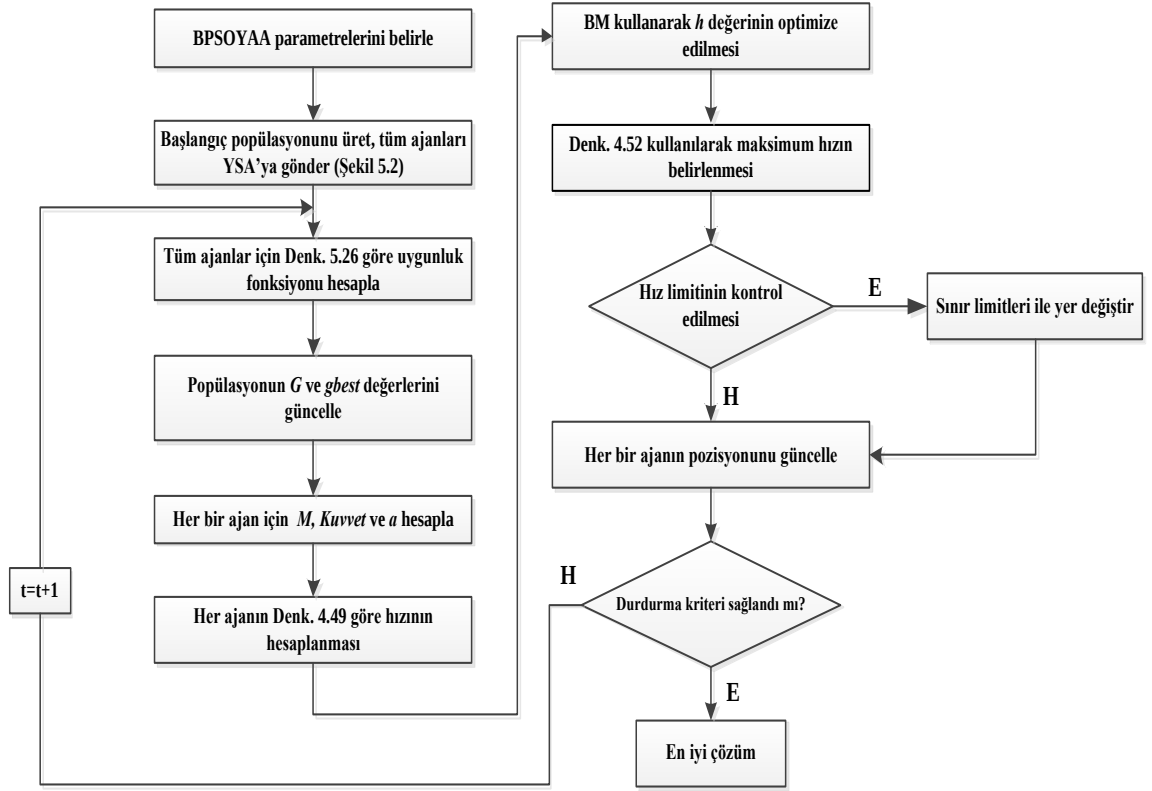
Tablo 5.3. Dilsel olarak ifade edilen kural tablosu

	<u>dEU</u>	P	PK	PO	PB	PÇB
EU						
P		P	P	PK	PK	PO
PK		P	PK	PK	PO	PO
PO		PK	PK	PO	PO	PB
PB		PK	PO	PO	PB	PB
PÇB		PO	PO	PB	PB	PÇB

Şekil 5.3'te h parametresinin hesaplanması için kullanılan üçgen üyelik fonksiyonları gösterilmiştir. Denklem (5.27)'ye göre bulunan kesirli sonuçlar bir alt değerindeki tam sayıya çekilerek Tablo 5.2'de sayısal olarak kural tabanının yapısı, Tablo 5.3'te ise dilsel olarak kural tabanı gösterilmektedir. Bulanık mantığın çıkışında durulaştırma işlemi için ağırlıkların merkezi yönetimi metodu kullanılmıştır. Önerilen bulanık mantık temelli PSO-YAA optimizasyon algoritması maksimum iterasyon sayısına ulaşıncaya en iyi çözümü ve bu çözüme ait değişkenlerin değerlerini kullanıcıya göstermektedir. YSA'nın gizli katmanlarındaki sınırlara ait etkinlik fonksiyonlarının belirlenmesi için optimizasyon algoritmasının maksimum iterasyonu 1000 olarak belirlenmiş olup, algoritmaya ait akış diyagramı Şekil 5.4'te gösterilmektedir. Optimizasyon işlemi bittikten sonra YSA'nın gizli katmanlarındaki sınırlara ait etkinlik fonksiyonları Tablo 5.4'te gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Optimizasyon işlemi sonunda elde edilen etkinlik fonksiyonları

Sinir no	Değişken değeri	Etkinlik fonksiyonun ismi	Etkinlik fonksiyonu
$y_{r1}(x)$	6	Sinüs fonksiyon	$f(x) = \sin(x)$
$y_{r2}(x)$	6	Sinüs fonksiyon	$f(x) = \sin(x)$
$y_{r3}(x)$	2	Kübik fonksiyon	$f(x) = x^3$
$y_{s1}(x)$	4	Tanjant hiperbolik fonksiyon	$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$
$y_{s2}(x)$	5	Radyal tabanlı fonksiyon	$f(x) = e^{-x^2}$
$y_{s3}(x)$	5	Radyal tabanlı fonksiyon	$f(x) = e^{-x^2}$



Şekil 5.4. YSA eğitiminde kullanılan bulanık PSO-YAA algoritmasının akış diyagramı

Önerilen optimizasyon algoritması ile etkinlik fonksiyonu bulunan YSA modeli ve gizli katmanlardaki tüm sinirlerin etkinlik fonksiyonları Denklem (5.25)'teki gibi kabul edilen lojistik sigmoid ile eğitilen YSA'dan elde edilen eğitim ve test verilerinin istatistiksel analizlerine ait sonuçlar Tablo 5.5'de gösterilmiştir. Önerilen optimizasyon algoritması kullanarak eğitilen YSA modeli ile klasik YSA modelinin eğitim ve test verilerindeki başarımlarının değerlendirilebilmesi için Denklem (5.28) ve Denklem (5.29)'deki ifadeler kullanılmıştır. Denklem (5.28) ortalama karesel hatanın karekökü, Denklem (5.29) ise korelasyon katsayısı olarak ifade edilmektedir.

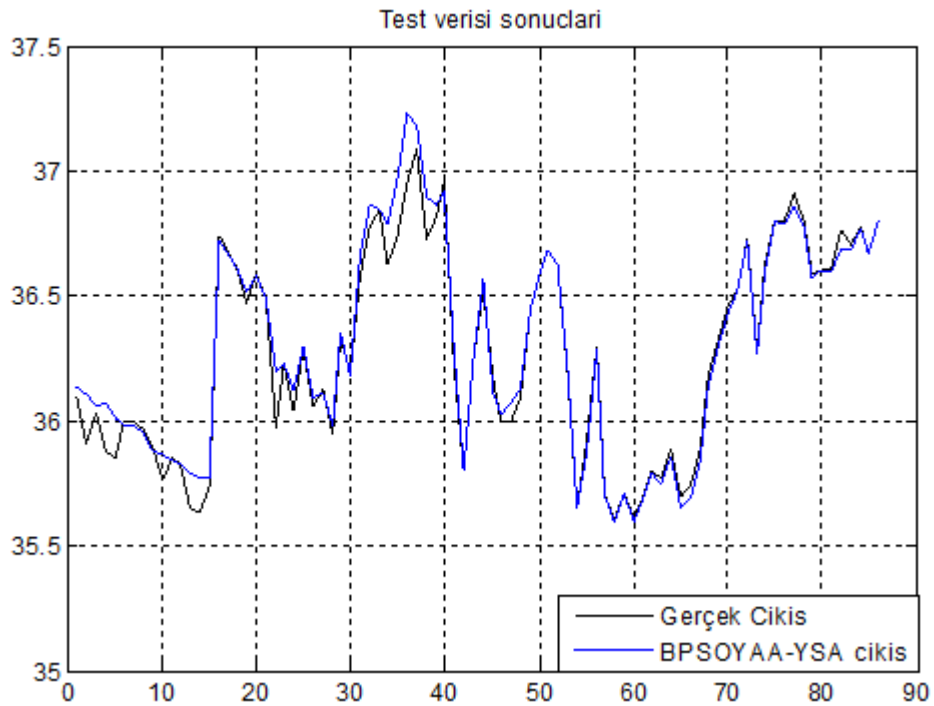
$$OKHK = \left(\left(\frac{1}{N} \sum_k (y_m(k) - y_d(k))^2 \right) \right)^{1/2} \quad (5.28)$$

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_k (y_m(k) - y_d(k))^2}{\sum_k y_d(k)^2} \right) \quad (5.29)$$

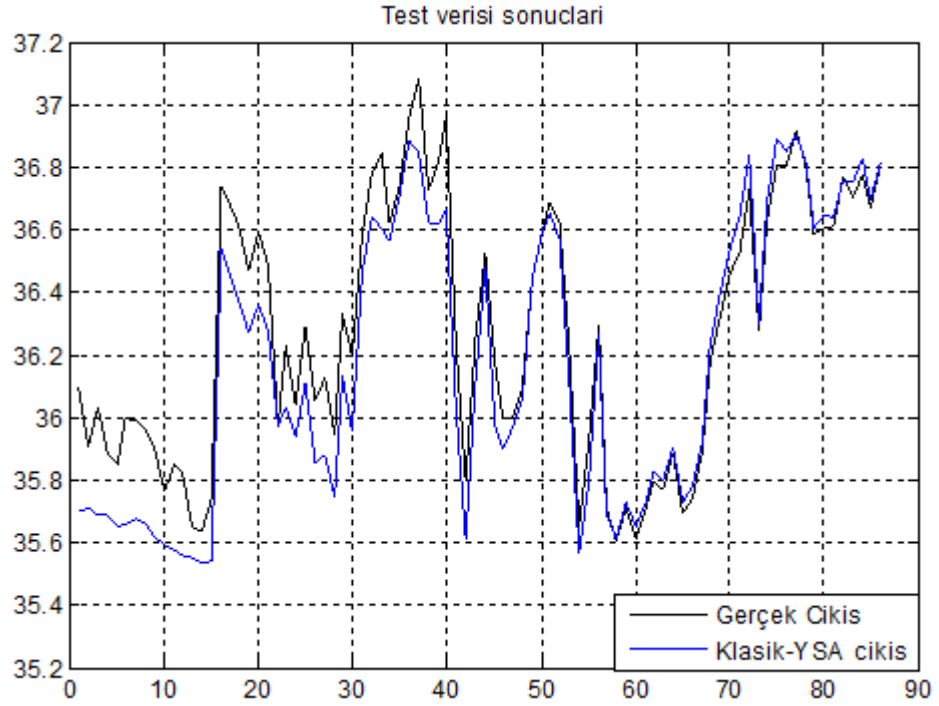
Tablo 5.5. Her iki algoritmaya ait istatistiksel sonuçlar

BPSO-YAA temelli YSA				Klasik YSA			
Eğitim Verileri		Test Verileri		Eğitim		Test	
OKHK	R ²	OKHK	R ²	OKHK	R ²	OKHK	R ²
0,0156	0,99999981	0,0738	0,99999586	0,0342	0,99999725	0,1593	0,99998062

BPSO-YAA kullanılarak eğitilen YSA'nın hem eğitim hem de test verilerinin OKHK değerleri klasik yapıdaki YSA'dan elde edilen sonuçlardan daha iyi olduğu Tablo 5.5'te görülmektedir. Ayrıca korelasyon katsayısı açısından değerlendirildiğinde önerilen yaklaşımla eğitilen YSA modelinin hem eğitim hem de test verileri açısından 1 değerine daha yakın değerde olduğu ifade edilir. Şekil 5.5'te önerilen yaklaşımla etkinlik fonksiyonları belirlenen YSA modelinin test verileri için gerçek ve model çıkış verileri gösterilmektedir. Şekil 5.6'da ise test verileri için klasik YSA modelinin çıkış değerleri ile gerçek çıkış değerlerin karşılaştırılması gösterilmektedir.



Şekil 5.5. Test verileri için önerilen YSA modelinin ve gerçek çıkış değerlerinin karşılaştırılması

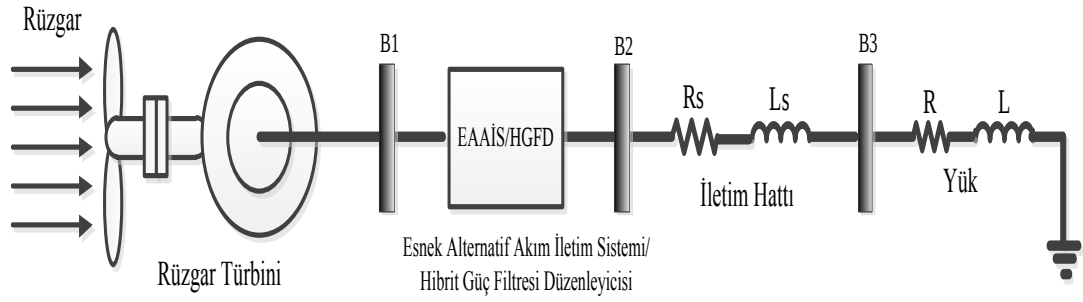


Şekil 5.6. Test verileri için klasik YSA modelinin ve gerçek çıkış değerlerinin karşılaştırılması

5.2. Hibrit Güç Filtresi Düzenleyicisi ve Kontrol Algoritması

5.2.1. Sistemin yapısı

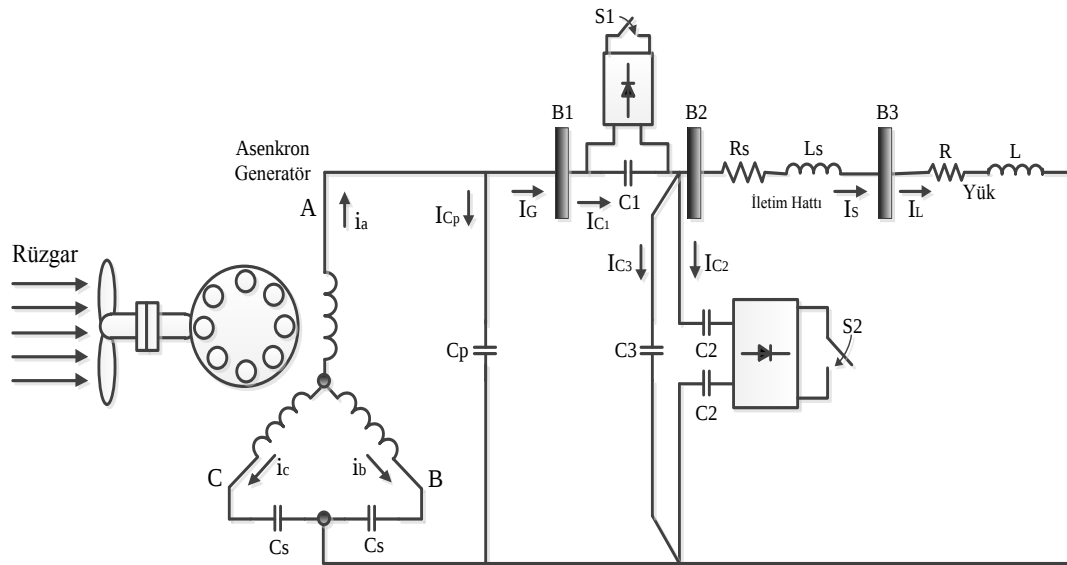
Hibrit güç filtresi düzenleyicili mikro rüzgar güç üretim sisteminin tek hat devre şeması Şekil 5.7’de gösterilmektedir. B1 ve B2 baraları arasındaki EAAİS dayalı HGFD’si bu çalışmanın amacını temsil etmektedir. Rüzgar hızının değişken olması sebebiyle her zaman rüzgar türbinlerinden tüketiciye kaliteli bir enerji aktarılamamaktadır. Ayrıca yüklerde meydana gelen sürekli değişimler enerjinin kalitesini doğrudan etkilerken, geriliminde kararsız olmasına neden olmaktadır. Bu önerilen EAAİS dayalı HGFD’si ile rüzgar türbininden yüklere aktarılan enerjinin kaliteli, gerilimin kararlı ve iyileştirilmiş güç faktörünün olması amaçlanmıştır.



Şekil 5.7. Rüzgar enerjisi güç üretim sisteminin tek hat devre şeması

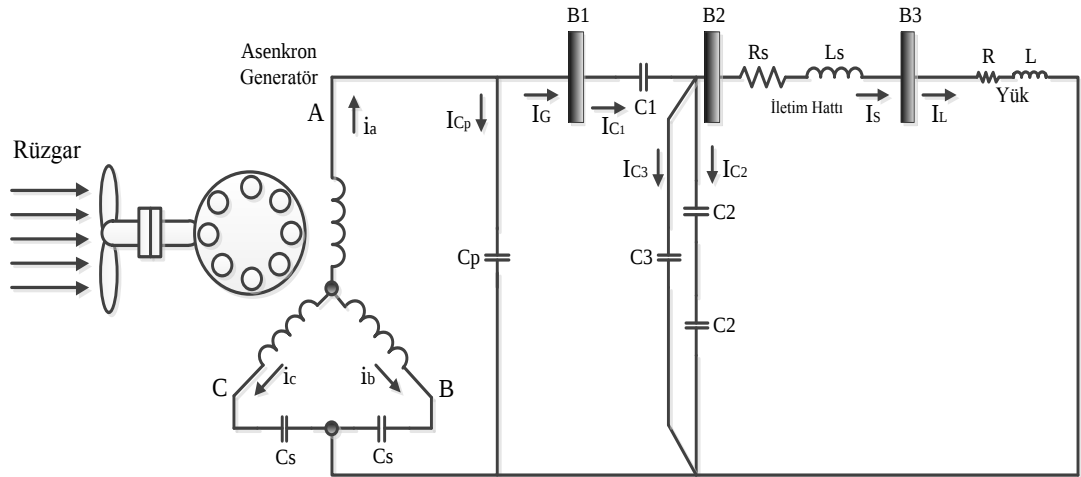
Sitemin açık blok diyagramı Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Rüzgar türbininde 3 fazlı sincap kafesli asenkron generatör kullanılmış olup generatör kondansatörler vasıtası ile bir fazlı hale getirilmiştir. B1 ve B2 baraları arasındaki önerilen HGFD sistemine ait açık devre şeması gösterilmiştir. Direnç ve endüktanstan oluşan seri iletim hattı modeli B2 ve B3 baraları arasına, yük ise B3 barasına yerleştirilmiştir.

Şekil 5.8’deki sistemin açık blok diyagramından da görüldüğü gibi asenkron generatörün sargılarından B ve C fazları arasına seri bağlı C_s kondansatörlerinin orta noktaları ile A fazına bağlı C_p kondansatörü ile yıldız bağlanarak üç fazlı asenkron generatör tek faza indirgenmektedir. B1 barası ile B2 barası arasında görülen HGFD, C1, C2, C3 kondansatörleri, köprü diyotlar ile S1 ve S2 anahtarlarından oluşmaktadır.

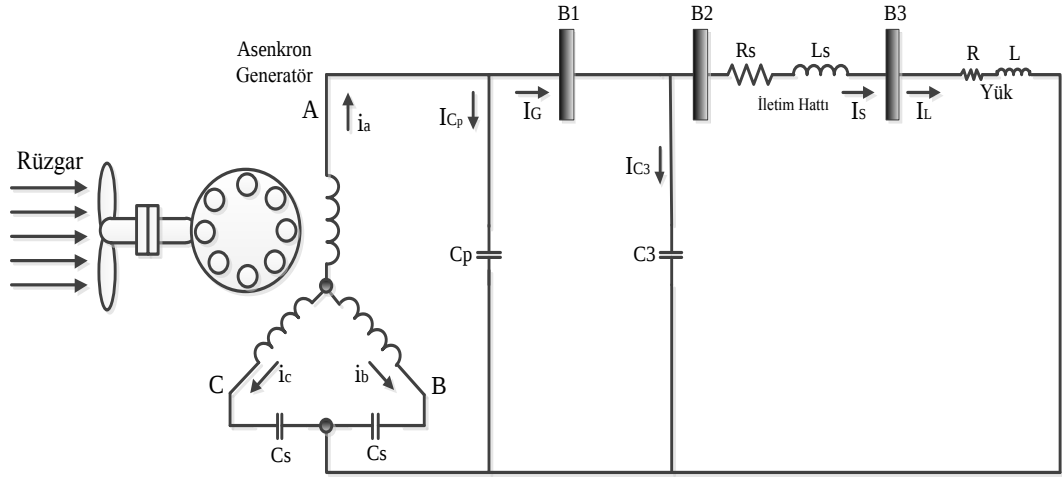


Şekil 5.8. Sistemin açık devre şeması

C1 kondansatörü seri kompanzasyon amacı ile sisteme yerleştirilirken iletim hattındaki reaktansın değerini değiştirerek, reaktif güç kaybını azaltıp, iletilen gücü arttırmaktadır. Böylece reaktif güç dengesinin ve gerilim kontrolünün yapılmasına da katkıda bulunmaktadır. C2 ve C3 kondansatörü ise yükler üzerindeki endüktif gücün etkisi azaltarak yükün durumuna göre kondansatörlerin değeri anahtarlamalar vasıtası ile değiştirilmektedir. C1 ve C2 kondansatörleri devreye alınırken veya devreden çıkarılırken kullanılan S1 ve S2 anahtarlarından biri açık iken diğeri kapalı konumdadır. S1 anahtarı açık, S2 anahtarı kapalı konumda olduğu durum Şekil 5.9'daki devre şemasında gösterilmektedir. Anahtarlar bu konumda kullanılırken Şekil 5.9'da görüldüğü gibi S1 anahtarının açık olması C1 kondansatörünün devrede olduğunu aynı anda kapalı konumda olan S2 anahtarı ise C2 kondansatörlerinin devrede olduğunu göstermektedir. S1 anahtarı kapalı, S2 anahtarı açık konumu Şekil 5.10'da gösterilmektedir. Bu çalışma durumunda S1 anahtarı kapalı olduğu için C1 kondansatörü kısa devre olacaktır. S2 anahtarı açık konumda olduğu için de C2 kondansatörleri de devre dışında olurken sabit olan C3 kondansatörü devrede kalmaktadır. Yani anahtarların bu konumlardaki çalışma durumları için hem C1 hem de C2 kondansatörleri devre dışında kalmaktadır.



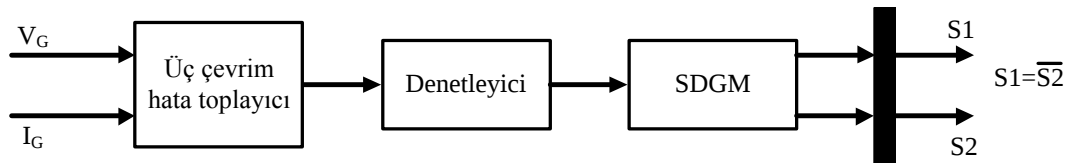
Şekil 5.9. S1 anahtarı açık S2 anahtarı kapalı devre şeması



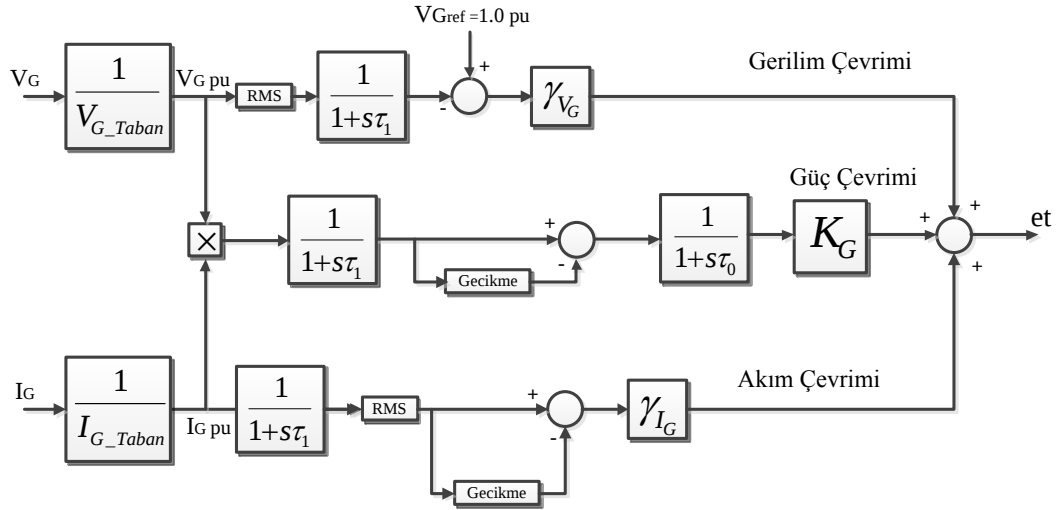
Şekil 5.10. S1 anahtarı kapalı S2 anahtarı açık devre şeması

5.2.2. Sistemin denetimi

C1 ve C2 kondansatörlerini devreye alıp devreden çıkarmak için kullanılan anahtarlama sinyalleri Şekil 5.11’de blok diyagramı gösterilen sistemden üretilmektedir. B1 generatör barasındaki gerilim ve akım bilgisi anlık olarak okunup üç çevrimli hata toplayıcısı algoritmasına gönderilmektedir. Hata toplayıcısı, ölçülen akım ve gerilim bilgilerini ve bu bilgilerinden yararlanarak hesaplanan güç bilgisinin hata değerlerini toplayarak toplam hata değerini oluşturmaktadır. Oluşan toplam hata değeri ağırlıklı PID denetleyicisine gönderilerek toplam hatanın sıfıra çekilmesi sağlanmaktadır. Denetleyici toplam hata değerini sıfırlamak için SDGM’ye gerekli olan anahtarlama sinyallerini göndererek anahtarlama elemanına gidecek olan anahtarlama sinyalinin üretilmesi sağlanmakta olup, generatör barası geriliminin istenilen referans geriliminde çalışmasını sağlamakta ve yük üzerinde reaktif güç kontrolünü gerçekleştirmektedir. Gerilim, akım ve güç hatalarının toplamı ile hesaplanan toplam hata işareti, girilen referans akım ve gerilim değerlerine göre hata çevrim işaretlerini içeren üç çevrim hata toplayıcısı algoritmasına ait blok diyagram Şekil 5.12’de gösterilmektedir.

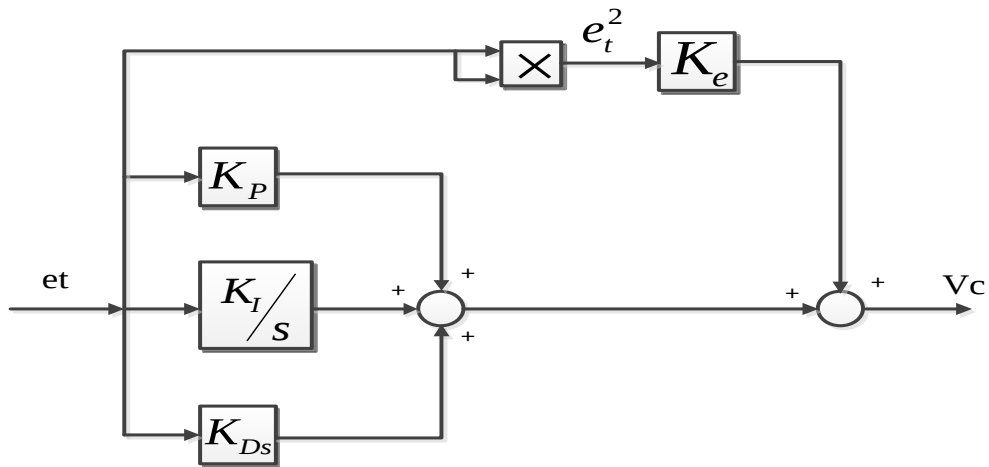


Şekil 5.11. Anahtarlama sinyallerinin üretildiği sistem



Şekil 5.12. Üç çevrim hata toplayıcısı algoritması

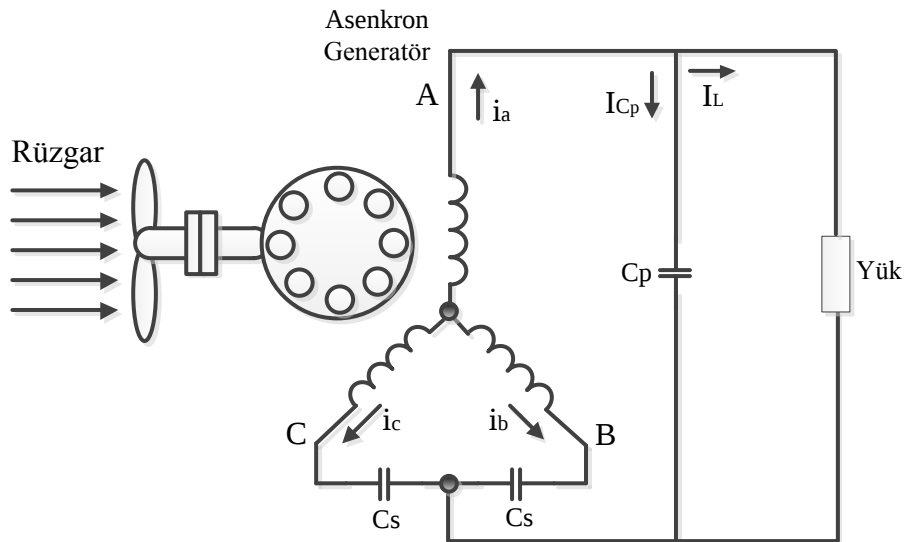
Ağırlıklı PID denetleyicisine ait blok diyagram ise Şekil 5.13’de gösterilmektedir. Rüzgar enerjisi güç üretim sisteminin B1 generatör barasından alınan gerilim değeri, referans veya taban gerilim değerine bölünerek birim değere (pu) dönüştürülmektedir. Bu değerin etkin değeri alınarak alçak geçiren filtreden geçirilip elde edilen işaret 1 pu referans gerilim değerinden çıkartılır. Elde edilen değer gerilim katsayısı ile çarpılarak oluşan hata değeri toplanmak üzere toplama noktasına gönderilir. Aynı şekilde akım değeri de B1 generatör barasından ölçülerek taban değere bölünür elde edilen birim değer alçak geçiren filtreden geçirilerek etkin değeri alınır. Bu etkin değer 5 ms’lik bir gecikme ile bir önceki değerinden çıkarılarak akım katsayısı ile çarpılır.



Şekil 5.13. Ağırlıklı PID denetleyicisi

Buradan çıkan akıma ait hata değeri de yine toplanmak üzere toplama noktasına gönderilir. Ölçülen akım ve gerilim değerleri taban değerlere bölünerek güç elde edilmek üzere çarpım noktasına gönderilir. Burada bu değerler çarpılarak güç değeri elde edilerek bir alçak geçiren filtreden geçirilir. Filtreden geçirilen gücün bir önceki değeri ile bir sonraki değeri arasındaki fark alınmaktadır. Elde edilen değer tekrardan filtreden geçirilip bir güç kuvvetlendirme katsayısı ile çarpılarak bu çevrimdeki oluşan güce ait hata değeri toplanmak üzere toplama noktasına gönderilir. Bu toplama noktasına gönderilen üç çevrim; akım, gerilim ve güç hata değerleri toplanarak toplam hata değeri elde edilmektedir. Bu hata değerinin sıfır değerinde ya da sıfıra yakın bir değerde olması amaçlanmakta olup elde edilen hata değeri ağırlıklı PID denetleyicisinin giriş değerini oluşturmaktadır. Üç fazlı sincap kafesli asenkron generatörün bir fazlı olarak çalıştırılması için bağlantı şeması Şekil 5.14’de gösterilmektedir. Şekil 5.14’deki devre aşağıdaki varsayımlar kabul edilerek analiz edilir [61];

- Manyetik doyum tarafından sadece mıknatıslanma reaktansın etkilenir.
- Stator ve rotorun kaçak reaktansları eşittir.
- Makinedeki çekirdek kayıpları ihmal edilir.
- Hava boşluğundaki uzay harmonikleri ihmal edilir.



Şekil 5.14. Sincap kafesli bir fazlı asenkron generatörün bağlantı şeması

Yıldız bağlantılı stator faz akımlarının simetrik bileşenleri Denklem (5.28)'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} I_a &= I_{1p} + I_{1n} \\ I_b &= a^2 I_{1p} + a I_{1n} \\ I_c &= a I_{1p} + a^2 I_{1n} \end{aligned} \quad (5.28)$$

Denklem (5.29)'da stator sargı uç gerilimleri ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned} V_{ab} &= Z_e I_a - (-jx_{cs}) I_b \\ V_{bc} &= -jx_{cs} I_b - (-jx_{cs}) I_c \\ V_{ca} &= -jx_{cs} I_c - Z_e I_a \end{aligned} \quad (5.29)$$

Bu gerilimlerin pozitif ve negatif bileşenleri aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\begin{aligned} V_{1p} &= \frac{1}{3} (V_{ab} + a V_{bc} + a^2 V_{ca}) \\ V_{1n} &= \frac{1}{3} (V_{ab} + a^2 V_{bc} + a V_{ca}) \end{aligned} \quad (5.30)$$

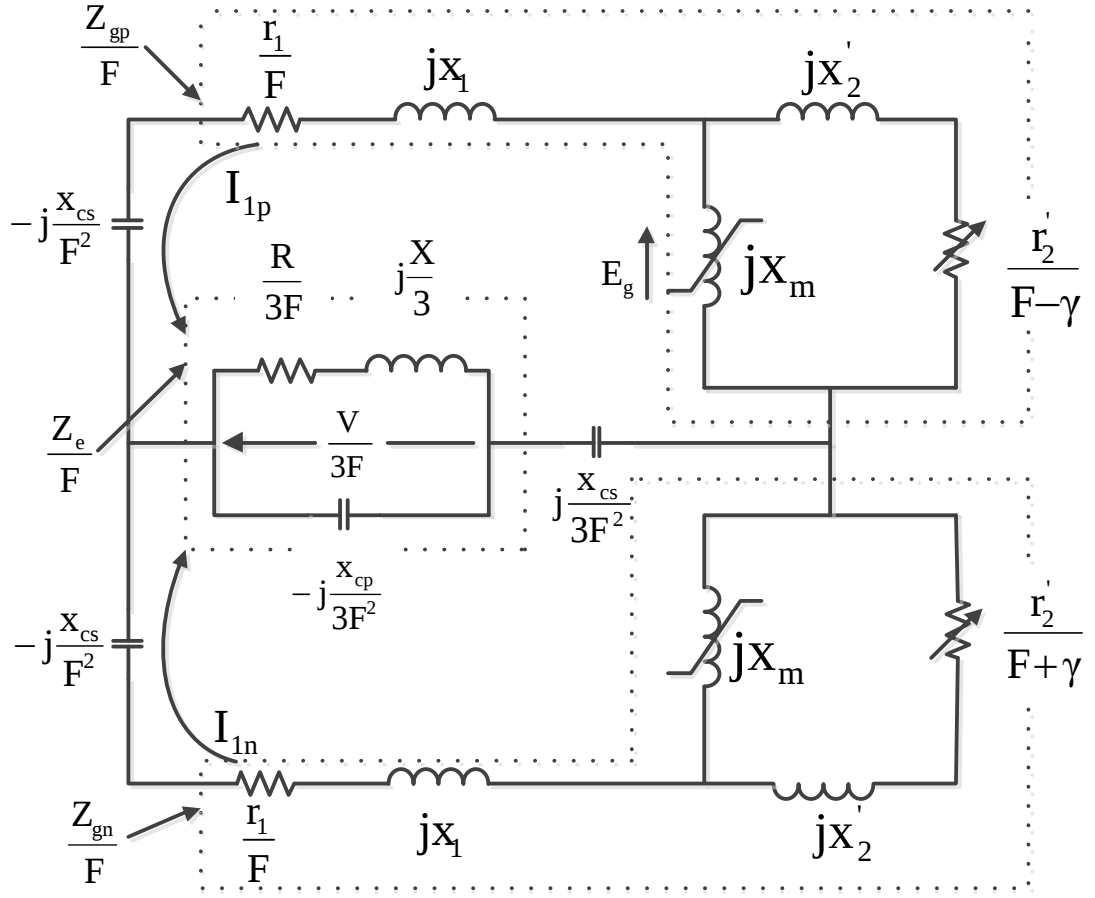
Generatör empedansının pozitif ve negatif bileşenlerini yukarıdaki denklemlerde yerine koyarsak Denklem (5.31)'deki ifade elde edilir.

$$\begin{aligned} V_{1p} &= -(1 - a^2) Z_{gp} I_{1p} \\ V_{1n} &= -(1 - a) Z_{gn} I_{1n} \end{aligned} \quad (5.31)$$

Stator faz akımlarının pozitif ve negatif bileşenleri matrisel formda aşağıdaki gibidir.

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} Z_e - j \frac{2}{3} x_{cs} + Z_{gp} & \frac{1}{3} (Z_e + j x_{cs}) \\ \frac{1}{3} (Z_e + j x_{cs}) & \frac{1}{3} Z_e - j \frac{2}{3} x_{cs} + Z_{gn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{1p} \\ I_{1n} \end{bmatrix} \quad (5.32)$$

Sincap kafesli asenkron generatörün eşdeğer devresi Şekil 5.15'te gösterilmektedir.



Şekil 5.15. Asenkron generatörün eşdeğer devresi

6. GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ İÇİN SANAL LABORATUVAR

Bu çalışmada güneş enerjisi çevrim sistemlerinin analizi için bir Matlab/GUI tabanlı sanal bir laboratuvar hazırlanmıştır. Alternatif enerji kaynakları ya da yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi çevrim sistemleri doğrusal olmayan karakteristik bir yapıya sahip olduğu için analizi ve modellenmesi zor olmaktadır. Bu sanal laboratuvarında kullanıcı, güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan bir ve iki diyot modelli FV modüllerin analizini, FV sistemlerinde maksimum güç noktasını aramada kullanılan algoritmalarından değiştir-gözetle ve artan iletkenlik algoritmalarının analizlerini, çevre şartlarının gölgeli olduğu durumlarda FV sistemlerin detaylı bir şekilde analizini ve FV modülün AA'daki hem MGNT algoritmaları hem de MGNT algoritması kullanmadan analizlerini detaylı bir şekilde yapabilmektedir. Ayrıca, analizi yapılmak istenen FV panelin parametreleri istenilen şekilde girilmesi kullanıcıya kolaylık sağlamaktadır. Bu sanal laboratuvarında 4 yaklaşımla FV modülün karakteristik analizleri yapılabilmektedir. Bölüm 2.3'te anlatılan FV pil devre modellerinden Şekil 2.6'da gösterilen bir diyotlu FV modül ve Şekil 2.7'de gösterilen iki diyotlu FV modüle ait denklemler kullanılarak yaklaşım 1 ve yaklaşım 2'nin analizleri yapılabilmektedir.

Atlam, bir FV modülün karakteristik analizini yapabilmek için yeni bir yaklaşım sunmuştur [154]. Bu yaklaşım, geliştirilen sanal laboratuvarında yaklaşım 3 olarak ele alınmaktadır. Atlam'ın yaklaşımında, FV modülün farklı ışınlam, sabit sıcaklık koşullarında açık devre gerilimi ve kısa devre akımlarının değerleri laboratuvar ortamında yapılan deneylerle belirlenir. Kısa devre akımı (I_{kd}) ve açık devre gerilimi (V_{ad}) arasındaki ilişki Denklem (6.1)'deki gibi ifade edilir.

$$V_{ad}(I_{kd}) = V_{ad1} + b \ln \left(\frac{I_{kd}}{I_{kd1}} \right) \quad (6.1)$$

I_{kd1} ve V_{ad1} değerleri en yüksek ışınlam seviyesindeki kısa devre akımı ile açık devre gerilimleri olarak ifade edilir. Eğri uydurma katsayısı Denklem (6.2)'deki gibidir.

$$b = \frac{V_{ad2} - V_{ad1}}{\ln\left(\frac{I_{kd2}}{I_{kd1}}\right)} \quad (6.2)$$

I_{kd2} ve V_{ad2} değerleri en düşük ışıyım seviyesindeki kısa devre akımı ile açık devre gerilimleri olarak ifade edilirken, model için sıcaklık değişim katsayısı ise farklı sıcaklık, sabit ışıyım koşullarında alınan açık devre gerilimi ve sıcaklık değerleri ile Denklem (6.3)'teki gibi belirlenir.

$$\frac{V_{ad2(t)} - V_{ad1(t)}}{T_2 - T_1} = dVt \quad (6.3)$$

Sıcaklık değişim katsayısına bağlı olarak açık devre gerilimindeki değişim Denklem (6.4)'te, ışıyım ve sıcaklık değişimlerine bağlı olarak V_{ad} ifadesi Denklem (6.5)'te gösterilmektedir.

$$\Delta V_{ad} = dVt \times \Delta T = dVt \times (T - T_{ref}) \quad (6.4)$$

$$V_{ad}(I_{kd}, T) = V_{ad}(I_{kd}) + \Delta V_{ad} \quad (6.5)$$

Farklı koşullar altında Denklem (6.5)'e göre belirlenen V_{ad} gerilimine göre FV modülün I-V karakteristiğinin belirlenebilmesi Denklem (6.6)'ya göre modellenmesi ile elde edilir.

$$I = I_{kd} - I_{kd} e^{k_p \left(\frac{V}{V_{ad}} - 1 \right)} \quad (6.6)$$

$$k_p = \frac{\ln\left[\frac{I_{kd1} - I_{max1}}{I_{kd1}}\right]}{\left(\frac{V_{max1}}{V_{ad1}} - 1\right)} \quad (6.7)$$

Denklem (6.6)'da gösterilen k_p modülün karakteristik katsayısı olarak tanımlanmakta olup Denklem (6.7)'teki gibi ifade edilir.

Yaklaşım 4'te ortam sıcaklık değişimleri ve ışıyım şiddetindeki değişimleri de içerecek şekilde Buresch tarafından oluşturulan model kullanılarak FV modülün

karakteristik analizi yapılmaktadır [102,155,8,3]. Buresch tarafından geliştirilen modelde FV pilin gerilim değeri FV panel akımı, sıcaklık ve ışıyım şiddetinin fonksiyonu olarak Denklem (6.8)'de gösterilmektedir.

$$V = f(I_a, S_x, T_x) \quad (6.8)$$

FV modülün bulunduğu ortam koşulları değıştikçe çıkış gerilimi de değışmektedir. Değişen ortam sıcaklığı T_x pilin çıkış gerilimini etkiler. FV modülün sıcaklığa bağı olarak gerilim ve akım katsayıları C_{TV} ve C_{TI} Denklem (6.9) ve Denklem (6.10)'daki gibi ifade edilir.

$$C_{TV} = 1 + \beta_T \times (T_a - T_x) \quad (6.9)$$

$$C_{TI} = 1 + \frac{\gamma_T}{S_c} \times (T_x - T_a) \quad (6.10)$$

Burada T_a referans ortam sıcaklığını ifade etmektedir. T_x farklı zamanlardaki ortam sıcaklığını, β_T ve γ_T katsayıları ise sıcaklık nedeniyle oluşan pil gerilimi ve akımında meydana gelen değışimleri belirtmektedir. β_T ve γ_T katsayıları deneysel olarak belirlenmekte olup, β_T 0,004 ile 0,006 arasında, γ_T ise 0,02 ile 0,1 arasında değışen değerler almaktadırlar. Gün içerisinde ortam sıcaklığının değışiminin yanı sıra, ışıyım şiddetindeki önemli değışimler çıkış gerilimini etkilemekte olup bu yaklaşımda iki ayrı düzeltme katsayısı C_{SV} ve C_{SI} ile ifade edilmektedir. Çıkış gerilimi için C_{SV} Denklem (6.11)'de, fotoakımı için C_{SI} Denklem (6.12)'de gösterilmektedir.

$$C_{SV} = 1 + \beta_T \times \alpha_s \times (S_x - S_c) \quad (6.11)$$

$$C_{SI} = 1 + \frac{1}{S_c} (S_x - S_c) \quad (6.12)$$

Burada, S_c ışıyım şiddetinin referans değeri, S_x ise farklı zamanlardaki ışıyım şiddeti değeri ifade etmektedir. α_s , ışıyım şiddetindeki değışimin FV pilin çalışma sıcaklığında meydana getireceğı değışime ait bir katsayı olarak Denklem (6.13)'teki gibi tanımlanır.

$$\alpha_s = \frac{T_{pil} - T_a}{S_x - S_c} \quad (6.13)$$

C_{TV} , C_{TI} , C_{SV} ve C_{SI} katsayıları kullanılarak FV pilin yeni çıkış gerilimi Denklem (6.14), yeni fotoakımı Denklem (6.15)'te gösterilmekte olup FV pilin çıkış gerilim ve akım değerleri elde edilmektedir.

$$V_{cx} = C_{TV} \times C_{SV} \times V_c \quad (6.14)$$

$$I_{phx} = C_{TI} \times C_{SI} \times I_{ph} \quad (6.15)$$

6.1. Sanal Laboratuvar Açılış Ekranı

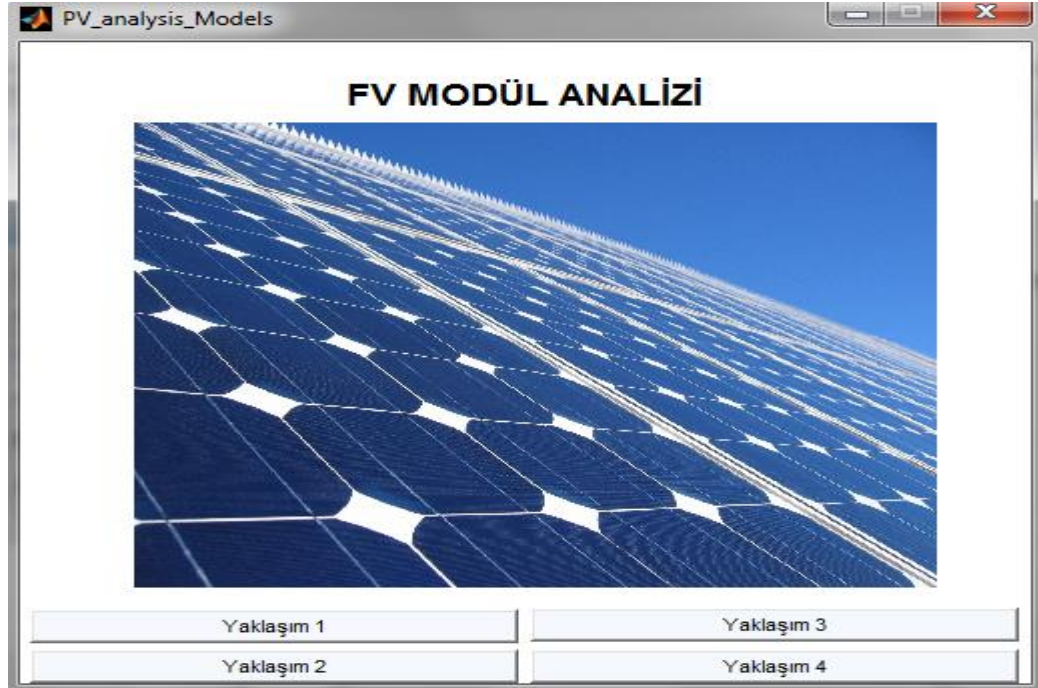
Kullanıcı, güneş enerjisi çevrim sistemlerinin analizi için tasarımı yapılan sanal laboratuvarı GUI yardımı ile açtığında Şekil 6.1'deki açılış ekranı ile karşılaşmaktadır. Bu ekranda temel seçim işlemleri gerçekleştirilir. Kullanıcı, ekranın sağında ve solunda bulunan butonlar yardımı ile FV modül analizi, MGNT algoritmalarının FV sistemlerdeki analizlerini, gölgeli durumlardaki FV modül analizi ve FV modülün AA çevrildiğindeki analizlerini yapabilmektedir. Ayrıca, yardım butonu ile programın nasıl kullanıldığının açıklandığı metin dosyasına erişebilirken, çıkış butonu ile programı sonlandırabilmektedir.

6.2. FV Modül Analizi

FV modül analiz butonu kullanılarak 4 farklı yaklaşım ile FV modül analizinin yapıldığı ekran Şekil 6.2'de sunulmuştur.

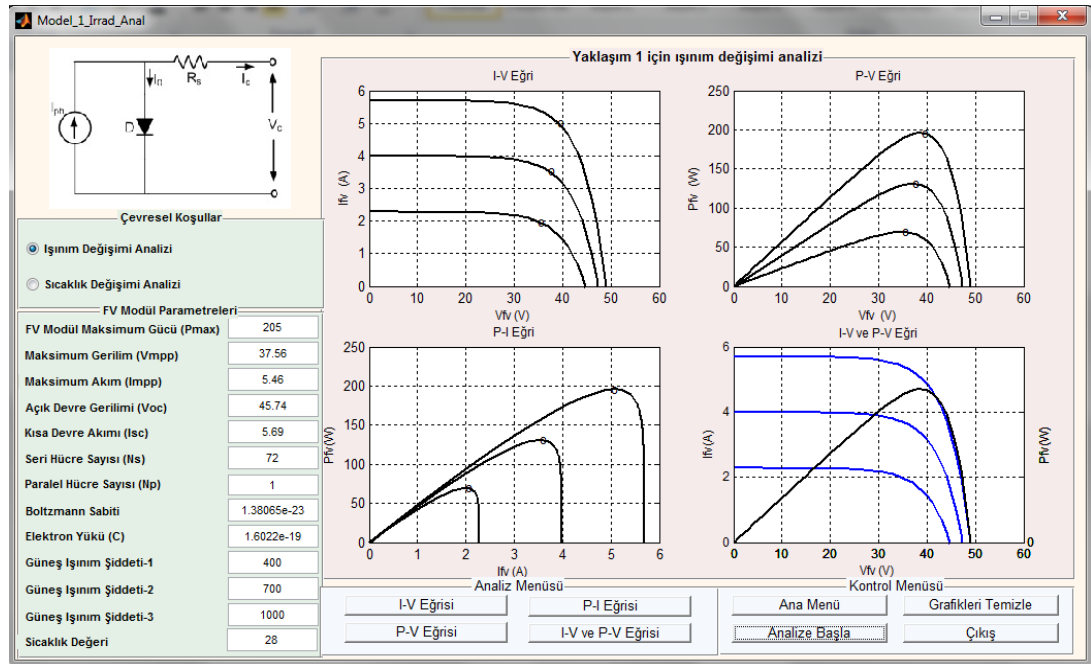


Şekil 6.1. Güneş enerjisi sanal laboratuvarı açılış ekranı



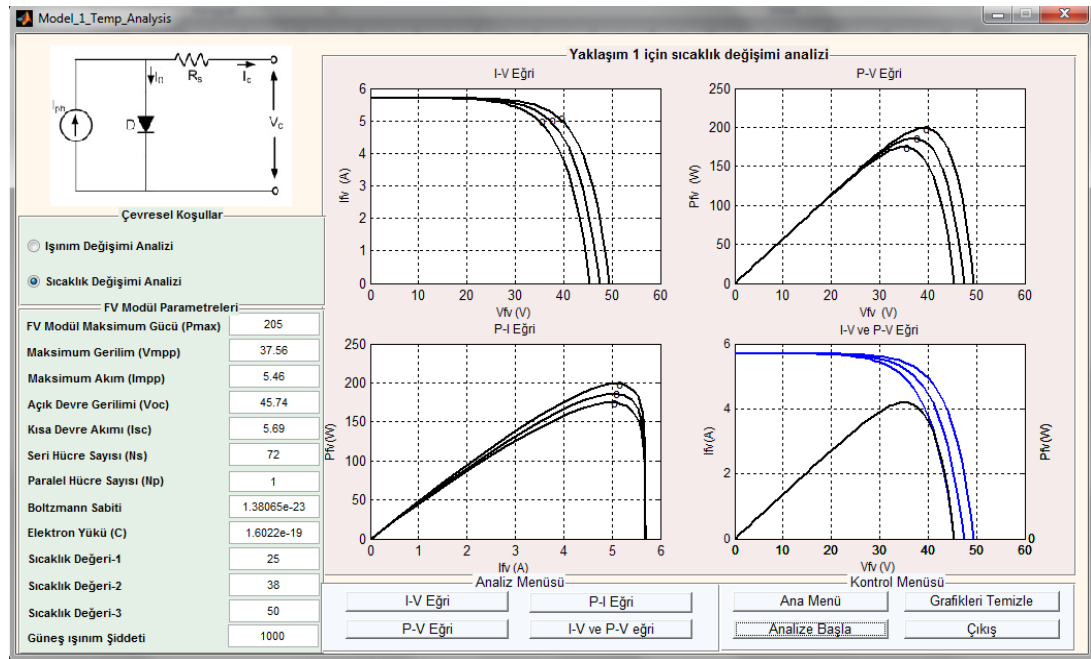
Şekil 6.2. Dört farklı yaklaşım ile FV modül analizi ekranı

Kullanıcı, hangi yaklaşım ile FV modül analizi gerçekleştirmek istiyorsa Şekil 6.2'deki yaklaşımlara ait butona basarak ilgili ekrana geçişi sağlayabilmektedir. Yaklaşım 1 butonuna basıldığında bir diyot modeline ait FV modülün karakteristik analizinin yapılabileceği ekran Şekil 6.3'deki gibi açılmaktadır.

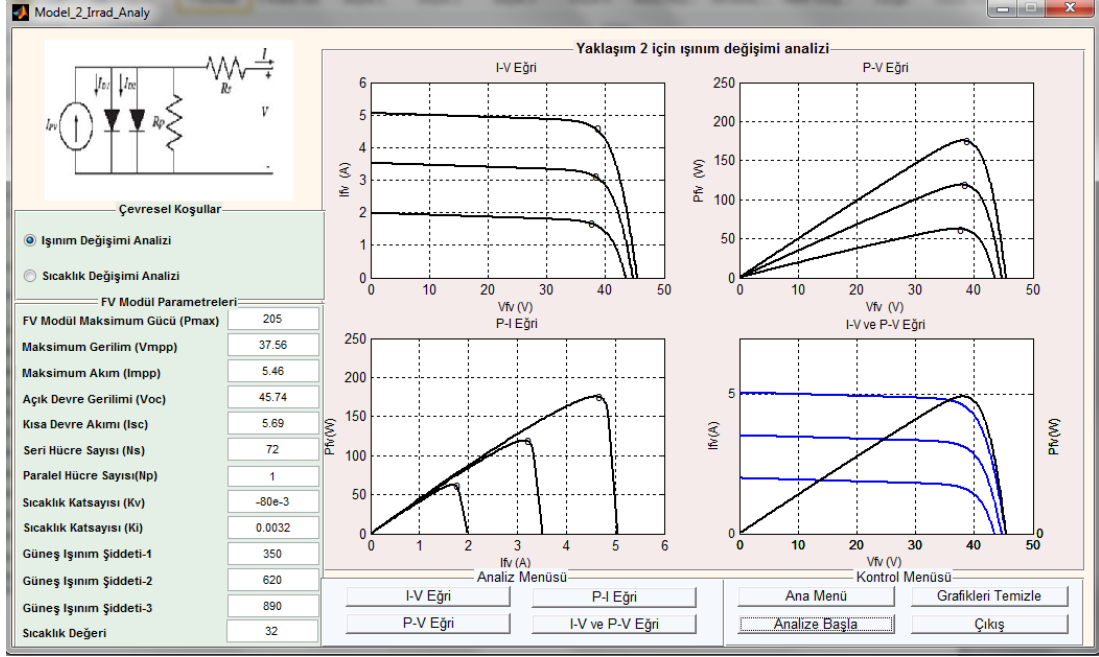


Şekil 6.3. Bir diyot modeli ışınlm değişimi analiz ekranı

Işınım şiddetinin değiştiği koşullar altında FV pilin bir diyot modelindeki karakteristik analizlerinin yapıldığı ve pile ait teknik özelliklerin girildiği ekran Şekil 6.3'deki gibidir. Kullanıcı, pile ait verileri ekranın solundaki gerekli yerlere girdikten sonra analize başla butonuna bastığında o pil modeline ait I-V, P-V, P-I ve I-V, P-V karakteristikleri dört ayrı pencerede çizilmekte olup, ışınlm değişimine göre bu karakteristiklerin değişimini detaylı bir şekilde inceleyebilir. Ayrıca, bu model için sıcaklık değişimi analizinin yapılabileceği butonda bulunmaktadır. Sıcaklık değişimi analiz butonuna bastığında Şekil 6.4'deki ekran açılmaktadır. FV pilin bir diyot modeli için sıcaklık değişimi analizinde kullanıcı, pile ait bilgileri ekranın sol tarafında gerekli olan yerlere girdikten sonra analize başla butonuna bastığında Şekil 6.4'deki grafikleri elde ederek detaylı bir şekilde I-V, P-V, P-I eğrilerini inceleyebilir. Grafikleri temizle butonuna basılarak ekrandaki karakteristiklere ait grafikleri silinir, farklı durumlar için yeniden analiz yapılması sağlanır. Ana menü butonuna basıldığında Şekil 6.1'deki açılış ekranına dönlür. Eğer kullanıcı Şekil 6.2'deki ekrandan yaklaşım 2 butonuna bastığında Şekil 6.5'deki iki diyotlu FV pilin modelinin analiz ekranı açılmaktadır. Kullanıcı, bu ekranda FV pilin iki diyot modeline ait gerekli bilgileri ekranın sol tarafındaki yere girer ve analize başla butonuna bastığında ışınlm değişimi için modele ait karakteristik grafikler ekrana gelmektedir.

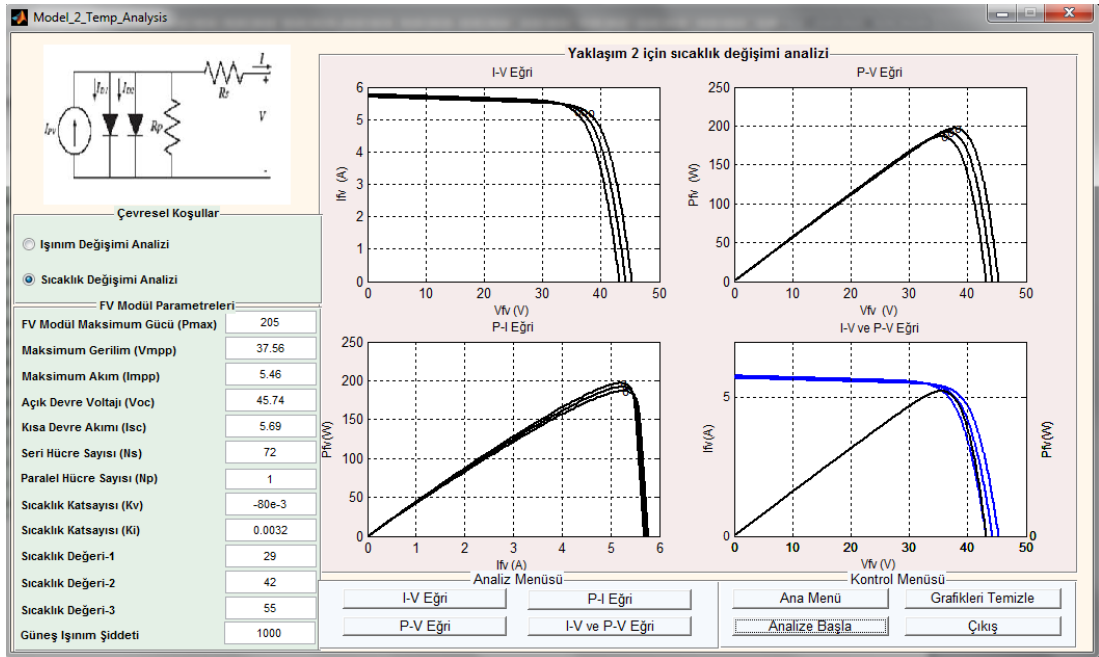


Şekil 6.4. Bir diyot modeli sıcaklık değişimi analiz ekranı

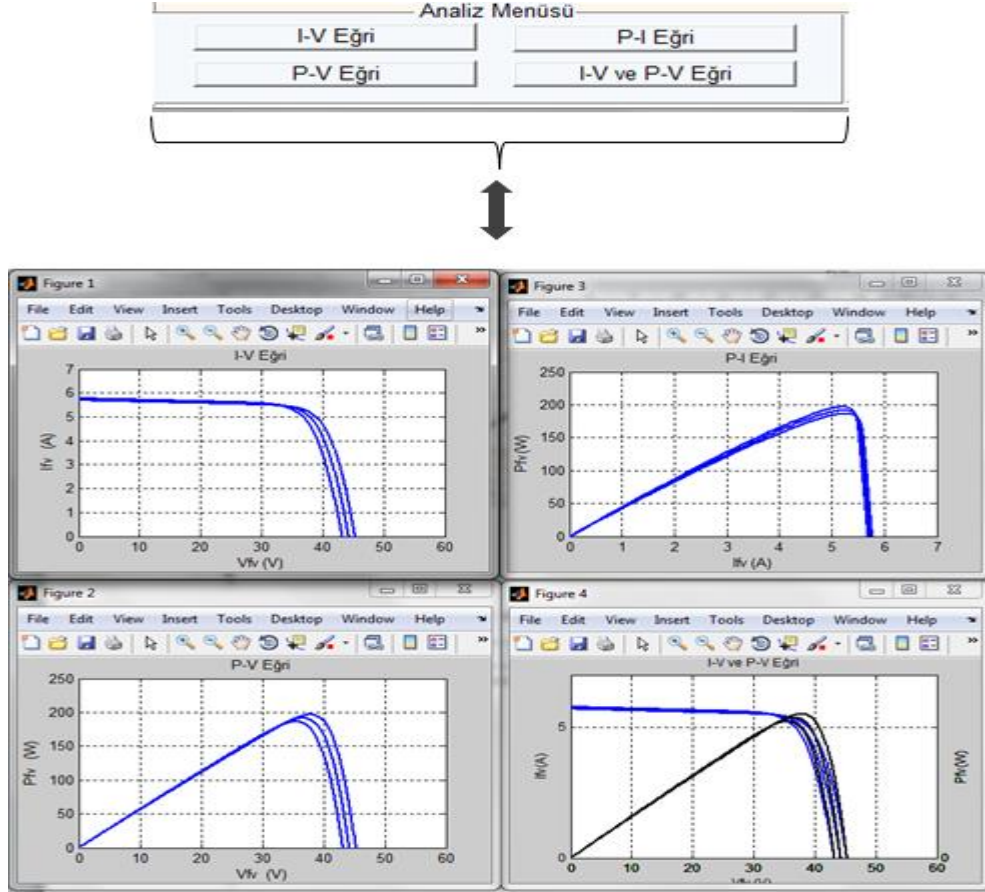


Şekil 6.5. İki diyot modeli ışınlm değişimi analiz ekranı

Şekil 6.5'deki sıcaklık değişim analizi butonuna basıldığında Şekil 6.6'daki ekran açılmaktadır. Bu ara yüzde, farklı sıcaklık değerleri için iki diyot modelinin karakteristikleri incelenebilmektedir. Ayrıca analiz menüsündeki I-V, P-I, P-V, I-V ve P-V eğrileri butonlarına bastığında Şekil 6.7'deki gibi karakteristik özellikler detaylı bir şekilde incelenebilmektedir.

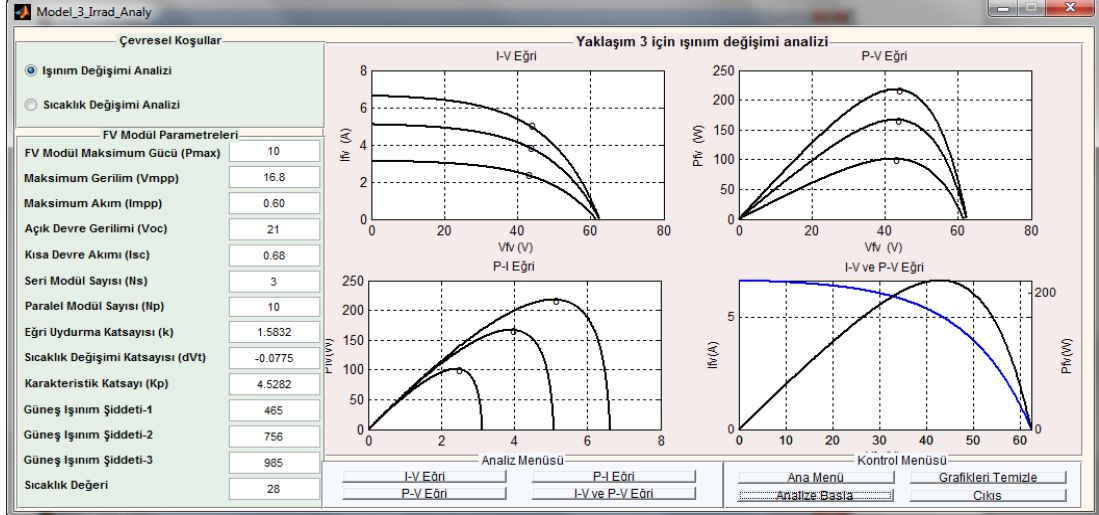


Şekil 6.6. İki diyot modeli için sıcaklık değişimi analiz ekranı

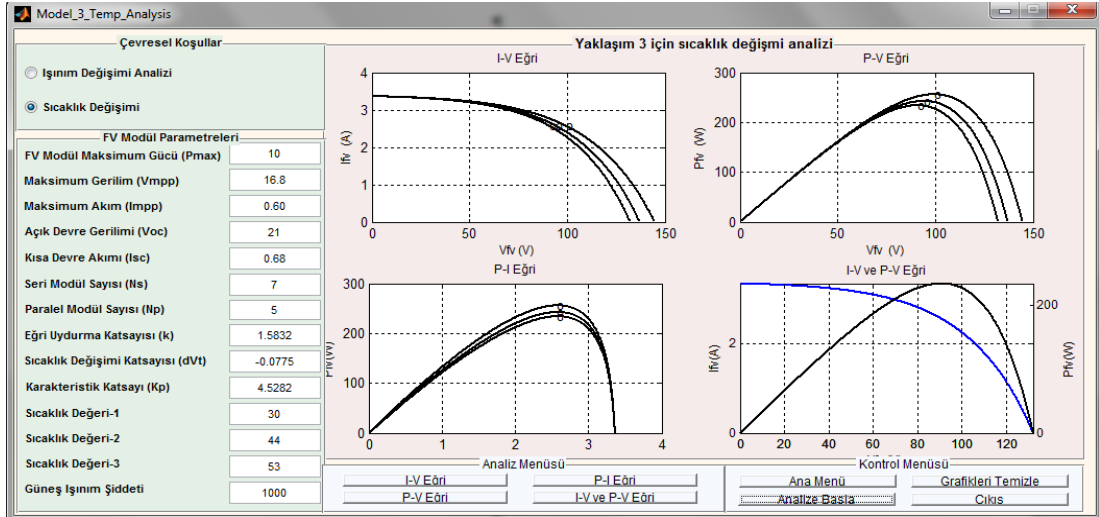


Şekil 6.7. Detaylı analiz menüsü

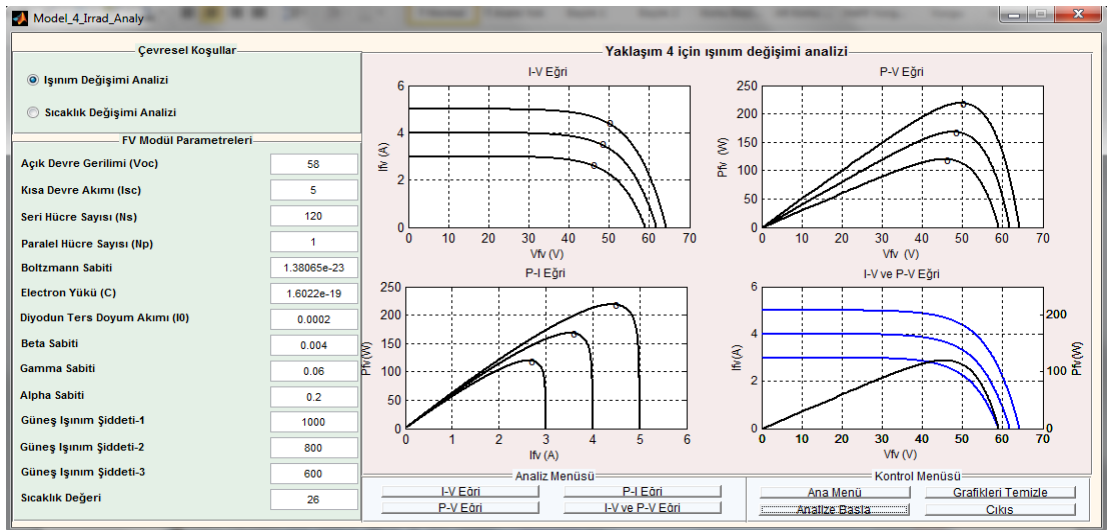
Yaklaşım 3 ve yaklaşım 4 için butonlara basıldığında Şekil 6.8 ve Şekil 6.10'daki ekranlar açılmaktadır. Yaklaşım 3'te deneysel veriler ışığında modüle ait katsayıların belirlenmesi yapılmaktadır. Daha sonra belirlenen katsayılar ve FV modüle ait parametreler kullanıcı tarafından Şekil 6.8'deki ara yüzde gerekli yerlere yazılarak ışıınım değişimi koşulları için karakteristiksel analizler yapılabilir. Sıcaklık değişimi butonuna basılarak Şekil 6.9'daki ara yüze geçiş yapılır. Burada farklı sıcaklık koşulları için yaklaşım 3 ile FV modülün karakteristiksel analizleri gerçekleştirilir. Yaklaşım 4'te ise, FV modüle ait katsayılar belirtilen aralıklarda seçilerek Şekil 6.10'da gerekli yerlere yazılarak FV pilin farklı ışıınım değerleri için analiz yapılır. Sıcaklık değişimi butonuna basılarak Şekil 6.11'deki ara yüze geçiş yapılarak, farklı sıcaklık değerleri için FV modülün karakteristik yapısı incelenir.



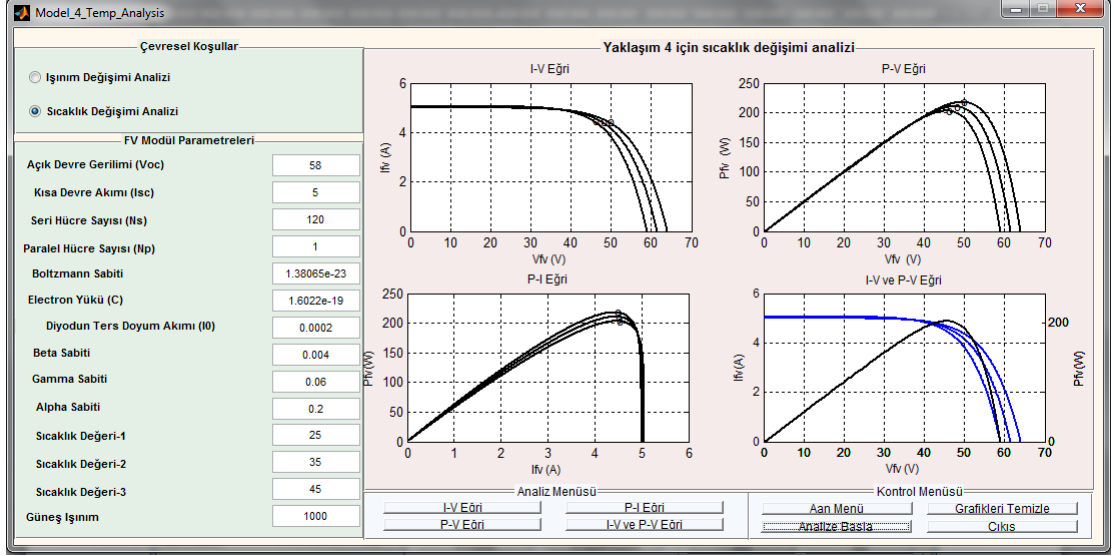
Şekil 6.8. Yaklaşım 3 için ışınlam değişimi analiz ekranı



Şekil 6.9. Yaklaşım 3 için sıcaklık değişimi analiz ekranı



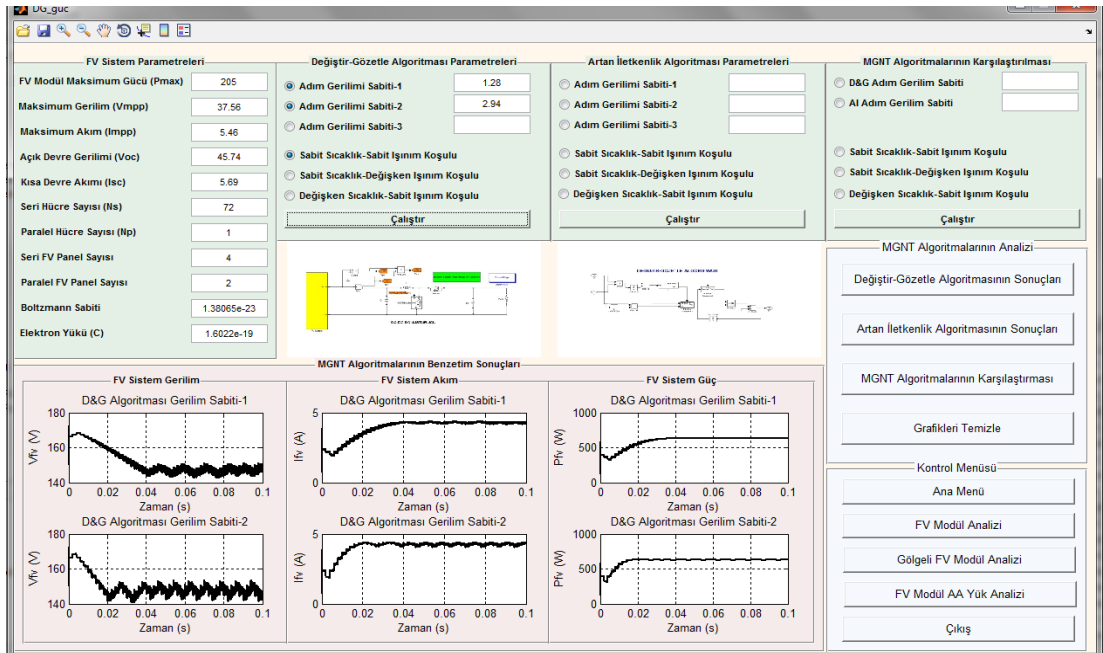
Şekil 6.10. Yaklaşım 4 için ışınlam değişimi analiz ekranı



Şekil 6.11. Yaklaşım 4 için sıcaklık değişimi analiz ekranı

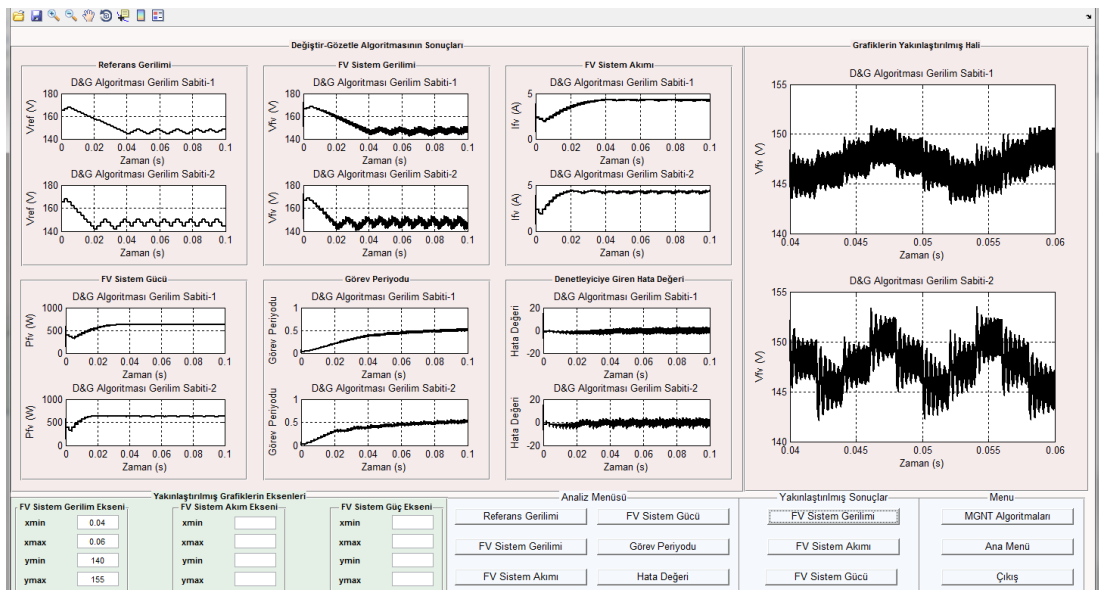
6.3. MGNT Algoritmaları Analizi

Şekil 6.1'deki ara yüzden MGNT algoritmalarının analizi butonuna basıldığında kullanıcının gerekli analizleri yapabilmesi için Şekil 6.12'deki ekran açılmaktadır. Bu ekranda kullanıcı tarafından analizi yapılacak FV panelin parametrelerinin girileceği, MGNT algoritmalarından değiştir gözetle ve artan iletkenlik algoritmalarının ayrı ayrı, bununla birlikte iki algoritmanın aynı koşullar altında incelenebileceği bölümler bulunmaktadır.

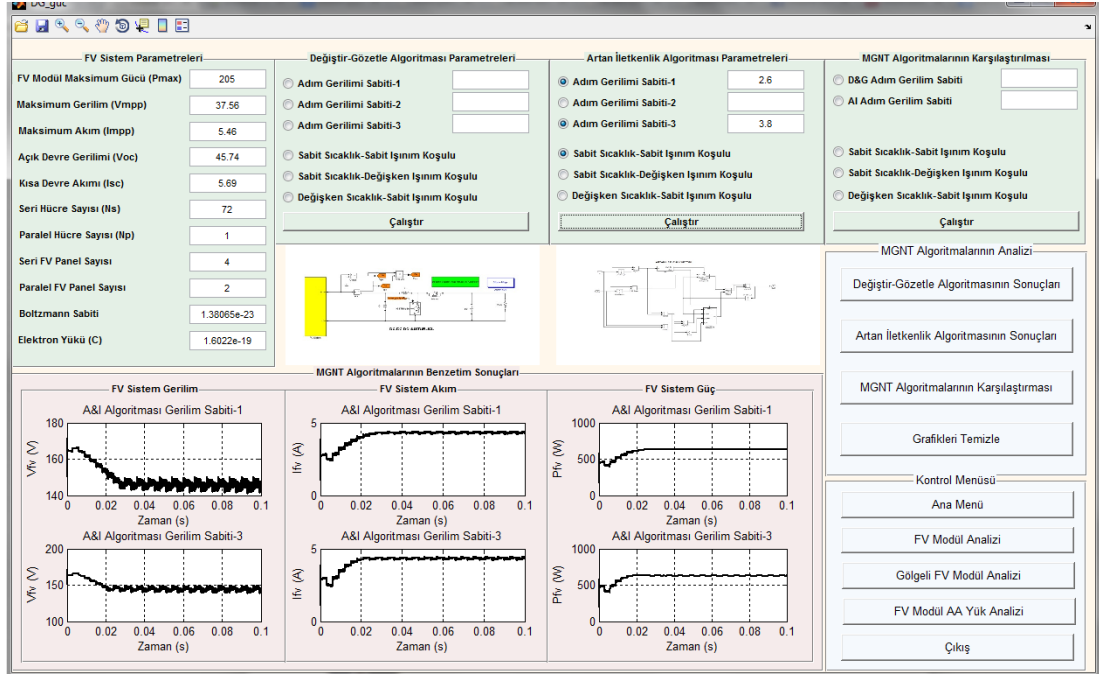


Şekil 6.12. MGNT algoritmaları analiz ekranı (değiştir gözetle algoritması)

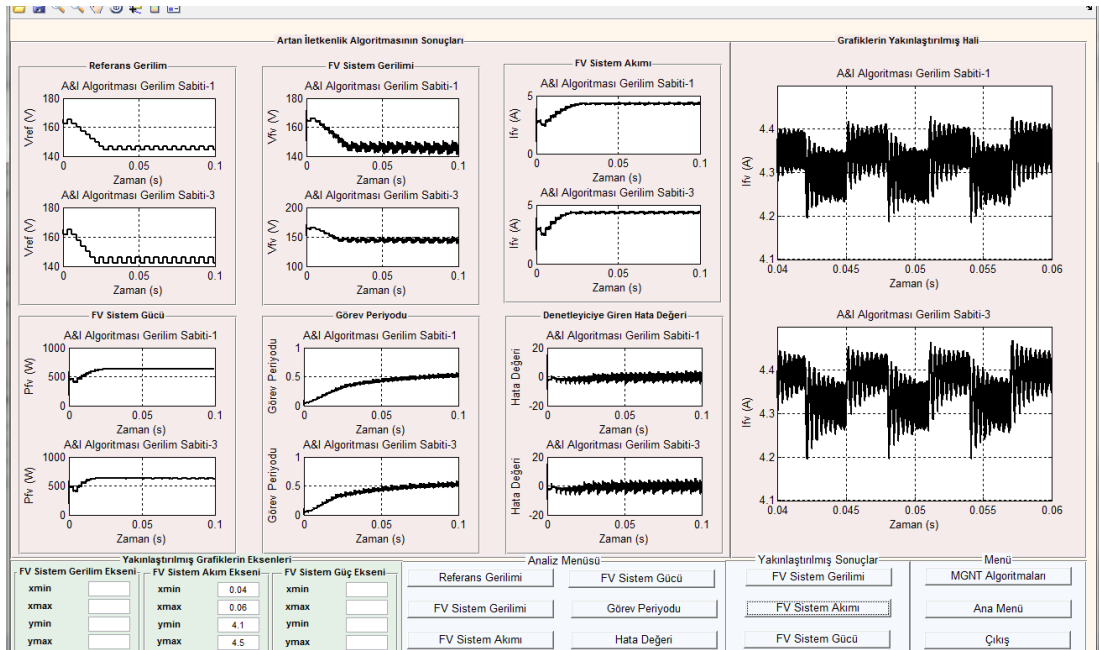
Ayrıca, farklı adım değişim katsayıları ve çevresel koşullar altında algoritmanın performansının incelenebileceği menü kullanıcıya sunulmuştur. MGNT algoritmaları analiz ekranının sağ alt köşesinde kontrol menüsü ve MGNT algoritmalarının analizi menüsü bulunmaktadır. Kullanıcı, ana menü, FV modül analizi, gölgeli FV modül analizi ve FV modül AA yük analizlerinin bulunduğu ara yüzlere geçiş yapabilmesi için kontrol menüsündeki ilgili butonlara basmalıdır. MGNT algoritmalarının detaylı analizlerinin yapılabileceği menü MGNT algoritmalarının analizi başlığı altında bulunmaktadır. Şekil 6.12’de değiştir gözetle algoritmasına ait analiz çalışması gerçekleştirilmiş olup, detaylı analiz için değiştir-gözetle algoritmasının sonuçları butonuna basıldığında Şekil 6.13’deki ekran açılır. FV sisteme ait tüm parametrelerin detaylı analizinin yapıldığı bu ekranda kullanıcı, sol alt köşede eksen bilgilerinin girilebileceği bir menü vasıtası ile analizini yapmak istediği sonucun grafiğini yakınlştırılmış olarak sağ üst köşedeki ekranda görebilmektedir. Analiz menüsündeki butonlar vasıtası ile FV sisteme ait grafikler ekrana getirilir. Kullanıcı, menü kısmındaki butonları kullanarak, MGNT algoritmaları ve ana menü ekranlarına geçiş yapabilir. Çıkış butonu vasıtası ile analiz işleminden çıkabilir. Şekil 6.14’te artan iletkenlik algoritmasına ait analiz çalışması yapılmaktadır. Artan iletkenlik algoritması sonuçları butonuna basıldığında Şekil 6.15’deki algoritmaya ait detaylı analiz ekranı açılır. Bu ekranda, akım eksen bilgileri girilerek yakınlştırılmış analiz çalışması detaylı bir şekilde gösterilir.



Şekil 6.13. Değiştir gözetle algoritması için detaylı analiz ekranı

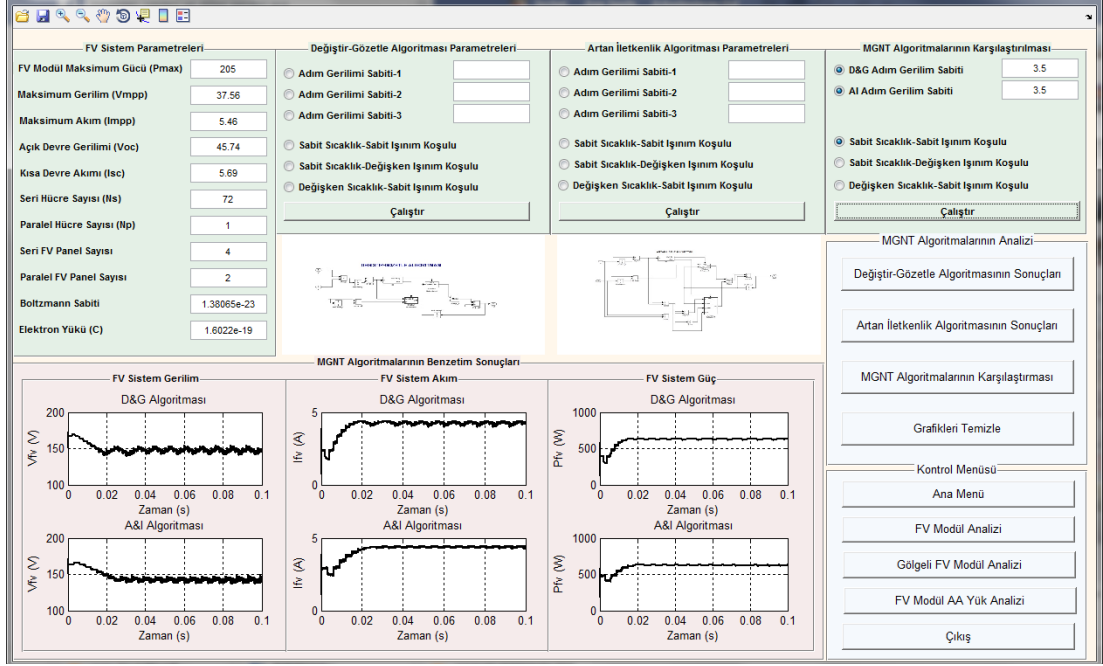


Şekil 6.14. MGNT algoritmaları analiz ekranı (artan iletkenlik algoritması)



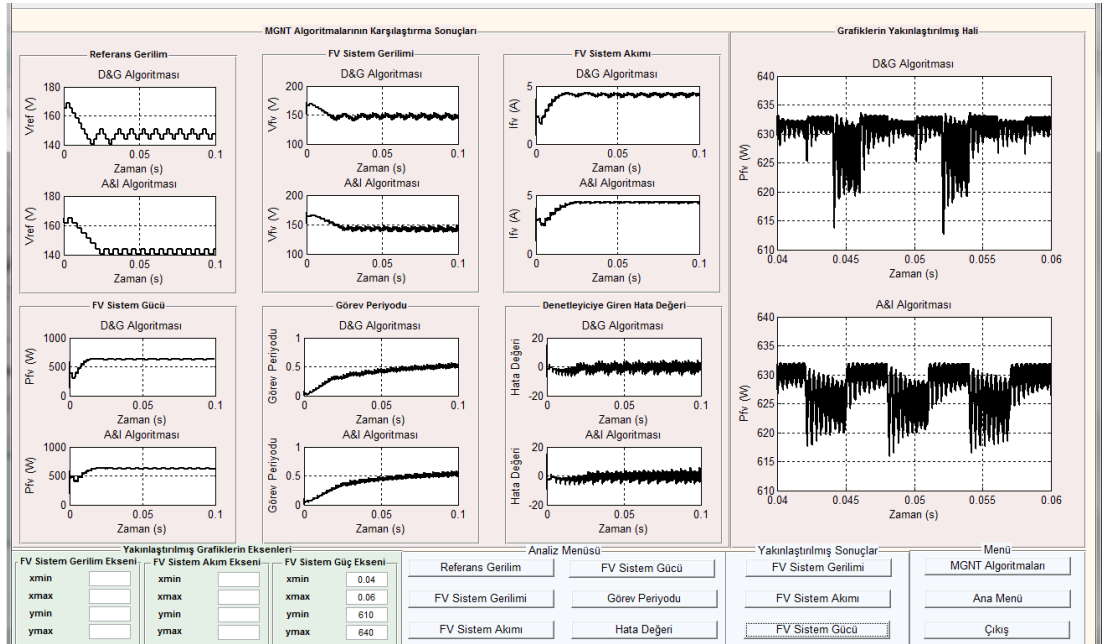
Şekil 6.15. Artan iletkenlik algoritması için detaylı analiz ekranı

Her iki algoritmanın karşılaştırıldığı analiz ekranı Şekil 6.16'da gösterilmektedir. Kullanıcı, FV panelin parametrelerini, algoritmaların adım değişim katsayılarını ve hangi çevresel koşullar altında analiz çalışmasının yapılacağı bilgilerini gerekli yerlere girdikten sonra çalıştır butonuna bastığında karşılaştırma sonuçları MGNT algoritmalarının benzetim sonuçları bölümünde ekrana gelmektedir.



Şekil 6.16. MGNT algoritmalarının analiz ekranı (MGNT algoritmalarının karşılaştırılması)

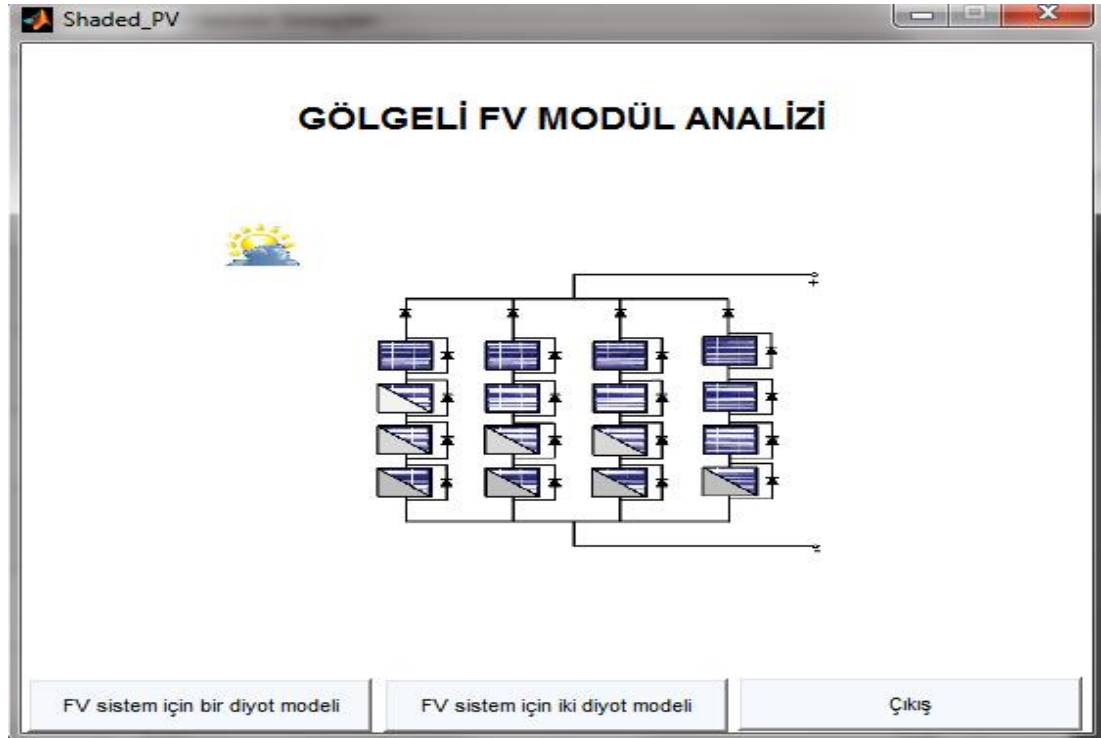
MGNT algoritmalarının karşılaştırılması butonuna basıldığında Şekil 6.17'deki karşılaştırma sonuçlarının detaylı analiz ekranı açılır. Bu ekranda, güç eksenini bilgileri girilerek yakınlştırılmış analiz çalışması detaylı bir şekilde yapılır. Ayrıca, Şekil 6.13, Şekil 6.15 ve Şekil 6.17'de denetleyici çıkışı görev periyodu sinyali ve denetleyiciye giren hata sinyalinin analizinin de yapılmasını sağlar.



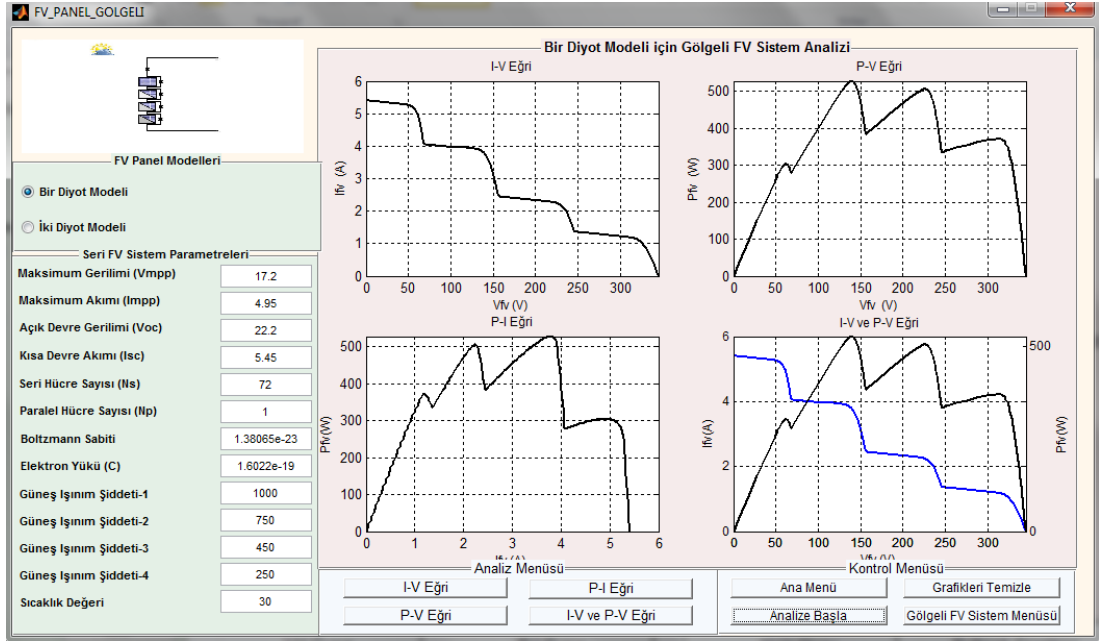
Şekil 6.17. MGNT algoritmalarının karşılaştırılması için detaylı analiz ekranı

6.4. Gölge FV Modül Analizi

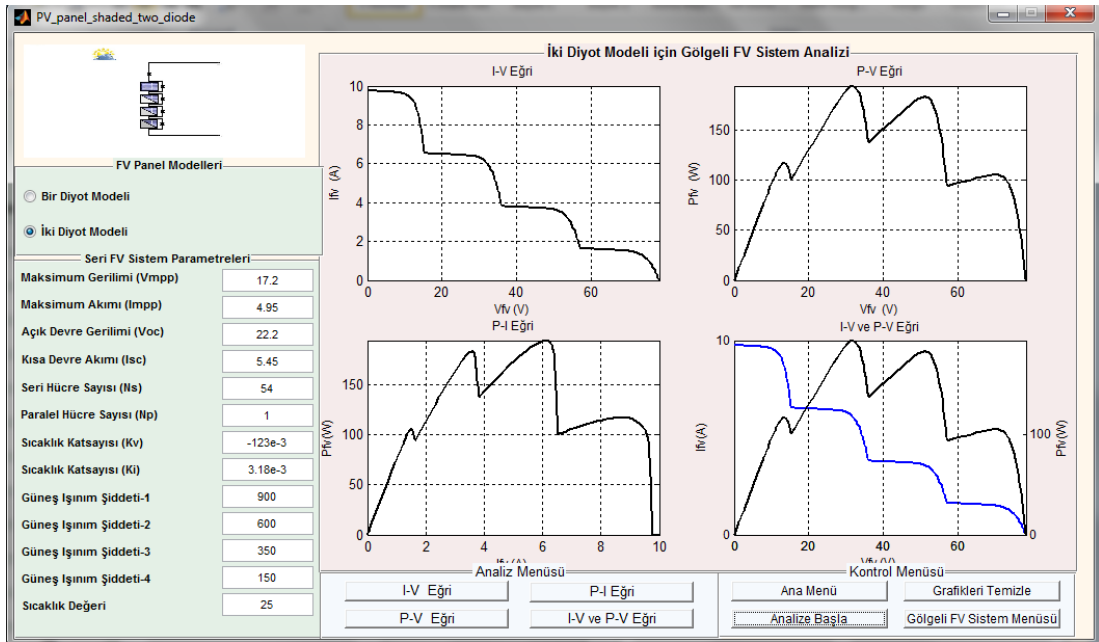
Şekil 6.1'deki açılış ekranından gölge FV modül analiz butonuna basıldığında Şekil 6.18'deki ekran açılmaktadır. Kullanıcı, iki ayrı FV pil modelinin gölge durumdaki analizlerini ilgili butona basarak gerçekleştirir. Bir diyot modeli butonuna basıldığında Şekil 6.19'daki ekran açılır. Kullanıcı, FV pil modeline ait bilgileri ilgili yerlere girdikten sonra analize başla butonuna bastığında seri FV dizisinin parçalı gölgelenmesi sonucunda I-V, P-V, P-I ve I-V, P-V karakteristiklerine ait grafikler ilgili kısımda ekrana gelir. FV dizisi üzerinde parçalı gölgelenme meydana geldiğinde bir tane genel, bir veya daha fazla yerel maksimum güç noktası oluştuğunu bu noktaların güneş ışınım şiddeti değerlerini değiştirerek farklı yerlerde meydana geldiğini, kullanıcı rahatlıkla ara yüz üzerinde inceleyebilmektedir. Şekil 6.20'de ise iki diyot modeline ait analiz ekranı gösterilmektedir. Bu ekranda da ilgili yerlere FV pile ait gerekli bilgiler girildikten sonra analize başla butonuna basıldığında, oluşturan FV dizinin gölge koşullar altındaki karakteristikleri incelenebilir.



Şekil 6.18. Gölge FV modül açılış ekranı



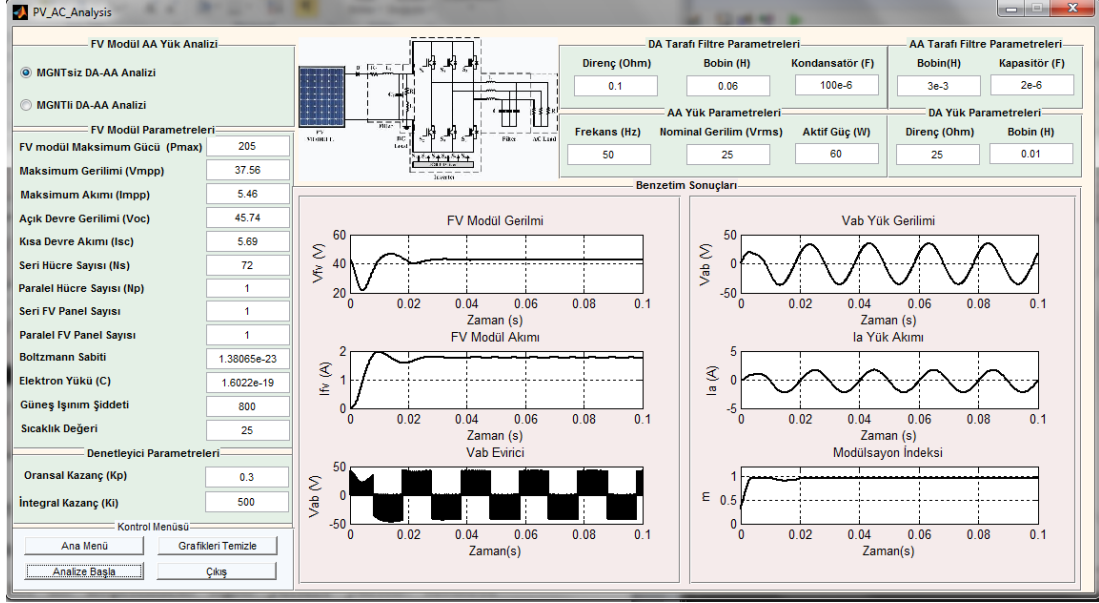
Şekil 6.19. Gölge FV modül analiz ekranı (bir diyot modeli)



Şekil 6.20. Gölge FV modül analiz ekranı (iki diyot modeli)

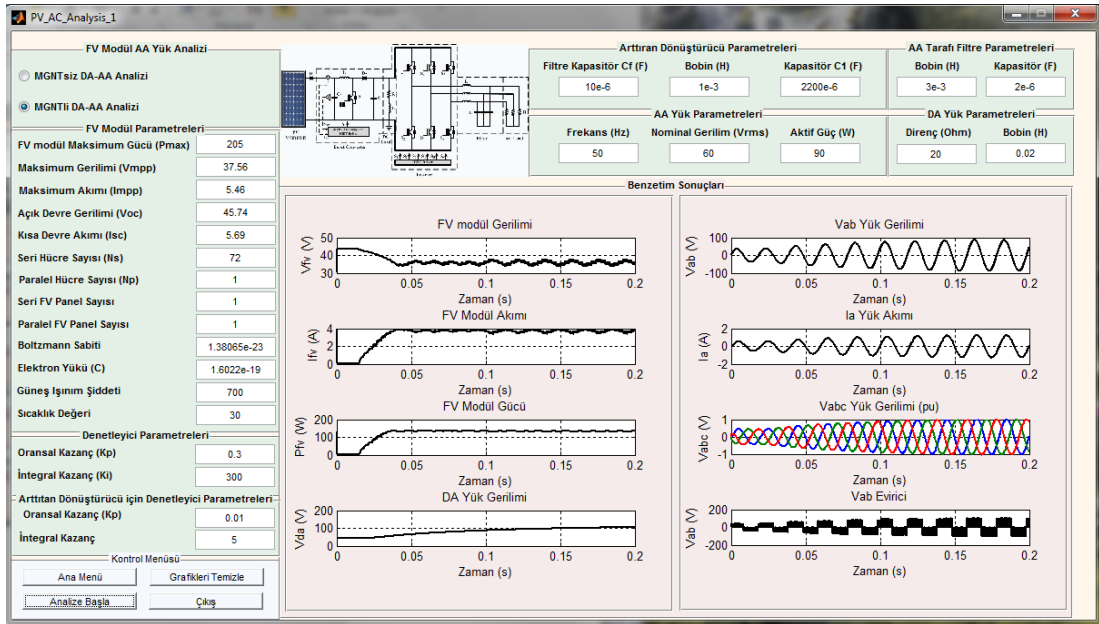
6.5. FV Modül AA Yük Analizi

FV sistemden elde edilen DA'nın AA'ya çevrilip, yükün beslediği bir analiz çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada sistem hem MGNT'siz hem de MGNT'li düşünülmüştür. Kullanıcı Şekil 6.1'deki FV modül AA yük analizi butonuna bastığında Şekil 6.21'deki MGNT'siz DA-AA analizi ekranı açılmaktadır.



Şekil 6.21. FV modül için MGNT'sız DA-AA analiz ekranı

Bu ekranda, FV panele ait veriler ekranın sol kısmındaki alana, DA ve AA filtre parametreleri, AA ve DA yük parametreleri ekranın sağ üst köşesine ve denetleyiciye ait parametreler ise ekranın sol alt köşesinde ilgili yerlere yazılır. Kontrol menüsündeki analize başla butonu basılarak analiz başlatılır. Analiz sonucunda FV modül ve AA tarafındaki yüke ait eğriler benzetim sonuçları bölümünde ekrana gelmektedir. Şekil 6.22'de ise MGNT algoritması ile DA-AA analiz çalışmaları detaylı bir şekilde analiz edilir.



Şekil 6.22. FV modül için MGNT'li DA-AA analiz ekranı

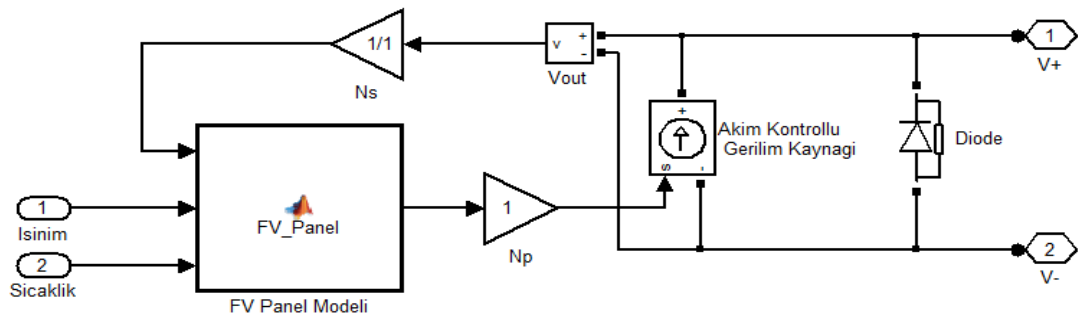
7. BENZETİM SONUÇLARI

7.1. Önerilen YSA Modeline Dayalı MGNT Algoritmasının Benzetim Çalışmaları

Bu tez çalışmasında, önerilen optimizasyon algoritması tarafından etkinlik fonksiyonları belirlenen YSA modeline dayalı bir MGNT algoritması geliştirilmiştir. YSA dayalı önerilen MGNT algoritması gerilim tabanlı olarak gerçekleştirilmiş olup, ilk olarak şebekeden bağımsız FV sistemde incelenmiştir. Burada, farklı çevresel koşullar altında önerilen MGNT algoritmasının sonuçları, klasik MGNT algoritmalarından değiştir-gözetle algoritmasının sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Son olarak şebekeden bağımsız çalışan FV sistemde önerilen MGNT algoritmasını içeren batarya güç akış sisteminin farklı çevresel koşullar altında hem DA hem de AA yüklerini beslediği benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir [100]. Yük, ısıtım ve/veya sıcaklık değişmesi durumunda FV sistemin maksimum güç noktasından sapmamasını sağlayacak güç ünitesi olarak kullanılan bataryanın yük veya kaynak olarak çalışması yönetilmiştir [100].

7.1.1. FV panel benzetim modeli

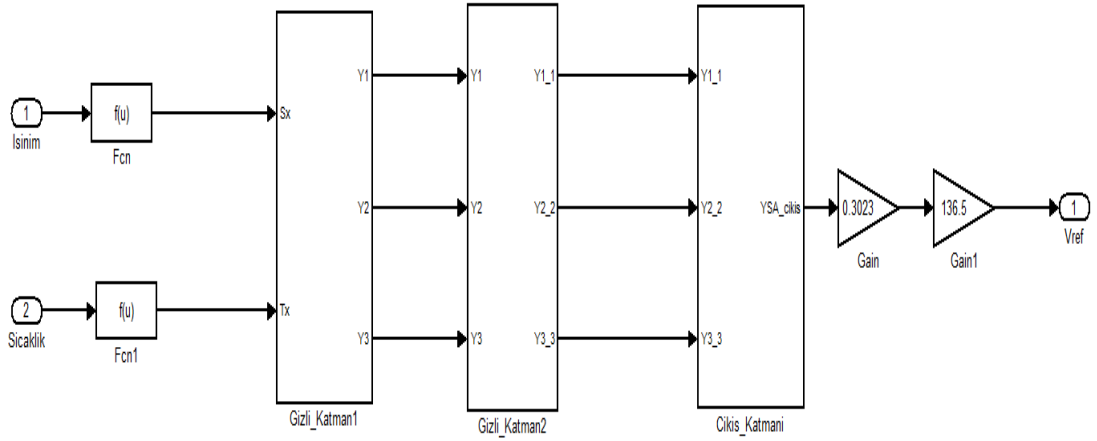
Benzetim modelinde kullanılan FV panel, uygulamada kullanılan FV panelin parametreleri kullanılarak modellenmiştir. FV panele ait benzetim modeli [156] numaralı kaynaktan yararlanılarak oluşturulmuştur. [156]'de yer alan kodlar, uygulamada kullanılan FV panel modeli parametrelerine göre düzenlenerek Simulink blok diyagramı Şekil 7.1'deki gibi oluşturulmuştur.



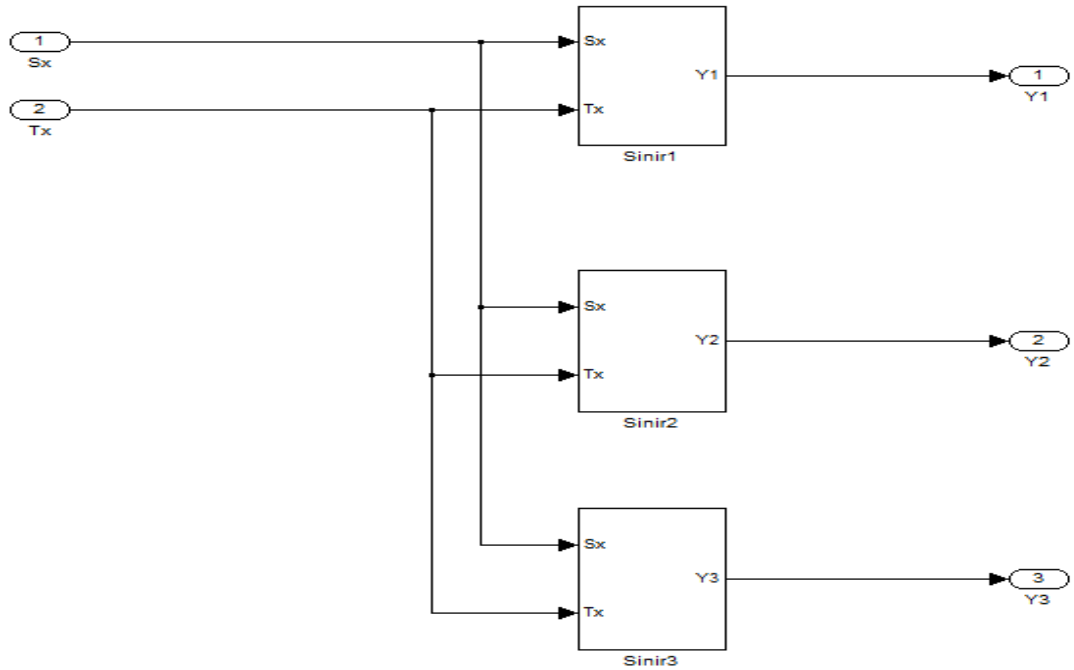
Şekil 7.1. FV panel MATLAB/Simulink benzetim modeli

7.1.2. Önerilen MGNT algoritması benzetim modeli

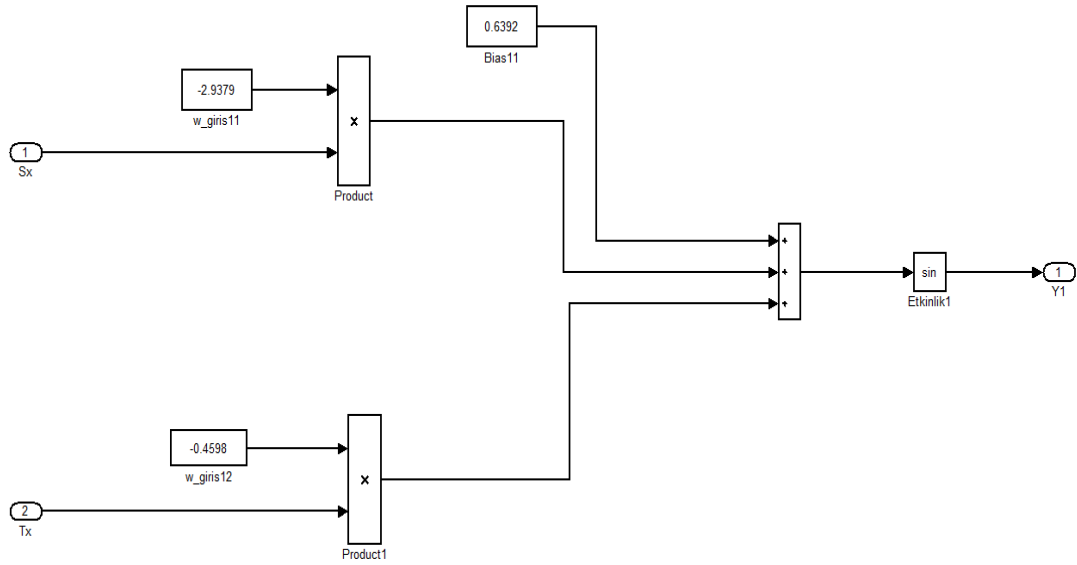
Önerilen optimizasyon algoritması ile etkinlik fonksiyonları belirlenmiş ve eğitilmiş YSA modelinin MATLAB/Simulink modeli Şekil 7.2’de gösterilmektedir. Işınım ve sıcaklık bilgileri YSA’nın giriş parametreleri, V_{ref} ise çıkış parametresini belirtmektedir. Şekil 7.3’te birinci gizli katmana ait benzetim modeli, Şekil 7.4’te birinci gizli katmandaki, birinci sinire ait benzetim modeli gösterilmektedir.



Şekil 7.2. YSA benzetim modeli



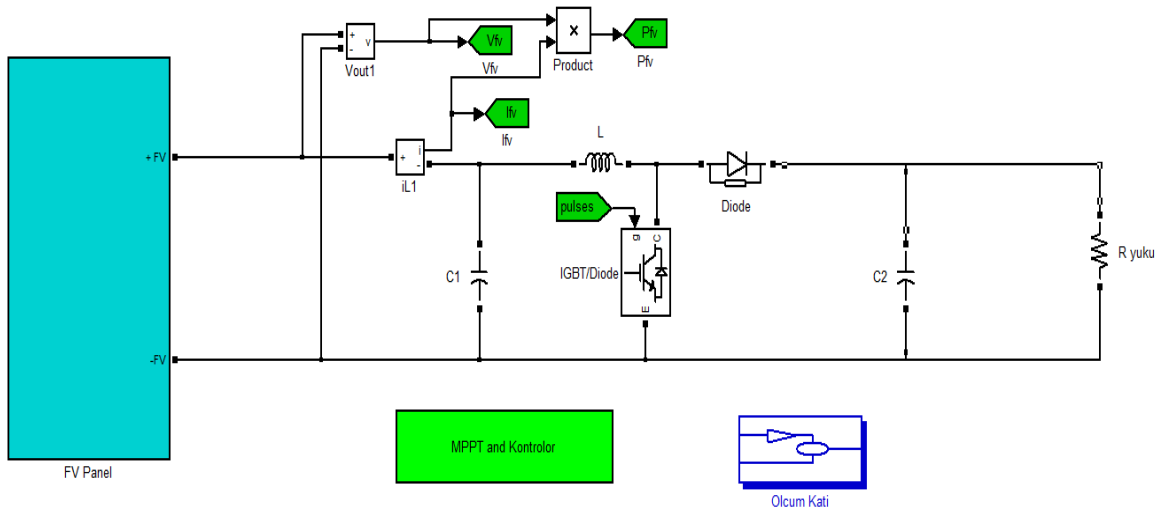
Şekil 7.3. Birinci gizli katman benzetim modeli



Şekil 7.4. Birinci gizli katman birinci sınır benzetim modeli

7.1.3. Önerilen MGNT algoritması ve klasik değiştir-gözetle algoritmasının karşılaştırılması

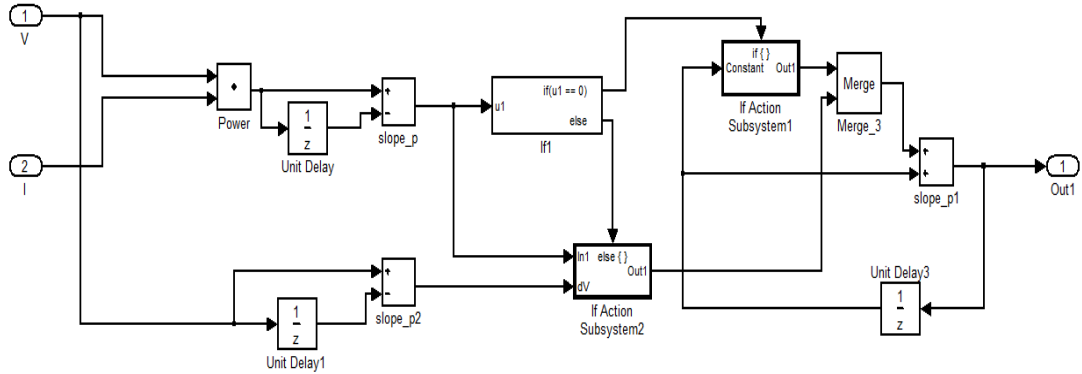
Önerilen YSA tabanlı MGNT sistemi, yük olarak omik yükün kullanıldığı durum için klasik MGNT algoritmalarından değiştir gözetle algoritması ile farklı çevresel koşullar altında elde edilen benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır. Benzetimi yapılan sistemin Simulink modeli Şekil 7.5'te gösterilmiştir. Uygulama için satın alınan LCS marka güneş paneli verileri kullanılarak FV panel benzetim modeli oluşturulup, yapılan tüm benzetim çalışmalarında bu model kullanılmıştır.



Şekil 7.5. Şebekeden bağımsız FV sistemin benzetim modeli

Tablo 7.1’de güneş paneli ve Şekil 7.5’teki benzetim modelindeki kullanılan parametrelerin değerleri verilmiştir. Darbe genişlik modülasyonu üreticinin anahtarlama frekansı 10kHz olarak belirlenmiştir. Şekil 7.6’da değiştir gözetle algoritmasına ait benzetim modeli gösterilmekte olup, algoritmanın adım değişim katsayısı benzetim ve uygulama çalışmaları için 1,3V seçilmiştir. Değiştir gözetle (D&G) ve bulanık mantık temelli hibrit PSO-YAA optimizasyon algoritması ile etkinlik fonksiyonları belirlenmiş YSA’ya dayalı amaçlanan MGNT algoritmalarının benzetim çalışmaları 650W/m^2 ışınlım, 22°C sıcaklık koşulları altında yapılmıştır. MATLAB/Simulink ortamında yapılan benzetim çalışmalarının görüntülerini almada MATLAB ile uyumlu çalışan PLECS 3.6.4 güç elektroniği benzetim yazılımı kullanılmıştır. Belirtilen çevresel koşullar altında, FV panele ait gerilimin hem değiştir gözetle hem de amaçlanan MGNT algoritmasından elde edilen sonuçlara göre maksimum güç noktasındaki değişimi Şekil 7.7’de gösterilmektedir. Her iki algoritmaya ait FV paneli akım ve güç değişimleri Şekil 7.8 ve Şekil 7.9’dadır. Şekil 7.10’da ise FV panelin gücüne ait yakınlştırılmış benzetim sonuçları gösterilmektedir.

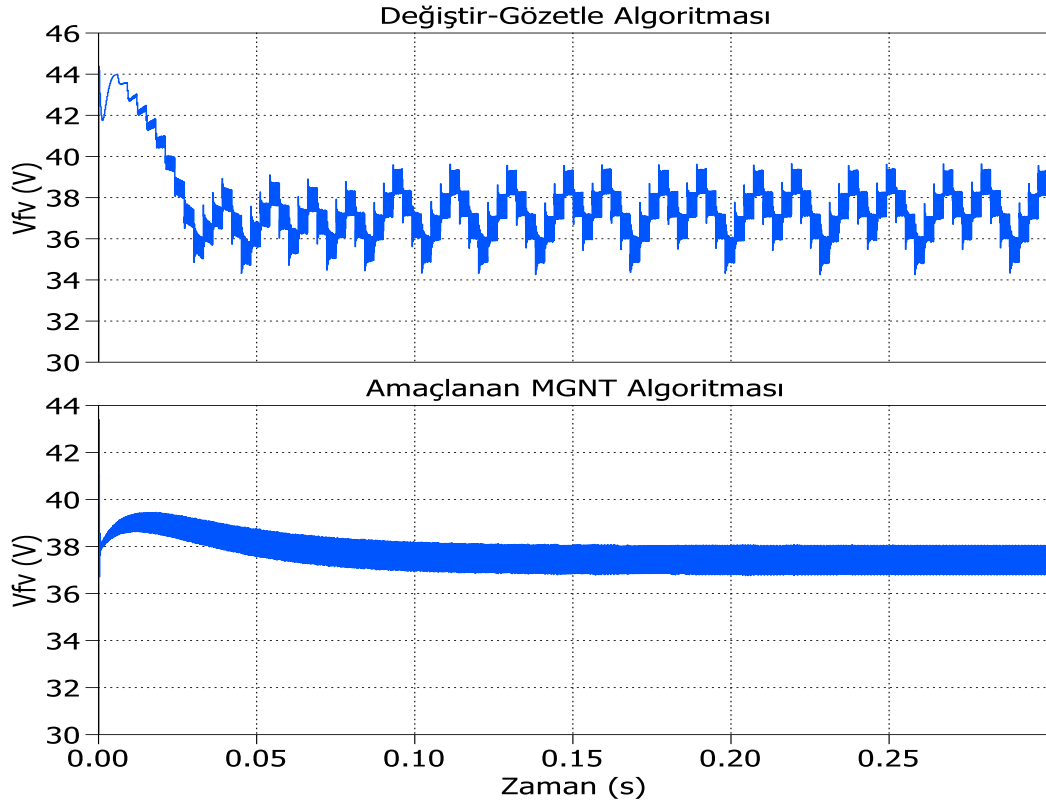
DEĞİŞTİR-GÖZETLE ALGORİTASI



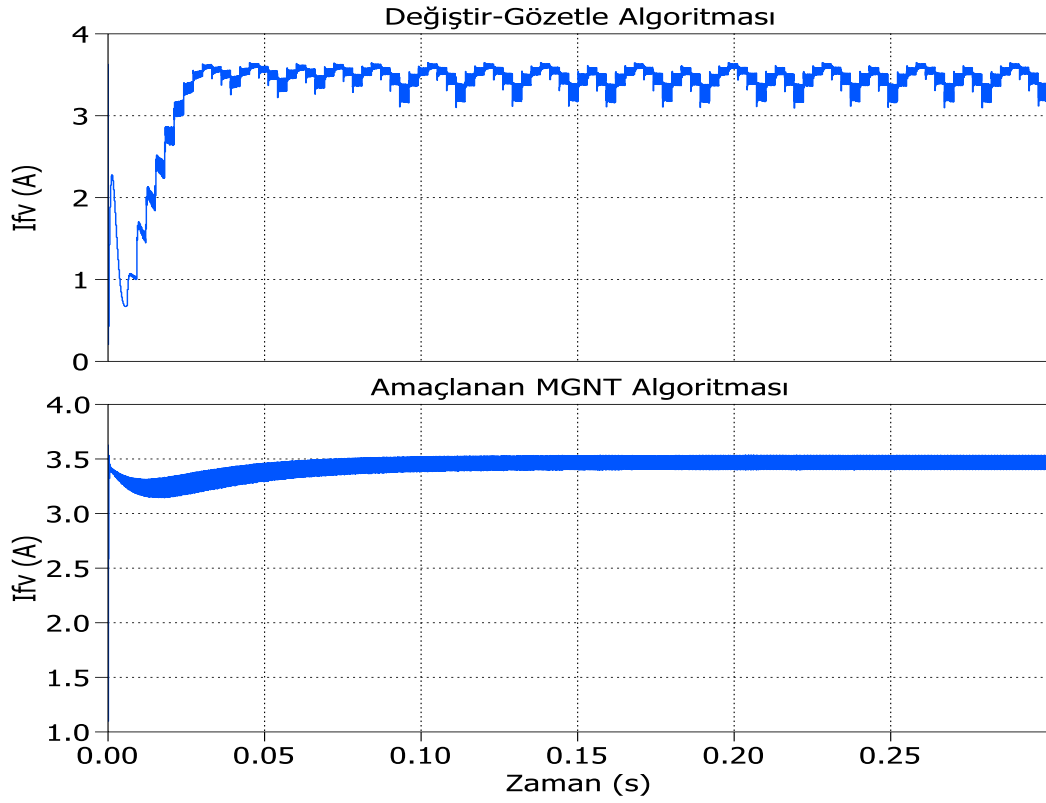
Şekil 7.6. Değiştir gözetle algoritması benzetim modeli

Tablo 7.1. FV sistem benzetim modeli parametreleri

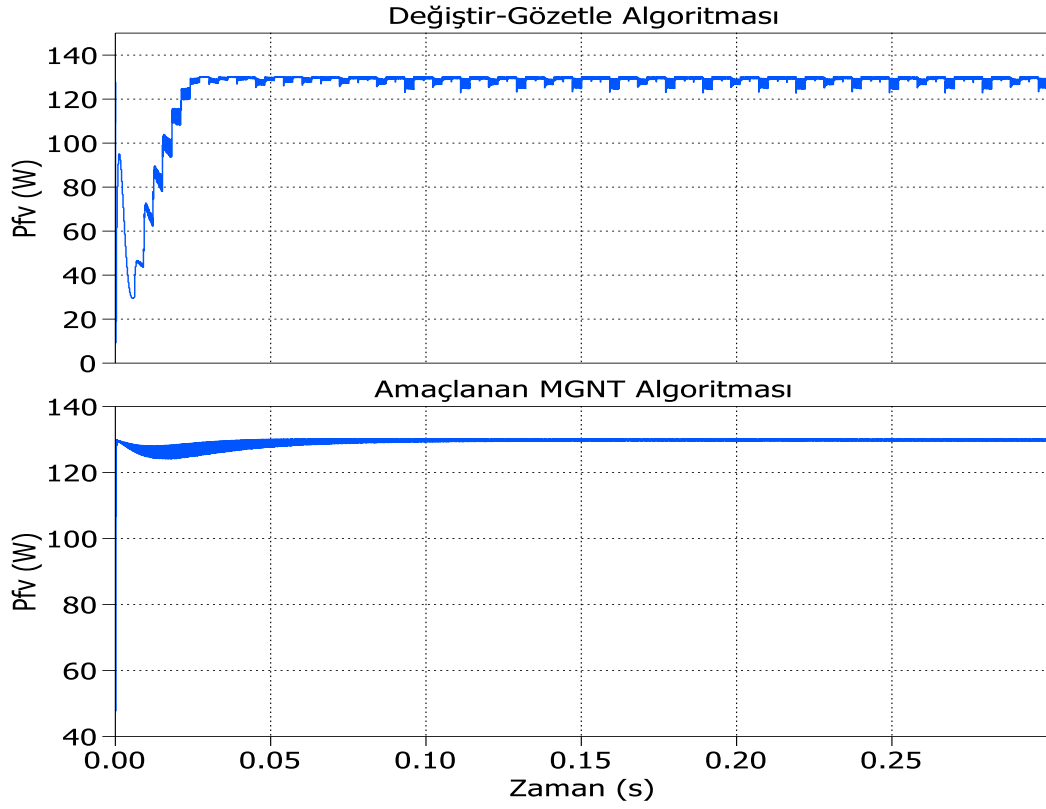
Parametre	Değer	Parametre	Değer
Seri hücre sayısı (N_s)	72	L	1mH
Açık devre gerilimi (V_{ad})	45,74V	C_2	1000 μ F
Kısa devre akımı (I_{kd})	5,69A	R yükü	55 Ω
Maksimum gerilimi (V_{maks})	37,56V	K_p (D&G)	0,05
Maksimum akımı (I_{maks})	5,46A	K_i (D&G)	5
Maksimum güç (P_{maks})	205W	K_p (Amaçlanan MGNT)	0,15
C_1	10 μ F	K_i (Amaçlanan MGNT)	7



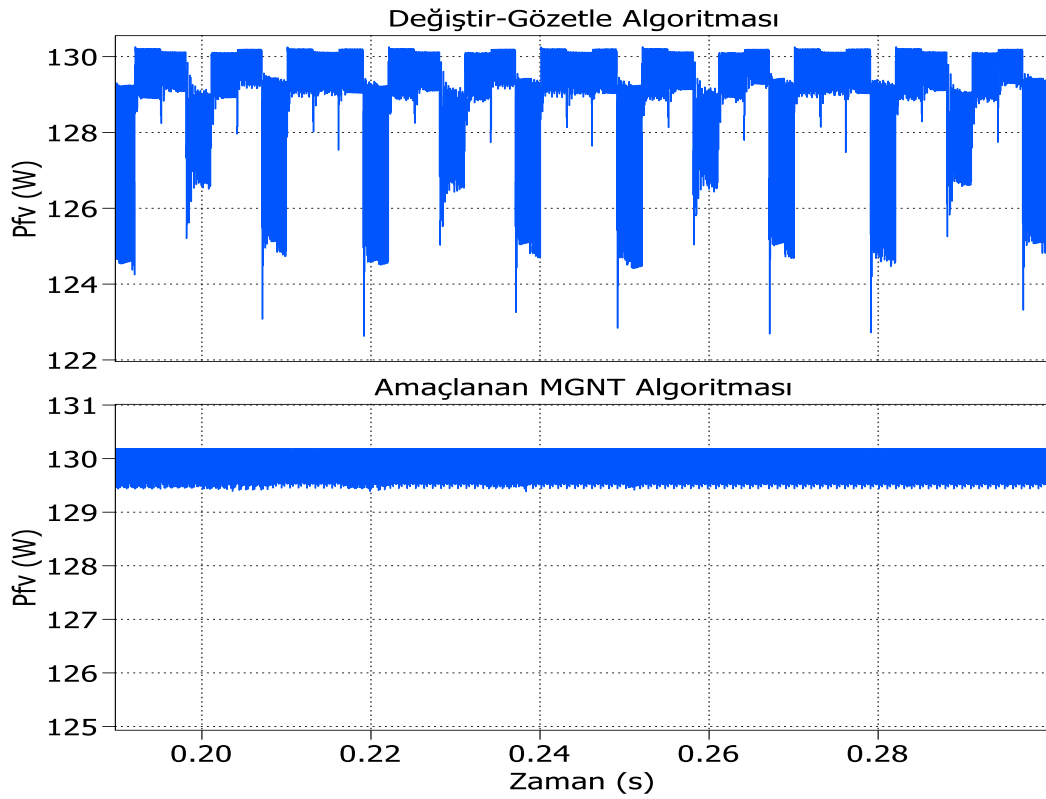
Şekil 7.7. Amaçlanan ve D&G algoritmalarının FV panel gerilimine ait benzetim sonuçları



Şekil 7.8. Amaçlanan ve D&G algoritmalarının FV panel akımına ait benzetim sonuçları

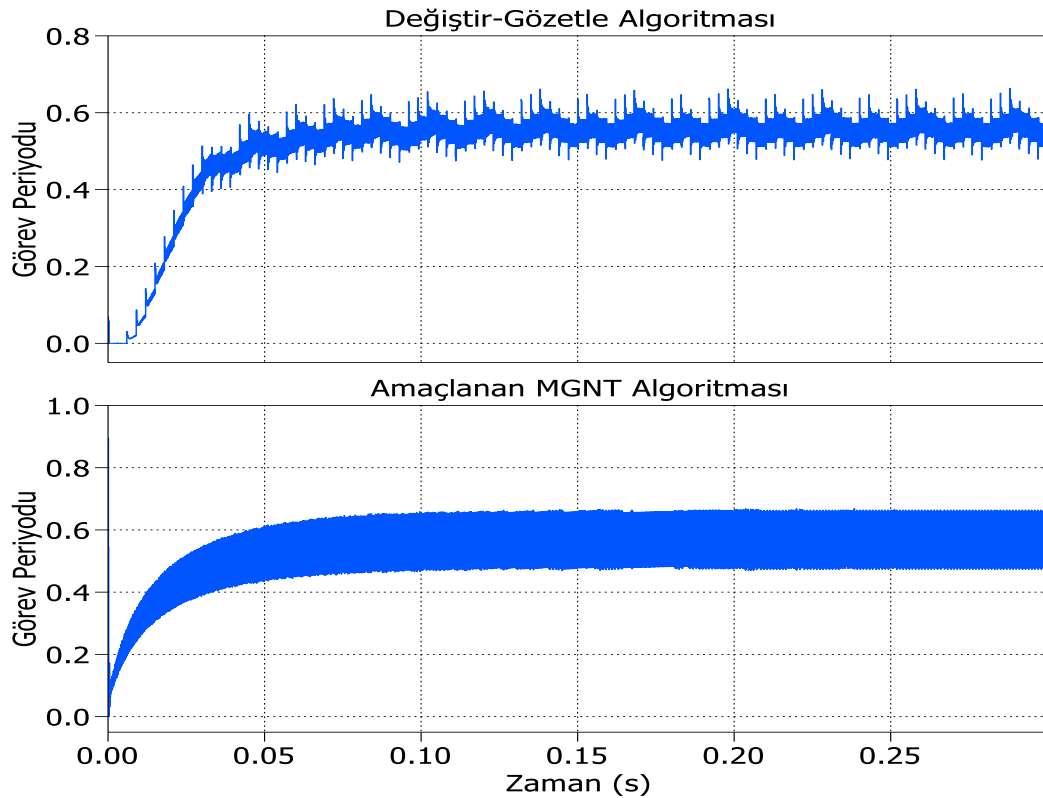


Şekil 7.9. Amaçlanan ve D&G algoritmalarının FV panel gücüne ait benzetim sonuçları

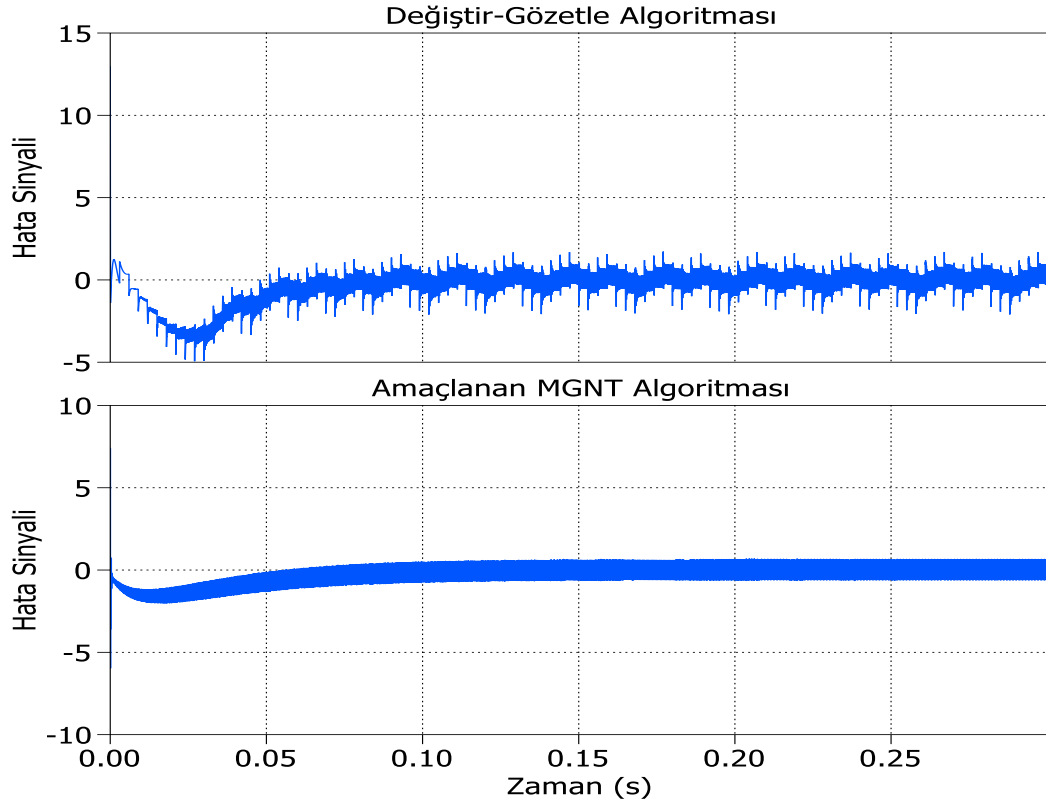


Şekil 7.10. Amaçlanan ve D&G algoritmalarının FV panel gücüne ait yakınlaştırılmış benzetim sonuçları

Belirtilen çevresel koşullar altında yapılan benzetim sonuçlarına göre, D&G algoritması maksimum güç noktasını ararken maksimum güç noktasına karşılık gelen gerilim ve akım değerlerinde salınımların oluşmasına neden olmaktadır. Bu akım ve gerilim değerlerine göre sürekli durumda FV panelin gücünde de yaklaşık 7-8W kadar salınımların olduğu görülmektedir. D&G algoritması sürekli durumda ortalama güç değeri 128,9W olarak ölçülmüştür. Önerilen YSA tabanlı MGNT algoritmasından elde edilen sonuçlara göre sürekli durumda FV panelin gücünde yaklaşık 0,7-0,8W arası salınım ve ortalama güç değeri 130W olduğu görülmüştür. Belirtilen çevresel koşullar altında FV panelin üretebileceği maksimum güç değeri 130,1W'tır. D&G algoritmasının, önerilen yaklaşımın güç değerleri ve gerçek güç değeri göz önüne alındığında maksimum gücü takip doğruluğu D&G algoritması için 99,077%, önerilen yaklaşım 99,923% olarak ifade edilir. Şekil 7.11'de denetleyici çıkışında darbe genişlik modülasyonu üreticine girecek görev periyodunun değişimi, Şekil 7.12'de ise denetleyiciye giren hata sinyalinin değişimi gösterilmektedir.

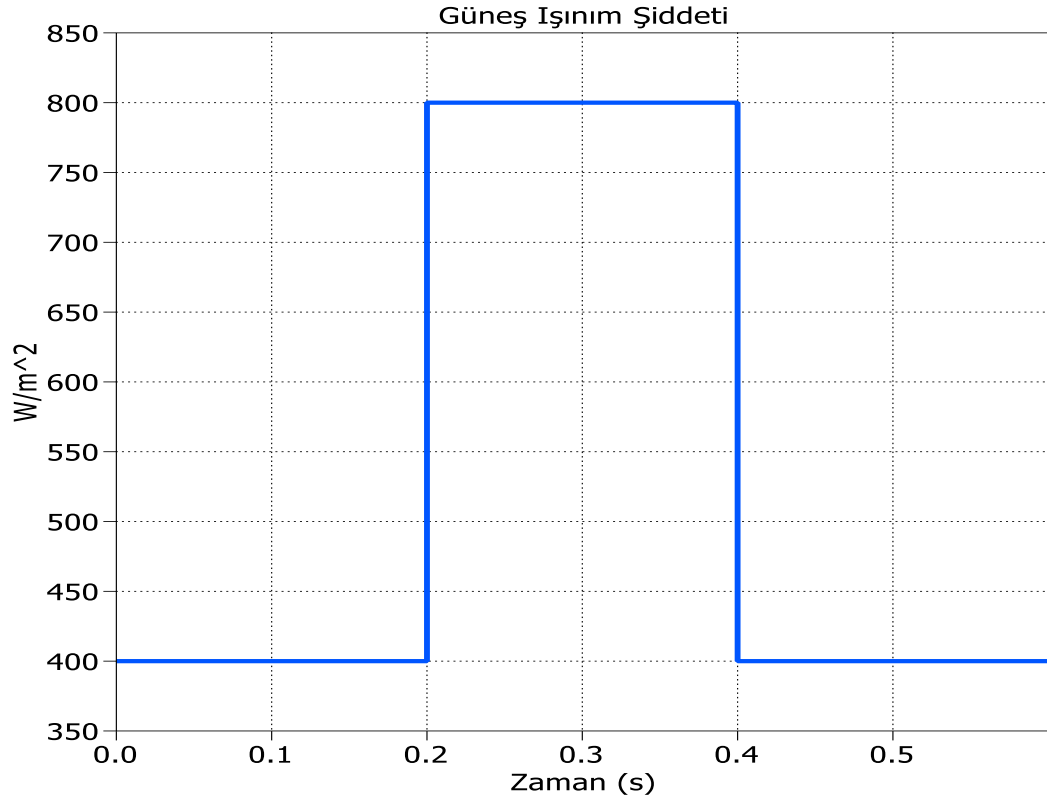


Şekil 7.11. Amaçlanan ve D&G algoritmalarının görev periyodu değişimi

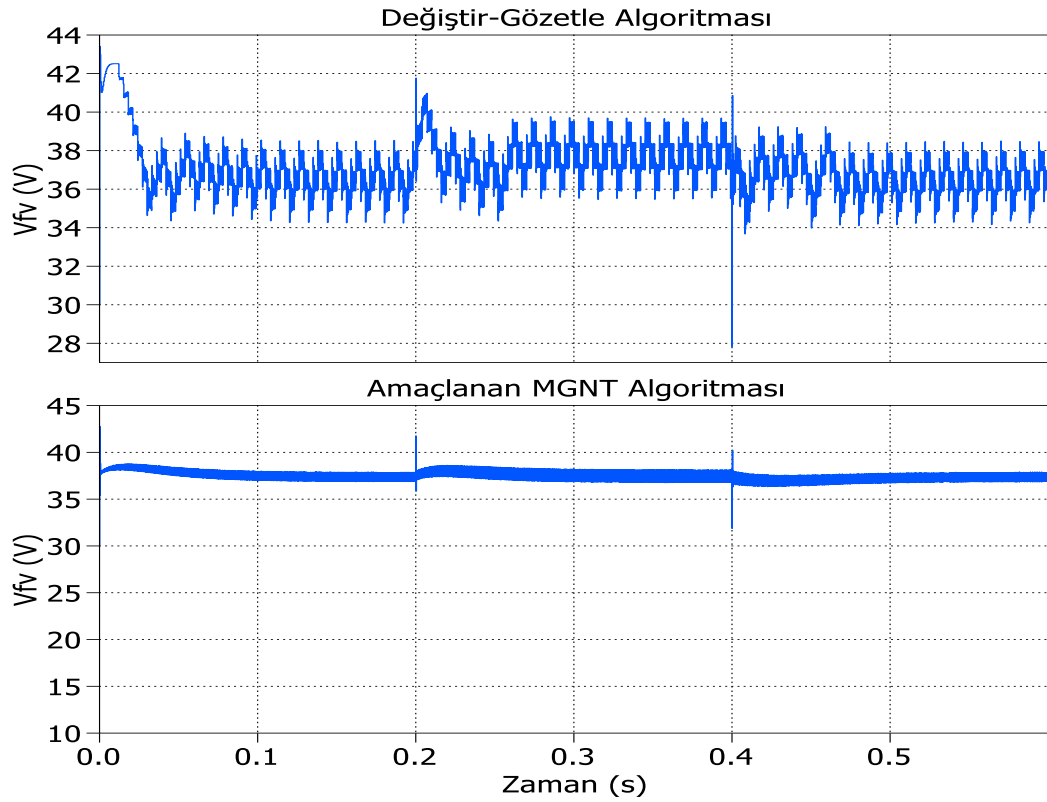


Şekil 7.12. Denetleyiciye giren hata sinyali değişimi

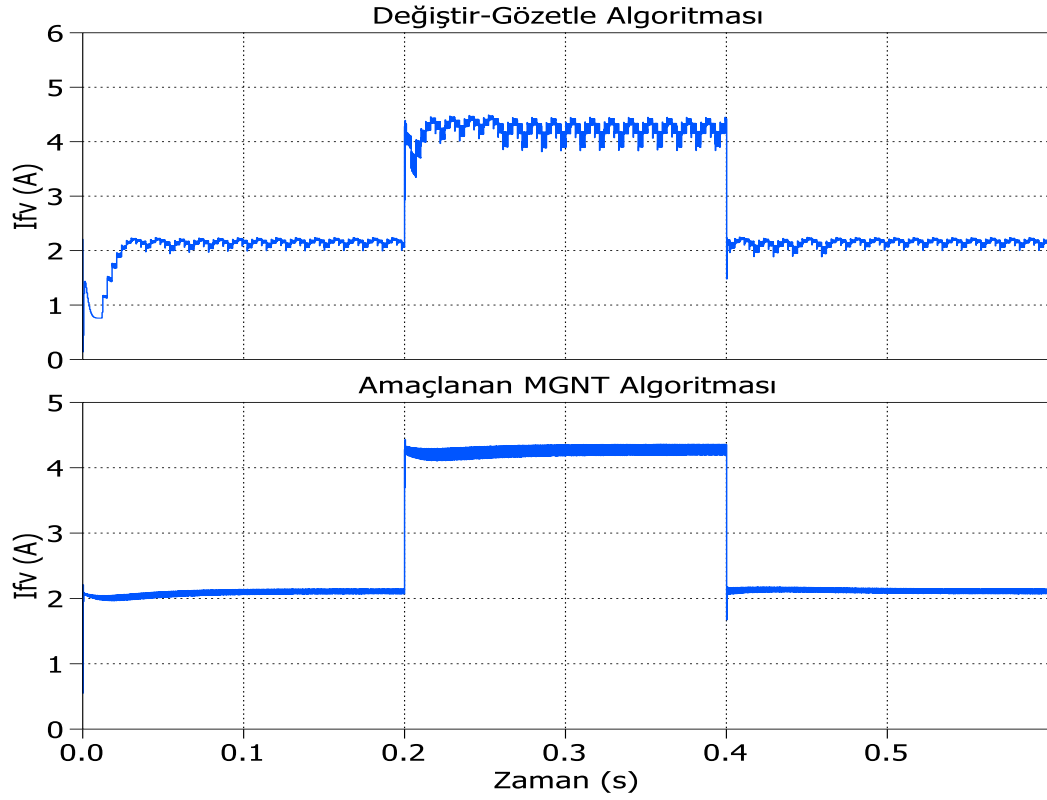
Sıcaklık 22°C’de sabit iken güneş ışınlam şiddetinin Şekil 7.13’deki gibi değiştiği durumda önerilen YSA tabanlı MGNT algoritması, D&G algoritmasından elde edilen FV panel gerilimi, akımı Şekil 7.14 ve Şekil 7.15’te yer almaktadır. Her iki algoritmanın benzetim sonuçlarından elde edilen FV panel güç değişimi Şekil 7.16’da gösterilmektedir. Işınlam şiddetinin 400W/m² değeriyle başlayan benzetim çalışmasında, önerilen MGNT algoritması sürekli durumda maksimum güç noktasını ararken yaklaşık 0,5W’lık bir salınım yapmakta, D&G algoritması ise yaklaşık 2-2,5W arasında salınım yaptığı Şekil 7.17’de görülmektedir. Işınlam şiddetinin ani olarak 400W/m²’den 800W/m²’ye çıktığı 0,2 s’de önerilen MGNT algoritmasının çok kısa sürede sürekli durumdaki maksimum güç noktasını yakaladığı ve maksimum güç noktasındaki dalgalanmaların D&G algoritmasına göre daha küçük değerlerde olduğu Şekil 7.16’da görülmektedir. Şekil 7.18’de ışınlam değerinin 800W/m² olduğu andaki her iki algoritmanın FV panel gücündeki yaptığı etki gösterilmiş olup, önerilen yaklaşım maksimum güç noktasında 0,7-0,8W, D&G algoritması ise 7-7,5W arasında değişen dalgalanmalara sahiptir.



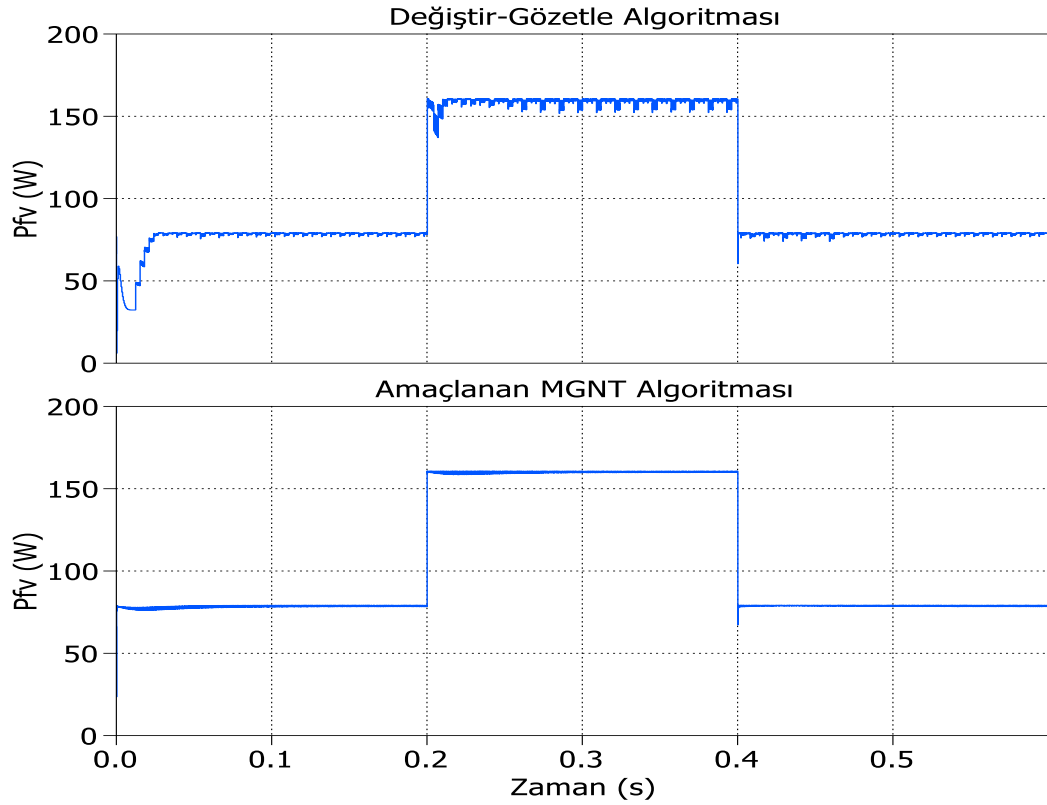
Şekil 7.13. Işınım şiddeti değişimi



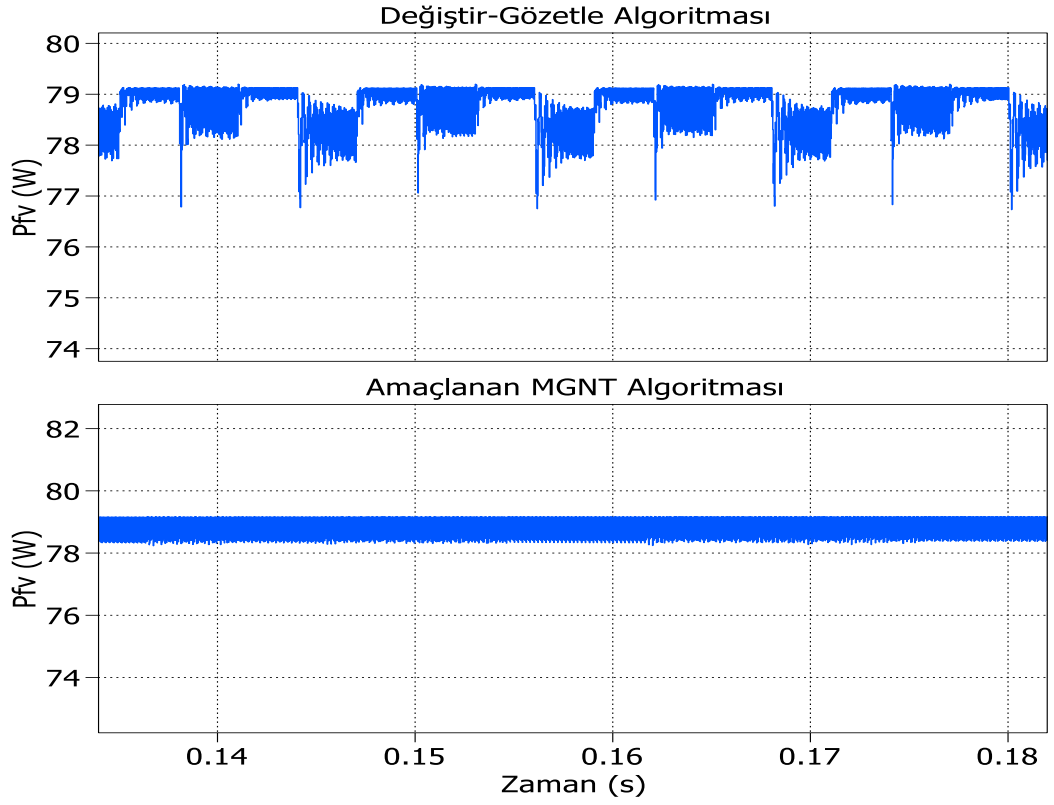
Şekil 7.14. Ani değişen ışınmıda amaçlanan ve D&G algoritmalarının FV panel gerilimleri



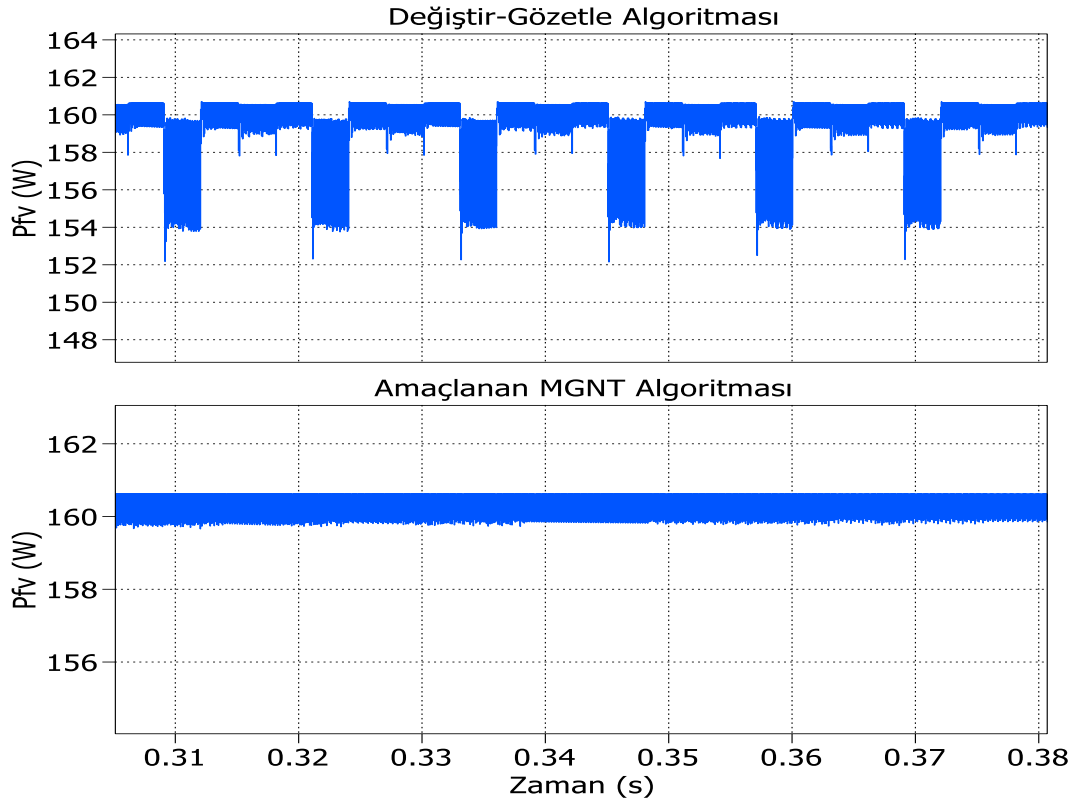
Şekil 7.15. Ani değişen ışınmada amaçlanan ve D&G algoritmalarının FV panel akımları



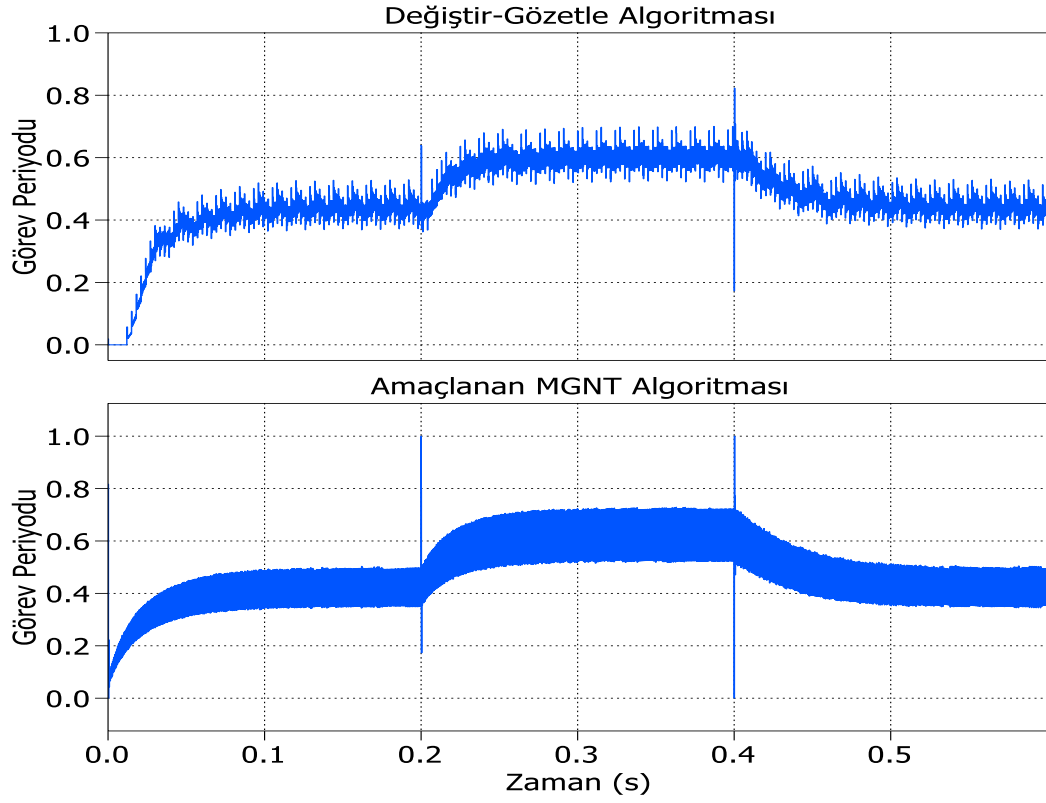
Şekil 7.16. Ani değişen ışınmada amaçlanan ve D&G algoritmalarının FV panel güçleri



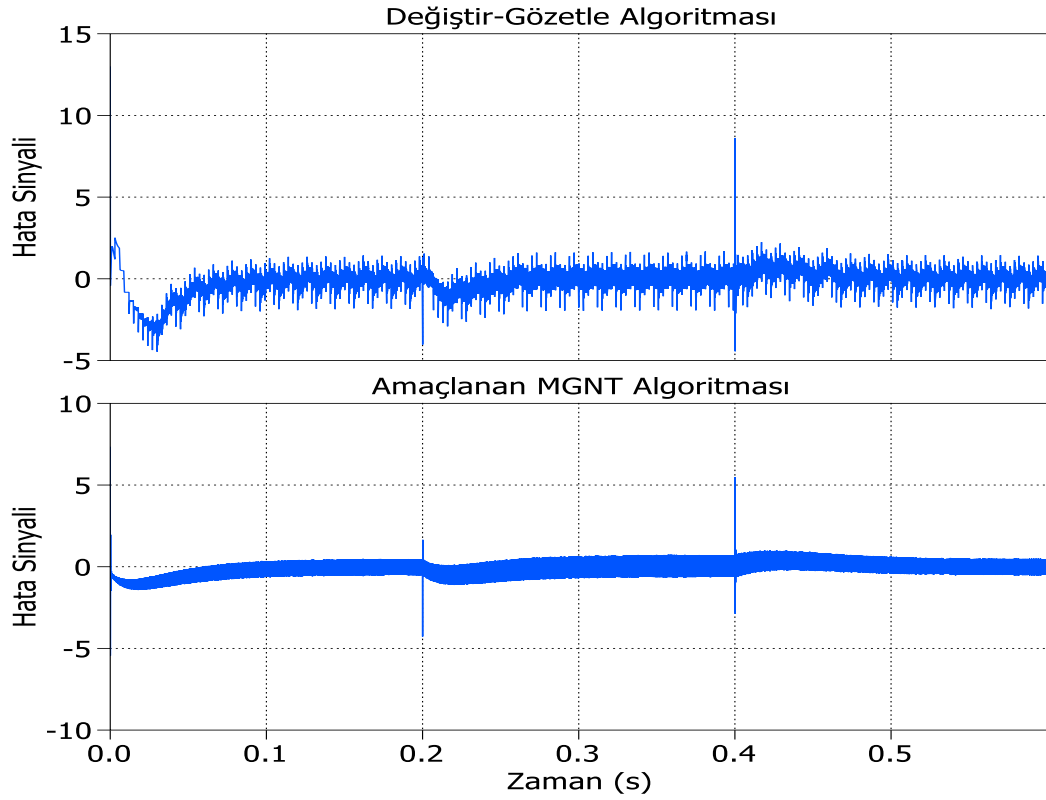
Şekil 7.17. 400 W/m^2 ışınlımda amaçlanan ve D&G algoritmalarının FV panel gücüne ait yakınlştırılmış benzetim sonuçları



Şekil 7.18. 800 W/m^2 ışınlımda amaçlanan ve D&G algoritmalarının FV panel gücüne ait yakınlştırılmış benzetim sonuçları



Şekil 7.19. Ani değişen ışınımda amaçlanan ve D&G algoritmalarının görev periyodu değişimi

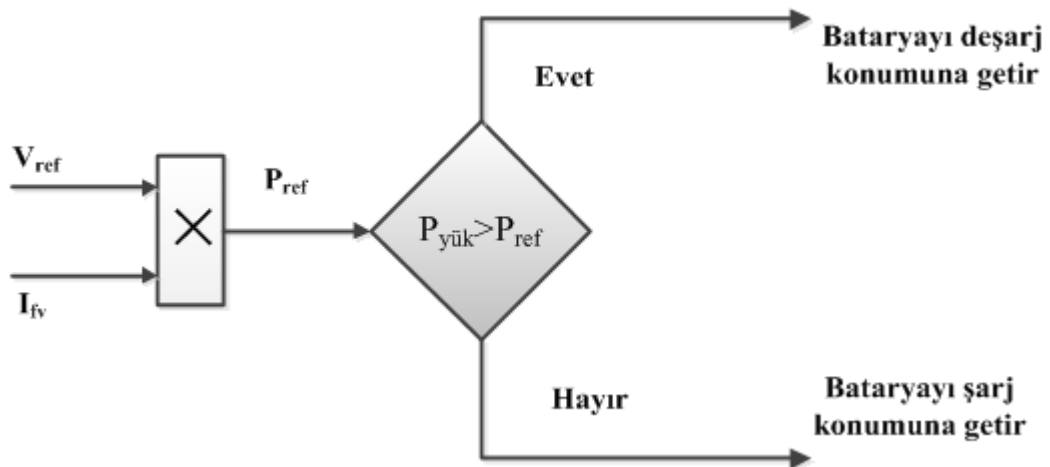


Şekil 7.20. Ani değişen ışınımda denetleyiciye giren hata sinyali

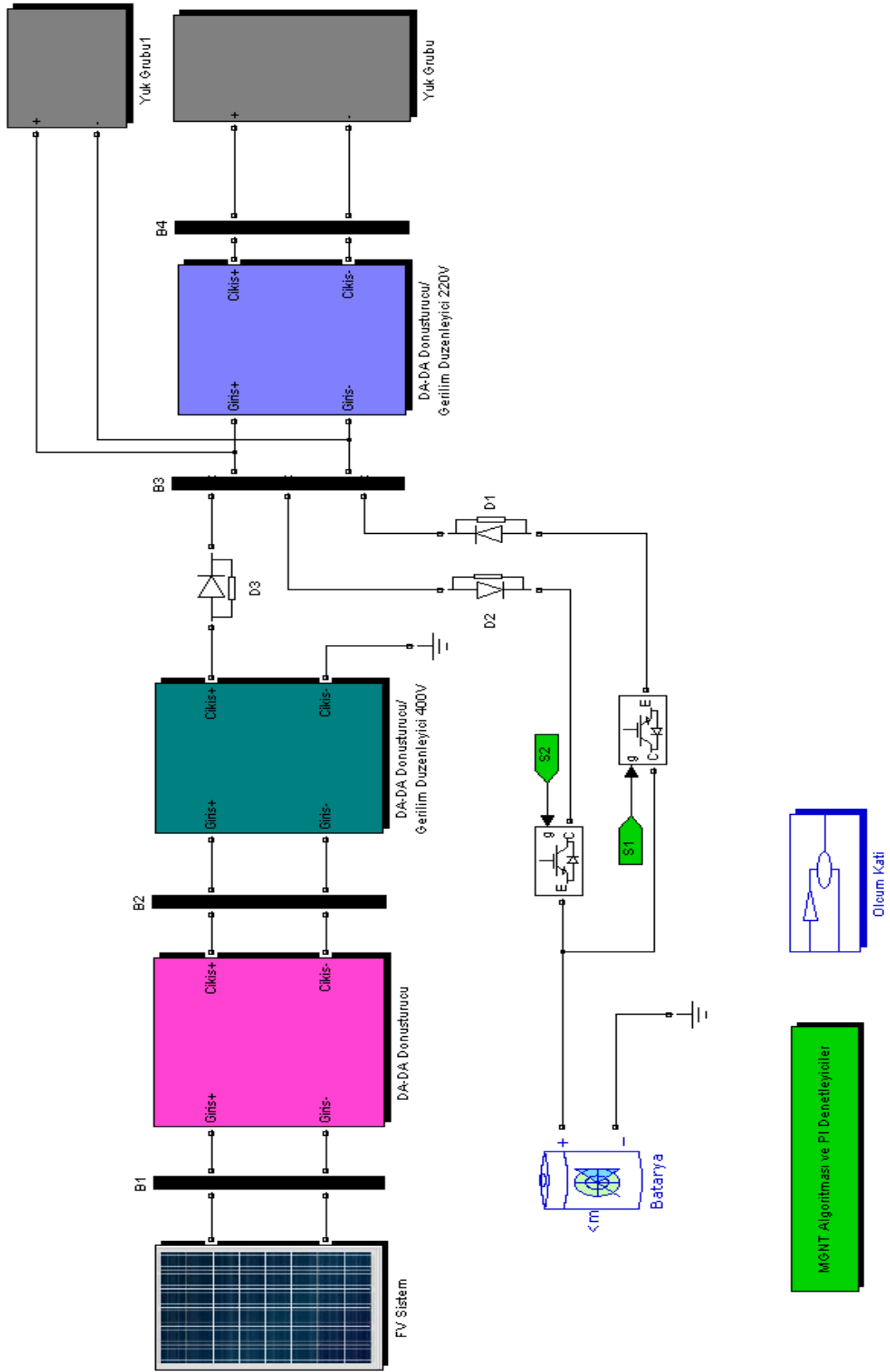
Ani değişen ışınım koşulları durumunda, şekil 7.19’da denetleyici çıkışında darbe genişlik modülasyonu üreticine girecek görev periyodunun değişimi, şekil 7.20’de denetleyiciye gire hata sinyalinin değişimi gösterilmektedir.

7.1.4. Önerilen MGNT tabanlı güç akışı yönetimi

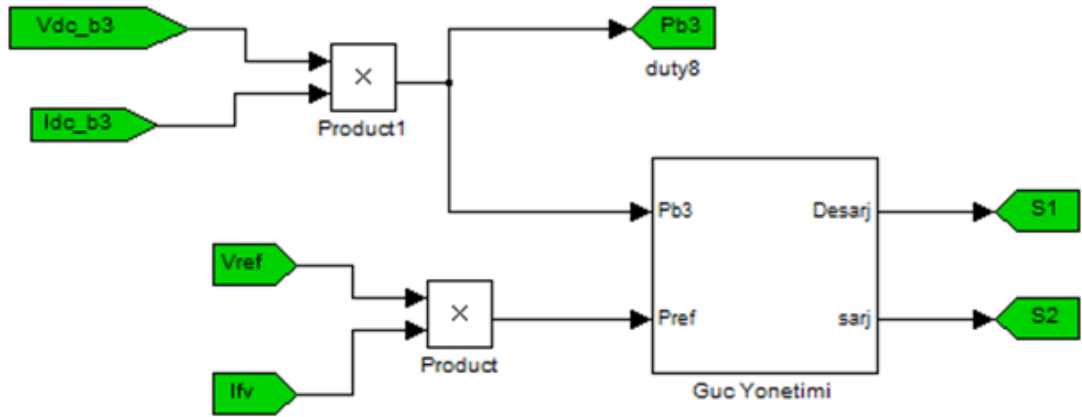
şebekeden bağımsız FV sistemlerde, ışınım şiddetinin yeterli olmadığı durumlarda yükün ihtiyaç duyduğu gücü karşılayabilmek için depolama birimi olarak bataryalardan yararlanılır. FV sistemler o anki çevresel koşullara göre yükün ihtiyaç duyduğu güçten daha fazla güç üretiyorsa bataryayı şarj ederler. Bu depolama ünitesi ışınım şiddetinin yetersiz olduğu durumlarda ve geceleyin deşarj konumunda çalışarak yükün ihtiyaç duyduğu gücü karşırlar. Gün içerisinde çevresel koşullara göre FV sistemin üreteceği güç, yükün ihtiyacı olan güçten az olabilir. Bu durumda, FV sistemden maksimum güç noktasındaki çalışma akımı çekilmediğinden maksimum güç noktasından sapılır. Böyle bir durumun önüne geçmek için şekil 7.21’deki yaklaşım önerilmiştir [100]. Önerilen MGNT algoritmasının çıkışı (V_{ref}) ile FV panelin o anki akımının (I_{fv}) çarpılması sonucunda maksimum güç referansı (P_{ref}) elde edilir. FV panelin sağlayabileceği bu güç değeri ile yük gücü ($P_{yük}$) karşılaştırılarak bataryanın şarj ve deşarj konumunda çalışması sağlanır. şekil 7.21’de bataryanın şarj-deşarj yönetim sistemine ait blok diyagram gösterilmektedir. FV panel ve bataryadan oluşan, önerilen MGNT algoritması tabanlı güç akış yönetiminin benzetim modelini içeren şebekeden bağımsız sistemin DA yüklerini beslediği benzetim modeli şekil 7.22’de gösterilmektedir.



şekil 7.21. Batarya şarj-deşarj yönetim sistemi blok diyagramı



Şekil 7.22. FV panel ve bataryadan oluşan şebekeden bağımsız sistem



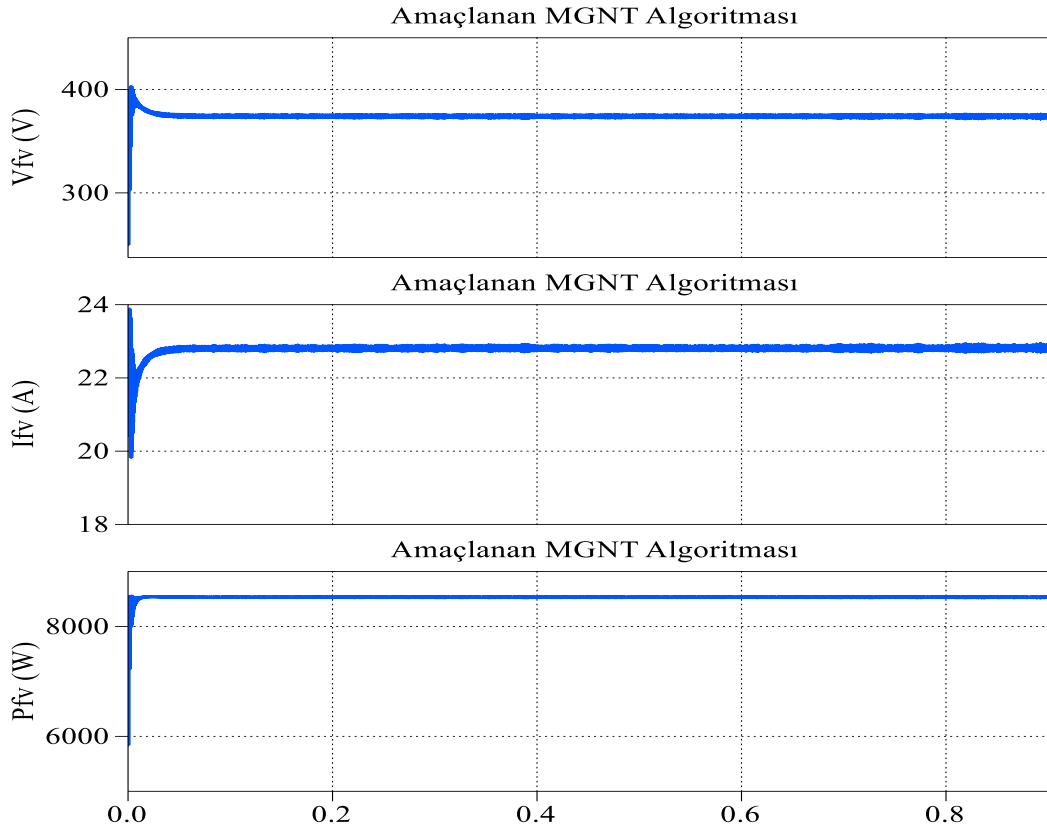
Şekil 7.23. Güç yönetiminin benzetim modeli

Güç yönetiminin benzetim modeli Şekil 7.23’de gösterilmektedir. Güç yönetimine ait benzetim çalışmaları iki farklı durum için gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, DA yüklerinin beslendiği sistemde değişken ışınlım ve yük durumlarında benzetim çalışmaları yapılmıştır. İkinci olarak da, FV sistemin hem DA yüklerini hem de AA yüklerini beslediği değişken yük ve ışınlım koşulları altında benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. FV sistemin çıkışı yükseltici DA-DA dönüştürücüsüne bağlı olup, MGNT algoritmasından gelen referansa göre sistemin gerilimini maksimum güç noktasında çalıştıracak şekilde ayarlamaya çalıştığından B2 barasındaki gerilim değişkenlik gösterebilmektedir. FV sistem ve bataryayı aynı noktada birleştirip B3 barası girişi DA-DA dönüştürücü vasıtası ile sabit 400V gerilimde tutulmaktadır. Batarya, MGNT algoritması tabanlı güç akış yönetiminden gelen komutlara göre D2 diyodu ve S2 anahtarlama ile şarj konumuna, D1 diyodu ve S1 anahtarı vasıtası ile deşarj konumunda çalışmaktadır. Batarya şarj-deşarj durumlarına göre ya devreden akım çeken ya da devreye akım veren eleman olarak çalıştırılır. FV sistem tarafına olası ters akımları önleyebilmek için B3 barasından önce D3 diyodu konulmuştur. Yük barasında ise sabit 400V gerilim altında çalışan yük grubu 1 ve 220V’ta çalışan yük grubu bulunmaktadır. Farklı çalışma anlarında yüklerin devreye girip çıkmaları ile hem önerilen MGNT algoritmasının hem de güç akış yönetiminin performansı incelenmiştir. Şekil 7.22’deki benzetim çalışmasında kullanılan devre elemanlarına ait parametreler Tablo 7.2’de gösterilmektedir.

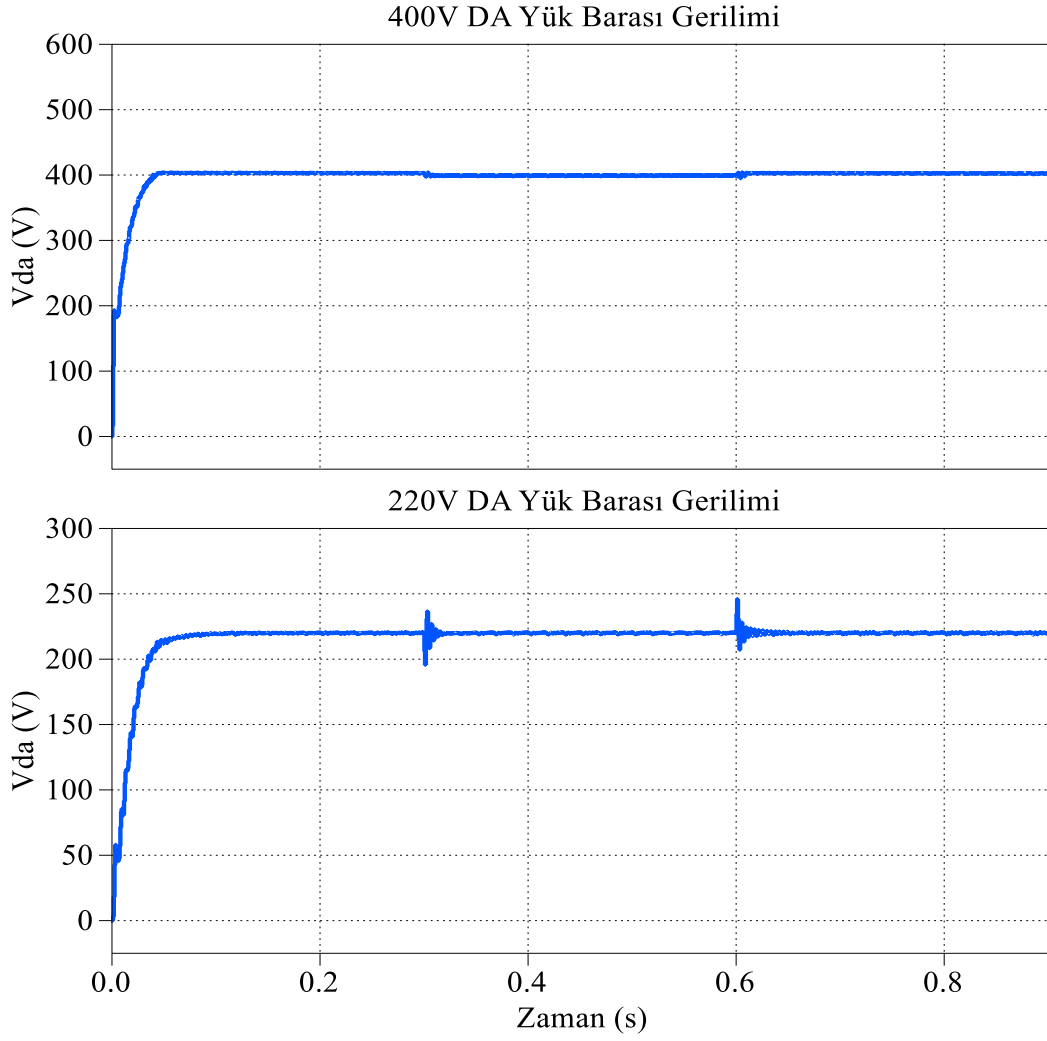
Tablo 7.2. Güç yönetimi benzetim çalışması parametreleri

Parametre	Değer	Parametre	Değer
FV Sistem		K_p (Amaçlanan MGNT)	0,04
Seri hücre sayısı (N_s)	72	K_i (Amaçlanan MGNT)	5
Açık devre gerilimi (V_{ad})	45,74V	DA-DA Dönüştürücü (400V) ve Denetleyici	
Kısa devre akımı (I_{kd})	5,69A	L	1mH
Maksimum gerilimi (V_{maks})	37,56V	C	500 μ F
Maksimum akımı (I_{maks})	5,46A	K_p	0,0008
Maksimum güç (P_{maks})	205W	K_i	0,085
Seri panel sayısı	10	DA-DA Dönüştürücü (220V) ve Denetleyici	
Paralel panel sayısı	4	L	1mH
DA-DA Dönüştürücü ve Denetleyici		C	500 μ F
C_1	10 μ F	K_p	0,0006
L	1mH	K_i	0,15
C_2	200 μ F		

Sabit 600W/m² ve 22°C çevresel koşullar altında şebekeden bağımsız sistemin beslediği bir yükte ani bir artış meydana geldiğinde bataryanın gücü istenilen yükü karşılayabilecek durumda ise FV sistemin maksimum güç noktasından kaymasına müsaade edilmeden güç akışı yönetim sistemi vasıtası ile batarya devreye girmektedir. Sonuç olarak yüke aktarılan gücün sürekliliği sağlanmış ve FV sistemin maksimum güç noktasından kayması önlenmiş olunur. Şekil 7.24'te değişen yük koşullarında FV sistemin akım, gerilim ve güç eğrileri gösterilmektedir.

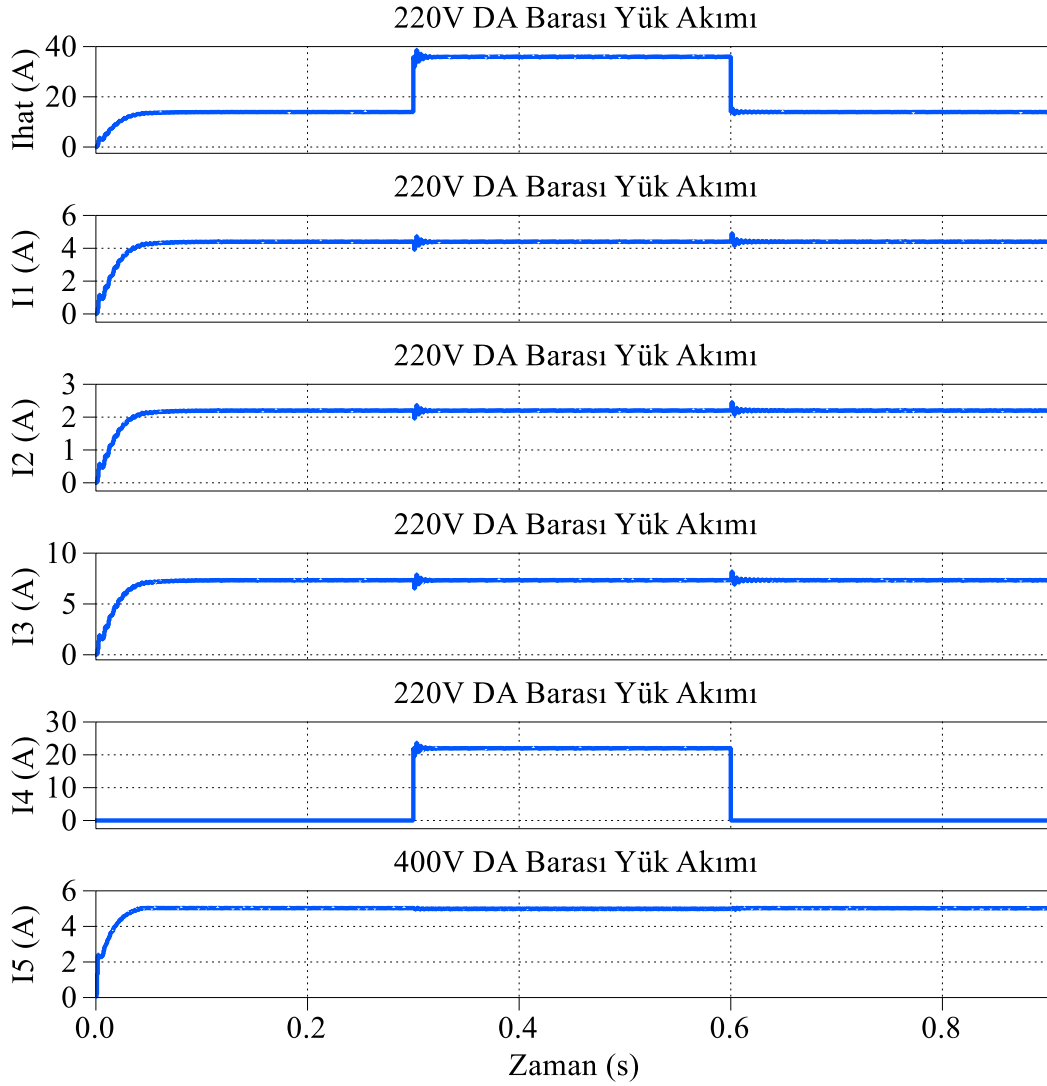


Şekil 7.24. FV sistemin akım, gerilim ve güç eğrileri



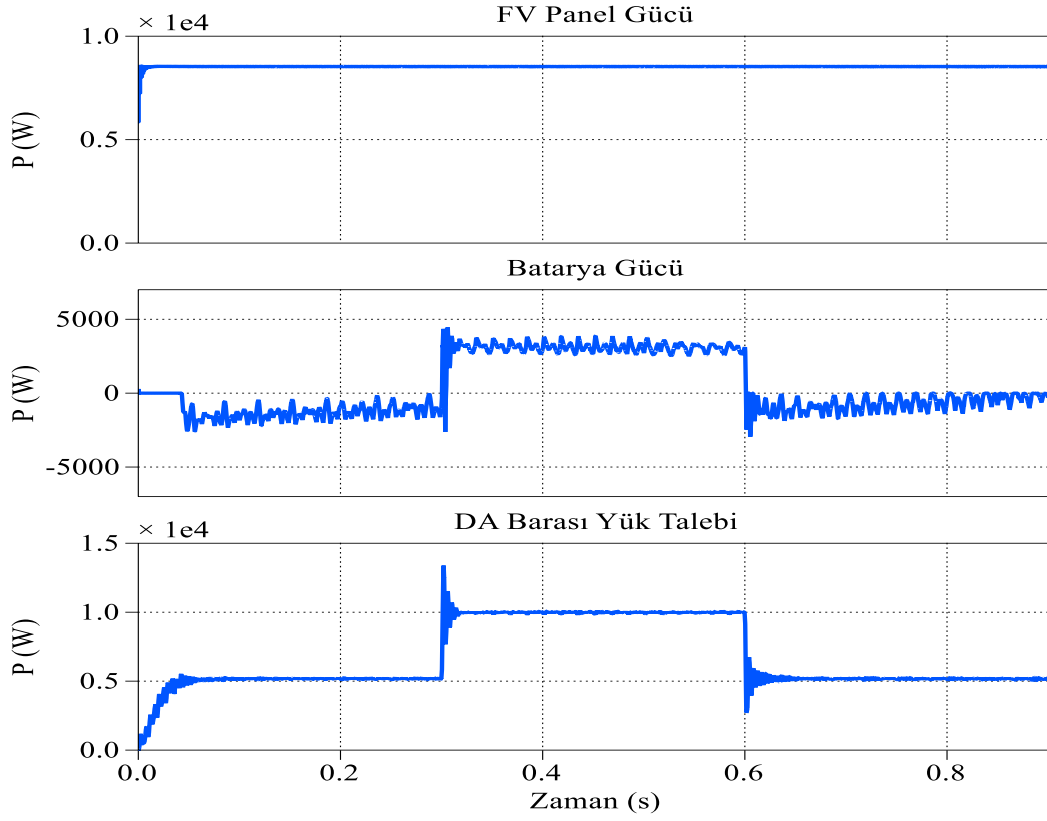
Şekil 7.25. B3 ve B4 yük barası gerilimleri

Meydana gelen yük değişimlerinde FV sistemin maksimum güç noktasına karşılık gelen akım ve gerilim değerlerinde çalışmasına devam ettiği, B3 ve B4 yük barası gerilimlerinin DA-DA dönüştürücüleri vasıtası ile sabit tutulduğu Şekil 7.24 ve Şekil 7.25'te görülmektedir. B3 barasına bağlı yük ve 4 adet paralel yükün bulunduğu 220V'luk B4 barasının dördüncü kolundaki yükün 0,3s'de devreye girip 0,6s'de devreden çıkması durumunda baradan çekilen toplam akım ve yüklerden çekilen akımlar Şekil 7.26'da gösterilmektedir.

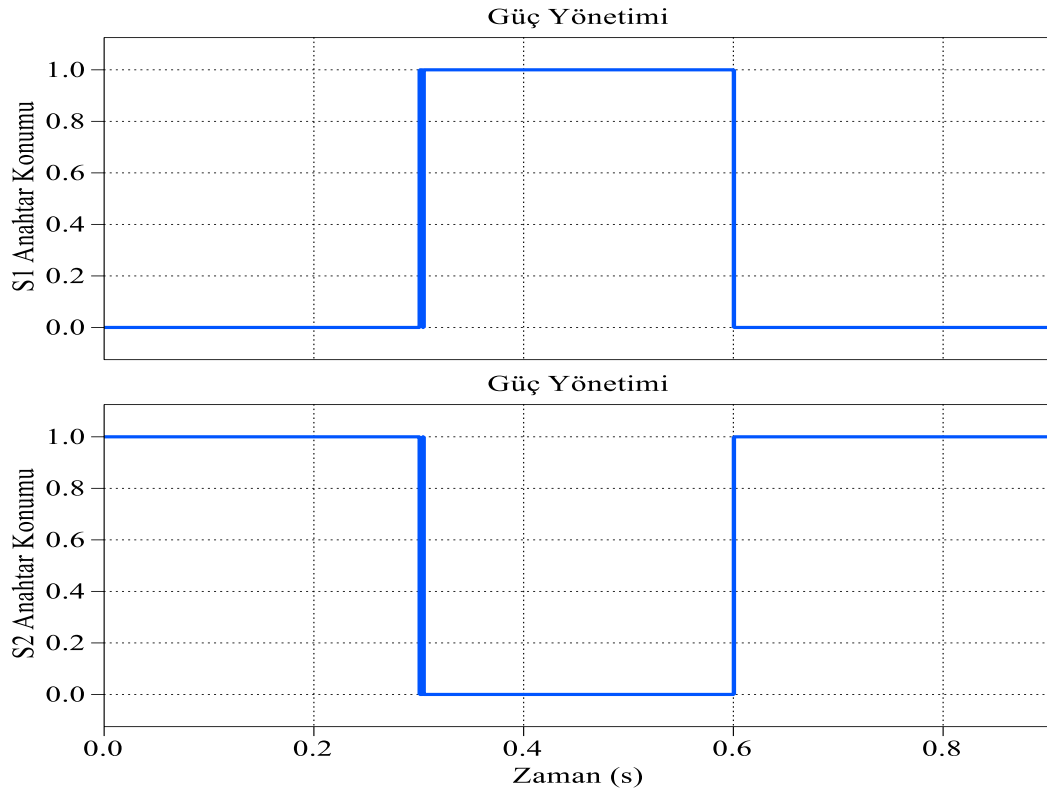


Şekil 7.26. B3 ve B4 yük barası akımları

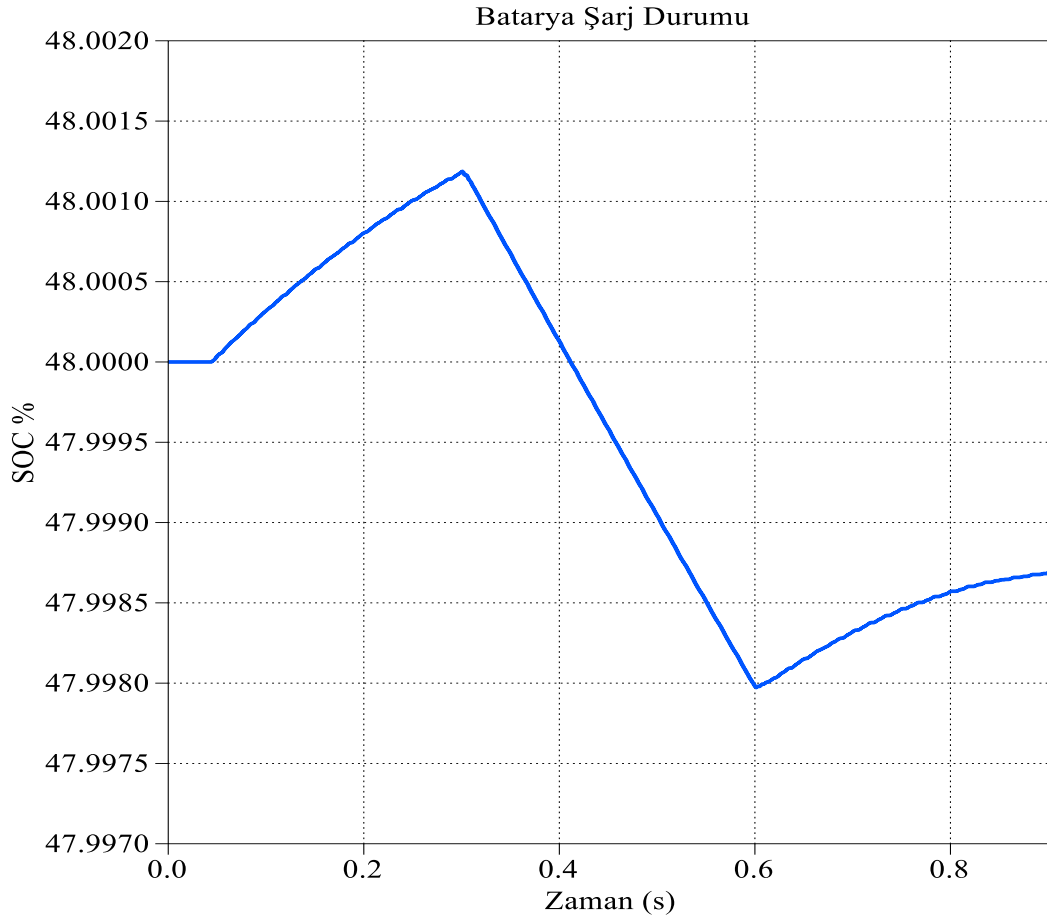
FV sistemin, bataryanın ve DA yük baralarından çekilen güçler Şekil 7.27’de gösterilmektedir. FV sistemin beslediği toplam yük değeri 0,3s’de artması durumunda güç akışı yönetim birimi vasıtası ile batarya şarj konumundan ayrılarak deşarj konumuna geçirilmiş olup, FV sistemin maksimum güç noktasından ayrılmadan yükleri beslenmesine devam etmesi sağlanmıştır. Bataryanın şarj ve deşarj durumlarına geçişini sağlayan anahtarların konumları Şekil 7.28’de gösterilir. Öncelikle batarya şarj konumunda olup S2 anahtarı 1 konumundadır. Talep edilen yük arttığında batarya deşarj konumuna geçerken S2 anahtarı 0 konumuna, S1 anahtarı 1 konumuna geçmektedir. Bataryanın şarj ve deşarj durumlarına göre şarj durumu Şekil 7.29’da gösterilmektedir.



Şekil 7.27. Yük değişimlerinde FV sistem, batarya ve yük barası güç değişimleri

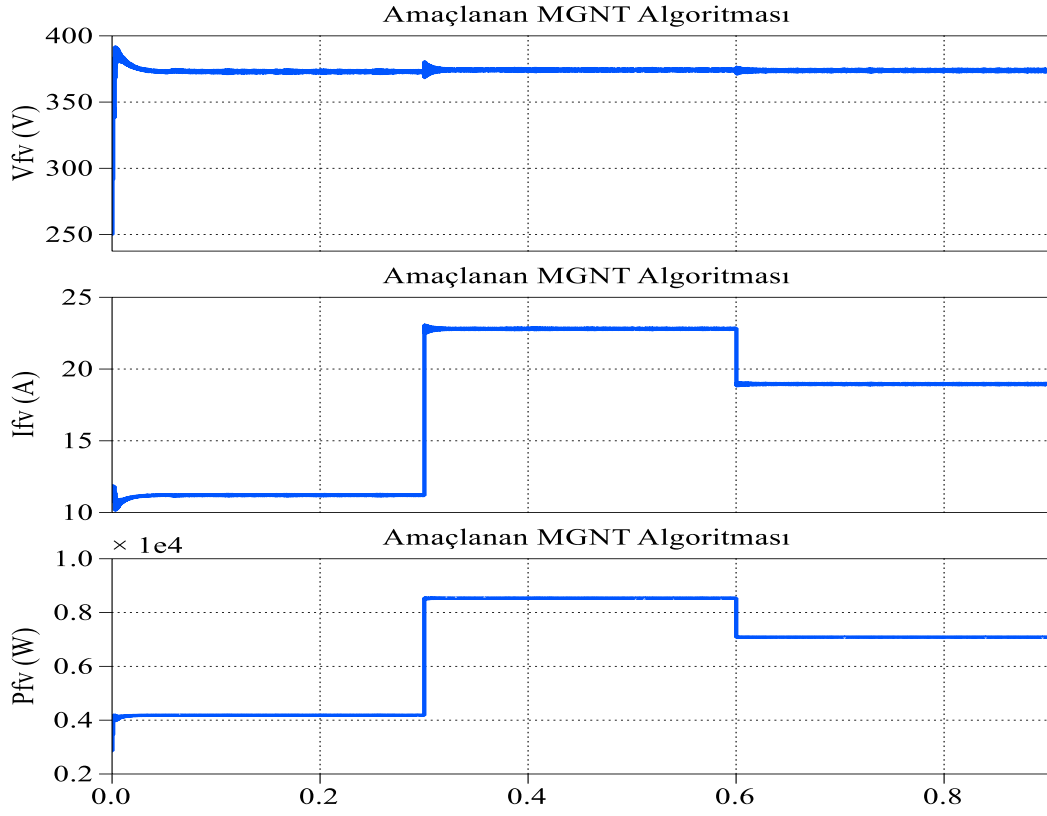


Şekil 7.28. Güç akışı yönetim biriminin etkisiyle S1 ve S2 anahtarlarının konum değişimleri

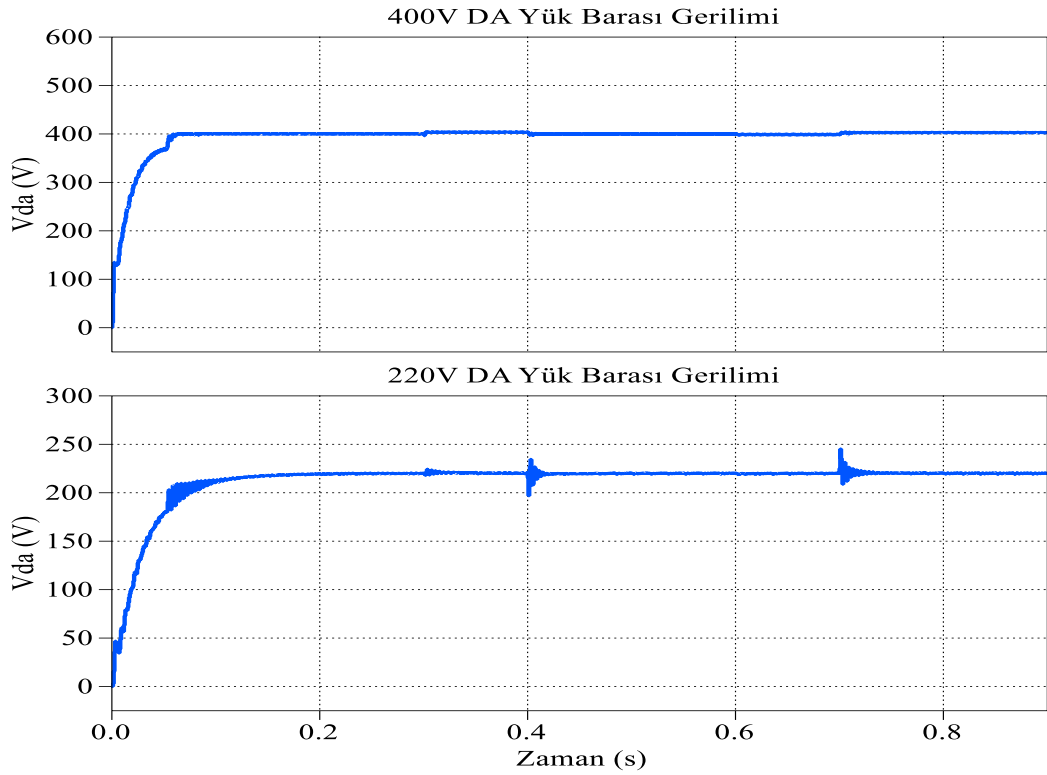


Şekil 7.29. Yük değişimlerine göre batarya şarj durumu

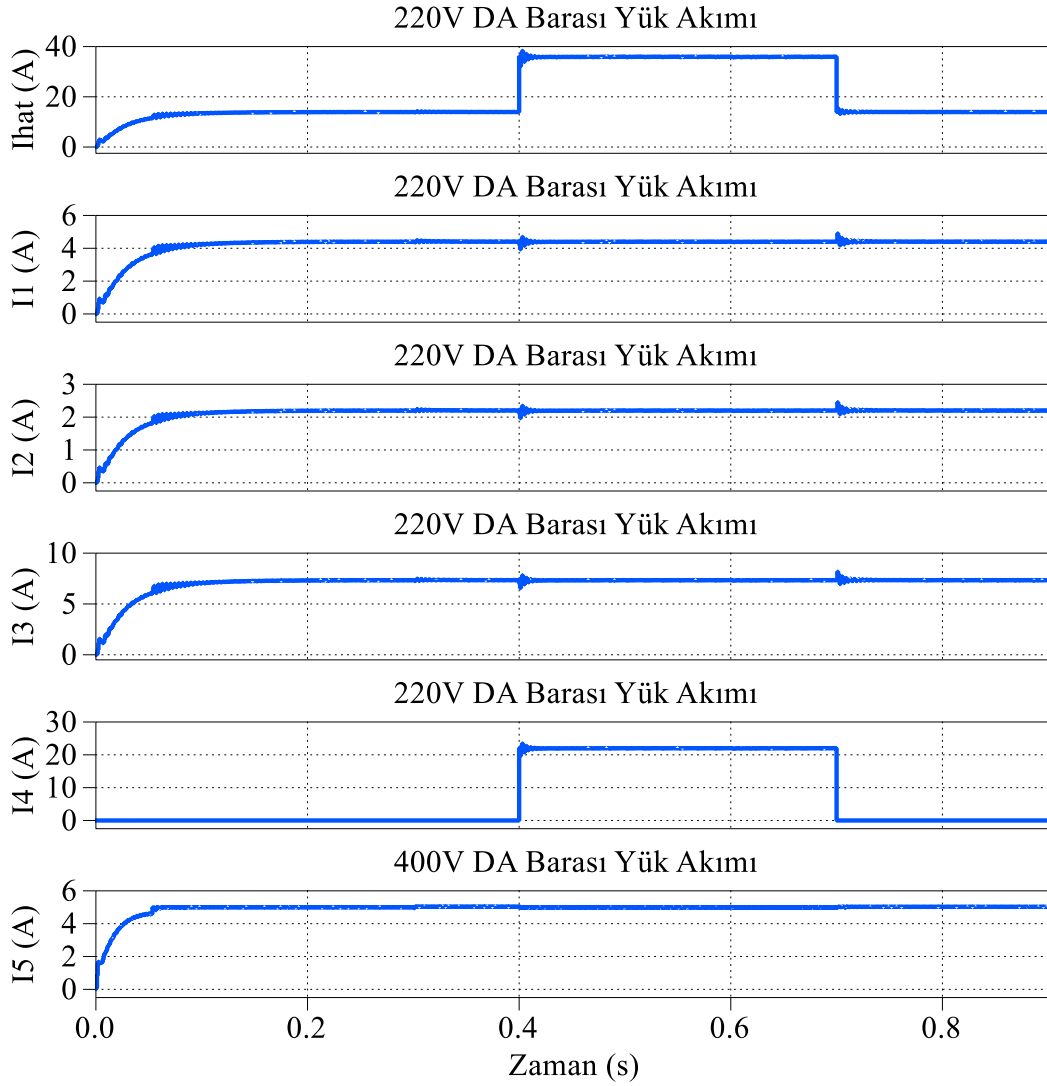
Şebekeden bağımsız olarak çalışan FV sistemlerde, hem talep edilen DA yükünün hem de ısınım şiddetinin değişmesi durumunda yapılan benzetim çalışmalarına göre FV sisteme ait gerilim, akım ve güç değişimleri Şekil 7.30’da gösterilmiştir. Burada, MGNT algoritması olarak önerilen yaklaşım kullanılmıştır. Işınımın artması veya azalması durumunda FV sistemin üreteceği maksimum güç değeri de artacak veya azalacaktır. Ayrıca, yükün değiştiği durumlarda da FV sistemin o anki çevresel koşullara göre maksimum güç noktasında çalışması, güç akış yönetimi sistemi tarafından bataryanın şarj veya deşarj konumlarında çalıştırılması ile sağlanmaktadır. Şekil 7.31’de değişen ısınım şiddeti ve yük talebi durumlarında B3 ve B4 bara gerilimlerinin DA-DA dönüştürücüleri vasıtası ile sabit tutulduğu görülmektedir.



Şekil 7.30. Işınım şiddetinde meydana gelen değişimler durumunda FV sistemin gerilimi, akımı ve güç değişimi



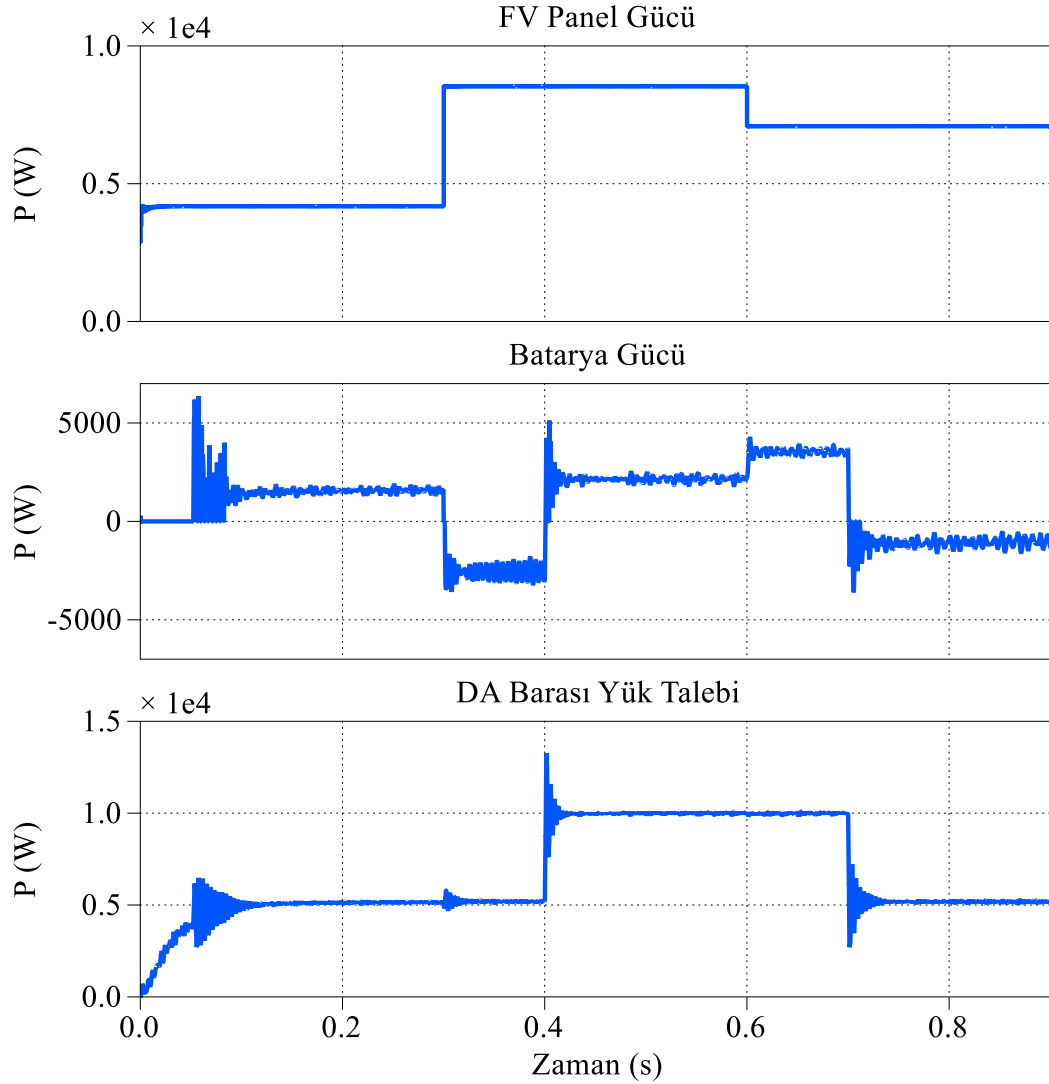
Şekil 7.31. Işınım şiddeti ve yük talebi değişimlerinde B3 ve B4 yük barası gerilimleri



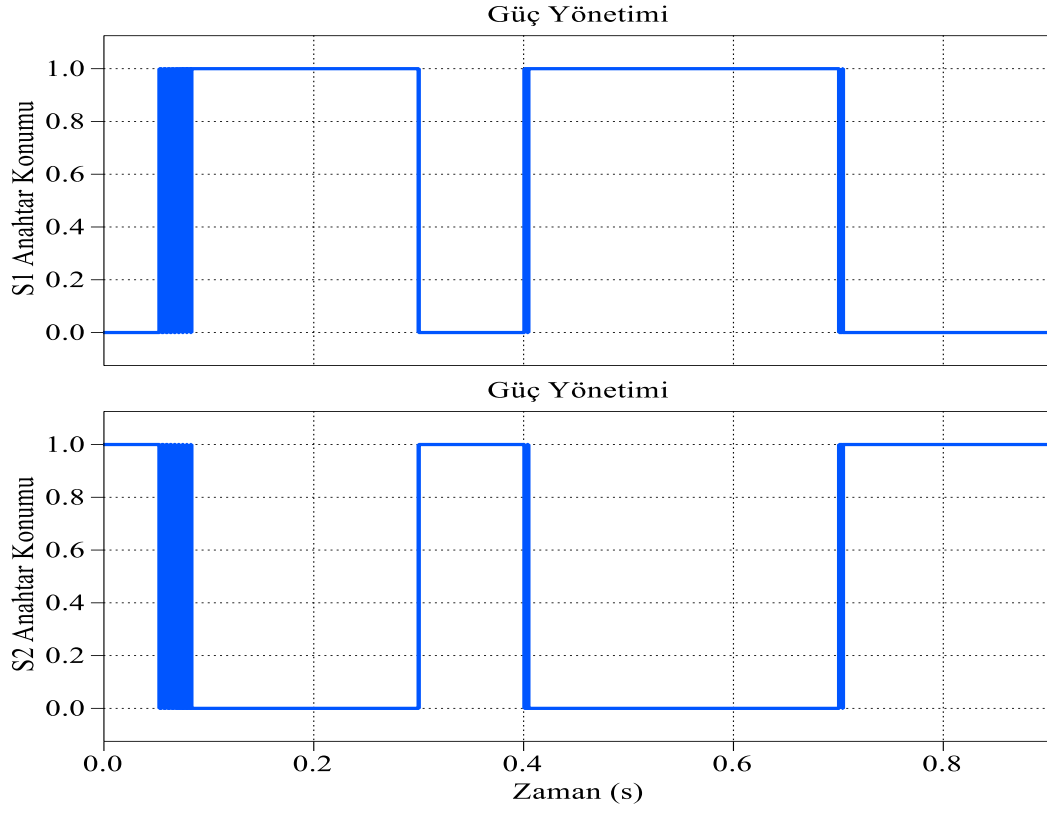
Şekil 7.32. Işınım şiddeti ve yük talebi değişimlerinde B3 ve B4 yük barası akımları

Dört adet paralel yükün bulunduğu 220V'luk B4 barasının dördüncü koldaki yükün 0,4s'de devreye girip 0,7s'de devreden çıkması durumunda baradan çekilen toplam akım ve yüklerden çekilen akımlar, ayrıca B3 barası yük akımı Şekil 7.32'de gösterilmektedir. FV sistemin, bataryanın ve DA yük baralarından çekilen güçler Şekil 7.33'te gösterilir. Benzetim çalışmasının başlangıcında, talep edilen yük FV sistemin üretebileceği maksimum güçten büyük olduğu için batarya deşarj konumuna geçerek yükün karşılanmasını ve FV sistemin maksimum güç noktasında ayrılmamasını sağlar. Işınım şiddetinin 0,3s'de artması ile FV sistemin üreteceği güç, talep edilen güçten büyük olduğu için batarya şarj konumuna geçer. 0,4s'de talep edilen yük değeri arttığı için batarya tekrardan deşarj konumuna geçerek yükün karşılanmasını sağlar. Ayrıca 0,6s'de ışınım şiddetinin azalması ile bataryanın

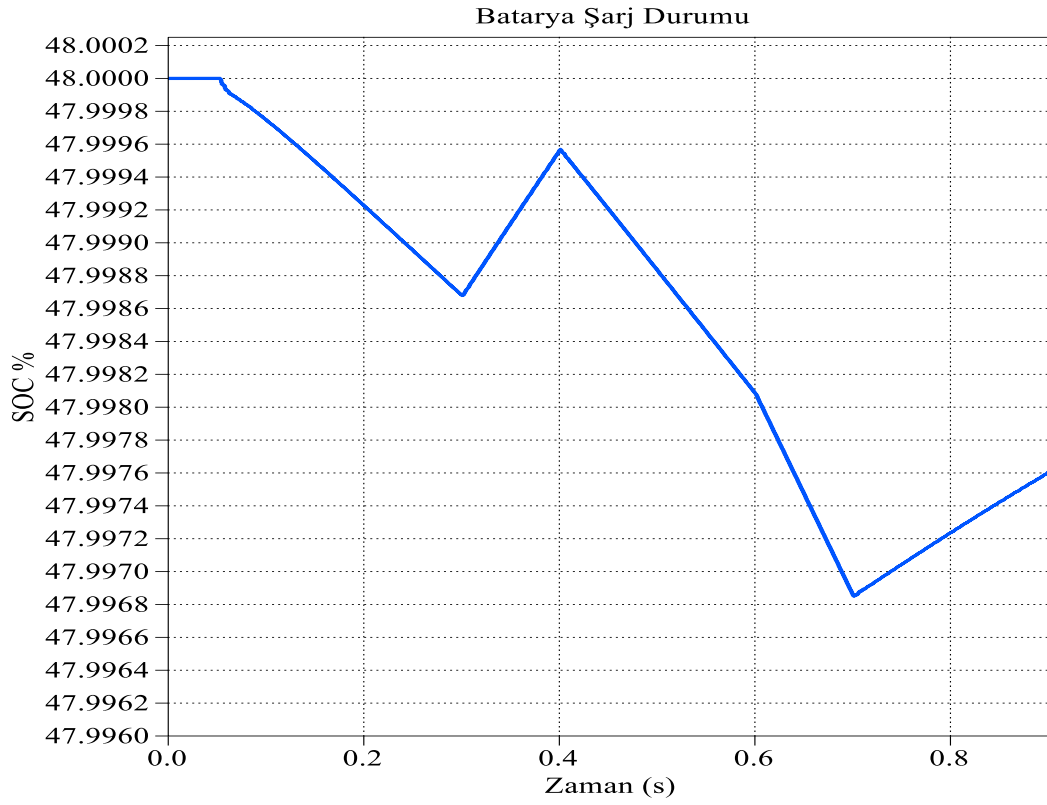
üreteceği güç değeri aratarak deşarj konumunda kalmaya, FV sistem ise maksimum güç noktasında çalışmasına devam eder. 0,7s’de yükün devreden çıkması ile talep edilen güç FV sistemin ürettiği güç değerinden küçük olduğu için batarya şarj durumuna geçer. Bataryanın şarj ve deşarj durumlarına geçişini sağlayan anahtarların konumları Şekil 7.34’te, bataryanın şarj ve deşarj durumlarına göre şarj durumu Şekil 7.35’de gösterilmektedir.



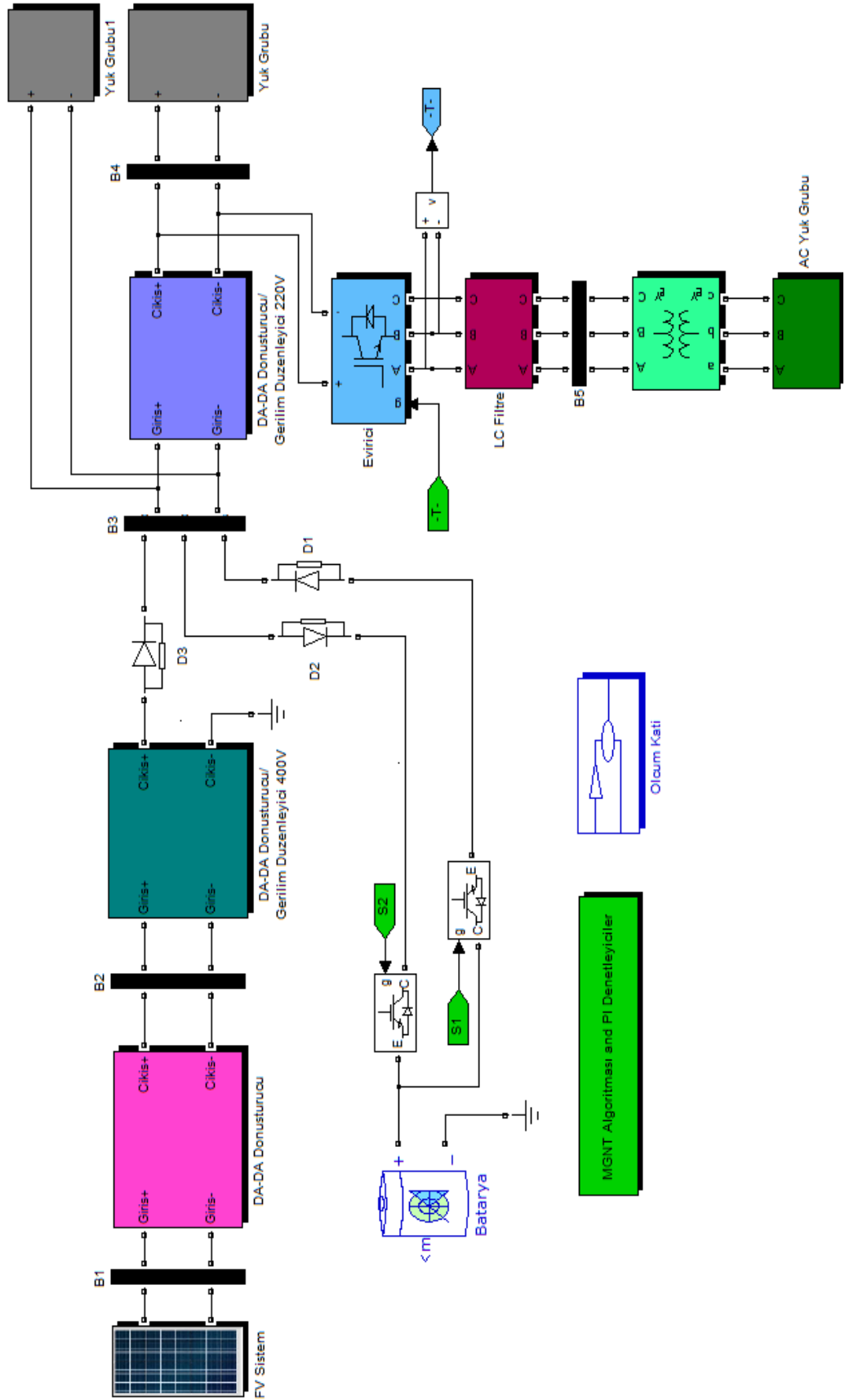
Şekil 7.33. Işınım şiddeti ve yük talebi değişimlerinde FV sistem, batarya ve yük barası güç değişimleri



Şekil 7.34. Işınım şiddeti ve yük talebi değişimlerinde S1 ve S2 anahtarlarının konum değişimleri



Şekil 7.35. Işınım ve yük değişimlerine göre batarya şarj durumu

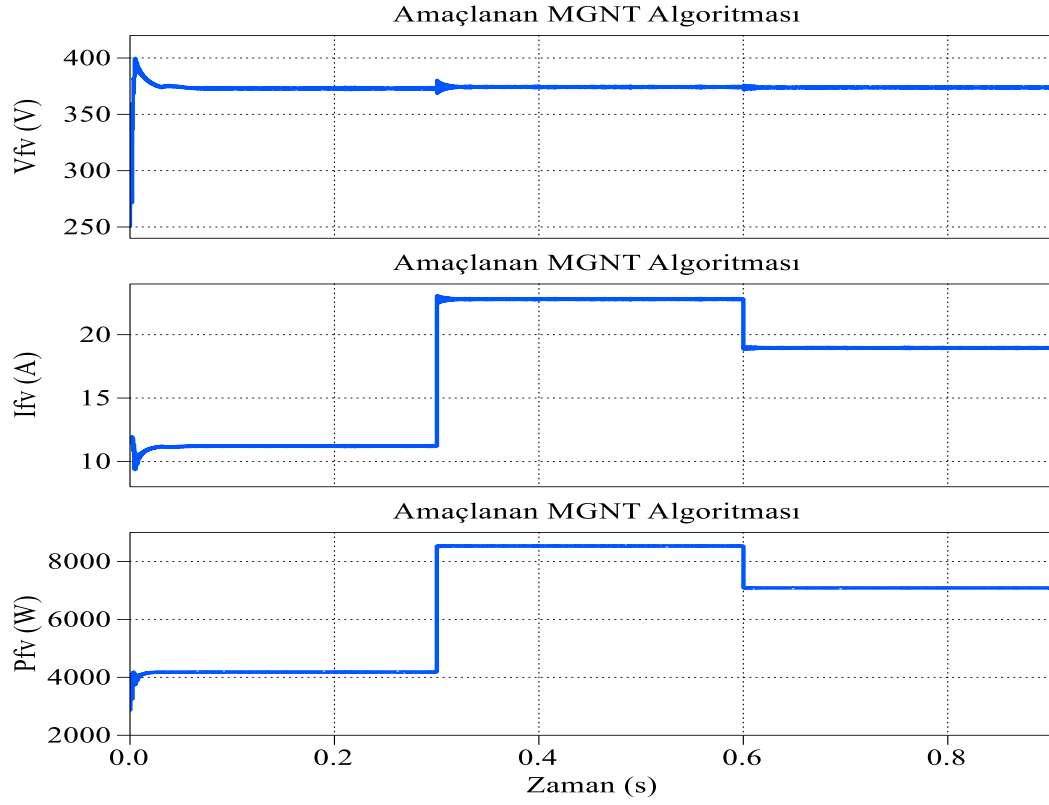


Şekil 7.36. FV sistem ve bataryadan oluşan DA ve AA yüklerin beslendiği şebekeden bağımsız sistem

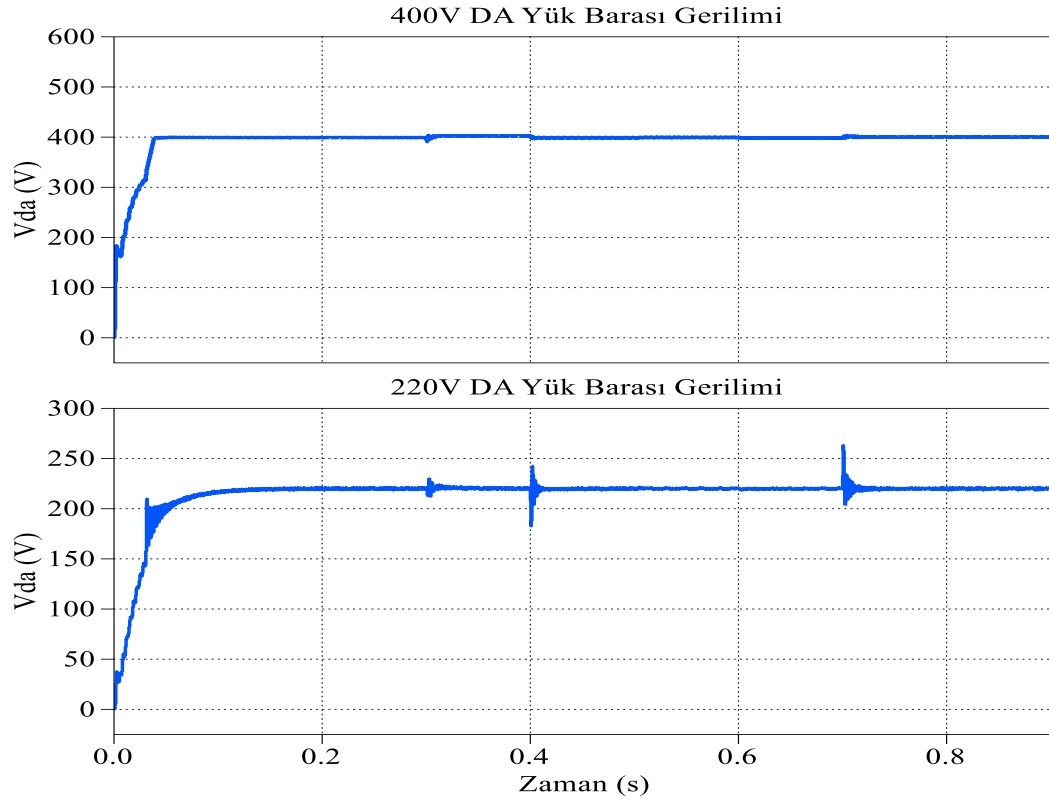
İkinci olarak, hem DA yüklerinin hem de AA yüklerinin beslendiği değişen ısıtım ve yük talebi koşullarında güç yönetimi benzetim çalışmaları yapılmıştır. Değişen ısıtım şiddeti, DA ve AA yüklerinin devreye girip çıkmaları koşulları altında hem önerilen MGNT algoritmasının hem de güç akış yönetiminin performansı incelenmiştir. DA ve AA yüklerinin beslendiği şebekeden bağımsız sistemin benzetim modeli Şekil 7.36'da gösterilmiştir. Şekil 7.36'daki benzetim çalışmasında kullanılan devre elemanlarına ait parametreler Tablo 7.3'te gösterilmektedir. Şebekeden bağımsız olarak çalışan FV sistemlerde, hem talep edilen DA ve AA yüklerinin hem de ısıtım şiddetinin değişmesi durumunda yapılan benzetim çalışmasına göre FV sisteme ait gerilim, akım ve güç değişimleri Şekil 7.37'de gösterilmiştir. ısıtımın artması veya azalması durumunda, yükün değiştiği durumlarda FV sistemin maksimum güç noktasında çalışması, bataryanın şarj veya deşarj konumunda güç akışı yönetim sistemi tarafından çalıştırılması ile sağlanır. Şekil 7.38'de değişen ısıtım şiddeti ve yük talebi durumlarında B3 ve B4 bara gerilimlerinin DA-DA dönüştürücüleri vasıtası ile sabit tutulduğu görülmektedir.

Tablo 7.3. DA-AA yüklerin beslendiği şebekeden bağımsız FV sistem benzetim modeli parametreleri

Parametre	Değer	Parametre	Değer
FV Sistem		C	500 μ F
Seri hücre sayısı (N_s)	72	K_p	0,00085
Açık devre gerilimi (V_{ad})	45,74V	K_i	0,095
Kısa devre akımı (I_{kd})	5,69A	DA-DA Dönüştürücü (220V) ve Denetleyici	
Maksimum gerilimi (V_{maks})	37,56V	L	1mH
Maksimum akımı (I_{maks})	5,46A	C	500 μ F
Maksimum güç (P_{maks})	205W	K_p	0,0005
Seri panel sayısı	10	K_i	0,105
Paralel panel sayısı	4	Transformatör (Y-Y)	
DA-DA Dönüştürücü ve Denetleyici		$P_n(VA)$, $f_n(Hz)$	1000VA-50Hz
C_1	10 μ F	$V_1(f-f_{rms})$, $V_2(f-f_{rms})$	100V-380V
L	1mH	$R_1(pu)$, $R_2(pu)$	0,002-0,002
C_2	200 μ F	$L_1(pu)$, $L_2(pu)$	0,08-0,08
K_p (Amaçlanan MGNT)	0,04	$R_m(pu)$, $L_m(pu)$	500-500
K_i (Amaçlanan MGNT)	5	Filtre ve Denetleyici	
DA-DA Dönüştürücü (400V) ve Denetleyici		L, C	3mH-2 μ F
L	1mH	K_p , K_i	0,3-300

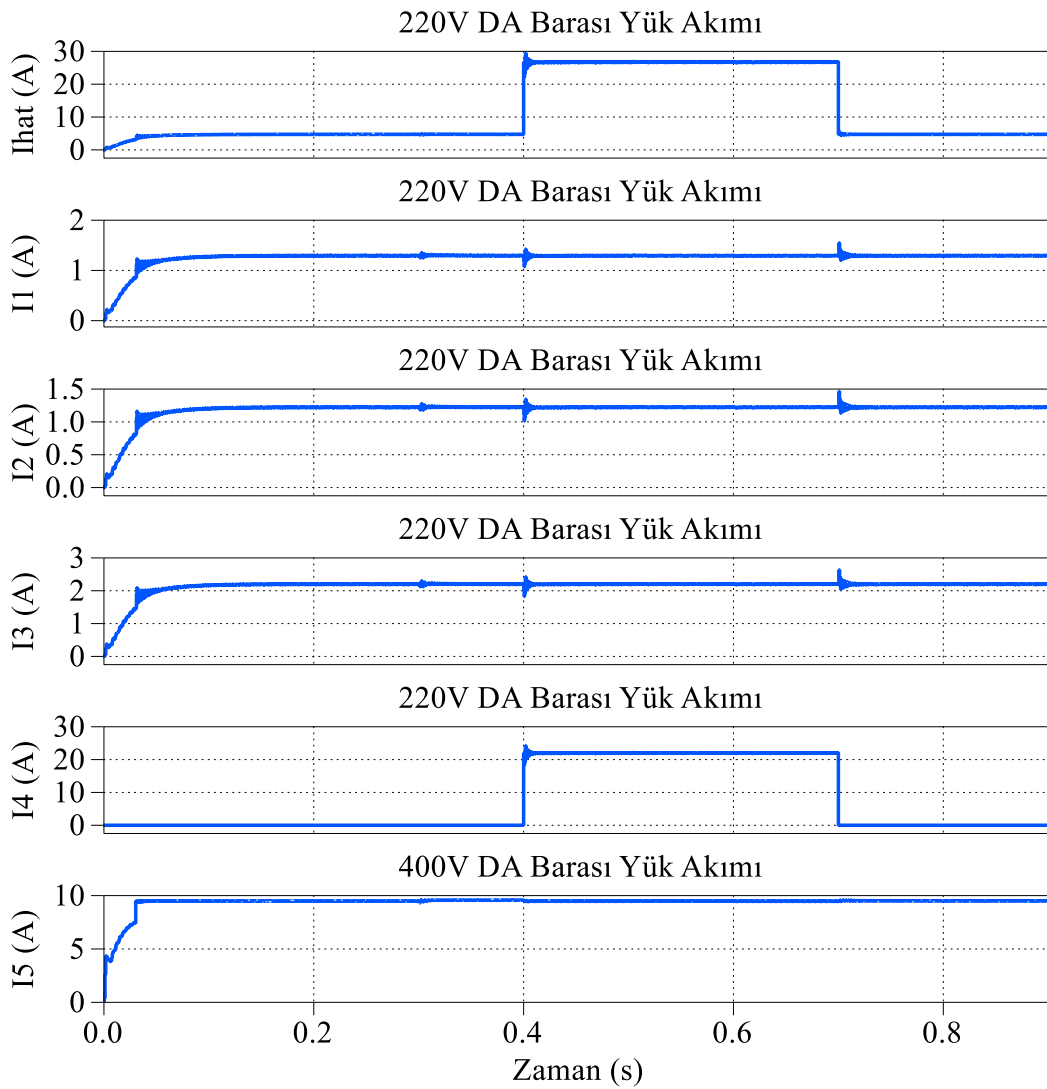


Şekil 7.37. Işınım şiddetinin değişmesi ile FV sistemin gerilim, akım ve güç eğrileri

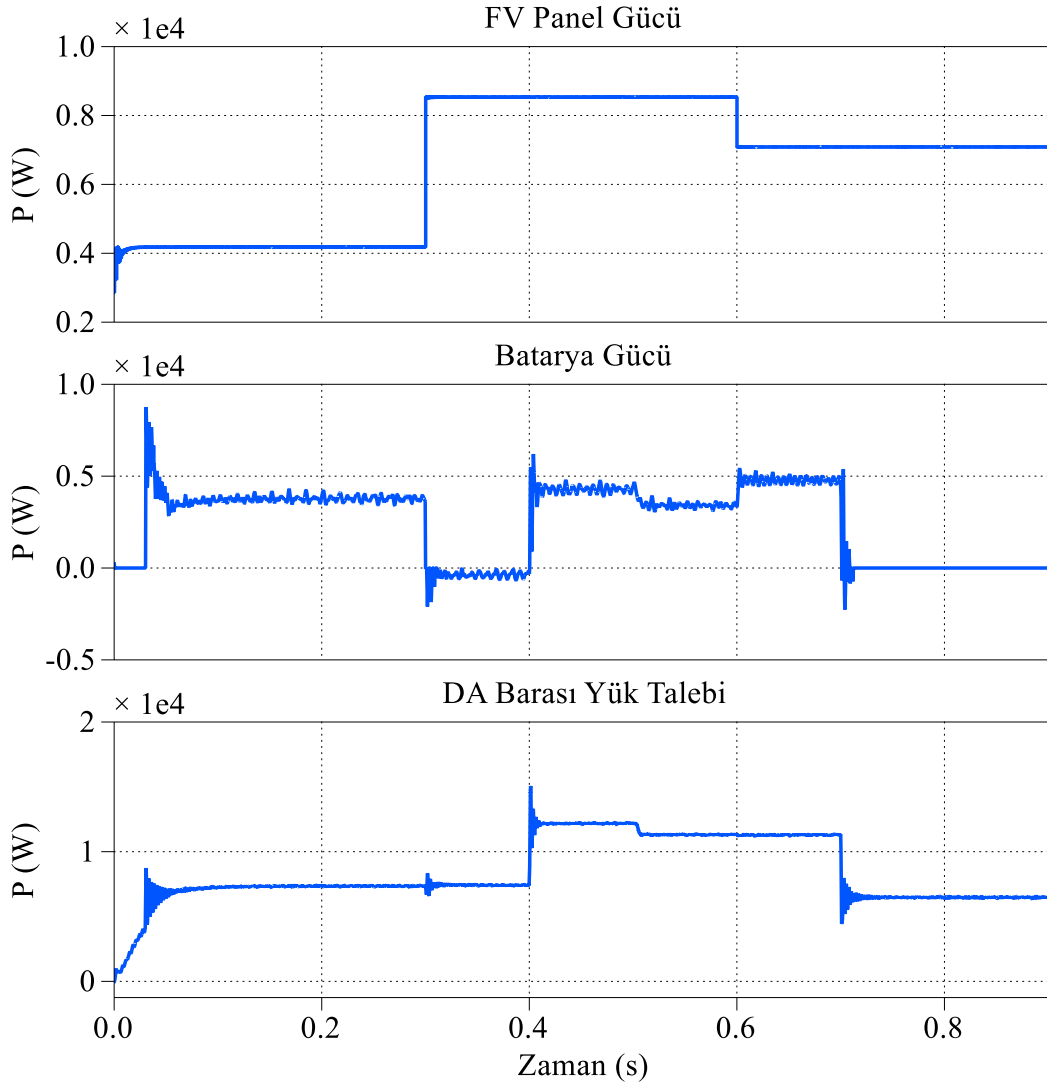


Şekil 7.38. Değişen çalışma koşullarında B3 ve B4 DA yük baraları gerilimleri

B4 barasındaki yükün 0,4s'de devreye girip 0,7s'de devreden çıkması durumunda baradan çekilen toplam akım ve yüklerden çekilen akımlar, B3 barası yük akımı Şekil 7.39'da gösterilmektedir. FV sistemin, bataryanın ve DA yük baralarından çekilen güçler Şekil 7.40'da gösterilir. Benzetim çalışmasının başlangıcında, talep edilen yük FV sistemin üretebileceği maksimum güçten büyük olduğu için batarya deşarj konumuna geçerek yükün karşılanmasını sağlar. Ayrıca, önerilen MGNT yaklaşımı ile üretilen referans gerilimine göre o anki çevresel koşullar altında FV sistemin maksimum güç noktasında çalışmasını da sağlamaktadır.

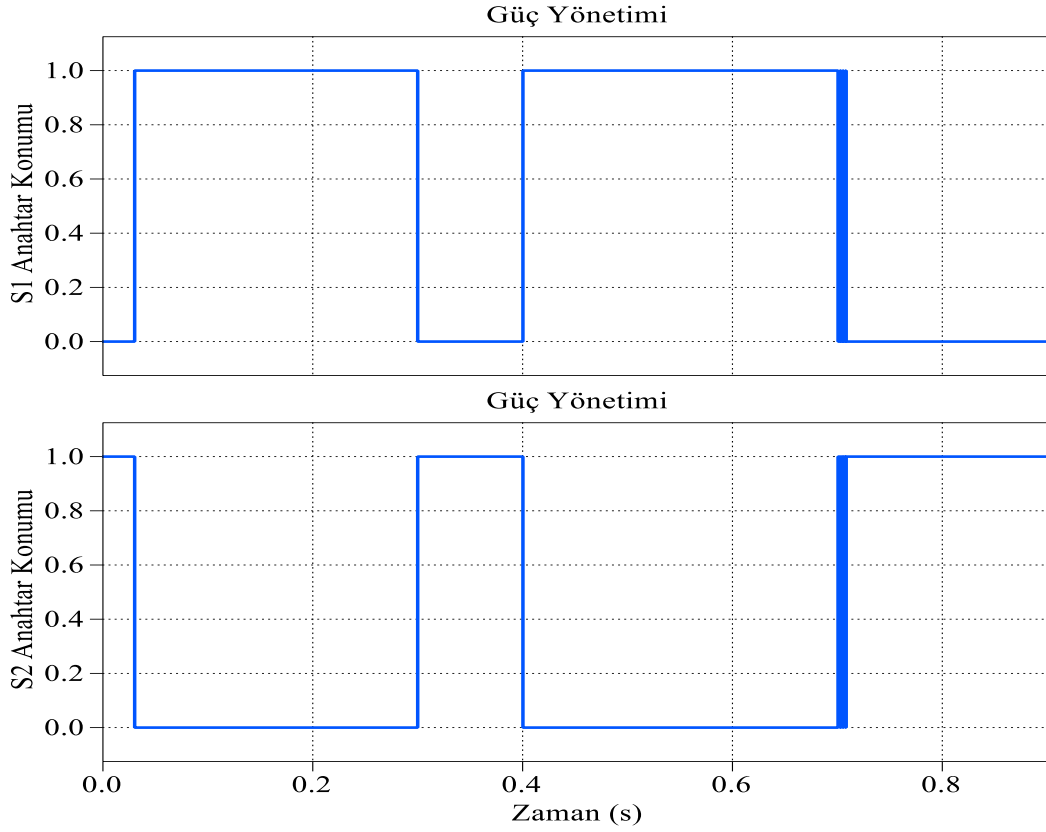


Şekil 7.39. Değişen çalışma koşullarında B3 ve B4 yük baraları akımları



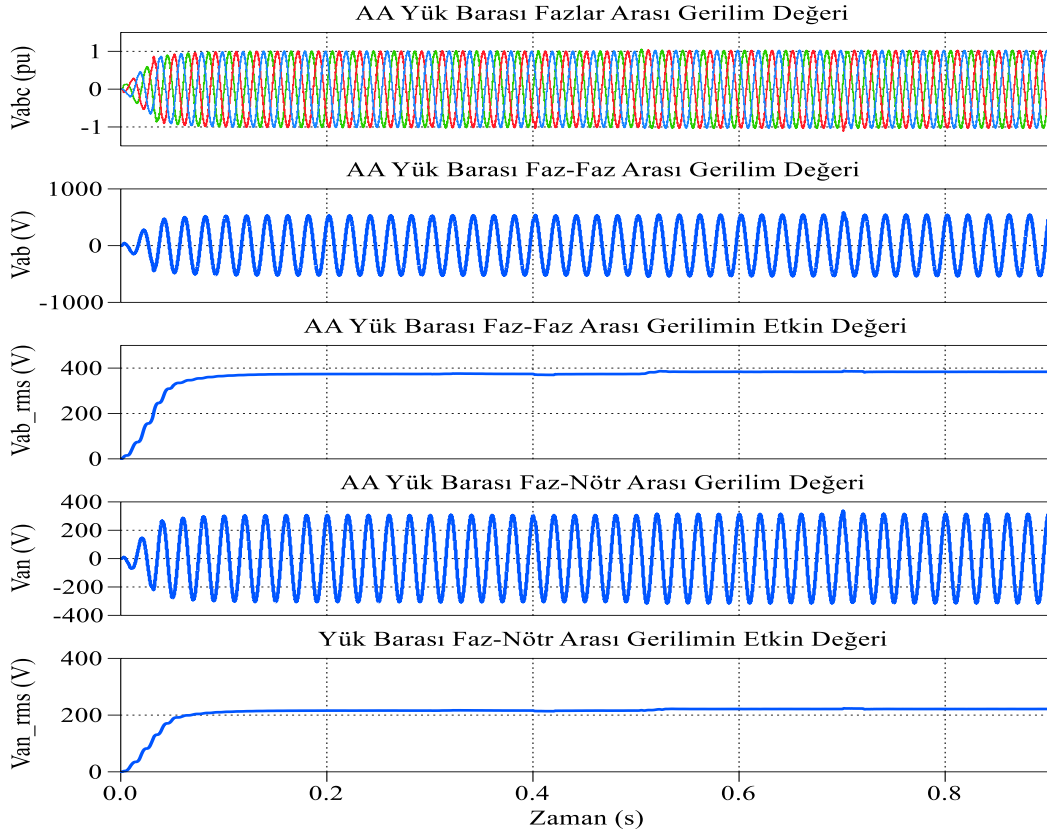
Şekil 7.40. Değişen çalışma koşulları için FV sistem, batarya ve B3 DA barası güçleri

Işınım şiddetinin 0,3s’de artması ile FV sistemin üreteceği güç talep edilen güçten büyük olduğu için batarya şarj konumuna, 0,4s’de talep edilen yük değerinin artması bataryayı tekrardan deşarj konumuna geçirerek yükün karşılanması sağlanmaktadır. 0,5s’de yükte meydana gelen azalmaya rağmen talep edilen güç FV sistemin ürettiği güçten büyük olduğu için batarya deşarj konumunda olmaya devam eder. 0,6s’de ışınlam şiddetinin azalması ile bataryanın üreteceği güç değeri aratarak deşarj konumunda kalmaya, FV sistem ise maksimum güç noktasında çalışmasına devam etmektedir. Bataryanın şarj ve deşarj durumlarına geçişini sağlayan anahtarların konumları Şekil 7.41’de gösterilmektedir.

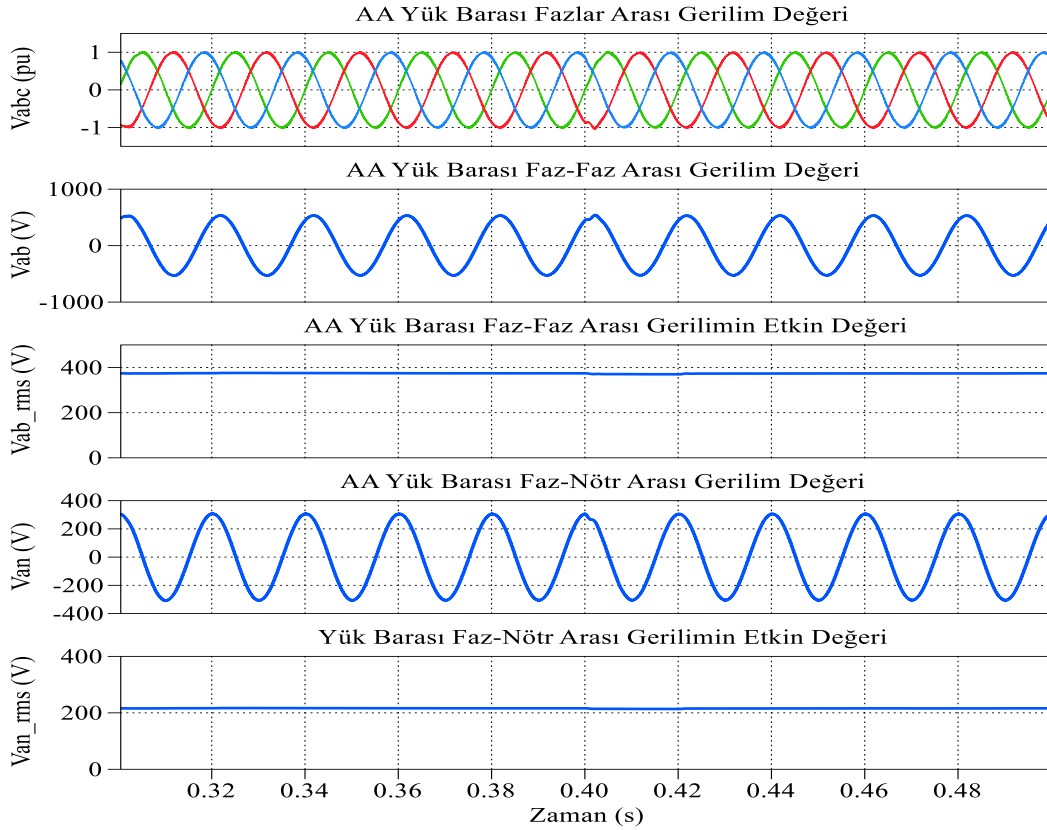


Şekil 7.41. Değişen çalışma koşullarında S1 ve S2 anahtarlarının konum değişimleri

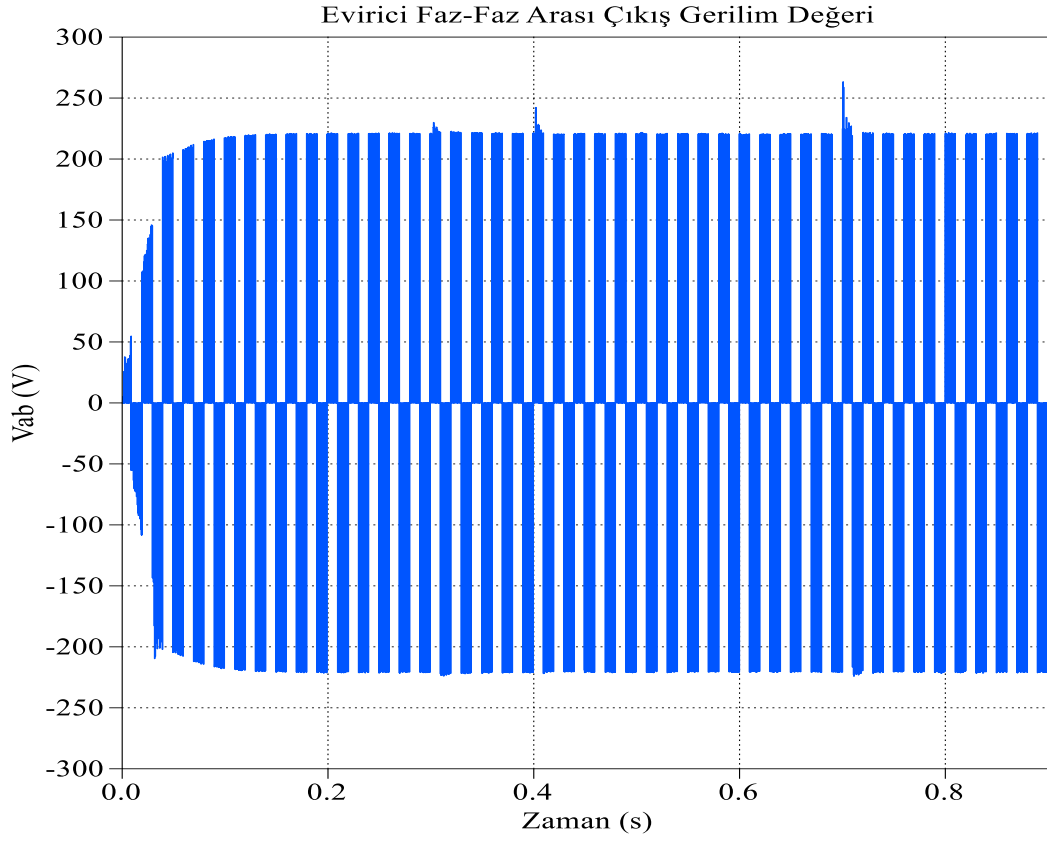
Şekil 7.42’de AA yük barasına ait fazlar arası üç faz gerilimim pu cinsinden, faz-faz arası gerilim, faz nötr arası gerilimlerin ve etkin değerlerinin değişimleri gösterilmektedir. Bu gerilimlerin yakınlştırılmış hali Şekil 7.43’de verilmektedir. Evirici faz-faz arası gerilimi, yük barasının üç faz ve bir faz akımları Şekil 7.44 ve Şekil 7.45’de gösterilir. Şekil 7.46’da yük barasının üç faz ve bir faz akımlarının yakınlştırılmış grafikleri gösterilmekte olup, 0,5s’de P-Q yükünün devreden çıktığı durum Şekil 7.47’de verilmektedir.



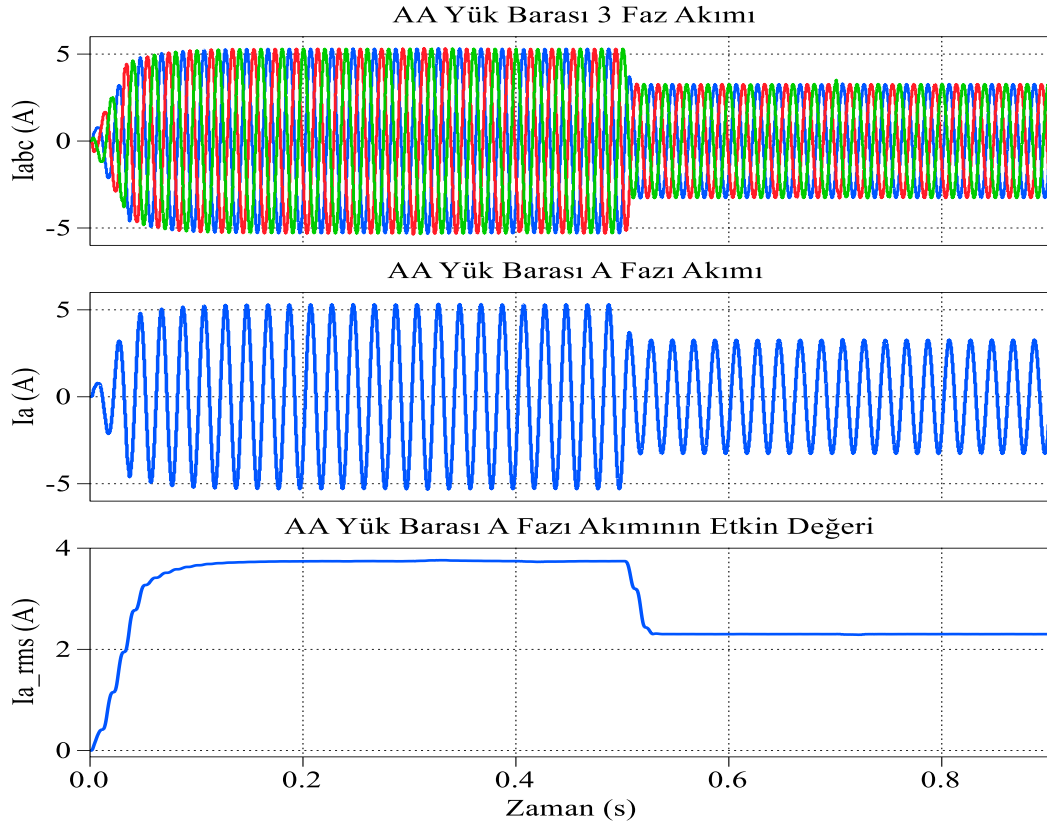
Şekil 7.42. AA yük barası gerilimleri



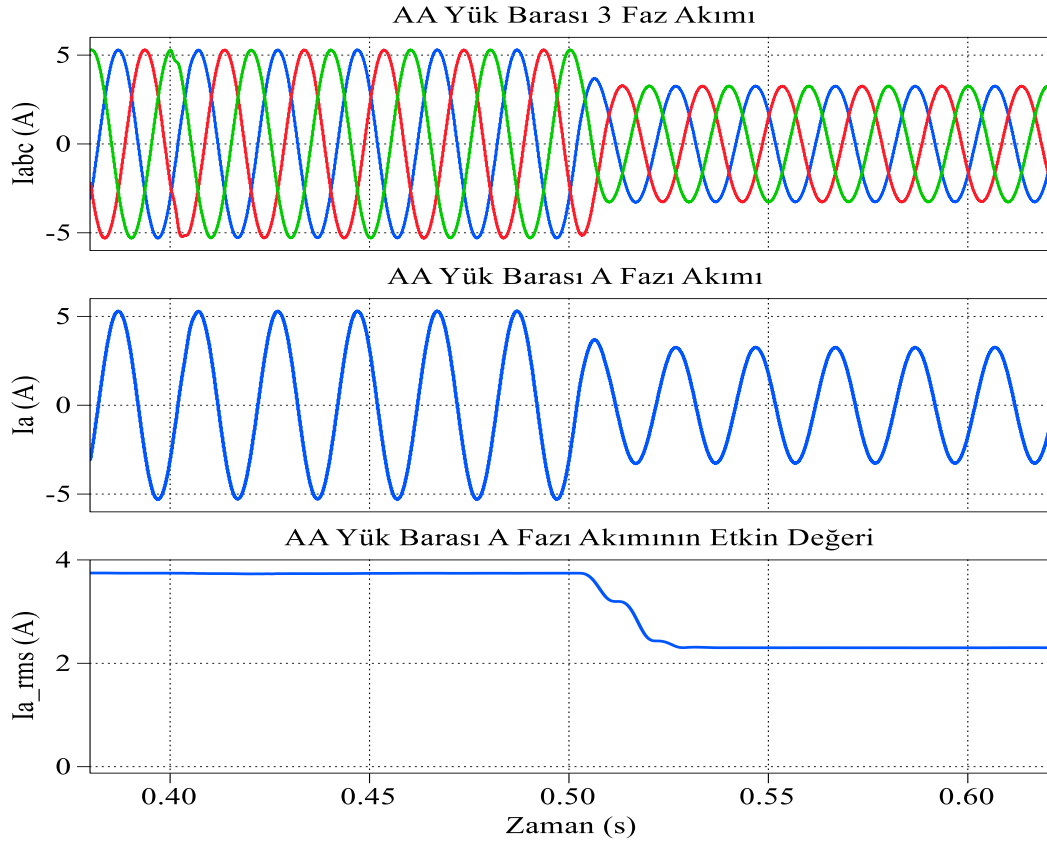
Şekil 7.43. AA yük barası gerilimlerinin yakınlaştırılmış hali



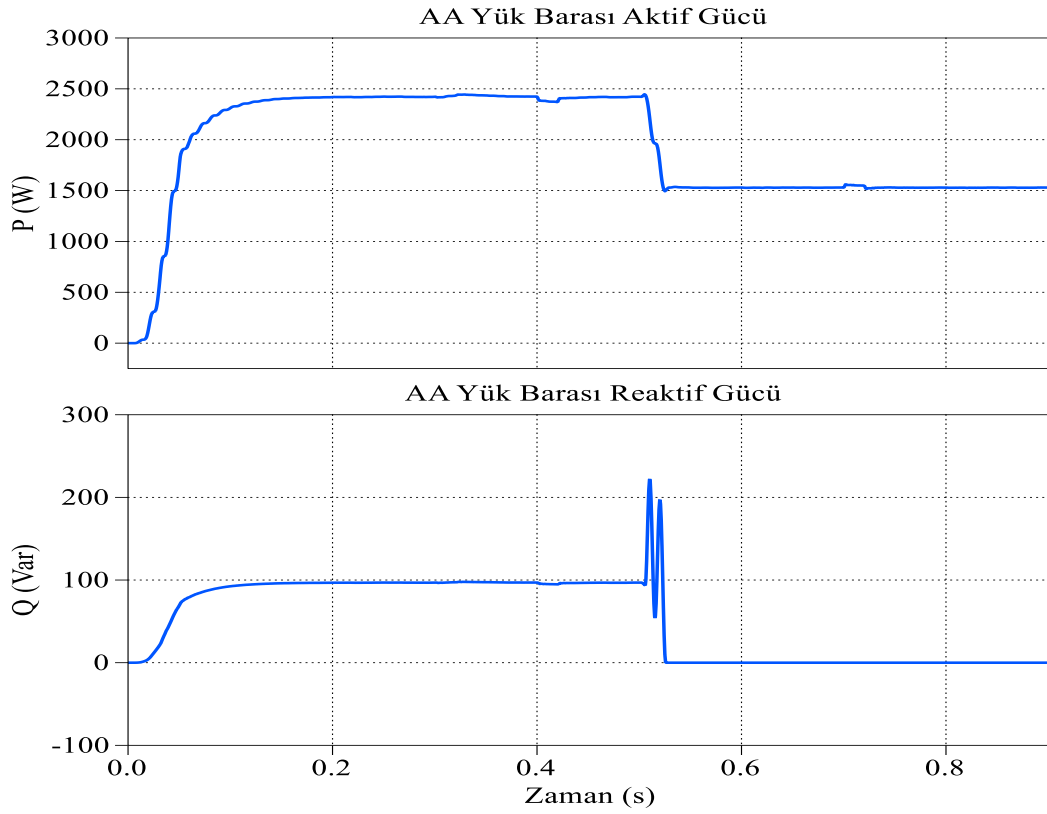
Şekil 7.44. Evirici faz-faz arası çıkış gerilimi



Şekil 7.45. AA yük barası akımları



Şekil 7.46. AA yük barası akımlarının yakınlştırılmış hali



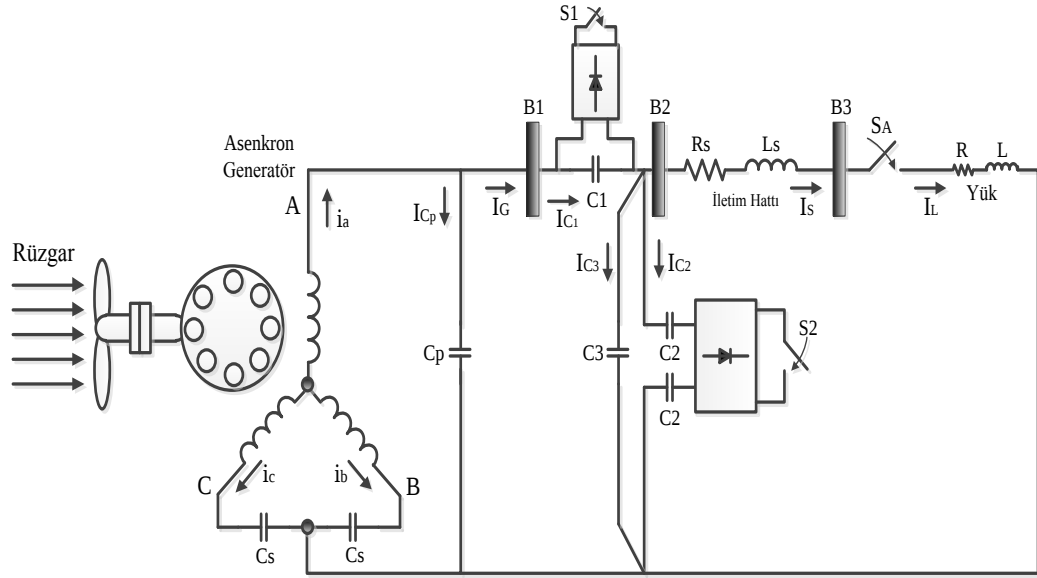
Şekil 7.47. AA yük barası güçleri

7.2. Rüzgar Enerjisi Çevrim Sistemi Benzetim Çalışmaları

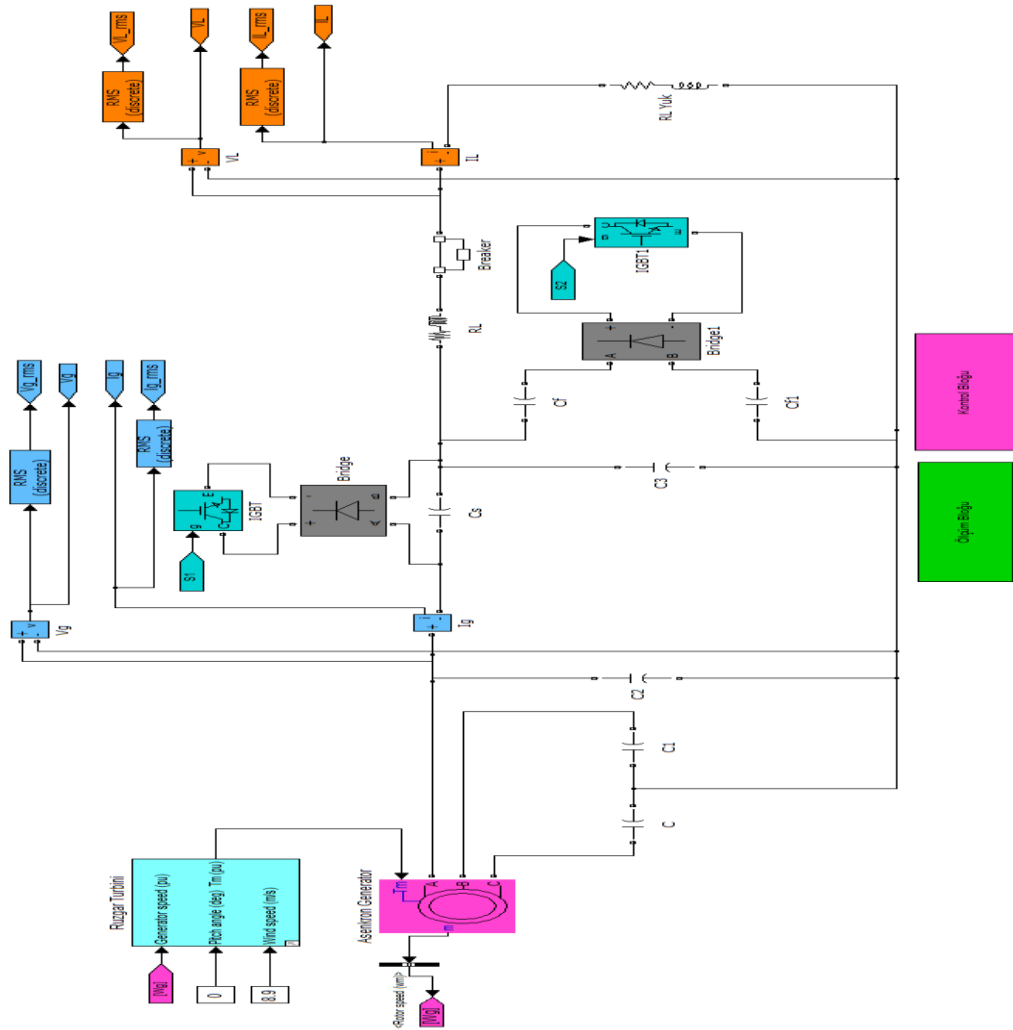
Rüzgar enerjisi çevrim sistemlerinde, rüzgar hızı ve yüklerde meydana gelen sürekli değişimler üretilen enerjinin kalitesini doğrudan etkilediği için bu bölümde hibrit güç filtresi düzenleyicili mikro rüzgar güç üretim sisteminin açık devre, kısa devre değişken rüzgar hızı gibi farklı çalışma durumlarında benzetim modelleri oluşturularak benzetim çalışmaları yapılmıştır. Benzetim modelinde kullanılan asenkron generatör uygulamada kullanılan motor parametrelerine göre oluşturulmuştur. Benzetim modelinde kullanılan tüm devre elemanlarına ait parametreler Tablo 7.4'te verilmiştir. Benzetim çalışmalarında ilk olarak, Şekil 7.48'de blok diyagramı görülen rüzgar güç üretim sisteminin açık devre durumu çalışılmıştır. MATLAB/Simulink benzetim modeli Şekil 7.49'da gösterilmektedir. Şekil 7.48'de görülen SA anahtarı ilk konumda kapalı olup benzetim çalışması başladıktan belli bir süre sonra sinyal gönderilerek açık konumuna getirilir. Bu konumda belli bir süre bekletildikten sonra kapalı konumuna geri dönerek yükün beslenmesi devam etmektedir. Benzetim çalışmaları öncelikle HGFD'si kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.50'de 4,5 ve 5,5 saniyeleri arasında açık devre koşulu için HGFD'siz generatör ve yük barasına ait gerilim ve akım değişimlerinin benzetim sonuçları, Şekil 7.51'de ise yakınlaştırılmış hali gösterilmektedir.

Tablo 7.4. Rüzgar güç üretim sisteminin benzetim modeli parametreleri

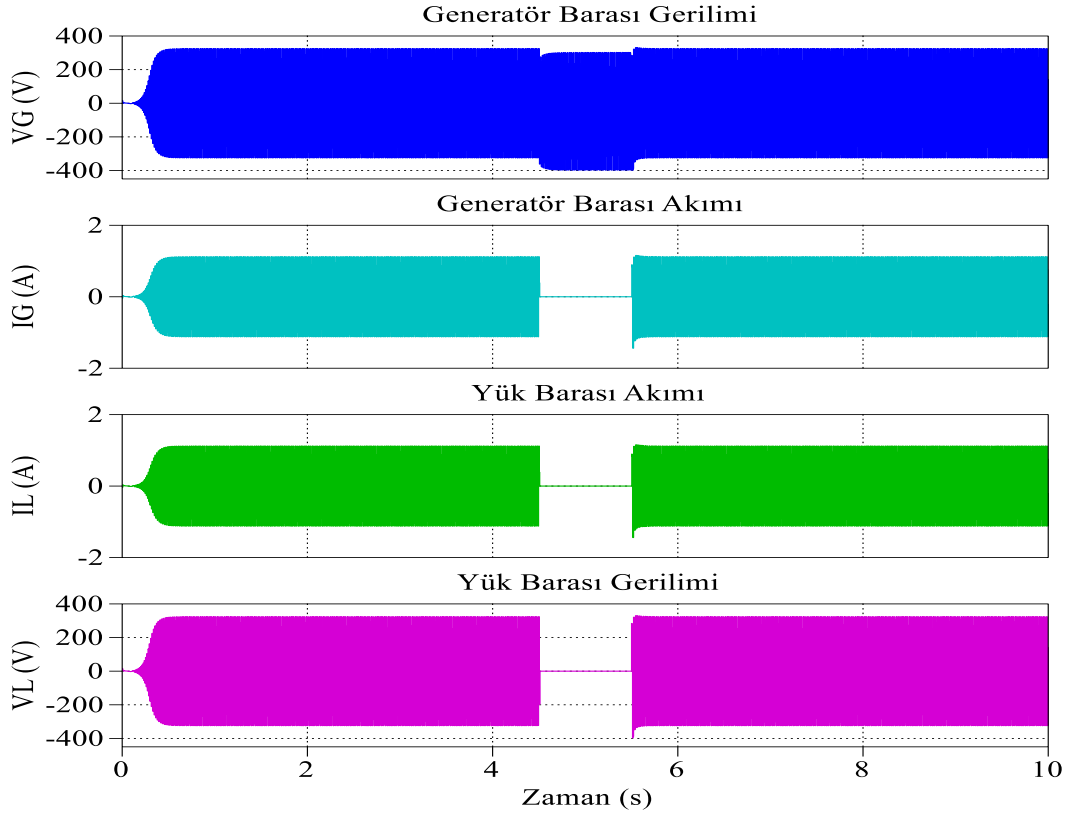
Parametre	Değer	Parametre	Değer
Asenkron generatör	C2		1,5 μ F
Nominal güç	370W	C3	1,5 μ F
Gerilim (faz-faz)	380V	İletim hattı parametreleri	
Frekans	50Hz	Rs	0,3 Ω
Rs(pu)	0,11328	Ls	2,78mH
Lls(pu)	0,05241	Yük parametreleri	
Rr'(pu)	0,0307	R	225 Ω
Llr'(pu)	0,05241	L	0,560H
Lm(pu)	0,5714	Üç çevrim denetleyici parametreleri	
[H(s) F(pu) p()]	[0,0180 0,0002 2]	K _p	0,05
Kondansatör parametreleri		K _i	0,8
Cs	18 μ F	K _d	0,002
Cp	38 μ F	Ke	10,35
C1	80 μ F	Gerilim çevrim katsayısı (γ_{VG})	1
		Akım çevrim katsayısı (γ_{IG})	0,5
		Güç çevrim katsayısı (K_G)	0,35



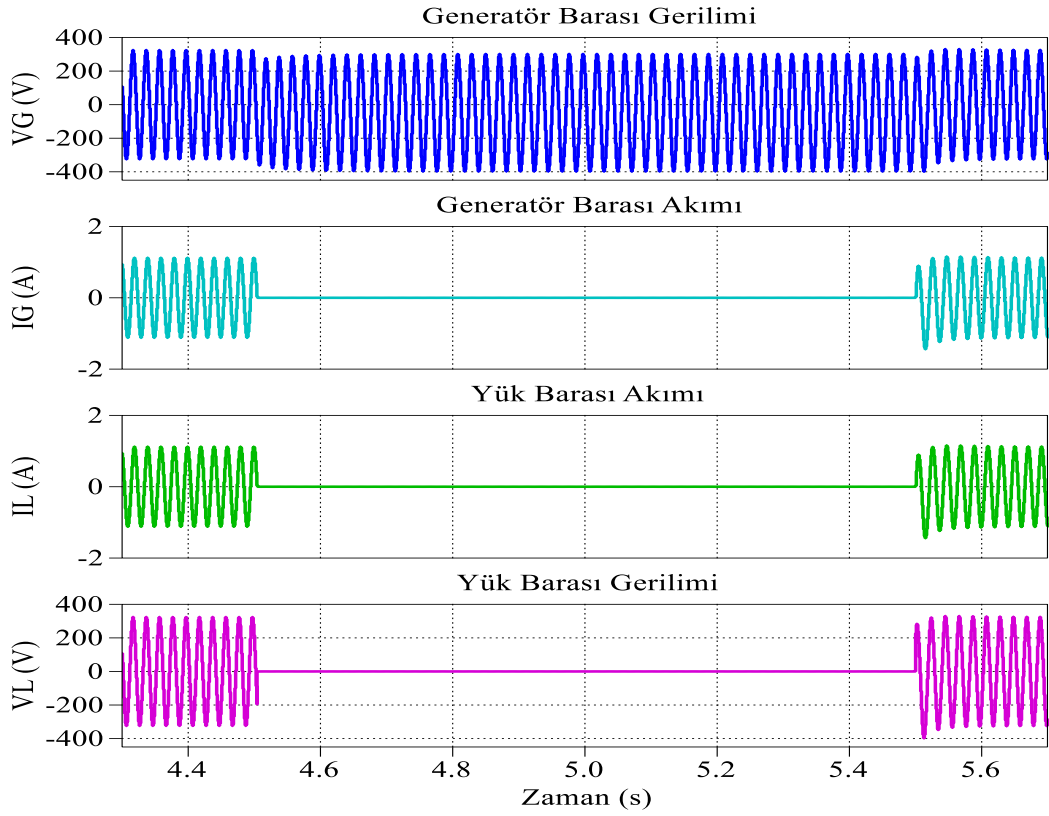
Şekil 7.48. Açık devre koşulu için sistem modeli



Şekil 7.49. Açık devre koşulu için benzetim modeli

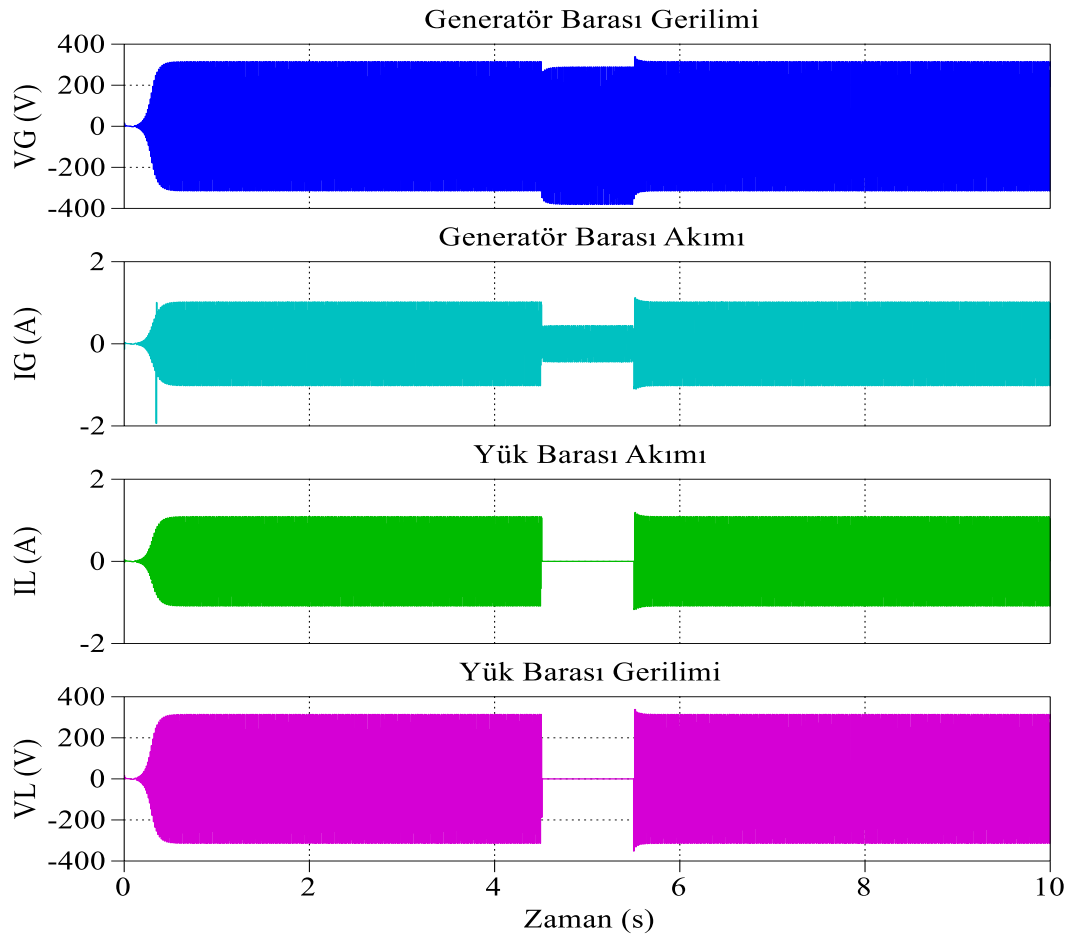


Şekil 7.50. Açık devre koşulu için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimleri (HGFD'siz)

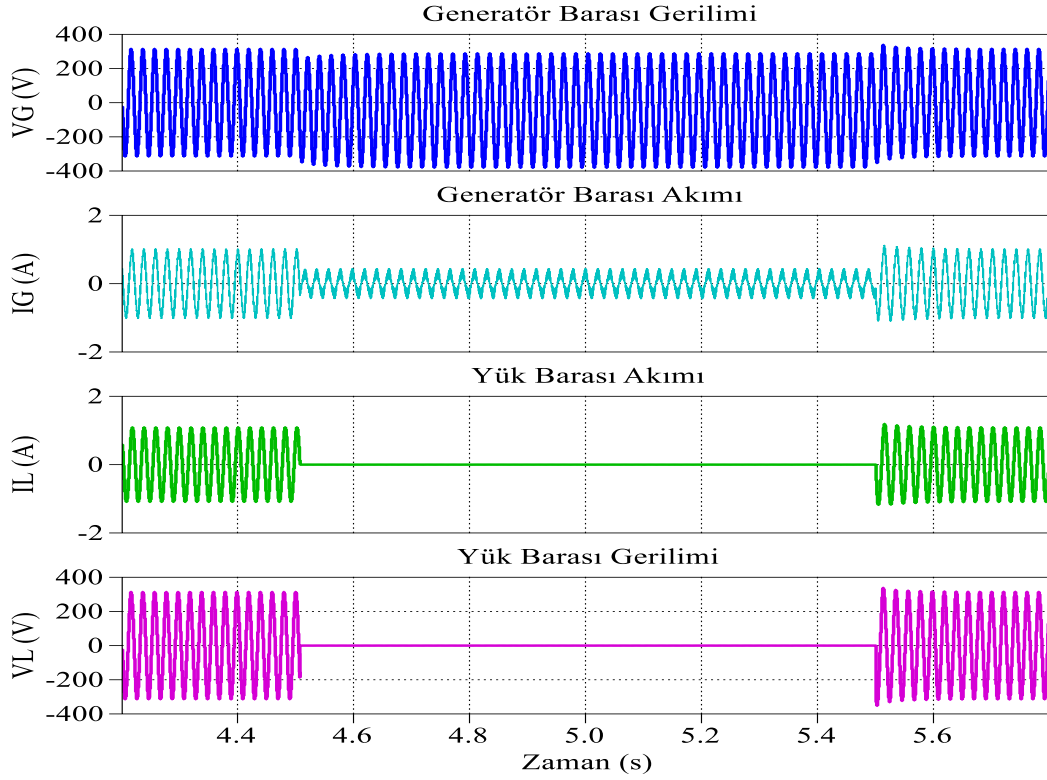


Şekil 7.51. Açık devre koşulu için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimlerinin yakınlaştırılmış hali (HGFD'siz)

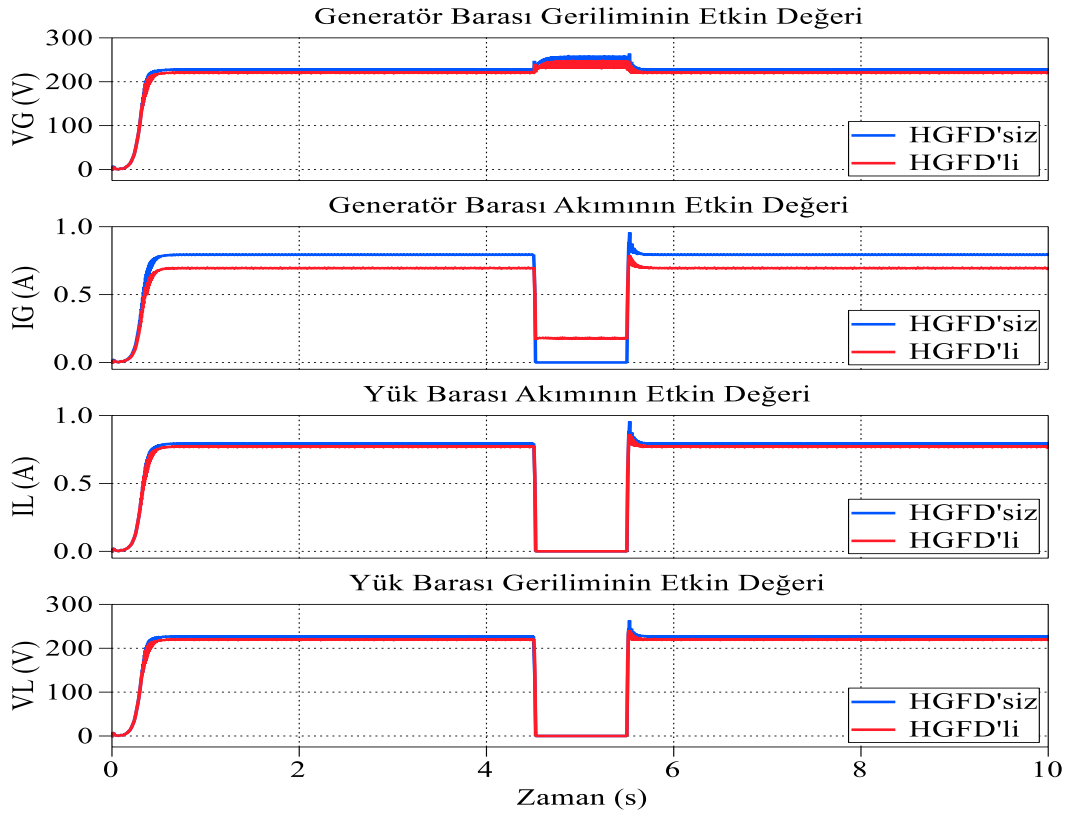
4,5 ve 5,5 saniyeleri arasında açık devre koşulu için benzetim çalışmasında, önerilen HGFD'li rüzgar güç üretim sisteminin generatör ve yük baralarından elde edilen sonuçlar Şekil 7.52'de, Şekil 7.53'te ise yakınlştırılmış halleri gösterilmektedir. Elde edilen benzetim sonuçlarına göre, hem HGFD'li hem de HGFD'siz sistemde generatör barasının geriliminde çok az düşme yaşanırken, HGFD'siz sistemde akım çekilmezken HGFD'li sistemde akım belli bir değerde çekilmeye devam etmektedir. Sabit rüzgar hızı koşulunda gerçekleştirilen benzetim çalışmasına göre, HGFD'siz sistemde istenilen gerilim değerinde generatör barası çalışmamaktadır. HGFD'li sistemde generatör barasının geriliminin değişen çalışma koşullarına göre 220V'ta sabit tutulmaya çalışıldığı Şekil 7.54'te gösterilmektedir. Generatör ve yük baralarının gerilim, akımlarının etkin değerlerinin değişiminin yakınlştırılmış sonuçları Şekil 7.55'de gösterilir.



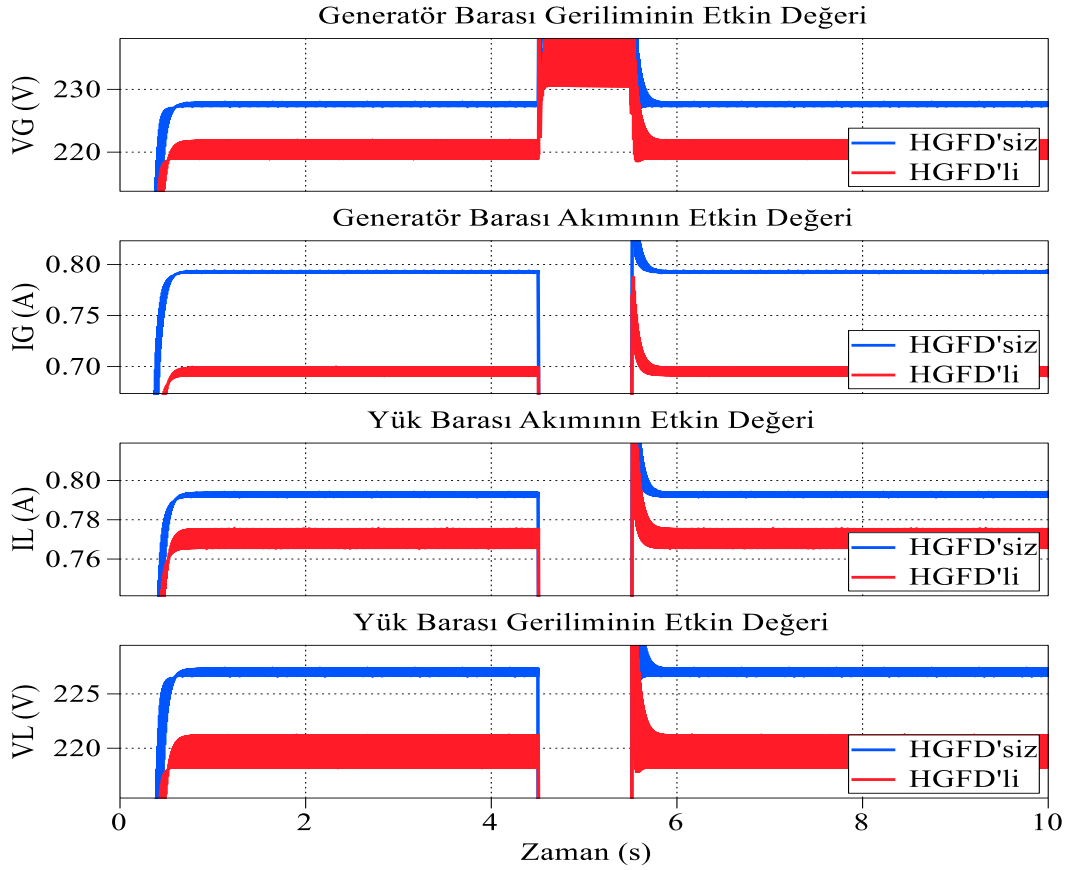
Şekil 7.52. Açık devre koşulu için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimleri (HGFD'li)



Şekil 7.53. Açık devre koşulu için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimlerinin yakınlaştırılmış hali (HGFD'li)

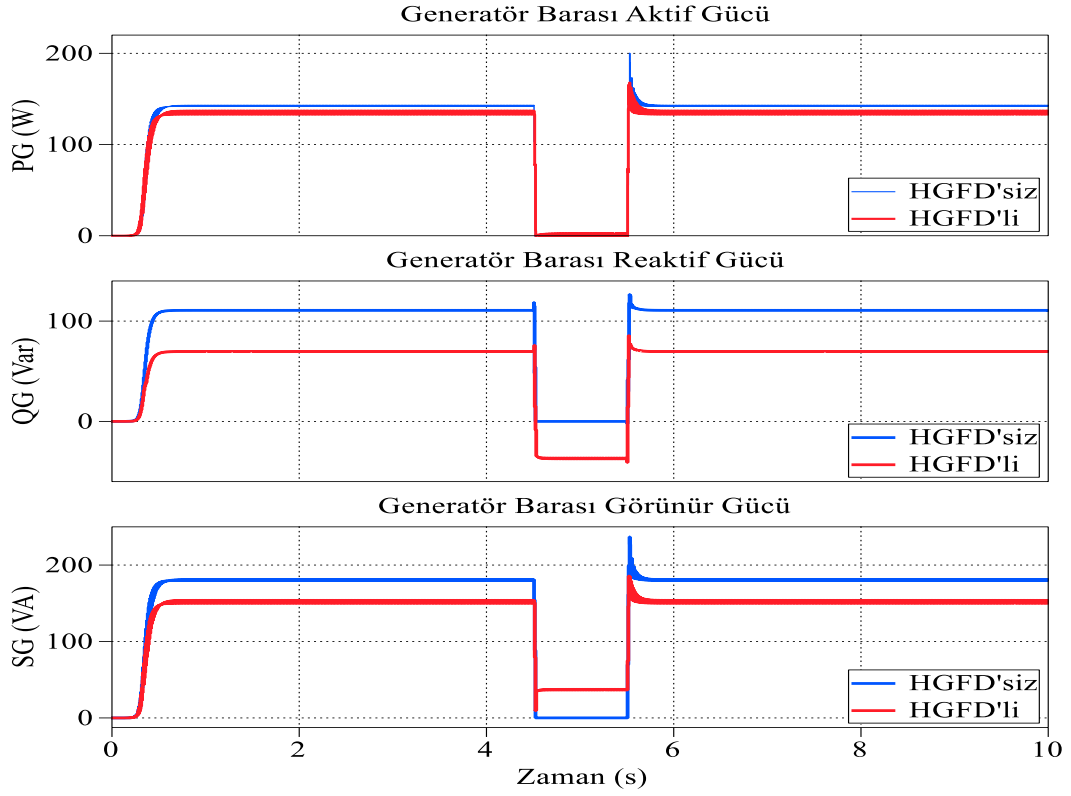


Şekil 7.54. Açık devre koşulu için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimlerinin etkin değerleri

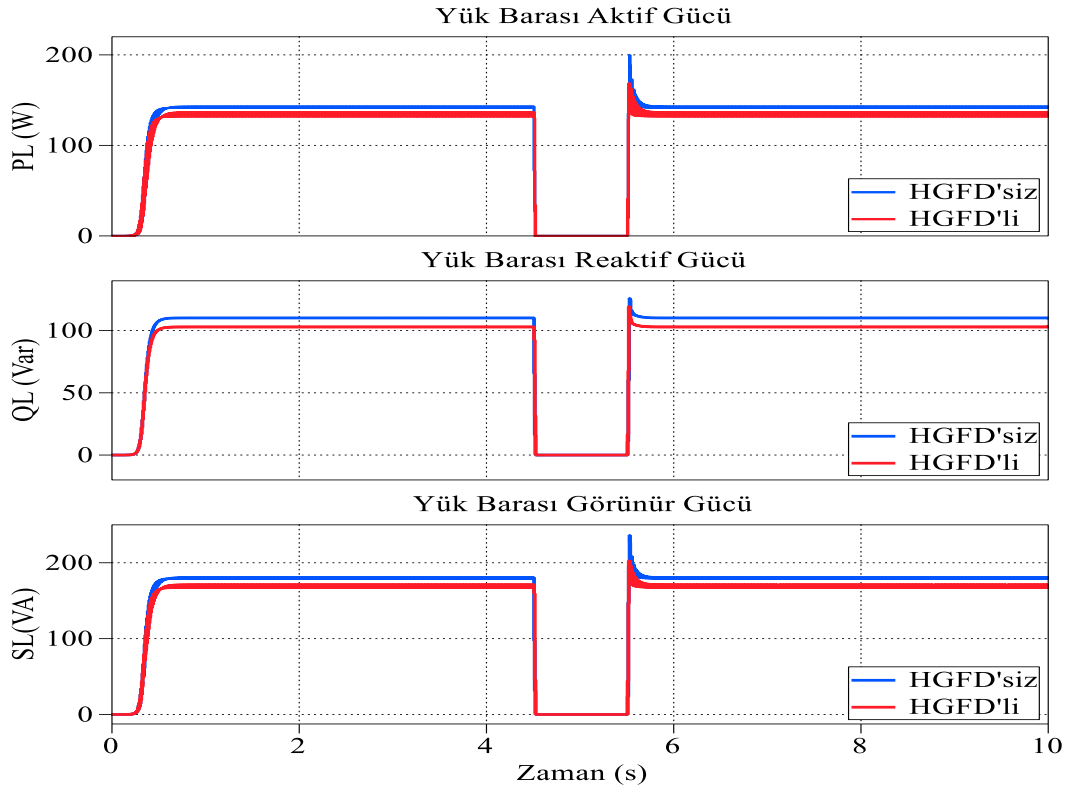


Şekil 7.55. Açık devre koşulu için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimlerinin etkin değerlerinin yakınlştırılmış hali

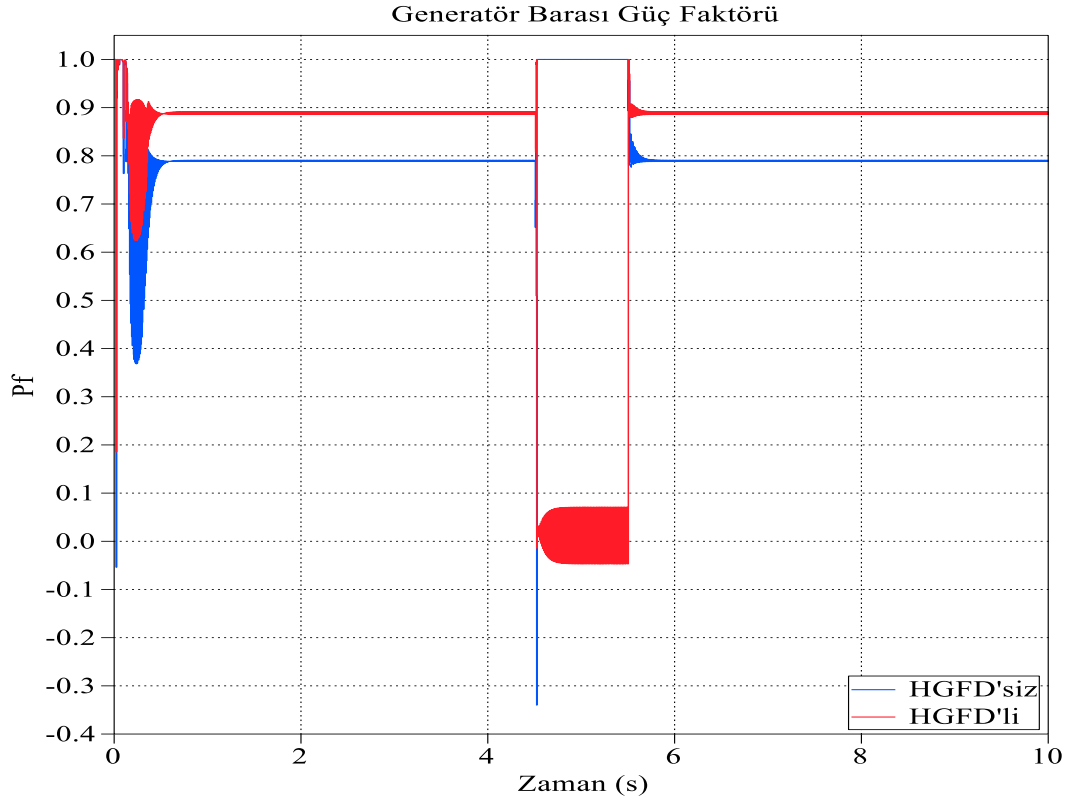
Açık devre koşulu için generatör barasının aktif, reaktif ve görünür güç değişimleri hem HGFD'siz hem de HGFD'li olarak Şekil 7.56'da görülmektedir. Rüzgar enerjisi üretim sisteminden üretilen güç, generatörün HGFD'siz sistemde istenilen referans geriliminde çalıştırılmadığından HGFD'li sisteme göre daha fazla reaktif güç ve aktif güç üretmektedir. HGFD'li sistemde generatör istenilen referans geriliminde çalıştırılırsa, generatör tarafından üretilecek reaktif gücün azalacağı, yükün istediği reaktif gücün bir kısmının HGFD'si tarafından karşılandığı ve güç faktörünün de iyileştirildiği görülür. Şekil 7.57'de yük barasının aktif, reaktif ve görünür güç değişimleri, hem HGFD'siz hem de HGFD'li generatör barasına ait güç faktörünün değişimi Şekil 7.58'de gösterilir. Açık devre benzetim çalışması için üç çevrimli hata toplayıcı algoritmasına ait hataların değişimleri Şekil 7.59'da, generatör barasının güç-gerilim-akım parametrelerindeki değişimlerin üç boyutlu grafikte gösterimi Şekil 7.60'da görülmektedir.



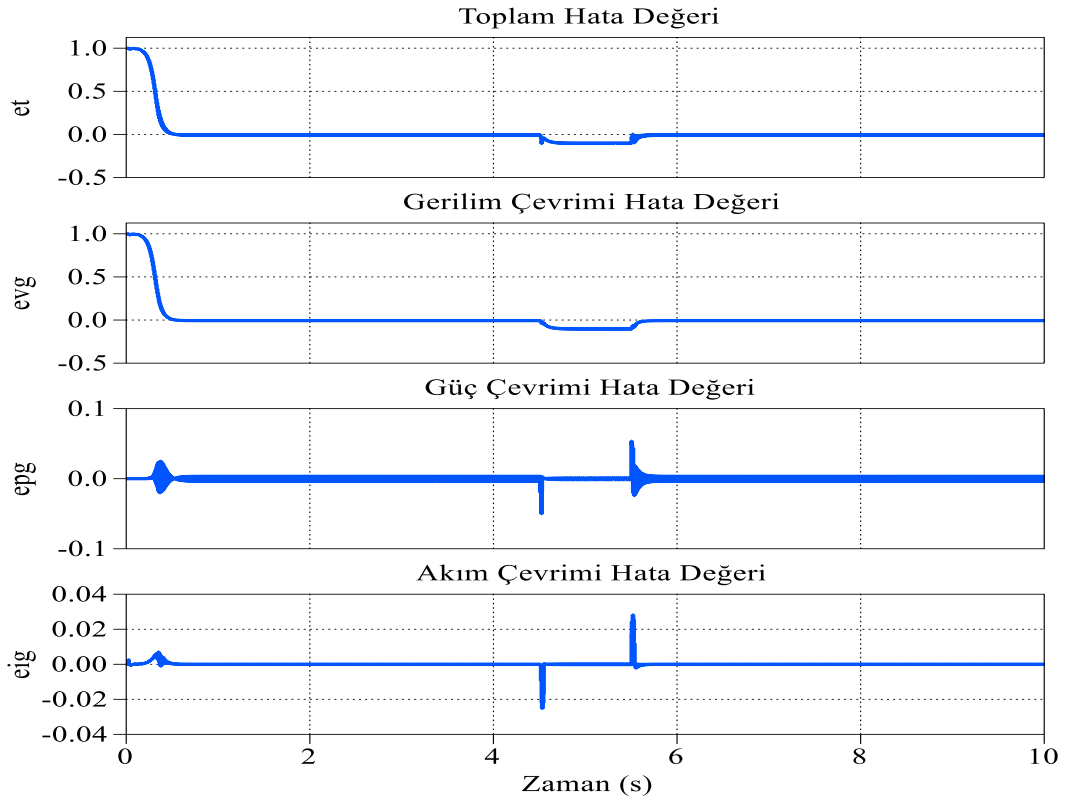
Şekil 7.56. Açık devre koşulu için generatör barası aktif, reaktif ve görünür güç değişimleri



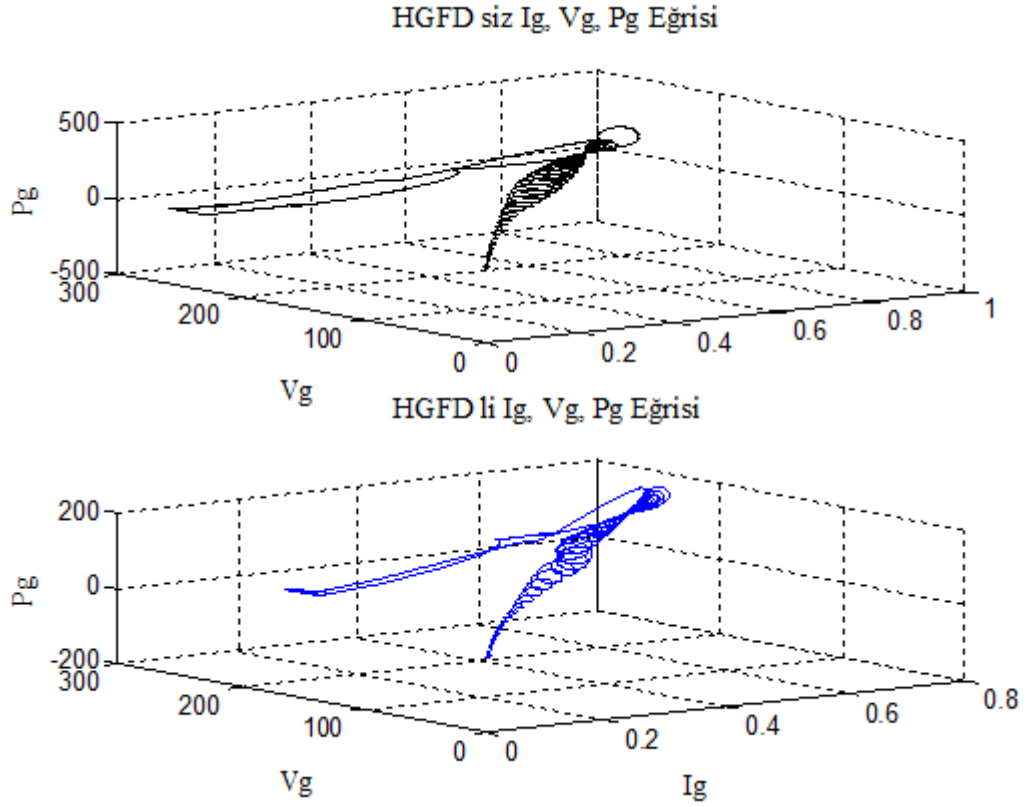
Şekil 7.57. Açık devre koşulu için yük barasının aktif, reaktif ve görünür güç değişimleri



Şekil 7.58. Açık devre koşulu için generatör barası güç faktörü değişimi

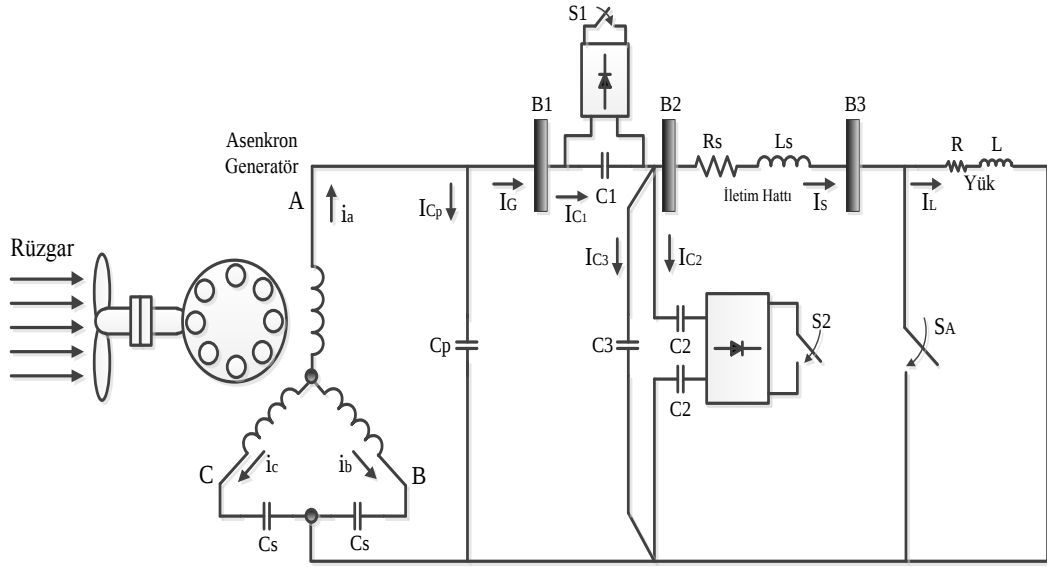


Şekil 7.59. Açık devre koşulu için üç çevrim evg, epğ, eig hataları ve toplam hata değişimi

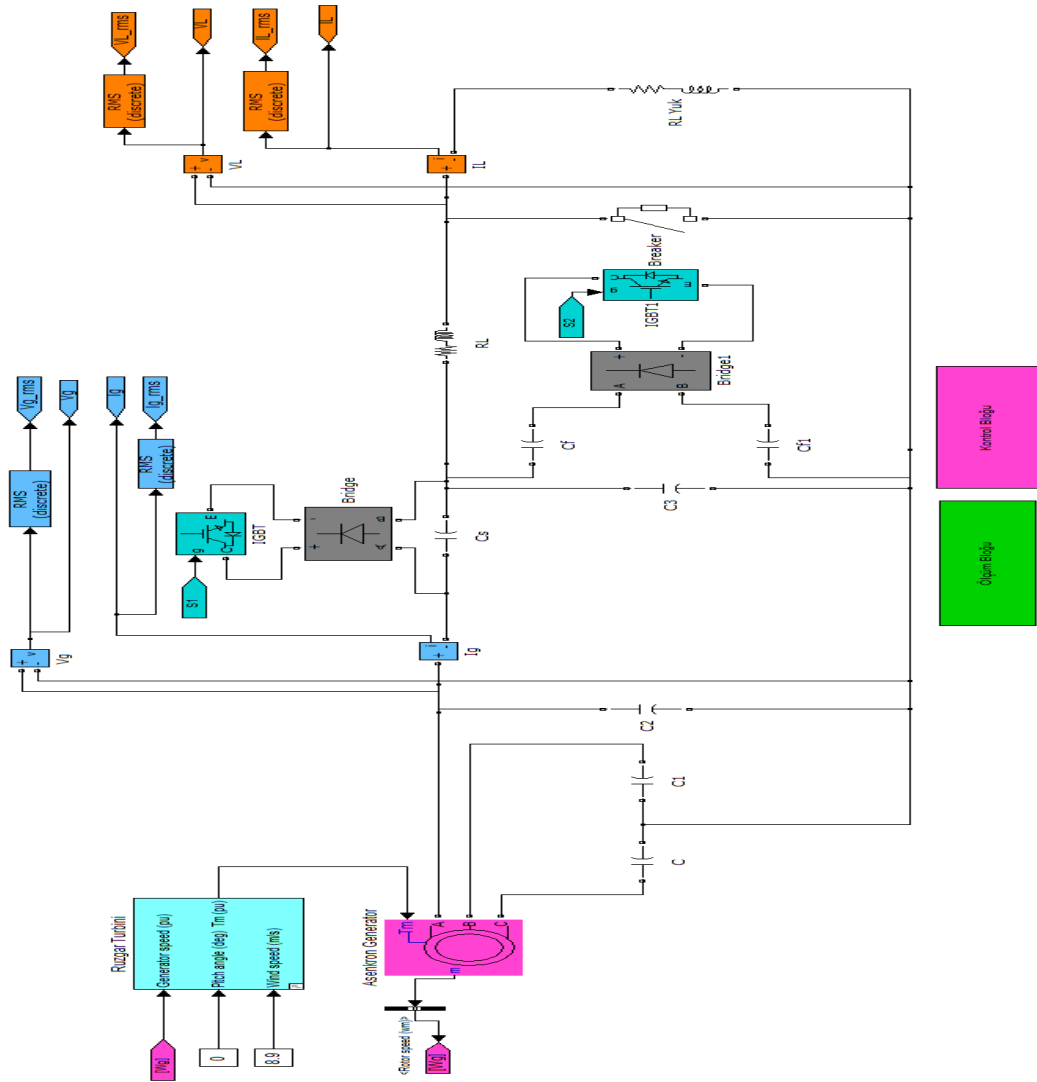


Şekil 7.60. Açık devre koşulu için generatör barasının güç-gerilim-akım değerlerindeki değişimin üç boyutlu gösterimi

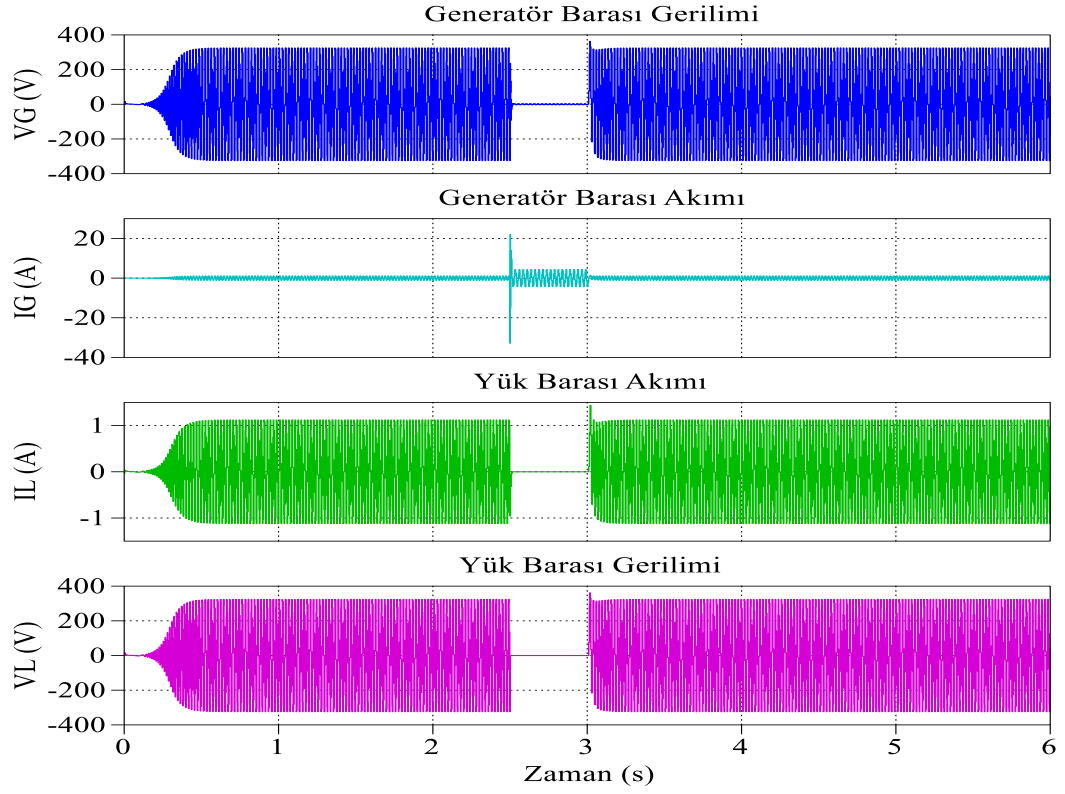
Benzetim çalışmalarında ikinci olarak, kısa devre koşulu için benzetim modeli oluşturulmuştur. Şekil 7.61’de rüzgar güç üretim sisteminin kısa devre modeline ait blok diyagramı, benzetim modeli ise Şekil 7.62’de gösterilir. Şekil 7.61’te görülen SA anahtarı ilk konumda açık olup benzetim çalışması başladıktan belli bir süre sonra sinyal gönderilerek kapalı konuma getirilir. Bu konumda belli bir süre bekletildikten sonra açık konuma getirilerek yükün beslenmesine devam edilir. Benzetim çalışmaları öncelikle HGFD’si kullanılmadan gerçekleştirilmiş olup, Şekil 7.63’de 2,5 ve 3 saniyeleri arasında açık devre koşulu için HGFD’siz generatör ve yük barasına ait gerilim ve akım değişimlerinin benzetim sonuçları, Şekil 7.64’da ise yakınlştırılmış hali gösterilmektedir.



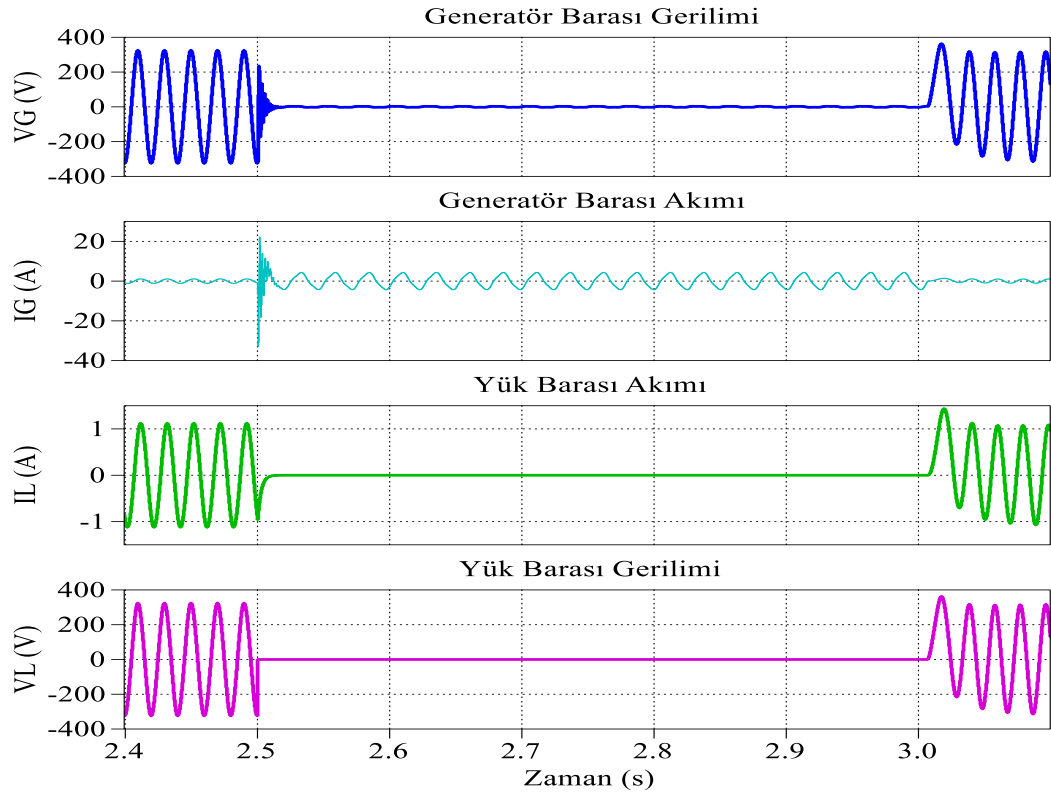
Şekil 7.61. Kısa devre koşulu için sistem modeli



Şekil 7.62. Kısa devre koşulu için benzetim modeli

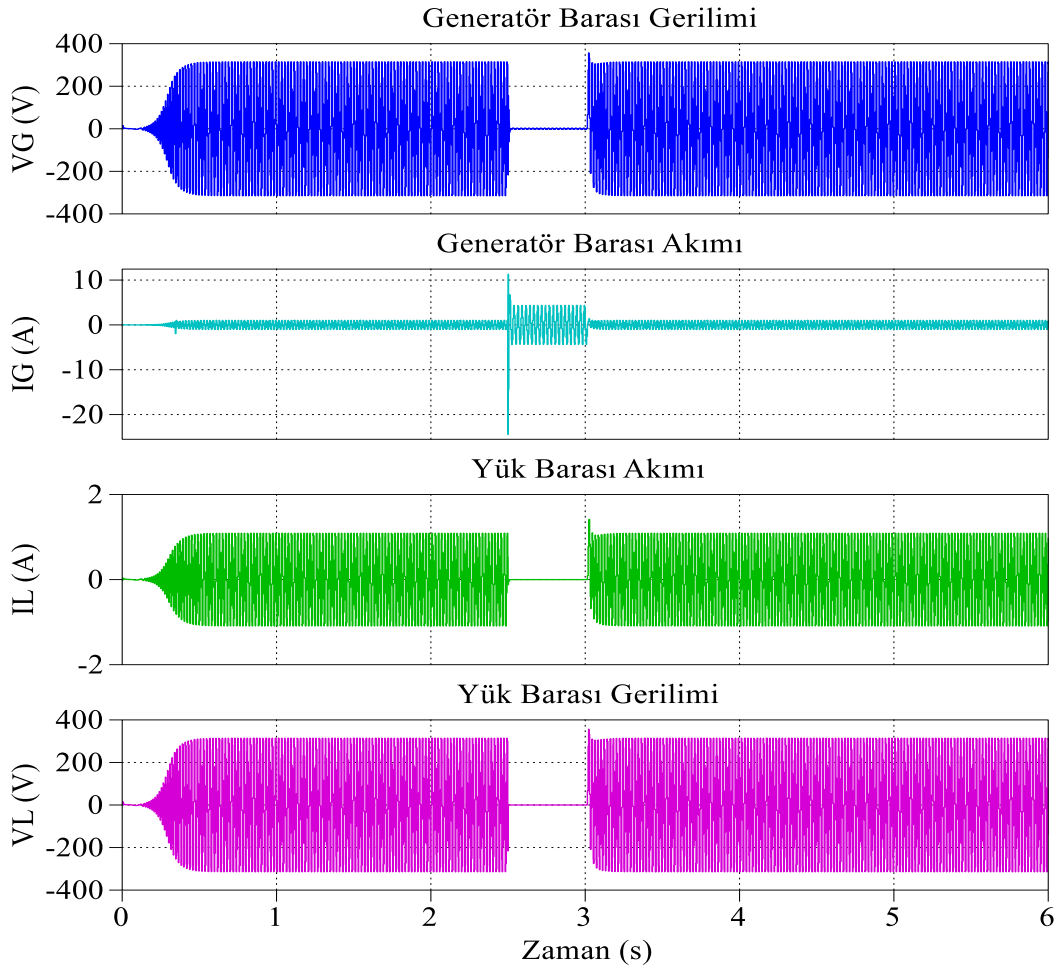


Şekil 7.63. Kısa devre koşulu için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimleri (HGFD'siz)

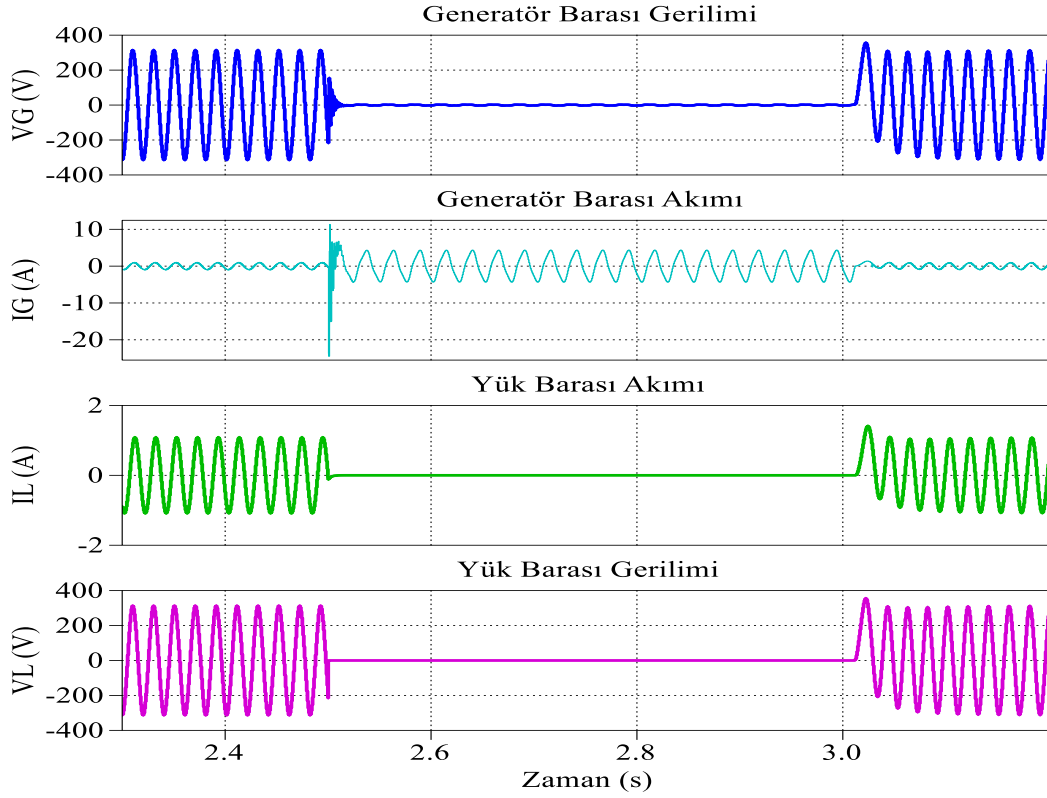


Şekil 7.64. Kısa devre koşulu için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimlerinin yakınlaştırılmış hali (HGFD'siz)

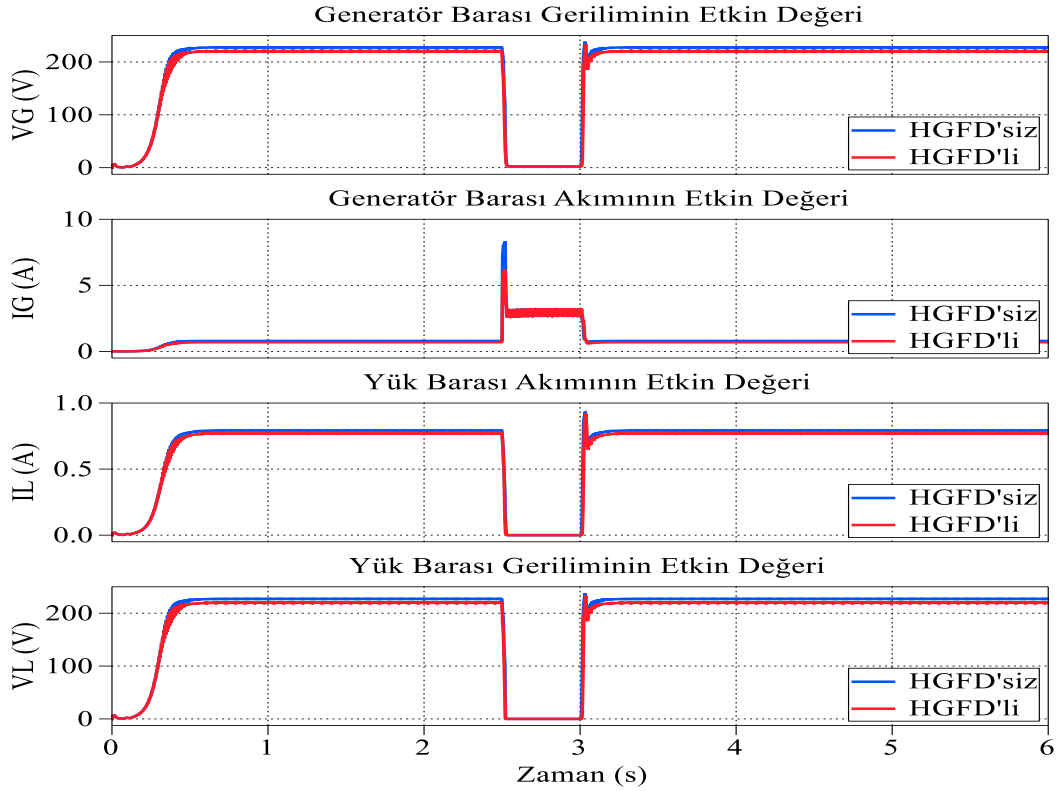
2,5 ve 3 saniyeleri arasında kısa devre koşulu için benzetim çalışmasında, önerilen HGFD'li rüzgar güç üretim sisteminin generatör ve yük baralarından elde edilen sonuçlar Şekil 7.65'te, Şekil 7.66'da ise yakınlaştırılmış halleri gösterilmektedir. Elde edilen benzetim sonuçlarına göre, hem HGFD'li hem de HGFD'siz sistemde generatör barası ve yük baralarındaki gerilimler sıfır değerini alırken, HGFD'siz sistemdeki generatör akımının kısa devre anında maksimum değeri yaklaşık 35A'e kadar ulaşmaktadır. HGFD'li sistemde ise generatör akımının maksimum değeri yaklaşık olarak 22A'e ulaşmaktadır. Generatör barası sabit rüzgar hızı ve değişen çalışma koşullarında HGFD'siz sistemde istenilen gerilim değerinde çalışmamakta olup, HGFD'li sistemde generatör barası gerilimi 220V'ta sabit tutulmaya çalışılır. Bu durum, Şekil 7.67'de Generatör ve yük baralarının gerilim, akımlarının etkin değerlerinin değişiminin yakınlaştırılmış sonuçları Şekil 7.68'de gösterilir.



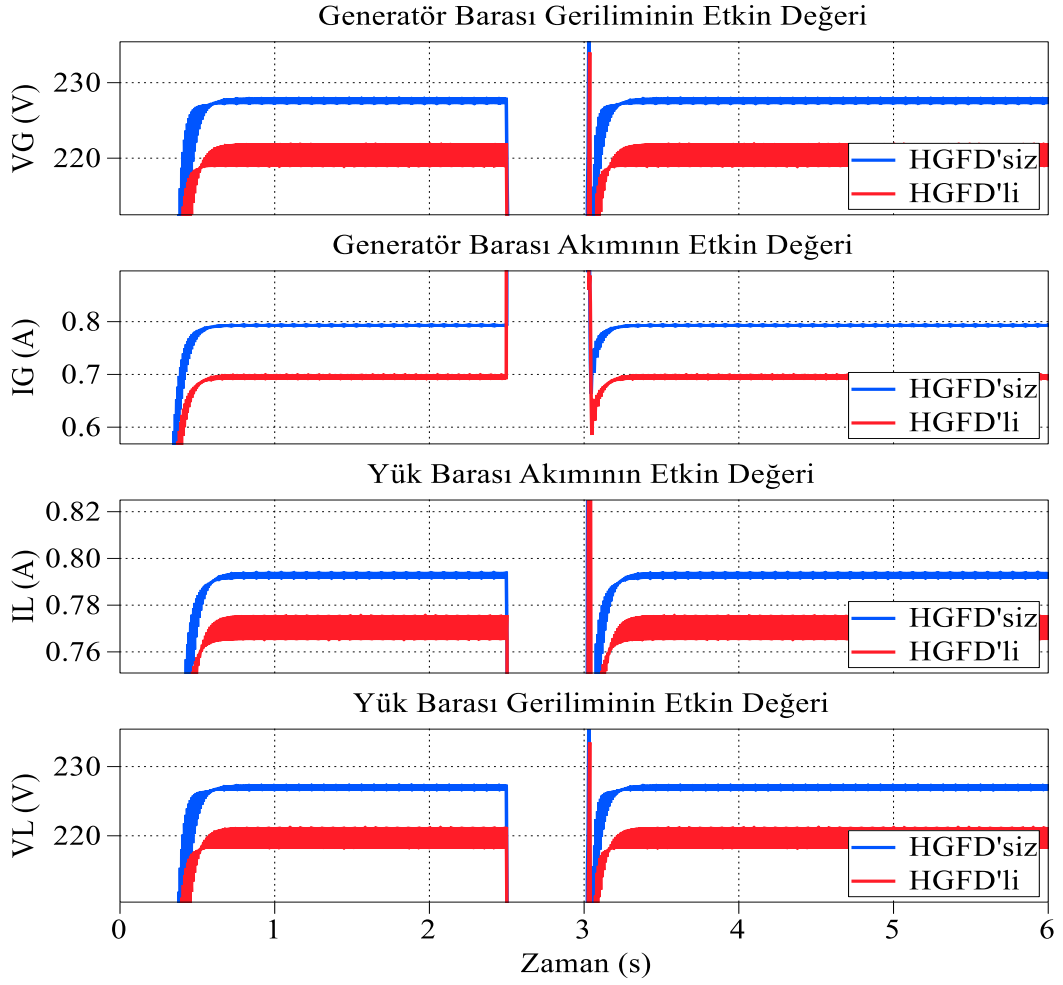
Şekil 7.65. Kısa devre koşulu için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimleri (HGFD'li)



Şekil 7.66. Kısa devre koşulu için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimlerinin yakınlştırılmış hali (HGFD'li)

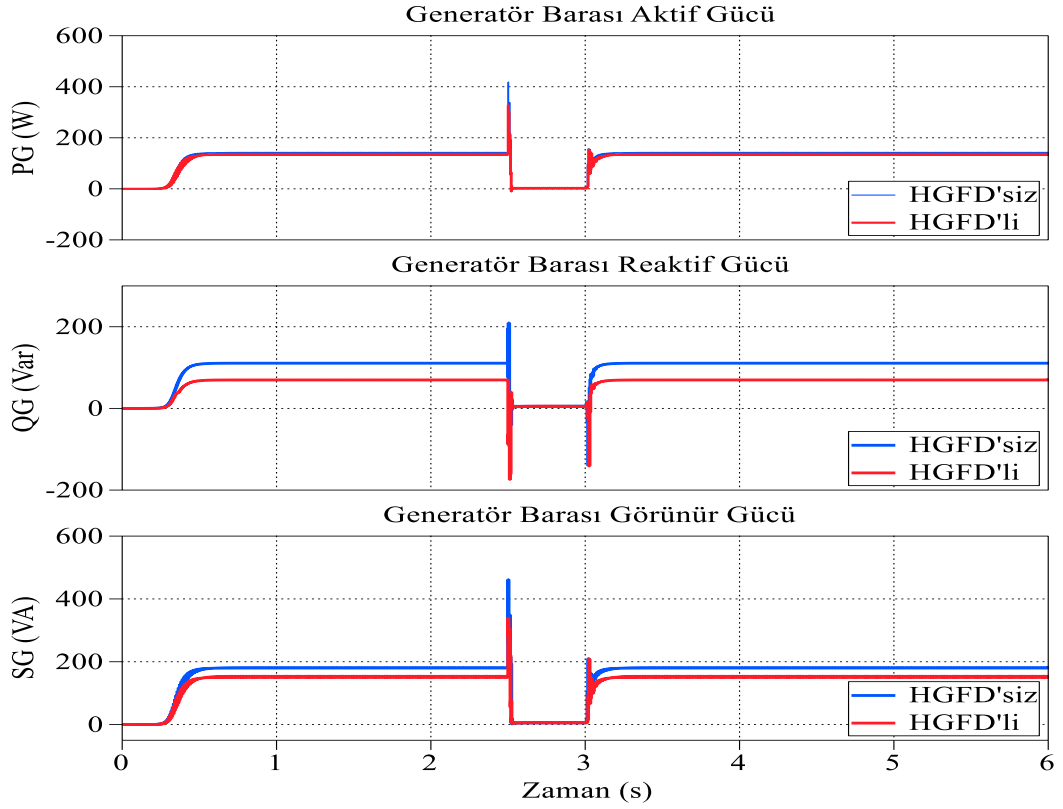


Şekil 7.67. Kısa devre koşulu için generatör ve yük barası gerilim ve akım değişimlerinin etkin değerleri

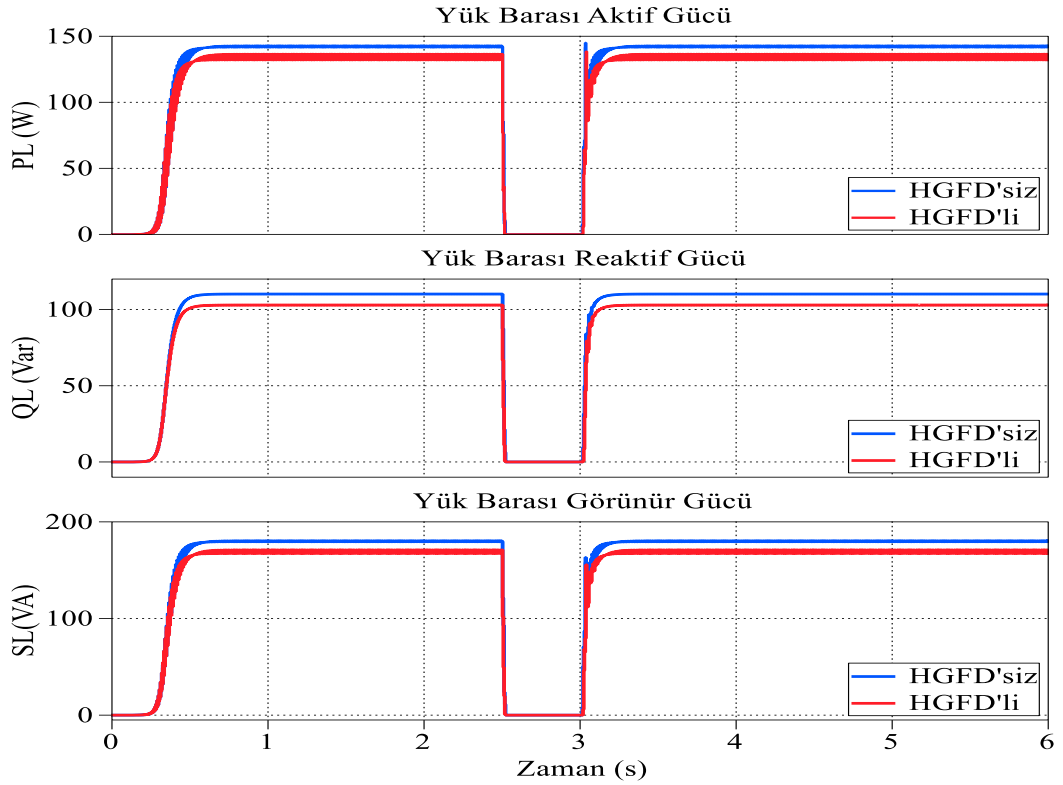


Şekil 7.68. Kısa devre koşulu için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimlerinin etkin değerlerinin yaklaşılmış halleri

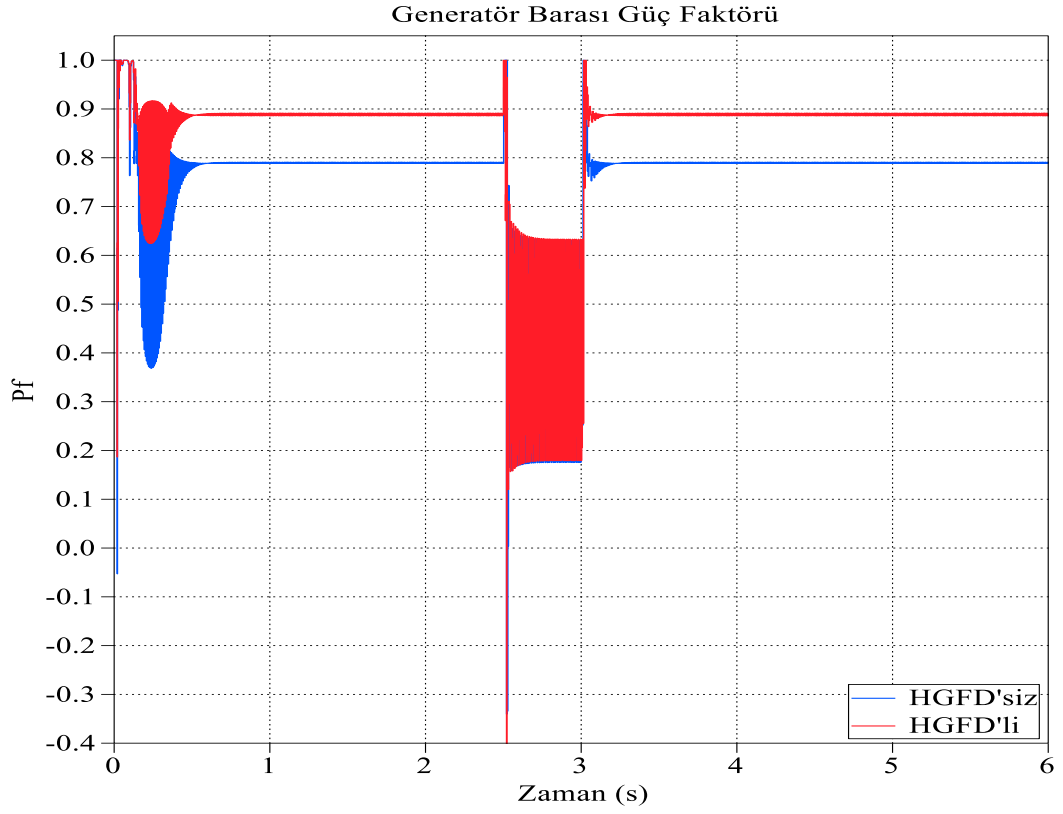
Kısa devre koşulu için generatör barasının aktif, reaktif ve görünür güç değişimleri hem HGFD'siz hem de HGFD'li olarak Şekil 7.69'da görülmektedir. HGFD'siz sistemde generatör, istenilen referans geriliminde çalıştırılmadığından HGFD'li sisteme göre daha fazla aktif ve reaktif güç üretmektedir. HGFD'li sistemde istenilen referans geriliminde generatör çalıştırılırsa, generatör tarafından üretilecek reaktif gücün azalacağı, yükün istediği reaktif gücün bir kısmının HGFD'si tarafından karşılandığı ve güç faktörünün de iyileştirildiği görülür. Şekil 7.70'de yük barasının aktif, reaktif ve görünür güç değişimleri, hem HGFD'siz hem de HGFD'li generatör barasına ait güç faktörünün değişimi Şekil 7.71'de gösterilir. Kısa devre benzetim çalışması için üç çevrimli hata toplayıcı algoritmasına ait hataların değişimleri Şekil 7.72'de, generatör barasının güç-gerilim-akım parametrelerindeki değişimlerin üç boyutlu grafikte gösterimi Şekil 7.73'de görülmektedir.



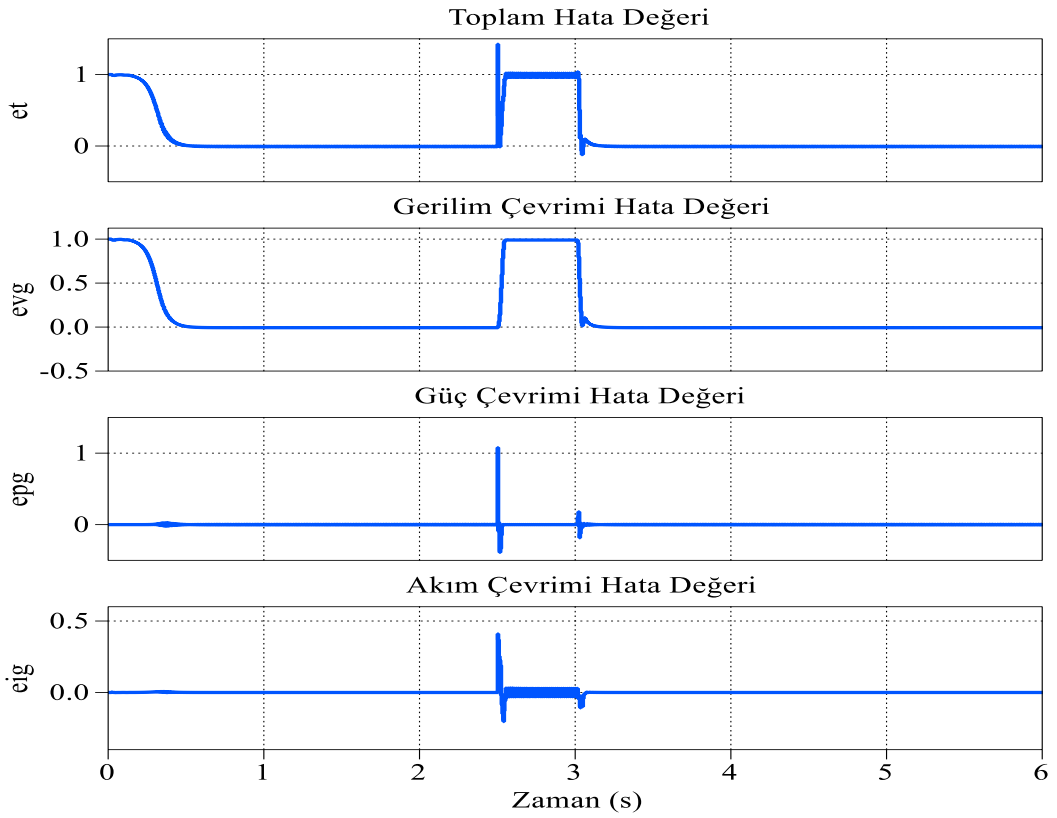
Şekil 7.69. Kısa devre koşulu için generatör barası aktif, reaktif ve görünür güç değişimleri



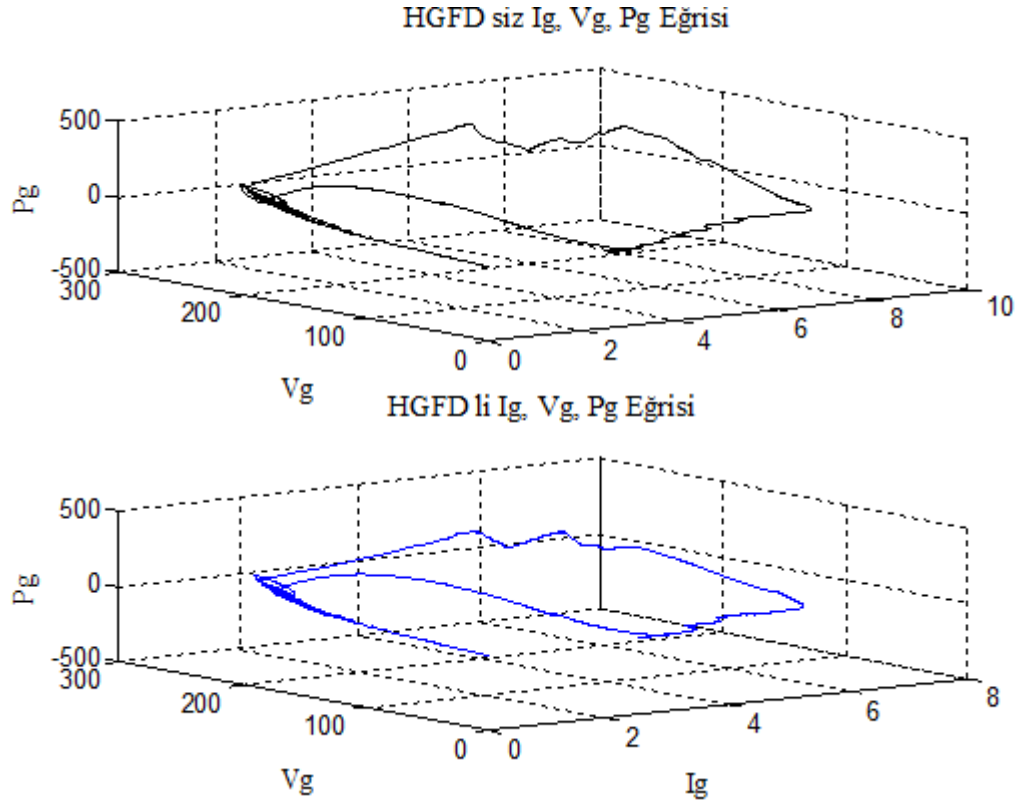
Şekil 7.70. Kısa devre koşulu için yük barası aktif, reaktif ve görünür güç değişimleri



Şekil 7.71. Kısa devre koşulu için generatör barası güç faktörü değişimi

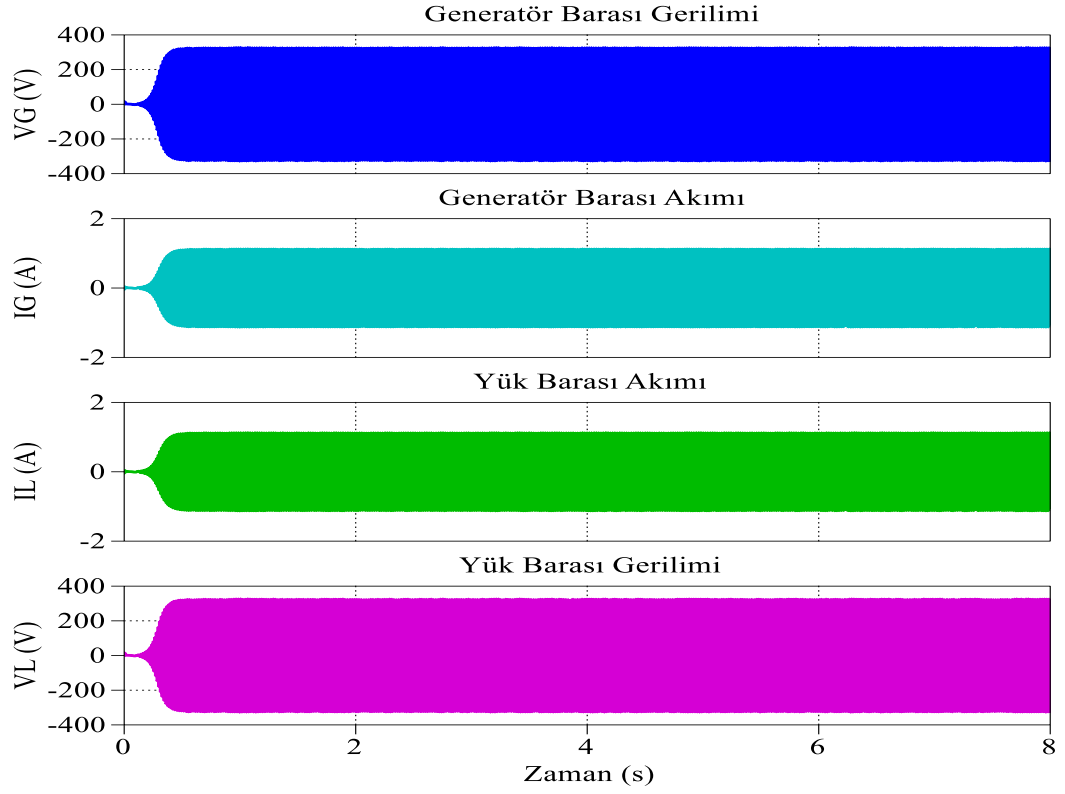


Şekil 7.72. Kısa devre koşulu için üç çevrim evg, epg, eig hataları ve toplam hata değişimi

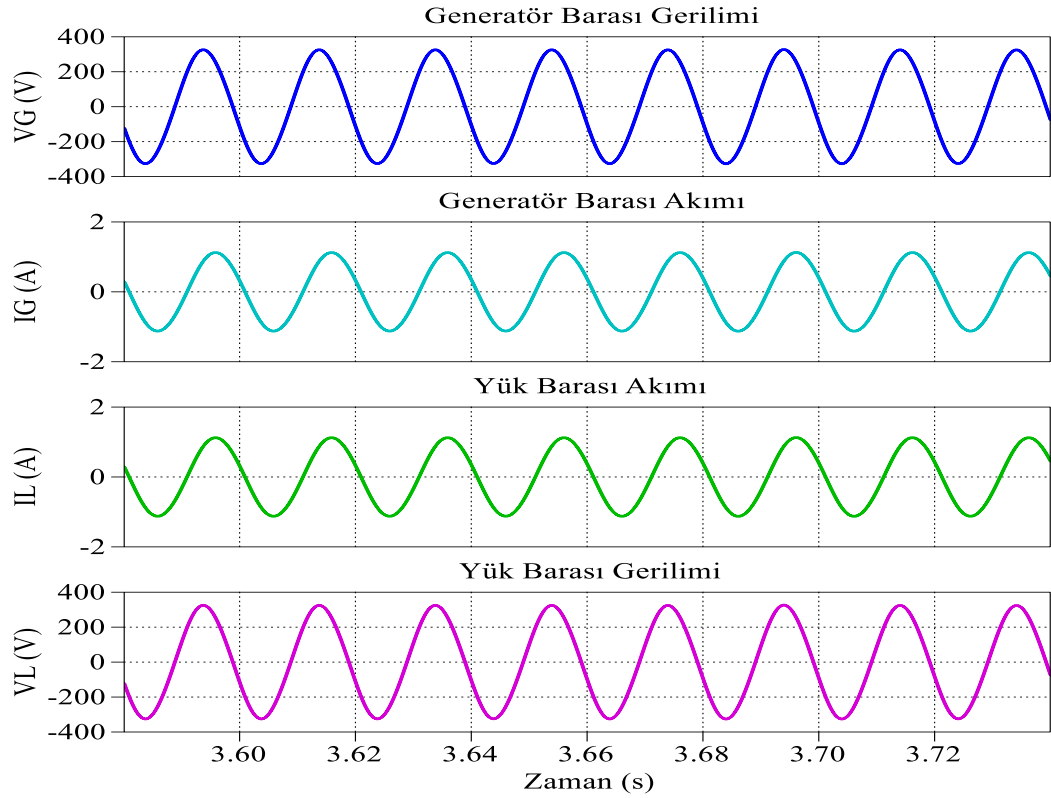


Şekil 7.73. Kısa devre koşulu için generatör barasının güç-gerilim-akım değerlerindeki değişimin üç boyutlu gösterimi

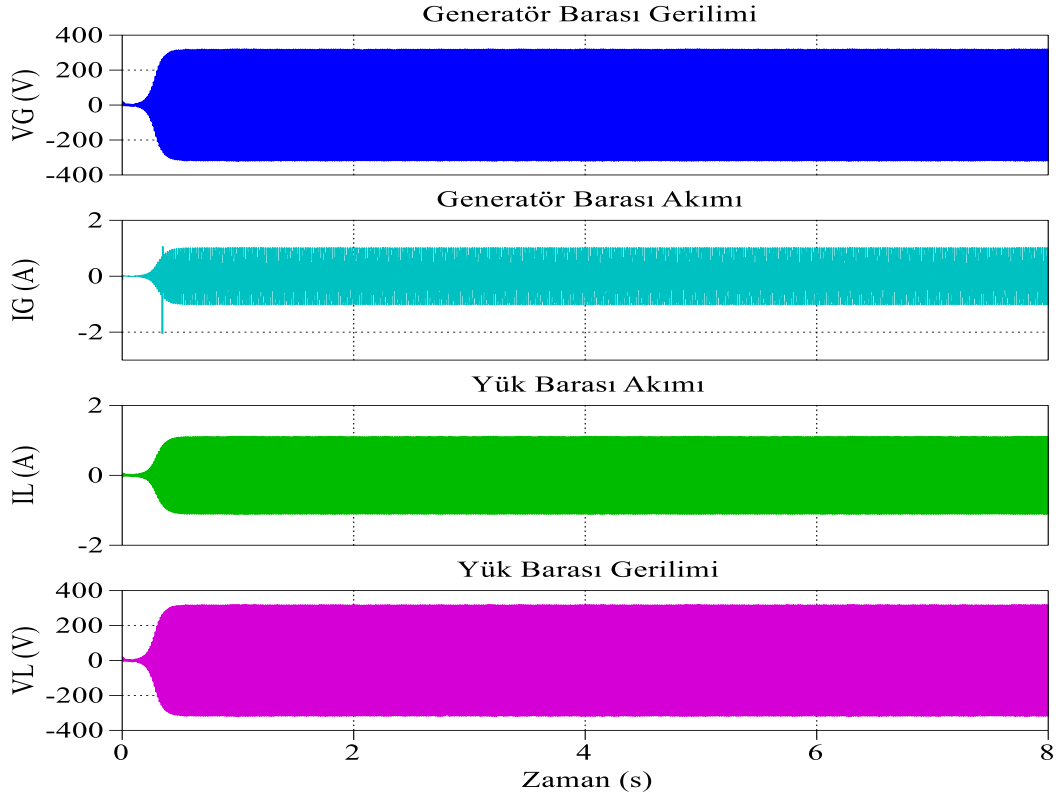
Benzetim çalışmalarının sonuncusunda, değişken rüzgar hızı koşulu için Şekil 7.74'te gösterilen benzetim modeli oluşturulmuştur. Şekil 7.75'te 8sn'lik benzetim zamanı boyunca rüzgar hızının 9m/sn 8,80m/sn aralığında rasgele değiştiği varsayılmıştır. Rüzgar hızının sürekli değiştiği HGFD'siz benzetim çalışmasında generatör ve yük barasına ait gerilim, akım değişimleri Şekil 7.76'da, yakınlştırılmış grafikleri Şekil 7.77'de gösterilmektedir. HGFD'li benzetim çalışmasına göre generatör ve yük barasına ait gerilim, akım değişimleri Şekil 7.78 ve Şekil 7.79'da gösterilmektedir. Şekil 7.80 ve Şekil 7.81'de generatör ve yük barasının gerilim, akımlarının etkin değerlerindeki değişim gösterilir.



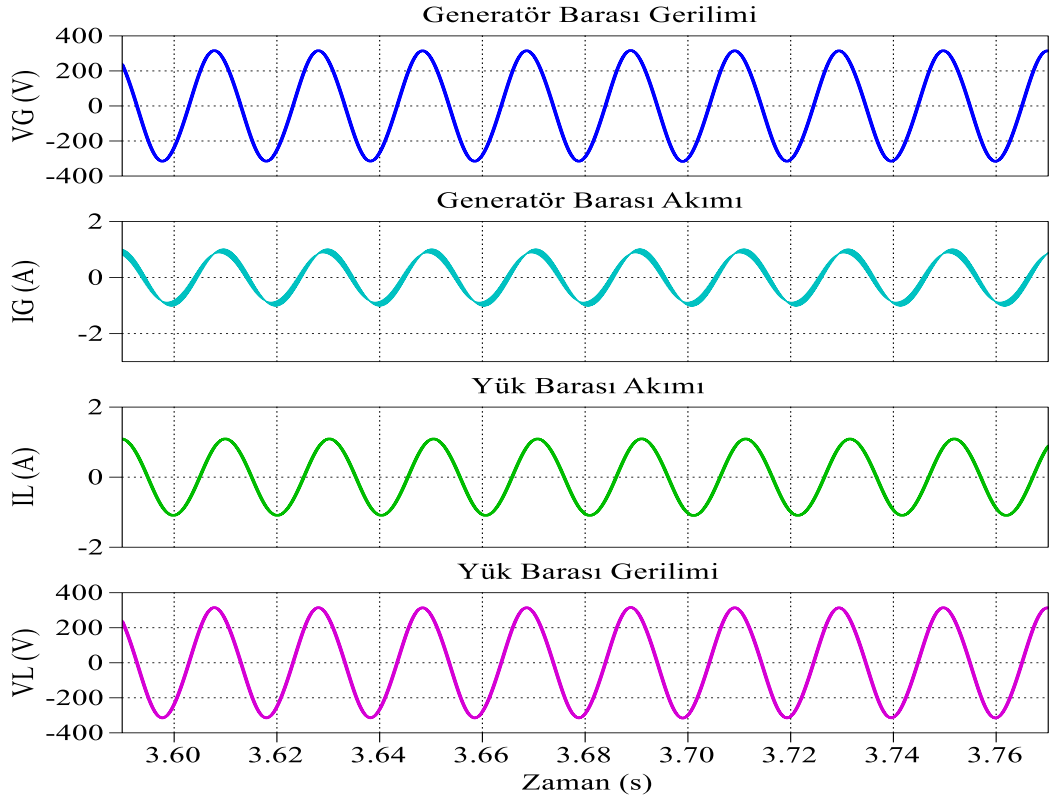
Şekil 7.76. Değişken rüzgar hızı için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimleri (HGFD'siz)



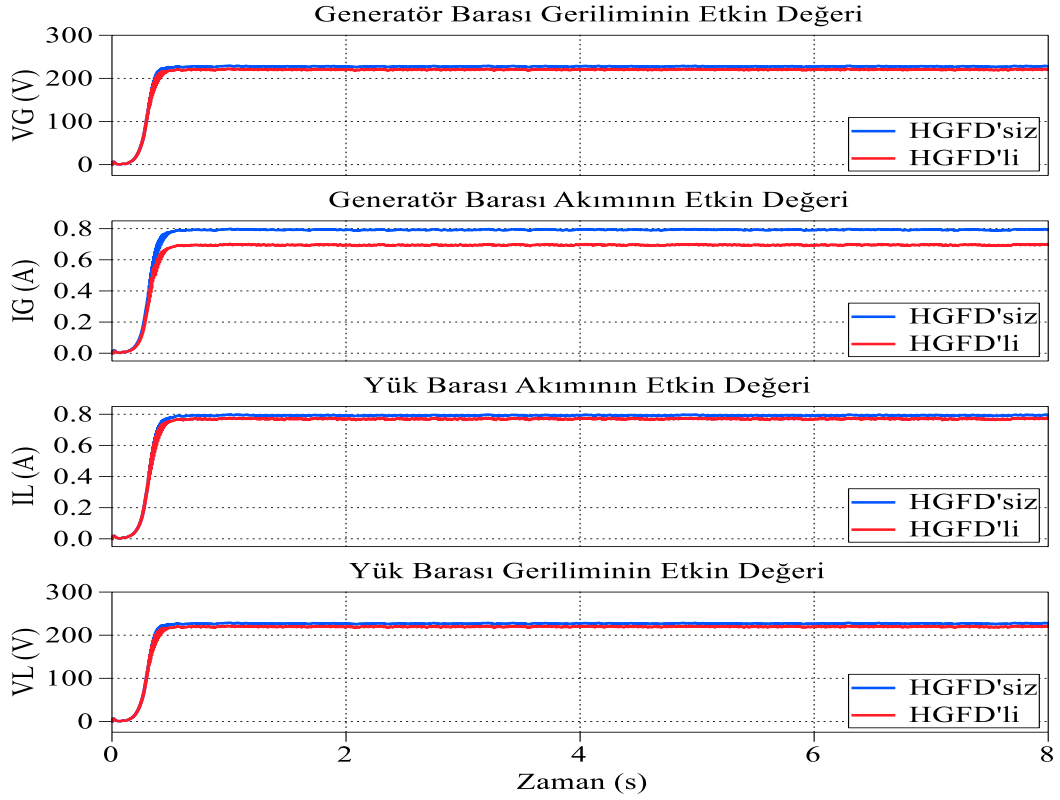
Şekil 7.77. Değişken rüzgar hızı için generatör ve yük barası, gerilim, akımlarının değişimlerinin yakınlaştırılmış halleri (HGFD'siz)



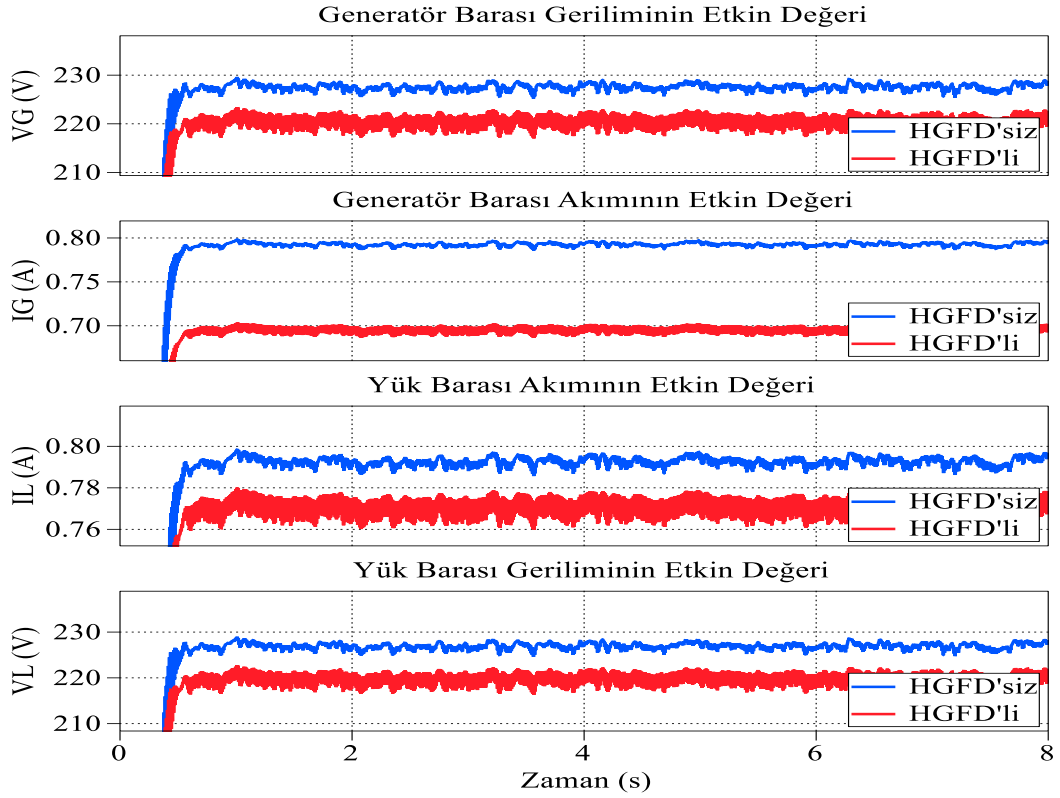
Şekil 7.78. Değişken rüzgar hızı için generatör ve yük barası gerilim, akımlarının değişimleri (HGFD'li)



Şekil 7.79. Değişken rüzgar hızı için generatör ve yük barasının gerilim, akım değişimlerinin yakınlaştırılmış hali (HGFD'li)

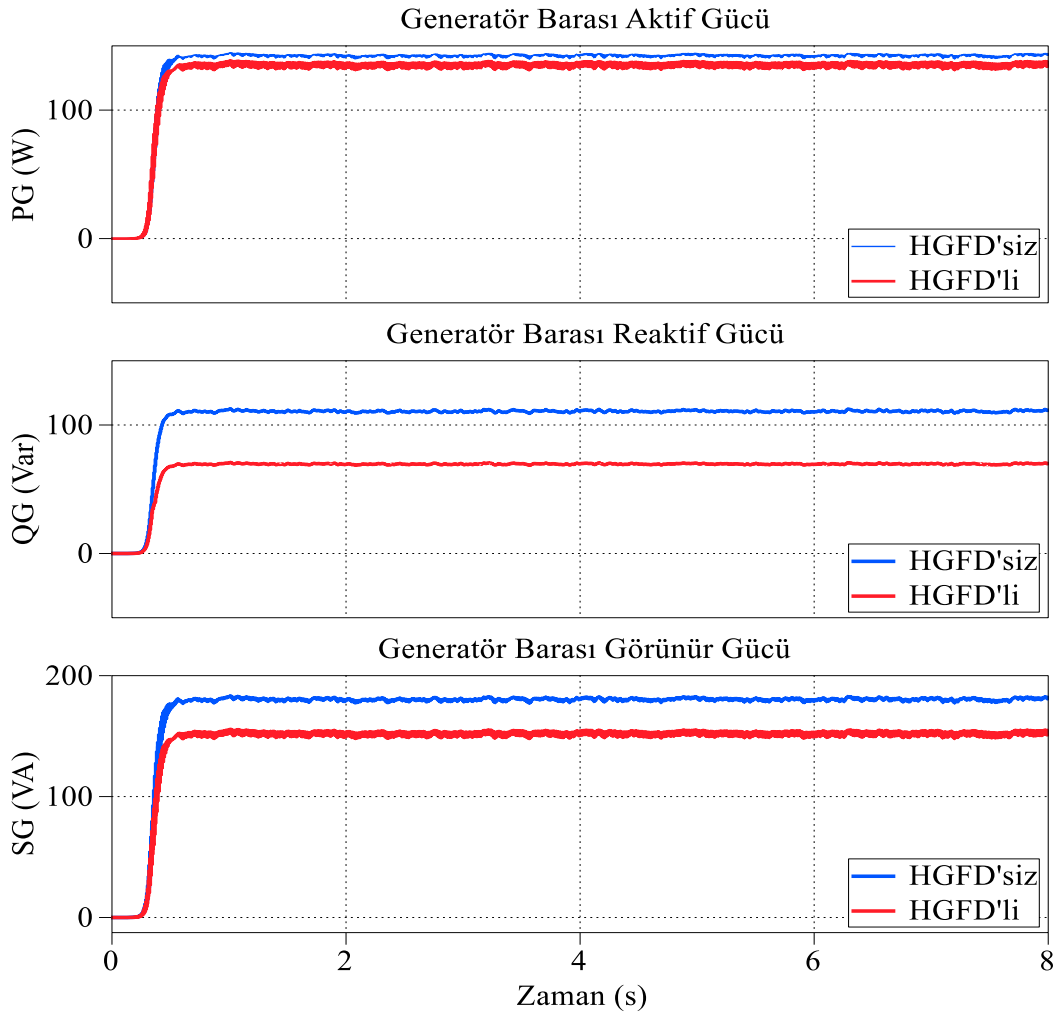


Şekil 7.80. Değişken rüzgar hızı için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimlerinin etkin değerleri

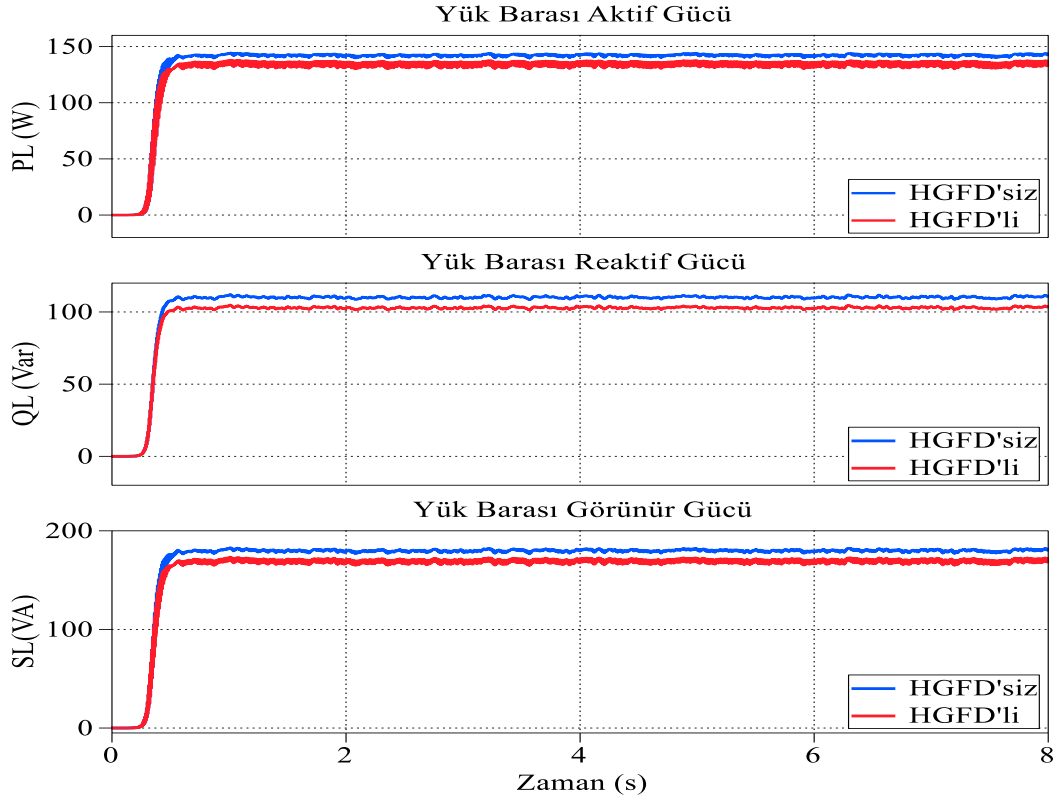


Şekil 7.81. Değişken rüzgar hızı için generatör ve yük barası gerilim, akım değişimlerinin etkin değerlerinin yakınlştırılmış hali

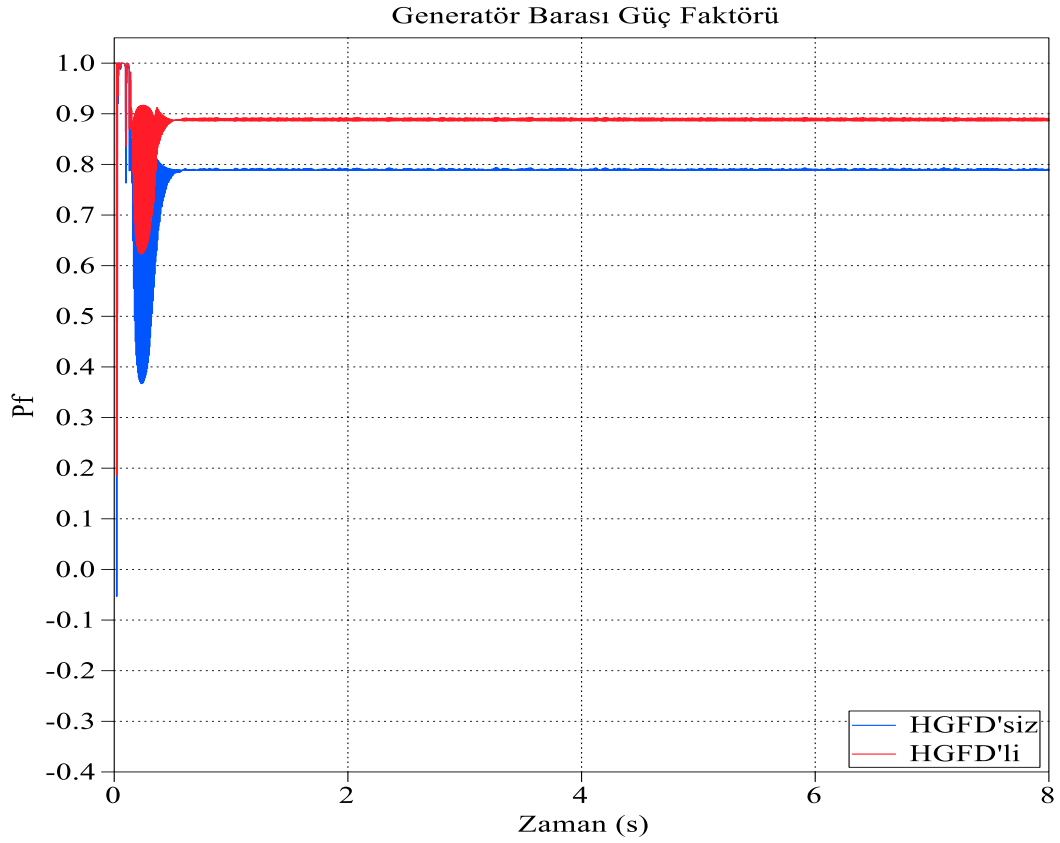
Değişken rüzgar hızı koşulu için generatör barasının aktif, reaktif ve görünür güç değişimleri hem HGFD'siz hem de HGFD'li olarak Şekil 7.82'de görülmektedir. Bu çalışma koşulunda da HGFD'siz sistem için generatör istenilen referans geriliminde çalıştırılmadığından HGFD'li sisteme göre daha fazla aktif ve reaktif güç üretmektedir. HGFD'li sistemde generatör, istenilen referans gerilimine göre çalıştırılırsa generatör tarafından üretilen reaktif gücün azaldığı, yükün istediği reaktif gücün bir kısmının HGFD'si tarafından karşılandığı ve güç faktörünün de yaklaşık 0,9 değerine geldiği görülür. Şekil 7.83'te yük barasının aktif, reaktif ve görünür güç değişimleri, generatör barasına ait güç faktörünün değişimi Şekil 7.84'te gösterilir. Benzetim çalışması için üç çevrimli hata toplayıcı algoritmasına ait hataların değişimleri Şekil 7.85'te, generatör barasının güç-gerilim-akım parametrelerindeki değişimlerin üç boyutlu grafikte gösterimi Şekil 7.86'da görülür.



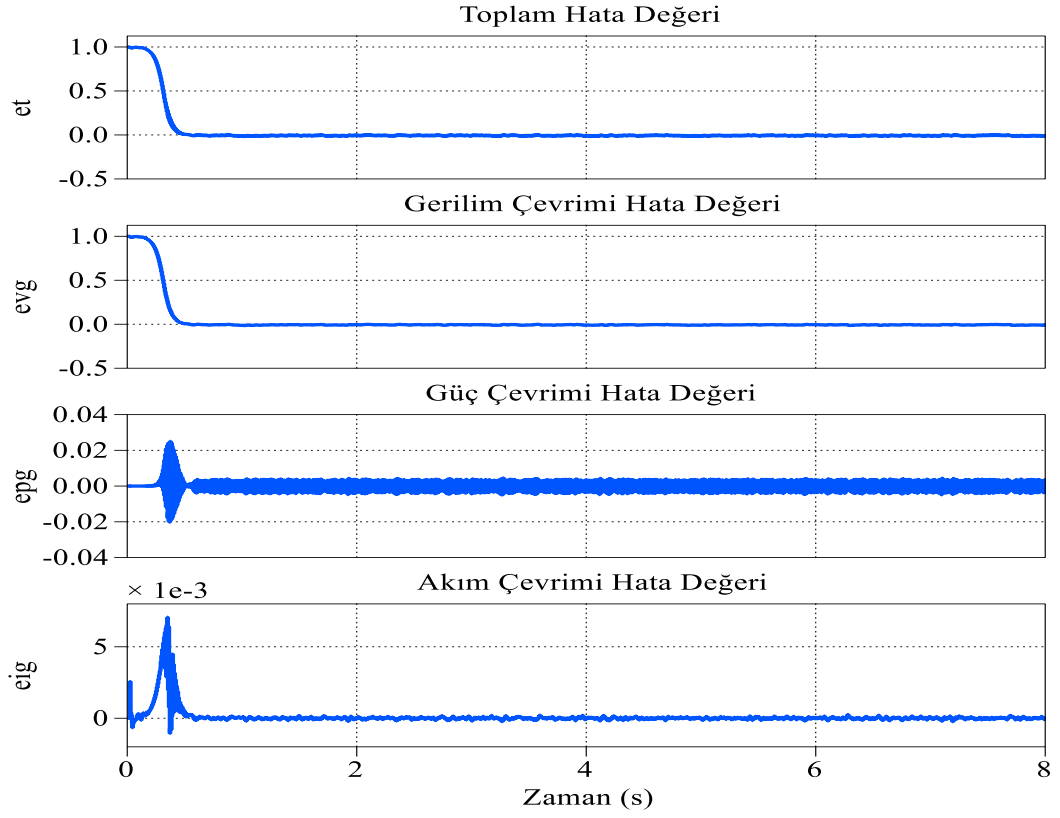
Şekil 7.82. Değişken rüzgar hızı için generatör barasının aktif, reaktif ve görünür güç değişimleri



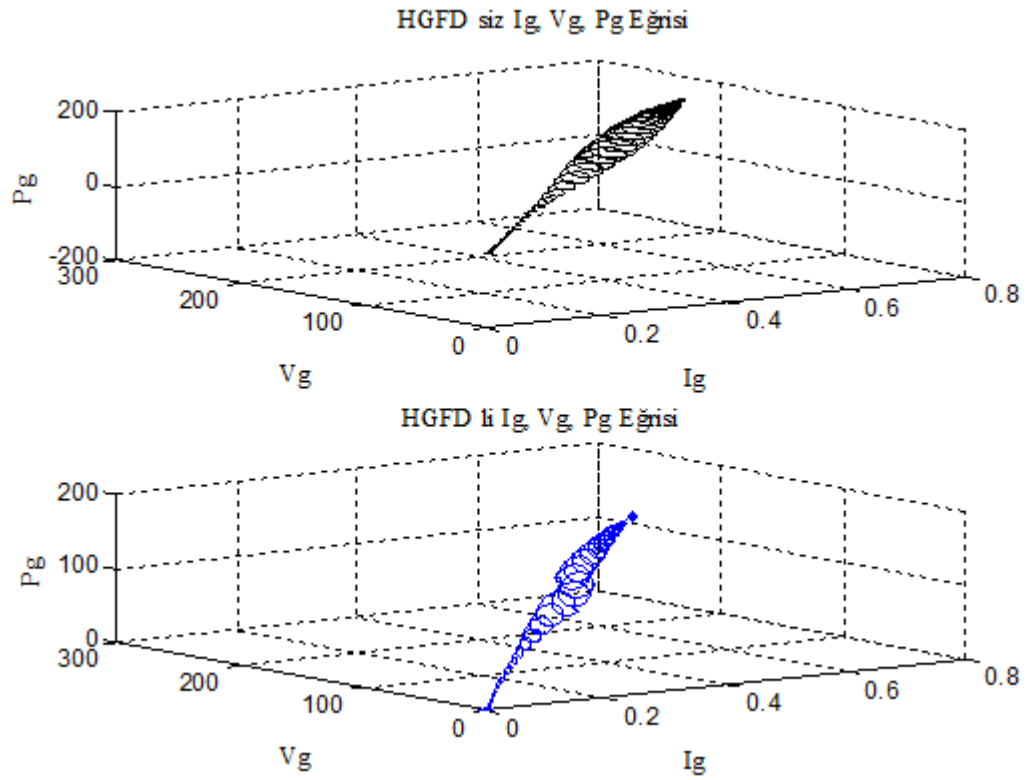
Şekil 7.83. Değişken rüzgar hızı için yük barasının aktif, reaktif ve görünür güç değerleri



Şekil 7.84. Değişken rüzgar hızı için generatör barasın güç faktörü



Şekil 7.85. Değişken rüzgar hızı koşulu için üç çevrim evg, epg, eig hataları ve toplam hata değişimi



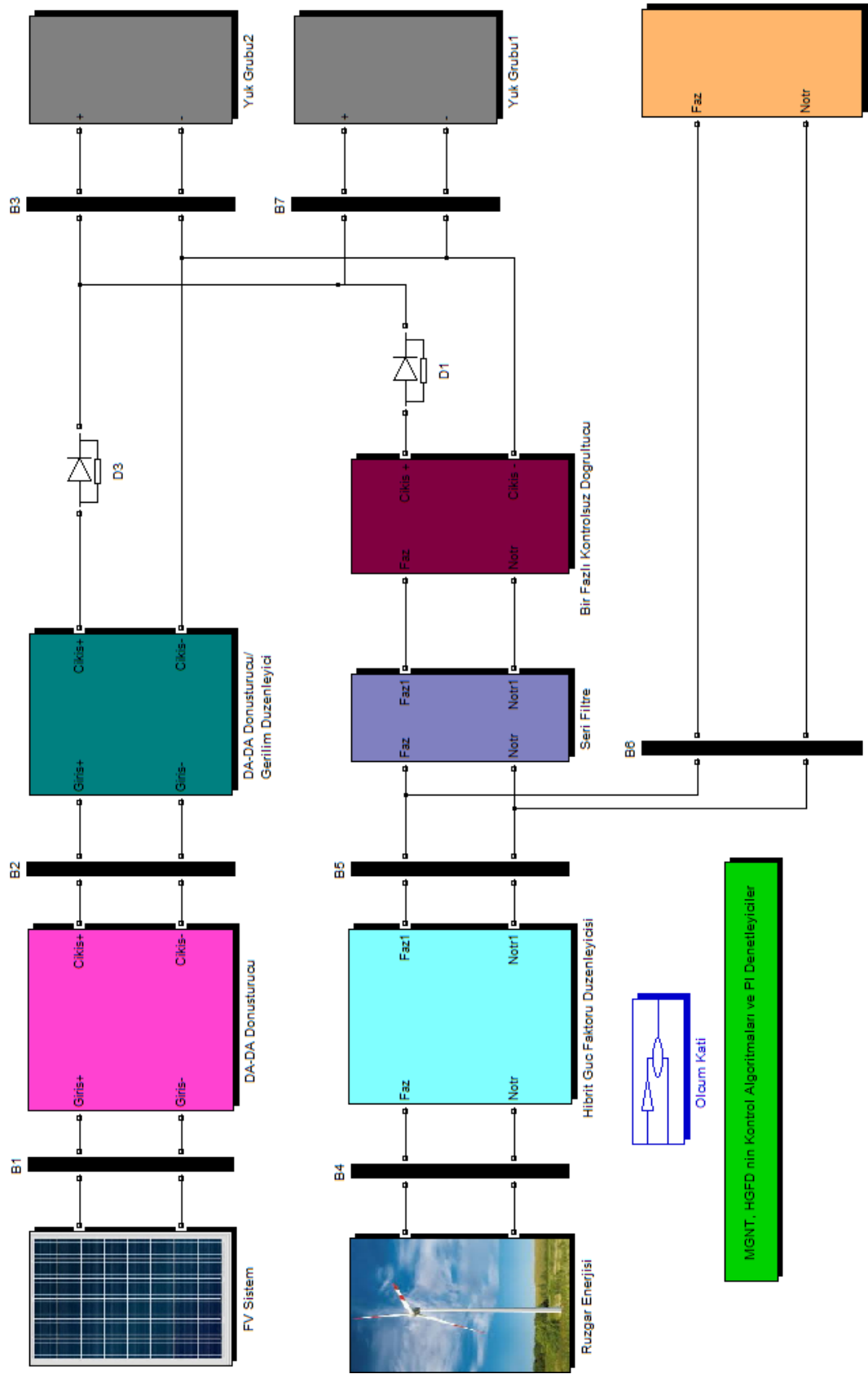
Şekil 7.86. Değişken rüzgar hızı koşulu için generatör barasının güç-gerilim-akım değerlerindeki değişimin üç boyutlu gösterimi

7.3. Hibrit FV/REÇS Benzetim Çalışması

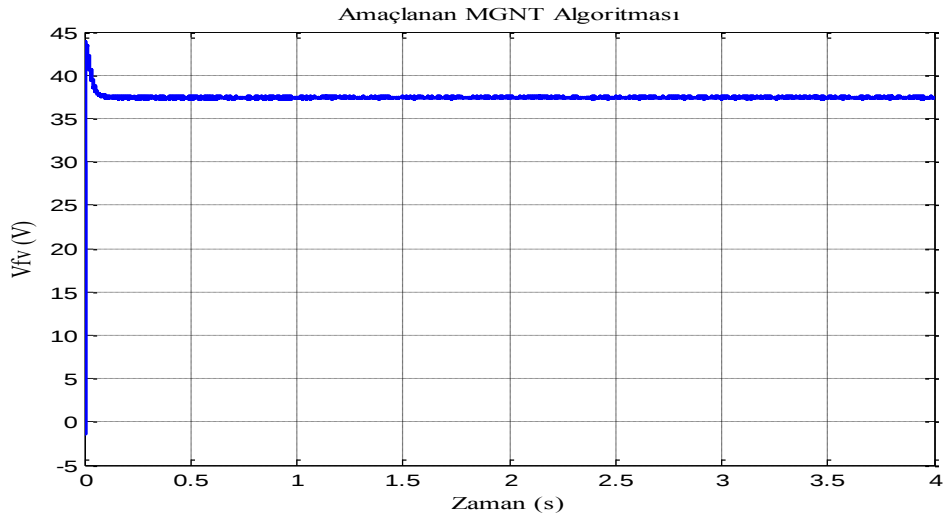
Bu bölümde, önerilen MGNT algoritmasına dayalı FV sistem ve HGFD'li mikro rüzgar güç üretim sisteminin, sabit sıcaklık ve ışıınım koşulları altında DA barasında birleştirilip hem DA hem de AA yükleri kullanılarak benzetim çalışması yapılmıştır. Benzetim modelinde kullanılan tüm devre elemanlarına ait parametreler Tablo 7.5'te verilmiştir. Benzetim çalışması 600W/m^2 ışıınım şiddeti, 22°C sıcaklık ve $8,9\text{ m/sn}$ rüzgar hızı koşullarında gerçekleştirilmiştir. Hibrit sistemin MATLAB/Simulink benzetim modeli Şekil 7.87'de gösterilmektedir. Amaçlanan MGNT algoritması ile maksimum güç noktasında çalıştırılan FV sistemin gerilim, akım ve güç grafikleri Şekil 7.88'de, DA, AA yük baralarının güçleri Şekil 7.89'da verilmektedir. Şekil 7.90'da generatör barasına ait aktif, reaktif ve görünür güç değişimleri gösterilmektedir.

Tablo 7.5. Hibrit benzetim modeli parametreleri

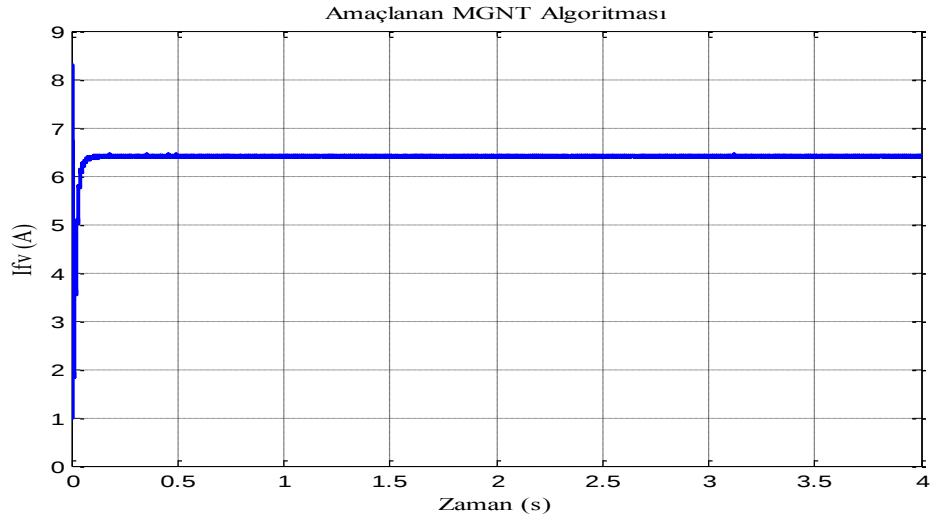
Parametre	Değer	Parametre	Değer
FV Sistem		Rr(pu)	0,0307
Seri hücre sayısı (N_s)	72	Llr(pu)	0,05241
Açık devre gerilimi (V_{ad})	45,74V	Lm(pu)	0,5714
Kısa devre akımı (I_{kd})	5,69A	[H(s) F(pu) p()]	[0,0180 0,0002 2]
Maksimum gerilimi (V_{maks})	37,56V	Kondansatör parametreleri	
Maksimum akımı (I_{maks})	5,46A	Cs	18 μF
Maksimum güç (P_{maks})	205W	Cp	38 μF
Seri panel sayısı	1	C1	80 μF
Paralel panel sayısı	2	C2	1,5 μF
DA-DA Dönüştürücü ve Denetleyici		C3	1,5 μF
C_1	10 μF	İletim hattı parametreleri	
L	1mH	Rs	0,3 Ω
C_2	200 μF	Ls	2,78mH
K_p (Amaçlanan MGNT)	0,04	AA yük parametreleri	
K_i (Amaçlanan MGNT)	5	R	225 Ω
DA-DA Dönüştürücü/Gerilim Düzenleyici		L	0,560H
L	1mH	DA yük parametreleri	
C	300 μF	R1	331,5 Ω
K_p	0,00015	R2	500 Ω
K_i	0,009	Üç çevrim denetleyici parametreleri	
Asenkron generatör		K_p	0,00005
Nominal güç	340W	K_i	0,0008
Gerilim (faz-faz)	380V	K_d	0,0002
Frekans	50Hz	Ke	10,35
Rs(pu)	0,11328	Gerilim çevrim katsayısı (γ_{VG})	1
Lls(pu)	0,05241	Akım çevrim katsayısı (γ_{IG})	0,5
		Güç çevrim katsayısı (K_G)	0,35



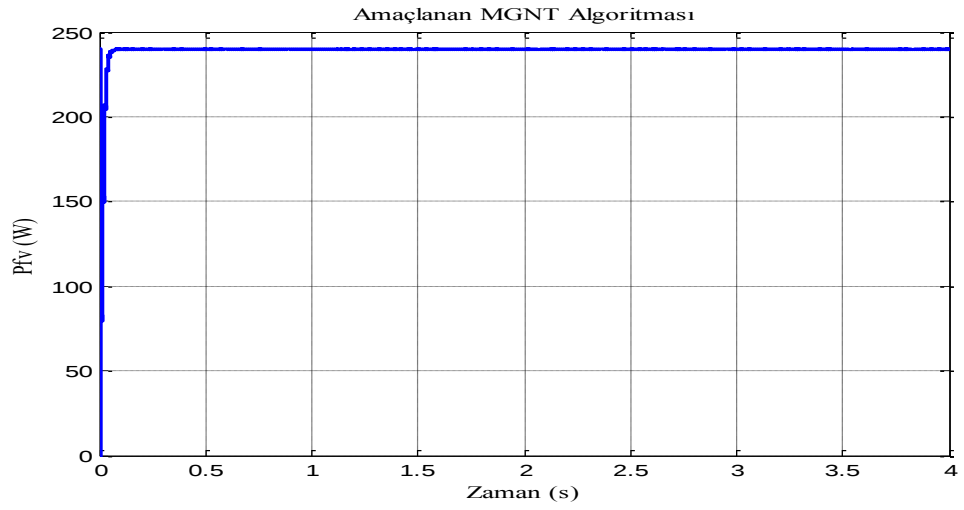
Şekil 7.87. Hibrit sistemin benzetim modeli



(a)

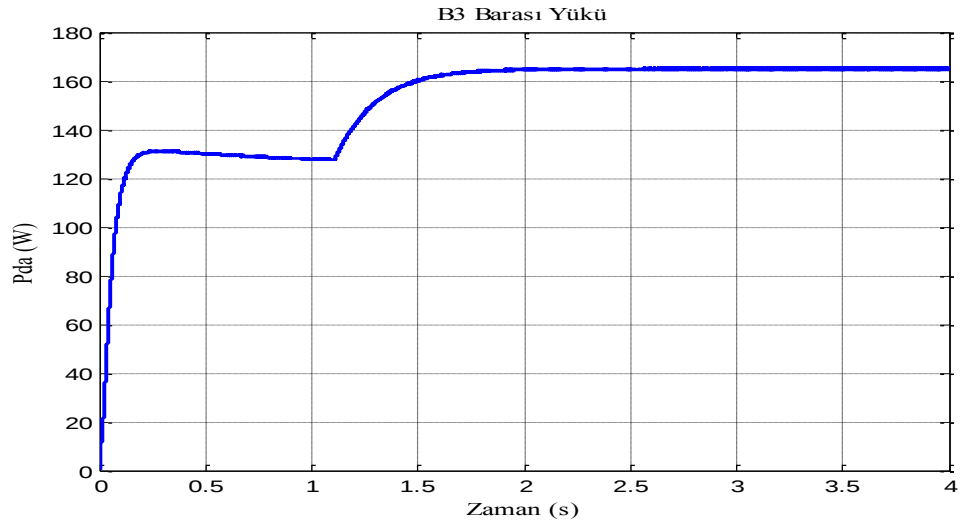


(b)

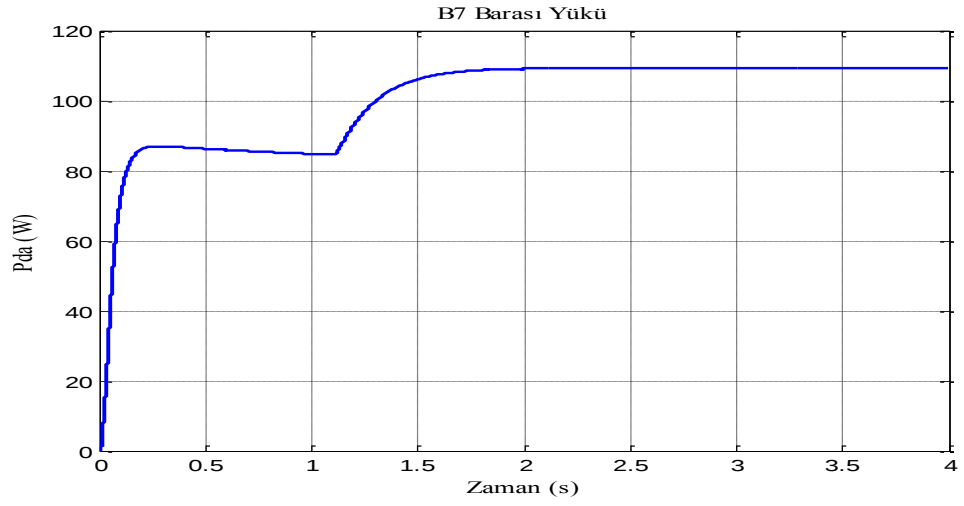


(c)

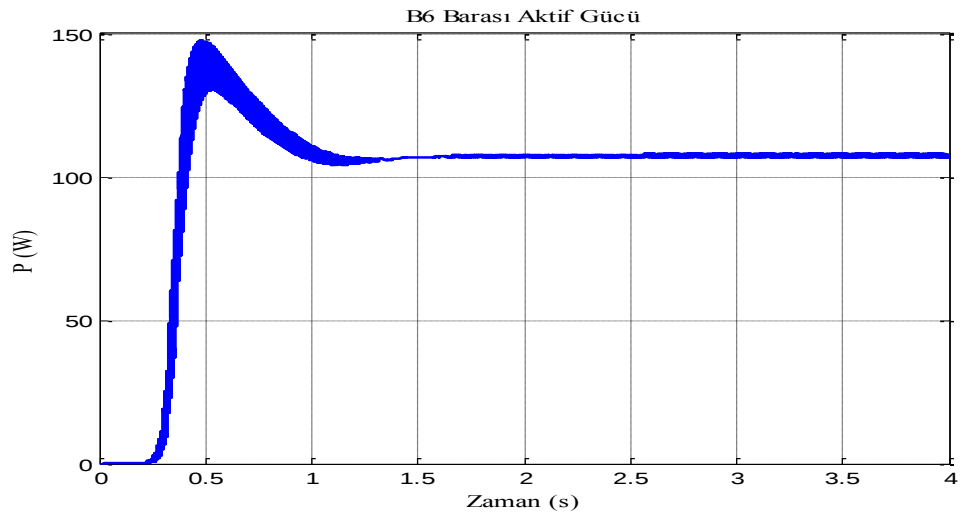
Şekil 7.88. FV sistemin (a) gerilimi (b) akımı (c) gücü



(a)

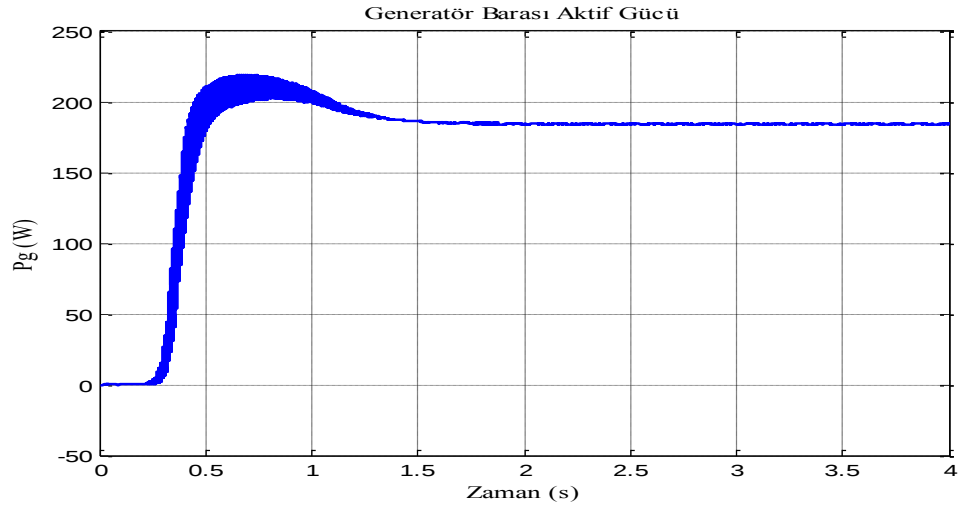


(b)

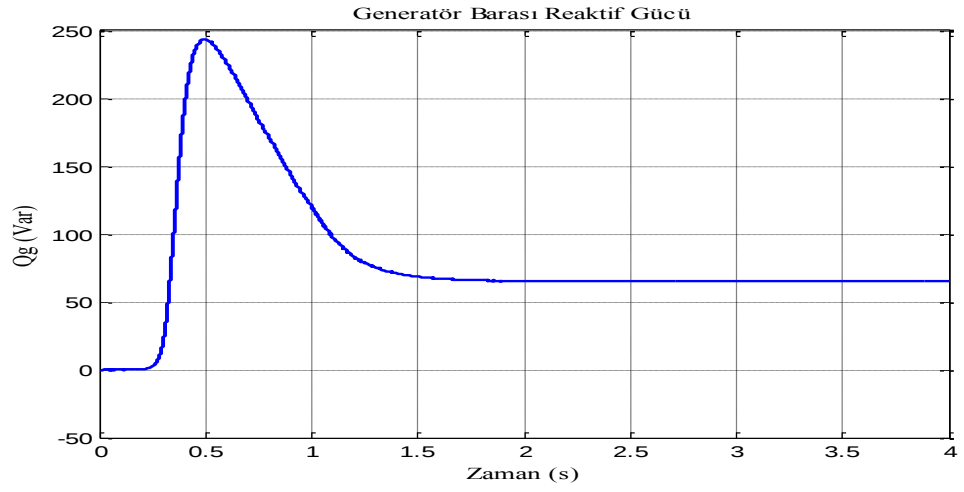


(c)

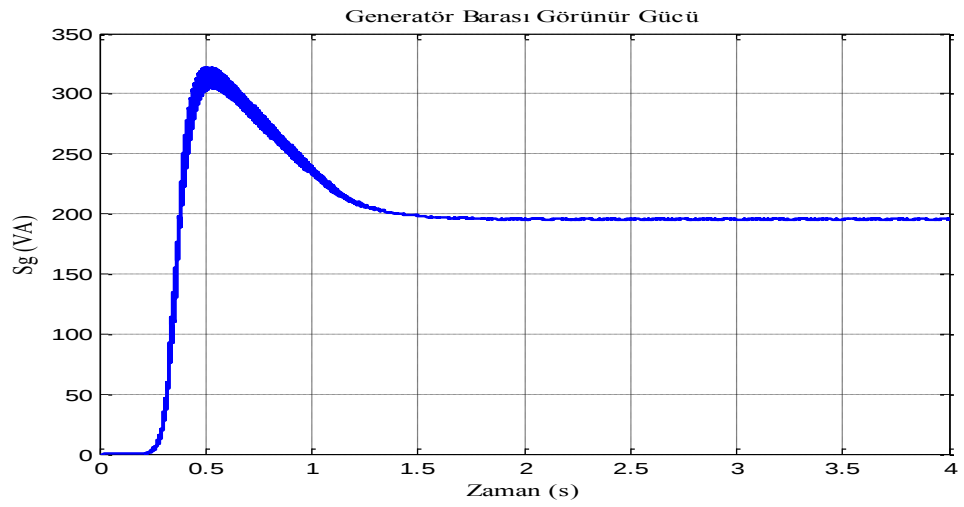
Şekil 7.89. DA ve AA yük baralarının güçleri



(a)

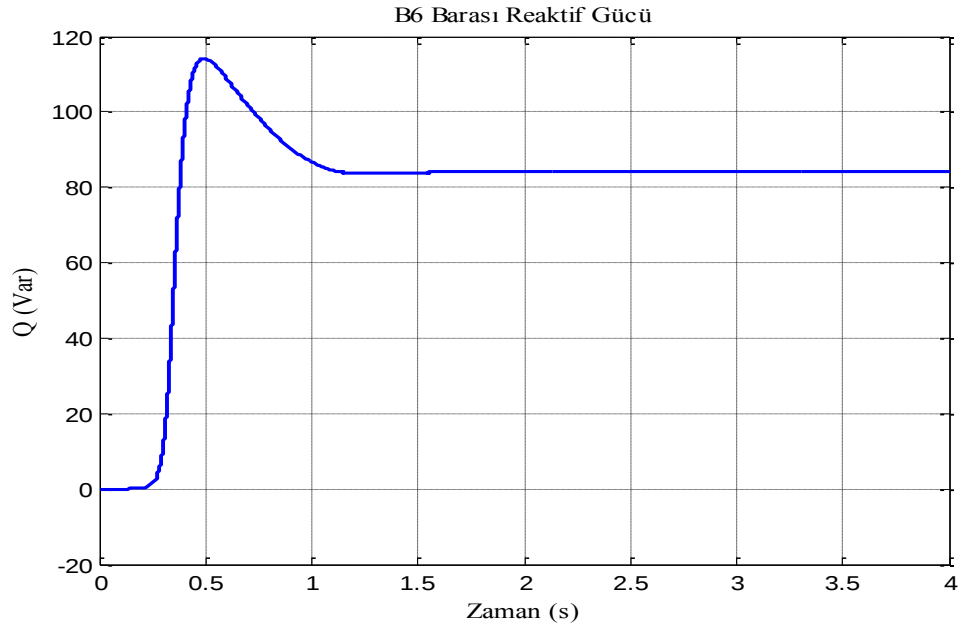


(b)

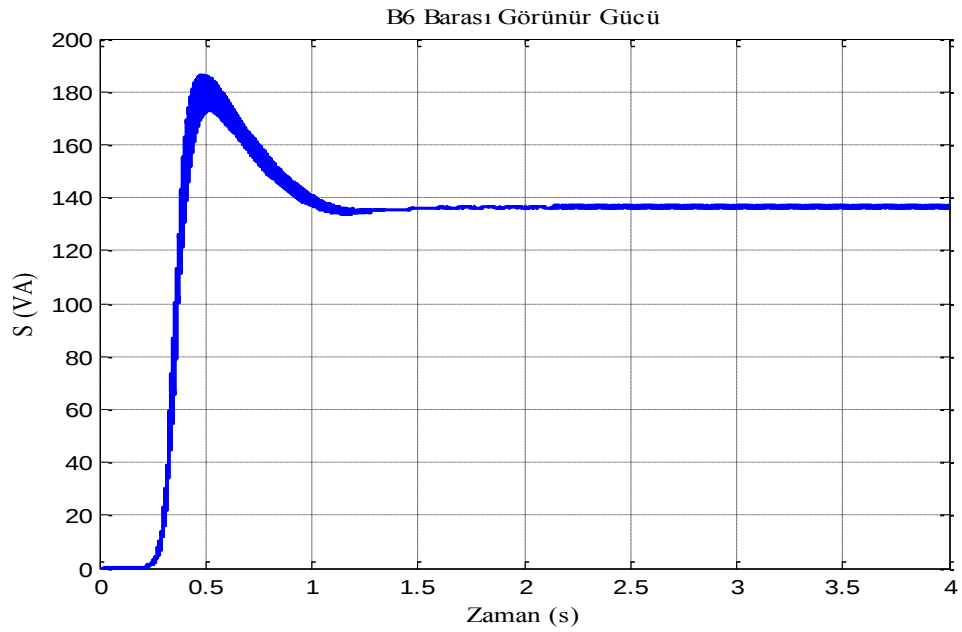


(c)

Şekil 7.90. Generatör barası (a) aktif (b) reaktif (c) görünür güç değişimleri



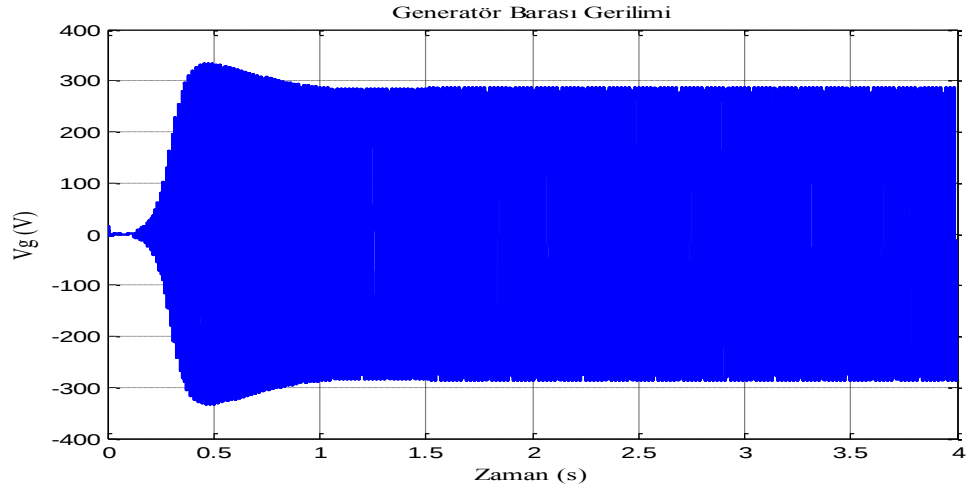
(a)



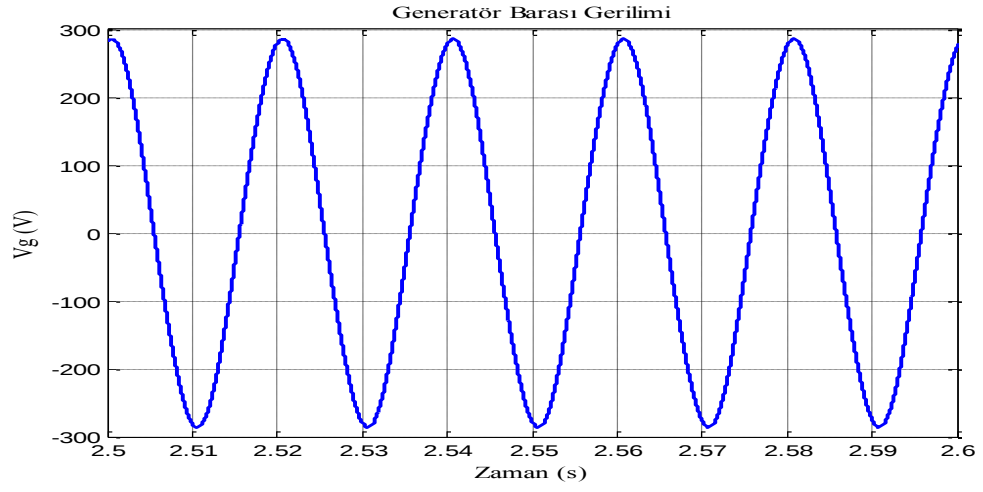
(b)

Şekil 7.91. AA yük barası (a) reaktif güç (b) görünür güç değişimleri

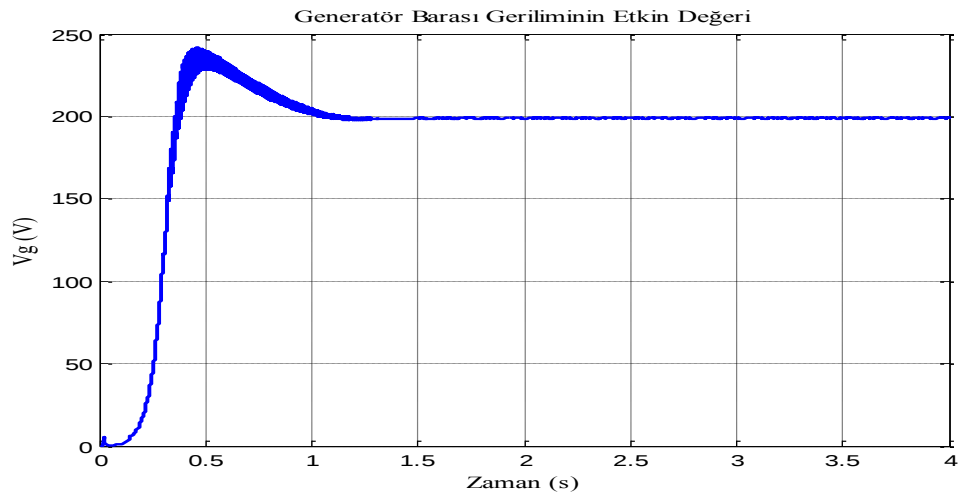
Yapılan benzetim çalışması sonucunda, AA yük barasının reaktif ve görünür güç değişimleri Şekil 7.91’de, Şekil 7.92 ve Şekil 7.93’te ise generatör ve AA yük baralarının gerilimlerinin değişimi gösterilmektedir. Generatör ve yük barasının akım değişimleri Şekil 7.94 ve Şekil 7.95’de verilmektedir.



(a)

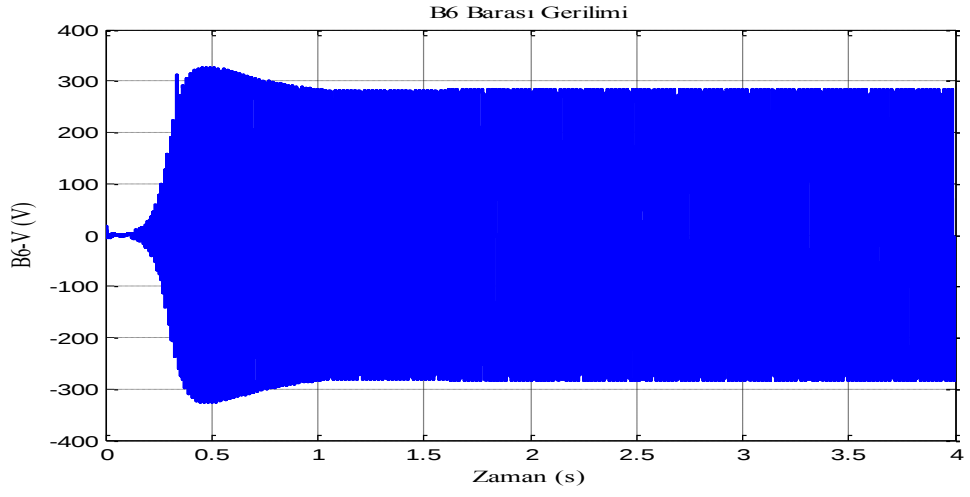


(b)

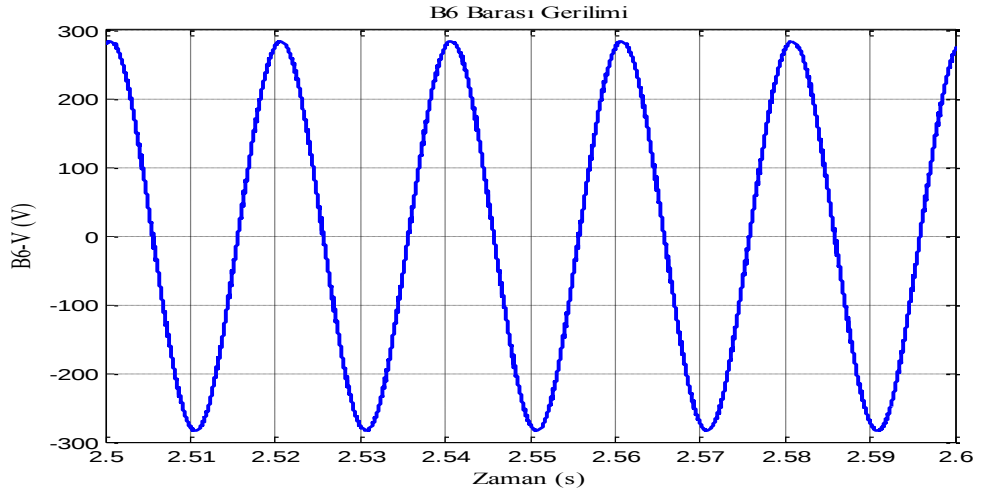


(c)

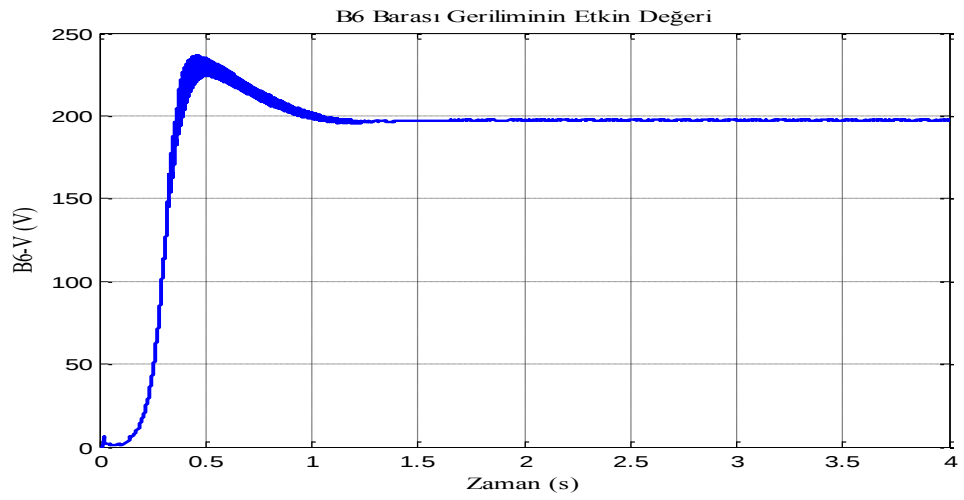
Şekil 7.92. Generatör barası (a) gerilim değişimi (b) yakınlaştırılmış hali (c) etkin değeri



(a)

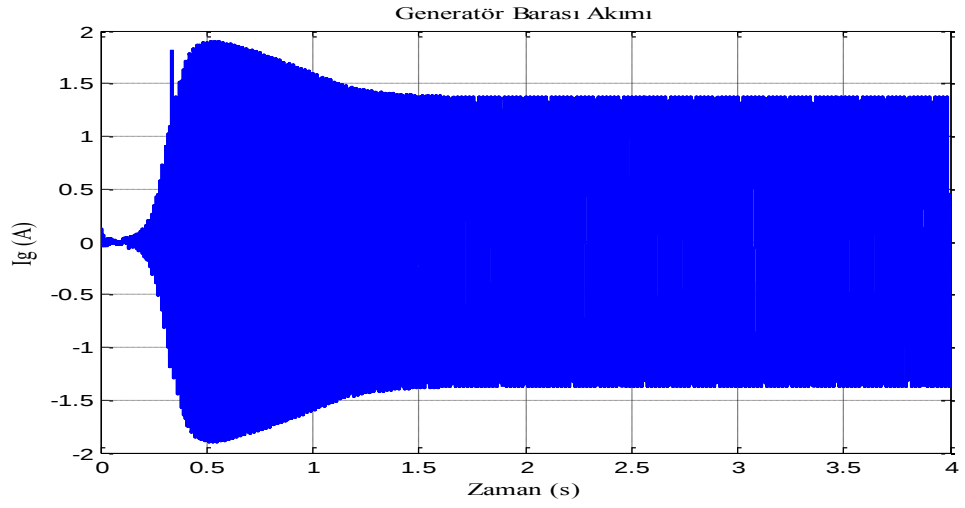


(b)

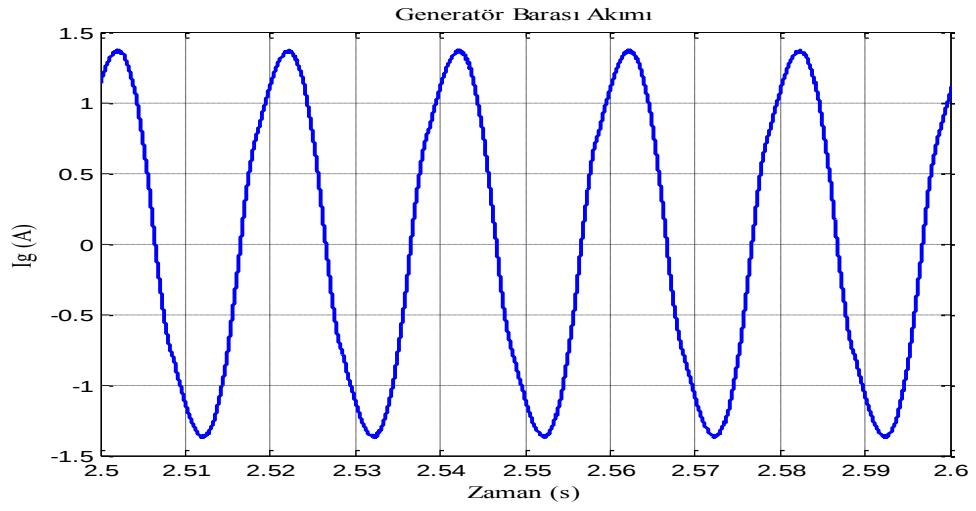


(c)

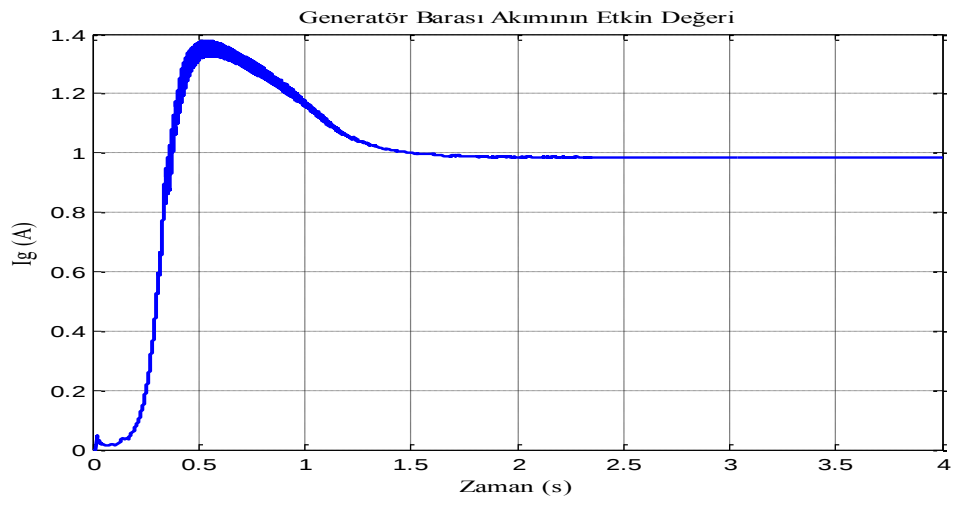
Şekil 7.93. Yük barası (a) gerilim değişimi (b) yakınlaştırılmış hali (c) etkin değeri



(a)

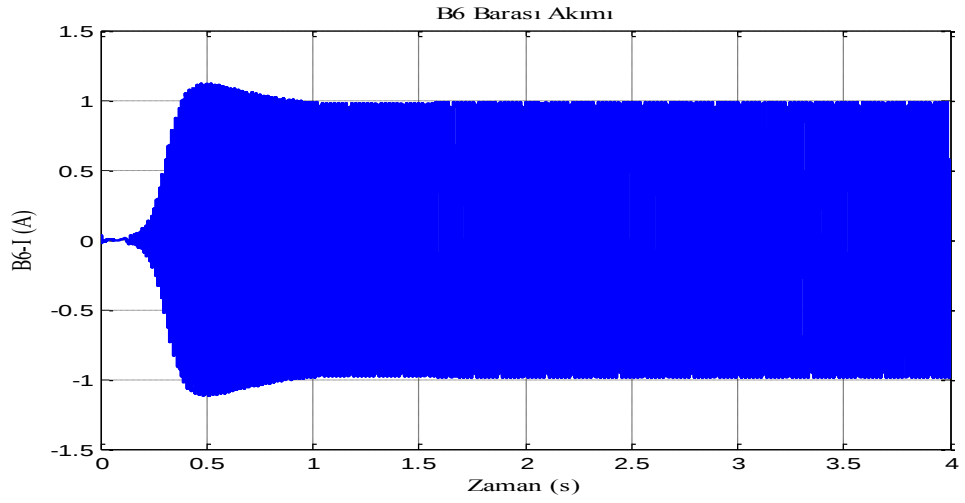


(b)

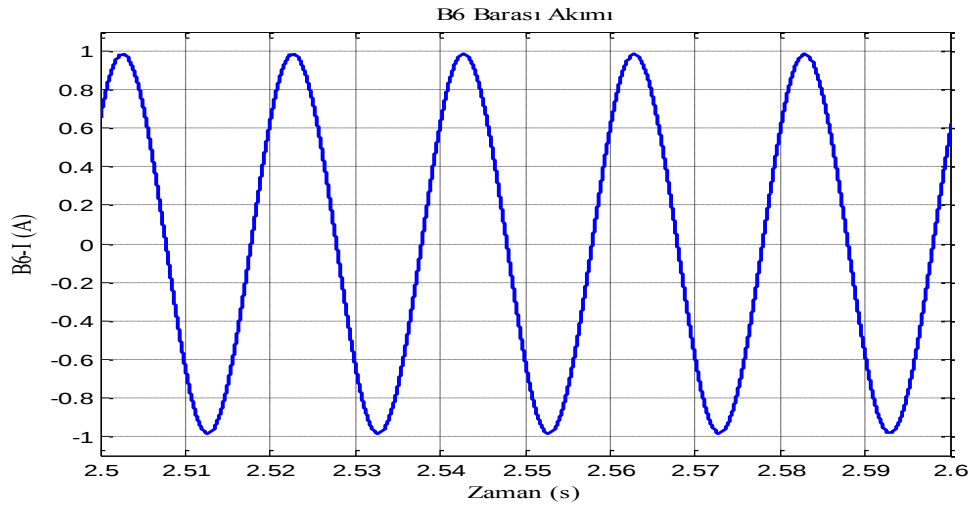


(c)

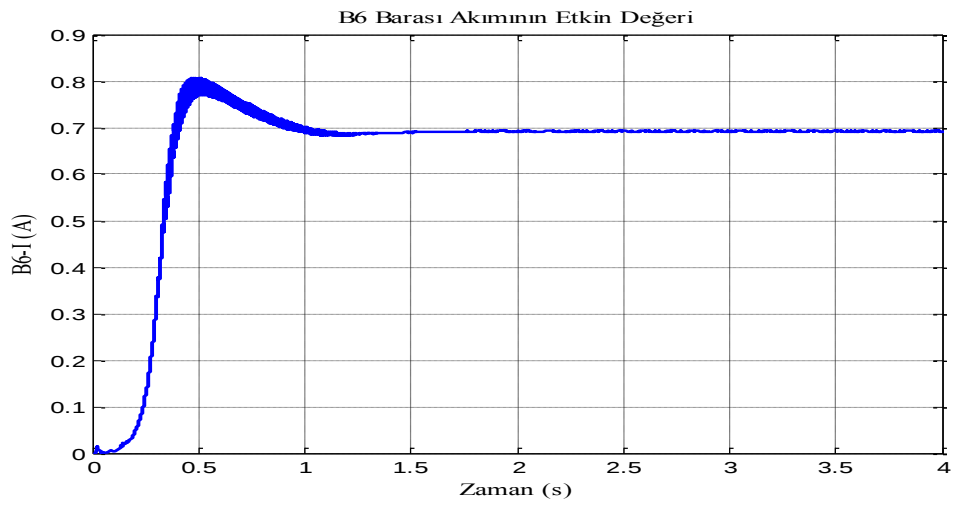
Şekil 7.94. Generatör barası (a) akım değişimi (b) yakınlaştırılmış hali (c) etkin değeri



(a)



(b)



(c)

Şekil 7.95. Yük barası (a) akım değişimi (b) yakınlaştırılmış hali (c) etkin değeri

8. UYGULAMA SONUÇLARI

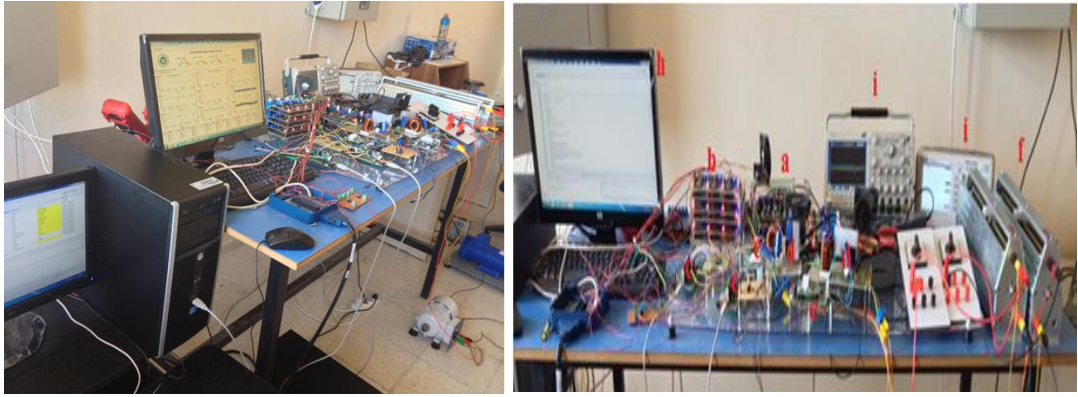
Önerilen MGNT yaklaşımının ve rüzgar enerjisi güç üretim sisteminde HGFD'nin uygulamalarının yapılabilmesi için laboratuvar ortamında prototipi kurulmuştur. Bu bölümde kurulan deneysel prototipin donanımsal altyapısı detaylı bir şekilde Ekler kısmında anlatılacaktır.

8.1. Önerilen MGNT Algoritmasının Uygulama Sonuçları

Bu bölümde, önerilen bulanık mantık temelli hibrit PSO-YAA optimizasyon algoritması tarafından etkinlik fonksiyonları belirlenen YSA modeline dayalı MGNT algoritmasının deneysel çalışmaları yapılmakta ve performans analizi incelenmektedir. Önerilen YSA tabanlı MGNT sistemi, yük olarak omik yükün kullanıldığı durum için klasik MGNT algoritmalarından değiştir gözetle algoritması ile eş zamanlı olarak aynı çevresel koşullar altında uygulama sonuçları elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Deneysel uygulaması yapılan sistemin blok diyagramı Şekil 8.1'de gösterilmiştir. YSA dayalı önerilen MGNT algoritmasının laboratuvar ortamındaki deneysel çalışmasında kullanılan güneş panelleri LCS marka olup, panellere ait veriler, DA-DA dönüştürücü ve denetleyici parametreleri Tablo 8.1'de verilmiştir. Uygulamada örnekleme frekansı ve anahtarlama frekansı 10kHz olarak seçilmiş olup algoritmanın yazılımı C programlama dili ile Code Composer Studio (CCS) v5'de gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8.2. FV paneller (a) Sıcaklık ve nem sensörü, (b) Işınım sensörü, (c) FV paneller



Şekil 8.3. Deneysel düzenek

Şekil 8.3'deki deneysel düzende tanımlamalar,

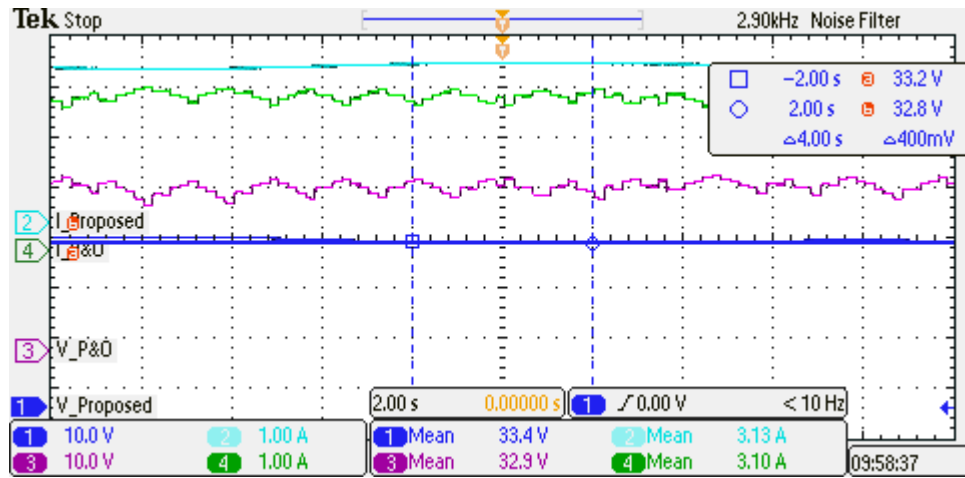
- a- Simetrik güç kaynağı
- b- Akım ve gerilim ölçüm devreleri
- c- TMS302F28335 DSP
- d- Yükseltici tip DA-DA dönüştürücü
- e- Skyper 32Pro R IGBT Sürücü
- f- 0-500 ohm ayarlı omik yük
- h- Masa üstü bilgisayar
- i- Osilaskop

şeklinde ifade edilir.

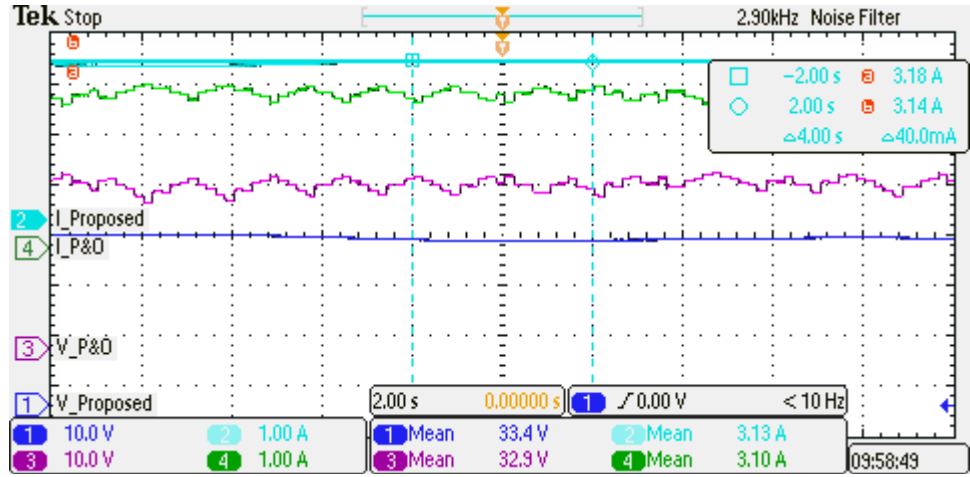


Şekil 8.4. Veri toplama cihazı

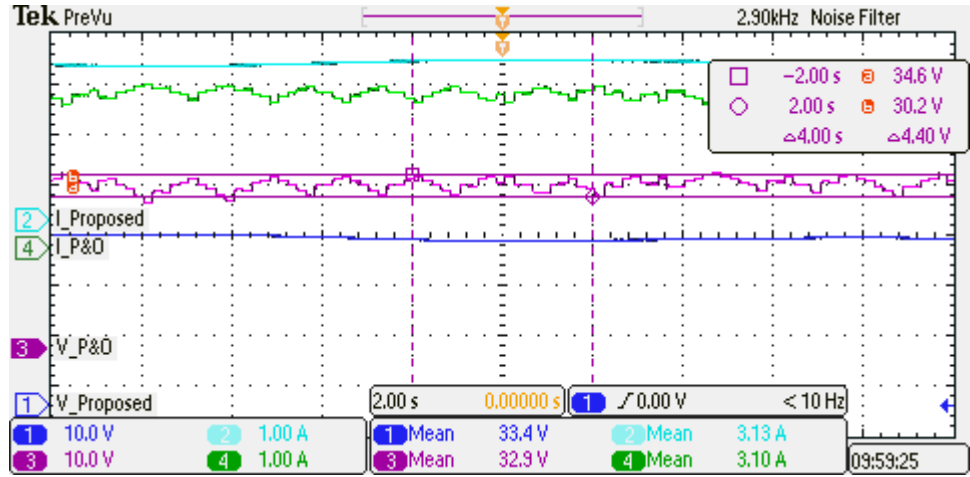
Önerilen YSA tabanlı MGNT algoritmasına ve klasik MGNT algoritmalarından değiştir gözetle algoritmasına ait benzetim sonuçları Bölüm 7.1.3'te açıklanmaktadır. Farklı çalışma zamanlarında, önerilen MGNT ve klasik değiştir gözetle algoritması ile aynı çevresel koşullar altında eş zamanlı yapılan deneysel çalışmalarına ait sonuçlar Şekil 8.5 ve Şekil 8.11 arasında gösterilmektedir. Şekil 8.5, Şekil 8.6 amaçlanan MGNT algoritmali FV sisteme ait gerilim ve akım sonuçları gösterilmekte olup, Şekil 8.7, Şekil 8.8'de ise değiştir gözetle algoritmali FV sisteme ait gerilim ve akım sonuçları gösterilmektedir. Şekil 8.9'da amaçlanan MGNT algoritmali, Şekil 8.10'da değiştir gözetle algoritmali FV sistemin güç değerindeki değişimlerine ait sonuçlar, Şekil 8.11 ise DGM sinyalini göstermektedir.



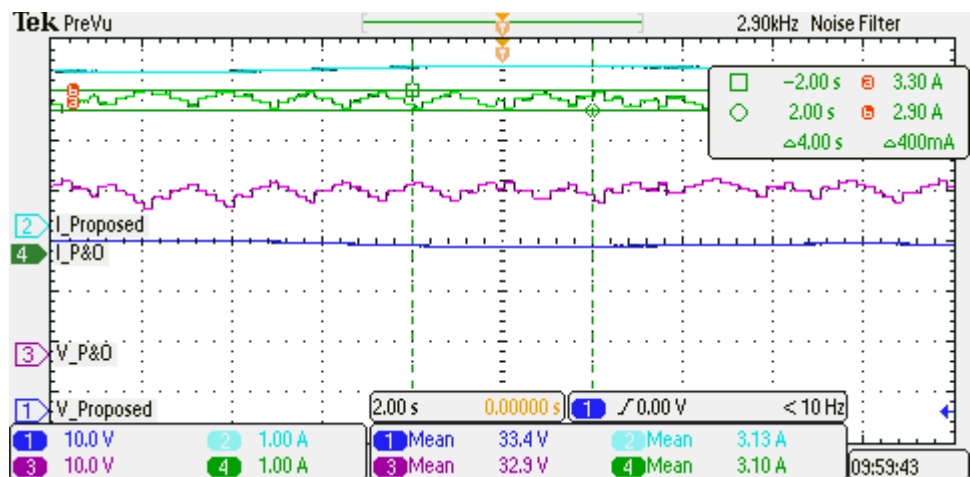
Şekil 8.5. Amaçlanan MGNT algoritmasının uygulama sonuçları (gerilim)



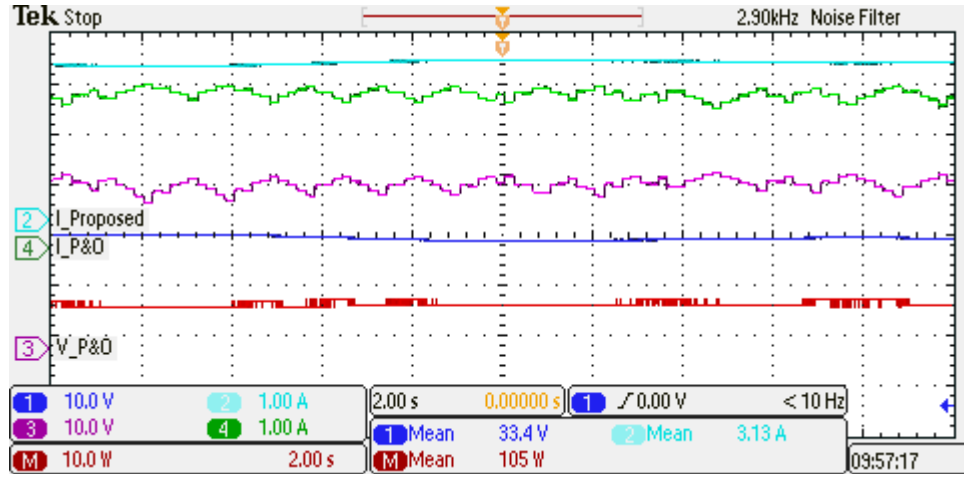
Şekil 8.6. Amaçlanan MGNT algoritmasının uygulama sonuçları (akım)



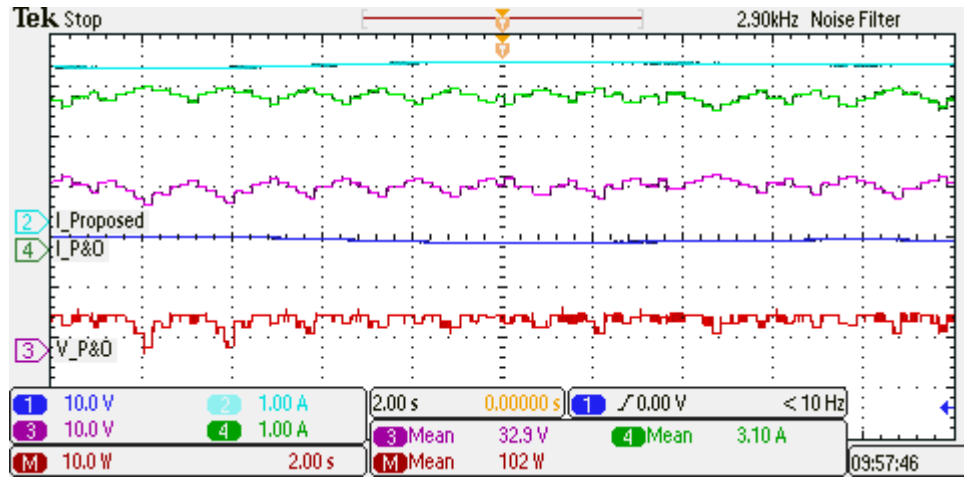
Şekil 8.7. Değiştir gözetle algoritmasının uygulama sonuçları (gerilim)



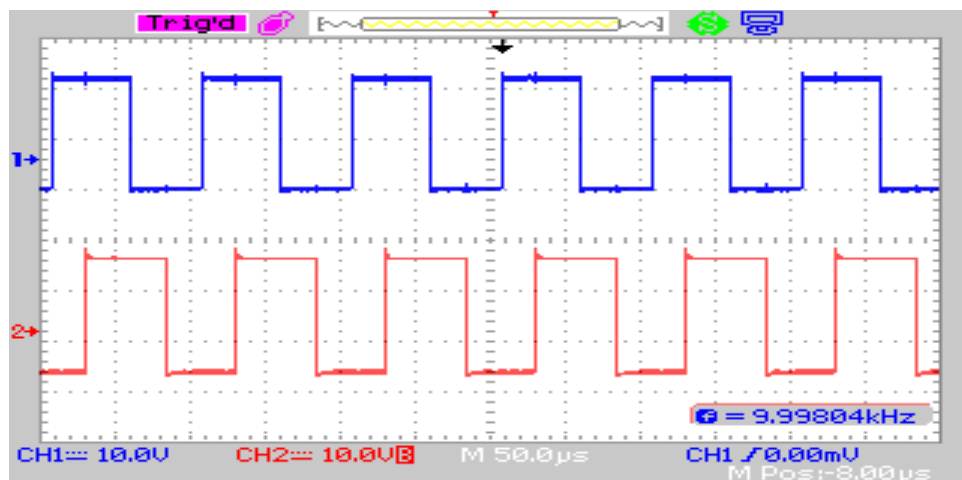
Şekil 8.8. Değiştir gözetle algoritmasının uygulama sonuçları (akım)



Şekil 8.9. Amaçlanan MGNT algoritmasının uygulama sonuçları (güç)

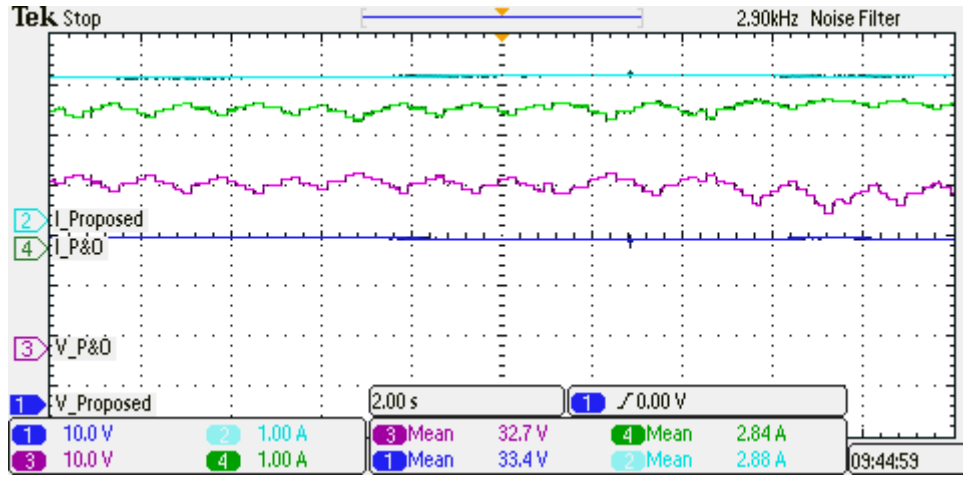


Şekil 8.10. Değişir gözetle algoritmasının uygulama sonuçları (güç)

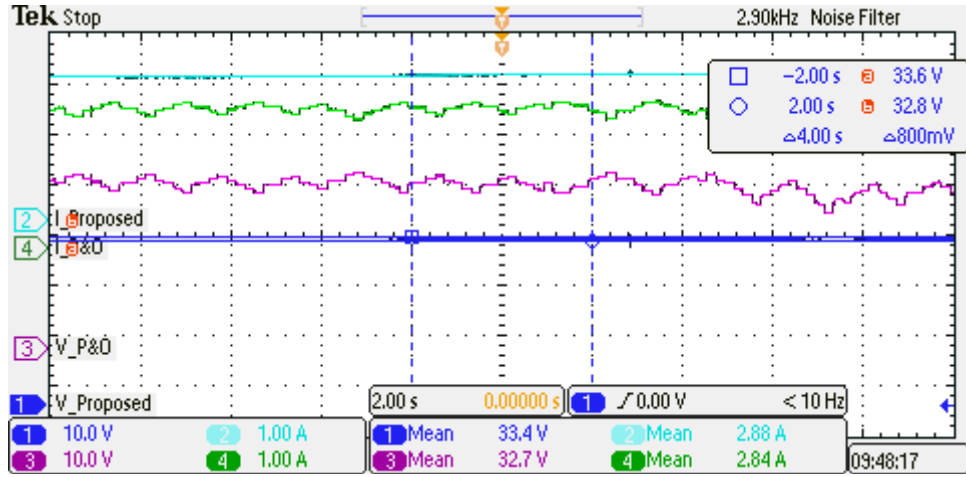


Şekil 8.11. DGM sinyali (mavi: önerilen yaklaşım, kırmızı: değiştir gözetle)

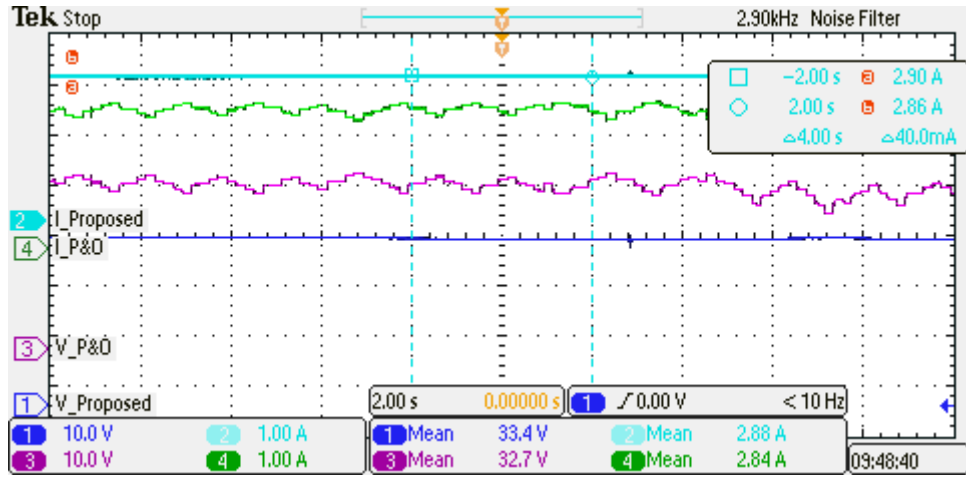
Amaçlanan yaklaşım ile FV sistemin geriliminde 400mV, akımında ise 40mA civarında değişim meydana gelirken, değiştir gözetle algoritması ile FV sistemin geriliminde 4,40V, akımında ise 400mA civarında değişim meydana gelmektedir. Uygulama esnasında her iki algoritma için kullanılan yük değerleri benzetim çalışmalarındaki gibi 55 ohm olarak kabul edilmiştir. O anki çevresel koşullara göre, her iki algoritmanın güç açısından deneysel sonuçları incelendiğinde önerilen yaklaşım ile FV sistem 105W değerinde maksimum güç üretirken, değiştir gözetle algoritması 102W değerinde güç üretmektedir. Farklı bir gün ve farklı çalışma saatinde amaçlanan MGNT algoritması ve değiştir gözetle algoritmasına ait uygulama sonuçları Şekil 8.12 ve Şekil 8.16’da gösterilmektedir. Amaçlanan MGNT algoritması ve değiştir gözetle algoritmalı FV sistemin gerilim ve akım sonuçları Şekil 8.12’de gösterilir. Amaçlanan MGNT algoritmalı FV sistemin gerilim ve akım değişimleri Şekil 8.13, Şekil 8.14’de, Şekil 8.15 ve Şekil 8.16’da ise değiştir gözetle algoritmalı FV sistemin gerilim ve akım değişimlerinin sonuçları verilmektedir. Bu çalışma zamanı içerisinde, önerilen yaklaşım ile FV sistemin geriliminde 400mV, akımında ise 40mA civarında değişim meydana gelirken, değiştir gözetle algoritmalı FV sistemin geriliminde 4,0V, akımında ise 320mA civarında değişim meydana gelmektedir.



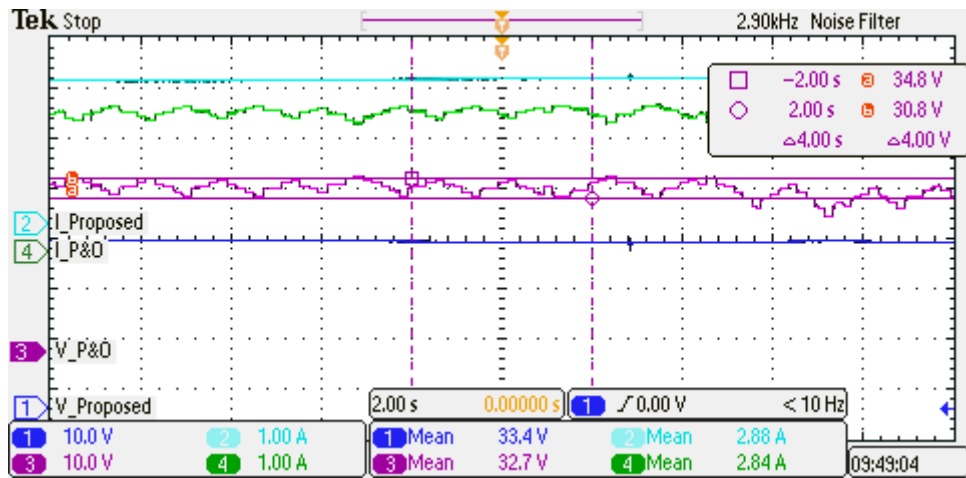
Şekil 8.12. Önerilen MGNT ve değiştir gözetle algoritmasının uygulama sonuçları



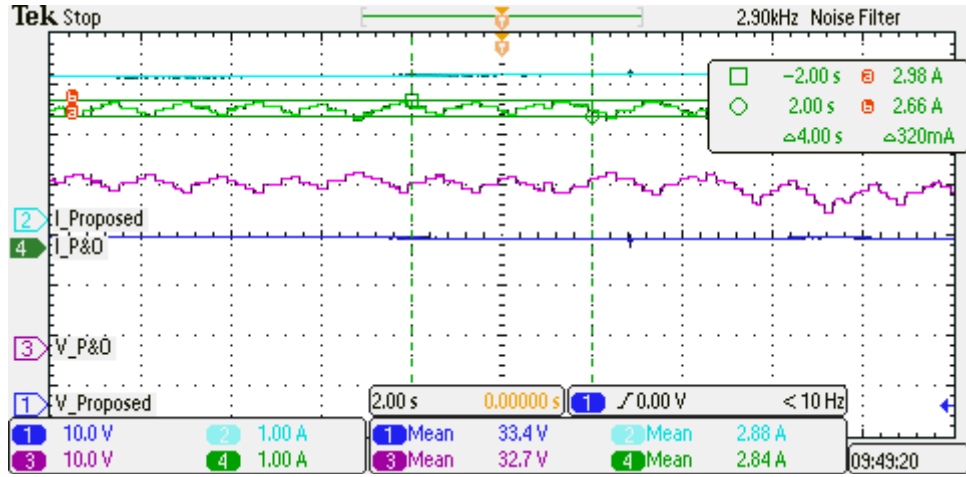
Şekil 8.13. Farklı çalışma zamanı için amaçlanan MGNT algoritmasının uygulama sonuçları (gerilim)



Şekil 8.14. Farklı çalışma zamanı için amaçlanan MGNT algoritmasının uygulama sonuçları (akım)

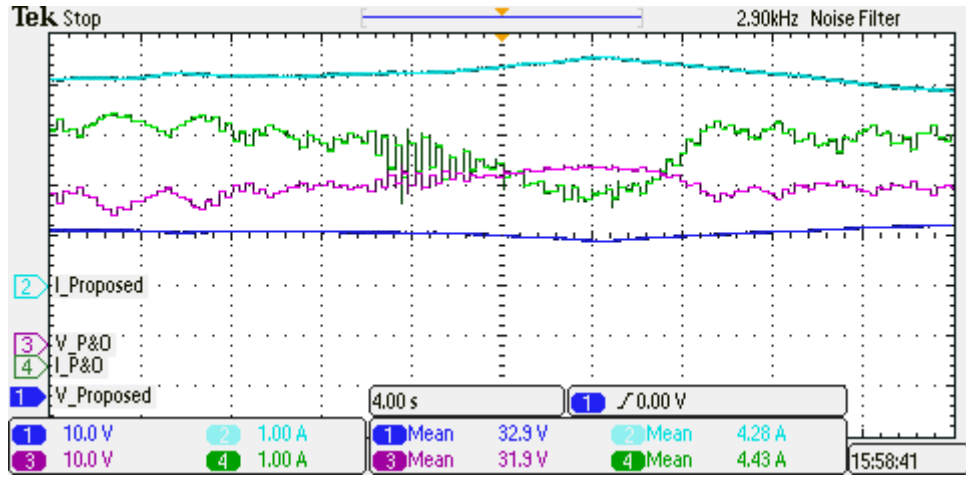


Şekil 8.15. Farklı çalışma zamanı için değiştir gözetle algoritmasının uygulama sonuçları (gerilim)

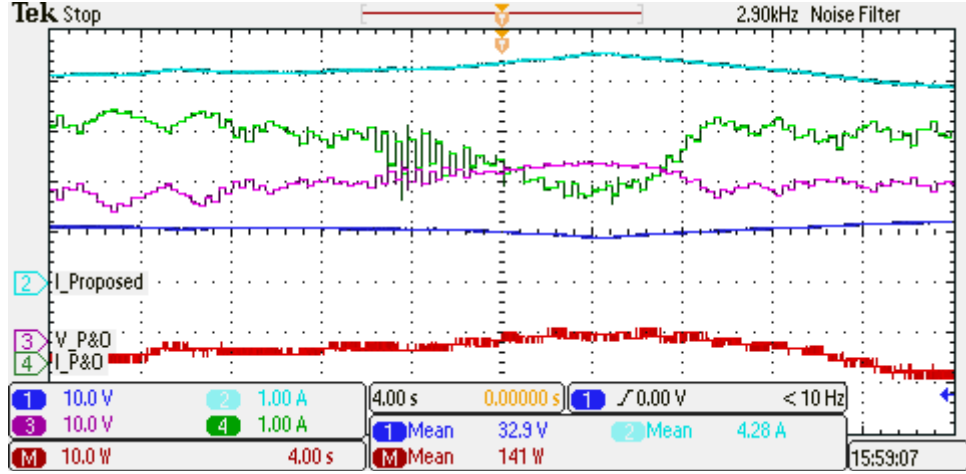


Şekil 8.16. Farklı çalışma zamanı için değiştir gözetle algoritmasının uygulama sonuçları (akım)

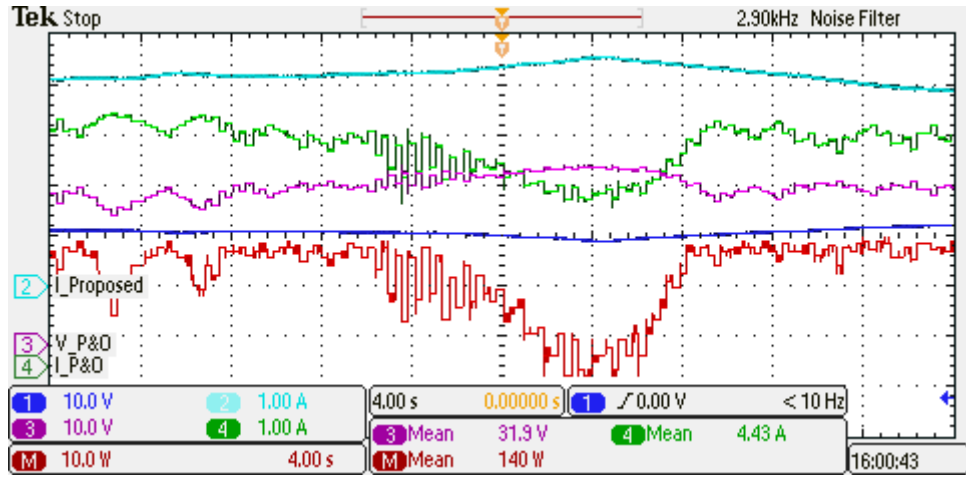
Farklı gün ve çalışma saatinde her iki algoritma için FV sistemin gerilim, akım ve güç değerindeki değişimlerine ait uygulama sonuçları Şekil 8.17, Şekil 8.18 ve Şekil 8.19’da gösterilmektedir. Bu çalışma anındaki çevresel koşullara göre, her iki algoritmanın güç açısından deneysel sonuçları incelendiğinde önerilen yaklaşım ile FV sistem 141W değerinde maksimum güç üretirken, değiştir gözetle algoritması 140W değerinde güç üretmektedir.



Şekil 8.17. Farklı çalışma zamanı için değiştir gözetle ve önerilen MGNT algoritması sonuçları



Şekil 8.18. Farklı çalışma zamanı için amaçlanan MGNT algoritması sonuçları (güç)

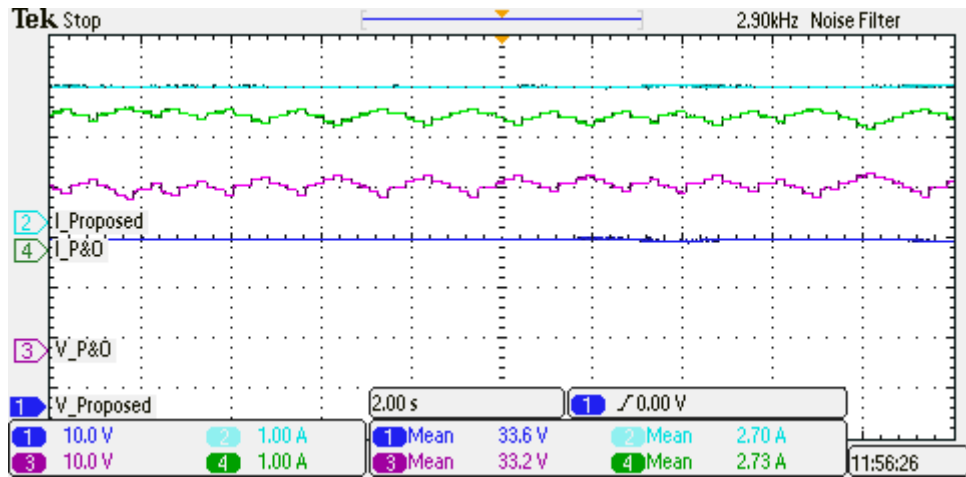


Şekil 8.19. Farklı çalışma zamanı için değiştir gözetle algoritması sonuçları (güç)

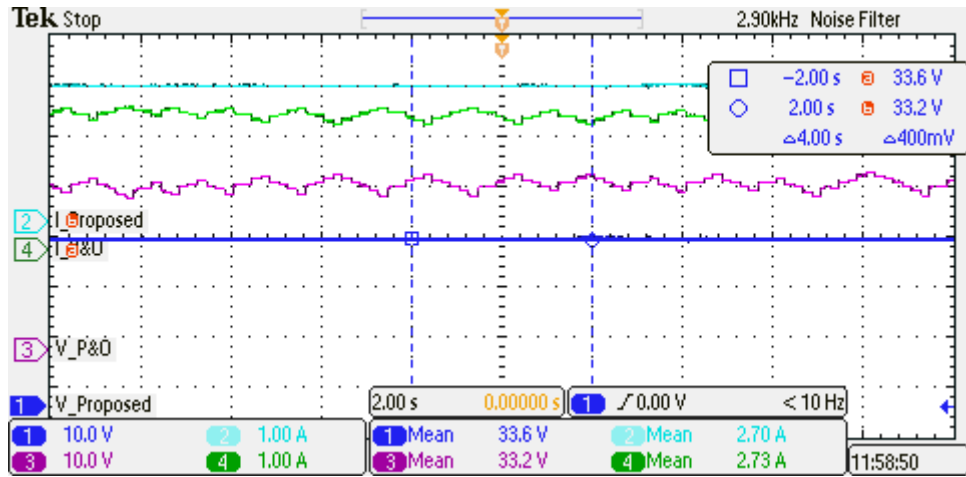
Şekil 8.20 ve Şekil 8.24 arasında farklı gün ve çalışma saatinde FV sisteme ait elde edilen deneysel sonuçlar gösterilmektedir. Amaçlanan MGNT algoritmalı ve değiştir gözetle algoritmalı FV sistemin gerilim ve akım sonuçları Şekil 8.20’de gösterilir. Amaçlanan MGNT algoritmalı FV sistemin gerilim ve akım değişimleri Şekil 8.21, Şekil 8.22’de, Şekil 8.23 ve Şekil 8.24’de ise değiştir gözetle algoritmalı FV sistemin gerilim ve akım değişimlerinin sonuçları verilmektedir. Bu çalışma zamanı içerisindeki çevresel koşullara göre, önerilen yaklaşım ile FV sistemin geriliminde 400mV, akımında ise 40mA civarında değişim meydana gelirken, değiştir gözetle algoritması ile FV sistemin geriliminde 5,60V, akımında ise 400mA civarında değişim meydana gelmektedir. Şekil 8.25’de, amaçlanan MGNT algoritması ve

değiştir gözetle algoritmasının deneysel sonuçlarının LABVIEW paket programında hazırlanan ara yüz ile gerçek zamanlı izlemesi yapılmıştır.

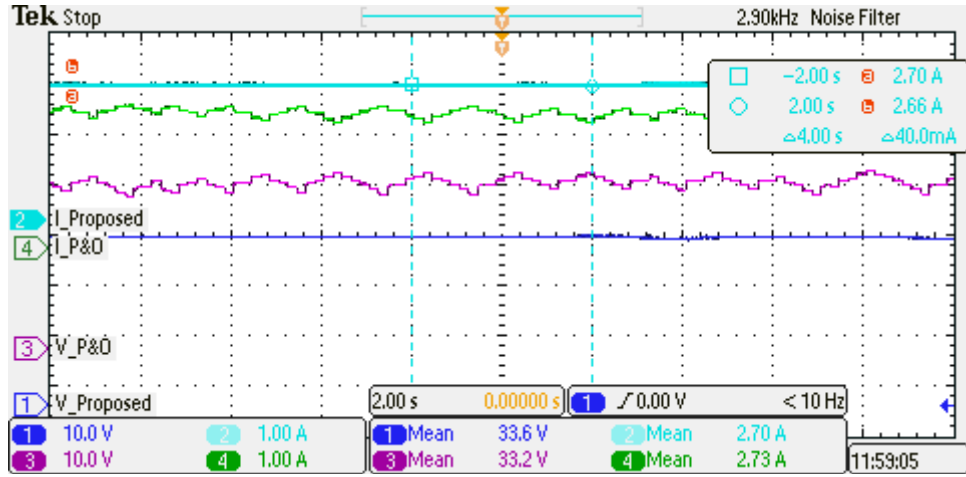
Farklı zamanlarda ve çalışma koşulları altında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, amaçlanan yaklaşım ile klasik MGNT algoritmasının maksimum güç noktasında oluşturduğu salınımlar en aza indirilmiş ve benzetim çalışmalarında elde edilen sonuçlarla eşdeğerliliği gösterilmiştir.



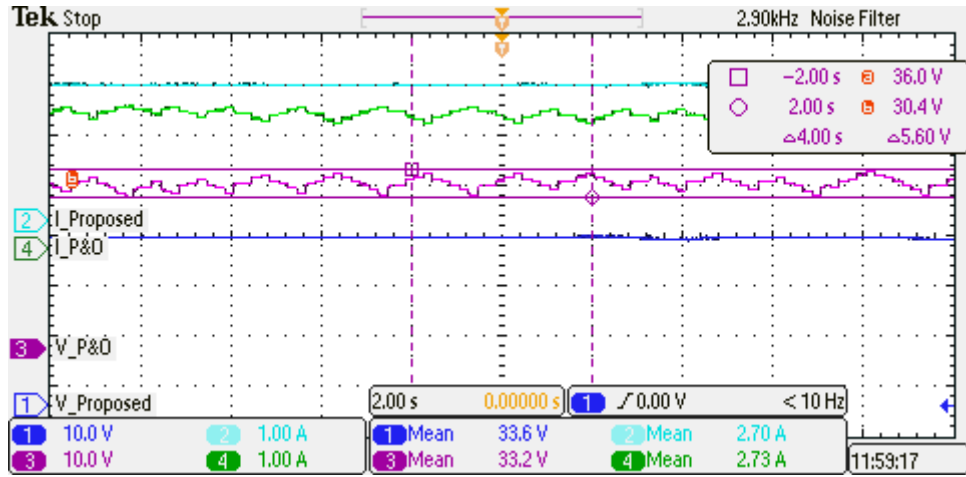
Şekil 8.20. Farklı çalışma koşulu için amaçlanan MGNT algoritması ve değiştir-gözetle algoritması sonuçları



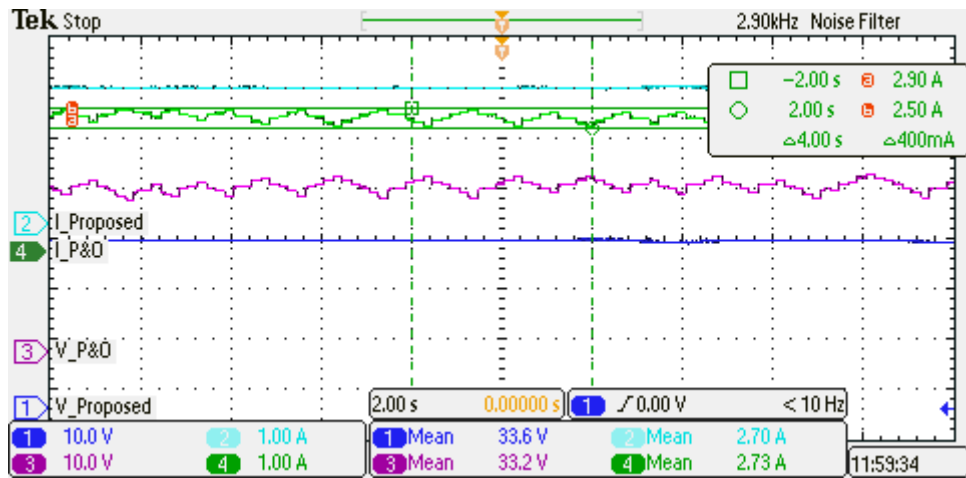
Şekil 8.21. Farklı çalışma koşulu için amaçlanan MGNT algoritması sonuçları (gerilim)



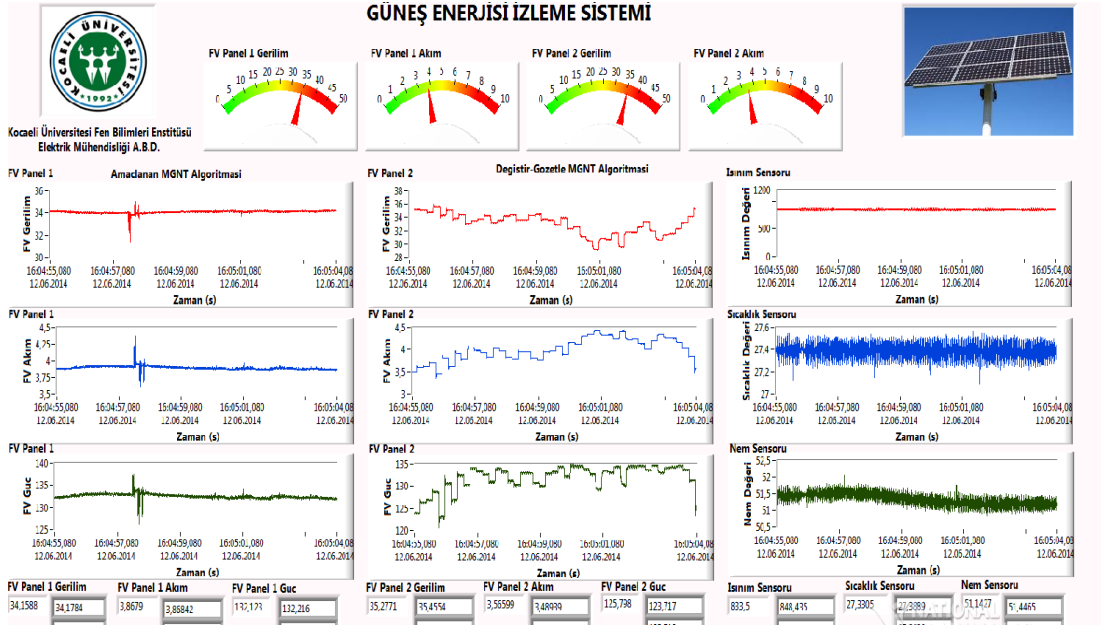
Şekil 8.22. Farklı çalışma koşulu için amaçlanan MGNT algoritması sonuçları (akım)



Şekil 8.23. Farklı çalışma koşulu için değiştir gözetle algoritması sonuçları (gerilim)



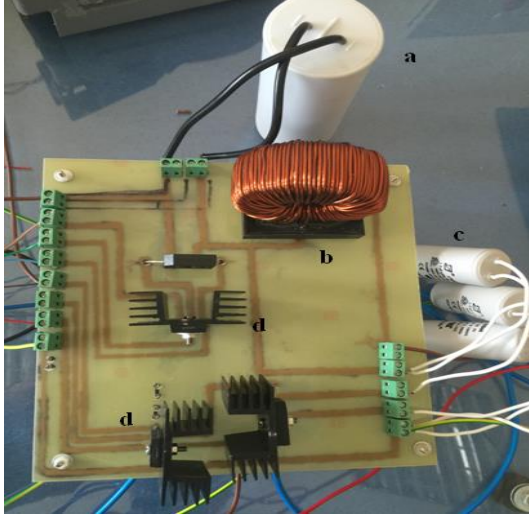
Şekil 8.24. Farklı çalışma koşulu için değiştir gözetle algoritması sonuçları (akım)



Şekil 8.25. Güneş enerjisi izleme sistemi

8.2. Rüzgar Enerjisi Çevrim Sistemi Uygulama Sonuçları

Rüzgar enerjisi çevrim sistemi için önerilen hibrit güç filtresi düzenleyicisinin kısa devre, açık devre çalışma koşullarında deneysel çalışmaları laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Benzetim çalışmasında kullanılan rüzgar türbini modeli laboratuvar ortamında DA motoru kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, hibrit güç filtresi düzenleyicisi ve rüzgar enerjisi üretim sistemine ait fotoğraflar Şekil 8.26’da gösterilmektedir. Şekil 8.27’de laboratuvar ortamındaki deneysel düzeneğe ait genel görüntü verilmektedir. Laboratuvar ortamındaki deneysel çalışmada asenkron motor senkron hızın üstünde çalıştırılarak generatör durumunda çalıştırılmıştır. Rüzgar enerjisi çevrim sisteminde kullanılan asenkron motor, DA motoru, hibrit güç filtresi düzenleyicisi ve denetleyici parametreleri Tablo 8.2’de verilmiştir. Uygulamada örnekleme frekansı ve anahtarlama frekansı 5kHz olarak seçilmiştir.

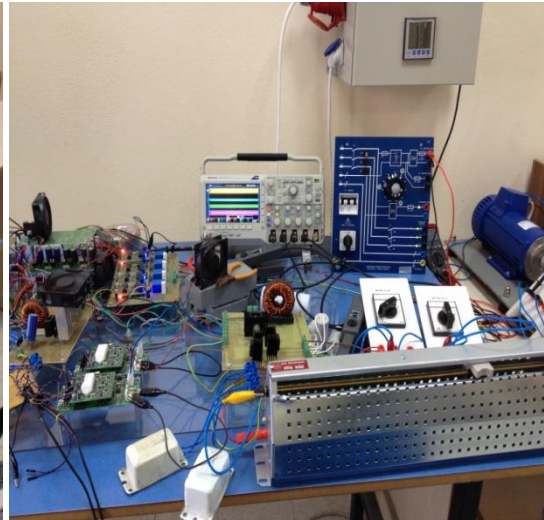
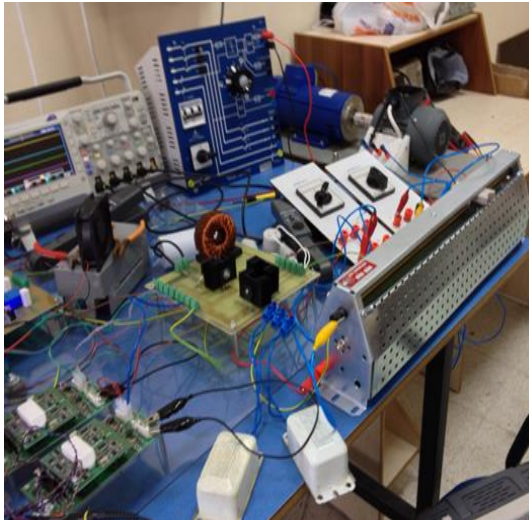


(a)



(b)

Şekil 8.26. Rüzgar enerjisi çevrim sistemi (a) hibrit güç filtresi düzenleyicisi (b) rüzgar emülatörü



Şekil 8.27. Rüzgar enerjisi çevrim sistemi deneysel düzeneği

Şekil 8.26'daki deneysel düzenedeki tanımlamalar,

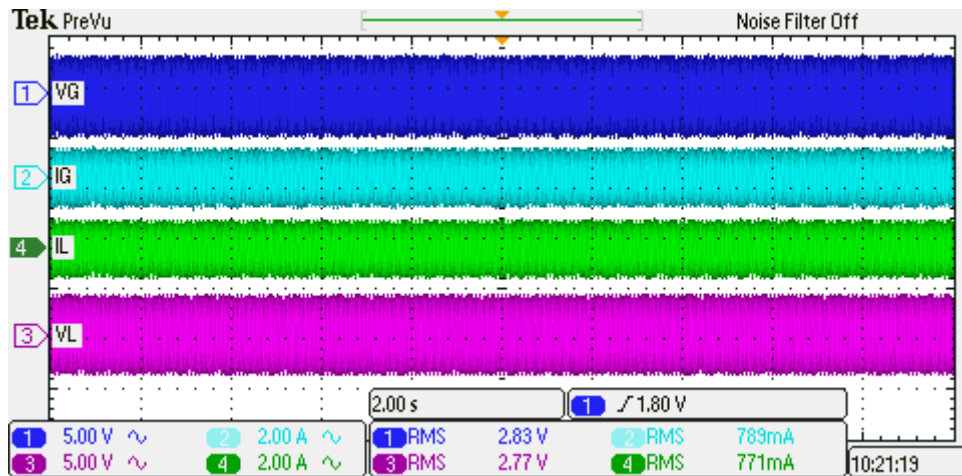
- a- C1 kondansatörü
- b- İletim hattı
- c- C2 ve C3 kondansatörleri
- d- S1 ve S2 anahtarları

şeklinde ifade edilir.

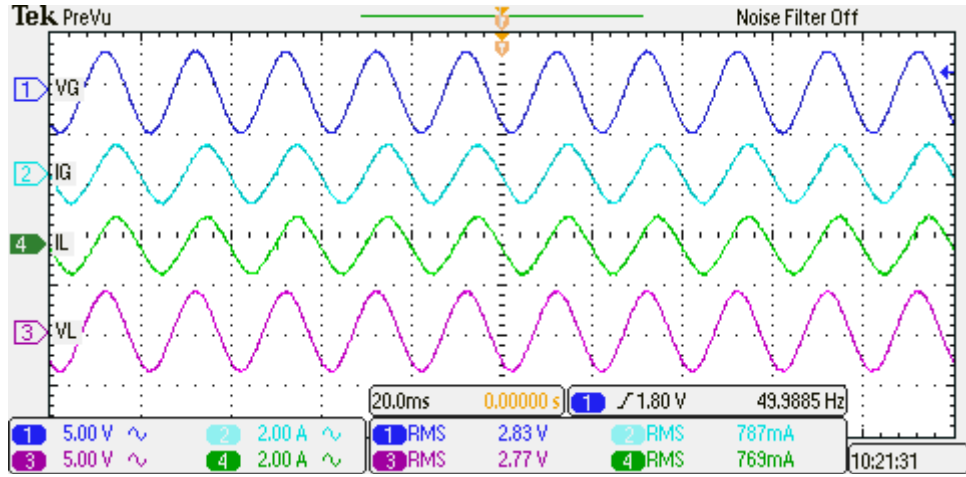
Tablo 8.2. Rüzgar enerjisi üretim sistemi uygulama devresi parametreleri

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Asenkron motor		C2	1,5 μ F
Nominal güç	370W	C3	1,5 μ F
Gerilim (faz-faz)	380V	İletim hattı parametreleri	
Akım	1,2A	Rs	0,3 Ω
Frekans	50Hz	Ls	2,78mH
Devir sayısı	1500d/dk	Yük parametreleri	
Cos ϕ	0,67	R	169 Ω
DA motoru		L	0,356H
Güç	1kW	Üç çevrim denetleyici parametreleri	
Devir sayısı	3000d/dk	K _p	0,00005
Gerilim	180V	K _i	0,0008
Akım	6A	K _d	0,0002
Kondansatör parametreleri		Gerilim çevrim katsayısı (γ_{VG})	1
Cs	18 μ F	Akım çevrim katsayısı (γ_{IG})	0,5
Cp	22 μ F	Güç çevrim katsayısı (K _G)	0,35
C1	80 μ F		

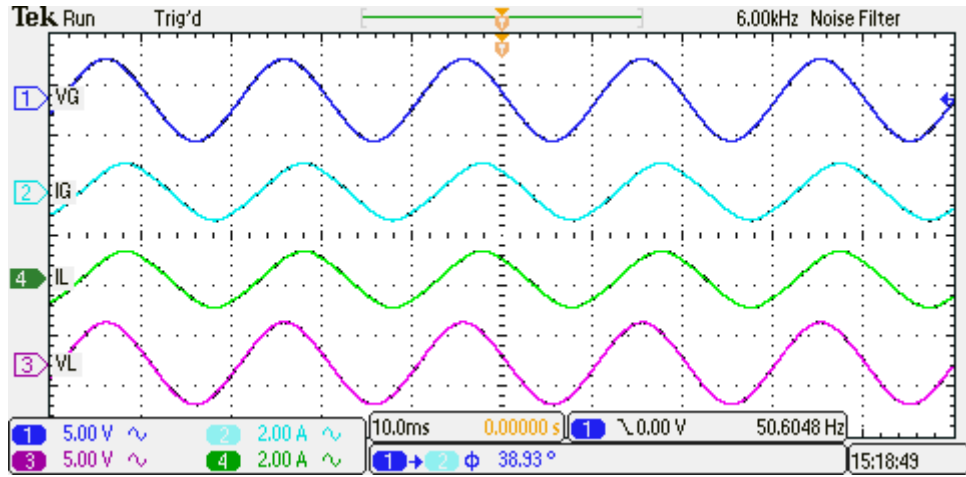
Rüzgar enerjisi çevrim sistemine ait benzetim sonuçları Bölüm 7.2’de açıklanmaktadır. Laboratuvar ortamında kurulan rüzgar enerjisi çevrim sisteminin HGFD’siz sabit rüzgar hızı altında elde edilen uygulama sonuçları Şekil 8.28’de, Şekil 8.29’de ise 20ms’lik örnekleme zamanı içerisinde elde edilen uygulama sonuçları gösterilmektedir. HGFD’siz sabit rüzgar hızı altında generatör ve yük baralarının akım, gerilim değişimleri, generatör barasının güç faktörü değeri Şekil 8.30’da verilmektedir. HGFD’siz sabit rüzgar hızı altında açık devre çalışma koşulunda elde edilen generatör ve yük barasına ait gerilim, akım uygulama sonuçları Şekil 8.31’de ve yakınlaştırılmış sonuçları ise Şekil 8.32’de gösterilmiştir.



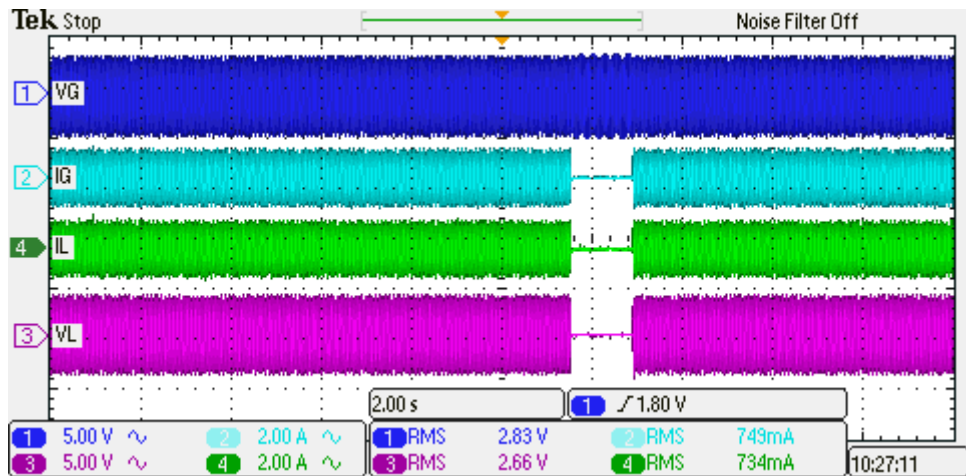
Şekil 8.28. Sabit rüzgar hızında HGFD’siz uygulama sonuçları



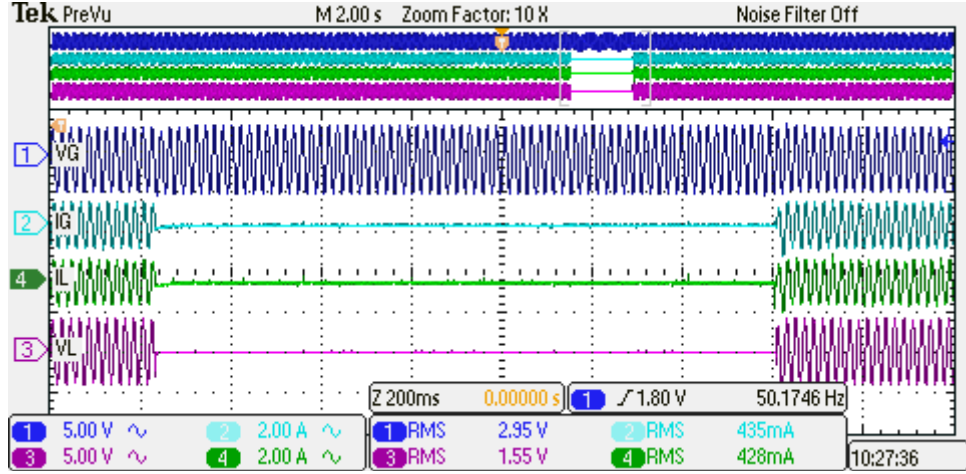
Şekil 8.29. Sabit rüzgar hızında HGFD'siz uygulama sonuçları (20ms örnekleme zamanı için)



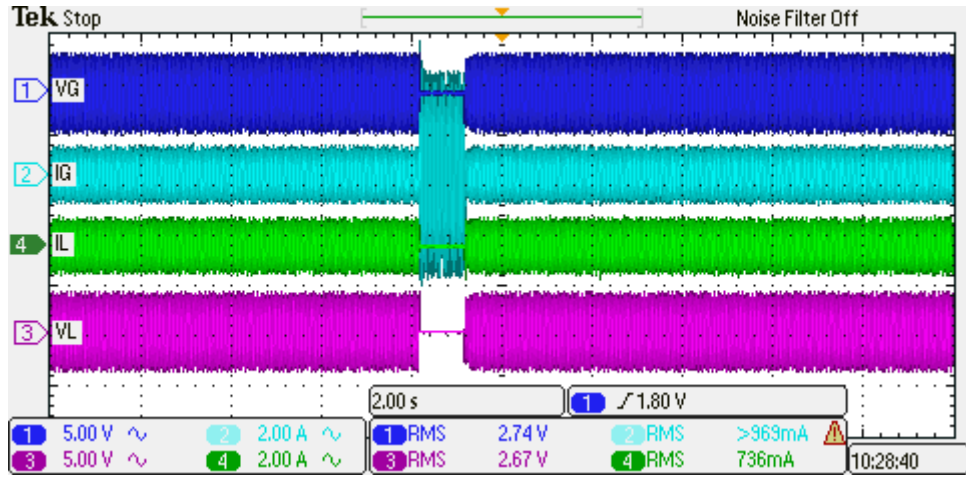
Şekil 8.30. HGFD'siz sabit rüzgar hızında generatör barasına ait güç faktörü uygulama sonuçları



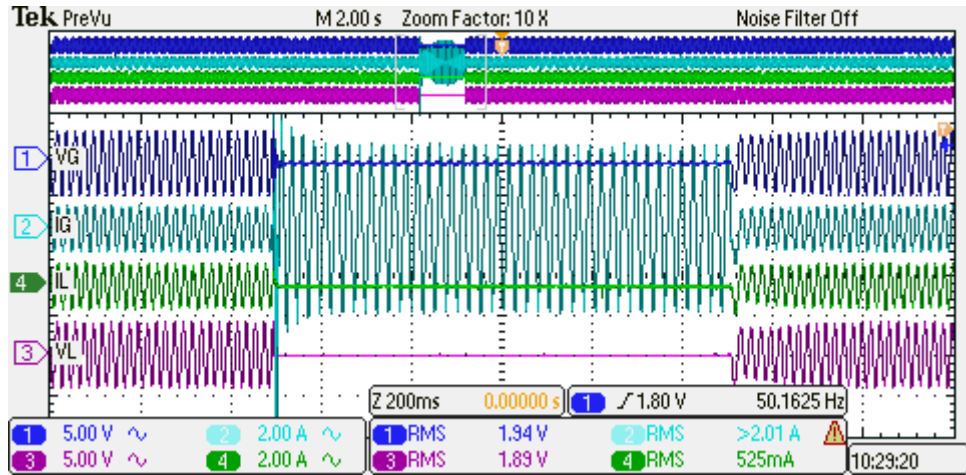
Şekil 8.31. Sabit rüzgar hızında açık devre çalışma koşulu için HGFD'siz uygulama sonuçları



Şekil 8.32. Sabit rüzgar hızında açık devre çalışma koşulu için HGFD'siz yakınlaştırılmış uygulama sonuçları

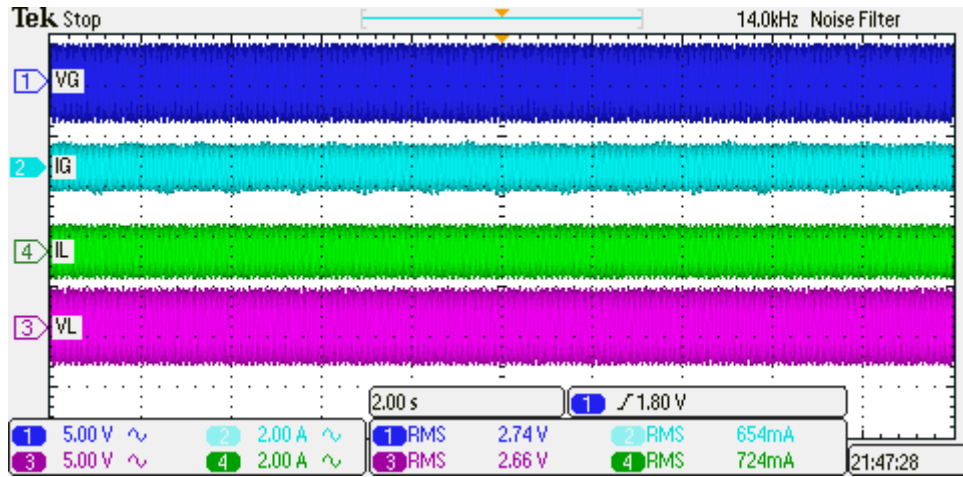


Şekil 8.33. Sabit rüzgar hızında kısa devre çalışma koşulu için HGFD'siz uygulama sonuçları

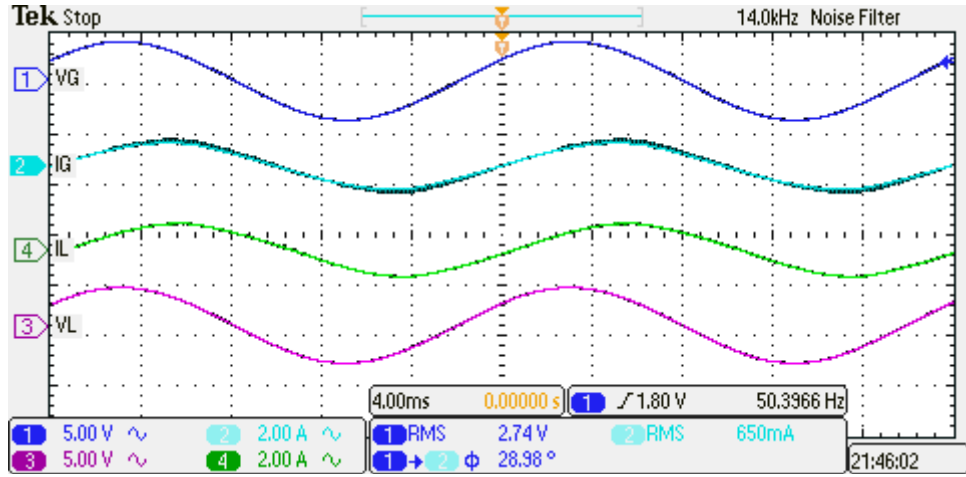


Şekil 8.34. Sabit rüzgar hızında kısa devre çalışma koşulu için HGFD'siz yakınlaştırılmış uygulama sonuçları

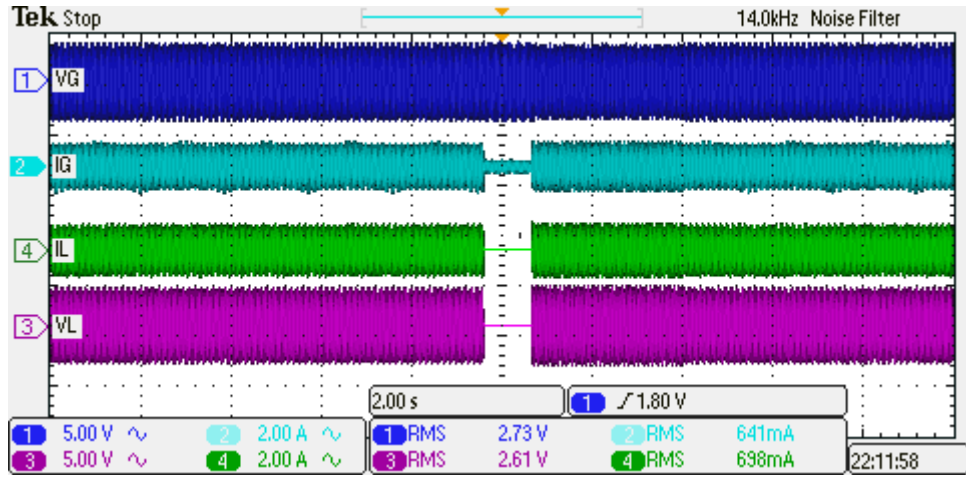
Şekil 8.33'te ise kısa devre çalışma koşulu için elde edilen generatör ve yük barasına ait gerilim, akım uygulama sonuçları, Şekil 8.34'te ise bu sonuçların yakınlaştırılmış durumları gösterilmektedir. Laboratuvar ortamında kurulan rüzgar enerjisi çevrim sisteminin HGFD'li sabit rüzgar hızı altında elde edilen uygulama sonuçları Şekil 8.35'te, generatör ve yük baralarının akım, gerilim değişimleri, generatör barasının güç faktörü değeri Şekil 8.36'da gösterilmektedir. HGFD'li sabit rüzgar hızı altında açık devre çalışma koşulunda elde edilen generatör ve yük barasına ait gerilim, akım uygulama sonuçları Şekil 8.37'de ve yakınlaştırılmış sonuçları ise Şekil 8.38'de gösterilmiştir. Şekil 8.39'da ise kısa devre çalışma koşulu için elde edilen generatör ve yük barasına ait gerilim, akım uygulama sonuçları, Şekil 8.40'de ise bu sonuçların yakınlaştırılmış durumları gösterilmektedir. Şekil 8.41'de ise anahtarlama elemanlarına giden anahtarlama sinyali gösterilmektedir. Önerilen HGFD ve kontrol algoritması generatör barasındaki gerilimi istenilen taban değerine getirmeye çalışması, güç faktörünü düzeltmesi ve yük barasına iletilen gücün verimini arttırdığı sabit rüzgar hızı, açık devre ve kısa devre koşulları altına alınan uygulama sonuçlarında gösterilmiştir. Elde edilen uygulama sonuçlarının benzetim sonuçlarına uygunluğu görülmüştür.



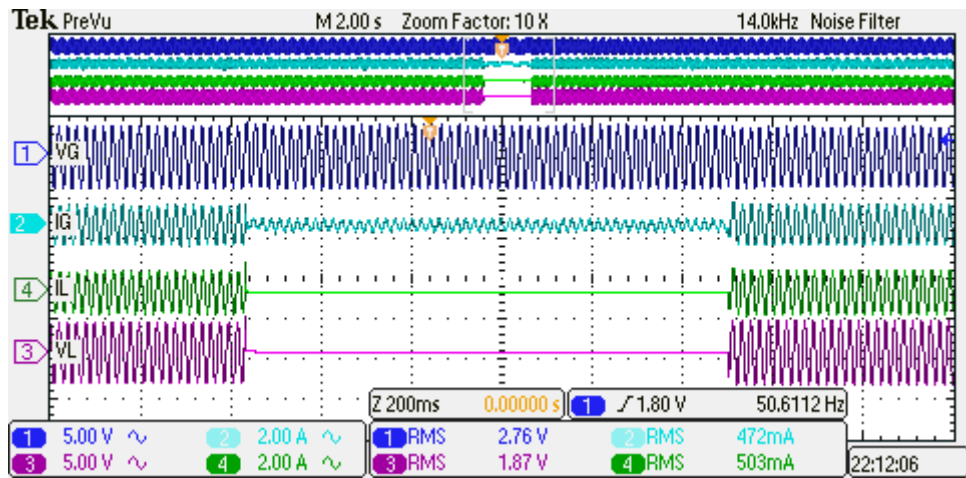
Şekil 8.35. Sabit rüzgar hızı altında HGFD'li uygulama sonuçları



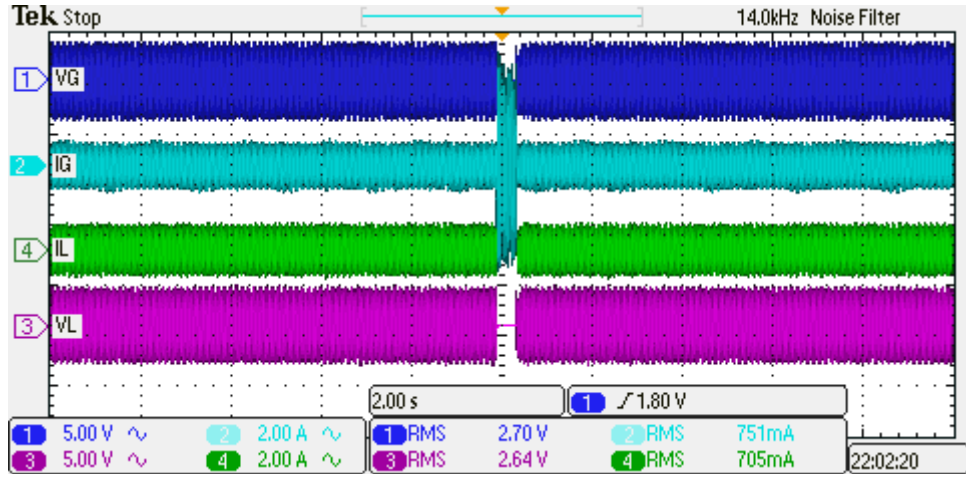
Şekil 8.36. HGFD’li sabit rüzgar hızında generatör barasına ait güç faktörü uygulama sonuçları



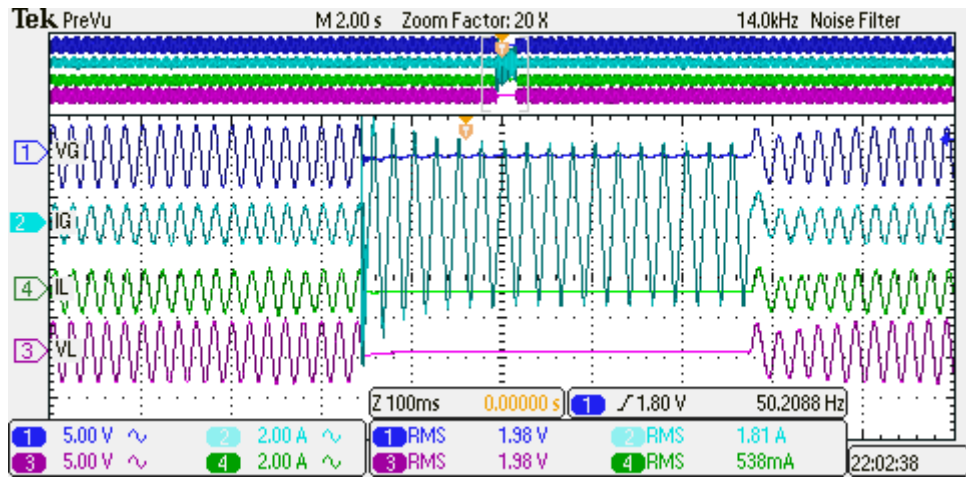
Şekil 8.37. Sabit rüzgar hızında açık devre çalışma koşulu için HGFD’li uygulama sonuçları



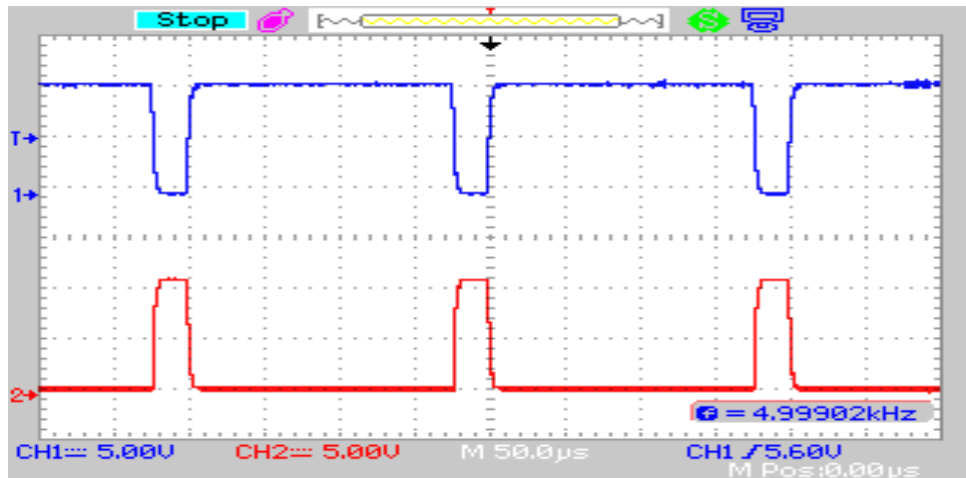
Şekil 8.38. Sabit rüzgar hızında açık devre çalışma koşulu için HGFD’li yakınlaştırılmış uygulama sonuçları



Şekil 8.39. Sabit rüzgar hızında kısa devre çalışma koşulu için HGFD’li uygulama sonuçları



Şekil 8.40. Sabit rüzgar hızında kısa devre çalışma koşulu için HGFD’li yakınlştırılmış uygulama sonuçları

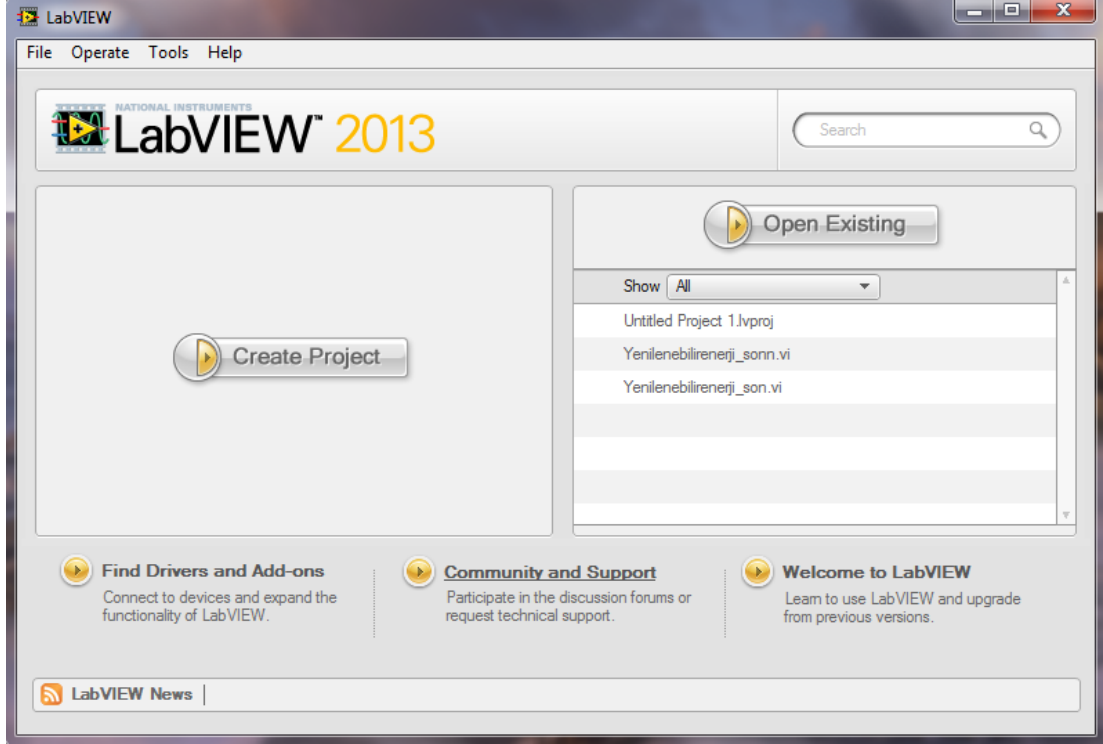


Şekil 8.41. Anahtarlama sinyali

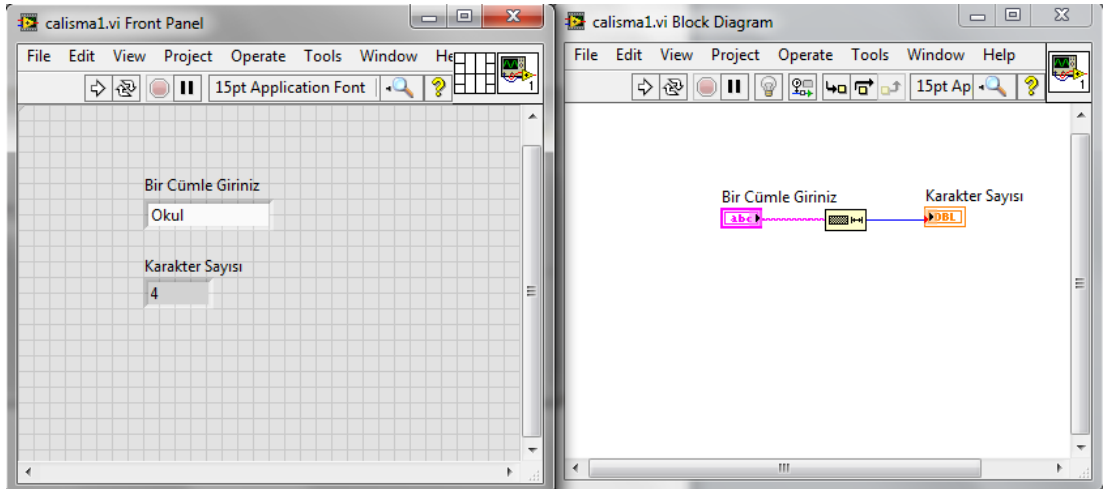
8.3. İnternet Tabanlı Enerji İzleme Sistemi

8.3.1. LabVIEW programının hazırlanması

LabVIEW, endüstriyel ve bilimsel projeler için verilerin toplanması, analizi ve sunumunda, kullanılabilecek grafik tabanlı program geliştirme ortamı olarak tanımlanmaktadır. İstenilen yazılımın hazırlanması için ihtiyaç duyulabilecek her tip fonksiyon LabVIEW programında hazır olarak kullanıcıya sunulmakta olup, yazılımın geliştirilmesi için harcanan zaman, diğer programlara oranla önemli ölçüde azaltılmaktadır. Kullanıcı LabVIEW programı başlattığında başlangıç menüsü ile karşılaşmaktadır. Sanal enstrüman, yeni bir proje veya hazır şablonlar kullanılarak program hazırlama gibi seçenekler başlangıç menüsü üzerinde kullanıcıya LabVIEW tarafından sunulmaktadır. Ayrıca, kullanıcının çalıştığı son dosyalar başlangıç menüsünde hazır olarak bulunduğu için son çalışılan dosyaya ulaşımı kolaylaştırmaktır. LabVIEW programının karşılama menüsü Şekil 8.42’de görülmektedir. Kullanıcı başlangıç menüsünden yeni bir sanal enstrüman oluşturmak için ön panel ve blok diyagramlarını kullanmaktadır [158,159]. Genel olarak bu iki ana ekrandan oluşan ön panel ve blok diyagram görüntüleri Şekil 8.43’te gösterilmiştir.



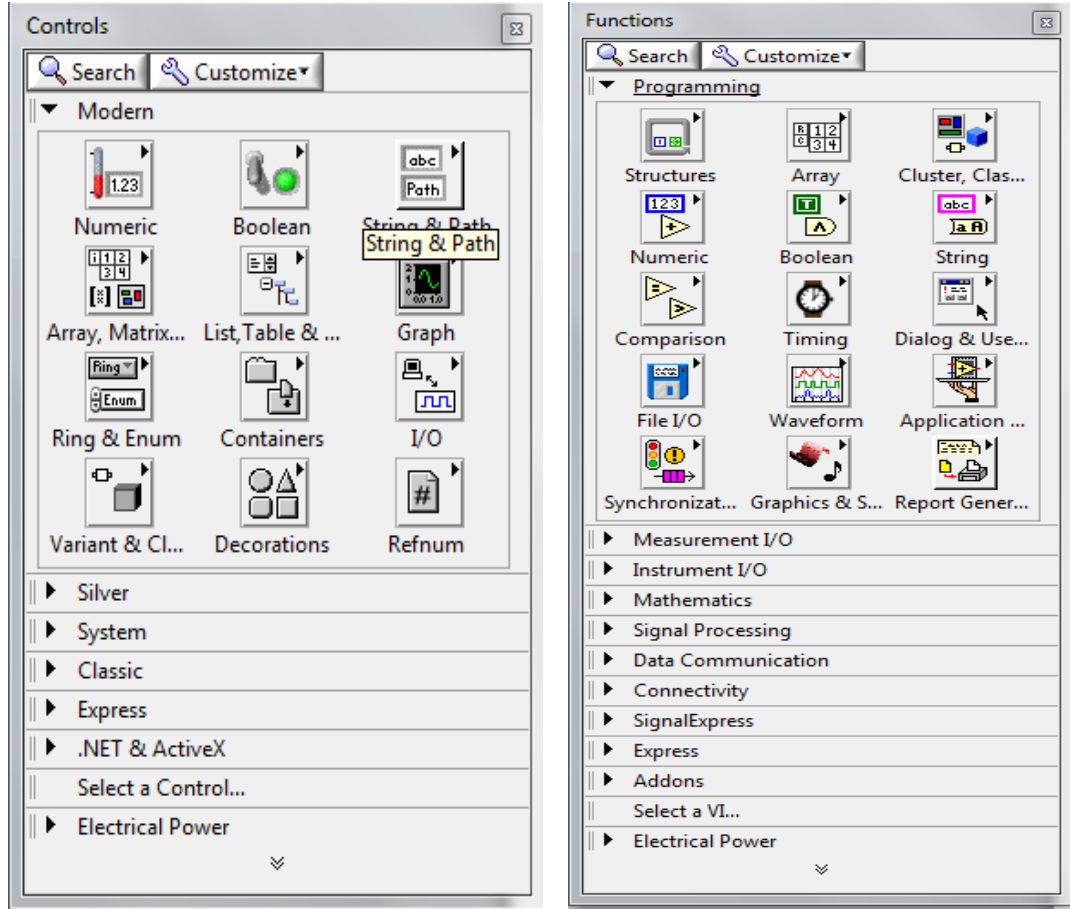
Şekil 8.42. LabVIEW başlangıç menüsü



Şekil 8.43. Ön panel ve blok diyagram

Bünyesinde bulundurduğu hazır fonksiyonları ile modüler bir yapıya sahip olup, yazılım hazırlanırken iki panel kullanılmaktadır. Ön panelde, kullanıcı araç setleri ve hazır öğelerden yararlanarak geliştirmek istediği yazılımı kontrol paleti yardımıyla kolayca oluşturabilir. Programın akış diyagramının oluşturulduğu ve kod yazıldığı blok diyagramı fonksiyon paleti vasıtası ile hazırlanır. Bu iki panel, klasik programlama dillerinden farklı olarak paralel veri akışı ile birçok uygulamada hızlı

işlem görme yeteneğine sahip olmaktadır. Şekil 8.44'te kontrol ve fonksiyon paletleri gösterilmektedir.



(a)

(b)

Şekil 8.44. Labview (a) kontrol paleti (b) fonksiyon paleti

Araç paleti ön panel ve blok diyagramda ortak kullanılan başka bir palettir. Buradaki araçlar fare işaretçisinin özel işlem biçimi olup, araç paletinden seçilen ikona dönüşmektedir. Bu araç paletindeki işlemler vasıtası ile blok diyagramındaki ve ön paneldeki nesnelerin düzenlenmesi ve işletilmesi yapılır. Araç paletinin en üstündeki yeşil led yandığında LabVIEW'de kullanıcının ihtiyacı olan aracı otomatik olarak seçmektedir. Araç paletinin görünümü Şekil 8.45'te görülmektedir.

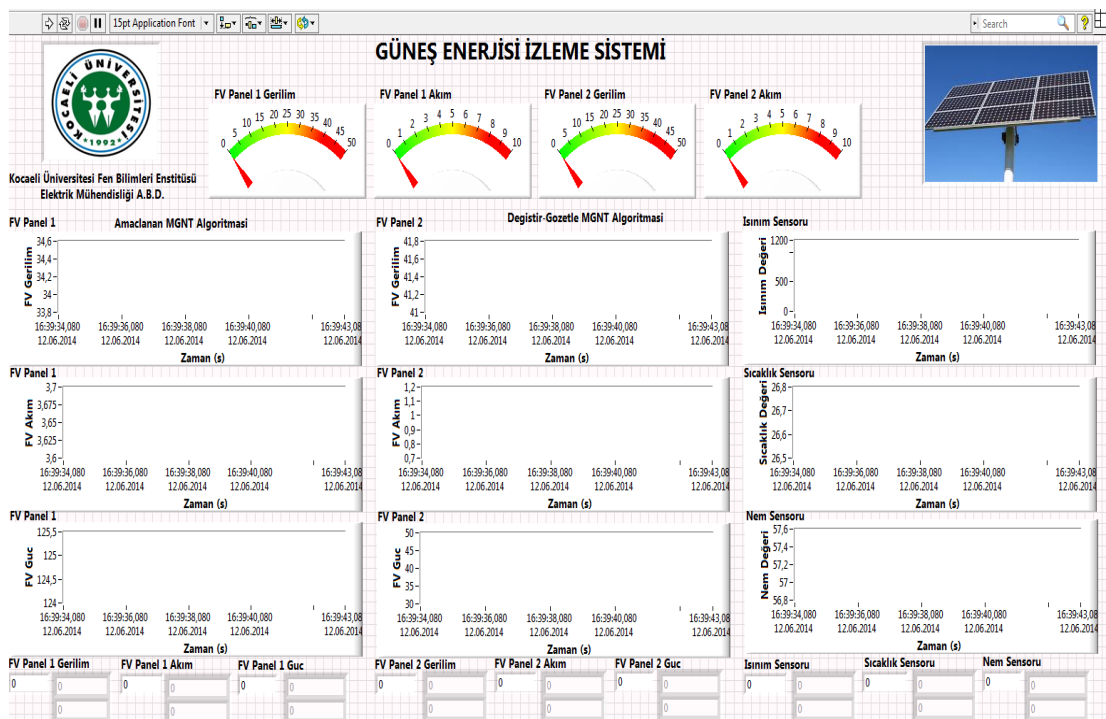
8.3.2. Sanal enstrümantasyon

LabVIEW' de bir araç seti ve nesneler ile oluşturulan kullanıcı arabirimi ön panel olarak isimlendirilmekte olup, ön paneldeki nesnelerin fonksiyonlarını kontrol edebilmek için kod yazma grafiksel blok diyagramı kullanılır.



Şekil 8.45. Araç paleti

Başka bir deyişle blok diyagram akış şemalarına benzemekte ve programlama veri akışı yapısına dayanmaktadır. LabVIEW programları görünüş ve çalışma şekli ile laboratuvarlarda kullanılan osiloskop, sinyal jeneratörü gibi fiziksel enstrümanlara benzediği için sanal enstrüman (virtual instruments-VIs) veya VI olarak adlandırılmaktadır. Her VI kullanıcı arabiriminden veya başka kaynaklardan gelen bilgileri kullanabilir ve bu bilgileri görüntüleyebilir veya başka dosyalara ve bilgisayarlara taşıyabilir [160]. Şekil 8.46’da hazırlanan sanal enstrümanın ön panel görüntüsü verilmiştir.



Şekil 8.46. LabVIEW ile hazırlanan sanal enstrüman

Bir sanal enstrüman şu üç bileşeni içermektedir [160]:

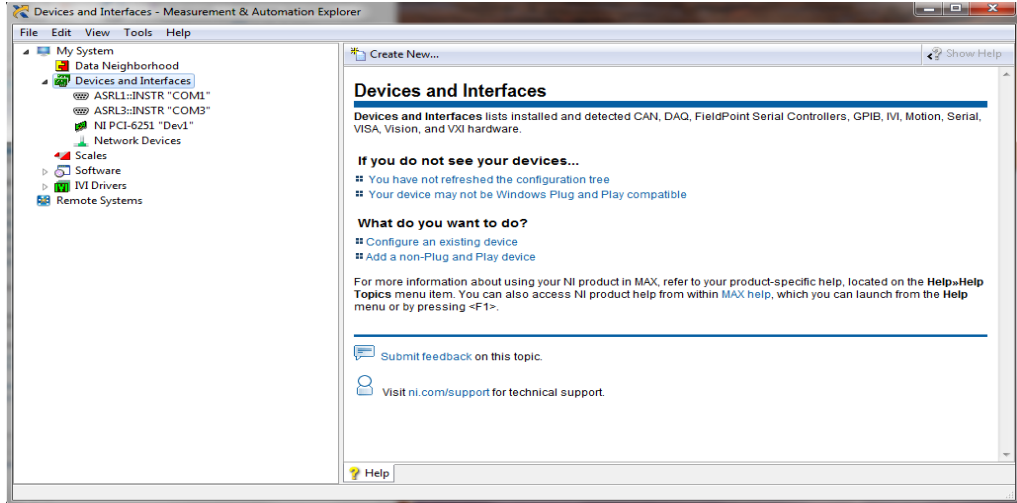
- Ön panel: Kullanıcı arabirimi olarak hizmet eder.
- Blok Diyagram: VI'nin fonksiyonunu tanımlayan grafiksel kaynak kodlarını içerir.
- İkon ve bağlantı penceresi: Bir VI içinde kullanılabilen diğer VI'ları tanımlar.

8.3.3. LabVIEW ile veri toplama

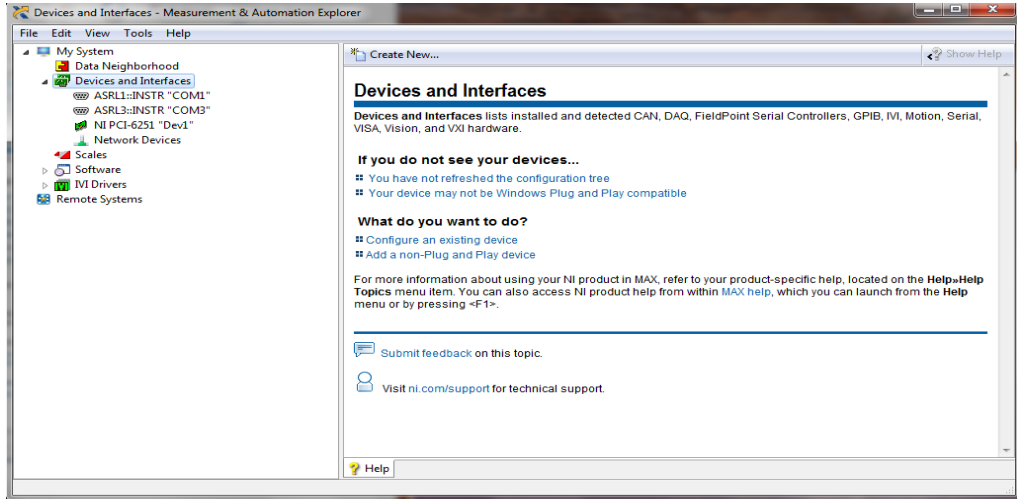
Gerçek dünyadaki fiziksel büyüklükleri ölçmek veya üretmek bütün ölçü sistemlerinin anal görevidir. Ölçme aygıtları, ölçülmek istenilen verileri elde etme ve analiz etmede veya görüntülemelerde yardımcı olurlar. İstenilen veri elde edilirken ölçülen fiziksel büyüklükler sayısal formatta; gerilim, akım, basınç, sıcaklık gibi büyüklüklere çevrilerek bilgisayara aktarılır. DAQ(Data AcQuisition), GPIB (General Purpose Interface Bus), PXI(PCI eXtention for Instrumentation) ve RS-232 aygıtları veri elde etmede en çok kullanılan yöntemlerdir.

8.3.4. DAQmx fonksiyonu

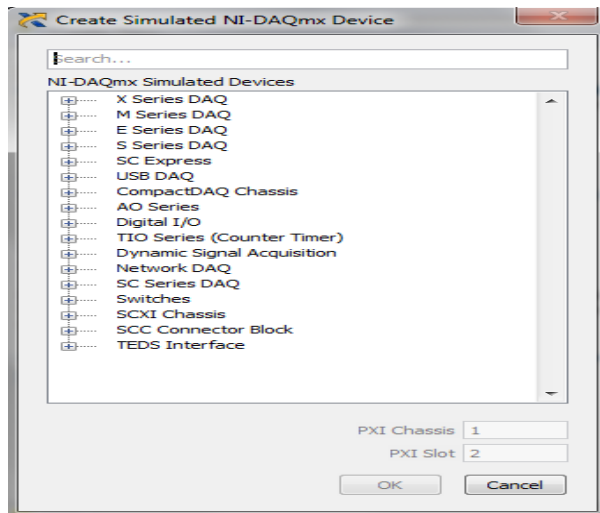
LabVIEW programında veri toplama işleminin gerçekleştirildiği fonksiyon olup, bu fonksiyonun etkin olabilmesi için sistemde bir DAQ kartı bulunması gerekmektedir. DAQ kartı olamadan bu fonksiyonlar çalıştırılmak istenirse Şekil 8.47'de görüldüğü üzere “national instrument measurement and automation” programından “configuration” penceresi açılır oradan da “create new” komutu ile sanal bir DAQ kartı sisteme tanıtılabilir.



(a)

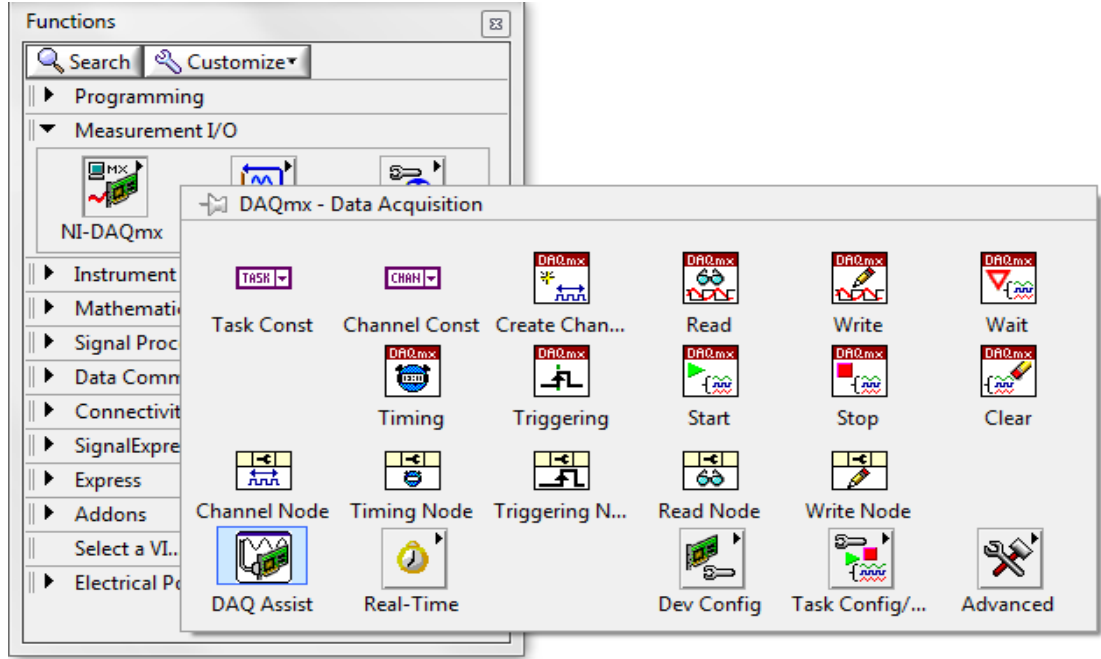


(b)

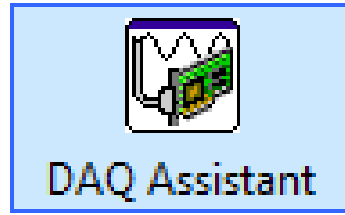


(c)

Şekil 8.47. Sisteme sanal DAQ kartı tanıma işlemi (a) ölçüm penceresi (b) NI-DAQmx cihaz menüsü seçimi (c) istenilen DAQ cihazının listeden seçilmesi

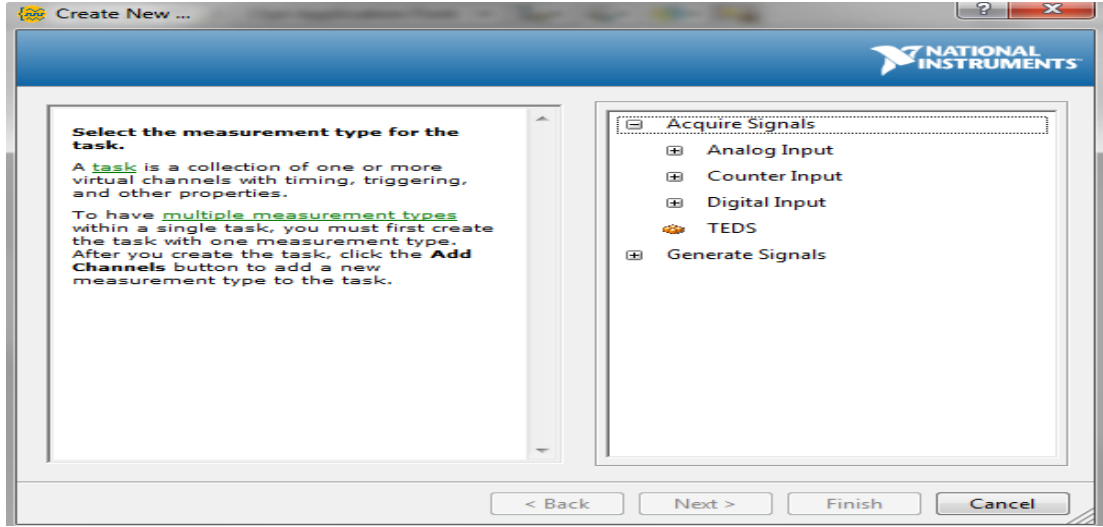


Şekil 8.48. DAQmx fonksiyonunun seçilmesi

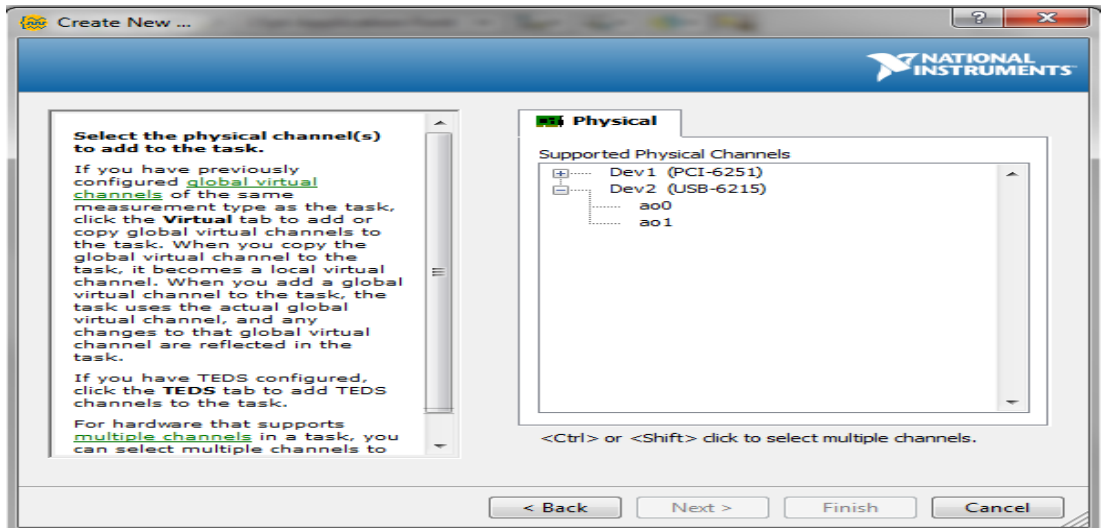


Şekil 8.49. DAQ asistan

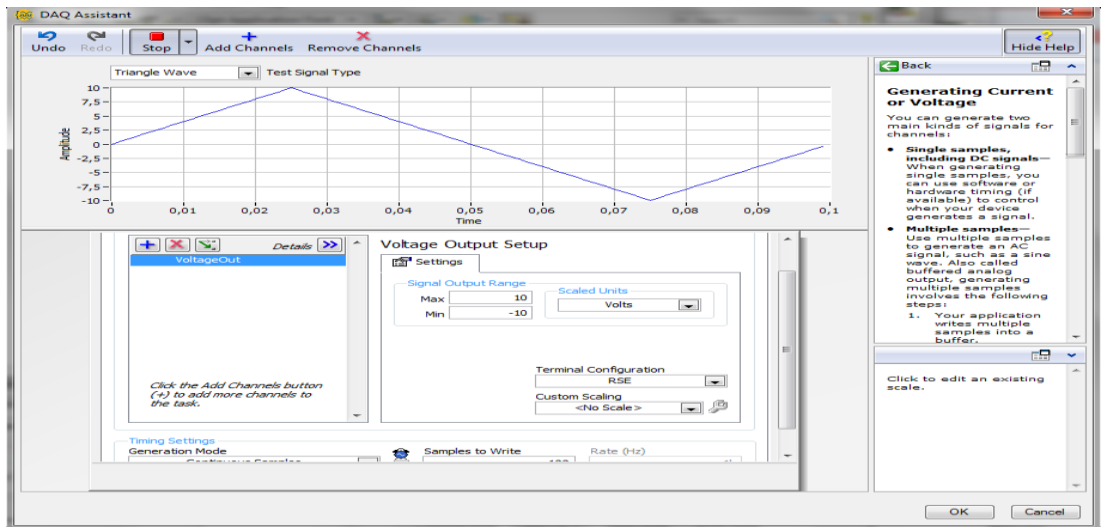
Sistemde gerekli DAQ kartı ayarlamaları yapıldıktan sonra DAQmx fonksiyonlarının bulunduğu kütüphane Şekil 8.48’de, Şekil 8.49’da DAQ asistanı gösterilmiştir. Şekil 8.49’daki seçilen DAQ asistanının giriş ve çıkış sinyalleri için gerekli ayarlamalar Şekil 8.50 ve Şekil 8.51’deki gibi yapılır. Sistemde işlenecek sinyalin özelliklerinin belirlenmesi Şekil 8.52’de gösterilmektedir.



Şekil 8.50. DAQ cihazı analog ve dijital sinyal giriş ve çıkış sinyal seçimi



Şekil 8.51. Bağlantı girişi veya çıkışı seçilmesi



Şekil 8.52. Sistemde işlenecek sinyallerin özelliklerinin belirlenmesi

8.3.5. NI-PCI 6251 veri toplama kartı

National Instruments Firmasının Ağustos 2004'te piyasaya sürdüğü M serisi Multifunction DAQ kartları E serisi kartlardan daha fazla performans, daha yüksek hassasiyet, daha çok analog ve dijital giriş, çıkış imkanı sunmaktadır. Bütün M serisi kartlar minimum 16 bit çözünürlükte 16 giriş kanalına sahip olup, minimum 24 dijital giriş-çıkış, kanal başına yedi adet programlanabilir ($\pm 100\text{mv}$, $\pm 10\text{V}$) sinyal giriş aralığı, analog, dijital tetikleme ve 2 adet sayıcı/zamanlayıcı, 2 adet analog çıkış özelliklerine sahiptirler. M serisi yüksek hassasiyetli kartlar aygıt test ve karakterizasyonu içeren, sensörler ve ölçümler için enstrüman sınıfı hassasiyet gerektiren uygulamalarda kullanılırlar. Şekil 8.53'te NI-PCI 6251 DAQ kartı gösterilmektedir.

Bu kartın özellikleri analog giriş, analog çıkış ve dijital giriş-çıkış durumlarına göre incelendiğinde [161];

Analog giriş için:

- 8 farksal veya 16 tek uçlu kanala sahiptir.
- 16 bit analog dijital çevirici çözünürlüğü vardır.
- Örnekleme oranı tek kanal için 1.25MS/s, çoklu kanal için 1.00MS/s'dir.
- DA giriş kuplajı yapılmalıdır.



Şekil 8.53. NI-PCI 6251 DAQ kartı

- Giriş sinyali aralıkları $\pm 10V$, $\pm 5V$, $\pm 2V$, $\pm 1V$, $\pm 0,5V$, $\pm 0,2 V$, $\pm 0,1V$
- Analog giriş için maksimum giriş gerilimi $\pm 11V$ 'tur.
- 60Hz de ortak işareti bastırma oranı 100dB'dir.
- Giriş empedansı; kart çalışırken pozitif ve negatif giriş sinyalleri için 10 $G\Omega$ dan daha büyüktür. Kartın çalışmadığı durumlarda ise pozitif ve negatif giriş sinyalleri için 820 Ω dur.
- Giriş kutuplama akımı $\pm 100pA$ 'dır.
- 100KHz'de sinyal karışmaları: yakın kanallar için -75dB, uzak kanallar için -90dB'dir.
- Aşırı gerilim koruması cihaz aktifken $\pm 25V$ cihaz pasif durumdayken $\pm 15V$ 'tur.
- Aşırı gerilim durumunda giriş akımı $\pm 20mA$ 'dır.
- Küçük sinyal bant genişliği (-3dB) 1,7MHz dir.

Analog çıkış için;

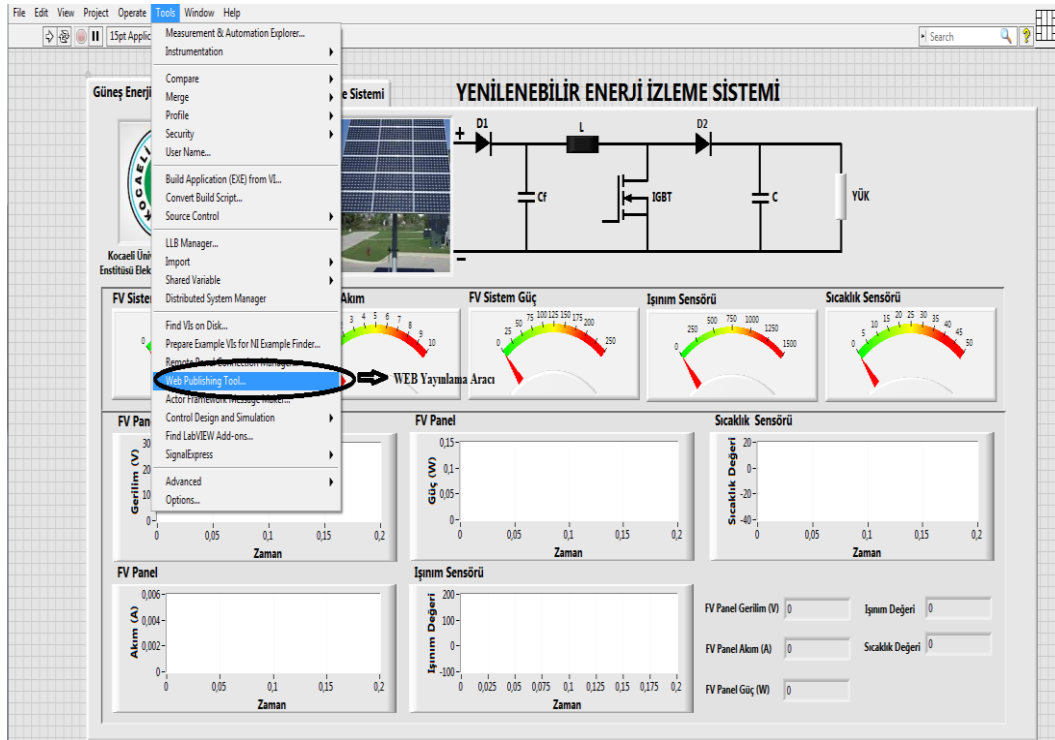
- İki çıkış kanalına sahiptir.
- Dijital analog çevirici çözünürlüğü 16 bit'tir.
- Maksimum yenileme zamanı 1 kanal için kanal başına 2,86MS/s, 2 kanal için kanal başına 2,00MS/s, 3 kanal için kanal başına 1,54MS/s, 4 kanal için kanal başına 1,25MS/s'dir.
- Çıkış çözünürlüğü 50ns'dir.
- Çıkış gerilim aralığı $\pm 10V$, $\pm 5V$ 'tur.
- Çıkış empedansı 0,2 Ω 'dur.
- Yerleşme hızı 20V/ μs dur

Dijital giriş-çıkış için;

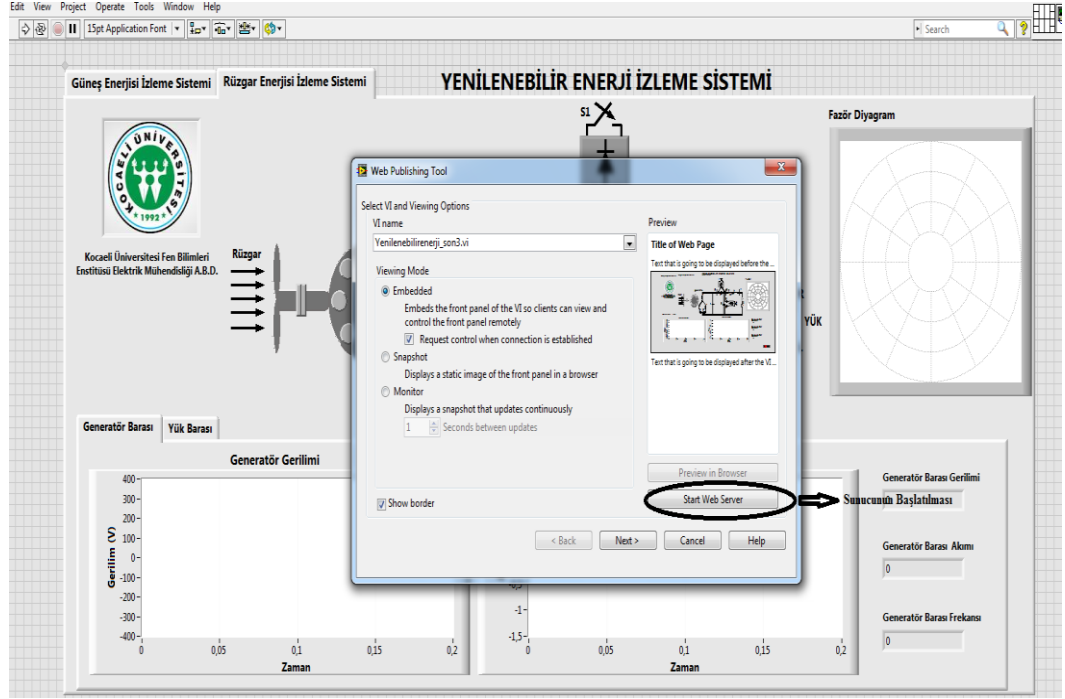
- Lojik 1 seviyesi 2,2V ile 5,25V arasındadır.
- Lojik 0 seviyesi 0V ile 0,8V arasındadır.
- Çıkış akımı seçilen uçlara göre 16mA ile 24mA arasındadır.
- 2 adet sayıcı ve zamanlayıcısı vardır.
- Çözünürlüğü 32 bit'tir.
- Dahili saat pulsı 80MHz, 20MHz, 0,1MHz olarak seçilebilir.

8.3.6. İnternet tabanlı erişim arayüzü

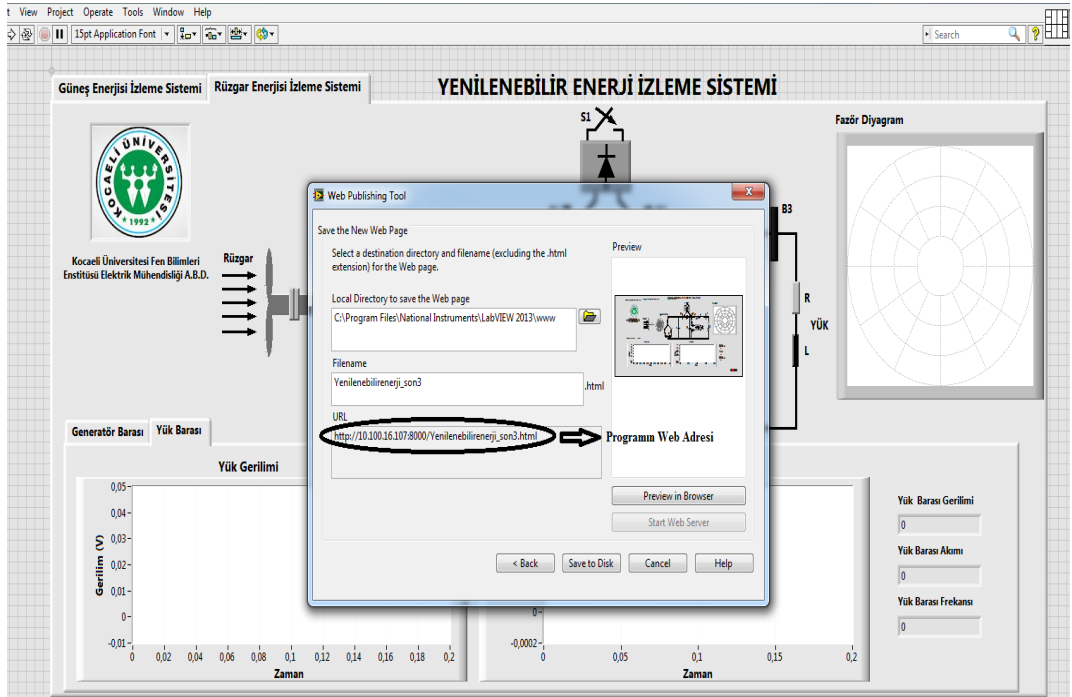
Uzaktan erişim için LabVIEW programına ait “Web Publishing Tool” aracından yararlanılır. LabVIEW programının araç menüsünde yer alan “Tools” menüsüne girilerek “Web Publishing Tool” aracı seçilmesine ait ekran görünümü Şekil 8.54’te gösterilmektedir. Bu araç seçildiğinde kullanıcı Şekil 8.55’te gösterilen ekran ile karşılaşmakta olup, burada gerekli ayarları yaparak “Start Server” butonuna tıkladığında kişisel bilgisayar üzerinde bulunan LabVIEW Server uygulamasını çalıştırmış olur. Kullanıcıya ait yerel kullanımda olan kişisel bilgisayar sunucu özelliği kazanarak uzaktan erişime açılır. Hazırlanan yenilenebilir enerji izleme sistemi programının web adresi bir sonraki ekranda “Save to Disk” butonuna basılarak elde edilirken, ekrana ait görünüm Şekil 8.56’da gösterilmektedir. Böylece, kullanılan “Web Publishing Tool” aracı yardımıyla hazırlanan yazılıma uzaktan erişim özelliği kazandırılır. Uzaktan sisteme bağlanmak isteyen kullanıcı internet tarayıcı programının adres çubuğuna hazırlanan yazılımın web adresini yazarak sisteme ulaşabilmektedir [158].



Şekil 8.54. Web yayınlama aracı

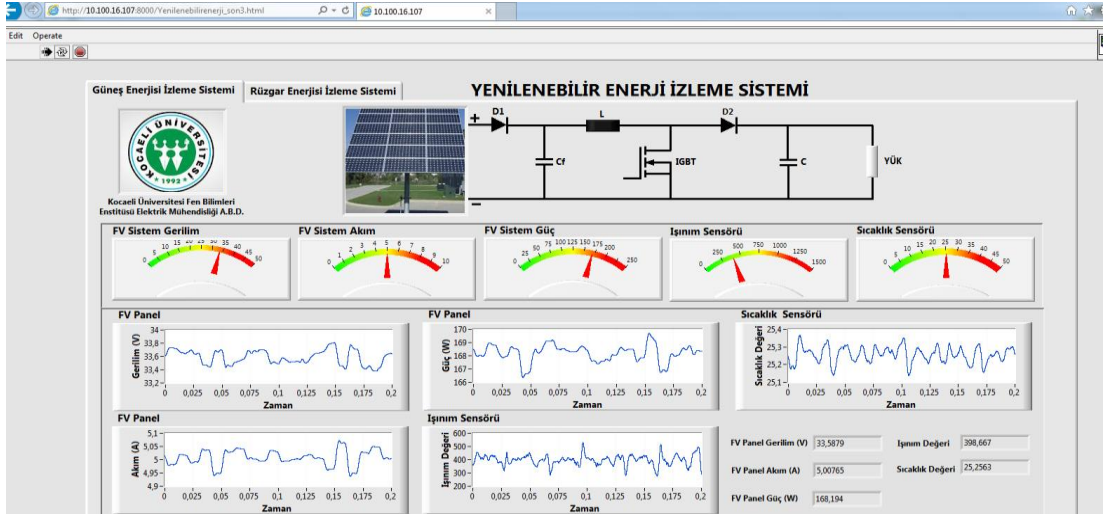


Şekil 8.55. LabVIEW sunucunun başlatılması

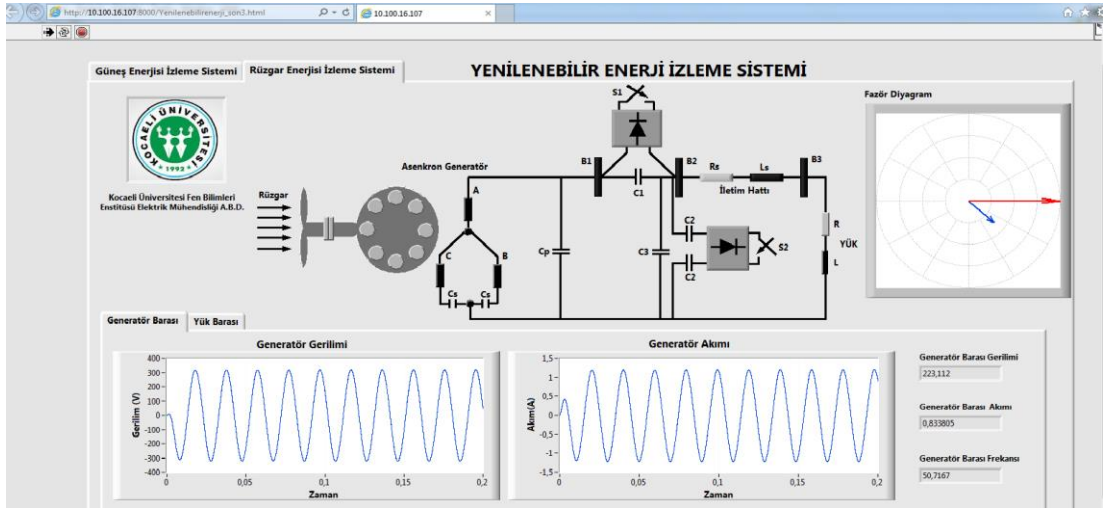


Şekil 8.56. Programın web adresi

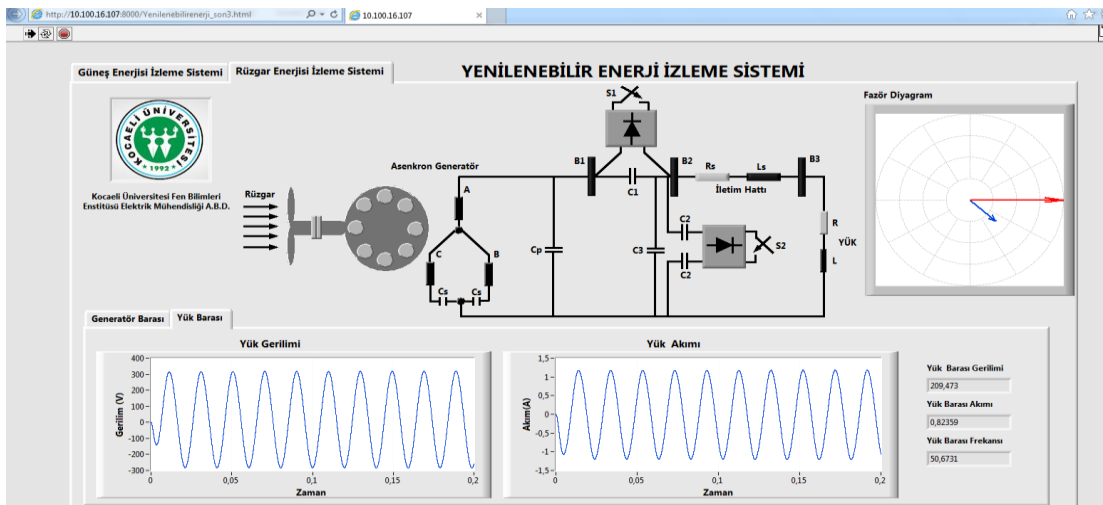
İnternet üzerinden geliştirilen sisteme bağlanabilmek için istemci bilgisayar üzerinde internet tarayıcı programının bulunması gerekmektedir. Sunucu bilgisayar üzerindeki yazılımın uzaktan çalıştırılabilmesi için ActiveX uygulaması istemci bilgisayarda yüklü olması gerekmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 8.57. Kullanıcı bilgisayar üzerinde hazırlanan program görüntüsü

İnternet bağlantısına sahip istemci bilgisayarda bu uygulama otomatik olarak sisteme ilk bağlanılmak istendiğinde bilgisayara yüklenmektedir. Hazırlanan yazılım sunucu bilgisayar üzerinden çalıştırıldığından tüm kontroller bu bilgisayardan yapılmaktadır [158]. Her hangi bir bilgisayardan sisteme bağlanmak isteyen kullanıcı bilgisayar üzerindeki internet tarayıcı programını çalıştırıp adres çubuğuna sunucu bilgisayar üzerinde hazırlanan yazılımın web adresini yazdığında Şekil 8.57’de görülen ekran kullanıcı bilgisayarında görüntülenecektir.

Kullanıcı, Şekil 8.57 (a), (b) ve (c)’de görülen programda izlemek istediği görüntüler arasında geçişi gerçek zamanlı olarak yapabilmekte, ölçüm noktalarından alınan bilgileri izleyebilmekte ve programı kontrol edebilmektedir. Şekil 8.57 (a)’da kullanıcı sunucu bilgisayar üzerinden sisteme bağlandığında güneş enerjisi sisteminin anlık olarak ürettiği akım, gerilim ve güç bilgilerinin yanı sıra sıcaklık ve güneş ışınım şiddetinin bilgilerini de internet üzerinden izleyebilmektedir. Şekil 8.57 (b) ve (c)’de ise rüzgar enerjisi üretim sisteminin generatör ve yük baralarının akım, gerilim bilgileri, sistemin frekansı ve fazör diyagramları internet üzerinden gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Güneş ve rüzgar enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en çok kullanılan enerji kaynaklarıdır. Bu enerji kaynaklarından güneş enerjisinde kullanılan FV paneller değişen çevresel şartlara göre üretebilecekleri akım ve gerilim değerleri doğrusal olmayan bir şekilde değişmektedir. Bu durum göz önünde bulundurularak, güneş enerjisi sistemlerinin modellenmesi, benzetimi ve analizinin yapılabilmesi amacıyla Matlab/GUI programı kullanılarak güneş enerjisi sanal laboratuvarı isimli yazılım geliştirilmiştir.

Bu yazılımda aşağıdaki işlemler yapılabilmektedir;

- Katalog bilgilerine göre FV pillerin farklı analitik yaklaşımlar ile karakteristiklerinin incelenmesi.
- FV sistemlerde kullanılan geleneksel değiştir gözetle, artan iletkenlik MGNT algoritmalarının ayrı ayrı ve karşılaştırmalı analizlerinin yapılması.
- FV panellerin kısmi gölgeli koşullar altında karakteristiklerinin incelenmesi.
- Şebekeden bağımsız FV sistemin, hem MGNT algoritmalı hem de MGNT algoritmasız olarak AA yüklerini beslediği sistemin incelenmesi.

Bu tez çalışması kapsamında, 2010 yılında [1] Mirjalili ve Hashim tarafından hibrit bir optimizasyon algoritması haline getirilen YAA ve PSO algoritması, bulanık mantığa dayalı hibrit PSO-YAA algoritması haline getirilmiştir.

Değişen çevresel koşullara göre FV panellerin maksimum güç noktasında çalıştırılması için, bulanık mantığa dayalı hibrit PSO-YAA optimizasyonu kullanılarak etkinlik fonksiyonları belirlenen YSA tabanlı bir MGNT algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen MGNT algoritmasının modellenmesi, benzetimi, uygulaması ve geleneksel değiştir gözetle algoritması ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Önerilen MGNT algoritması, şebekeden bağımsız sistemde, hem çeşitli atmosfer hem de farklı yük koşulları altında benzetim çalışmaları yapılarak performansı incelenmiştir. Geliştirilen MGNT algoritması ve değiştir gözetle algoritmasının laboratuvar ortamında uygulama çalışmaları aynı çevresel koşullar altında yapılarak

performansları test edilmiş olup, elde edilen deneysel sonuçlara göre önerilen MGNT algoritması benzetim çalışmalarında olduğu gibi maksimum güç noktası etrafında oluşan salınımları değiştir gözetle algoritmasına nazaran en az seviyeye düşürdüğü görülmüştür.

Geliştirilen optimizasyon algoritması tarafından eğitilmiş YSA'ya dayalı MGNT algoritmasının laboratuvar ortamında hazırlanan deneysel düzenekte uygulanabilirliği gösterilmiştir.

Bu tez çalışması içerisinde, rüzgar türbininden enerji elde etme konusu üzerine çalışılmıştır. Bu çalışmada üç fazlı asenkron generatör ile tek fazlı yük beslenmiş olup, üretilen enerjinin tek fazlı yüklere aktarılması sırasında enerjinin temiz ve gerilimin istenilen düzeyde olması amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda, üç çevrimli hata toplayıcısı ve hibrit güç filtresi düzenleyicisi tekniğinin kullanımı önerilmiştir.

Bu teknik ile generatör barasındaki gerilimin sabit kalması ve güç faktörünün düzeltilmesi sağlanmaktadır. Rüzgar enerjisi üretim sistemi için önerilen üç çevrimli hata toplayıcısı ve hibrit güç filtresi düzenleyicisinin farklı çalışma koşulları altında benzetim çalışmaları yapılmıştır. Benzetim çalışmaları sonucunda elde edilen sonuçlara göre, önerilen yaklaşım ile generatör barasındaki gerilimin sabit kalması, güç faktörünün düzeltilmesi ve yüke iletilen enerjinin daha temiz olması sağlanmıştır.

Ayrıca, laboratuvar ortamında kurulan deney düzeneği vasıtası ile önerilen yaklaşımların deneysel çalışmaları, benzetim çalışmalarındaki aynı koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçlarla uygunluğu görülmüş ve desteklenmiştir.

Son olarak, güneş ve rüzgar enerjisi üretim sistemlerinin LabVIEW paket programında hazırlanan yazılım yardımıyla internet tabanlı ölçüm ve izleme sistemi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistemde güneş ve rüzgar enerjisi sistemleri için gerekli ışıınım şiddeti, sıcaklık, akım, gerilim ve fazör bilgileri tasarlanan ölçme kartları vasıtasıyla okunarak, eşzamanlı örnekleme özelliğine sahip veri toplama kartı aracılığıyla bilgisayara aktarılmıştır. Bilgisayara aktarılan bu veriler LabVIEW paket programı vasıtasıyla eşzamanlı olarak internet ortamına aktarılması sağlanmış ve

internet tabanlı yenilenebilir enerji izleme sistemi elde edilmiştir. Kullanıcı, laboratuvar ortamındaki FV/REÇS sisteminden elde edilen bilgileri gerçek zamanlı görebilmesi için internet tarayıcı programını çalıştırıp adres çubuğuna sunucu bilgisayar üzerinde hazırlanan yazılımın web adresini yazarak hazırlanan ara yüzü bilgisayar ekranında görebilmekte ve izlemek istediği görüntüler arasında geçişi gerçek zamanlı olarak yapabilmektedir.

Önerilen MGNT algoritmasında fotovoltaik panellerin MGN'ye karşılık gelen güç değerlerinde çalıştırılmasının sağlanması amacıyla PI denetleyici yerine bulanık mantık denetleyicinin kullanılarak sistemin güç izleme performansının geliştirilmesi önerilmektedir.

PI denetleyici parametreleri, YSA'nın eğitime sürecinde etkili olan öğrenme, momentum katsayıları ayrı ayrı ya da aynı anda YSA'nın öğrenme, momentum katsayıları ve etkinlik fonksiyonları parçacık sürü optimizasyonu, genetik algoritma, yapay arı kolonisi ve son zamanlarda geliştirilen gri kurt, yerçekimsel arama algoritması, bu tez kapsamında geliştirilen bulanık mantığa dayalı PSO-YAA algoritması gibi eniyileme yöntemleri ile belirlenebilir.

Optimizasyon algoritmaları tarafından tüm parametreleri belirlenen YSA yapısının benzetim ve uygulama çalışmaları yapılarak MGN'yi bulmadaki başarısı araştırılabilir.

FV panellerin seri-paralel bağlanmaları ile oluşan FV dizilerde kısmi gölgelenme koşullarında sistemde lokal maksimum güç noktaları ve global maksimum güç noktası oluşmaktadır. Böyle bir sistem benzetim ve uygulama çalışmaları durumuna getirilerek, kısmi gölgelenme koşullarında oluşacak global maksimum güç noktası optimizasyon yöntemine dayalı MGNT algoritması ile belirlenebilir.

Doğrusal denetleyiciden PID türü denetleyici kullanılarak sistem performansı incelenmiş olup, generatör bara gerilimi istenilen düzeyde tutmak ve kaliteli enerji elde edebilmek için daha farklı kontrol yöntemleri de kullanılabilir. Özellikle bulanık mantık, sinirsel bulanık kontrol tekniği de kullanılabilir.

Bunun dışında doğrusal olmayan kontrol teknikleri ya da sezgisel algoritmalar kullanılarak PID denetleyicinin parametrelerinin belirlenmesi ile sistem denetlenebilir. Yük üzerindeki reaktif gücün azaltılması ile sistemde kompanzasyon yapılarak güç faktörü düzeltilerilabilir. Ayrıca, farklı dinamik kompanzasyon teknikleri de uygulanabilir.

Son olarak geliştirilen güneş enerjisi sanal laboratuvarı yazılımı için MGNT algoritmalarını analiz etme bölümüne BM, sinirsel BM ve optimizasyon algoritmalarına dayalı MGNT algoritmaları modülleri eklenebilir. Şebeke bağlantılı FV sistemler modülü eklenerek yazılımın komple bir araç kutusu olması sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Mirjalili S., Hashim S. Z. M., A New Hybrid PSO-GSA Algorithm for Function Optimization, *International Conference on Computer and Information Application (ICCIA 2010)*, China, 3-5 December 2010.
- [2] Duman S., Yorukeren N., Altas I. H., A Novel Modified Hybrid PSO-GSA based on Fuzzy Logic for Non-convex Economic Dispatch Problem with Valve-point Effect, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2015, **64**, 121-135.
- [3] Altas I. H., Sharaf A. M., A Photovoltaic Array Simulation Model for Matlab-Simulink GUI Environment, *International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP'07)*, Capri, Italy, 21-23 May 2007.
- [4] Altın N., Yıldırımoglu T., Labview/Matlab Tabanlı Maksimum Güç Noktasını Takip Edebilen Fotovoltaik Sistem Simülatörü, *Politeknik Dergisi*, 2011, **14**(4), 271-280.
- [5] Altın N., Yıldırımoglu T., LabVIEW/MATLAB Based Simulator for Grid Connected PV System, *4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*, Istanbul, Turkey, 13-17 May 2013.
- [6] Belhaouas A. N., Cheikh M. S. A., Larbes C., Suitable Matlab-Simulink Simulator for PV System Based on a Two Diode Model Under Shading Conditions, *3rd International Conference on Systems and Control*, Algiers, Algeria, 29-31 October 2013.
- [7] Lee J. P., Min B. D., Kim T. J., Kim J. H., Ryu M. H., Baek J. W., Yoo D. W., Yoo J. Y., Development of a Photovoltaic Simulator with Novel Simulation Method of Photovoltaic Characteristics, *31st International Telecommunications Energy Conference (INTELEC 2009)*, 18-22 October 2009.
- [8] Ozkop E., Altas I. H., A Virtual PV Systems Lab for Engineering Undergraduate Curriculum, *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy*, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/895271>.
- [9] Deutsche Gesellschaft Fur Sonnenenergie (Dgs), *Planning and Installing Photovoltaic Systems: A Guide for Installers, Architects and Engineers*, Second Edition, Earthscan, London, 2008.
- [10] Salas F., Olías E., Barrado A., Lázaro A., Review of the Maximum Power Point Tracking Algorithms for Stand-alone Photovoltaics Systems, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2006, **90**, 1555-1578.

- [11] Ishaque, K., Salam, Z., A Review of Maximum Power Point Tracking Techniques of PV System for Uniform Insolation and Partial Shading Condition, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, **19**, 475-488.
- [12] Bucciarelli L. L., Grossman B. L., Lyon E. F., Rasmussen N. E., The Energy Balance Associated with the use of a Maximum Power Tracer in a 100 kW Peak Power System, *Photovoltaic Specialist Conference*, San Diego, United States of America, 7 January 1980.
- [13] Teulings W. J. A., Marpinard J. C., Capel A., O'Sullivan D., A New Maximum Power Point Tracking System, *24th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference*, Seattle, United States of America, 20-24 June 1993.
- [14] Kim Y., Jo H., Kim D., A New Peak Power Tracker for Cost Effective Photovoltaic Power System, *31st Intersociety Energy Conversion Engineering Conference*, Washington, United States of America, 11-16 August 1996.
- [15] Hashimoto O., Shimizu T., Kimura G., A Novel High Performance Utility Interactive Photovoltaic Inverter System, *Conference Record of the 2000 IEEE Industry Applications Conference*, Rome, Italy, 8-12 October 2000.
- [16] Jain S., Agarwal V., Comparison of the Performance of Maximum Power Point Tracking Schemes Applied to Single-stage Grid-connected Photovoltaic Systems, *IET Electric Power Applications*, 2007, **1**(5), 753-762.
- [17] Chung H. S. H., Tse K. K., Ron Hui S. Y., Mok C. M., Ho M. T., A Novel Maximum Power Points Tracking Technique for Solar Panels using a SEPIC or Cuk Converter, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2003, **18**(3), 717-724.
- [18] Zhang J., Guo F., The Study in Photovoltaic Control System based on FPGA, *International Conference on Research Challenges in Computer Science*, Shanghai, China, 28-29 December 2009.
- [19] Efram T., Chapman P. L., Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2007, **22**(2), 439-449.
- [20] Li J., Honghua W., A Novel Stand-alone PV Generation System based on Variable Step Size INC MPPT and SVPWM Control, *IEEE 6th International Power Electronics and Motion Control Conference*, Wuhan, China, 17-20 May 2009.
- [21] Hussein K. H., Muta I., Hoshino T., Osakada M., Maximum Photovoltaic Power Tracking: an Algorithm for Rapidly Changing Atmospheric Conditions, *IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution*, 1995, **142**(1), 59-64.

- [22] Zhang C., Zhao D., MPPT with Asymmetric Fuzzy Control for Photovoltaic System, *4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, Xi'an, China, 25-27 May 2009.
- [23] Radhia G., Ben Hamed M., Lassaad S., MPPT Controller for a Photovoltaic Power System based on Fuzzy Logic, *10th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)*, Hammamet, Tunisia, 18-21 March 2013.
- [24] Al Nabulsi A., Dhaouadi R., Efficiency Optimization of a DSP-based Standalone PV System using Fuzzy Logic and Dual-MPPT Control, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2012, **8**(3), 573-584.
- [25] Khaehintung N., Sirisuk P., Kunakorn A., Grid-connected Photovoltaic System with Maximum Power Point Tracking using Self-Organizing Fuzzy Logic Controller, *IEEE Region 10 TENCON 2005*, Melbourne, Australia, 21-24 November 2005.
- [26] Aït Cheikh M. S., Larbes C., Tchoketch Kebir G. F., Zerguerras, Maximum Power Point Tracking using a Fuzzy Logic Control Scheme, *Revue des Energies Renouvelables*, 2007, **10**(3), 387-395.
- [27] Kottas T. L., Boutalis Y. S., Karlis A. D., New Maximum Power Point Tracker for PV Arrays using Fuzzy Controller in close Cooperation with Fuzzy Cognitive Networks, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2006, **21**, 793-803.
- [28] Ouada M., Meridjet M. S., Talbi N., Optimization Photovoltaic Pumping System based BLDC using Fuzzy Logic MPPT Control, *International Renewable and Sustainable Energy Conference*, Ouarzazate, Morocco, 7-9 March 2013.
- [29] Zein Alabedin A. M., El-Saadany E. F., Salama M. M. A., Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Systems using Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks, *2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, San Diego, United States of America, 24-29 July 2011.
- [30] Won C. Y., Kim D. H., Kim S. C., Kim W. S., Kim H. S., A New Maximum Power Tracker of Photovoltaics Arrays Using Fuzzy Controller, *25th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference*, Taipei, Taiwan, 20-25 June 1994.
- [31] Algazar M. M., Al-monier H., El-halim H. A., El Kotb Salem M. E., Maximum Power Point Tracking using Fuzzy Logic Control, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 2012, **39**, 21-28.
- [32] Alajmi B. N., Ahmed K. H., Finney S. J., 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*, 2011, **26**, 1022-1030.

- [33] Masoum M. A. S., Sarvi M., A New Fuzzy-based Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Applications, *Iranian Journal of Electrical & Electronic Engineering*, 2005, **1**, 28-35.
- [34] Larbes C., Aït Cheikh S. M., Obeidi T., Zerguerras A., Genetic Algorithms Optimized Fuzzy Logic Control for Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic System, *Renewable Energy*, 2009, **34**, 2093-2100.
- [35] Messai A., Mellit A., Guessoum A., Kalogirou S. A., Maximum Power Point Tracking using a GA Optimized Fuzzy Logic Controller and its FPGA Implementation, *Solar Energy*, 2011, **85**, 265-277.
- [36] Veerachary M., Yadaiah N., ANN based Peak Power Tracking for PV Supplied DC Motors, *Solar Energy*, 2000, **69**, 343-350.
- [37] Jinbang X., Anwen S., Cheng Y., Wenpei R., Xuan Y., ANN based on IncCond Algorithm for MPP Tracker, *2011 Sixth International Conference on Bio-Inspired Computing: Theories and Applications (BIC-TA)*, 27-29 September 2011.
- [38] Kulaksız A. A., Akkaya R., Training Data Optimization for ANN using Genetic Algorithms to Enhance MPPT Efficiency of a Stand-alone PV System, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Science*, 2012, **20**(2), 241-254.
- [39] Akkaya R., Kulaksız A. A., Aydoğdu Ö., DSP Implementation of a PV System with GA-MLP-NN based MPPT Controller Supplying BLDC Motor Drive, *Energy Conversion and Management*, 2007, **48**, 210-218.
- [40] Mellit A., Benghanem M., Kalogirou S. A., Modeling and Simulation of a Stand-alone Photovoltaic System using an Adaptive Neural Network: Proposition for a New Sizing Procedure, *Renewable Energy*, 2007, **32**, 285-313.
- [41] Liu Y-H., Liu C-H., Huang J-W., Chen J-H., Neural-network-based Maximum Power Point Tracking Methods for Photovoltaics Systems Operating under Fast Changing Environments, *Solar Energy*, 2013, **89**, 42-53.
- [42] Rai A. K., Kaushika N. D., Singh B., Agarwal N., Simulation Model of ANN based Maximum Power Point Tracking Controller for Solar PV System, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2011, **95**, 773-778.
- [43] Torres A. D. M., Antunes F. L. M., dos Reis F. S., An Artificial Neural Network based Real Time Maximum Power Tracking Controller for Connecting a PV System to the Grid, *Industrial Electronics Society. Proceedings of the 24th Annual Conference of the IEEE*, Aachen, Germany, 31 August- 4 September 1998.
- [44] Samangkool K., Premrudeepreechacharn S., Maximum Power Point Tracking using Neural Networks for Grid-connected Photovoltaic System,

International Conference on Future Power Systems, Amsterdam, Netherlands, 18 November 2005.

- [45] Zhang L., Bai Y. F., Genetic Algorithm-trained Radial Basis Function Neural Networks for Modeling Photovoltaic Panels, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2005, **18**(7), 833-844.
- [46] Subiyanto S., Mohamed A., Shareef H., Hopfield Neural Network Optimized Fuzzy Logic Controller for Maximum Power Point Tracking in a Photovoltaic System, *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy*, doi:10.1155/2012/798361.
- [47] Subiyanto S., Mohamed A., Hannan M. A., Intelligent Maximum Power Point Tracking for PV System using Hopfield Neural Network Optimized Fuzzy Logic Controller, *Energy and Buildings*, 2012, **51**, 29-38.
- [48] Kulaksız A. A., Aydoğdu Ö., ANN-based Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic System using Fuzzy Controller, *2012 International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA)*, Trabzon, Turkey, 2-4 July 2012.
- [49] Dzung P. Q., Khoa L. D., Lee H. H., Phuong L. M., Dan Vu N. T., The New MPPT Algorithm using ANN-based PV, *2010 International Forum on Strategic Technology (IFOST)*, Ulsan, South Korea, 13-15 October 2010.
- [50] Punitha K., Devaraj D., Sakthivel S., Artificial Neural Network based Modified Incremental Conductance Algorithm for Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic System under Partial Shading Conditions, *Energy*, 2013, **62**, 330-340.
- [51] Makhoulfi M. T., Khireddine M. S., Abdessemed Y., Boutarfa A., Tracking Power Photovoltaic System using Artificial Neural Network Control Strategy, *I. J. Intelligent Systems and Applications*, 2014, **12**, 17-26.
- [52] Rai A. K., Kaushika N. D., Singh B., Agarwal N., Simulation Model of ANN based Maximum Power Point Tracking Controller for Solar PV System, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2011, **95**, 773-778.
- [53] Sedaghati F., Nahavandi A., Badamchizadeh M. A., Ghaemi S., Fallah M. A., FV Maximum Power-Point Tracking by using Artificial Neural Network, *Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering*, doi:10.1155/2012/506709.
- [54] Syafaruddin S., Karatepe E., Hiyama T., Artificial Neural Network-Polar Coordinated Fuzzy Controller based Maximum Power Point Tracking Control under Partially Shaded Conditions, *IET Renewable Power Generation*, 2009, **3**(2), 239-253.
- [55] Rizzo S. A., Scelba G., ANN based MPPT Method for Rapidly Variable Shading Conditions, *Applied Energy*, 2015, **145**, 124-132.

- [56] Rezk H., Hasaneen E. S., A New MATLAB/Simulink Model of Triple-Junction Solar Cell and MPPT based on Artificial Neural Networks for Photovoltaic Energy Systems, *Ain Shams Engineering Journal*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.asej.2015.03.001>.
- [57] Jiang L. L., Nayanassiri D. R., Maskell D. L., Vilathgamuwa D. M., A Hybrid Maximum Power Point Tracking for Partially Shaded Photovoltaic Systems in the Tropics, *Renewable Energy*, 2015, **76**, 53-65.
- [58] Khanaki R., Radzi M. A. M., Marhaban M. H., Comparison of ANN and P&O MPPT Methods for PV Applications under Changing Solar Irradiation, *IEEE Conference on Clean Energy and Technology (CEAT)*, Langkawi, Malaysia, 18-20 November 2013.
- [59] Kulaksız A. A., Akkaya R., A Genetic Algorithm Optimized ANN-based MPPT Algorithm for a Stand-alone PV System with Induction Motor Drive, *Solar Energy*, 2012, **86**, 2366-2375.
- [60] Lin W. M., Hong C. M., Chen C. H., Neural-Network-Based MPPT Control of a Stand-Alone Hybrid Power Generation System, *IEEE Transactions On Power Electronics*, 2011, **26**(12), 3571-3581.
- [61] Fukami T., Kaburaki Y., Kawahara S., Mitamoto T., Performance Analysis of a Self-Regulated Self-Excited Single-Phase Induction Generator using a Three-Phase Machine, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 1999, **14**(3), 622-627.
- [62] Mahato S. N., Sharma M. P., Singh S. P., Transient Analysis of a Single-Phase Self-Excited Induction Generator using a Three-Phase Machine Feeding Dynamic Load, *International Conference on Power Electronics, Drivers and Energy Systems*, New Delhi, India, 12-15 December 2006.
- [63] Mahato S. N., Sharma M. P., Singh S. P., Analysis of Transient Behavior of a Single-Phase Self-Regulated Self-Excited Induction Generator using a Three-Phase Machine, *IEEE International Conference on Industrial Technology*, Mumbai, India, 15-17 December 2006.
- [64] Fukami T., Imamura M., Kaburaki Y., Miyamoto T., A New Self-Regulated Self-Excited Single-Phase Induction Generator using a Squirrel Cage Three-Phase Induction Machine, *International Conference on Energy Management and Power Delivery*, Singapore, Singapore, 21-23 November 1995.
- [65] Mahato S. N., Sharma M. P., Singh S. P., Determination of Minimum and Maximum Capacitances of a Self-Regulated Self-Excited Single-Phase Induction Generator using a Three-Phase Winding, *India International Conference on Power Electronics*, Chennai, India, 19-21 December 2006.
- [66] Mahato S. N., Sharma M. P., Singh S. P., Transient Performance of a Single-Phase Self-Regulated Self-Excited Induction Generator using a Three-Phase Machine, *Electric Power Systems Research*, 2007, **77**, 839-850.

- [67] Mahato S. N., Singh S. P., Sharma M. P., Capacitors Required for Maximum Power of a Self-Excited Single-Phase Induction Generator using a Three-Phase Machine, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2008, **23**(2), 372-381.
- [68] Mahato S. N., Singh S. P., Sharma M. P., Excitation Capacitance Required for Self Excited Single Phase Induction Generator using Three Phase Machine, *Energy Conversion and Management*, 2008, **49**, 1126-1133.
- [69] Mahato S. N., Singh S. P., Sharma M. P., Dynamic Behavior of a Single-Phase Self-Excited Induction Generator using a Three-Phase Machine Feeding Single-Phase Dynamic Load, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 2013, **47**, 1-12.
- [70] Gao S., Gurumoorthy B., Murthy S. S., Kalla U., Efficient Voltage Regulation Scheme for Three-Phase Self-Excited Induction Generator Feeding Single-Phase Load in Remote Locations, *IET Renewable Power Generation*, 2014, **8**(2), 100-108.
- [71] Shilpakar L. B., Singh B., Dynamic Behavior of a Three-Phase Self-Excited Induction Generator for Single-Phase Power Generation, *Electric Power Systems Research*, 1998, **48**, 37-44.
- [72] Singh B., Shilpakar L. B., Murthy S. S., Tiwari A. K., Improved Steady State and Transient Performance with Optimum Excitation of Single-Phase Self-Excited Induction Generator, *Electric Machines and Power Systems*, 2000, **28**, 591-604.
- [73] Ali Nasr Saif M., Khan B. H., A Simplified Analysis of a Constant Voltage Single Phase Self-Excited Induction Generator, *Electric Power Components and Systems*, 2005, **33**, 103-112.
- [74] Bayhan S., Abu-Rub H., Performance Comparison of Two Sensorless Control Methods for Standalone Doubly-Fed Induction Generator, *16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition*, Antalya, Turkey, 21-24 September 2014.
- [75] Bayhan S., Abu-Rub H., Model Predictive Sensorless Control of Standalone Doubly Fed Induction Generator, *40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Dallas, United States of America, 29 October-1 November 2014.
- [76] Demirbaş Ş., Bayhan S., Grid Synchronization of Doubly Fed Induction Generator in Wind Power Systems, *2011 International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG)*, Malaga, Spain, 11-13 May 2011.
- [77] Ahmed T., Nishida K., Soushin K., Nakaoka M., Static VAR Compensator-based Voltage Control Implementation of Single-phase Self-excited Induction Generator, *IEE Proc. Generation, Transmission, Distribution*, 2005, **152**(2), 145-156.

- [78] Şahin M. E., Sharaf A. M., Okumuş H. İ., A Novel Filter Compensation Scheme for Single Phase Self-excited Induction Generator Micro Wind Generation System, *Scientific Research and Essays*, 2012, 7(34), 3058-3072.
- [79] Yanmaz K., Altas I. H., Sharaf A. M., Application of Fuzzy Reasoning Based Power Filter and Dynamic Voltage Regulator for Single Phase Micro Wind Power Generation Systems, *2012 International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA)*, Trabzon, Turkey, 2-4 July 2012.
- [80] Aboul-Seoud T., Sharaf A. M., A Novel Dynamic Voltage Regulator Compensation Scheme for a Standalone Village Electricity Wind Energy Conversion System, *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, St. John's, Canada, 3-6 May 2009.
- [81] Sharaf A. M., Wang W., Altas I. H., A Novel Modulated Power Filter Compensator for Renewable Dispersed Wind Energy Interface, *International Conference on Clean Electrical Power*, Capri, Italy, 21-23 May 2007.
- [82] Sharaf A. M., Aljankawey A., Altas I. H., A Novel Voltage Stabilization Control Scheme for Stand-alone Wind Energy Conversion Systems, *International Conference on Clean Electrical Power*, Capri, Italy, 21-23 May 2007.
- [83] Sharaf A. M., Altas I. H., Ozkop E., Voltage and Energy Utilization Enhancement in a Stand-alone WECS using a Fuzzy Logic Controlled SPWM Converter Interface Scheme, *12th International Middle-East Power System Conference*, Aswan, Egypt, 12-15 March 2008.
- [84] El-Gammal A. A. A., Sharaf A. M., Dynamic Self Adjusting FACTS-Switched Filter Compensation Schemes for Wind-Smart Grid Interface Systems, *International Journal of Renewable Energy Research*, 2012, 2(1), 103-111.
- [85] Üstün O., Genetik Algoritma Kullanarak İleri Beslemeli Bir Sinir Ağında Etkinlik Fonksiyonlarının Belirlenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2009, 15(3), 395-403.
- [86] Güneröğlu A., Fotovoltaik Sistemlerde FPGA Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2008, 233148.
- [87] Quaschnig V., *Understanding Renewable Energy Systems*, 1st Edition, Earthscan, London, 2005.
- [88] Durusu A., Fotovoltaik Güneş Enerji Sistemlerinde Kullanılan Maksimum Güç Noktası Takip Ediciler için Farklı Algoritmaların Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011, 295921.

- [89] Şen Z., *Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques, Atmosphere, Environment, Climate Changing and Renewable Energy*, 1st Edition, Springer, London, 2008.
- [90] Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018, *European Photovoltaic Industry Association (EPIA)*, June 2014.
- [91] Connecting the Sun Solar Photovoltaics on the Road to Large-Scale Grid Integration Full Report, *European Photovoltaic Industry Association (EPIA)*, September 2012.
- [92] <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> (Ziyaret tarihi: 23 Şubat 2015).
- [93] <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> (Ziyaret tarihi: 23 Şubat 2015).
- [94] Becquerel A. E., On Electric Effects under the Influence of Solar Radiation, *Comtes Rendus de l'Academie des Sciences*, 1839, **9**, 31-33.
- [95] Adams W. G., Day R. E., The Action of Light on Selenium, *Proceedings of the Royal Society*, 1876, **A25**, 113-117.
- [96] Chapin D. M., Fuller C. S., Pearson G. O., A New Silicon p-n Junction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power, *J. Appl. Phys.*, 1954, **25**, 676-677.
- [97] Kangal H., Fotovoltaik Sistem Analizi ve Labview Tabanlı MPPT Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008, 212885.
- [98] Ajder A., Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri için Optimum Eğim Açısının Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011, 296997.
- [99] Patel M. R., *Wind and Solar Power Systems*, CRC Press LLC., New York, 2009.
- [100] Çakmak R., Fotovoltaik Güç Üretim Sistemleri için Bulanık Mantık Tabanlı Maksimum Güç Noktası Takip Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2012, 309794.
- [101] Lynn P. A., *Electricity from Sunlight: An Introduction to Photovoltaics*, 1st Edition, John Wiley & Sons Inc., West Sussex, 2010.
- [102] Mengi O. Ö., Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Süreklilik İçin Akıllı bir Enerji Yönetim Sistemi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2011, 287448.

- [103] Ishaque K., Salam Z., Taheri H., Simple, Fast and Accurate Two-diode Model for Photovoltaic Modules, *Solar Energy Materials & Solar Cell*, 2011, **95**, 586-594.
- [104] Ishaque K., Salam Z., Syafaruddin, A Comprehensive MATLAB Simulink PV System Simulator with Partial Shading Capability based on Two-diode Model, *Solar Energy*, 2011, **85**, 2217-2227.
- [105] Çalıkoğlu S., Özdemir E., Uçar M., Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Elektrik Üretim Sistemlerinin Güç Kalitesine Etkileri, *4. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu (EVK 2011)*, Kocaeli, Türkiye, 12-13 Mayıs 2011.
- [106] Nakir İ., Fotovoltaik Güneş Panellerinde GTS ve MGTS kullanarak Verimliliğin Arttırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007, 201515.
- [107] Abdalla I. A., Integrated PV and Multilevel Converter System for Maximum Power Generation under Partial Shading Conditions, Phd Thesis, The University of Leeds School of Electronic and Electrical Engineering, England, 2013.
- [108] Kulaksız A. A., Maksimum Güç Noktası İzleyicili ve UVM İnverterli Fotovoltaik Sistemin Yapay Sinir Ağları Tabanlı Kontrolü, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2007, 212386.
- [109] Kılıç I. M. K., Fotovoltaik Sistem Eğitimi için bir Simulink Araç Kutusu Tasarım ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, 2007, 202897.
- [110] Zengin S., İki Aşamalı ve Yumuşak Anahtarlama Flyback Tipi Fotovoltaik Mikro-evirici Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2013, 327209.
- [111] Salas V., Olías E., Barrado A., Lázaro A., Review of the Maximum Power Point Tracking Algorithms for Stand-Alone Photovoltaic Systems, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2006, **90**, 1555-1578.
- [112] Al Nabulsi A. A. J., Efficiency Optimization of a Standalone Solar Energy system using Fuzzy based MPPT, Master Thesis, Mechatronics Engineering, American University of Sharjah, Sharjah, UAE, 2012.
- [113] Jain S., Agarwal V., Comparison of the Performance of Maximum Power Point Tracking Schemes Applied to Single-Stage Grid-Connected Photovoltaic Systems, *IET Electric Power Applications*, 2007, **1**(5), 753-762.
- [114] Hua C., Lin J., Shen C., Implementation of a DSP-Controlled Photovoltaic System with Peak Power Tracking, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 1998, **45**(1), 99-107.

- [115] Xiao W., Dunford, W. G., A Modified Adaptive Hill Climbing MPPT Method for Photovoltaic Power Systems, *35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference*, Aachen, Germany, 2004.
- [116] Hussein K. H., Muta I., Hoshino T., Osakada M., Maximum Photovoltaic Power Tracking: An Algorithm for Rapidly Changing Atmospheric Conditions, *IEE Proceedings Generation Transmission and Distribution*, 1995, **142**(1), 59-64.
- [117] Özcan İ., Isparta İlinde Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi ve Bir Rüzgar Santrali Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011, 295095.
- [118] Karaca C., Güneş ve Rüzgar Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretimi sistemi Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012, 315884.
- [119] http://www.gwec.net/wpcontent/uploads/2015/02/GWEC_GlobalWindStats2014_FINAL_10.2.2015.pdf (Ziyaret tarihi: 9 Mart 2015).
- [120] <http://www.tureb.com.tr/tr/duyurular/420-turkiye-ruzgar-enerjisi-istatistik-raporu-ocak-2015> (Ziyaret tarihi: 9 Mart 2015).
- [121] Yanmaz K., Bulanık Sonuçlandırma Tabanlı Güç Filtresi ve Dinamik Gerilim Regülatörünün Bir Fazlı Mikro Rüzgar Güç Üretim Sistemlerine Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010, 276121.
- [122] Döşoğlu M. K., Rüzgar Santrallerinin Dinamik Modellenmesi ve Analizi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014, 360881.
- [123] Ackermann T., *Wind Power in Power Systems*, John Wiley and Sons LTD, England, 2005.
- [124] Çetin N. S., Şebeke Bağlantısız PM Generatörlü Rüzgar Türbinlerinin YSA ile Sisteme Optimizasyonu, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006, 197361.
- [125] Bayhan S., Çift Beslemeli Asenkron Generatör için Etkin Bir Denetleyici Tasarımı, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012, 322942.
- [126] Uyar M., Gençoğlu M. T., Yıldırım S., Değişken Hızlı Rüzgar Türbinleri için Generatör Sistemleri, *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Mersin, Türkiye, 2005.
- [127] Şipar E., Rüzgar Enerjisi Türbin Sistemleri için Gerçek Zamanlı Dinamik Analiz Simülatörü Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011, 296981.

- [128] Sarioğlu M. K., Gökaşan M., Boğosyan S., *Asenkron Makinalar ve Kontrolü*, Birsen Yayın Ltd. Şti., İstanbul, 2003.
- [129] Krause P. C., Wasynczuk O., Sudhoff S. C., *Analysis of Electric Machinery*, McGraw-Hill, New York, 1986.
- [130] Elmas Ç., *Yapay Zeka ve Uygulamaları*, Birinci Baskı, Seçkin Yayıncılık San. ve Tic. A.Ş., Ankara, 2007.
- [131] McCulloch W., Pitts W., A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity, *Bulletin Mathematical Biophysics*, 1943, **5**, 115-137.
- [132] Rosenblatt F., The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage & Organization in the Brain, *Psychological Review*, 1958, **65**, 386-408.
- [133] Güvenç U., Anahtarlama Relüktans Motorun Denetimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2005, 196537.
- [134] Sönmez Y., Çok Algılayıcı Sistemlerde Veri Birleştirmesi için Algoritma Geliştirmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008, 233934.
- [135] Zadeh L. A., Fuzzy Sets, *Information and Control*, 1965, **8**, 338-353.
- [136] Güvenç U., Uyarlanabilir Görüntü Filtre Tasarımı, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008, 233933.
- [137] Duman S., Güç Sistemlerinde Kararlılık Analizi için PID Kontrolör Parametrelerinin Genetik Algoritma Kullanarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010, 309220.
- [138] Rashedi E., Nezamabadi-pour H., Saryazdi S., GSA: A Gravitational Search Algorithm, *Information Sciences*, 2009, **179** (13), 2232-2248.
- [139] Shams M., Rashedi E., Hakimi A., Clustered-Gravitational Search Algorithm and its Application in Parameter Optimization of a Low Noise Amplifier, *Applied Mathematics and Computation*, 2015, **258**, 436-453.
- [140] Güvenç U., Sönmez Y., Duman S., Yörükeren N., Combined Economic and Emission Dispatch Solution using Gravitational Search Algorithm, *Scientia Iranica*, 2012, **19**(6), 1754-1762.
- [141] Hatamlou A., Abdullah S., Nezamabadi-pour H., A Combined Approach for Clustering based on K-means and Gravitational Search Algorithms, *Swarm and Evolutionary Computation*, 2012, **6**, 47-52.
- [142] Rezaei M., Nezamabadi-pour H., Using Gravitational Search Algorithm in Prototype Generation for Nearest Neighbor Classification, *Neurocomputing*, doi:10.1016/j.neucom.2015.01.008.

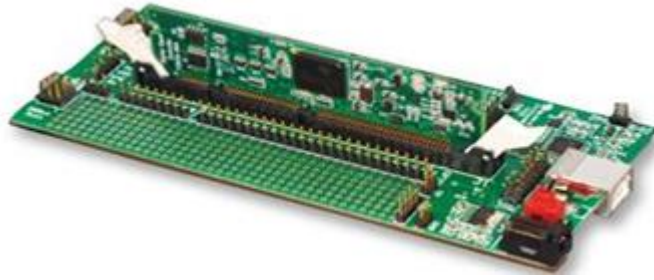
- [143] Shuaib Y. M., Kalavathi M. S., Asir Rajan C. C., Optimal capacitor placement in radial distribution system using Gravitational Search Algorithm, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2015, **64**, 384-397.
- [144] Yazdani S., Nezamabadi-pour H., Kamyab S., A Gravitational Search Algorithm for Multimodal Optimization, *Swarm and Evolutionary Computation*, 2014, **14**, 1-14.
- [145] Roy P. K., Solution of Unit Commitment Problem using Gravitational Search Algorithm, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2013, **53**, 85-94.
- [146] Duman S., Güvenç U., Sönmez Y., Yörükeren N., Optimal Power Flow using Gravitational Search Algorithm, *Energy Conversion and Management*, 2012, **59**, 86-95.
- [147] Sarker J., Goswami S. K., Solution of Multiple UPFC Placement problems using Gravitational Search Algorithm, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2014, **55**, 531-541.
- [148] Kennedy J., Eberhart R., Particle Swarm Optimization, *Proceedings, IEEE International Conference on Neural Networks*, Perth, Australia, 27 November-1 December 1995.
- [149] Erdoğan P., Particle Swarm Optimization Performance on Special Linear Programming Problems, *Scientific Research and Essays*, 2010, **5**(12), 1506-1518.
- [150] Mahor A., Prasad V., Rangnekar S., Economic Dispatch using Particle Swarm Optimization: A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, **13**(8), 2134-2141.
- [151] Khajehzadeh M., Taha M. R., El-Shafie A., Eslami M., A Modified Gravitational Search Algorithm for Slope Stability Analysis, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2012, **25**, 1589-1597.
- [152] Yao X., Liu Y., Lin G., Evolutionary programming made faster, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 1999, **3**(2), 82-102.
- [153] Veerachary M., Senjyu T., Uezato K., Neural Network-based Feedforward Maximum Power Point Tracking Control for IDB Converter-Supplied PV System, *International Journal of Electronics*, 2002, **89**(5), 403-420.
- [154] Atlam O., An Experimental and Modeling Study of a Photovoltaic/Proton-Exchange Membrane Electrolyser System, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2009, **34**, 6589-6595.
- [155] Buresch M., *Photovoltaic Energy Systems Design and Installation*, McGraw-Hill, New York, NY, USA, 1983.

- [156] Walker G, Evaluating MPPT Converter Topologies using a MATLAB PV Model, *Journal of Electrical & Electronics Engineering*, 2001, **21**(1), 49-56.
- [157] Mutlu, H. H., DSP Tabanlı Paralel Aktif Güç Filtresi İle Harmonik Ve Reaktif Güç Kompanzasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011, 283453.
- [158] Bayhan S., Enerji Kalitesinin İnternet Tabanlı Ölçüm ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008, 233712.
- [159] İleri S., Modüler EIB Sisteminin LabVIEW ile Gerçek Zamanlı ve Web Tabanlı Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009, 256732.
- [160] Ünsaçar F., Eşme E., *Grafik Programlama Dili LabVIEW*, Seçkin Yayıncılık San. Ve Tic. A.Ş., Ankara, 2007.
- [161] <http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-22> (Ziyaret tarihi: 14 Nisan 2015).

EKLER

EK-A

Laboratuvar ortamında yapılan tüm deneysel çalışmalarda, Şekil A.1’de gösterilen Texas Instrument şirketinin üretmiş olduğu TMS320F28335 işlemciye sahip Experiment Kit kartı kullanılmıştır. Bu uygulama kartı, C/C++ programlama desteğine ve sabit noktalı işlem yapabilme özelliğine sahiptir. DSP kartındaki işlemci özellikleri, 150MHz işlem hızı, 512KB program hafızası, 68KB RAM, 16 kanal 12-bit analog sayısal çevirici, 12 kanal PWM olarak sıralanabilir. Deneysel çalışmalarda, akım gerilim ölçüm devrelerinden alınan bilgiler uygulama kartının ADC girişleri ile işlemciye aktarılmakta olup, IGBT anahtarlarının kontrol edilmesinde işlemcinin DGM çıkışına gönderilen sinyaller bu uçlara ait portlar tarafından alınır.

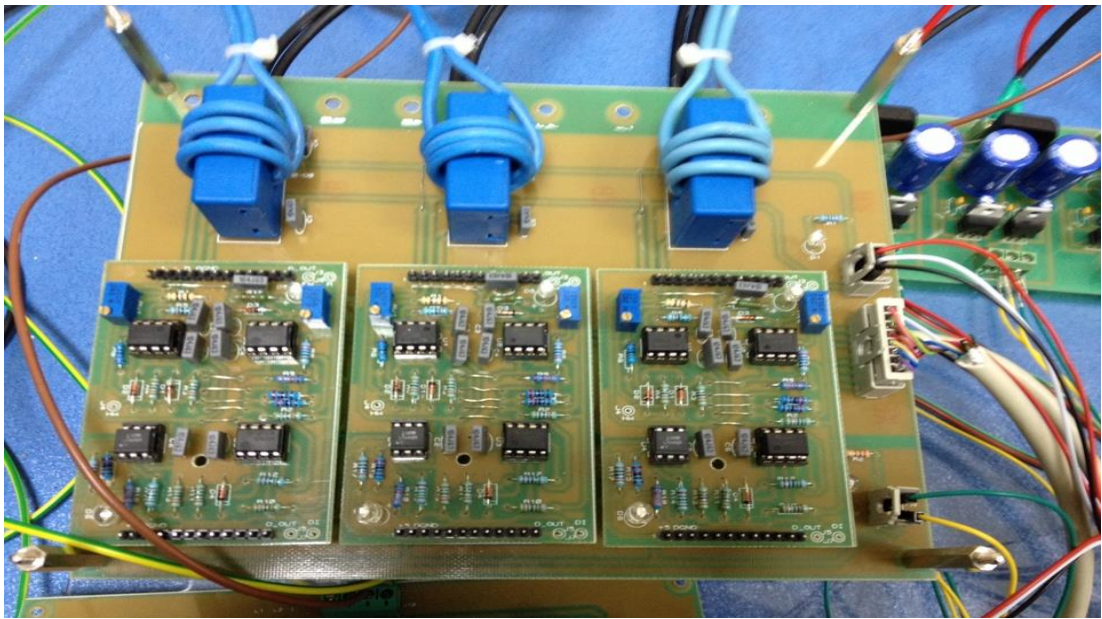


Şekil A.1. TMS320F28335 DSP uygulama kartı

EK-B

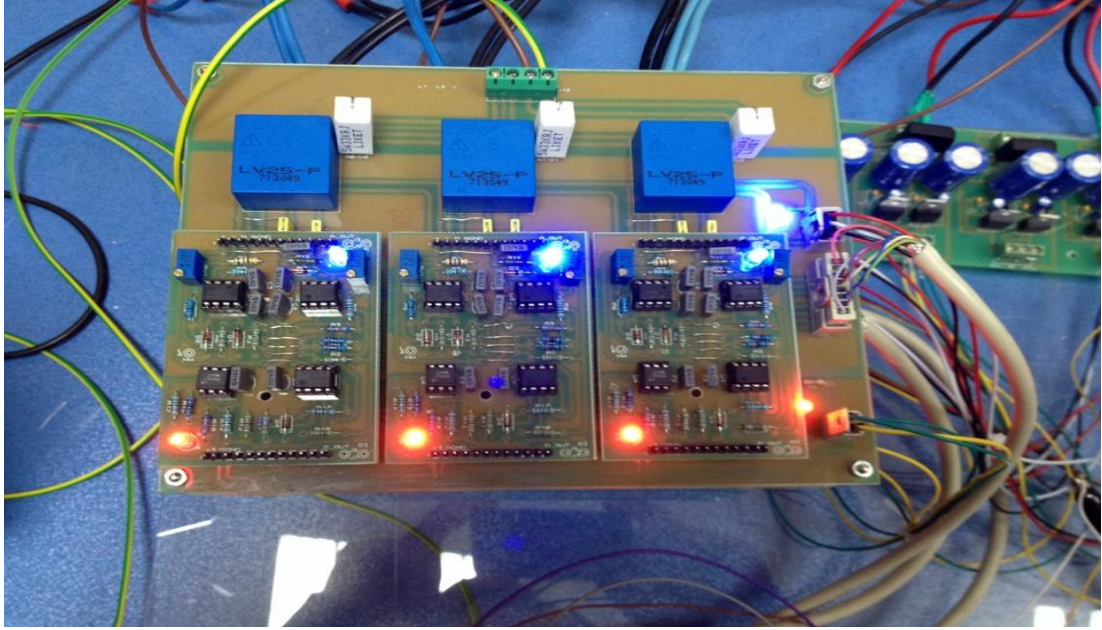
Laboratuvar ortamında FV sistemin akımı, rüzgar güç üretim sisteminde generatör ve yük baralarına ait akımların ölçülmesinde LEM LA55-P (1000:1 dönüştürme oranı), besleme geriliminin simetrik 12-15V DA arasında olduğu akım algılayıcıları kullanılmaktadır.

Akım ölçüm devresi her ölçüm noktası için opampli devreler ile bu devrelerin üzerine takılabileceği bir ana karttan oluşmaktadır. Ana kart üzerinde akım algılayıcıları, her ölçüm noktaları için opampli devrelerin takılabileceği soketler ve giriş, çıkış soketleri bulunmaktadır. Kullanılan DSP'nin analog girişleri 0-3V arası sinyalleri işleyebildiği için akım ölçüm devresinde kullanılan opampli devreler vasıtası ile analog sinyaller 0-3V aralığında uygun hale getirilir. Bu devrelerde akım algılayıcısından alınan AA akım bilgisi bir direnç üzerinden gerilim bilgisine çevrilerek opampli bir tam dalga doğrultucu ile negatif sinyaller pozitif işaretli hale getirilir. Ayrıca, opamp kazançlarını ayarlayabilmek için çok turlu trimpotlar, DSP içerisindeki algoritmada pozitif ve negatif sinyalleri belirleyebilmek için sıfır geçiş detektörü de bulunmaktadır. Detektör çıkışından elde edilen lojik sinyaller tam dalga haline getirilen analog sinyal bilgisinin pozitif olduğu durumlarda lojik 1, negatif olduğu durumlarda lojik 0 üreten devrede kartta bulunmaktadır [157]. Akım ölçüm devresine ait resim Şekil B.1'de bulunmaktadır.



Şekil B.1. Akım ölçüm devresi

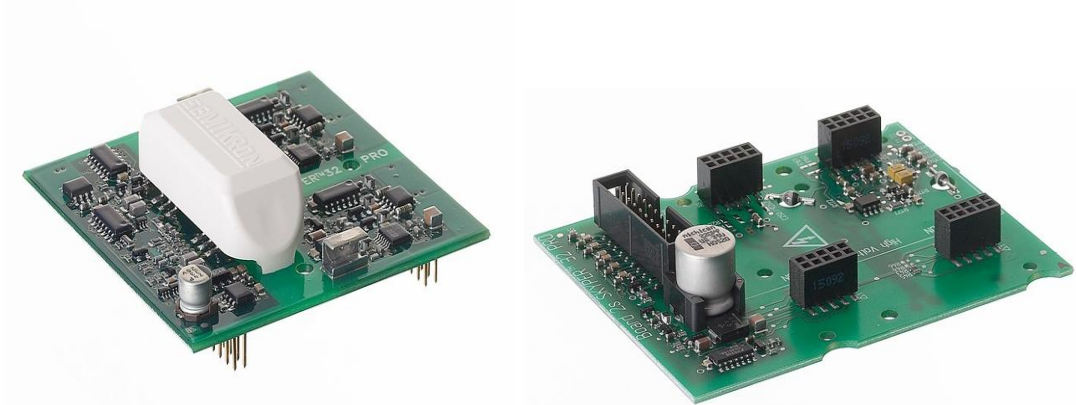
Laboratuvar ortamında FV sisteminin gerilimi, rüzgar güç üretim sisteminde generatör ve yük baralarına ait gerilimlerin ölçülmesinde LEM firmasının ürettiği LV25-P (2500:1000 dönüştürme oranı), besleme geriliminin simetrik 12-15V DA arasında olduğu gerilim algılayıcıları kullanılmaktadır. Gerilim ölçüm devresinde kullanılan devrelerin çalışma mantığı akım ölçüm devresi ile aynıdır [157]. Gerilim ölçüm devresine ait resim Şekil B.2’de bulunmaktadır.



Şekil B.2. Gerilim ölçme devresi

EK-C

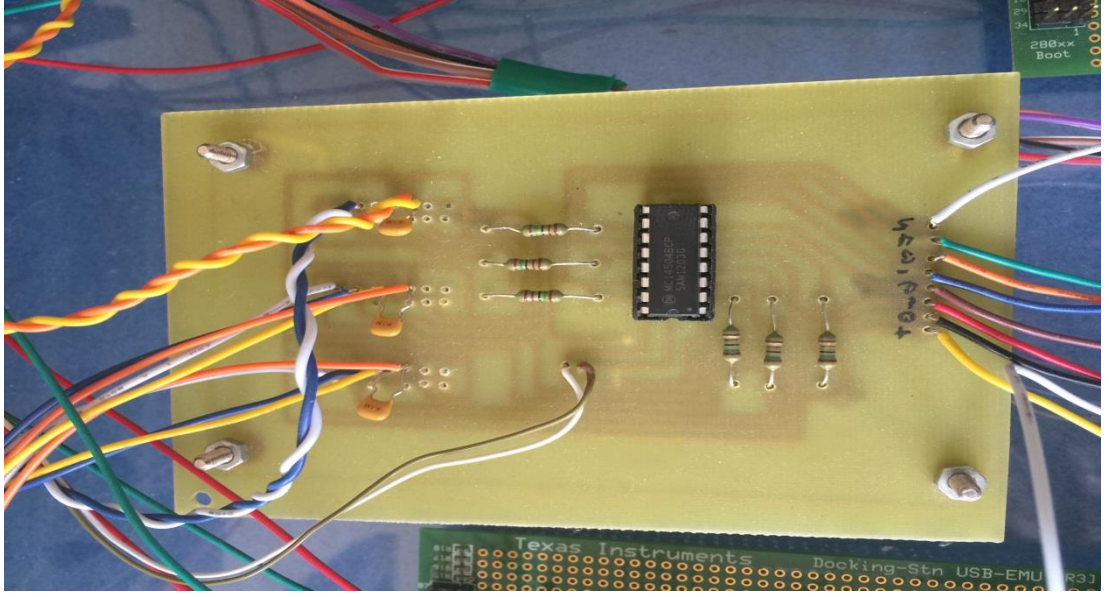
IGBT sürücüsü olarak, SEMIKRON firmasının ürettiği SKYPER 32 PRO R IGBT sürücüsü kullanılmıştır. 1200V DA bara gerilimi altında çalışabilme, dahili ölü zaman üretici, 50kHz'e kadar anahtarlama yapabilen, manyetik izolasyon, VCE izleme özelliği, kısa devre ve aşırı akım koruma, yumuşak kesime girme özelliklerinin yanı sıra giriş-çıkış arasında elektriksel yalıtımın sağlandığı teknik özelliklere sahip sürücü modülü ve bordu Şekil C.1'de gösterilmiştir.



Şekil C.1. SKYPER 32PRO R IGBT sürücü modülü ve bordu

EK-D

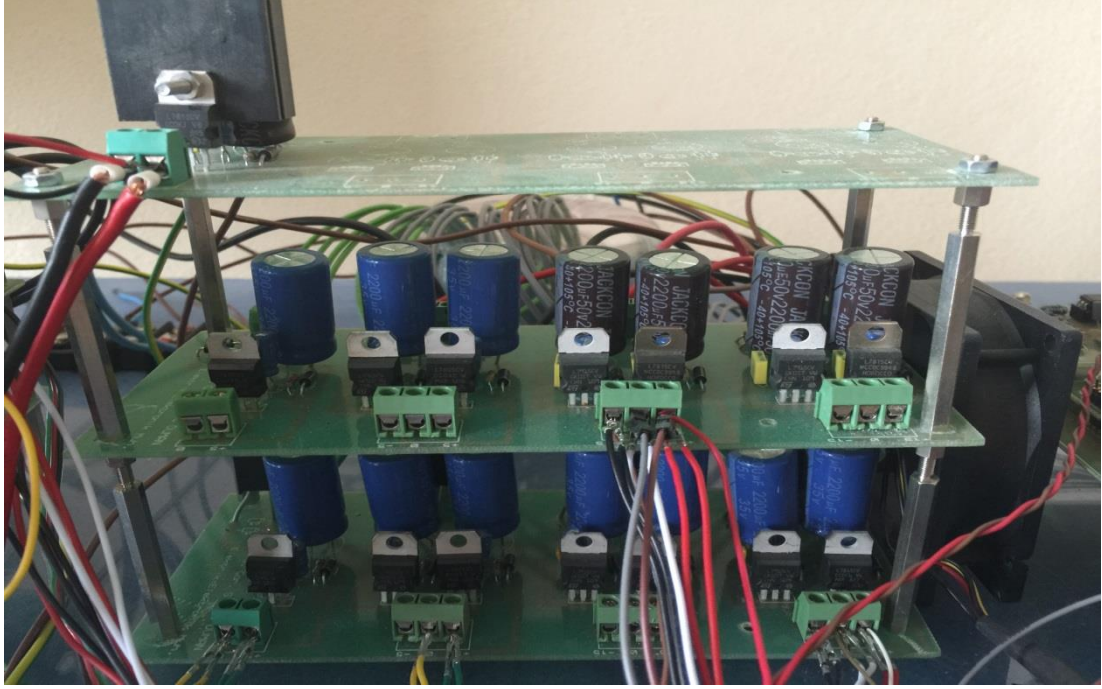
DSP tarafından üretilen DGM sinyallerinin 3.3V olan çıkış seviyelerinin, IGBT sürücü kartının ihtiyacı olan 15V seviyesine çıkarılması için, MC14504B seviye kaydırıcı entegresi kullanılarak Şekil D.1’de gösterilen yükseltici devre oluşturulmuştur.



Şekil D.1. Seviye kaydırıcı devre

EK-E

Akım, gerilim ölçüm devreleri simetrik $\pm 15V$ ve $+5V$ 'luk, seviye kaydırıcı devre ise $+15V$ 'luk kaynak ile beslenmektedir. FV sistem ve rüzgar güç üretim sisteminin deneysel düzeneğinde kullanılan devreler için beslenme kaynağına ait fotoğraf Şekil E.1'de gösterilmektedir.



Şekil E.1. Güç besleme devresi

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Duman S.**, Yorukeren N., Altas I. H., Gravitational Search Algorithm for Determination of Controller Parameters in an AVR System, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, DOI: 10.3906/elk-1404-14.
- [2] **Duman S.**, Yorukeren N., Altas I. H., A Novel Modified Hybrid PSOGSA based on Fuzzy Logic for Non-convex Economic Dispatch Problem with Valve-point Effect, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2015, **64**, 121-135.
- [3] **Duman S.**, Yörükere N., Automatic Generation Control of the Two Area Non-reheat Thermal Power System using Gravitational Search Algorithm, *Przeglad Elektrotechniczny (Electrical Review)*, 2012, **10a**, 254-259.
- [4] Güvenç U., Sonmez Y., **Duman S.**, Yörükere N., Combined Economic and Emission Dispatch Solution using Gravitational Search Algorithm, *Scientia Iranica* , 2012, **19**(6), 1754-1762.
- [5] **Duman S.**, Sonmez Y., Güvenç U., Yörükere N., Optimal Reactive Power Dispatch using a Gravitational Search Algorithm, *IET Generation, Transmission & Distribution*, 2012, **6**(6), 563-576.
- [6] **Duman S.**, Güvenç U., Sonmez Y., Yörükere N., Optimal Power Flow using Gravitational Search Algorithm, *Energy Conversion & Management*, 2012, **59**, 86-95.
- [7] Güvenç U., Altun B. E., **Duman S.**, Optimal Power Flow using Genetic Algorithm based on Similarity, *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 2012, **29**(1), 1-10.
- [8] Güvenç U., **Duman S.**, Saraçoğlu B., Öztürk A., A Hybrid GA-PSO Approach Based on Similarity for Various Types of Economic Dispatch Problems, *ELEKTRONIKA IR ELEKTROTECHNIKA*, 2011, **2**(108), 109-114.
- [9] **Duman S.**, Güvenç U., Yörükere N., Gravitational Search Algorithm for Economic Dispatch with Valve-Point Effects, *International Review of Electrical Engineering (I.R.E.E.)*, 2010, **5**(6), 2890-2895.
- [10] **Duman S.**, Öztürk A., Robust Design of PID Controller for Power System Stabilization by using Real Coded Genetic Algorithm, *International Review of Electrical Engineering (I.R.E.E.)*, 2010, **5**(5), 2159-2170.
- [11] **Duman S.**, Öztürk A., Döşoğlu M. K., Tosun S., Economic Dispatch by using Different Crossover Operators of Genetic Algorithm, *Istanbul University-Journal of Electrical & Electronics Engineering*, 2010, **10**(1), 1173-1183.

- [12] Öztürk A., **Duman S.**, Determination of the Conditions of Optimal Operation in Power Systems using Genetic Algorithm, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 2009, **24**(3), 539-548.
- [13] Sonmez Y., Ayyildiz O., Kahraman H. T., Güvenç U., **Duman S.**, Improvement of Buck Converter Performance using Artificial Bee Colony Optimized-PID Controller, *Journal of Automation and Control Engineering*, 2015, **3**(4), 304-310.
- [14] **Duman S.**, Yörükeren N., Altaş İ. H., Fotovoltaik Enerji Sistemlerinin Modellenmesi, Benzetimi ve Uygulaması, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 2014, **3**(1), 9-23.
- [15] Saraçoğlu B., Güvenç U., Dursun M., Poyraz G., **Duman S.**, Biyocağrafya Tabanlı Optimizasyon Metodu Kullanarak Asenkron Motor Parametre Tahmini, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 2013, **2**(1), 46-54.
- [16] **Duman S.**, Tosun S., Döşoğlu M. K., Öztürk A., Yüksek Gerilim Hatlarında Demet İletkenler Arası Mesafenin PSO ile Belirlenmesi, *3e Electrotech*, 2010, **189**, 116-120.
- [17] Döşoğlu, M. K., **Duman S.**, Öztürk A., Tosun S., Güç Sisteminde Statik Gerilim Kararlılığının SVC ve TCSC ile İncelenmesi, *SDÜ Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 2010, **2**(2), 14-25.
- [18] Tosun S., Öztürk A., **Duman S.**, Yalçın M. A., Döşoğlu M. K., Yüksek Gerilim Hatlarında Kullanılan Demet İletken İçindeki İletkenler Arası Mesafenin Tavlama Benzetimi Kullanarak Belirlenmesi, *e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences*, 2010, **5**(2), 428-434.
- [19] **Duman S.**, Döşoğlu M. K., Öztürk A., Erdoğan, P., Türkiyedeki Güç Sisteminde Tavlama Benzetimi, Genetik Algoritma ve Tabu Araştırma Algoritması Kullanılarak Ekonomik Dağıtım, *e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences*, 2010, **5**(1), 64-78.
- [20] Döşoğlu M. K., **Duman S.**, Öztürk A., Genetik Algoritma Kullanarak Ekonomik Dağıtım Analizi: Türkiye Uygulaması, *Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi*, 2009, **12**(3), 167-172.
- [21] **Duman S.**, Altaş İ. H., Yörükeren N., Sharaf A. M., A Novel FACTS Based on Modulated Power Filter Compensator for Wind-Grid Energy Systems, *5th International Symposium On Power Electronics For Distributed Generation Systems (PEDG 2014)*, Galway, Ireland, 24-27 June 2014.
- [22] **Duman S.**, Altaş İ. H., Yörükeren N., Alboyacı B., Fotovoltaik Enerji Sistemleri için Maksimum Güç Noktası Takip Algoritmalarının Karşılaştırılması, *2nd International Symposium On Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES 2014)*, Karabuk, Turkey, 18-20 June 2014.

- [23] **Duman S.**, Yörükeren N., Altaş I. H., Güneş Enerji Sistemleri için Bir Eğitim Aracı, *2nd International Symposium On Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES 2014)*, Karabuk, Turkey, 18-20 June 2014.
- [24] **Duman S.**, Yörükeren N., Altaş I. H., Load frequency control of a single area power system using Gravitational Search Algorithm, *International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA 2012)*, Trabzon, Turkey, 2-4 July, 2012.
- [25] Sönmez Y., **Duman S.**, Güvenç U., Yörükeren N., Optimal Power Flow Incorporating FACTS Devices using Gravitational Search Algorithm, *International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA 2012)*, Trabzon, Turkey, 2-4 July, 2012.
- [26] Güvenç U., **Duman S.**, Akkaya İ., Imperialist Competitive Algorithm for Optimal Design of the PID Controller for an AVR System, *12th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems*, Istanbul, Turkey, 10-14 June 2012.
- [27] **Duman S.**, Sönmez Y., Güvenç U., Yörükeren N., Application of Gravitational Search Algorithm for Optimal Reactive Power Dispatch Problem, *International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA 2011)*, Istanbul, Turkey, 15-18 June 2011.
- [28] **Duman S.**, Öztürk A., Tutkun N., Güç Sistemi Kararlı Kılıcısı için Diferansiyel Evrim Algoritması Kullanarak PID Kontrolör Parametrelerinin Belirlenmesi, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, Turkey, 16-18 May 2011.
- [29] **Duman S.**, Yıldız B. A., Anahtarlama ve Karşılıklı Endüktans Etkisi İçeren Devrelerin Genelleştirilmiş Düğüm Denklemleri ile Analizi, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, Turkey, 16-18 May 2011.
- [30] Öztürk A., Çobanlı S., **Duman S.**, Tosun S., Döşoğlu M. K., Yapay Arı Kolonisi Algoritması ile Elektrik Güç Sistemi Optimal Yakıt Maliyetinin Belirlenmesi, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, Turkey, 16-18 May 2011.
- [31] **Duman S.**, Maden D., Güvenç U., Determination of the PID Controller Parameters for Speed and Position Control of DC Motor using Gravitational Search Algorithm, *7th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO 2011)*, Bursa, Turkey, 1-4 December 2011.
- [32] **Duman S.**, Arsoy A. B., Yörükeren N., Solution of Economic Dispatch Problem using Gravitational Search Algorithm, *7th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO 2011)*, Bursa, Turkey, 1-4 December 2011.
- [33] Döşoğlu M. K., **Duman S.**, Öztürk A., Tosun, S., Environmental/Economic Load Dispatch using Bacterial Foraging Algorithm based on Particle Swarm

Optimization, *International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA 2010)*, Kayseri, Turkey, 21-24 June 2010.

- [34] **Duman S.**, Öztürk A., Optimization of PID Controller Parameters for Power System Stabilization Using Real Coded Genetic Algorithm, *International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA 2010)*, Kayseri, Turkey, 21-24 June 2010.
- [35] Erdoğan P., Öztürk A., **Duman S.**, Environmental/Economic Dispatch Using Genetic Algorithm and Simulated Annealing, *IEEE Electric Power and Energy Conversion Systems (EPECS 2009)*, Sharjah, United Arab Emirates, 10-12 November 2009.
- [36] Öztürk A., **Duman S.**, Döşoğlu M. K., Tosun S., The Determination of the Bundled Conductor Distance Used in High Voltage Transmission Lines by Genetic Algorithm, *International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA 2009)*, Trabzon, Turkey, 29 June-1 July 2009.
- [37] **Duman S.**, Altaş I. H., Yörükeren N., Çevresel Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin İyileştirilmiş Yerçekimsel Arama Algoritması ile Çözümü, *Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları (ASYU)*, İzmir, Türkiye, 9-10 Ekim, 2014.
- [38] **Duman S.**, Yörükeren N., Altaş I. H., Rüzgâr Enerjili Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Yerçekimsel Arama Algoritması ile Çözülmesi, *Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları (ASYU)*, İzmir, Türkiye, 9-10 Ekim, 2014.
- [39] Yörükeren N., Alboyacı B., **Duman S.**, Ulusal Elektrik Şebekesine Bağlanan Kojenerasyon Santrallerinde Yükseltici Transformatörlerin Yıldız Noktası Topraklamasının Bilgisayar Destekli Analizi, *4. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu (EVK 2011)*, Kocaeli, Türkiye, 12-13 Mayıs 2011.
- [40] **Duman S.**, Ferik Y., Alboyacı B., Yörükeren N., Doğru Akımla Çalışan Ark Ocaklarında Harmonik Analizi, *4. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu (EVK 2011)*, Kocaeli, Türkiye, 12-13 Mayıs 2011.
- [41] **Duman S.**, Öztürk A., Parçacık Sürü Optimizasyonu Kullanarak OGR ve GSKK Parametrelerinin Optimizasyonu, *Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamalar Sempozyumu (ASYU 2010)*, Kayseri, Türkiye, 21-24 Haziran 2010.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Balıkesir ilinin Bandırma ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Bandırma’da tamamladı. 2000 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Elektrik Programını, 2004 yılında girdiği Abant İzzet Baysal Üniversitesi Düzce Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü’nden 2008 yılında Elektrik Öğretmeni olarak mezun oldu. 2008-2010 yılları arasında, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 2009 yılından beri Düzce Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.