

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNDE SÜREKLİLİK İÇİN AKILLI
BİR ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ**

Elektronik Yük. Müh. Onur Özdal MENGİ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"DOKTOR (ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20.05.2011

Tezin Savunma Tarihi : 20.06.2011

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ

Trabzon 2011

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında
Onur Özdal MENGİ Tarafından Hazırlanan

**YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNDE SÜREKLİLİK İÇİN AKILLI BİR
ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 24 / 05 / 2011 gün ve 1406 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 20 / 06 / 2011 tarihinde yapılan sınavda

DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ

Üye : Prof. Dr. İrfan ALAN

Üye : Doç Dr. Murat EKİNCİ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Adnan CORA

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora programı çerçevesinde gerçekleştirilmiş olan bu çalışma, yenilenebilir enerji kaynaklarında enerji yönetimi konusunu ele almaktadır. Tasarlanan sistemde akıllı bir karar verme yazılımı ve rüzgar enerji üretim sisteminden elde edilebilecek tepe güç değerinin dış ortamdan veri almadan hesaplanması gerçekleştirilmiş ve deneysel bir düzenekte yazılımların etkinlikleri araştırılmıştır.

Öncelikle bu çalışmam esnasında bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ'a vermiş olduğu destekten dolayı çok teşekkür ederim. Neredeyse on senedir kendisinin yanındayım ve bugünlere gelmemde çok büyük emeği geçti. Verdiği destek, öneri ve fikirleriyle ufukumun genişlemesini sağladı. Teşekkürü kendisine bir borç bilirim.

Sayın Doç. Dr. Murat EKİNCİ ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ hocalarıma da tezin ilerlemesi aşamasında verdikleri destek ve önerileri için çok teşekkür ederim. Onların önerileri tezin bu seviyeye ulaşmasına çok yardımcı oldu.

2008.112.004.2 numaralı projeme verdiği destekten ötürü KTÜ Bilimsel Araştırma Birimi'ne ve kullandığım sarf malzemelerinde bana destek olan Mühendislik Fakültesi Dekanlığı'na tezime verdikleri maddi destek için teşekkür ederim.

Deneysel çalışma esnasında hiçbir yardımı esirgemeyen değerli arkadaşım Öğr. Gör. Kenan YANMAZ'a, tezimi okuyarak benim göremediğim noktalarda yaptığı düzeltmeler ve verdiği öneriler ile yardımcı olan Öğr. Gör. Uğur ERSOY'a, tezin yazımı esnasında gösterdiği yakın ilgi ve yardımlardan ötürü Öğr. Gör. Alparslan TÜFEKÇİ'ye ve teknisyenimiz Yüksel SALMAN'a en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Son olarak, beni bugüne kadar yalnız bırakmayan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, sevgili babam Prof. Dr. Tekin MENGİ'ye, sevgili annem Öğr. Gör. Birsen MENGİ'ye, kardeşim Tekin Evren MENGİ'ye ve nişanlım Zehra IŞIK'a bu vesileyle sevgi ve saygılarımı sunarım.

Onur Özdal MENGİ
Trabzon 2011

TEZ BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Süreklilik İçin Akıllı Bir Enerji Yönetim Sistemi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, deneyleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 20/05/2011

Onur zdal MENĐİ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XV
SEMBOLLER DİZİNİ	XVII
KISALTMALAR DİZİNİ	XXII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1 Giriş	1
1.2. Literatür Araştırması.....	5
1.3. Rüzgar Enerji Üretim Sistemleri	12
1.3.1. Rüzgar Türbini Generatör Tipleri.....	14
1.3.2. Rüzgardan Elde Edilen Güç	14
1.3.3. Rüzgar Enerji Dönüşüm Sistemi Modelleri	18
1.3.3.1. Sürekli Mıknatıslı Doğru Akım Generatörlü RES Modeli.....	18
1.3.3.2. Asenkron Generatörlü RES Modeli.....	19
1.3.4. Rüzgar Enerjisinin Faydaları ve Eksiklikleri	20
1.4. Asenkron Makina	21
1.4.1. Asenkron Motor.....	21
1.4.1.1. Sincap Kafesli Asenkron Motorun Matematiksel Modeli.....	24
1.4.1.2. Sincap Kafesli Asenkron Makinanın d–q Eksen Takımı Modeli	29
1.4.2. Asenkron Generatör.....	32
1.5. FV Güneş Pilleri	38
1.5.1. FV Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi.....	39
1.5.2. FV Güneş Pili Türleri	40
1.5.3. FV Güneş Pilinin Eşdeğer Devre Modelleri.....	40
1.5.4. FV Güneş Pilinin Karakteristikleri.....	44

1.5.5.	Güneş Enerjisinin Faydaları ve Eksiklikleri.....	46
1.6.	Denetleyiciler.....	46
1.6.1.	Oran-İntegral-Türev Türü Denetleyiciler	46
1.6.2.	Bulanık Mantık	47
1.6.2.1.	Üyelik Fonksiyonları	48
1.6.2.2.	Bulanık Mantık Karar Verici	48
1.6.2.3.	Bulanık Önergeler	49
1.6.2.4.	Bulanık İşlemcinin Kısımları	49
1.7.	Karma Enerji Üretim Sisteminde Kullanılan Diğer Bileşenler	50
1.7.1.	Kıyıcılar	50
1.7.2.	Evirici	51
1.7.3.	Aküler	51
1.8.	Enerji Yönetimi	52
1.8.1.	Akü Şarj Düzenleyicileri	52
1.8.1.1.	Seri Şarj Düzenleyicileri.....	53
1.8.1.2.	Paralel Şarj Düzenleyicileri.....	53
1.8.2.	Maksimum Güç İzleyici	54
1.8.2.1.	FV Güneş Panellerinde Maksimum Güç İzleme	54
1.8.2.2.	RES'lerde Maksimum Güç İzleme.....	55
1.8.3.	Akıllı Şebekeler	57
1.8.4.	Garanti Güç Tekniği	59
1.8.5.	Tahmin Sistemleri	59
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	62
2.1.	Benzetim Çalışmaları	62
2.1.1.	FV Güneş Pili Matlab/Simulink Modeli.....	62
2.1.2.	Rüzgar Enerji Sistemi Matlab/Simulink Çalışmaları	68
2.1.3.	Bulanık Mantık Denetleyicinin Matlab/Simulink Modeli.....	68
2.2.	Deneysel Çalışmalar	76
2.2.1.	FV Güneş Panelleri Sistemi (FVGPS)	76
2.2.2.	Rüzgar Enerji Sistemi Modeli	79
2.2.3.	Şebeke Bağlantısı	83
2.2.4.	Veri Aktarımı.....	84
2.2.5.	Akım – Gerilim Algılayıcıları	84

2.2.6.	Ara Sürme ve Yalıtım Devreleri.....	86
2.2.7.	Enerji Yönetim Yazılımı ve Tasarımı	88
2.2.7.1.	Eğri Uydurma	90
2.2.7.1.1.	FV Güneş Panelleri Sisteminden Alınan Veriler.....	91
2.2.7.1.2.	Rüzgar Enerji Sisteminden Alınan Veriler	93
2.2.7.2.	Güneş Enerjisi / Rüzgar Enerjisi Karma Enerji Üretim Sisteminde Enerji Yönetimi	108
2.2.7.3.	Güneş Enerjisi / Rüzgar Enerjisi / Şebeke Karma Enerji Üretim Sisteminde Enerji Yönetimi	112
2.2.7.4	Bulanık Mantık Sonuçlandırma (BMS) ile Tepe Rüzgar Güç Değerinin Hesabı	116
3.	BULGULAR	121
3.1.	FV Güneş Panelleri / Rüzgar Enerji Sisteminde Enerji Yönetim Yazılımı.....	121
3.2.	FV Güneş Panelleri/Rüzgar Enerji Sistemi/Şebeke Sisteminde Enerji Yönetim Yazılımı	132
4.	TARTIŞMA.....	150
5.	SONUÇLAR.....	156
6.	ÖNERİLER	158
7.	KAYNAKLAR.....	160
	ÖZGEÇMİŞ.....	180

Doktora Tezi

ÖZET

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINDA SÜREKLİLİK İÇİN AKILLI BİR
ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ

Onur Özdal MENGİ

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

Danışman: Prof. Dr. İsmail Hakki ALTAŞ
2011, 179 Sayfa

Bu tezde, Yenilenebilir Enerji Sistemleri'nde (YES) enerji sürekliliğini sağlamak amacıyla bir Akıllı Enerji Yönetim Sistemi (AEYS) geliştirilmiştir. Önerilen AEYS'i test etmek amacıyla rüzgar ve Fotovoltaik (FV) güneş panellerinden oluşan YES kurulmuş ve çalıştırılmıştır. Rüzgar ve FV panellerden elde edilen gücün güvenilir ve istenilen kalitede olmaması nedeniyle yük için gerekli gücün temini için bu tür YES'lerde enerji yönetim sisteminin uygulanması zorunlu hale gelmektedir. Rüzgar ve FV sistemlerden elde edilen güç yenilenebilir yeşil güç havuzu da denilebilecek ortak DA barasında toplanarak DA ve AA yüklerin beslenmesinde kullanılmaktadır. Yenilenebilir yeşil DA güç barası uygun şekilde işletilerek sürekli deverede kalması gereken yüklere gerekli taban güç aktarımı sağlanabilmektedir. Taban güç sağlandıktan sonra gerek duyulan yük gücü, rüzgar ve FV'den uygun olan birinden veya her ikisinden karşılanmaktadır. Rüzgar ve FV kaynaklardan hangisinin kullanılacağına önerilen bulanık mantık tabanlı AEYS karar vermektedir. Üretilen ve ihtiyaç duyulan güç değerlerine ait bilgiler geliştirilen akıllı karar verme algoritması tarafından kullanılarak hangi kaynaktan ne kadar gücün yüke ne kadar gücün depolanmaya aktarılması gerektiğine karar verilmektedir. Bunun yanı sıra rüzgar enerji sisteminin üretilen maksimum gücünde çalıştırılması da AEYS tarafından denetlenmektedir. AEYS aynı zamanda gerektiğinde, YES'i şebekeye bağlayabilmekte ve güç yönetimini de yapabilmektedir. Bu nedenle aslında geliştirilmiş olan AEYS aynı zamanda oluşturulan YES içinde bir akıllı şebeke uygulaması olarak da değerlendirilebilir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar enerjisi, Fotovoltaik güneş enerjisi, Bulanık sonuçlandırma, Bulanık karar verme, Akıllı enerji yönetim sistemi, Akıllı şebeke

PhD. Thesis

SUMMARY

AN INTELLIGENT DECISION MAKING SYSTEM FOR PROVIDE ENERGY
SUSTAINABILITY IN RENEWABLE ENERGY SOURCES

Onur Özdal MENGİ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electric-Electronic Engineering Graduate Program

Supervisor: Prof. İsmail Hakkı ALTAŞ
2011, 179 Pages

An Intelligent Energy Management System (IEMS) for maintaining the energy sustainability in Renewable Energy Systems (RES) is introduced in this thesis. A RES consisting of wind and Photovoltaic (PV) solar panels is established and used to test the proposed IEMS. Since the wind and solar sources are not reliable in terms of sustainability and power quality, a management system is required for supplying the load power demand. The power generated by wind and PV solar systems is collected on a common DC bus as a renewable green power pool to be used for supplying power to DC or AC loads. The renewable green DC power bus is operated in a way that there is always a base power available for permanent loads. Then the additional power requirement is supplied from either wind or PV or both depending upon the availability of these power sources. The decision about operating these systems is given by a IEMS with fuzzy logic decision maker proposed in this study. Using the generated and required power information from the wind/PV and load sides, the fuzzy reasoning based IEMS determines the amount of power to be supplied from each or both sources. Besides, the IEMS tracks the maximum power operating point of the wind energy system. The IEMS is also designed to operate the RES as a part of power utility. Therefore the IEMS can also be considered as a smart grid operator in the proposed RES application.

Key Words: Wind energy, Photovoltaic solar energy, Fuzzy reasoning, Fuzzy decision maker, Intelligent energy management system, Smart grid

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Amaçlanan yenilenebilir enerji üretim sistemi ve bu sistemde enerji yönetimi .	4
Şekil 1.2. Değişik rüzgar sistemleri.....	12
Şekil 1.3. V_1 ve V_2 rüzgar hızları arasındaki rüzgar türbin gücü ile rotor hızının değişimi	15
Şekil 1.4. Rüzgar akışı.....	15
Şekil 1.5. Akıntı yönünde ve akıntının tersi yönde rüzgar hız oranının etkinliğe göre değişimi	17
Şekil 1.6. SMDAG'lı RES modeli	19
Şekil 1.7. SKAG'lı RES modeli	19
Şekil 1.8. ASM rotor devresi statora aktarılmış bir faz eşdeğer devresi	25
Şekil 1.9. Rotor akı vektörünün d-q eksen takımındaki bileşenlerinin fazör gösterimi	29
Şekil 1.10. Asenkron makinanın moment-kayma karakteristiği	33
Şekil 1.11. ASM'de güç akışları, a) motor çalışma, b) generatör çalışma, c) fren çalışma	33
Şekil 1.12. Kendinden uyarmalı RES.....	35
Şekil 1.13. Harici kondansatörlü kendinden uyarmalı asenkron generatörün yaklaşık eşdeğer devresi	35
Şekil 1.14. Asenkron generatörün boşa çalışma karakteristiği.....	36
Şekil 1.15. Fotovoltaik hücreler, modüller ve diziler	38
Şekil 1.16. FV güneş pilinin çalışması	40
Şekil 1.17. Basitleştirilmiş FV güneş pil modeli	41
Şekil 1.18. Tek diyotlu FV güneş pili eşdeğer devresinin geliştirilmiş hali.....	41
Şekil 1.19. İki diyotlu FV güneş pili eşdeğer devresi.....	41
Şekil 1.20. İki diyotlu FV güneş pili eşdeğer devresinin geliştirilmiş hali	41
Şekil 1.21. FV güneş pilinin dinamik modeli.....	42
Şekil 1.22. FV güneş pilinin eşdeğer devresi	42
Şekil 1.23. FV güneş pili gerilim-akım ve gerilim-güç eğrileri bir arada	44
Şekil 1.24. Sıcaklıkla FV pil gerilimi ve güç değerlerinin değişimi	45
Şekil 1.25. Işık şiddeti ile FV güneş pilinin gerilim ve üretilen güç değerlerinin değişimi	45
Şekil 1.26. Bulanık karar verme mekanizmasının temel yapısı	50
Şekil 1.27. Seri şarj düzenleyici	53

Şekil 1.28. Paralel şarj düzenleyici.....	54
Şekil 1.29. Uç hız oranı kontrolün blok diyagramı	56
Şekil 1.30. Güç sinyal geri beslemesi kontrolünün blok diyagramı.....	56
Şekil 1.31. Tepe tırmanma tekniği	57
Şekil 1.32. Garanti güç tekniği	59
Şekil 2.1. a) FV güneş pilinin Matlab/Simulink modeli b) FV eşdeğer devresi	62
Şekil 2.2. Sıcaklığın FV güneş pil gerilimi üzerindeki değişim değeri olan C_{TV} değerinin hesaplanmasını sağlayan Matlab/Simulink bloğu	64
Şekil 2.3. Sıcaklığın FV güneş pil akımı üzerindeki değişim değeri olan C_{TI} değerinin hesaplanmasını sağlayan Matlab/Simulink bloğu	64
Şekil 2.4. Güneş radyasyon seviyesinin FV güneş panel geriliminde meydana getirdiği değişim değeri katsayısı olan C_{SV} değerinin hesaplanmasını sağlayan Matlab/Simulink blokları.....	65
Şekil 2.5. Güneş radyasyon seviyesinin FV güneş panel akımında meydana getirdiği değişim değeri katsayısı olan C_{SI} değerinin hesaplanmasını sağlayan Matlab/Simulink blokları.....	65
Şekil 2.6. Girilen FV güneş pili katalog değerleri ile FV güneş pili	67
Şekil 2.7. Seri ve paralel bağlanacak FV güneş pil sayılarının girilmesi	67
Şekil 2.8. Bulanık mantık denetleyici.....	69
Şekil 2.9. e , de ve du 'nun değerlerinin ayarlandığı 3 bloğun iç yapısı bir arada	70
Şekil 2.10. a) Üçgen üyelik fonksiyonu b) Matlab/Simulink modeli.....	71
Şekil 2.11. Bulanıklaştırma birimi.....	72
Şekil 2.12. e ve de 'nin değişimi	73
Şekil 2.13. BMD'nin çalışması için gereken kurallar	74
Şekil 2.14. Mamdani sonuçlandırma metodu	75
Şekil 2.15. Durulaştırma işlemi	76
Şekil 2.16. Kurulan FVGPS/Akü sistemi	77
Şekil 2.17. RES modelinden üretilen enerji ile yüklerin beslenmesi	79
Şekil 2.18. 3 fazlı doğrultucu devresi	82
Şekil 2.19. Kurulan sistemde şebeke bağlantısının yapısı.....	83
Şekil 2.20. LV-25P gerilim algılayıcı bağlantı şeması	85
Şekil 2.21. LA-55P akım algılayıcı bağlantı şeması	85
Şekil 2.22. Akım-gerilim algılama devresi.....	86
Şekil 2.23. Yalıtım ve sürme devresi.....	87
Şekil 2.24. Şebekenin devreye alınıp çıkarılması.....	87

Şekil 2.25. Kontrolsüz çalışan rüzgar-güneş enerji üretim sistemi	88
Şekil 2.26. RES'e ait gerilim, akım ve güç değişimi.....	89
Şekil 2.27. FV güneş paneli sistemine ait gerilim, akım ve güç değişimi.....	89
Şekil 2.28. Yüklere ait gerilim, akım ve güç değişimi	90
Şekil 2.29. FV güneş paneli akım-gerilim değişimi birinci dereceden doğru ile	92
Şekil 2.30. FV güneş paneli akım-gerilim değişimi yedinci dereceden eğri ile.....	92
Şekil 2.31. 44Hz hız değerinde değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi ..	94
Şekil 2.32. 43Hz hız değerinde değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi ..	95
Şekil 2.33. 42Hz hız değerinde değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi ..	97
Şekil 2.34. 41Hz hız değerinde değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi ..	98
Şekil 2.35. 40Hz hız değerinde değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi ..	99
Şekil 2.36. 39Hz hız değerinde değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi	100
Şekil 2.37. 38Hz hız değerinde değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi	101
Şekil 2.38. 37Hz hız değerinde değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi	102
Şekil 2.39. 36Hz hız değerinde değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi	103
Şekil 2.40. 35Hz hız değerinde değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi	104
Şekil 2.41. 34Hz hız değerinde değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi	105
Şekil 2.42. 33Hz hız değerinde değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi	106
Şekil 2.43. 32Hz hız değerinde değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi	107
Şekil 2.44. FV güneş panelleri - RES.....	109
Şekil 2.45. Enerji yönetim programının basitleştirilmiş akış diyagramı	112
Şekil 2.46. FV güneş panelleri - RES - şebeke sistemi	113
Şekil 2.47. Enerji yönetim programının basitleştirilmiş akış diyagramı	114
Şekil 2.48. Deneysel sistemin yandan görünüşü	115
Şekil 2.49. Deneysel sistemin üstten görünüşü	115
Şekil 2.50. Algılayıcıdan gelen akım giriş değeri	116
Şekil 2.51. Algılayıcıdan gelen gerilim giriş değeri.....	117
Şekil 2.52. 18 seviyeli güç çıkış uzayı	117
Şekil 2.53. 7 seviyeli güç çıkış uzayı	118
Şekil 3.1. Rüzgar-güneş enerji üretim sisteminde enerji yönetim programı	121
Şekil 3.2. Rüzgar enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi	122
Şekil 3.3. Güneş enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi.....	123
Şekil 3.4. Yük üzerindeki akım, gerilim ve güç değişimi	123

Şekil 3.5. BMS çıkışında RES’den elde edilebilecek tepe güç değerinin değişimi	124
Şekil 3.6. Güneş enerjisinin rüzgar gücünün yetmediği durumda devreye girip çıkması	125
Şekil 3.7. Rüzgar enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi	125
Şekil 3.8. Güneş enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi.....	126
Şekil 3.9. Yük üzerindeki akım, gerilim ve güç değişimi deneysel sonuçlar.....	126
Şekil 3.10. BMS çıkışında RES’den elde edilebilecek tepe güç değerinin değişimi	128
Şekil 3.11. Güneş enerjisinin rüzgar gücünün yetmediği durumda devreye girip çıkması	128
Şekil 3.12. Rüzgar enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi	129
Şekil 3.13. Güneş enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi.....	129
Şekil 3.14. Yük üzerindeki akım, gerilim ve güç değişimi	130
Şekil 3.15. BMS çıkışında RES’den elde edilebilecek tepe güç değerinin değişimi	131
Şekil 3.16. Güneş enerjisinin rüzgar gücünün yetmediği durumda devreye girip çıkması.....	131
Şekil 3.17. Rüzgar-güneş-şebeke enerji üretim sisteminde basit enerji yönetim programı	132
Şekil 3.18. Rüzgar enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi	133
Şekil 3.19. Güneş enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi.....	134
Şekil 3.20. Şebeke sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi	134
Şekil 3.21. Yük üzerindeki akım, gerilim ve güç değişimi	135
Şekil 3.22. BMS çıkışında RES’den elde edilebilecek tepe güç değerinin değişimi	136
Şekil 3.23. Rüzgar gücünün yetmediği durumda güneş enerjisinin devreye girip çıkması.....	136
Şekil 3.24. Rüzgar gücünün yetmediği durumda şebekenin devreye girip çıkması.....	137
Şekil 3.25. Yük üzerindeki gerilimin dalga şeklinin ayrıntısı	138
Şekil 3.26. Rüzgar-güneş-şebeke enerji üretim sisteminde geliştirilmiş enerji yönetim programı	139
Şekil 3.27. Rüzgar enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi	140
Şekil 3.28. Güneş enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi.....	140
Şekil 3.29. Şebeke sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi	141
Şekil 3.30. Yük üzerindeki akım, gerilim ve güç değişimi	142
Şekil 3.31. BMS çıkışında RES’den elde edilebilecek tepe güç değerinin değişimi	142
Şekil 3.32. Güneş enerjisinin rüzgar gücünün yetmediği durumda devreye girip çıkma durumu	143
Şekil 3.33. Şebekenin devreye girip çıktığı durumlar	143

Şekil 3.34. Yük üzerindeki gerilimin dalga şekli	144
Şekil 3.35. Rüzgar enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi	145
Şekil 3.36. Güneş enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi.....	145
Şekil 3.37. Şebeke sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi	146
Şekil 3.38. Yük üzerindeki akım, gerilim ve güç değişimi	147
Şekil 3.39. BMS çıkışında RES’den elde edilebilecek tepe güç değerinin değişimi	147
Şekil 3.40. Güneş enerjisinin rüzgar gücünün yetmediği durumda devreye girip çıkması.....	148
Şekil 3.41. Şebekenin devreye girip çıkması.....	148
Şekil 3.42. Yük üzerindeki gerilimin dalga şekli	149
Şekil 4.1. Kontrolsüz çalışan sistemde güç değişimleri	150
Şekil 4.2. Güneş-rüzgar sisteminde enerji yönetim programındaki güç değişimleri.....	151
Şekil 4.3. Farklı bir denemede güneş-rüzgar enerji üretim sisteminde enerji yönetim programındaki güç değişimleri.....	152
Şekil 4.4. Değişik bir zamanda yapılan güneş-rüzgar enerji üretim sisteminde enerji yönetim programındaki güç değişimleri.....	152
Şekil 4.5. Güneş-rüzgar-şebeke sisteminde basit enerji yönetim programında omik yük durumunda güç değişimleri	153
Şekil 4.6. Güneş-rüzgar-şebeke sisteminde gelişmiş enerji yönetim programında sadece omik yük durumunda güç değişimleri.....	154
Şekil 4.7. Güneş-rüzgar-şebeke sisteminde gelişmiş enerji yönetim programında omik ve endüktif yük durumunda güç değişimleri.....	155

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. BMD'nin kuralları.....	73
Tablo 2.2. FV güneş paneli değerleri	78
Tablo 2.3. Kullanılan akülerin özellikleri.....	78
Tablo 2.4. Maksimum güç izleyicili akü şarj cihazı.....	78
Tablo 2.5. Kıyıcının özellikleri.....	78
Tablo 2.6. Tam sinüs eviricinin özellikleri.....	78
Tablo 2.7. Asenkron motorun özellikleri.....	80
Tablo 2.8. Asenkron generatörün özellikleri	80
Tablo 2.9. Asenkron motor hız kontrol ünitesinin özellikleri	80
Tablo 2.10. Kondansatör grubunun özellikleri.....	81
Tablo 2.11. Trafonun özellikleri.....	81
Tablo 2.12. 3 doğrultucunun özellikleri	81
Tablo 2.13. Kıyıcının özellikleri.....	81
Tablo 2.14. Tam sinüs eviricinin özellikleri.....	81
Tablo 2.15. Trafonun özellikleri.....	84
Tablo 2.16. Kıyıcının özellikleri.....	84
Tablo 2.17. Tam sinüs eviricinin özellikleri.....	84
Tablo 2.18. FV güneş panelleri ölçümleri	91
Tablo 2.19. Asenkron motor hız değeri 44Hz	93
Tablo 2.20. Asenkron motor hız değeri 43Hz	95
Tablo 2.21. Asenkron motor hız değeri 42Hz	96
Tablo 2.22. Asenkron motor hız değeri 41Hz	97
Tablo 2.23. Asenkron motor hız değeri 40Hz	99
Tablo 2.24. Asenkron motor hız değeri 39Hz	100
Tablo 2.25. Asenkron motor hız değeri 38Hz	101
Tablo 2.26. Asenkron motor hız değeri 37Hz	102
Tablo 2.27. Asenkron motor hız değeri 36Hz	103
Tablo 2.28. Asenkron motor hız değeri 35Hz	104

Tablo 2.29. Asenkron motor hız değeri 34Hz	105
Tablo 2.30. Asenkron motor hız değeri 33Hz	106
Tablo 2.31. Asenkron motor hız değeri 32Hz	107
Tablo 2.32. Asenkron motor hız değeri 31Hz	108
Tablo 2.33. BMS kurallar 0-700W güç için	119
Tablo 2.34. BMS kurallar 700W-1000W güç için	120

SEMBOLLER DİZİNİ

E_k	: Kinetik enerji
v_1	: Hız
m	: Kütle, rotor çubuk sayısı (rotor faz sayısı)
P_M	: Türbinin mekanik çıkış gücü
ρ	: Hava yoğunluğu
A	: Rotor süpürme alanını, hava aralığı kesiti
P_0	: Rüzgar türbini çıkış gücü
v	: Rüzgar türbini rotor kanatlarının girişindeakıntıya karşı rüzgar hızı
v_0	: Rüzgar türbini rotor kanatlarının çıkışındaki akıntı yönü rüzgar hızı
C_p	: Uç hız oranına bağlı bir büyüklük
P_{Tepe}	: Rüzgar türbininden alınabilecek tepe güç değeri
λ	: Rüzgar türbinlerinde uç hız oranı
R	: Rüzgar türbin etki alanının maksimum yarıçapı
ω	: Mil hızı
P	: Statorun toplam kutup sayısı
f_s	: Stator frekansı
n_s	: Statorun senkron hızı
ω_s	: Stator hızının açısal hız cinsinden eşiti
n_r	: Asenkron motorun rotor hızı
ω_r	: Rotor hızının açısal hız cinsinden eşiti
s	: Stator ile rotor arasındaki kayma

f_r	: Rotor frekansı
E_s	: Stator sargılarında endüklenen gerilim
E_r	: Rotor sargılarında endüklenen gerilim
a	: Dönüştürme oranı
E_g	: Faz-nötr gerilimi (V)
L_s	: Stator sargı endüktansı
L_r	: Rotor çevre endüktansı
M_{in}	: Rotor ve stator arasındaki karşıt endüktansın maksimum değeri
R_s	: Stator faz sargı direnci, eşdeğer devrenin seri direnci
R_r	: Rotor faz sargı direnci
R_h	: İki çubuk arasındaki halka parçası direnci
$R_ç$: Çubuk direnci
M_{ss}	: Stator faz sargıları arası karşıt endüktansı
M_{rr}	: Rotor çubukları arası ortak endüktansı
μ_o	: Boşluğun magnetik geçirgenliği ($4\pi 10^{-7}$)
g	: Hava aralığı
N_r	: Rotor çubuk sayısı
N_s	: Stator sargı sayısı
p	: Kutup çifti sayısı
ψ_s	: Stator akı vektörü
ψ_r	: Rotor akı vektörü
θ	: Motor mili dönme açısı
J	: Motor miline indirgenmiş toplam eylemsizlik momenti
B	: Motor miline indirgenmiş toplam viskoz sürtünme katsayısı

V_s	: Tek faz asenkron generatör gerilimi
I_s	: Tek faz asenkron generatör akımı
V_C	: Kondansatör gerilimi
C	: Uyarım kondansatörü
ω_a	: Açısal hız
I_C	: Kondansatör akımı
S	: Görünür güç
P	: Aktif güç
Q	: Reaktif güç
E	: Asenkron motor uç gerilimi
θ	: Faz açısı
$\cos\theta$: Güç faktörü
X_C	: Kapasitif reaktansı
f	: Frekans
I_f	: Faz akımı
V_f	: Faz gerilimi
I_{pil}	: FV pilin çıkış akımı
I_{FV}	: Işık seviyesi ve P-N birleşim noktası sıcaklığının fonksiyonu, fotoakım
I_s	: D diyodunun doyma akımı
V_{pil}	: FV pilin çıkış gerilimi
I_D	: Diyot akımı
k	: Boltzmann sabiti ($1.380622 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$)
T_{pil}	: Referans çalışma sıcaklığı($^\circ\text{K}$)
e	: Elektron yükü ($1.6021917 \times 10^{-19} \text{ C}$)

A_1	:	Eğri uydurma faktörü
C_{TV}	:	Sıcaklık gerilim katsayısı
C_{TI}	:	Sıcaklık akım katsayısı
T_X	:	Ortam sıcaklığı
C_{SV}	:	Güneş radyasyonu seviyesindeki değişimin pil foto gerilime etki katsayısı
C_{SI}	:	Güneş radyasyonu seviyesindeki değişimin pil fotoakımına etki katsayısı
T_a	:	Referans ortam sıcaklığını
β_T	:	Sıcaklık nedeniyle pil geriliminde meydana gelen değişimlerin eğim katsayısı
γ_T	:	Sıcaklık nedeniyle pil akımında meydana gelen değişimlerin eğim katsayısı
S_{pil}	:	Referans güneş radyasyon seviyesi
S_X	:	Farklı zamanlardaki farklı güneş radyasyon seviyesi
α_S	:	Güneş radyasyon seviyesindeki değişimin pil çalışma sıcaklığında meydana getireceği değişime ait bir katsayı
V_{Xpil}	:	Tüm etkiler dahil edilmiş FV çıkış gerilimi
I_{XFV}	:	Tüm etkiler dahil edilmiş FV çıkış akımı
$u(t)$:	Denetleyici çıkışı
$e(t)$:	Hata işareti
K_D	:	Oran denetleyici kazancı
K_T	:	Türev denetleyici kazancı
K_i	:	İntegral denetleyici kazancı
μ_{AU}	:	Üçgen üyelik fonksiyonu üyelik değeri
z_0	:	Bulanık mantık denetleyici çıkış değeri
e	:	Hata
de	:	Hatanın değişimi

du : Çıkış uzayı

KISALTMALAR DİZİNİ

IEEE	: Institute of Electrical and Electronical Engineers
IEC	: International Electrotechnical Commission
MGNİ	: Maksimum Güç Noktası İzleyici
FV	: Fotovoltaik
FVGP	: Fotovoltaik Güneş Paneli
RES	: Rüzgar Enerji Sistemi
BM	: Bulanık Mantık
BMS	: Bulanık Mantık Sonuçlandırma
AA	: Alternatif Akım
DA	: Doğru Akım
Oİ	: Oransal-İntegral
ASM	: Asenkron Motor
SM	: Senkron Motor
DAM	: Doğru Akım Motoru
HOMER	: Hybrid Optimization Model for Electric Renewables
SMDAG	: Sürekli Mıknatıslı Doğru Akım Generatörü
SKAG	: Sincap Kafesli Asenkron Generatör
RSAG	: Rotoru Sargılı Asenkron Generatör
SMSG	: Sürekli Mıknatıslı Senkron Generatör
BMD	: Bulanık Mantık Denetleyici
THB	: Toplam Harmonik Bozulması

NB	: Negatif büyük
NK	: Negatif küçük
S	: Sıfır
PK	: Pozitif küçük
PB	: Pozitif büyük

1. GENEL BİLGİLER

1.1 Giriş

Günümüzde hızla artan enerji ihtiyacı ve buna paralel olarak yükselen enerji fiyatları ve çevre kirliliği gibi etkenler insanları yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmektedir. Bu kaynakların sürekli olması ve çevre kirliliğine neden olmamaları nedeniyle daha fazla incelenmekte, kullanılmaya çalışılmakta ve bu konuda yapılan araştırmalar pek çok kuruluş tarafından desteklenmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları doğada var olan ve sürekli olarak kendini yenilediği için bitmeyeceği varsayılan güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, gel-git olayı gibi kaynaklardan oluşur [1]. Bu kaynaklardan enerji elde etmek ve bu enerjiyi istediğimiz şekle dönüştürerek kullanmak araştırmacıların ve bilim insanlarının üzerinde çalıştıkları önemli konulardan birisidir.

Bu kaynaklar arasında rüzgar enerjisinin ve güneş enerjisinin farklı bir yeri vardır. Dünyanın her yerinde rüzgar ve güneş bulunmaktadır. Bu nedenle bu kaynaklar üzerinde daha yoğun olarak çalışılmaktadır. Amaç enerjinin sadece elde edilmesi olmamakta, bununla birlikte enerjiyi uygun değerlere getirmek, mevcut enerjiyi yönetmek ve harmonikleri yok etmek de amaçlanmaktadır. Tüm bunlar yapılırken sistemin olabilecek en ucuz hale getirilmesi her aşamada düşünülmektedir.

Bu konularla uzun zamandan beri çalışılmaktadır. Özellikle rüzgar enerjisi binlerce yıldır sulama, tahıl öğütme ve su çekme gibi değişik işlerde kullanılmaktadır. Güneş enerjisi ise daha çok kurutma amaçlı kullanılmıştır. Günümüzde bu kaynaklardan elektrik enerjisinin üretimi, ana amaç olarak karşımıza çıkmaktadır [2-3].

Bu sistemlerin kombine çalışmaları tek başlarına kullanılmalarına göre daha karmaşıktır. Tek başına güneş enerjisinin ya da rüzgar enerjisinin bulunduğu bir sistemde tek bir eleman kontrol edilirken, kombine çalışmalarında her bir elemanın teker teker kontrol edilmesi gerektiği gibi aynı zamanda toplu olarak da kontrol edilmesi gerekir. Her birinin ayrı ayrı ayarının yapılması gerekir. Çünkü sistemin birbiri ile uyumlu bir şekilde çalışması istenmektedir. Güneş enerjisinin değiştiği koşullarda Fotovoltaik (FV) güneş paneli sabit bir güç veremez. Benzer şekilde rüzgar türbini, rüzgarın olmadığı durumda

çalışmayacaktır. Bu durumda gerekli enerji, bu sistemin dengeli çalışması ya da bir bileşenin ihtiyaç duyulandan daha az enerji üretmesi durumunda bu eksikliği telafi edebilecek yapıda olması gerekir. Enerji yönetimi, sistemin verimli çalışmasını temin ederken yüklerin enerjisiz kalmasını da engeller. Burada hedef, sabit frekansta belirli bir gerilimde temiz ve sürekli enerji elde etmektir. Enerji elde edilirken ya da elde edildikten sonra mutlaka harmoniklerinin de kontrol edilmesi gerekir.

Elektrik şebekeleri pek çok üreticiden meydana gelen karmaşık bir yapıya sahiptir. Yükteki sürekli değişimler ve lineer olmayan yükler hem sistemin karmaşıklığını artırmakta hem de harmoniklere neden olmaktadır. Elektrik enerji sistemlerinde akım, gerilim gibi büyüklüklerin dalga şekli, temel frekanslı sinüzoidal bir değişime sahip olmalıdır. Bu değişim için sistemin sinüzoidal kaynakla beslenmesi ve lineer yüklerle yüklenmesi gereklidir. Fakat güç sistemlerine bağlanan ve sayıları gittikçe artan çeviriciler, ark fırınları, güç elektroniği elemanları statik VAr kompanzatörleri gibi lineer olmayan yükler, sistemdeki akım ve gerilim büyüklüklerinin sinüzoidal olmamasına yani harmonik bozulmalarına neden olabilir. Günümüzde güç kalitesini belirleyen bazı standartlar bulunmaktadır. Bu standartlar Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) tarafından 1992 yılında geliştirilen IEEE 519-1992 ve International Electrotechnical Commission (IEC) tarafından 1995 yılında IEC 1000-3-2 standardıdır. Bunun dışında bu konu ile ilgili başka standartlar da bulunmaktadır [4].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının bir arada kullanımlarında enerji yönetimi hem sistemin ekonomik hem de verimli çalışmasını temin etmek için önemlidir. Değişen hava koşulları, gündüz-gece durumları ve yüklerdeki hızlı değişim bunu gerekli kılmaktadır. Sistemlerin o anki hava şartlarında olabilecek en verimli çalışma noktasının tespiti için Maksimum Güç Noktası İzleyici (MGNI) [5] cihazlarının kullanılması ve sistemlerin birbirlerini destekleyecek şekilde dinamik olarak devreye girip çıkmalarını sağlayacak şekilde anahtarlanmaları ile enerji yönetimi yapılabilir. Akülerin sürekli olarak dolu kalmasını temin etmek hem güneşin hem de rüzgarın olmadığı durumda önemlidir. Akülerin de bitmesi ile sistem enerjisiz kalır. Bu durumda sistemi şebekeye bağlamak ve ilgili durumları tespit ederek yönetmek bilgisayarlı kontrol mekanizmasının görevidir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarında enerji yönetimi yapabilmek, enerji verimliliğini, kalitesi ve sürekliliğini sağlamak için sistemin dinamik olarak kontrol edilmesi gerekir. Sistemde bulunan pek çok bileşen, (kıyııcı, evirici, anahtarlar, dinamik ve pasif filtreler, şarj kontrol ünitesi gibi) kontrol edilebilen elemanlardır. Yapılan ölçümlerle bu cihazların

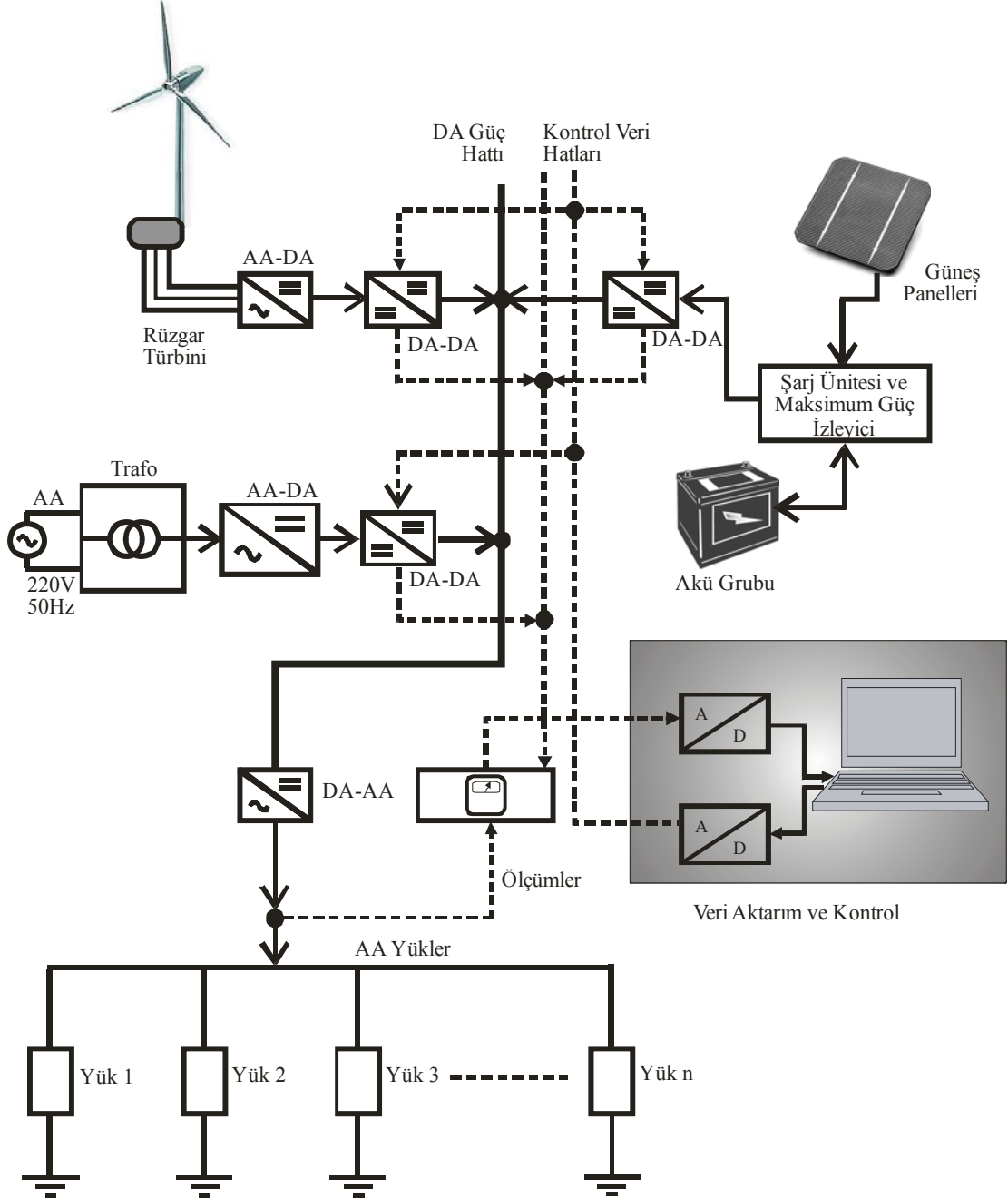
denetimleri sistemin farklı tekniklerle kontrol edilebileceğini gösterir. Bu durum sistemlerin farklı şekillerde çalıştırılabileceğini ve bu işi yapmak için farklı yaklaşımlar bulunabileceğini ifade eder.

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları şebeke ile bağlantılı ve şebekeden bağımsız olmak üzere iki şekilde yapılandırılmaktadır [6]. Şebekeden uzaktaki özellikle ev tipi yükleri beslemek için güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılabilir. Bu tip sistemlerde rüzgarın ve güneşin olmadığı durumda sıkıntılar doğmaktadır. Yedekleme sistemi olarak kullanılan akülerin bitmesi ile yükler tamamen enerjisiz kalır. Buna alternatif bir durum, eğer yükler şebekeye yakınsa güneşin ve rüzgarın olmadığı ve akülerin de boş olduğu durumda yükleri şebekeye bağlamaktır. Şekil 1.1'deki şemada böylesi bir yenilenebilir enerji kaynağı üretim sistemi görülmektedir. Bu sistem şebeke ile bağlantılı çalışmaktadır. Fakat şebeke ile bağlantısı kesilerek şebekeden bağımsız da çalıştırılabilir.

Şekil 1.1'de bu tezde yapılan çalışmanın prensip şeması verilmiştir. Sistem genel olarak Rüzgar Enerji Sistemi (RES), FV güneş paneli [7], şebeke ve akü sisteminden oluşmaktadır. Sistemde her bir enerji üretim sistemine bağlı dönüştürücüler bulunmaktadır. Bu dönüştürücüler ile doğru gerilime çevrilen gerilim ortak bir Doğru Akım (DA) barasında birleştirildikten sonra Alternatif Akıma (AA) çevrilmekte ve kontrol edilmektedir. Sistem yeterli enerji üretiyorsa yükleri beslemektedir. Sistemde güneş ve rüzgar olmadığı zaman eğer aküler de boşalmışsa gerekli anahtarlama yapılarak yükler şebeke üzerinden beslenmektedir. Kontrol işlemleri bilgisayar üzerinden yapılmakta, giriş-çıkış kartı vasıtasıyla sistemden veri toplanmakta ve kontrol amaçlı olarak sisteme veri gönderilmektedir.

Sistem pek çok çeviriciden oluşmaktadır. RES'den elde edilen alternatif gerilim bir trafo ile daha düşük bir değere indirilmekte ve bir doğrultucudan geçirilerek doğrultulmaktadır. Daha sonra elde edilen gerilim bir kıyıcıdan geçirilerek belirli bir doğru gerilim seviyesine getirilip, DA barasına da toplanmaktadır. FV güneş panelinden elde edilen gerilim zaten doğru gerilim olduğundan kontrol edilerek ortak DA barasına verilmektedir. Önce bir şarj düzenleyici ve aynı zamanda Maksimum Güç Noktası İzleme (MGNI) özelliği olan bir cihaz vasıtasıyla FV güneş panellerinin tepe güç noktasında çalışması sağlanırken aynı zamanda akülerin şarjı ve gerekli kontrolleri için şarj düzenleyici de bulunmaktadır. Burada akü çıkışında elde edilen gerilim bir kıyıcıdan geçirilerek bu değer sabitlenmekte ve ortak DA barasına bağlanmaktadır. Ortak DA

barasında toplanan güç bir eviriciden geçirilerek sabit genlik ve frekansta AA gücüne dönüştürülmektedir.



Şekil 1.1. Amaçlanan yenilenebilir enerji üretim sistemi ve bu sistemde enerji yönetimi

Sistemde rüzgar ve güneşin yeterlilik durumları gözetilerek enerji yönetimi yapılmaktadır. Bunun nedeni güneşin ve rüzgarın yetersiz olduğu durumda yüklerin

enerjisiz kalmasının engellenmesidir. Hem RES hem de FV güneş panelleri tek başlarına yükleri besleyebilirler. Eğer ortamda rüzgar yoksa tüm yük FV güneş panellerinden beslenmelidir. Benzer durumda, örneğin akşam saatlerinde güneş olmadığı için sistemin rüzgar enerjisinden beslenmesi gerekir. Bu ve benzeri durumlarda rüzgardan ve güneşten elde edilen güç değerlerine ve yük durumlarına bakılarak sistemin kontrol edilmesi gerekir. Bilgisayar ile kontrol edilen sistemde ne zaman FV güneş panelleri, ne zaman rüzgar enerji sistemi ya da her ikisinden birden yüklerin besleneceğine karar verilmektedir. Yükün olmadığı veya az olduğu durumda aküler şarj edilmektedir. Rüzgar ve güneşin olmadığı durumda aküler de boşalmış ise yükler şebekeden beslenmektedir. Bu şekilde yüklerin enerjisiz kalmamaları sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu durumlar bir enerji yönetim yazılımı tarafından kontrol edilmekte ve alınan kararlara göre FV Güneş Paneli (FVGP) sistemi, RES ya da şebekeyi devreye alıp çıkartmaktadır. Her biri ayrı ayrı, yüklere enerji sağlayabileceği gibi mevcut şartlara göre RES ve FVGP'de aynı anda devrede olabilmektedir. Sistemde rüzgar türbininden elde edilebilecek tepe güç değeri bir Bulanık Mantık Sonuçlandırma (BMS) [8,9] bloğu ile hesaplanmaktadır.

Yapılan bu çalışmada; FV güneş panelleri ile RES'den elde edilen gücün ortak bir DA barada birleştirilmesi ile yüklerin beslenmesi ve ortam koşullarının değiştiği durumda yüklerin enerjisiz kalmasını engelleyecek bir enerji yönetimi sistemi önerilmiş ve deneysel olarak böyle bir sistemin işleyişi incelenmiştir.

1.2. Literatür Araştırması

Rüzgar türbini ve FV güneş panellerinin birlikte kullanıldığı [10-19] ve elde edilen enerji ile yüklerin beslendiği ve enerji yönetiminin [20-73] yapıldığı pek çok araştırma bulunmaktadır. Burada temel amaç ortam şartlarına göre maksimum gücü elde etmek ve elde edilen gücün değişen yük durumlarına göre RES ya da FV güneş panelleri sistemlerinin hangisinden besleneceğine karar vermektir. Benzer şekilde rüzgar türbini ve FV güneş panellerinde olduğu gibi elektrik güç sistemlerinde ve diğer enerji üretim birimlerinde de enerji yönetimi ve güç akışı ile ilgili değişik çalışmalar bulunmaktadır [74-78].

Kurulan sistemin temel parçalarından bir tanesi FV güneş panelleridir. FV güneş panellerin aküler ile birlikte kullanıldığı ve yüklerin beslendiği araştırmalarda akülerin ne kadar dolu ya da ne kadar boş olduğu ve tam şarj durumunda akülerin ömrünün

kısaltılmaması için şarjın kesilmesi gibi aküleri korumaya yönelik tekniklerin geliştirildiği görülmektedir. Akülerin doluluk oranını gösteren şarj yüzdesi ve şarj kontrolünde pek çok farklı kontrol tekniği kullanılmaktadır. Kullanılan güç elektroniği çeviricilerinin anahtarlanmasında Oransal-İntegral (OI), Bulanık Mantık (BM), yapay sinir ağları tabanlı kontrol teknikleri kullanılmaktadır. Kullanılan kıyıcı anahtarlamaları ve akülerden alınan ölçümler ile gerekli kararların verildiği sistemler de mevcuttur [79-84].

Benzer şekilde FV güneş panellerinde maksimum güç noktasının izlenmesi başlı başına bir araştırma konusudur. O anki ortam şartlarında elde edilebilecek maksimum gücün tespit edilerek bu gücün yüklerle aktarılması bu tip cihazların görevidir [85-97]. Bu konuda bulanık mantık kontrol ve yapay sinir ağları gibi pek çok teknik kullanılmaktadır [98-101]. Maliyet, performans ve hızlı çalışma gibi parametrelerin dikkate alınarak ne tip tekniğin kullanılacağını karşılaştırmalı olarak inceleyen araştırmalar da bulunmaktadır [5].

FV güneş panelleri ile şarj kontrolü ve MGNİ yapan cihaz çıkışında elde edilen enerji ile aküler şarj edilirken, akü çıkışında elde edilen gerilim yükler değişken olduğu için değişmektedir. Yük miktarı arttıkça akü çıkış gerilimi düşmektedir. Bu nedenle elde edilen doğru gerilimin sabitlemesi amacıyla kıyıcılar kullanılmaktadır. Elde edilen sabit doğru gerilim bir evirici vasıtasıyla 220V/50Hz alternatif gerilime dönüştürülmektedir [102].

Bunun dışında FV güneş panellerinin hareketli yapılması, daha verimli panellerin kullanımı ve güneş ışığını yoğunlaştıran sistemler de daha verimli çalışmalarını sağlamak için kullanılan yöntemlerdendir [103].

Sistemin diğer ana bileşeni ise RES'dir. Rüzgar türbinlerinde kullanılan değişik elektrik makinaları vasıtasıyla enerji üretilmektedir. Bunlar Asenkron Makinalar (ASM), Senkron Makinalar (SM) ya da Doğru Akım Makinaları (DAM) olabilir [104-106]. Elde edilen gerilim doğru gerilim olabileceği gibi alternatif gerilim de olabilir. Sincap kafesli asenkron generatörün kullanıldığı, şebekeden bağımsız çalışmalarda ihtiyaç duyduğu reaktif güç bir kondansatör grubundan temin edilmektedir [107-112]. Daha sonra elde edilen bu üç fazlı gerilim bir trafo vasıtasıyla düşürülmekte ve burada elde edilen alternatif gerilim üç fazlı köprü tipi doğrultucu kullanılarak doğru gerilime çevrilmektedir. Daha sonra elde edilen doğru gerilim bir kıyıcıdan geçirilerek önceden belirlenmiş sabit bir değere getirilmekte ve son olarak bu değer bir evirici vasıtasıyla 220V/50Hz değerine getirilerek yükler beslenmektedir.

RES'den maksimum güç elde edebilmek için MGNİ yapan değişik yöntemler mevcuttur. Daha çok güç elektroniği çeviricilerinin etkin kontrolleri ile maksimum güç noktası tespit edilerek, sistemi sürekli olarak bu noktada çalıştırılmaya uğraşmaktadır. Ortam koşullarından alınan ölçümlere göre anlık üretilebilecek gücün hesaplanmasına yönelik çalışmalar bulunurken benzer şekilde kullanılan motorların maksimum güç üretmesi için etkin kontrollerinin yapıldığı çalışmalar da bulunmaktadır. Bu şekilde rüzgar türbinlerini maksimum verimde çalıştırmak amaçlanmaktadır [113-127].

FV güneş panelleri, rüzgar türbinleri, yakıt pilleri ve dizel jeneratör gibi enerji üreteçleri tek başlarına kullanıldıkları gibi bir arada da kullanılabilirler. Bu şekilde tasarlanan Rüzgar/FV [10-19], Rüzgar/Yakıt Pili [128-134], FV/Akü [79-84], Rüzgar/Akü [135-137], FV/Rüzgar/Yakıt Pili [138-145], FV/Yakıt Pili [146], FV/Rüzgar/Akü [147,148] v.b. pek çok sistem ve araştırma bulunmaktadır. Bu sistemlerde değişik kontrol teknikleri kullanılarak kontrolleri yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar yük üzerindeki gerilimin genliğinin ve frekansının belli bir değerde sabit tutulmasını amaçlamaktadır. Bunun yanında şebekeye bağlı [149-154] ya da şebekeden bağımsız yapıda da çalışabilmektedirler.

Yenilenebilir enerji kaynakları ve bu sistemlerde kullanılan güç elektroniği çeviricilerin değişik tiplerde kontrol edildikleri görülmektedir [155,156]. Bu tip araştırmalarda bulanık mantık kontrol [157-162], oransal-integral-türev kontrol [160,161] ve bulanık sinir ağları [100] gibi kontrol teknikleri sıklıkla kullanılmaktadır.

Genellikle enerji yönetimi dendiği zaman; akülerin şarj yüzdelerini gösteren ve kontrol eden teknikler [163-169], MGNİ tekniği [92-101], fazla enerjinin hidrojen olarak depo edilmesi [128], yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik analizlerinin yapıldığı çalışmalar [170-176], yük tahmini [177-180], akıllı şebekeler [181-192] gibi araştırmalar karşımıza çıkmaktadır. Bunun dışında dış ortamdan alınan ölçüm değerlerine göre sistemin ne kadar enerji üretebileceği hesaplanarak yapılan çalışmalar da bulunmaktadır [193,194].

Shengtie ve Zhiyuan yaptıkları benzetim çalışmasında rüzgar ve güneş enerji sistemleri ile ilgili gerekli ölçümleri yaparak bu enerji üretim sistemini kontrol etmektedir. Sistemde yedek enerji üretim birimi olarak aküler kullanılmaktadır. Burada kontrolör kıyıcılara kumanda etmektedir. Aynı zamanda MGNİ yapan sistem ile yüklerin ortam koşullarına göre nasıl besleneceğine bu kontrol sistemi karar vermektedir. Bu sistem MGNİ yanında yük izleme kontrolü ve aküler için şarj-deşarj kontrolü de yapmaktadır [28].

Akülerin şarj yüzdesini gösteren çalışmalarda; FV güneş panellerinden ve rüzgar türbinlerinden akülerin şarj edilmesi yaygın bir araştırma konusudur. Akülerin her an, daha ne kadar enerji sağlayabileceğinin tespiti, aküleri korumaya yönelik derin şarj ve derin deşarj durumlarının belirlenmesi ve bu durumların engellenmesi çalışmaları yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar bu tip sistemlerde şarj kontrolünü sağlayan ara kontrol elemanlarının aktif kontrolleri ve bu kontrolleri sağlayan ileri kontrol teknikleri üzerinedir. Gerçek zamanlı kontrol çalışmaları yapıldığı gibi benzetim çalışmaları da sıkça karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanında özellikle elektrikli araçlarda akü şarj yüzdesinin denetimi bu tip araçlar için hayati önem taşımaktadır [79-84, 163-169].

MGNİ teknikleri ile ilgili yapılan çalışmalarda; kaygılandır ve gözetle, bulanık mantık kontrol, artımlı kondüktans algoritması, parçalı kısa devre akımı, yapay sinir ağları, dP/dV geri beslemeli kontrol, dP/dI geri beslemeli kontrol, doğrusal akım kontrolü gibi teknikler kullanılmaktadır. Özellikle Efram [5] yaptığı çalışmada tüm bu yöntemler kıyaslanmakta, tekniklerin birbirine göre üstünlükleri ve zayıflıkları karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Genellikle kullanılan kıyıcıların klasik ve ileri kontrol teknikleri kullanılarak kontrol edilmeleri yani anahtarlanmaları ile MGNİ yapılmaktadır [85-97].

MGNİ sadece FV güneş panellerinde değil aynı zamanda rüzgar türbinlerinde de yapılmaktadır [113-127]. Nabil ve diğerleri yaptıkları benzetim çalışmasında hem rüzgar türbinini hem de FV güneş panellerini ortam şartlarına göre maksimum güç noktasında çalışmalarını sağlamaya çalışmışlardır. Her iki sistemden elde edilen doğru gerilim bir DA barada birleştirilmektedir. Burada DA bara gerilimini yüksek tutmak amaçlanmaktadır. Aynı zamanda yedekleme ünitesi olarak tasarlanan yakıt pillerinin de bulunduğu sistemde kıyıcıların etkin anahtarlanmaları ile MGNİ yapılmaktadır [195]. Benzer şekilde Chen ve diğerlerinin yaptığı çalışmada kaygılandır ve gözetle metodunu kullanan MGNİ, çok girişli kıyıcı ve çok girişli evirici kullanmak suretiyle karma rüzgar/güneş enerji üretim sisteminden elde ettiği güç ile yükleri beslemektedir. Deneysel olarak yapılan çalışmanın sonucunda sistemden hem rüzgar türbininden hem de FV güneş panellerinden maksimum güç elde edilmeye çalışıldığı, rüzgar hızı ve ortam güneş radyasyon seviyesi ve sıcaklık nedeniyle bu üreteçlerden elde edilen gerilimin geniş bir aralıkta değiştiği halde sistemin bu değişimlerden etkilenmediği gözlenmiştir. Ara kontrol elemanları bir sayısal işaret işlemci ile kontrol edilerek sistem denetimi yapılmıştır [196]. Bunun dışında MGNİ için bu noktanın tespitinde optimizasyon teknikleri ve ileri kontrol tekniklerinin kullanıldığını da görmekteyiz. Hong ve diğerlerinin yaptığı çalışma bu tip bir çalışmadır. Gradient

yaklaşımının kullanıldığı bu çalışmada, maksimum güç noktası bu tekniği kullanarak belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu teknik kırıyıcının anahtarlama sinyallerinin üretiminde kullanılmaktadır. Kullanılan bu tekniğin oldukça iyi sonuçlar verdiği makalede belirtilmektedir [123].

Akü şarj yüzdesi ve MGNİ cihazlarının bir arada kullanıldığı ve panellerden elde edilen maksimum güç ile akülerin şarj edildiği ve yüklerin bu akülerden beslendiği pek çok makalede yine akülerin şarj kontrolleri yapılmaktadır. Enerji yönetim sisteminin bu iki işi birden kontrol ettiği gözlenmektedir. Bu tip sistemlerde MGNİ ve akü şarjı için ileri kontrol tekniklerinin kullanıldığı ve kullanılan güç elektroniği çeviricilerinin etkin bir şekilde anahtarlandığı görülmektedir [83].

MGNİ ve akü şarj yüzdesinin hesaplandığı ve kontrol edilmesi ile sabit duran FV güneş panelleri maksimum verimde çalıştırılmakta ve akülerin doluluk oranlarının tespiti ile enerji yönetimi yapılmaktadır. Buna ilaveten FV güneş panellerinden maksimum verim alınması için panelleri hareketli yapmak ve güneş ışığını yoğunlaştıran sistemler kullanmak da elde edilen enerjinin veriminin artırılması için kullanılan diğer metotlardandır [103].

Fazla enerjinin akülerde toplanması ya da yüklerin yedekleme ünitesi olarak akülerden beslenmesine benzer olarak fazla enerjinin hidrojen olarak depolanması da son zamanlarda sıkça karşılaşılan bir yöntemdir. Khan ve Iqbal, yaptıkları çalışmada rüzgar türbininden ve yakıt pilinden elde ettikleri enerji ile yükleri beslemekte ve yüklerin az ve üretilen enerjinin fazla olduğu durumda bu enerjinin elektroliz ile hidrojen üretimine harcanması işleminin Matlab/Simulink ortamında benzetimi görülmektedir [128]. El-Shatter ve diğerlerinin yaptığı bir diğer araştırmada ise karma rüzgar/fotovoltaik/yakıt pili enerji üretim sisteminde enerji akışı ve yönetimi yapılmaktadır. Burada yük durumuna bakılarak hangi sistemin devreye gireceğine karar veren bir algoritma bulunmaktadır. Hem rüzgar türbini hem de FV güneş panellerinde MGNİ yapılarak bu sistemlerin maksimum verimde çalışmaları temin edilmeye çalışılmaktadır. Bulanık mantık kontrol tekniği kullanılarak kırıyıcıların kontrol edilmesi suretiyle MGNİ yapılmaktadır. Sistemde ayrıca yakıt pili de kullanılmakta ve elektroliz ile hidrojen üretimi de yapılmaktadır. Bu sayede ortam koşullarının müsait olmadığı durumda yüklerin enerjisiz kalması engellenmeye çalışılmaktadır [33].

Hocaoğlu ve Kurban'ın yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik analizi üzerine yaptığı bu benzetim çalışmasında belirli zaman diliminde üretilen güç değerleri ve tesisi kurmak için harcanan paranın dökümü yapılmaktadır. Ayrıca güç hesabı için Weibull ve

Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanılmaktadır [170]. Barsoum ve Vacent'in yaptıkları bir diğer araştırmada ise Hybrid Optimization Model for Electric Renewables (HOMER) isimli paket programı kullanılarak kurulan enerji üretim sisteminin ekonomik analizi yapılmaktadır [171]. Bunların dışında evler için günlük enerji planlamasının yapıldığı çalışmalar da bulunmaktadır. Ammar ve diğerlerinin yaptığı araştırmada herhangi bir yedek güç ünitesi olmadan fotovoltaik güneş panellerinden elde edilen enerjinin en iyi şekilde yönetimi incelenmiştir. Tasarlanan sistem, ortamdan ölçümler almakta ve veri aktarım kartı vasıtasıyla aldığı bilgileri bilgisayara iletmektedir. Parametre kestiriminin yapıldığı çalışmada, bulanık enerji planlama algoritması kullanılmaktadır. Bu enerji yönetim sistemi kullanılarak değişik güç değerlerindeki yükler beslenerek sistemin etkinliği incelenmektedir [29].

Yük, rüzgar ve fiyat tahmini yapan pek çok araştırmada enerji yönetimi konusuna farklı bir açıdan yaklaşılmaktadır [178-181]. Lydia ve Kumar yazdıkları makalede, rüzgar hızının tahmini konusunda çalışmışlardır. Özellikle ortam şartlarının değişken oluşu, rüzgar hızının süresiz olması nedeniyle üretilen enerji miktarının sürekli değişmesi bu araştırmayı önemli kılmaktadır. Öngörülü kontrol tekniği kullanılarak rüzgar hızı tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Burada bulanık mantık ya da sinirsel bulanık kontrol gibi teknikler kullanılmakta ve tüm bu teknikler kıyaslanmaktadır. Yazarlar daha önce bu teknikleri kullanan diğer araştırmacıların elde ettikleri sonuçlara göre fikir yürütmektedirler [178].

Nagnevitsky ve diğerlerinin yaptıkları çalışmada hem rüzgar hızının hem de yük değişiminin tahminine yönelik uyarlanabilir sinirsel bulanık mantık kontrolör kullanarak fiyat tahmininde bulunmaya çalışmaktadırlar. Bahseden çalışmada uzun, orta ve kısa dönem yük tahmini ve buna göre planlama ve yönetimin yapılması gerektiği ifade edilmektedir. Aynı çalışmanın fiyat tahmini bölümünde; yüklerin değişken olması ve devreye girip çıkan enerji üreteçlerinin doğal şartlardan etkilenmeleri nedeniyle, ürettikleri enerji miktarının değişmesi, tüketicilere sağlanan enerjinin çeşit ve fiyat bakımından farklı olması nedeniyle bu tüketicilerin enerjisiz kalmadan en uygun fiyata nasıl besleneceğine karar vermek için fiyat tahmini konusunda çalışılmaktadır. Yapay sinir ağları ve yapay sinir ağları-bulanık mantık tekniklerinin kullanıldığı araştırmada kısa dönemli yük ve fiyat tahmini yapılarak sonuçlar kıyaslanmaktadır. Elde edilen sonuçların tatmin edici düzeyde olmamasına rağmen rüzgar tahmini konusunda oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir [179]. Benzer bir çalışma yapan Pandal ve diğerleri aynı konu üzerinde çalışmakla birlikte elde

ettikleri sonuçlar bakımından kıyaslandığında daha iyi sonuç aldıkları görülmektedir. Aradaki fark, kullanılan bulanık mantık ve yapay sinir ağları gibi yöntemlerin etkinliklerindedir [180].

Liu ve diğerleri, Sasse, Song ve diğerleri ve Lu ve diğerleri yaptıkları araştırmalarda akıllı şebekelerden bahsetmektedirler. Bilgisayar ve ağ teknolojisi eklenmiş şebekeler olarak adlandırılan akıllı şebekeler, yeni nesil şebekeler olarak görülmektedir. Uzaktan kontrol edilen, kendi kendini kontrol edebilen ve onarabilen, uzaktan ölçme değerlendirme ve fiyatlandırma yapabilen, mevcut kaynaklardan maksimum verim elde eden ve bunu yaparken en ucuz kaynağı seçip kullanabilen gelişmiş bir kontrol sistemine sahip bir şebeke olduğu anlatılmaktadır. Kullanıcılar kendi tüketim ve fiyatlandırma değerlerini bu sistemde internet ortamında anlık olarak takip edebilmektedirler. Üreticiler için bu şekildeki bir kontrol sistemi hangi bölgenin ne zaman daha fazla elektrik tükettiğini takip edebilmek ve sistemi en yakın enerji istasyonundan beslemek ya da tüketimin az olduğu durumlarda pahalıya mal olan enerji üretim istasyonlarını kapatmak gibi imkanlar verebileceği anlatılmaktadır. Tüm dünyada, pek çok ülkenin şebekesini bu şekilde çevirmeye çalıştığı görülmektedir. Bu tip bir sistemi kontrol eden ağ yapısı ve ara cihazların neler olabileceğine bu makalelerde değinilmektedir [181-183,188].

Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak enerji yönetim yazılımı;

- Rüzgar enerjisinden, mevcut ortam koşullarında alınabilecek tepe güç değerini; generatör ile ilgili hiçbir ayarlama yapmadan, tepe noktasını herhangi bir MGNİ tekniği kullanmadan ve dış ortamdan (sıcaklık, rüzgar hızı, nem, v.b.) herhangi bir ölçüm almadan, bulanık mantık karar verme tekniği kullanılarak hesaplayabilen,
- Ürettiği enerjinin üçte birini garanti güç olarak bırakan, bu şekilde %30'luk ani güç değişimlerini yüklere hissettirmeyen,
- Rüzgar, FV güneş panelleri ve şebeke sistemlerini uygun şekilde anahtarlayarak devreye alıp çıkaran,
- Tüketicilerin az, enerji üretiminin fazla olduğu durumda aküleri şarj eden,
- Tüm kuralları kendi kendine uygulayarak sistemi kontrol eden

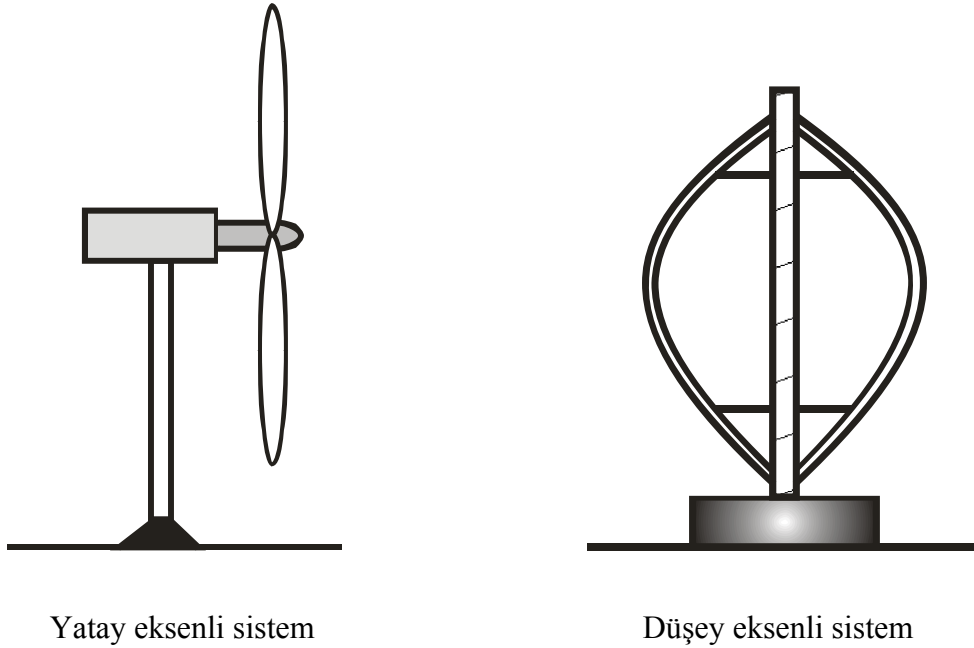
bir yapıdadır. Bu şekilde çalışan bir enerji yönetim tekniği ve yazılımı geliştirilmiş ve pratik olarak uygulanmıştır. Kurulan sistem üzerindeki uygulamalara ait deneysel sonuçlar elde edilmiş ve tartışılmıştır.

1.3. Rüzgar Enerji Üretim Sistemleri

Rüzgar enerjisi insanlık tarihi boyunca kullanılmış eski bir enerji çeşididir. İnsanlar karada değirmenlerde tahıl öğütmek, su çıkarmak gibi işlerde ve denizlerde yelkenlilerin hareket etmesini sağlamak için rüzgar enerjisinden ve gücünden faydalanmışlardır.

Bilindiği gibi rüzgar, sıcaklık farklılıkları ve dolayısıyla basınç farklılığından dolayı meydana gelmektedir. Rüzgar enerji sistemleri, rüzgar hızını pervanesi vasıtasıyla hareket enerjisine çeviren ve bu enerjiyi generatörü aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Şekil 1.2’de yaygın olarak kullanılan rüzgar türbinleri görülmektedir. Pek çok farklı model, tür ve güçte üretilmektedirler.

RES pek çok parçadan oluşmaktadır: kanatlar, kuyruk, kule, rotor, vites kutusu, fren sistemi, eğim donanımı, generatör, doğrultucu ve gerilim düzenleyici, akü, evirici. Tüm bu parçalara bağlantı klemensleri, kablolar, sapma kontrolü, rüzgargülü, anemometre gibi diğer parçalar da eklenebilir.



Şekil 1.2. Değişik rüzgar sistemleri

Rüzgar türbinleri değişik şekillerde sınıflandırılabilirler. Yapılarına göre rüzgar türbinleri;

- Düşey eksenli rüzgar türbini

- Yatay eksenli rüzgar türbini

olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Çalışma hızlarına göre rüzgar türbinleri:

- Sabit hızlı rüzgar türbinleri
- Değişken hızlı rüzgar türbinleri

olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır.

Güçlerine göre sınıflandırıldığında;

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

olmak üzere dört sınıfa ayrılmaktadır. Şebeke açısından bakıldığında ise iki gruba ayrılmaktadır;

- Şebekeye bağlı rüzgar türbinleri
- Şebekeden bağımsız rüzgar türbinleri

Rüzgar türbinlerinde generatör olarak genellikle üç tip generatör kullanılmaktadır.

Bunlar:

- Asenkron generatör. 2'ye ayrılır:
 1. Sincap kafesli asenkron generatör
 2. Sargılı rotorlu asenkron generatör
 - OptiSlip asenkron generatör
 - Çift beslemeli asenkron generatör
- Senkron generatör. 2'ye ayrılır:
 1. Sargılı rotorlu generatör
 2. Sürekli mıknatıslı generatör
- Diğer tipler:
 1. Yüksek-gerilim generatörü
 2. Anahtar relüktanslı generatör
 3. Enine akı generatörü

Bu generatörler arasında güç durumu, maliyet, ağırlık, bakım gibi parametreler dikkate alınarak uygun olanı seçilmektedir [2].

1.3.1. Rüzgar Türbini Generatör Tipleri

Asenkron generatörler, doğru akım generatörleri ve senkron generatörler en yaygın kullanılan rüzgar türbin generatörleridir. Asenkron generatörler rotoru sargılı asenkron generatör ve sincap kafesli asenkron generatör olarak 2 farklı tipte imal edilebilirler [2, 197-199].

1.3.2. Rüzgardan Elde Edilen Güç

Rüzgar türbinlerinin güç ifadesi kinetik enerji ile açıklanmaktadır. v_1 hızı (m/sn) ile hareket eden m kütesinin (kg) kinetik enerjisi Denklem (1.1)'deki gibidir.

$$E_K = \frac{1}{2}mv_1^2 \quad (1.1)$$

Buradan hava değişimi nedeni ile her saniyede kinetik enerjinin akış oranı güç olarak;

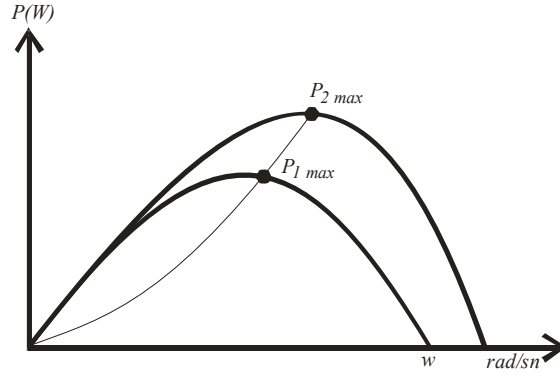
$$Güç = \frac{1}{2}(saniyedeki kütle değişimi)v_1^2 \quad (1.2)$$

ile ifade edilir. Hacimsel akış oranı Av_1 , birim saniyedeki havanın kütle akış oranı ρAv_1 ve rüzgar akışına karşı mekanik güç Denklem (1.1) ve Denklem (1.2)'den faydalanılarak;

$$P_M = \frac{1}{2}(\rho Av_1)v_1^2 = \frac{1}{2}\rho Av_1^3 \quad (1.3)$$

şeklinde elde edilir. Şekil 1.3'de iki farklı rüzgar hızındaki türbin güç değişimleri görülmektedir. Rüzgar türbin modeli türbinin sürekli durum güç karakteristikleri temel alınarak geliştirilmektedir. Burada; P_M türbinin mekanik çıkış gücünü (W), ρ hava yoğunluğunu (kg/m^3), A rotor süpürme alanını (m^2) ve v_1 rüzgar hızını (m/s) göstermektedir. Rüzgar hızındaki değişim ile türbin gücündeki değişim Şekil 1.3'de

görülmektedir. Türbin çıkış gücü rüzgar akış yönüne karşı ve rüzgar akış yönünün arasındaki farktan Denklem (1.4)'de görüldüğü gibi elde edilmektedir:

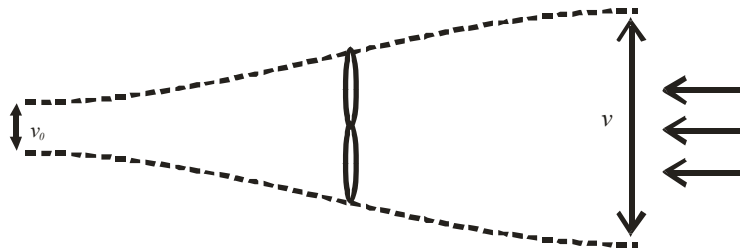


Şekil 1.3. V_1 ve V_2 rüzgar hızları arasındaki rüzgar türbin gücü ile rotor hızının değişimi

$$P_0 = \frac{1}{2}(\text{birim saniyedeki kütle değişimi})(v^2 - v_0^2) \quad (1.4)$$

Denklem (1.4)'de P_0 türbin çıkış gücünü, Şekil 1.4'de görüldüğü gibi v rotor kanatlarının girişinde akıntıya karşı rüzgar hızı, v_0 ise rotor kanatlarının çıkışındaki akıntı yönü rüzgar hızını ifade etmektedir. Rüzgar kanatlarındaki rüzgar hızının v ve v_0 hızları arasında sürekli olmayışı nedeniyle rüzgar hız değeri bu iki değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Ortalama hız değeri hava yoğunluğu ile çarpılarak dönen kanatların kütle akış oranı elde edilir. Denklem (1.5)'de bu ifade görülmektedir:

$$\text{Kütle Akış Oranı} = \rho A \frac{v + v_0}{2} \quad (1.5)$$



Şekil 1.4. Rüzgar akışı

Rotordan elde edilen mekanik güç ile generatör sürülmektedir. Bu güç değeri:

$$P_0 = \frac{1}{2} \left[\rho A \frac{(v + v_0)}{2} \right] (v^2 - v_0^2) \quad (1.6)$$

ile bulunur. Bu denklem yeniden düzenlenirse Denklem (1.7) elde edilir.

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho A v^3 \frac{\left(1 + \frac{v_0}{v} \right) \left[1 - \left(\frac{v_0}{v} \right)^2 \right]}{2} \quad (1.7)$$

Denklem (1.7) tekrar düzenlenirse;

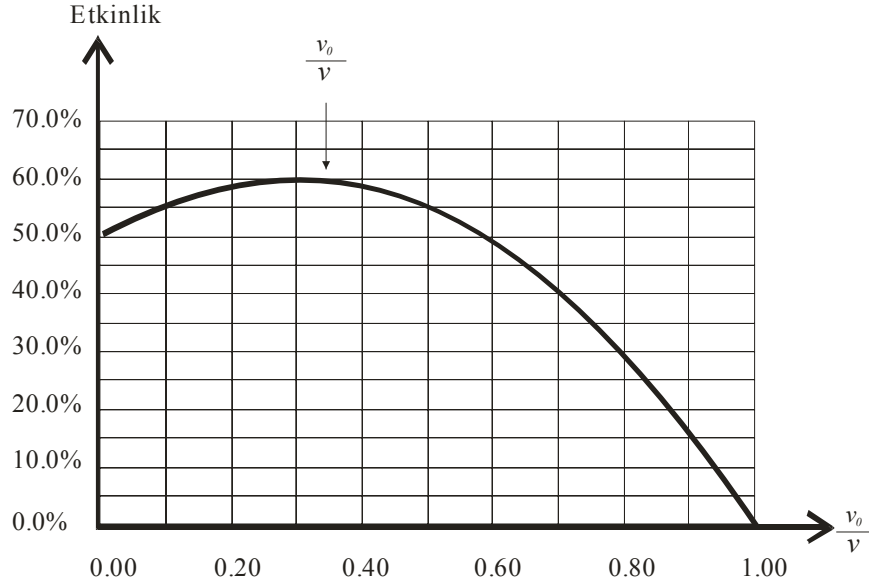
$$P_0 = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p \quad (1.8)$$

elde edilir. Burada C_p değeri;

$$C_p = \frac{\left(1 + \frac{v_0}{v} \right) \left[1 - \left(\frac{v_0}{v} \right)^2 \right]}{2} \quad (1.9)$$

ifadesine eşittir. C_p katsayısı uç hız oranına bağlı bir büyüklük olup her rüzgar hızı için bir tepe değere sahiptir. C_p değerine rotor etkinliği de denilmektedir. Bu değer sistemde mevcutsa dişli kutusu generatör ve güç elektroniği çeviricilerinin verimlerini de içerir.

Şekil 1.5’de görüldüğü gibi $\frac{v_0}{v}$ oranı $\frac{1}{3}$ olduğunda rüzgar türbini maksimum verim noktasına ulaşmaktadır. Bu oran Denklem (1.9)’da yerine yazılırsa bir rüzgar enerjisi çevrim sistemi için güç katsayısının alabileceği en yüksek değer olan 0,59 oranı bulunur. Bu sınır değerine Betz limiti de denilmektedir.



Şekil 1.5. Akıntı yönünde ve akıntının tersi yönde rüzgar hız oranının etkinliğe göre değişimi

Bu şartlar altında bir rüzgar türbininden elde edilebilecek tepe güç değeri;

$$P_{\text{Tepe}} = \frac{1}{2} \rho A v^3 (0,59) \quad (1.10)$$

ile hesaplanır. C_p değeri modern yüksek hızlı iki kanatlı türbinlerde 0.4 ile 0.5 değerleri arasında değişmektedir. Yavaş hızlı ve 2'den fazla kanadı olan türbinlerde 0.2 ile 0.4 arasında değişmektedir. Eğer maksimum rotor etkinliği için bu değeri 0.5 alırsak rüzgar türbininden alınabilecek tepe güç değeri süpürme alanının her bir metre karesi için Denklem (1.11)'de görüldüğü gibi olur:

$$P_{\text{Tepe}(C_p=0,5)} = \frac{1}{4} \rho v^3 \quad (1.11)$$

Rüzgar türbinlerinde uç hız oranı ise;

$$\lambda = \frac{R\omega}{v} \quad (1.12)$$

ile hesaplanır. Burada R türbin yarıçapı (m), ω mil hızıdır ve rad/sn olarak ifade edilir [197,201].

1.3.3. Rüzgar Enerji Dönüşüm Sistemi Modelleri

RES kurmanın maliyetinin yüksek oluşu ve kurulacak yer ile ilgili arazi temini, rüzgar hızı, yükseklik gibi problemleri ortadan kaldırarak araştırmacıların laboratuvar ortamında daha rahat çalışmalarını sağlamak amacıyla RES'ler için emülasyon modelleri kurulmakta ve bu modeller üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Genellikle RES modellerinde 3 tip generatör kullanılmaktadır. Burada pervaneyi modellemek için, motor olarak çalışan bir elektrik makinası bulunmaktadır. Bu motorun miline bağlanmış generatör ile elektrik üretilerek gerekli kontrol ve ayarlamalar yapılmaktadır.

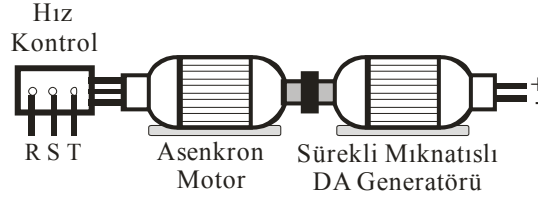
Motor olarak değişik tipte elektrik makinaları kullanılmaktadır. Bu çalışmada rahat bulunmaları, ucuz olmaları, bakım giderlerinin az olması ve gelişen güç elektroniği sürücülerini ile bu motorların daha rahat kontrol edilmeleri nedeniyle asenkron makinalar motor olarak kullanılmıştır. Kullanılan generatörler şunlardır:

- Sürekli mıknatıslı doğru akım generatörü
- Asenkron generatör
- Senkron generatör

Sürekli mıknatıslı doğru akım generatörlü RES modeli ile asenkron generatörlü RES modeli deneysel olarak kurularak incelenmiştir.

1.3.3.1. Sürekli Mıknatıslı Doğru Akım Generatörlü RES Modeli

Generatör olarak sürekli mıknatıslı bir doğru akım motorunun bağlandığı RES modelidir. Bağlantı şekli Şekil 1.6'da görülmektedir. Burada 3 fazlı sincap kafesli bir ASM bir SMDAG'ın miline bağlanmıştır. SMDAG çıkışında elde edilen doğru gerilim bir kıyıcı vasıtasıyla 48V'da sabitlenmektedir. Elde edilen bu gerilim bir eviricinin giriş gerilimi olmakta ve üretilen güç alternatif akıma çevrildikten sonra yükler beslenmektedir.

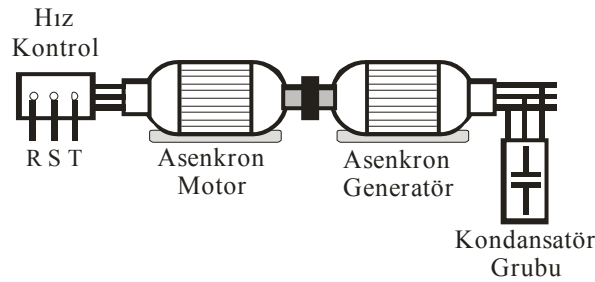


Şekil 1.6. SMDAG'lı RES modeli

Bu sistemin SKAG'e göre avantajı, uyarım kondansatörlerine ve yüksek akımlı 3 fazlı doğrultucuya ihtiyaç duymamasıdır. Bunun yanında en büyük dezavantajı ise aynı güç değerindeki bir ASM'nin neredeyse 10 katı bir fiyat değerine sahip olmasıdır. Bunun yanında sürekli mıknatısların bir süre sonra değerini yitirecek olması ve bakım maliyetlerinin fazla oluşu gibi nedenlerden dolayı SMDAG yerine SKAG kullanmanın daha ucuz olacağı sonucu çıkmaktadır.

1.3.3.2. Asenkron Generatörlü RES Modeli

Generatör olarak sincap kafesli asenkron motorunun bağlandığı RES modelidir. Bağlantı şekli Şekil 1.7'de görülmektedir.



Şekil 1.7. SKAG'lı RES modeli

Burada 3 fazlı sincap kafesli bir ASM bir SKAG'ın miline bağlanmıştır. SKAG'ın enerji üretebilmek için ihtiyaç duyduğu reaktif enerji bir kondansatör grubu tarafından karşılanmaktadır. Elde edilen 3 fazlı gerilim, bir trafo ile daha düşük bir değere indirilmektedir. Trafo çıkışında elde edilen gerilim, 3 fazlı köprü tipi bir doğrultucudan geçirilerek doğru gerilime çevrilmektedir. Bu değer kıyıcının giriş gerilimi olmaktadır. Kıyıcı çıkışında 48V sabit doğru gerilim elde edilmektedir. Bu değer aynı zamanda evirici

giriş gerilimidir. Evirici çıkışında 220V/50Hz'lik alternatif gerilim elde edilerek yükler beslenmektedir.

1.3.4. Rüzgar Enerjisinin Faydaları ve Eksiklikleri

Rüzgar enerjisinin de her sistemde olduğu gibi avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Rüzgar enerjinin faydaları şöyledir:

- Çevreyi kirletmez. Doğa dostu bir enerji çeşididir.
- Hiçbir zaman bitmeyen bir enerjidir.
- Hammadde maliyeti bulunmaz.
- Çok değişik güç değerlerinde üretilebilir.
- Tek tek kurulabildiği gibi pek çok rüzgar türbininin birleşmesi ile rüzgar çiftlikleri olarak da kurulabilir.
- Kurulduğu yerde tarım ve hayvancılığı etkilemez. Bu nedenle her türlü arazide kullanılabilir.
- Sadece karaya değil aynı zamanda deniz ya da okyanus üzerine de inşa edilebilir.

Rüzgar enerjisini eksiklikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Görüntü kirliliğine neden olabilir.
- Kurulum maliyetleri yüksektir.
- Rüzgar hızının değişken olması nedeniyle ürettiği güç değeri sürekli değişir.
- Zaman zaman oluşabilecek pervane gürültüsü çevrede yaşayanları rahatsız edebilir.
- Betz limiti nedeniyle elde ettiği mekanik gücün ancak %59'unu kullanabilir. Bu açıdan verimliliği düşüktür.

1.4. Asenkron Makina

Alternatif gerilimle çalışan ve elektrik enerjisini hareket enerjisine çeviren aletlerdir. Değişik güçlerde, sanayide çok miktarda kullanılmaktadırlar. Hem motor hem de generatör olarak çalışabilirler.

1.4.1. Asenkron Motor

Asenkron motorlar, sanayide en yaygın olarak kullanılan elektrik makinalarıdır. Rotor, rotor yatakları, stator, pervane, bağlantı kutusu ve gövdeden meydana gelmiş elektromekanik enerji dönüşümü yapabilen elektrik makinalarıdır. Asenkron motorlar bir fazlı, iki fazlı ve üç fazlı olarak üretilmektedir. Basit, bakımsız, düşük fiyatlı, kolay kurulabilen ve gelişen güç elektroniği sürücüleri ile istenildiği gibi ayarlanabilen makinalardır [107].

Stator üzerinde, üç fazlı alternatif akım sargıları bulunmaktadır. Bu sargılar uygun şekilde düzenlenerek motorun istenilen kutup sayısında üretilmesi sağlanır. Daha sonra motorun çalışma durumuna göre, bu sargı uçları yıldız veya üçgen olarak bağlanırlar.

Rotor ise kısa devre çubuklu ve sargılı olmak üzere iki değişik yapıda olabilir. Asenkron motorlar üç fazlı şebekeden beslenerek çalıştırılırlar. Statorlarından verilen elektrik enerjisini, mekanik enerjiye çevirerek milinden yüke aktarırlar. Rotor ise gerekli enerjiyi dönüşüm yoluyla statordan alır.

Asenkron motorların stator sargılarına, sargı gerilim değerleri göz önünde bulundurularak (yıldız – üçgen durumu) üç fazlı gerilim uygulandığında, stator sargılarından geçen akımlardan dolayı manyetik stator akı yoğunluğu oluşur. Bu manyetik akı yoğunluğunun çok az bir kısmı kaçak olarak havadan devresini tamamlarken büyük kısmı da stator demir nüvesi üzerinden, stator – rotor arasındaki hava boşluğundan ve rotor demir nüvesi üzerinden devresini tamamlar. Dolayısıyla, hem stator sargılarında hem de rotor sargılarında gerilim endüklenir. Rotor sargıları kısa devre olduğundan, rotor devresinden kısa devre akımı dolaşır. Rotor akımından dolayı rotor akı yoğunluğu oluşur. Stator sargılarından geçen akımdan dolayı stator döner alanı, rotor sargılarından geçen akımdan dolayı da rotor döner alanı meydana gelir. Stator ve rotor döner alanlarının karşılıklı etkileşimi sonucunda motorda bir dönme momenti oluşur. Stator manyetik akı

yoğunluğu, stator döner alan yönünde ve hızında, rotor manyetik akı yoğunluğu da, rotor döner alan yönünde ve hızındadır.

Statorun toplam kutup sayısı P ve uygulanan gerilimin frekansı da f_s ise statorun devir/dakika (d/dak) cinsinden senkron hızı n_s , Denklem (1.13)'de görüldüğü gibi ifade edilir:

$$n_s = \frac{120 f_s}{P} \quad (1.13)$$

veya aynı ifade açısal hız ω_s (rad/sn) cinsinden Denklem (1.14)'deki gibi yazılabilir.

$$\omega_s = \frac{120 f_s}{P} \frac{2\pi}{60} \quad (1.14)$$

Stator döner alanı n_s senkron hızında dönerken, asenkron motorun rotor hızı n_r daima senkron hızdan küçüktür. Bileşke döner alanın rotora göre hızı ise, senkron hız ile rotor hızı arasındaki fark kadardır. Stator ve rotor hızları arasındaki fark, diğer bir ifadeyle bileşke döner alan hızı genellikle kayma hızı olarak ifade edilir. Buna göre, d/dak ve rad/s cinsinden kayma hızı Denklem (1.15)'deki gibidir.

$$\text{Kayma hızı} = n_s - n_r = \omega_s - \omega_r \quad (1.15)$$

Stator ve rotor arasındaki kayma s ile gösterilip Denklem (1.16)'daki gibi hesaplanır.

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \quad (1.16)$$

Asenkron motor dururken, stator sargılarına gerilim uygulandığı anda rotor dönmeye başlamadan, f_s ve f_r birbirlerine eşittirler. Benzer olarak stator sargılarında endüklenen E_s gerilimi ile rotor sargılarında endüklenen E_r gerilimi de, dönüştürme oranı $a = 1$ ise, birbirlerine eşittir. Ayrıca $n_r = 0$ olduğundan, kayma $s = 1$ olur. Rotor senkron hızda dönerse, $n_r = n_s$ olacağından, kayma $s = 0$, $f_r = 0$ Hz ve $E_r = 0$ V olur. Çünkü rotor çubukları stator döner alan hızında döndüğünden, stator manyetik akısı tarafından

kesilmemektedir. Kayma 0 ile 1 arasında ise f_s ile f_r arasındaki ilişki Denklem (1.17)'deki gibi ifade edilir.

$$f_r = s(f_s) = \frac{n_s - n_r}{n_s} f_s \quad (1.17)$$

Stator döner alan hızı Denklem (1.13)'deki gibi ifade edildiğine göre bu Denklem (1.18)'deki gibi yazılabilir:

$$f_s = \frac{P n_s}{120} \quad (1.18)$$

Bu ifade Denklem (1.17)'de yerine yazılırsa Denklem (1.19) elde edilir.

$$f_r = \frac{n_s - n_r}{n_s} f_s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \left(\frac{P n_s}{120} \right) = \frac{P}{120} (n_s - n_r) \quad (1.19)$$

Stator ve rotor sargılarında endüklenen gerilimler arasındaki bağıntı da frekans bağıntısı ile aynı olup Denklem (1.20)'deki gibi ifade edilir.

$$E_r = s(E_s) \quad (1.20)$$

Denklem (1.17) ve Denklem (1.19)'da görüldüğü gibi, rotor dönerken stator ve rotor frekansları ile endüklenen gerilimler arasındaki bağıntı kayma ile orantılıdır. Rotor hızı normal çalışmada senkron hıza çok yakın olduğundan kayma küçük olacaktır. Kaymaya bağlı olarak rotor frekansı ve gerilimi de azalacaktır.

Üç fazlı asenkron motorların stator sargılarına uygun değerde gerilim uygulandığında herhangi bir kontrol ünitesine gerek kalmadan motor çalışır. Uygun gerilim değeri ise motorun bağlantı durumuna göre değişir. Motor çalışırken şebekeden P_g giriş gücünü çeker. Bu giriş gücü, statorda bakır ve demir kayıplarına uğradıktan sonra stator rotor arasındaki hava boşluğundan rotora aktarılır. Rotor devresinde de bakır kayıpları, demir kayıpları, rüzgar kayıpları, sürtünme kayıpları ve kaçak yük kayıplarına uğrayan güç, mile yük gücü veya mekanik güç olarak aktarılır. Ancak rotor demir kayıpları diğer kayıpların

yanında çok küçük olduğundan, rotor devresinde gösterilmez. Motorun toplam demir kayıpları stator tarafında stator demir kaybı olarak gösterilir [107,200].

1.4.1.1. Sincap Kafesli Asenkron Motorun Matematiksel Modeli

Bir elektromekanik dönüştürücü olan asenkron makinanın davranışını verecek olan matematiksel modelin elde edilmesinde de elektrik ve mekanik kısma ilişkin olarak Kirchhoff ve Newton kanunlarından ve elektromekanik dönüşüm için enerji korunumu kanunundan yararlanılmaktadır. Bu şekilde elde edilen sistemin modellenmesi ancak bazı varsayımlar altında mümkündür. Asenkron makinanın modellenmesinde yapılan varsayımlar aşağıdaki gibidir.

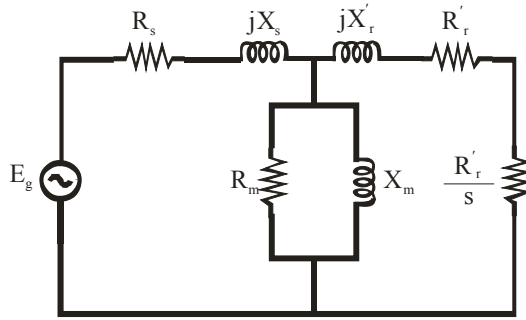
1. Stator sargıları stator çevresine düzgün yayılmış olup hava aralığındaki akı değişiminin sinüzoidal olarak değiştiği varsayılmıştır.
2. Üç fazlı stator sargılarının çevreye 120° 'lik açı ile düzgün olarak yayıldığı varsayılmıştır.
3. Doyma, diş ve oluk etkileri ihmal edilmiştir.
4. Histerezis ve fuko kayıpları ihmal edilmiştir.
5. Magnetik kısımların geçirgenliği sonsuz sayılmıştır.
6. Akım yığılması ihmal edilmiştir.
7. Rotor çubuklarının çevreye simetrik yayıldığı varsayılmıştır.
8. Direnç ve endüktansların sıcaklık ve frekansla değişimleri ihmal edilmiştir.
9. Rotorun her çubuğu bir rotor faz sargısı olarak varsayılmıştır.

Sincap kafesli asenkron makinalar, rotor çubukları kısa devre edildiği için kısa devre rotorlu asenkron makinalar olarak da bilinir. Bu makinalar genel olarak statoru 3, rotoru m fazlı bir yapıya sahiptir. Rotor ve stator boşluğu sincap kafesli asenkron makinada düzgün bir yapıya sahiptir.

Şekil 1.8'de ASM bir faz eşdeğer devresi görülmektedir. ASM'ye dışarıdan enerji verildiğinde rotorda bir hareket elde edilir. Stator tarafından rotor tarafına, bir transformatörde olduğu gibi manyetik olarak aktarılan enerji ile dönme gerçekleşir. Rotorun dışarıdan çevrilmesi ile oluşan hareket enerjisi ile elde edilen enerji bu sefer de manyetik olarak rotordan statora

enerji aktarılması ve stator uçlarından enerji alınması ile ilk durumda motor olarak çalışma durumunun aksine generatör olarak çalışır.

Stator ve rotor devresine ilişkin eşdeğer devre parametreleri Denklem (1.21) ve Denklem (1.23) arasında görülmektedir:



Şekil 1.8. ASM rotor devresi statora aktarılmış bir faz eşdeğer devresi

$$L_s = \frac{N_s^2 \mu_0 A}{g} \quad (1.21)$$

$$L_r = \frac{N_r^2 \mu_0 A}{g} \quad (1.22)$$

$$M_m = \frac{N_s N_r \mu_0 A}{g} \quad (1.23)$$

Bu denklemlerde:

- E_g : Faz-nötr gerilimi (V)
- L_s : Stator sargı endüktansı (H)
- L_r : Rotor çevre endüktansı (H)
- M_m : Rotor ve stator arasındaki karşit endüktansın maksimum değeri (H)
- R_s : Stator faz sargı direnci (Ω)
- R_r : Rotor faz sargı direnci (Ω)
- R_h : İki çubuk arasındaki halka parçası direnci (Ω)

R_{ζ}	:	Çubuk direnci (Ω)
M_{ss}	:	Stator faz sargıları arası karşıt endüktansı (H)
M_{rr}	:	Rotor çubukları arası ortak endüktansı (H)
μ_0	:	Boşluğun magnetik geçirgenliği ($4\pi 10^{-7}$)
g	:	Hava aralığı (m)
A	:	Hava aralığı kesiti (m^2)
N_r	:	Rotor çubuk sayısı
N_s	:	Stator sargı sayısı
m	:	Rotor çubuk sayısı (rotor faz sayısı)
p	:	Kutup çifti sayısı
ψ_s	:	Stator akı vektörü
ψ_r	:	Rotor akı vektörü
θ	:	Motor mili dönme açısı
J	:	Motor miline indirgenmiş toplam eylemsizlik momenti
B	:	Motor miline indirgenmiş toplam viskoz sürtünme katsayısı

Makinanın toplu parametrelili modeli oluşturulurken önce eşdeğer devre parametreleri Denklem (1.24) ile Denklem (1.27) arasındaki denklemler ile tanımlanır:

$$[R_s] = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \quad (1.24)$$

$$[L_s] = \begin{bmatrix} L_s & M_{ss} & M_{ss} \\ M_{ss} & L_s & M_{ss} \\ M_{ss} & M_{ss} & L_s \end{bmatrix} \quad (1.25)$$

$$[R_r] = \begin{bmatrix} 2(R_h + R_{\zeta}) & -R_{\zeta} & 0 \cdots & 0 \cdots & -R_{\zeta} \\ -R_{\zeta} & 2(R_h + R_{\zeta}) & -R_{\zeta} & 0 \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -R_{\zeta} & 0 & 0 \cdots & R_{\zeta} & 2(R_h + R_{\zeta}) \end{bmatrix}_{m \times m} \quad (1.26)$$

$$[L_r] = \begin{bmatrix} L_r & M_{rr} & \cdot & \cdot & M_{rr} \\ M_{rr} & L_r & \cdot & \cdot & M_{rr} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ M_{rr} & \cdot & \cdot & \cdot & L_r \end{bmatrix}_{m \times m} \quad (1.27)$$

Burada r ve s indisleri rotor ve stator devre büyüklüklerini göstermektedir. Stator faz sargıları ile rotor çubukları arasındaki ortak endüktans matrisi makinanın açısız konumuna bağlı olarak Denklem (1.28)'deki gibidir.

$$[M_{s,r}(\theta)] = \begin{bmatrix} \cos p\theta & \cos\left(p\theta + \frac{2\pi}{m}\right) & \cdots & \cos\left(p\theta + \frac{2(m-1)\pi}{m}\right) \\ \cos\left(p\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(p\theta - \frac{2\pi}{3} + \frac{2\pi}{m}\right) & \cdots & \cos\left(p\theta - \frac{2\pi}{3} + \frac{2(m-1)\pi}{m}\right) \\ \cos\left(p\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(p\theta + \frac{2\pi}{3} + \frac{2\pi}{m}\right) & \cdots & \cos\left(p\theta + \frac{2\pi}{3} + \frac{2(m-1)\pi}{m}\right) \end{bmatrix}_{m \times m} \quad (1.28)$$

Rotor çubukları ile stator faz sargıları arasındaki karşıt endüktans Denklem (1.29)'daki gibidir.

$$[M_{r,s}(\theta)] = [M_{s,r}(\theta)]^T \quad (1.29)$$

Rotor ve stator endüktansları bir araya getirilirse toplam endüktans matrisi Denklem (1.30) elde edilir. Burada L_s matrisi 3x3, L_r matrisi m x m ve $M_{s,r}$ matrisi ise 3 x m boyutundadır.

$$[L_{s,r}(\theta)] = \begin{bmatrix} [L_s] & [M_{s,r}(\theta)] \\ [M_{r,s}(\theta)] & [L_r] \end{bmatrix} \quad (1.30)$$

Akı, akım ve gerilimler vektörel formda Denklem (1.31)'deki gibidir.

$$[\mathbf{I}_s] = \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix} \quad [\mathbf{V}_s] = \begin{bmatrix} V_{as} \\ V_{bs} \\ V_{cs} \end{bmatrix} \quad [\mathbf{V}_r] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad [\mathbf{I}_r] = \begin{bmatrix} i_{r1} \\ i_{r2} \\ \vdots \\ i_{rm} \end{bmatrix} \quad (1.31)$$

Burada a,b,c, indisleri stator fazlarına ve 1,2,3,4,...,m indisleri ise rotor fazlarına ilişkin indisleri göstermektedir. Rotor ve faz akıları Denklem (1.32)'deki gibidir.

$$[\Psi_s] = \begin{bmatrix} \Psi_{as} \\ \Psi_{bs} \\ \Psi_{cs} \end{bmatrix} \quad [\Psi_r] = \begin{bmatrix} \Psi_{r1} \\ \Psi_{r2} \\ \vdots \\ \Psi_{rm} \end{bmatrix} \quad (1.32)$$

Stator ve rotora ilişkin akı ve akım arasındaki ilişki Denklem (1.33)'deki gibidir:

$$\begin{aligned} [\Psi_s] &= [\mathbf{L}_s][\mathbf{I}_s] + [\mathbf{M}_{s,r}(\theta)][\mathbf{I}_r] \\ [\Psi_r] &= [\mathbf{L}_r][\mathbf{I}_r] + [\mathbf{M}_{r,s}(\theta)][\mathbf{I}_s] \end{aligned} \quad (1.33)$$

Stator ve rotor eşdeğer devre denklemleri için yukarıdaki denklemler kullanılarak aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$[\mathbf{V}_s] = [\mathbf{R}_s][\mathbf{L}_s] + \frac{d}{dt}[\Psi_s] = [\mathbf{R}_s][\mathbf{I}_s] + \frac{d}{dt}\{[\mathbf{L}_s][\mathbf{I}_s] + [\mathbf{M}_{s,r}(\theta)][\mathbf{I}_r]\} \quad (1.34)$$

$$0 = [\mathbf{R}_r][\mathbf{L}_r] + \frac{d}{dt}[\Psi_r] = [\mathbf{R}_r][\mathbf{I}_r] + \frac{d}{dt}\{[\mathbf{L}_r][\mathbf{I}_r] + [\mathbf{M}_{r,s}(\theta)][\mathbf{I}_s]\} \quad (1.35)$$

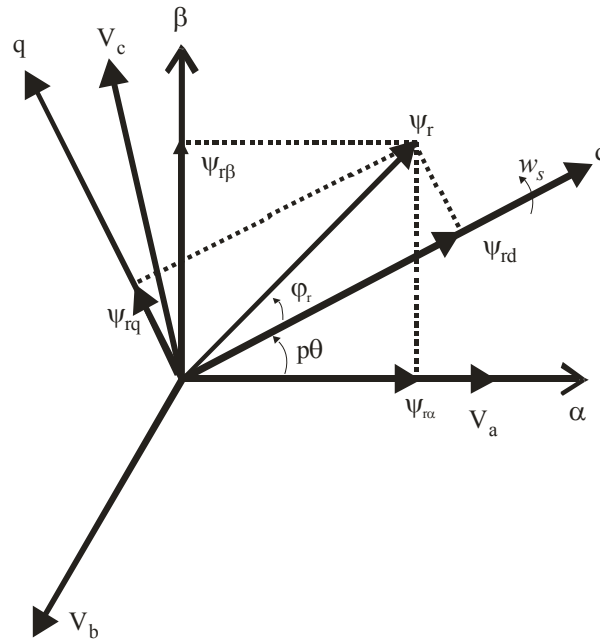
Elektriksel kısım haricinde elektromekanik dönüşüm için gereken hareket denklemi ise Denklem (1.36)'daki gibidir.

$$\mathbf{M}_e = \frac{1}{2} \left[[\mathbf{I}_s]^T \quad [\mathbf{I}_r]^T \right] \frac{\partial}{\partial \theta} [\mathbf{L}_{s,r}(\theta)] \begin{bmatrix} [\mathbf{I}_s] \\ [\mathbf{I}_r] \end{bmatrix} = \mathbf{J} \frac{d^2\theta}{dt^2} + \mathbf{B} \frac{d\theta}{dt} \quad (1.36)$$

Son üç denklem takımı incelendiğinde sincap kafesli asenkron makinanın toplu parametrelili modeli 3 adet statoru, m adet rotoru ve 1 adet mekanik kısmı temsil eden diferansiyel denklemlerden oluşmuştur. Model doğrusal olmayan çok sayıda diferansiyel denklemden oluşmaktadır. Bu denklemleri çözmek için ise modelin uygun dönüşümler kullanılarak sadeleştirilmesi gerekir [202].

1.4.1.2. Sincap Kafesli Asenkron Makinanın d–q Eksen Takımı Modeli

Sincap kafesli asenkron makinalarda, yapısal özelliklerinden dolayı modellerdeki birtakım büyüklükler sürekli olarak değişim halindedir. Şekil 1.9’da eksen takımlarındaki gösterimler görülmektedir.



Şekil 1.9. Rotor akı vektörünün d-q eksen takımındaki bileşenlerinin fazör gösterimi

Elde edilen denklemlerin çok oluşu ve bu denklemlerin doğrusal olmamasının yanında karşıt endüktans katsayısının dönme açısı θ 'ya bağlı olması nedeniyle daha basit bir yaklaşım gerekmektedir. Bu değişimler sistem giriş sinyallerinin genlikleri yanında frekanslarının da model incelenirken değerlendirilmesini gerektirir. Sistemin analizini kolaylaştırmak için asenkron makina duran eksen takımından senkron hızla dönen bir d – q

eksen takımına taşınır. Burada sistem d – q eksen takımında durum değişkenleri frekanstan bağımsız hale getirilmiştir. Yani V_{sd} ve V_{sq} büyüklükleri sırasıyla makinanın akısını ve momentini ifade eder hale gelmiştir. Buradan,

$$\begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_s & -\sin\theta_s \\ \sin\theta_s & \cos\theta_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{s\alpha} \\ V_{s\beta} \end{bmatrix} \quad (1.37)$$

elde edilir. Gerekli dönüşümler yapıldıktan sonra bu makinanın d – q eksen takımındaki eşitliği Denklem (1.38) ile Denklem (1.39)'da görüldüğü gibi elde edilir.

$$\begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R'_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R'_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_s & 0 & L_m & 0 \\ 0 & L_s & 0 & L_m \\ L_m & 0 & L'_r & 0 \\ 0 & L_m & 0 & L'_r \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega_s L_s & \omega_s L_m & 0 \\ \omega_s L_s & 0 & 0 & \omega_s L_m \\ \omega_r L_m & 0 & 0 & -\omega_r L_r \\ 0 & \omega_r L_m & \omega_r L_r & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix} \quad (1.38)$$

$$M_e = pL_m(i_{sq}i_{rd} - i_{sd}i_{rq}) = J \frac{d^2\theta}{dt^2} + B \frac{d\theta}{dt} \quad (1.39)$$

Açısal hızı ω_s aşağıdaki gibidir.

$$\omega_s = \omega_r + p\omega \quad (1.40)$$

Burada ω_s stator akımları açısal hızını, ω_r rotor akımları açısal hızını ve ω motor milinin açısal hızını ifade etmektedir. Ayrıca;

$$\omega_s = \frac{d\theta}{dt} = 2\pi \frac{n_s}{60} \quad (1.41)$$

ile ifade edilir ve burada n_s senkron hızdır. ω ise Denklem (1.42) ile gösterilir:

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (1.42)$$

n_s ise Denklem (1.43)'deki gibidir:

$$n_s = 60 \frac{f_s}{p} \quad (1.43)$$

Burada f_s stator akım ve gerilimlerinin frekans değerini göstermektedir.

$d - q$ eksen takımındaki akı akım arasındaki ilişki Denklem (1.44) ve Denklem (1.47) arasındaki gibidir:

$$\psi_{sd} = L_s i_{sd} + L_m i_{rd} \quad (1.44)$$

$$\psi_{sq} = L_s i_{sq} + L_m i_{rq} \quad (1.45)$$

$$\psi_{rd} = L'_r i_{rd} + L_m i_{sd} \quad (1.46)$$

$$\psi_{rq} = L'_r i_{rq} + L_m i_{sq} \quad (1.47)$$

Sistemin (0, d, q) stator ve rotor eksen takımlarına göre durum uzayı modeli Denklem (1.48) ile Denklem (1.52) arasında görülmektedir;

$$\frac{di_{sd}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} \left[-R_E i_{sd} + \sigma L_s \omega_s i_{sq} + \frac{L_m R'_r}{L_r'^2} \psi_{rd} + p\omega \frac{L_m}{L_r'} \psi_{rq} + V_{sd} \right] \quad (1.48)$$

$$\frac{di_{sq}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} \left[-R_E i_{sq} + \sigma L_s \omega_s i_{sd} - p\omega \frac{L_m}{L_r'} \psi_{rd} + \frac{L_m R'_r}{L_r'^2} \psi_{rq} + V_{sq} \right] \quad (1.49)$$

$$\frac{d\psi_{rd}}{dt} = \frac{R'_r L_m}{L'_r} i_{sd} - \frac{R'_r}{L'_r} \psi_{rd} + \omega_r \psi_{rq} \quad (1.50)$$

$$\frac{d\psi_{rq}}{dt} = \frac{R'_r L_m}{L'_r} i_{sq} - \omega_r \psi_{rd} - \frac{R'_r}{L'_r} \psi_{rq} \quad (1.51)$$

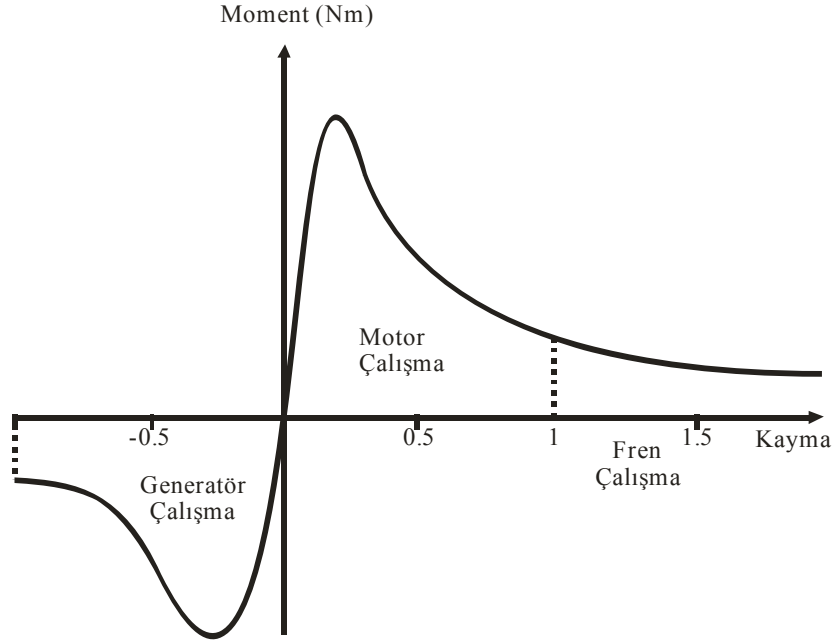
$$M_e = p \frac{L_m}{L'_r} (i_{sq} \psi_{rd} - i_{sd} \psi_{rq}) = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega \quad (1.52)$$

Sistemin d – q eksen modeli, dört adet stator ve rotor akımları ile bir adet açısal hız için olmak üzere 5 adet birinci dereceden denklemden oluşmaktadır. Bu denklemlerin de doğrusal olmayan bir yapıda olduklarına dikkat edilmelidir [202].

1.4.2. Asenkron Generatör

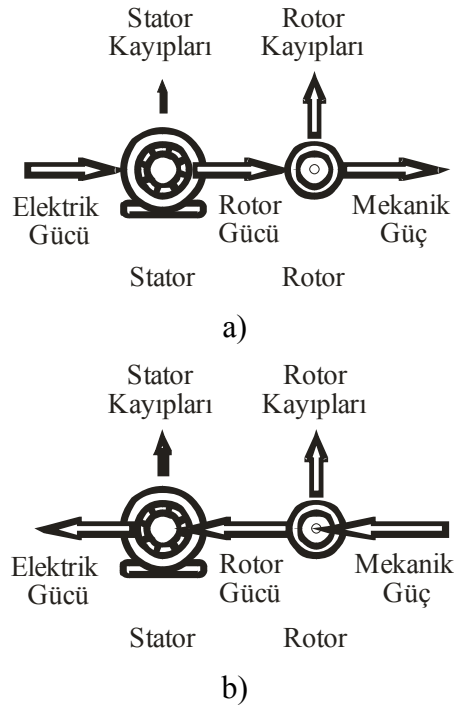
Asenkron makinalar da motor olarak çalışabildiği gibi generatör olarak da çalıştırılmaktadır. Rotorun bir dış kuvvet ile döner alanın hızı ile aynı yönde ve senkron hızın üzerinde bir hızla döndürülmesi sonucunda sargılarından elektrik gücü elde edilir. Bu durumda kayma sıfırdan küçüktür, rotor dönme sayısı senkron hızdaki dönme sayısından fazladır, stator akımının yönü 180° değişmiştir ve bu şekilde şebekeye enerji aktarılır. Mekanik güç sıfırdan büyük ve elektrik gücü sıfırdan küçüktür. Yani motor çalışmaya göre elektrik gücü yön değiştirmiştir.

Şekil 1.10'da görülen motor karakteristiklerinden kaymaya bakılarak makinanın hangi şekilde çalıştığı anlaşılmaktadır. Eğer kayma negatif değerde ise makine generatör olarak çalışır. Kayma 0 ile 1 aralığında ise motor olarak çalışır. Kayma değeri 1'den büyük ise fren durumuna geçer.



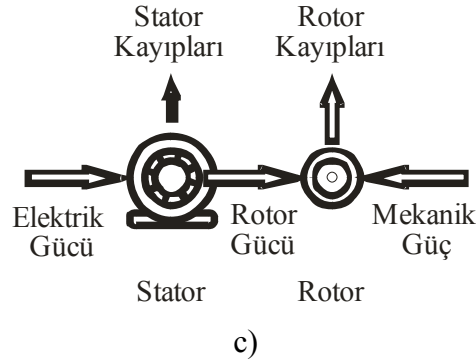
Şekil 1.10. Asenkron makinanın moment-kayma karakteristiği

Şekil 1.11'de ise motor, generatör ve fren çalışma durumunda ASM'deki güç akışları görülmektedir [107].



Şekil 1.11. ASM'de güç akışları, a) motor çalışma, b) generatör çalışma, c) fren çalışma

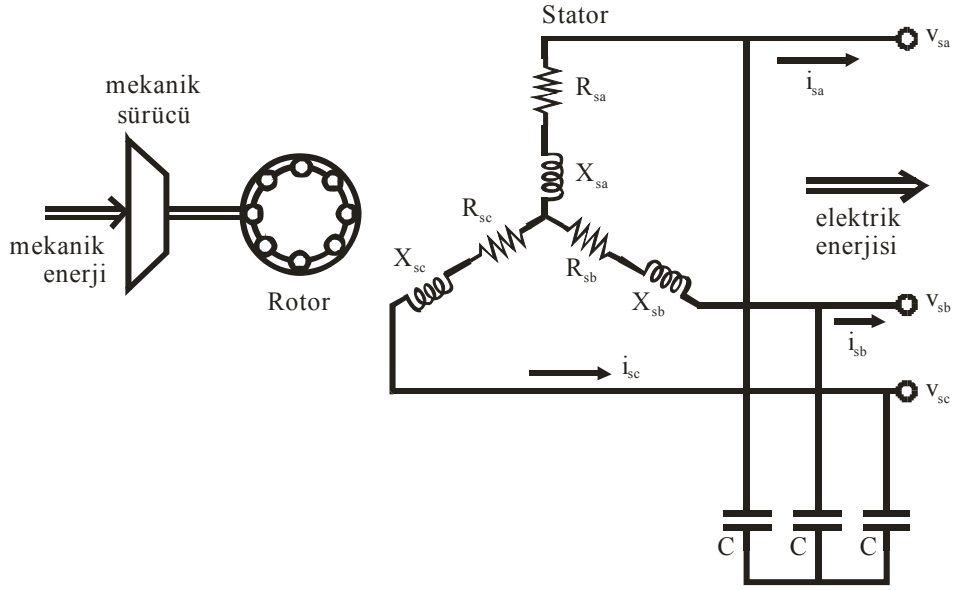
Şekil 1.11'in devamı



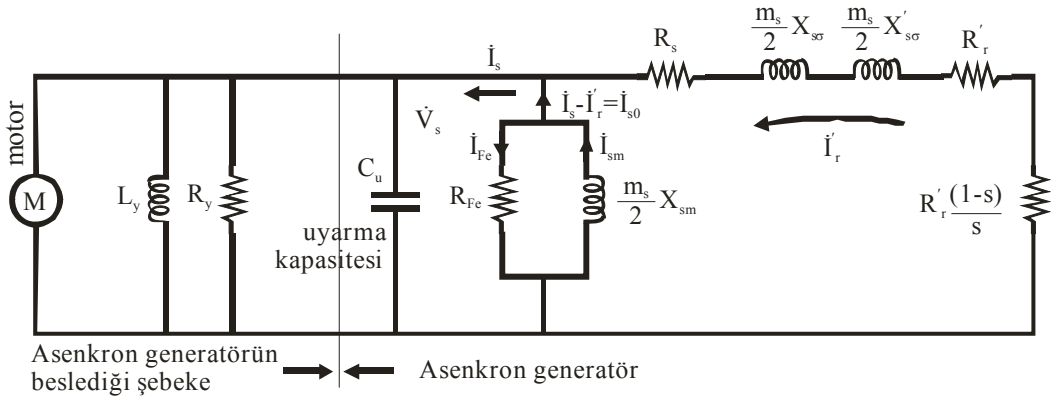
Asenkron generatörlerden bu şekilde enerji üretildiğinde üretilen enerjinin frekansı sabit değildir. Bu nedenle önce frekansın istenen değere getirilmesi gerekmektedir. Bu işi günümüzde güç elektroniği çeviricileri yapmaktadır.

Enerji üreten bir asenkron generatör, şebekeye bağlı bulunduğu gibi şebekeden bağımsız da çalışabilir. Şebekeye bağlı bulunduğu durumda ihtiyaç duyduğu mıknatıslanma akımını bağlı bulunduğu şebekeden reaktif güç çekerek temin eder. Şebekeden bağımsız bir yerde çalışıyorsa bu durumda ihtiyaç duyulan reaktif güç kondansatör gruplarından sağlanır.

RES'lerde kullanılan asenkron generatörler de benzer şekilde şebekeye bağlı ya da şebekeden bağımsız olarak çalıştırılabilirler. Şebekeden bağımsız çalışma durumunda reaktif gücü temin eden kondansatörlerin değerlerinin uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. Şekil 1.12'da kendinden uyarımlı RES görülmektedir. Şekil 1.13'de harici kondansatörlü kendinden uyarımlı asenkron generatörün eşdeğer devresi görülmektedir.



Şekil 1.12. Kendinden uyarımalı RES



Şekil 1.13. Harici kondansatörlü kendinden uyarımalı asenkron generatörün yaklaşık eşdeğer devresi

Asenkron generatörün boştaki karakteristiği Denklem (1.53) kullanılarak tanımlanır:

$$V_s = f(I_s) \Big|_{n=n_s} \quad (1.53)$$

Asenkron makina senkron hızda dönerken stator sargı gerilimi 0'dan V_s değerine kadar değiştirildiğinde elde edilen $V_s=f(I_s)$ karakteristiğine boştaki karakteristik denir. Şekil 1.14'de bu karakteristik görülmektedir. Kondansatörden geçen akım I_c ise kondansatör gerilimi;

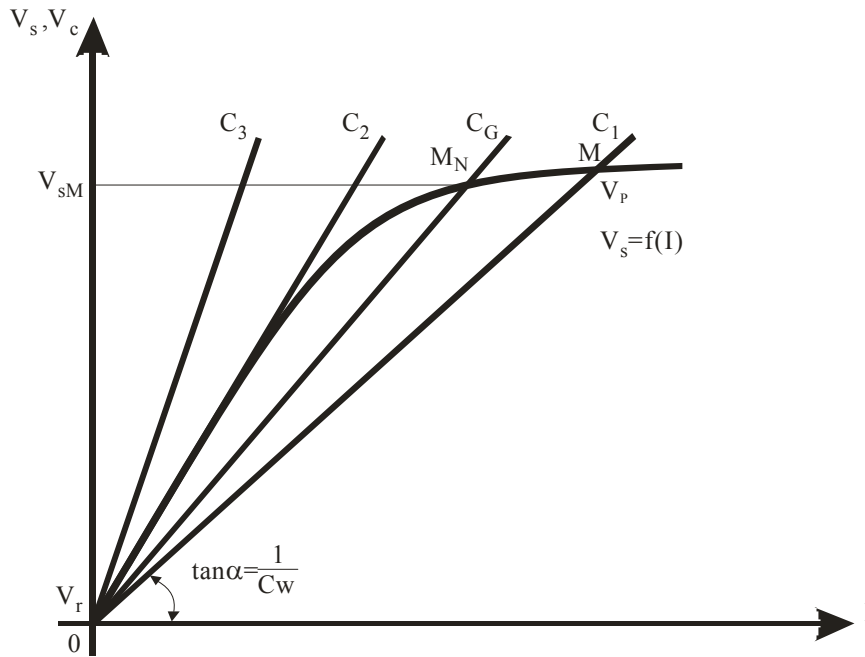
$$V_c = \frac{1}{C\omega_a} I_c \quad (1.54)$$

olur. Burada C (Farad) kapasite değerini göstermektedir. $C\omega_a$ sabit ise $V_s=f(I)$ bir doğrudur ve eğimi Denklem (1.55)'den;

$$\tan \alpha = \frac{1}{C\omega_a} \quad (1.55)$$

ile gösterilir.

Eğim küçük ise kondansatör değeri büyük ve eğim büyük ise kondansatör değeri küçüktür. Şekil 1.14'de $C_1 > C_2 > C_3$ olmak üzere üç farklı kondansatör doğrusu gösterilmiştir.



Şekil 1.14 Asenkron generatörün boşa çalışma karakteristiği

C_1 ile gösterilen doğru boşa çalışma karakteristiğini M noktasında keser. Bu durumda asenkron generatör başlangıçta V_r kalıcı mıknatısiyet geriliminden kendi kendini uyararak V_M gerilimine ulaşır. Bu asenkron generatörün kendi kendisini uyarmasıdır.

Kapasite değeri küçültülürse $C_1 > C_2$ için kapasite doğrusu boşta çalışma karakteristiğine teğet olur. Bu durumda C_2 doğrusu ile boşta çalışma eğrisinin belli bir kesişme noktası yoktur. Kararlı bir çalışma elde edilemez. Kondansatör değeri daha da küçültülürse bu doğru boştaki karakteristiği hiçbir noktada kesemez ve kondansatörler işe yaramaz. Bu durumda sistemde elektrik üretimi olmaz. Bunun dışında C_2 'den büyük değerlerde her zaman bir çalışma noktası olmasına rağmen kondansatörün büyük değerlerinde V_s uç gerilimi çok büyük değerler alabilir. Bunun için uyarma kapasitesinin doğru değeri; V_{SM} geriliminden yatay eksene çizilen bir paralel ile M_N noktası elde edilir. Bu nokta eksenlerin merkez noktası ile birleştirilerek gerçek kapasite değeri C_G elde edilir.

Pratik olarak bağlanacak kondansatörün değeri aşağıdaki denklemler kullanılarak bulunur: Burada 3 fazlı, sincap kafesli ve üçgen bağlı kondansatörleri bulunan bir sistem için bağlanması gereken kondansatörlerin hesabı gösterilmektedir.

$$S = \sqrt{3}EI \quad (1.56)$$

$$P = S \cos \theta \quad (1.57)$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (1.58)$$

Bulunan değer üçgen bağlı kondansatör grubu içindir ve faz başına değeri bulmak için Q değeri 3'e bölünür. Böylece faz başına düşen reaktif güç tespit edilir.

$$I_c = \frac{Q}{E} \quad (1.59)$$

$$X_c = \frac{Q}{E} \quad (1.60)$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} \quad (1.61)$$

Burada: S görünür gücü (kVA), E asenkron motor uç gerilimini (V), I motor akımını (A), P aktif gücü (W), Q reaktif gücü (kVAr), $\cos\theta$ güç faktörünü, I_C kondansatör akımını (A), X_C kapasitif reaktansı (Ω), C kapasiteyi (Farad) ve f frekansı (Hz) göstermektedir.

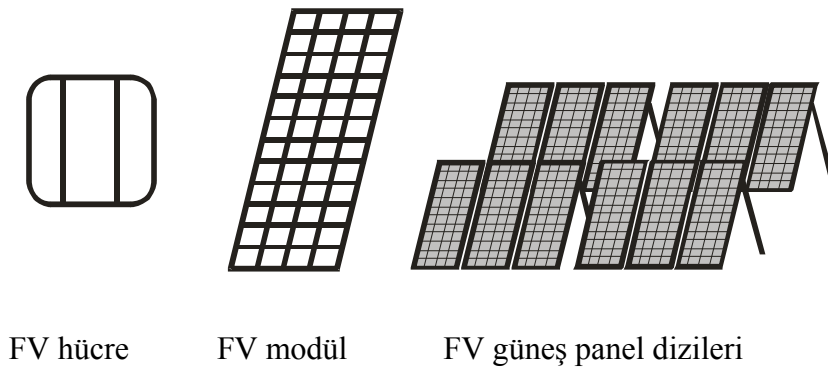
Ya da daha farklı sistemler için faz akımı (I_f) ve faz gerilimi (V_f) bulunduktan sonra Denklem (1.62) kullanılarak doğrudan sonuç bulunur.

$$C = \frac{I_f}{2\pi f V_f} \quad (1.62)$$

RES'lerde rüzgar hızının değişimi üretilen enerjinin frekansını değiştirmektedir. Bu nedenle bir kondansatör grubunun rüzgar değişimlerinde anahtarlanması suretiyle doğru kondansatör değerinin elde edilmesi çok önemlidir. Kullanılan sistemlerde maliyeti azaltmak için sabit değerli kondansatörler kullanılmaktadır. Bu değer rüzgar hız değişim aralığı tespit edilerek seçilmektedir [112, 197, 202].

1.5. FV Güneş Pilleri

FV güneş pilleri, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Pek çok farklı boyut ve kalınlıkta da bulunabilmektedirler. Yapımında kullanılan malzemelere göre verimleri çok farklıdır. Seri ve paralel bağlanarak istenilen akım ve gerilim değerlerine getirilebilirler. Bu şekilde güçleri birkaç watt'dan MW'lara kadar değişmektedir. Şekil 1.15'de bir fotovoltaiik hücre, hücrelerin birleşimi ile panel ve panellerin birleşimi ile de FV güneş panel dizileri görülmektedir.



Şekil 1.15. Fotovoltaiik hücreler, modüller ve diziler

FV güneş pilleri birleşerek modülleri, modüller birleşerek güneş dizilerini, diziler de birleşerek güneş çiftliklerini oluşturmaktadır [6].

FV güneş pilleri güneşten aldıkları enerjinin tamamını elektrik enerjisine dönüştüremezler. Birim alanda üretilen elektrik enerjisinin ışınım yolu ile gelen enerjiye oranı verimi vermektedir. Çeşitli üretim tekniklerinde ve değişik maddelerle üretilen FV güneş panellerinin verimleri her geçen gün daha da artarak günümüzde %25 değerine kadar ulaşmıştır [197,203].

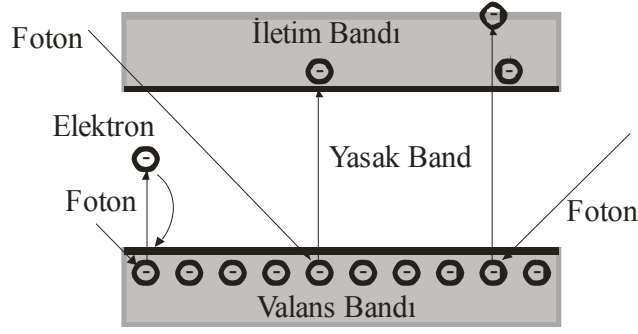
FV güneş paneli sistemlerinde değişik şekillerde bağlantılar kullanılarak enerji üretilebilmektedir:

- Tek başına FV güneş panellerinden elektrik üretimi
- Diğer kaynaklarla birlikte karma enerji üretimi
- Şebeke bağlantılı FV güneş panelleri ile enerji üretimi

Enerji üretimi ana amaç olmakla beraber özellikle akü şarj etme ve kuyudan su çekme uygulamaları da sıkça karşımıza çıkmaktadır [203].

1.5.1. FV Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi

FV güneş pilleri, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren, herhangi bir hareketli parçası bulunmayan yarı iletken malzemelerden yapılmış bir elektrik enerjisi üretim sistemidir. Tamamen fotovoltaiik etkiyle çalışırlar. Bu nedenle FV güneş pili denmektedir. Güneş ışığındaki fotonların silikon gibi yarı iletken bir malzemenin yüzeyine çarparak malzemedeki elektronları açığa çıkarması sonucu FV güneş pillerinin uçlarına bağlı olan yükler üzerinden akım akmaya başlar. Fotonlar bir fotovoltaiik hücre üzerine geldiğinde bir kısmı hücre tarafından soğurulur, bir kısmı yansır ve geri kalanı hücre içerisine geçer. Bu hücre içerisine ulaşan fotonlar tarafından elektrik üretilir. Yarı iletken malzemedeki elektronlar bu enerji ile malzemededen koparak iletme katılırlar. Şekil 1.16'da FV güneş pilinin çalışması görülmektedir.



Şekil 1.16. FV güneş pilinin çalışması [1]

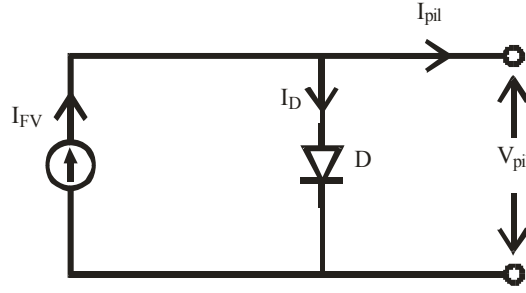
Yarı iletken p ve n türü malzemenin bir araya gelmesi ile oluşan fotovoltaik pillerde kullanılan n tipi malzeme saf silisyum malzemeye son yörüngesinde $5e^-$ bulunan bir malzemenin katkılanması ile elde edilir. Benzer şekilde p tipi malzeme de son yörüngesinde $3e^-$ bulunan bir malzemenin katkılanması ile oluşturulur. Bu iki malzemenin bir araya gelmesi ile oluşan yapının bir tarafında elektron fazlalığı diğerinde ise elektron eksikliği oluşur. Güneş ışığı ile gelen foton enerjisi ile harekete geçen elektronlar yarı iletken malzemenin iletme geçmesine neden olur ve sistemden akım akmaya başlar [205-207].

1.5.2. FV Güneş Pili Türleri

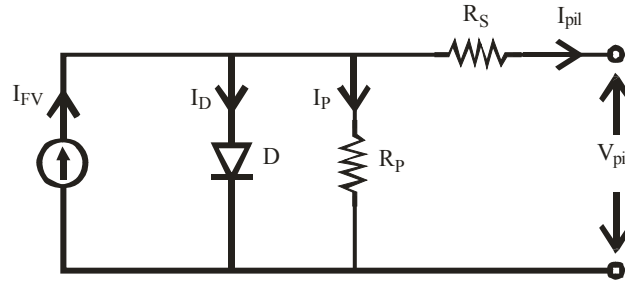
FV güneş pili teknolojisi, kullanılan maddeler ve yapım türleri açısından oldukça zengindir. Galyum arsenik, amorf silisyum, kristal silisyum, kadmiyum tellürid gibi malzemeler kullanılmaktadır. FV güneş pili yapımı için şu anda kullanılmakta olan bir düzineden fazla maddenin yanı sıra, yüzlerce maddenin de üzerinde çalışılmaktadır. Belli başlı FV güneş pili türleri; tek kristalli silisyum FV güneş pili, çok kristalli silisyum FV güneş pili ve ince film FV güneş pili şeklindedir [205, 206].

1.5.3. FV Güneş Pili Eşdeğer Devre Modelleri

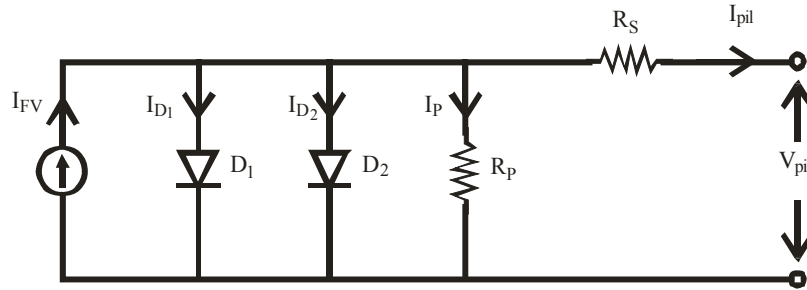
Literatürde pek çok FV güneş pil eşdeğer devresi bulunmaktadır. Şekil 1.17 ile Şekil 1.22 arasında en çok kullanılan FV güneş pili değer devreleri görülmektedir.



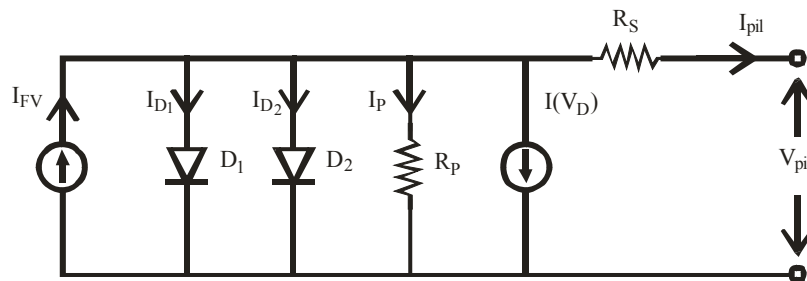
Şekil 1.17. Basitleştirilmiş FV güneş pili modeli



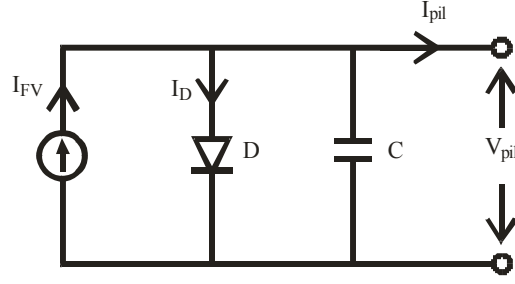
Şekil 1.18. Tek diyotlu FV güneş pili eşdeğer devresinin geliştirilmiş hali



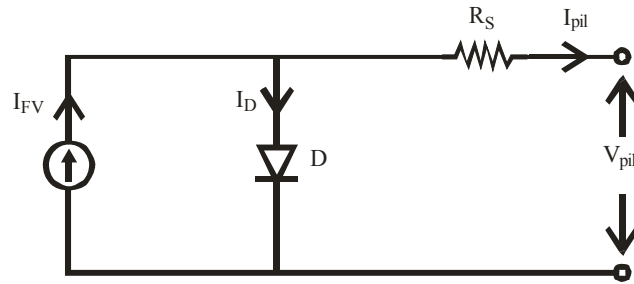
Şekil 1.19. İki diyotlu FV güneş pili eşdeğer devresi



Şekil 1.20. İki diyotlu FV güneş pili eşdeğer devresinin geliştirilmiş hali



Şekil 1.21. FV güneş pilinin dinamik modeli



Şekil 1.22. FV güneş pilinin eşdeğer devresi

Pratikte ve yapılan benzetim çalışmalarında basitliği ve yapılan ihmaller nedeniyle çok fazla hataya neden olmadığı için Şekil 1.22’de görülen eşdeğer FV güneş pili modeli çok kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda bu model kullanıldığı için daha ayrıntılı bir biçimde açıklanacaktır.

FV pil akımı aynı zamanda yükün çektiği akım olduğundan, FV güneş pilinin benzetim çalışmalarında yük akımı pil akımı olarak alınıp, pil akımı biliniyor kabul edilebilir. Dolayısıyla pil akımının pil gerilimine bağlı olarak verildiği $I_{pil}=f(V_{pil})$ biçimindeki denklemler yerine $V_{pil}=f(I_{pil})$ biçimindeki pil gerilimini akımın fonksiyonu olarak veren denklemlerin kullanılması daha uygun olur. Buradan hareketle, FV güneş pilinin gerilimi, akıma bağlı olarak aşağıdaki gibi elde edilebilir. Şekil 1.22’de verilen devre modeli, FV güneş pilinin basite indirgenmiş eşdeğer devresidir. Bu modeldeki parametreler ışık şiddeti ve sıcaklığa bağlıdır. Dolayısıyla hesaplanacak her çıkış için ışık ve sıcaklık değerlerinin bilinmesi gerekir. I_D olarak işaretlenen akım, FV pilini oluşturan yarıiletken malzemelerin P-N birleşme noktasından akan bir iç akım olup, pilin mutlak sıcaklığı, terminal gerilimi ve yük tarafından çekilen akımın bir fonksiyonu olarak değişir.

$$I_{FV} = I_D + I_{pil} \quad (1.63)$$

Denklem (1.63) ile Denklem (1.64) arasındaki bağıntılardan V_{pil} çekilirse Denklem (1.65) elde edilir:

$$I_{pil} = I_{FV} - I_S \left(e^{\frac{eV_D}{A_1 k T_{pil}}} - 1 \right) \quad (1.64)$$

$$V_{pil} = \frac{A_1 \times k \times T_{pil}}{e} \ln \left(\frac{I_{FV} + I_S - I_{pil}}{I_S} \right) - R_S \times I_{pil} \quad (1.65)$$

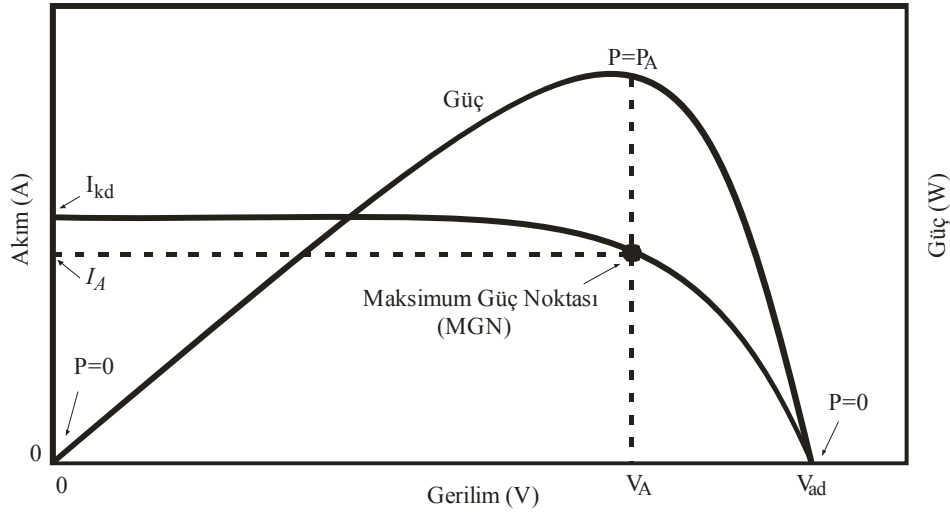
Denklem (1.65)'deki terimlerini açıklarsak:

- I_{pil} : FV pilin çıkış akımı (A)
- I_{FV} : Işık seviyesi ve P-N birleşim noktası sıcaklığının fonksiyonu, Fotoakım (A)
- I_S : D diyodunun ters doyma akımı (A)
- I_D : Diyot akımı (A)
- V_{pil} : FV pilin çıkış gerilimi (V)
- R_S : Eşdeğer devrenin seri direnci (Ω)
- e : Elektron yükü ($1.6021917 \times 10^{-19}$ C)
- k : Boltzmann sabiti (1.380622×10^{-23} J/°K)
- T_{pil} : Referans çalışma sıcaklığı (°K)
- A_1 : Eğri uydurma faktörü

Boltzman sabiti k ve referans çalışma sıcaklığı T_{pil} aynı sıcaklık birimine sahip olmalıdır. Yani her ikisi de ya Santigrat derece ya da Kelvin derece olarak hesaba katılmalıdır. Boltzman sabiti k genelde Kelvin derece olarak verildiği için, T_{pil} sıcaklığını Kelvin dereceye dönüştürerek kullanmak daha uygun olur. Denklem (1.65)'de verilen A_1 katsayısı bir eğri uydurma faktörü olup bu denklemden elde edilecek olan I-V karakteristiğinin deneysel olarak elde edilen gerçek I-V karakteristiğine uyumunu sağlamak için kullanılmaktadır [1, 85-87, 208, 210-213].

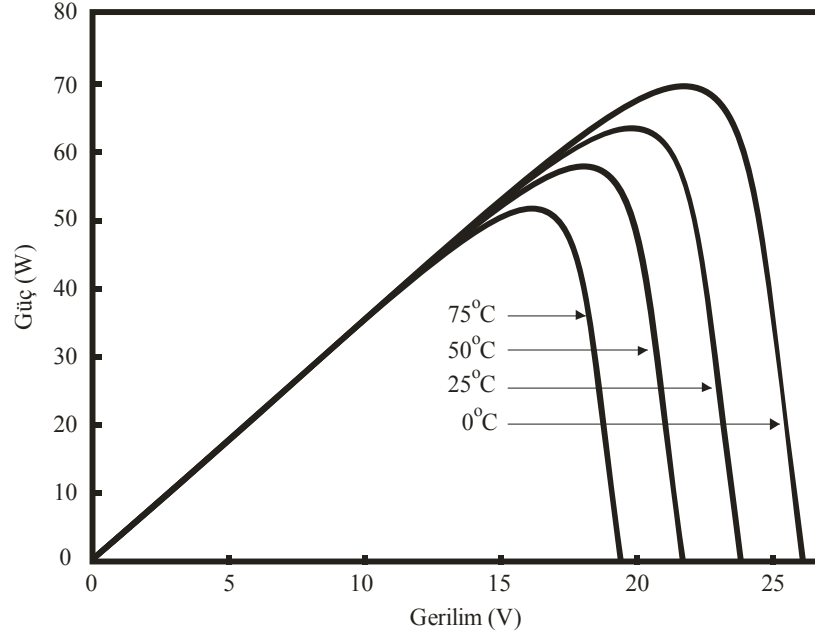
1.5.4. FV Güneş Pilinin Karakteristikleri

FV güneş pillerinde iki önemli karakteristikten bahsedilebilir. Bunlar Şekil 1.23’de görülen gerilim-akım karakteristiği ve gerilim-güç karakteristiktir.

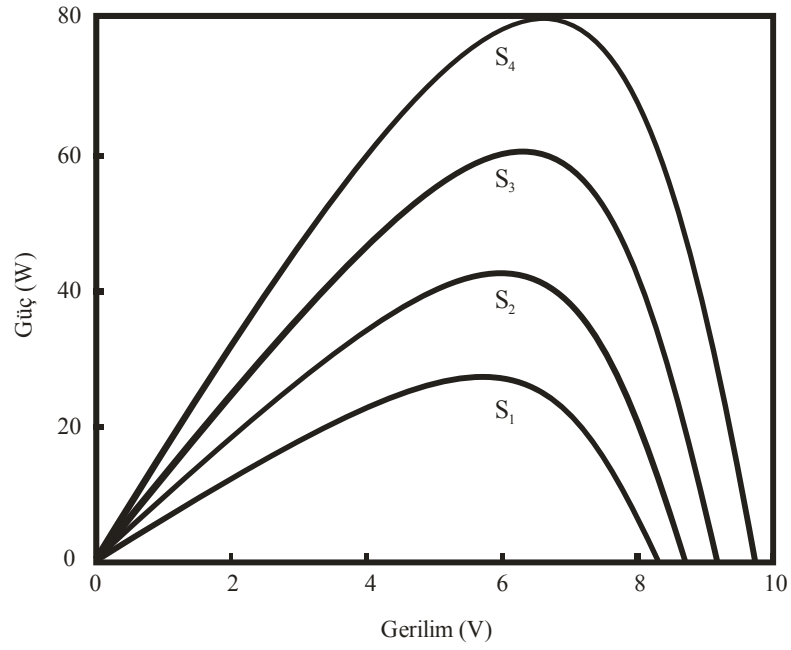


Şekil 1.23. FV güneş pili gerilim-akım ve gerilim-güç eğrileri bir arada

Şekil 1.23’deki eğrilerden de görüleceği gibi fotovoltaik pilin kısa devre akımı, maksimum güç düzeyi ve açık devre gerilimi değerleri rahatça tespit edilebilmektedir. FV güneş pili açık devre iken uçlarındaki gerilim V_{ad} ve uçları kısa devre iken akım değeri I_{kd} ile gösterilmektedir. Belli bir sıcaklık ve güneş ışık seviyesinde pilden elde dlebilecek maksimum güç MGN olarak gösterilmektedir. Bu durumda panelden alınabilecek güç değeri P_A olarak ifade edilmektedir. FV güneş pillerinin akım ve gerilim değerleri, üzerlerine düşen ışık şiddeti ve sıcaklık ile orantılı olarak değişmektedir. Bu nedenle Fotovoltaik pilin denklemleri yazılırken bu ortam etkileri de hesaba katılmaktadır. Dikkat edilirse ışık şiddetinin pil akım ve gerilimi dolayısıyla da gücü üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu ve bu değerleri artırdığı görülmektedir. Bunun aksine çalışma sıcaklığı arttıkça FV güneş pilinin maksimum çıkış gücü ve P-V karakteristiğinde bu güce karşılık düşen gerilimi azaltmaktadır. Bu etkiler Şekil 1.24 ve Şekil 1.25 ’de görülmektedir [207,210, 212, 213].



Şekil 1.24. Sıcaklıkla FV pil gerilimi ve güç değerlerinin değişimi



Şekil 1.25. Işık şiddeti ile FV güneş pilinin gerilim ve üretilen güç değerlerinin değişimi

1.5.5. Güneş Enerjisinin Faydaları ve Eksiklikleri

Güneş enerjisinin üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir:

- Güneş enerjisi tükenmeyen bir enerji kaynağıdır.
- Güneş enerjisi çevreyi kirletmez.
- Tüm dünyada güneş bulunması nedeniyle tüm insanlar bu enerji türünden faydalanabilir.

Bugünkü bu enerjinin karşılaştığı sorunlar ise şöyledir:

- Güneş enerjisinin yoğunluğu azdır ve sürekli değildir. İstenilen anda istenilen yoğunlukta bulunamayabilir.
- Güneş enerjisinden yararlanmak için yapılması gereken sistemlerin kurulum maliyeti yüksektir.
- Güneşten gelen enerji miktarı isteğe bağlı değildir ve kontrol edilemez.

1.6. Denetleyiciler

Endüstride kullanılan sistemlerin denetlenmeye ihtiyaçları bulunmaktadır. Her sistem belirli kurallar dahilinde çalışır ve bu kurallar sistemin o anki çalışma durumunu belirler. Örneğin hız kontrolünün yapıldığı bir sistemde, motor milinden alınan hız bilgisinin referans hız değeri ile kıyaslanması ve duruma uygun bir şekilde motora daha fazla güç verilmesi ya da verilen gücün azaltılarak motorun daha yavaş dönmesinin sağlanması gerekmektedir. Bu durumda denetleyici kullanmak gerekir.

1.6.1. Oran-İntegral-Türev Türü Denetleyiciler

Özellikle elektronik endüstride yaygın olarak kullanılan denetleyicilerdir. Böylesi bir istemde kullanılan oran-integral-türev tipi bir denetleyicinin sürekli zamandaki ifadesi ve transfer fonksiyonu Denklem (1.66) ve Denklem (1.67)'de görülmektedir [214].

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1.66)$$

$$G_{\text{Denetleyici}} = K_D + K_T s + \frac{K_I}{s} \quad (1.67)$$

Burada K_D oran denetleyici kazancı, K_T türev denetleyici kazancı ve K_I integral denetleyici kazancını göstermektedir. $u(t)$ çıkış $e(t)$ ise hatayı ifade etmektedir.

1.6.2. Bulanık Mantık

Bulanık mantık kavramı, insanların deneyimlerinden yararlanılarak sayısal ifadeler yerine sembolik ya da sözel ifadeler kullanılarak bir sistemin işlevsel kanunlarını ifade etmek üzere tasarlanmış bir yöntem olarak tanımlanabilir. Bulanık mantık, mantık ilişkileri üzerine kurulmuştur. Günlük hayatta kullanılan birçok terim genellikle bulanık bir yapıya sahiptir. Bir şeyi tanımlarken, bir olayı açıklarken, komut verirken ve daha birçok durumda kullandığımız sözel ifadeler bulanıklık içerir. Yaşlı, genç, uzun, kısa, sıcak, soğuk, ılık, bulutlu, parçalı bulutlu, güneşli, hızlı, yavaş, çok, az, biraz, fazla, çok az, çok fazla gibi daha pek çok sözel terim bulanık değişkenler olarak tanımlanabilir. İnsanlar bir olayı anlatıp, bir durum karşısında karar verirken bu tür kesinlik ifade etmeyen terimler kullanır. Kişinin yaş durumuna göre ona yaşlı, orta yaşlı, genç, çok yaşlı veya çok genç denir. Yolun kayganlık ve rampa durumuna göre arabanın gaz veya fren pedalına biraz daha yavaş veya biraz daha hızlı basılır. Çalışılan odanın ışığı yetersiz ise biraz artırılır, fazla ise biraz azaltılır. Bütün bunlar insan beyninin belirsiz ve kesinlik içermeyen durumlarda nasıl davrandığına ve olayları nasıl değerlendirip, tanımlayıp, komut verdiğine dair birer örnektir.

Bulanık mantığın genel özellikleri Zadeh tarafından birkaç cümle ile ifade edilirse; Bulanık mantıkta kesin değerlere dayanan düşünme yerine, yaklaşık düşünme kullanılır. Bulanık mantıkta her şey 0-1 aralığında belirli bir derece ile gösterilir. Bulanık mantıkta bilgi büyük, küçük, çok, az gibi sözel ifadeler şeklindedir. Bulanık çıkarım işlemi sözel ifadeler arasında tanımlanan kurallar ile yapılır. Her mantıksal sistem bulanık olarak ifade edilebilir. Bulanık mantık matematiksel modeli çok zor elde edilen sistemler için çok uygundur. Bulanık mantık tam olarak bilinmeyen veya eksik girilen bilgilere göre işlem yapma yeteneğine sahiptir [215-217].

1.6.2.1. Üyelik Fonksiyonları

Bulanık denetleyici tasarımcıları, değişik üyelik fonksiyonlarını kullanarak farklı denetleyiciler tasarlamaktadırlar. Yapılan tasarıma göre uygun üyelik fonksiyonunun seçimi önemlidir. Üçgen, yamuk, gaussian, çan, cauchy, sinüsoid ve sigmoid gibi üyelik fonksiyonları bulunmaktadır. Bu çalışmada yapısının basit olması nedeniyle ve doğrusal değişimli olduğu için üçgen biçimli üyelik fonksiyonu kullanılmıştır.

1.6.2.2. Bulanık Mantık Karar Verici

Günlük yaşantımızın her anında kararlar alırız. Aldığımız bu kararlar kesin olabileceği gibi aynı zamanda duruma ve şartlara göre belirsizlik de içerebilir. Deriz ki; şöyle olursa böyle olsun yada böyle olursa şöyle yapayım. Aldığımız kararlar böylece bulanıklaşır. Şartlara ve duruma hatta durumun önemine göre derecelendirmeler değişir. Tepkiler ona göre daha az ya da daha fazla olur. Bu tip durumları, belli giriş değişkenlerin de deneysel olarak önceden tespit edilen çıkış değerlerine getirebilmek için bulanık mantık karar verme sistemlerine ihtiyaç duyarız. Bu değerler bizim tecrübelerimizin, deneyimlerimizin sonucunda oluşur ve insan faktörünü ortadan kaldıracak şekilde yazılan yazılımlar ile bulanık karar verme işlemleri insandan akıllı sistemlere, örneğin bilgisayarlara geçer. Burada sistemi akıllı kılan tasarlanan yazılımdır.

Kurulan sistemde yapılan deneylerin ışığında sistemin ne zaman ne yapması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Her bir durum, giriş değişkenlerinin değişiminde çıkışın nasıl olacağı ayrı ayrı tarif edilerek, bu durumlardan uygun olanına göre bir karar verilir.

Klasik sistemlerde matematiksel model ne kadar iyi ise sistem o kadar iyi çalışır. Oysaki gerçek dünyada karşılaşılan sistemlerin çoğu doğrusal olmayan bir yapıya sahiptir. Bu nedenle doğru matematiksel modellerinin çıkartılması zordur. Bulanık mantık da sistemin matematiksel modeline ihtiyaç yoktur. Deneysel ve tecrübe ile elde edilen bilgiler kullanılarak karar verme sistemi tasarlanır [215-217]. Bulanık mantık sistemlerinin tercih edilme nedenleri kısaca şöyledir:

1. Sistemin matematiksel modeline ihtiyaç duymaz.
2. Daha verimlidirler.
3. Sistemin doğrusal olması ya da olmaması önemli değildir.

4. Pek çok kereler klasik kontrol sistemlerinden çok daha iyi sonuç verirler.
5. Bulanık denetleyici ile sistem daha esnek çalışır. Sisteme müdahale etmeden yazılımı değiştirerek farklı şekillerde sistem kontrolü sağlanabilir.
6. Kontrol yazılım ile gerçekleştirildiği için kontrol sistemlerinde kullanılan diğer kontrol teknikleri de eklenerek daha karışık kontrol uygulamaları donanımdan bağımsız olarak gerçekleştirilebilir.
7. Kullanıldıkları yerlere göre daha ucuza dahi mal olabilirler.

1.6.2.3. Bulanık Önergeler

Büyüküklerin sözel ifadeleridir. *eğer.....ise* yapısında ifadelerden oluşur.

Tek öneri:

Eğer A ise B \Rightarrow A ise B dir.

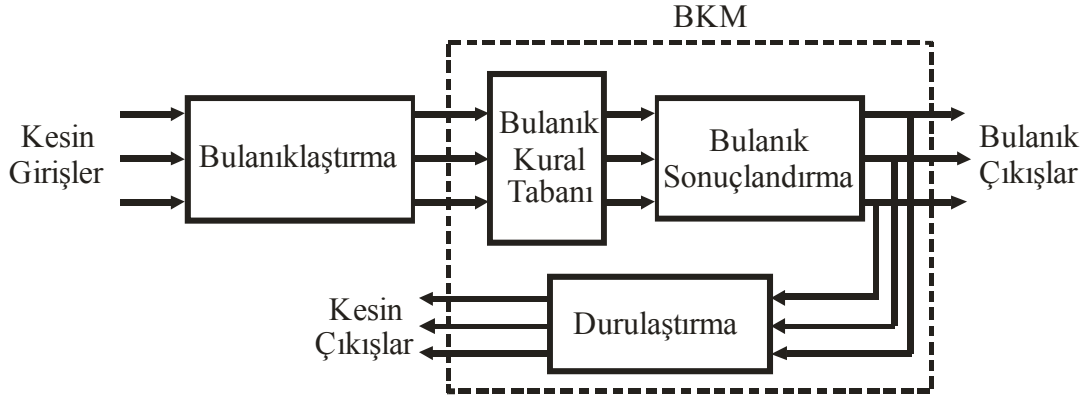
Birden fazla öneri:

Eğer A ise B değilse C \Rightarrow A ise B dir, değilse C dir.

1.6.2.4. Bulanık İşlemcinin Kısımları

Bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı aşağıdaki gibidir. Temel olarak Şekil 1.26'da görüldüğü gibi dört bölümden oluşur:

1. Bulanıklaştırma bloğu
2. Bulanık kural tabanı
3. Bulanık Sonuçlandırma
4. Durulaştırma bloğu



Şekil 1.26. Bulanık karar verme mekanizmasının temel yapısı

Şekil 1.26’da verilen bulanık karar verme mekanizmasının temel yapısına ait blokların açıklamaları yapılan çalışmalar bölümünde verilmiştir.

1.7. Karma Enerji Üretim Sisteminde Kullanılan Diğer Bileşenler

FV güneş panelleri ve RES gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji elde ederken kullanılan bazı ara elektronik sistemler ve elemanlar da bulunmaktadır.

1.7.1. Kıyıcılar

Girişindeki DA seviyeyi başka bir DA seviyesine dönüştüren sistemlerdir. İdealde pasif elemanlar bulundurup enerji dönüşüm işlemi kayıpsız olarak yaparlar. Gerçekte ise verimleri %70 ile %95 arasında değişir. En sık kullanılan çeşitleri ise: artıran tip kıyıcı, azaltan tip kıyıcı ve azaltan-arttıran tip kıyıcıdır. Bunun yanında bağlantı şekilleri bakımından izoleli ve izolesiz olarak da iki ayrı sınıfa ayrılmaktadırlar [102]. Kurulan deneysel sistemde azaltan-arttıran tip kıyıcı kullanılmıştır. Bunun da nedeni, RES’de giriş gerilim değerinin 19V ile 65V arasında değişmesidir. Bu değerler kıyıcı çıkışında 48V’da sabit tutulmaktadır.

1.7.2. Evirici

Doğru akımı alternatif akıma çeviren güç elektroniği devreleridir. FV güneş paneli sistemlerinde yaygın olarak 12/24/48/96/120/240V DA değerlerini 110-220-230V/50-60Hz AA çevirirler [204]. Bunun yanında özellikle 3 fazlı sistemlerde daha değişik giriş gerilimlerini 3 fazlı 380V/50Hz AA'ya çevirirler. Ülkeden ülkeye değişen şebeke gerilim değerleri nedeniyle bunlarda farklı gerilim genliği ve frekans değerlerinde üretilirler. Çıkışları kare dalga, düzeltilmiş sinüs ya da tam sinüs olarak 3 farklı tipte imal edilirler [102]. Yük üzerindeki gerilimin harmoniklerden arındırılması gerektiği için tam sinüs çeviriciler tercih edilmelidir. Tam sinüs eviricilerde, evirici kaynaklı harmonikler diğerlerine göre çok daha azdır. Pek çoğunda Toplam Harmonik Bozulması (THB) değeri, bu konuda belirlenen ölçülerde yani %5'in altındadır. Tek fazlı yarım dalga evirici, tek fazlı tam dalga evirici ve 3 fazlı evirici olmak üzere 3 farklı sınıfta da toplanabilirler. [102, 204, 218].

1.7.3. Aküler

Elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depo eden ve devresine alıcı bağlandığı zaman bu enerjiyi tekrar elektrik enerjisine çevirerek dış devreye veren bir üretçidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarında özellikle rüzgar ve güneş enerjisinin olmadığı durumda yükleri beslemek için yardımcı kaynak olarak kullanılırlar. Kullanılacak akülerin miktarı; güce, çevre şartlarına ve yükleri ne kadar besleyeceklerine bakılarak bulunur. En çok kullanılan akü tipleri aşığıdaki gibidir [197, 219, 221, 222]:

- Kurşun asit (Pb-Asit)
- Nikel kadmiyum (NiCd)
- Nikel-metal hidrit (NiMH)
- Lityum-ion (Li-ion)
- Lityum-polimer (Li-poly)
- Çinko-hava

Yapılan deneysel çalışmada; kolay bulunmaları, nispeten ucuz olmaları, çevreye gaz vermemeleri ve akışkan kimyasal madde bulunan akülerde bu maddenin akması problemini ortadan kaldırmak için jel akü kullanılmıştır.

1.8. Enerji Yönetimi

Enerji yönetiminin amacı: enerji kaynaklarının ve enerjinin etkin kullanılması, elde edilen enerjinin istenen kalitede genlik ve frekansta olması, tüketicilere sürekli enerji sağlanması, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi, çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasıdır [223]. Başka bir tarifile kısaca; üretilen güç ile tüketilen güç arasındaki dengenin denetimine enerji yönetimi denir.

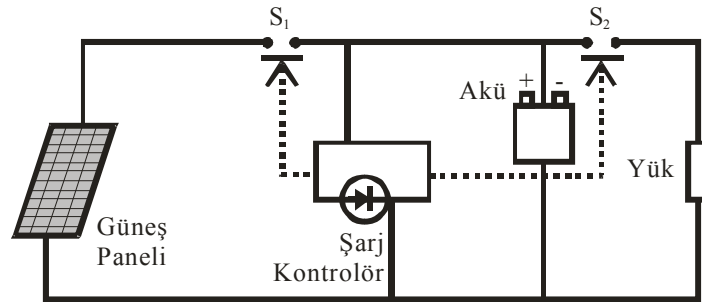
Elektrik ve elektronik sistemlerde özellikle enerji üretimi yapan düzeneklerde enerji kontrolü değişik şekillerde yapılmaktadır. Burada kullanılan akü gibi elemanların ne kadar dolu ya da boş olduklarının tespiti, yakıt pili ile depolama yapılan sistemlerde enerjinin tüketimden daha fazla olduğu durumların belirlenerek bu durumda fazla enerjinin hidrojen olarak depolanması, rüzgar, güneş, yakıt pili, dizel jeneratör, dalga enerjisi, su gücü, gibi enerji üretim sistemlerinin hangi durumda devreye gireceği ya da hangi durumda devreden çıkacağı bu sistemlerle daha ne kadar enerji üretilebileceği, bu sistemlerden sürekli olarak maksimum gücün alınması gibi konular enerji yönetimi alanına girmektedir [163-165, 92-96, 128].

1.8.1. Akü Şarj Düzenleyicileri

Akü şarj düzenleyicileri akülerin şarj olma ve deşarj olma durumlarını kontrol eden sistemlerdir. Genellikle seri şarj düzenleyici, paralel şarj düzenleyici ve kıyıcılar olmak üzere 3 tipte üretilmektedirler. Bu tip sistemler rüzgar ve güneş enerjisi gibi sistemlerde yardımcı üreteç olarak kullanılan akülerin doluluk oranlarını tespit ederek gereken şarj işlemini yaparlar. Aynı zamanda akülerin derin şarj ve derin deşarj denilen ve akülerin ömürlerini kısaltan durumların engellenmesine de çalışırlar.

1.8.1.1. Seri Şarj Düzenleyicileri

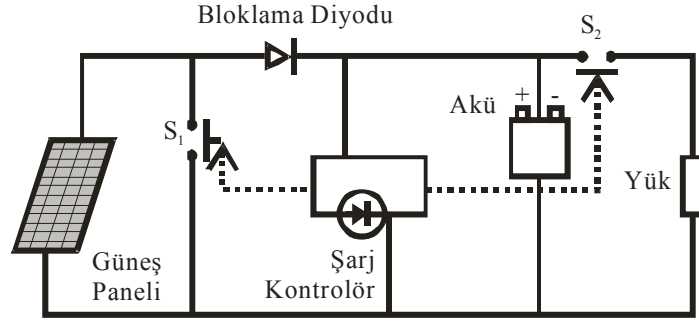
Seri şarj düzenleyicinin temel devresi Şekil 1.27’de görülmektedir. Belirlenen akü gerilim değerine ulaşıldığında S_1 anahtarı açılır. Akü gerilimi deşarj değerinin altına düştüğünde S_2 anahtarı açılır. Yük devreden çıkartılır. Devrenin basit çalışma prensibi bu şekildedir. Bu tip kontrolörlerde asıl problem anahtarlamadan kaynaklanan kayıplardır [204].



Şekil 1.27. Seri şarj düzenleyici

1.8.1.2. Paralel Şarj Düzenleyicileri

Paralel şarj düzenleyicinin temel devresi Şekil 1.28’de görülmektedir. Akü tam dolu olduğunda S_1 anahtarı kullanılarak FV güneş panelleri kısa devre edilir. Seri şarj düzenleyiciden farklı olarak bu metotta S_1 anahtarı aküler tamamen deşarj olmadan aktif olmadığı için daha verimlidir. Bloklama diyotu akünün kısa devre olmasını engeller. Bu metot genelde 20A’den daha düşük uygulamalarda kullanılır. Derin deşarj koruması ile akülerin daha uzun ömürlü olmaları temin edilmeye çalışılır. Akü geriliminin bu limitin altına düşmesi durumunda S_2 anahtarı devreden çıkarak akünün yükleri beslemesini durdurur. Hem seri hem de paralel şarj düzenleyiciler akım akışında kaba ayarlama yapan cihazlardır ve FV güneş paneli sistemlerinin nadiren tüm ihtiyaçlarını karşılayabilirler [204].



Şekil 1.28. Paralel şarj düzenleyici

Bu tip cihazlar yerine kıyıcıları kullanmak ve istenen akım ve gerilim değerini elde ederek akülerin şarj kontrolünü yapmak kullanılan diğer bir metottür. Kıyıcılar ilerleyen bölümlerde ayrı bir başlıkta kısaca incelenmiştir.

1.8.2. Maksimum Güç İzleyici

Yenilenebilir enerji kaynaklarının maksimum verim değerlerinde çalışması önemlidir. Bunun için elde edilen gücün en iyi şekilde kullanılması gerekir. MGNİ tekniğinde o anki çalışma koşullarında elde edilebilecek maksimum güç noktaları tespit edilerek sistemin sürekli olarak bu noktalarda çalıştırılması için gerekli kontrollerin yapılması sağlanır. Yapılan kontroller genellikle hız kontrolü, kıyıcı kontrolü, gerilim denetimi gibi kontrollerdir.

1.8.2.1. FV Güneş Panellerinde Maksimum Güç İzleme

FV güneş panellerinden maksimum güç elde edebilmek için kullanılan aletlere maksimum güç izleyiciler denmektedir. Maksimum güç noktasını tespit eden ve panellerin bu noktada çalışmasını sağlayan yöntem de maksimum güç noktasının izlenmesi tekniği denmektedir.

MGNİ tekniği kullanılan FV güneş panelleri kullanılmadığı zamana göre daha fazla enerji elde edilmektedir. Ortam koşullarının değiştiği durumda FV güneş panellerinin ürettikleri güç değerleri de değişmektedir. Bu nedenle enerji verimliliği ve enerji yönetimi konusunda önemli bir yere sahiptir. Endüstride birçok farklı tipte MGNİ cihazları bulunmaktadır.

Literatürde pek çok MGNİ tekniği bulunmaktadır. Burada dolaylı yoldan maksimum güç elde edilmesi ve doğrudan maksimum güç elde edilmesi şeklinde iki gruba ayrılmaktadır. Dolaylı metotta özellikle ortam ile ilgili ölçümler yapılarak maksimum güç noktası tespit edilmeye çalışılır. Ortam sıcaklığı ve güneş ışık seviyesi ölçümleri alınır. Gerekli hesaplamalar yapılır. Doğrudan metotta ise panel çıkış gücü sürekli olarak ölçülür ve bir önceki değeri ile kıyaslanarak tepe güç noktası bulunmaya çalışılır. Burada kullanılan güç elektroniği dönüştürücü elemanları ve sistemleri için kontrol işlemi gerçekleştirilir. Tepe tırmanma tekniği, değiştir ve gözle metodu, sabit gerilim metodu, sabit akım metodu, artan iletkenlik metodu, eğri uydurma tekniği, el altı tabloları tekniği gibi daha pek çok teknik bulunmaktadır. Burada kullanılan tekniklere ilave olarak bulanık mantık denetleyiciler, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar, gibi gelişmiş kontrol tekniklerinin bu tekniklere yardımcı olarak kullanıldıkları görülmektedir [5].

1.8.2.2. RES'lerde Maksimum Güç İzleme

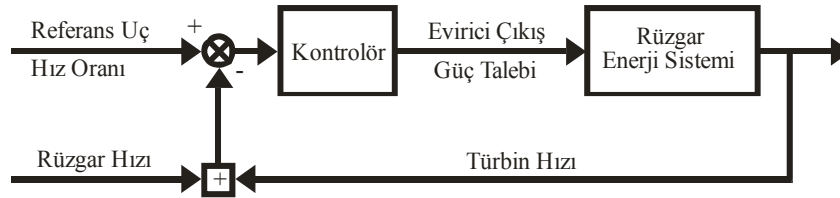
RES'lerin kontrolünde rüzgar türbin çıkış gücü kontrolü, türbin çıkış gerilimi kontrolü, kuyruk açısı kontrolü, kıyıcı kontrolü, evirici kontrolü gibi kontrolleri içermektedir. Burada maksimum verim almak için kullanılan farklı ayardaki sistemlerde bu kontroller yapılarak RES'ler tepe güç değerlerinde çalıştırılmaya çalışılmaktadır. Burada ara bağlantı elemanları ve bunların kontrolleri de maksimum güç izleme başlığında yer alabilmektedir.

Bu tip sistemlerde genetik algoritmalar ve bulanık mantık gibi ileri kontrol teknikleri kullanılırken; oran-integral-türev tipi klasik kontrol teknikleri de kullanılarak gerekli denetlemeler yapılmaktadır.

Teknik olarak bakıldığında: uç hız oranı, güç sinyal geri beslemesi ve tepe tırmanma tekniği ile tepe güç değerinin bulunması için sezgisel tekniklerinden faydalanarak bu noktanın tespiti en yaygın maksimum güç noktası arama teknikleri olarak literatürde yer almaktadır [113,118].

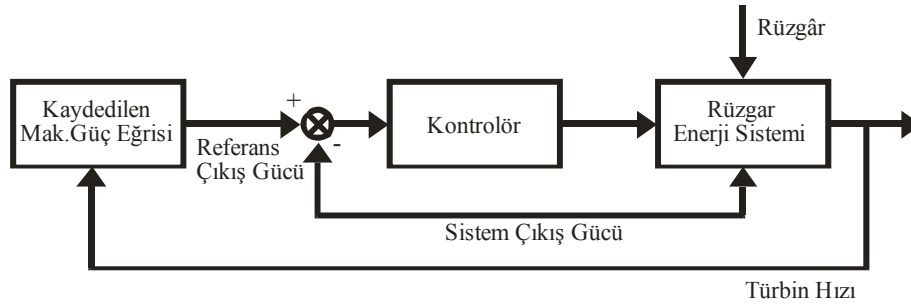
Şekil 1.29'da uç hız oranının tespiti bloklarla gösterilmektedir. Burada uç hız oranı kontrolü en iyi uç hız oranını korumak için rüzgar türbin rotor hızını düzenlemektedir. Bu oranı tespit edebilmek için rüzgar hızı ve türbin hızı ölçülmektedir. Böylece bu değerleri kullanan kontrolör tepe uç hız oranı hesaplanarak sürülmektedir. Rüzgar hızının ölçülmesi hem pratik uygulamalarda zorluklara neden olmakta hem de maliyeti arttırmaktadır. Bir

diğer zorluk da uç hız oranının tespit edilmesidir. Bu oranın en uygun değerinin bulunması her sistemde farklıdır ve türbin karakteristiğine göre değişmektedir. Bu nedenle kullanılan sisteme göre tekrar tasarlanmasının gerekliliği işleri zorlaştırmaktadır. Sisteme uygun yazılım her seferinde tekrar yazılmalıdır.



Şekil 1.29. Uç hız oranı kontrolün blok diyagramı

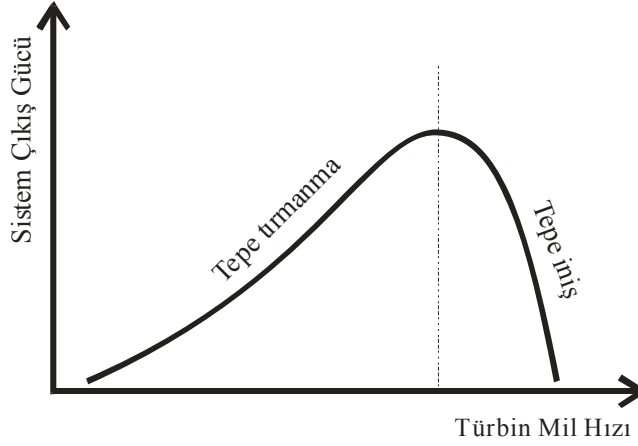
Güç sinyal geri beslemesi tekniğinde ise RES maksimum güç eğrisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu eğrinin bulunması ve maksimum güç noktasının takibi Şekil 1.30'daki gibidir. Bu değer ya yapılan benzetim programları kullanılarak tespit edilmeli ya da türbin üzerinde yapılan ölçümler ile kaydedilmelidir. Pratikte bu tekniğin zor ve pahalı oluşu en büyük sıkıntılarıdır.



Şekil 1.30. Güç sinyal geri beslemesi kontrolünün blok diyagramı

Tepe tırmanma tekniğinde Şekil 1.31'de görüldüğü gibi tepe çıkış güç değeri sürekli olarak aranmaktadır. Sezgisel bir metottur. Bu teknikte amaç arama için merkez kabul edilen noktadan komşu olan noktaları gezerek daha iyi sonuçlar elde etmektir. Daha iyi bir sonuç bulunduğunda yazılım çalışmayı durdurmaz daha da iyisini aramaya devam eder. Bu algoritmanın en büyük sıkıntısı belli bir süre sistemde durum değişmediğinde program bulunduğu nokta çevresinde daha iyi bir sonuç bulamaz. Bu durum belirsizliğe yol açar ve

daha iyi bir sonuç bulamadığı için hatalı kararlar verebilir. Dolayısıyla tırmanmanın olmadığı yerlerde bu program çalışmaz. Çalışması için sürekli tırmanmaya ya da inişe ihtiyacı vardır. Bu aramalar arasında geçen zamanla sistemin çalışmasında bir değişiklik olması da sıkıntıya yol açabilir [224, 225].



Şekil 1.31. Tepe tırmanma tekniği

1.8.3. Akıllı Şebekeler

Akıllı şebekeler enerjinin etkin ve verimli kullanılmasını sağlamak amacıyla geliştirilmeye çalışan yeni bir çalışma konusudur. Bilgisayar ve ağ teknolojileri ile birleştirilmiş şebeke sistemlerine akıllı şebekeler denmektedir. Son yıllarda daha fazla ilgi çeken ve çalışılan bir alan haline gelmiştir.

Bu sistemde tüketicilerin sürekli olarak takip edilmesi ve enerji sarfiyatlarının kaydının tutularak nerenin, ne zaman, ne kadar enerjiye ihtiyaç duyduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için gerçek zamanlı, saat saat, gün gün, ya da haftalık veya aylık raporlar tutulur. Kullanıcılar hangi cihazın ne zaman çalışması gerektiğine karar verebilir ya da çalışması gereken cihazların hepsi birden değil de belirli aralıklarla sıra ile çalışmalarını sağlayabilir. En fazla gücün harcandığı zamanlar tespit edilir. Enerjinin fazla olduğu durumlarda depolanır. Akülerin ömürlerinin daha uzun olması için şarj kontrolü sağlanır. Fazla enerji şebekeye aktarılarak satılabilir. Şebekeden çekilen ve şebekeye aktarılan enerji miktarları ile daha az ödeme yapılır. Buradaki enerji yönetimi daha az para harcanmasını temin eder.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının devreye girmesi ile enerjinin sürekliliği ve yönetimi ayrı bir önem kazanmıştır. Özellikle güneş ve rüzgar enerjisinde güneşin akşamları olmayışı bu üreteçlerin akşam saatlerinde enerji üretememesi demektir. Benzer şekilde rüzgarın her zaman esmediği veya farklı güçlerde estiği zaman ürettiği enerjinin değişken olması demektir. Bu tip durumlarda yardımcı kaynakların sürekli bulunması ve enerji talebine göre devreye girmesi ya da devreden çıkması gerekmektedir. Bu ve benzeri durumlar akıllı şebekeleri daha önemli kılmaktadır.

Benzer şekilde akıllı şebekeler sadece hangi tip kaynaklar ile yükleri besleyelim? Sorusu dışında, çevreye en az zarar veren kaynak hangisidir? Sorusuna cevap ararken; çevreyi kirletmeyen kaynakları daha fazla devrede tutalım gibi seçimleri de yapması istenmektedir. Böylece CO₂ emisyonu azaltılmaya çalışılır. Bu tip şebekelerde; yük durumuna bakılarak talep yönetimi, yenilenebilir enerji kaynakların daha fazla kullanılması, enerji tasarrufu, uygun fiyat, dengeli bir sistem, hem üretim hem de tüketim tarafında mevcut kaynakların verimli kullanımı gibi konularda fayda sağlanmaya çalışılmaktadır.

Bu tip bir akıllı sistem karmaşık bir yapıya sahiptir. Genelde 3 kısımda incelenmektedirler: olay önleme, gelişmiş sayaç altyapısı ve kendini onaran şebeke. Olay önleme bileşeni uzaktan yük yönetimi yapmaktadır. Bunun haricinde şebekede meydana gelen olayları anlık olarak izlenmektedir. Gelişmiş bir şebeke veri aktarımı ve analizi yapılmaktadır. Gelişmiş bir sayaç alt yapısına sahip olması nedeniyle uzaktan sayaç bilgilerinin okunması, elektriğin açılıp kapatılması, arıza ve onarım gibi durumlarda tüketicilerin evvelden uyarılması ya da bilgi verilmesi çift yönlü sayaç durumunda alınan ve satılan enerji miktarını gözeterek faturalandırma gibi olanaklar sunmaktadır. Aynı zamanda kendi kendini onaran, ihtiyaca göre gerçek zamanlı karar verme mekanizması nedeniyle otomatik şebeke anahtarlama, trafo yük yönetimini ve olası durumlarda gerekli insan gücünü devreye sokarak gerekli arıza veya kesinti gibi durumları olabilecek en hızlı şekilde çözebilecek şekilde kendi kendini onarıp idare edebilen bir yapıda olması beklenmektedir [226, 227].

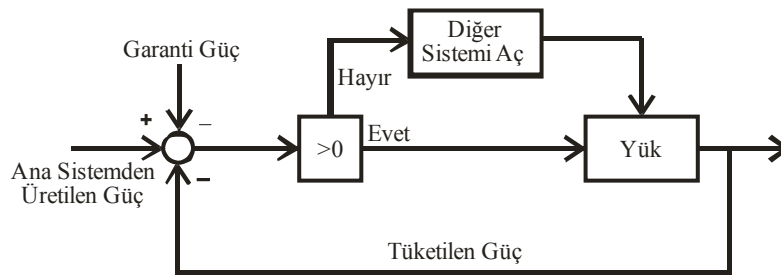
1.8.4. Garanti Güç Tekniği

Rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının ortam şartlarından etkilenmesi ve bu kaynaklardan elde edilen enerjinin sürekli olmayışı yük kısmında sıkıntılara neden olmaktadır. Güneşin olmadığı bir durumda ya da yağmurlu bir günde güneş enerjisinden elde edilecek enerji miktarı değişir. Benzer şekilde rüzgar her zaman sabit hızda esmez, kesintilidir. Bu nedenle bu kaynaklardan elde edilecek enerji miktarı değişken olur.

Özellikle düşük güçlü uygulamalarda, örneğin bir evin enerji ihtiyacı bu kaynaklardan sağlanıyorsa televizyon seyredirken enerjinin kesilmesi sıkıntılı bir durumdur. Böyle durumları engellemek için enerji kaynaklarının etkin bir şekilde yönetilmesi gerekir.

Garanti güç tekniği, yük tarafındaki ani değişimlerde meydana gelen gerilim düşümü gibi problemleri engellemek amacıyla geliştirilen bir yöntemdir. Bu teknikte üretilen enerjinin bir kısmı garanti güç adı altında sistemde ayrılır. Dolayısıyla ayrılan bu enerji miktarı aşılmadığı sürece ani yük değişimleri yük tarafında hissedilmez.

Şekil 1.32’de bu tip bir tekniğin blok şeması görülmektedir. Burada garanti güç değeri kullanılan sistemin büyüklüğüne göre değişebilir. Üretilen güç ile garanti güç toplamı her zaman tüketilen güç değerinden daha fazladır. Eksikliği durumunda sistemde kurulu başka bir enerji üretim birimi varsa bu devreye alınır.



Şekil 1.32. Garanti güç tekniği

1.8.5. Tahmin Sistemleri

Enerji üretim sistemlerinde üretilen enerji ile tüketilen enerji arasında sürekli olarak bir dengenin olması gerekir. Dengesizliğin oluştuğu durumda bazı yükler enerjisiz kalabilir

ya da fazla enerji durumunda sistemler zarar görebilir. Bu nedenle bu sistemlerin sürekli kontrol edilerek denetlenmesi gerekir.

Özellikle RES'lerde rüzgarın ne zaman eseceği ve şiddetinin ne olacağını bilmek önemlidir. Fakat bu değerler her zaman değişmektedir, istikrarsızdır. Bu istikrarsızlık şebekenin de istikrarsız olmasına neden olabilir. Bu durumu ortadan kaldırabilmek için değişik teknikler kullanılarak rüzgar hızı tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Bu durumun belirlenmesi enerji üretiminin ne zaman olacağını ya da olmayacağını ve miktarının anlaşılması için önemlidir.

Yaygın olarak rüzgar hızının belirlenmesi için sayısal hava tahmin metotları ya da istatistik metotlar kullanılmaktadır.

Tahmin metotları kısa dönemli tahmin ve uzun dönemli tahmin şeklindedir. Özellikle kısa süreli tahminler anlık üretilen güç miktarının belirlenmesi için önem taşır. Uzun vadeli tahminler ise örneğin bir yıl içinde rüzgar çiftliklerinden dönem dönem elde edilebilecek enerji miktarının belirlenmesinde önemlidir. Yapılan tahmin burada büyük önem kazanmaktadır. Doğruluk derecesinin yüksek olması hem şebekenin hem de çiftlikten elde edilecek ekonomik kazanç açısından önemlidir. Rüzgar tahmini için yaygın olarak ileri kontrol teknikleri kullanılmaktadır. Bunlar arasında özellikle yapay sinir ağlarının kullanımı ile rüzgar hızı belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu teknik özellikle istatistiksel metotlar ile öğrenmeye bağlı olması bu tip bir tahmin sisteminin en büyük yararı olarak gözükmektedir.

Bu konuda kullanılan tahmin tekniklerinden bir tanesi daha önceki senelerdeki verilere bakmak şeklindedir. Daha önceki senelerde elde edilen verilerin ortalaması alınarak rüzgar hızı tahmin edilmeye çalışılır. Bir başka istatistiksel teknik rüzgar hızı şiddet dağılımının Weibull ve Rayleigh dağılımına uyduğunu göstermektedir. Weibull dağılım fonksiyonu, rüzgar hızının, belli bir hız değerinden küçük ya da eşit gerçekleşme olasılığını verir. Rayleigh dağılımının en büyük faydası ise sadece ortalama rüzgar hızı ile dağılımın belirlenmesidir. Weibull ve Rayleigh dağılımların parametrelerinin bulunmasında değişik yöntemler kullanılmaktadır. Örneğin en küçük kareler metodu kullanılarak bu fonksiyonlar ile rüzgar hızı tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Ayrıca ortalama rüzgar gücü yoğunluğu, standart sapma, enerji yoğunluğu ve ortalama hız gibi değerler Weibull ve Rayleigh dağılım fonksiyonları ile bulunmaktadır [197,228].

Tıpkı RES'lerde rüzgar hızının önemli olması gibi FV güneş panellerinde de güneş ışığı miktarı önemlidir. Özellikle bir yıl içindeki güneşli günlerin sayısının belirlenmesi ile

bir bölgede FV güneş panellerinden elde edilebilecek güç ve yatırımın geri dönüş süresi gibi bilgilere ulaşmak için önemlidir. Ayrıca güneş ışık şiddetinin fazla oluşu da üretilen enerjinin miktarını artıracak bir diğer etkidir.

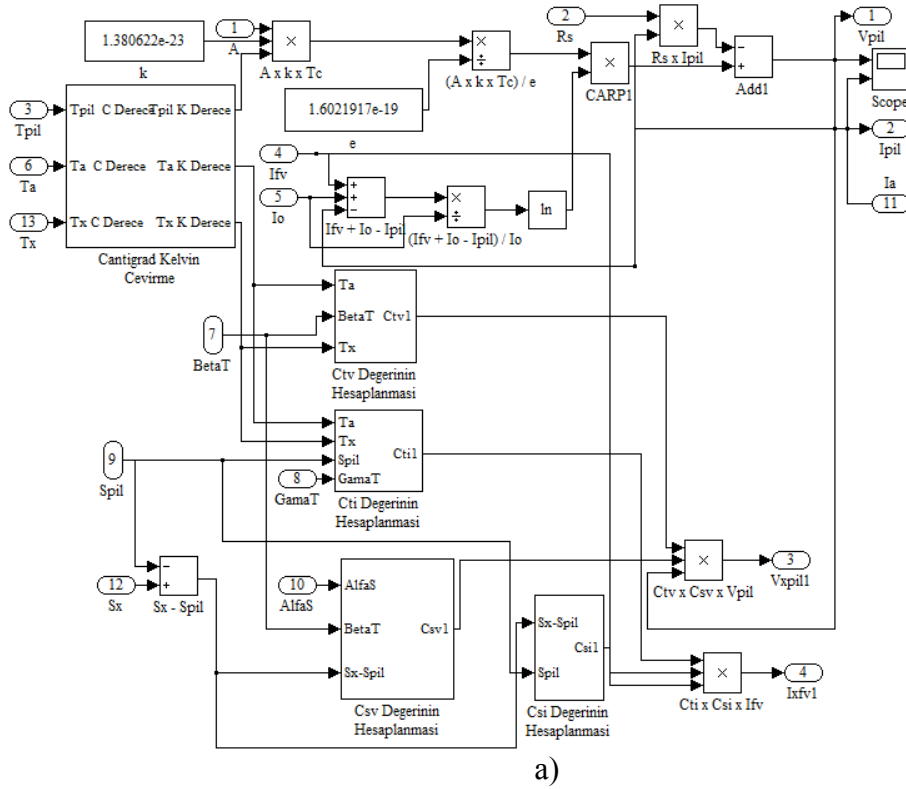
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Benzetim Çalışmaları

RES ve FV güneş panelleri enerji üretim sistemleri pratik olarak kurulmadan önce hem RES hem de FV güneş panelleri sisteminin ayrı ayrı benzetimi yapılarak nasıl bir davranış sergileyeceği anlaşılmalı çalışmalıdır. Bu nedenle hem FV güneş panelleri hem de RES'ler ile ilgili değişik benzetim çalışmaları yapılarak bu sistemlerin davranışı daha iyi şekilde anlaşılmalı çalışılmıştır.

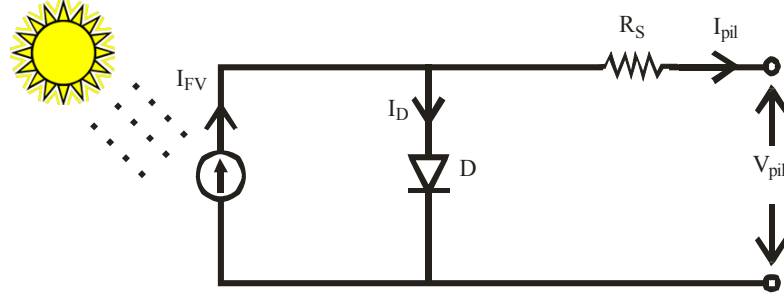
2.1.1. FV Güneş Pili Matlab/Simulink Modeli

Şekil 2.1'de kullanılan FV güneş pilinin eşdeğer devresi ve bloklar ile tasarlanan Matlab/Simulink modeli görülmektedir.



Şekil 2.1. a) FV güneş pilinin Matlab/Simulink modeli b) FV eşdeğer devresi

Şekil 2.1'in devamı



b)

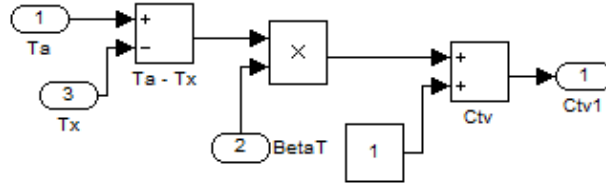
FV güneş pilinin modeli Denklem (1.65)'den faydalanarak oluşturulmaktadır. Oluşturulan model ortam sıcaklık değişimleri ve güneş ışık şiddetindeki değişimleri de içerecek şekilde tasarlanmıştır. Denklem (1.65) ile verilen denklem sonucunda FV güneş pili akım ve gerilim değerleri hesaplanmaktadır. Bu ifade Denklem (2.1)'de gösterildiği gibi FV panel akımı, FV pil sıcaklığı ve ortam ışık seviyesinin bir fonksiyonu olmalıdır ve Şekil 2.1'deki Matlab/Simulink modeli bu etkileri de içerecek şekilde tasarlanmıştır.

$$V_{pil} = f(I_a, S_x, T_x) \quad (2.1)$$

Bu model pek çok alt sistemden oluşmaktadır. Sıcaklık değerleri santigrad olarak verildiği için bu değerler 273 ile toplanarak Kelvine çevrilmektedir. Bu işlem bir alt blok ile yapılmaktadır. Benzer olarak C_{TV} , C_{TI} , C_{SV} ve C_{SI} değerleri de bu alt sistemlerde hesaplanmaktadır.

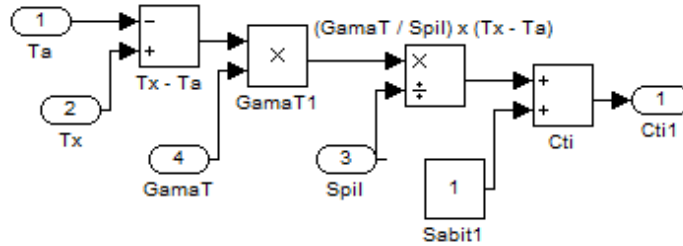
FV güneş panelinin bulunduğu ortamın sıcaklığı ve güneş radyasyon seviyesi değişince, paneldeki FV güneş pillerinin çalışma sıcaklığı T_{pil} de değişerek yeni bir fotoakımı ve yeni bir çıkış gerilimi oluşturur. FV güneş pillerinin çalışma sıcaklığı, güneş radyasyon seviyesi ve ortamın sıcaklığına bağlı olarak değişir. Değişken ortam sıcaklığı T_x pilin çıkış gerilimini ve fotoakımını etkiler. Bu etkiler pil modelinde sırasıyla sıcaklık gerilim ve akım katsayıları C_{TV} ve C_{TI} ile Denklem (2.2) ve Denklem (2.3)'de görüldüğü gibidir. C_{TV} ve C_{TI} değerlerinin hesaplandığı Matlab/Simulink alt sistemlerinin iç yapısı Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'de görülmektedir.

$$C_{TV} = 1 + \beta_T (T_a - T_x) \quad (2.2)$$



Şekil 2.2. Sıcaklığın FV güneş pil gerilimi üzerindeki değişim değeri olan C_{TV} değerinin hesaplanmasını sağlayan Matlab/Simulink bloğu

$$C_{TI} = 1 + \frac{\gamma_T}{S_{pil}} (T_x - T_a) \quad (2.3)$$



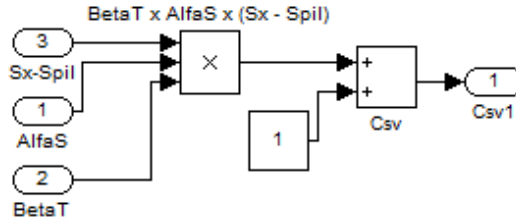
Şekil 2.3. Sıcaklığın FV güneş pil akımı üzerindeki değişim değeri olan C_{TI} değerinin hesaplanmasını sağlayan Matlab/Simulink bloğu

Burada T_a test sırasında bilinen referans ortam sıcaklığını temsil etmektedir ve 20°C olduğu varsayılmıştır. T_x farklı zamanlardaki farklı ortam sıcaklıklarını temsil eder. β_T ve γ_T katsayıları ise sırasıyla sıcaklık nedeniyle oluşan pil gerilimi ve akımında meydana gelen değişimlerin eğimlerini temsil etmektedirler. Bu β_T ve γ_T katsayıları FV pil tipine bağlı olarak değişir ve deneysel olarak belirlenirler. Normalde β_T 0.004 ile 0.006 arasında, γ_T ise 0.02 ile 0.1 arasında değerler alır.

Gün boyunca ortam sıcaklığı önemli ölçüde değişmese de, güneş radyasyon seviyesi, gün ışığı miktarı ve havanın bulutluluk durumuna bağlı olarak etkin bir biçimde değişerek

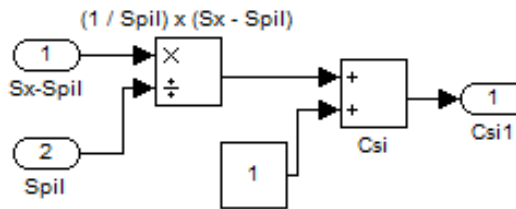
FV pilin fotoakımını ve çalışma sıcaklığını, dolayısıyla da çıkış gerilimini etkiler. Eğer güneş radyasyon seviyesi S_{C1} gibi bir değerden S_{C2} gibi bir değere değişirse, çalışma sıcaklığı T_{C1} 'den T_{C2} 'ye, fotoakım ise I_{FV1} 'den I_{FV2} 'ye değişir. Böylece, güneş radyasyon seviyesindeki değişimin pil fotoakımı ve çıkış gerilimi üzerindeki etkileri iki ayrı düzeltme katsayısı ile ifade edilir. Bu düzeltme katsayıları çıkış gerilimi için C_{SV} , fotoakım için ise C_{SI} ile verilmekte ve sırasıyla Denklem (2.4) ve Denklem (2.5) ile tanımlanmaktadır. Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'de ise C_{SV} ve C_{SI} değerlerinin hesaplandığı Matlab/Simulink alt sistemlerinin iç yapısı görülmektedir.

$$C_{SV} = 1 + \beta_T \times \alpha_s (S_x - S_{pil}) \quad (2.4)$$



Şekil 2.4. Güneş radyasyon seviyesinin FV güneş panel geriliminde meydana getirdiği değişim değeri katsayısı olan C_{SV} değerinin hesaplanmasını sağlayan Matlab/Simulink blokları

$$C_{SI} = 1 + \frac{1}{S_{pil}} (S_x - S_{pil}) \quad (2.5)$$



Şekil 2.5. Güneş radyasyon seviyesinin FV güneş panel akımında meydana getirdiği değişim değeri katsayısı olan C_{SI} değerinin hesaplanmasını sağlayan Matlab/Simulink blokları

Burada, S_{pil} referans güneş radyasyon seviyesi olarak kullanılan günışığı şiddetidir. S_x ise farklı zamanlardaki farklı güneş radyasyon seviyelerini temsil etmektedir. α_s , güneş radyasyon seviyesindeki değişimin pil çalışma sıcaklığında meydana getireceği değişime ait bir katsayı olup Denklem (2.6) ile tanımlanır.

$$\alpha_s = \frac{\Delta T_{pil}}{S_x - S_{pil}} = \frac{T_{pil} - T_a}{S_x - S_{pil}} \quad (2.6)$$

α_s nin değeri, aynı özelliklere sahip olmayan FV piller için farklıdır, ve deneysel olarak belirlenir. Ancak bu değer genellikle 0.3 ile 0.4 °C cm²/mW arasındadır.

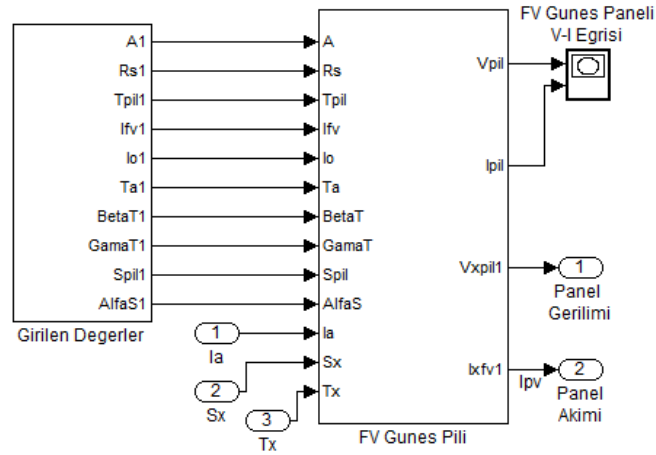
Yukarıda verilen düzeltme katsayıları C_{TV} , C_{TI} , C_{SV} ve C_{SI} kullanılarak FV güneş pilinin yeni çıkış gerilimi V_{xpil} ve yeni fotoakımı I_{xFV} , yeni çalışma sıcaklığı T_x ve yeni güneş radyasyon seviyesi S_x için Denklem (2.7) ve Denklem (2.8)'deki gibi belirlenir;

$$V_{xpil} = C_{TV} \times C_{SV} \times V_{pil} \quad (2.7)$$

$$I_{xFV} = C_{TI} \times C_{SI} \times I_{FV} \quad (2.8)$$

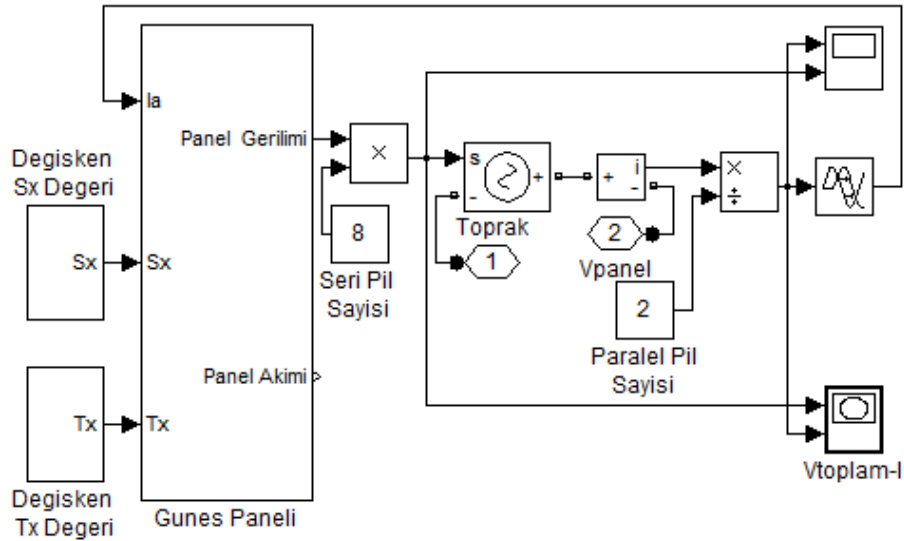
Bu ifadelerdeki V_{pil} ve I_{FV} ise referans alınan pil çalışma sıcaklığı ve günışığı (güneş radyasyonu) seviyelerindeki pil çıkış gerilimi ve fotoakımının değerleridir [1, 85-87, 208, 210-213].

Denklem (2.7) ve Denklem (2.8) kullanılarak sıcaklık ve güneş ışık değişim etkilerinin de modellenmesi ile gerçek FV güneş pili çıkış akım ve gerilim değerleri elde edilmektedir. Şekil 2.6'da bir FV güneş piline ait üretim verileri girilerek gerçek FV güneş pili modeli oluşturulmuştur. Girilen değerler bloğu FV güneş piline ait veri sayfalarından ya da test ile elde edilen verilerin girildiği kısımdır. Şekil 2.6'da ayrıca FV güneş pilinin akım ve gerilim değişim eğrisi de çizdirilmektedir [210]. Buradaki model güneş ışık şiddeti, sıcaklık ve FV güneş pil akımını içerecek şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 2.6. Girilen FV güneş pili katalog değerleri ile FV güneş pili

Şekil 2.7’de dışarıdan değiştirilebilir şekilde ayarlanmış güneş ışık değişimi ve sıcaklık değişimlerine ait bloklar kullanılarak istenen ortam şartları oluşturulmaktadır. Burada FV güneş pil sayısı girilerek FV güneş paneli oluşturulmaktadır. Burada yapılan tasarıma göre seri ya da paralel girilen FV güneş pil sayıları ile istenen büyüklükte, güçte ve sayıda FV panel tasarlamak mümkündür. Ayrıca seri ya da paralel bağlanan FV güneş pilleri ile toplam akım ve gerilim değerleri de birbirine bağlı olarak çizdirilerek FV panele ait akım-gerilim değişim grafikleri elde edilmektedir.



Şekil 2.7. Seri ve paralel bağlanacak FV güneş pil sayılarının girilmesi

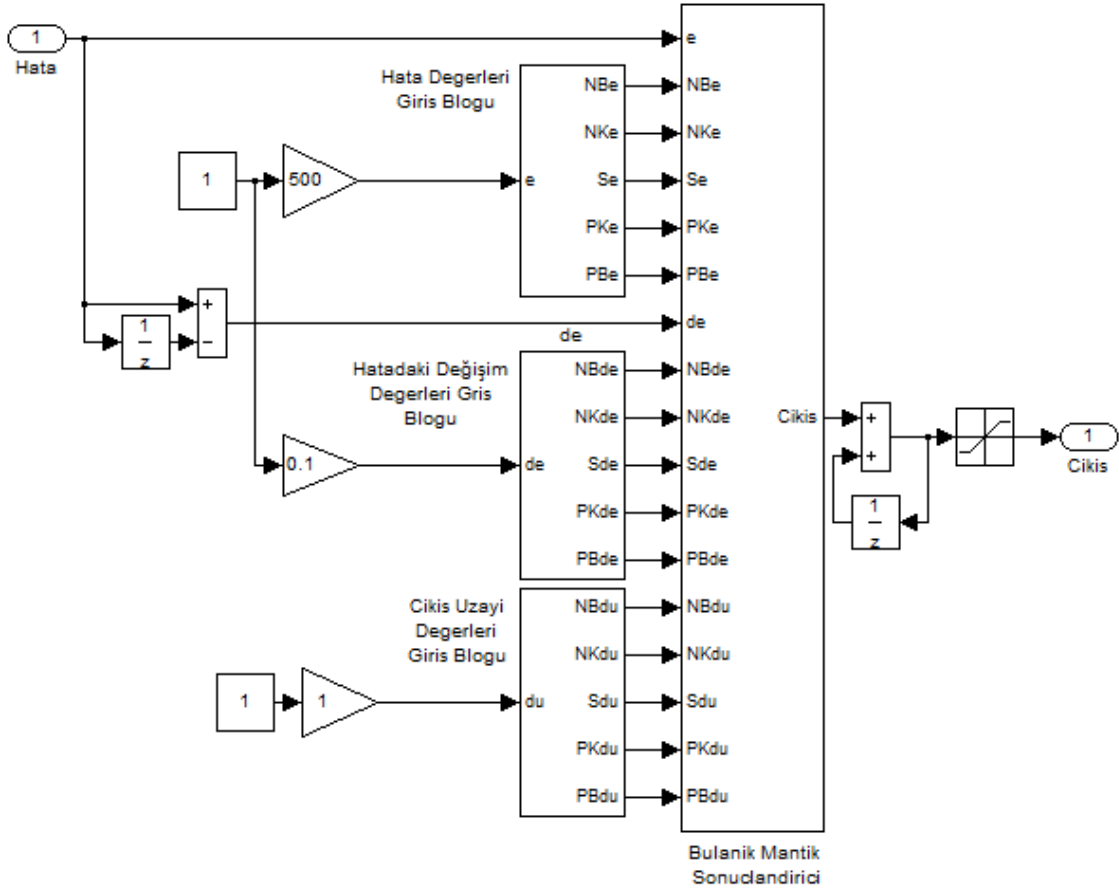
Sonuçta Şekil 2.7'deki tasarım bir alt sisteme gömülerek FV güneş paneli ortaya çıkmaktadır. Bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar farklı zamanlarda yayınlanmıştır [213, 229-232].

2.1.2. Rüzgar Enerji Sistemi Matlab/Simulink Çalışmaları

RES modeli Matlab/Simulink ortamında hazır olarak bulunmaktadır. Fakat bu rüzgar türbinine asenkron makina bağlanmalı ve kullanılacak yere göre gereken akım, gerilim, güç ve frekans ayarlamaları yapılmalıdır. Bu konu ile ilgili de pek çok çalışma yapılmış ve bu çalışmalar farklı yerlerde yayınlanmıştır [134, 161, 201, 232, 233].

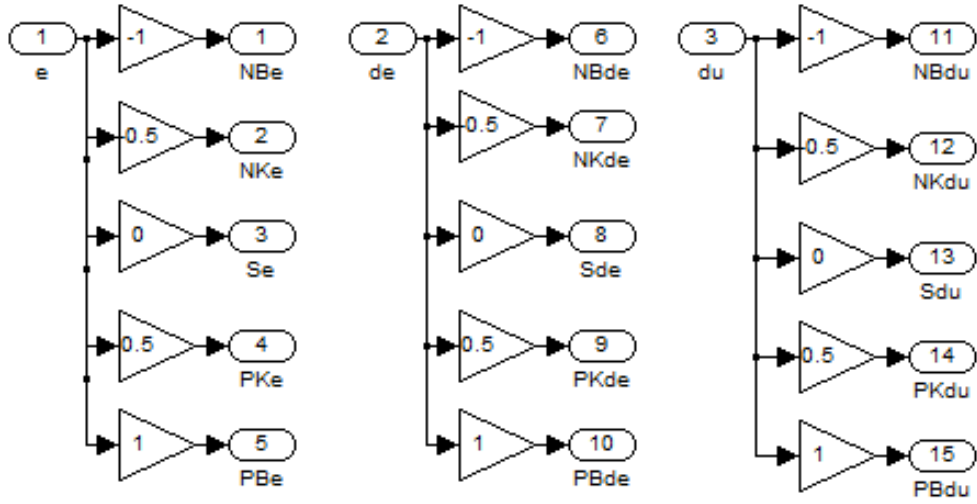
2.1.3. Bulanık Mantık Denetleyicinin Matlab/Simulink Modeli

Matlab ortamında hazır olarak BMD bulunmaktadır. Fakat BMD'nin çalışma prensibini daha iyi anlayabilmek ve gerektiği gibi düzenleyebilmek için tekrar tasarlanmıştır. Tasarlanan BMD Şekil 2.8'de görülmektedir. Burada hata ve hatanın değişimi kontrol girişleri olarak kullanılmaktadır. Kontrol çıkışında elde edilen değer ile sistem kontrol edilmektedir.



Şekil 2.8. Bulanık mantık denetleyici

Tasarlanan BMD pek çok alt bloktan oluşmaktadır. İstenen tüm üyelik fonksiyonları tek tek bloklar ile oluşturularak tasarlanabilir. Hata (e), hatanın değişimi (de) ve çıkış değişkenleri (du) Şekil 2.9'da görüldüğü gibi ayarlanmaktadır. Kullanılan NB, NK, S, PK, PB terimleri sırası ile negatif büyük, negatif küçük, sıfır, pozitif küçük ve pozitif büyük şeklinde isimlendirilmiştir. e , de ve du giriş ve çıkış değişkenleri bu ifadelerin sonuna getirilerek (NBdu, Sde, PKe v.b.) o değere ait üçgen üyelik fonksiyon isimleri elde edilir.

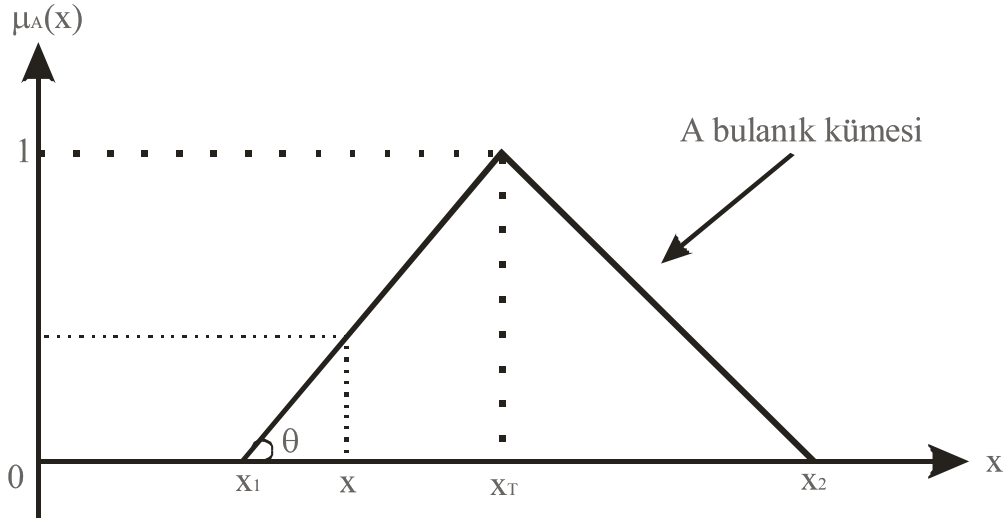


Şekil 2.9. *e*, *de* ve *du*'nun değerlerinin ayarlandığı 3 bloğun iç yapısı bir arada

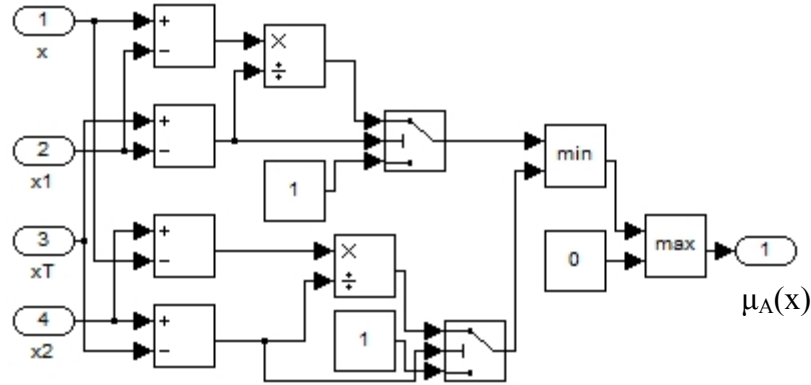
Yapılan çalışmalarda ağırlıklı olarak üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Üçgen üyelik fonksiyonu ve Matlab/Simulink modeli Şekil 2.10'da görülmektedir. Denklem (2.9) ve Denklem (2.10)'da bu üyelik fonksiyonuna ait denklemler görülmektedir [216].

$$\mu_{A\bar{U}}(x) = \max \left(\min \left(\frac{x - x_1}{x_T - x_1}, \frac{x_2 - x}{x_2 - x_T} \right), 0 \right) \quad (2.9)$$

$$\tan \theta = \frac{1}{x_T - x_1} = \frac{\mu_A(x)}{x - x_1} \quad (2.10)$$



a)

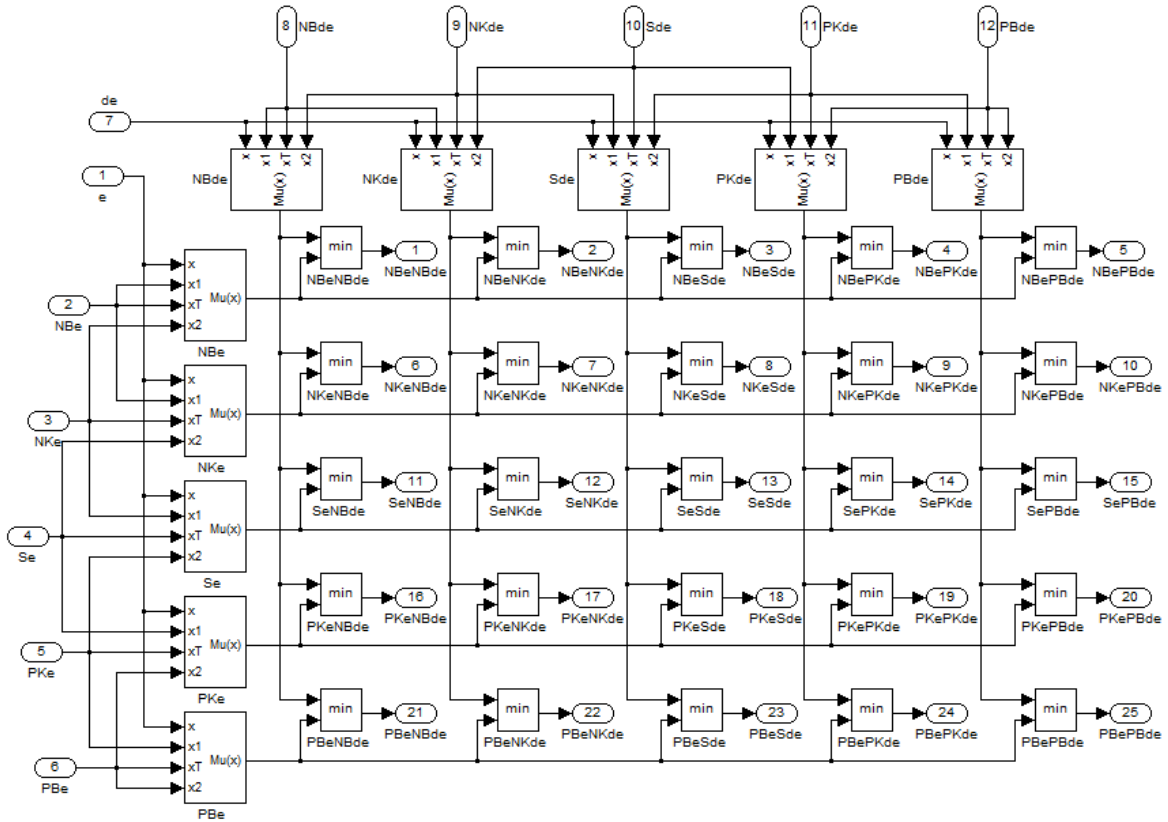


b)

Şekil 2.10. a) Üçgen üyelik fonksiyonu b) Matlab/Simulink modeli

Üçgen üyelik fonksiyonu Denklem (2.9) kullanılarak, bloklar ile gerçekleştirilmiştir. Üçgen üyelik fonksiyonları kullanılarak kesin değerler Şekil 2.11’de görüldüğü gibi bulanıklaştırılmaktadır. Bu blokta sistemden alınan kesin giriş bilgileri bulanıklaştırılmaktadır. Giriş işaretleri sözel olarak ifade edilirler. Bilgi tabanındaki bilgileri kullanarak verilerin işlenebilmesi için gereken ön hazırlıkları içerir. Sayısal işaretleri bulanıklaştırmak için üyelik fonksiyonlarından (üçgen üyelik fonksiyonu, yamuk üyelik fonksiyonu, gaussian üyelik fonksiyonu, çan biçimli üyelik fonksiyonu ...) yararlanılır. Burada kullanılan üyelik fonksiyonları ve değerleri programı yazan kişiye bağlıdır. Elde edilen tecrübelerden faydalanılarak seçim yapılır [217]. Burada giriş değişkenleri olan hata ve hatanın değişiminin 5 kurallı olarak tasarlandığı görülmektedir.

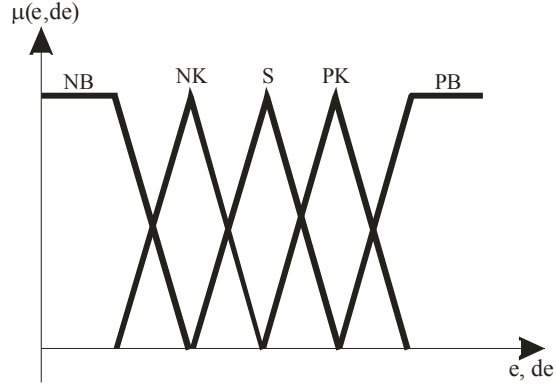
Çıkış uzayı da 5 kurallıdır. Bulanıklaştırma birimi minimum alma işlemini gerçekleştirmektedir. Şekil 2.11'de e ve de için girilen değerler her bir üçgen fonksiyonunda ayrı bir değer almakta ve bu değerler birbirleri ile kıyaslanıp minimumları alınarak 25 tane sonuç üretmektedir. e için giriş değerleri 2 ile 6 nolu giriş değerleri arasında, de için ise 8 ile 12 arasında görülmektedir. e ve de için her bir giriş değerinin minimumları alınarak 5 kural için $5 \times 5 = 25$, 1 ile 25 arasında gösterilen 25 adet çıkış değeri oluşmaktadır.



Şekil 2.11. Bulanıklaştırma birimi

Bulanıklaşan veriler bulanık kural tabanına gelir. Kural tabanı ve veri tabanından oluşur. Bilgi ve düşüncelerin sözel ifadelerle temsil edilip saklandıkları bir birimdir. Bulanık verilerin saklandığı bir depo görevi gördüğünden aslında bulanık işlemcinin en önemli birimidir. *eğer ise* koşul cümleleri ile oluşturulan kurallar bulanık verilerin saklanması temin etmektedir. Bu bulanık veriler gözlem sonuçları ile birleştirildiğinde ortaya bir sonuç çıkar. Yani gözlemle elde edilen bir veri daha önce kurallar dizisinde

depolanmış verilerle birlikte kullanılıp yeni sonuç ve kararlar alınabilmektedir. Şekil 2.12'de ve Tablo 2.1'de bu kurallar görülmektedir.

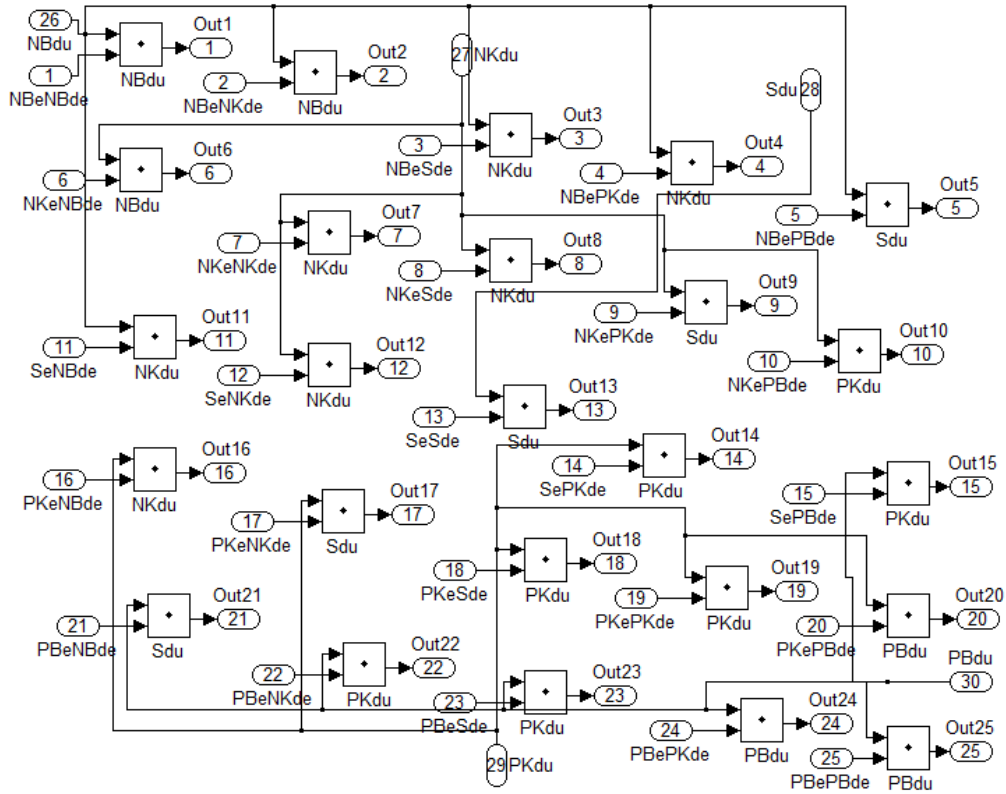


Şekil 2.12. e ve de 'nin değişimi

Tablo 2.1. BMD'nin kuralları

e de	<u>NB</u>	<u>NK</u>	<u>S</u>	<u>PK</u>	<u>PB</u>
<u>NB</u>	NB (1)	NB (2)	NK (3)	NK (4)	S (5)
<u>NK</u>	NB (6)	NK (7)	NK (8)	S (9)	PK (10)
<u>S</u>	NK (11)	NK (12)	S (13)	PK (14)	PK (15)
<u>PK</u>	NK (16)	S (17)	PK (18)	PK (19)	PB (20)
<u>PB</u>	S (21)	PK (22)	PK (23)	PB (24)	PB (25)

Şekil 2.13’de kuralların işlendiği Matlab/Simulink blokları görülmektedir. Burada her bir kural tek tek işlenmektedir. Elde edilen sonuçlar çıkışa aktarılmaktadır. Kullanıcı tasarladığı sisteme göre koyduğu kuralları burada değiştirmektedir. Örnekte sağ üst köşeden sol alt köşeye gidecek şekilde sıfırların yerleştirildiği bir tasarım görülmektedir. Bu köşegenin altında ve üstünde kalan kısımlar kendi içinde sistemli olacak şekilde kurallar düzenlenmiştir. Tablo 2.1’de parantez içinde görülen 1’den 25’e kadar olan sayılar Şekil 2.13’de görülen her bir çıkışa karşılık gelen değerlerdir. $\sum_{j=1}^n \mu_c(z_j) \cdot z_j$ ifadesini gerçekleştirerek ağırlık merkezi yöntemi ile kesin çıkış değerinin bulunmasını sağlayan Denklem (2.11)’in pay değeri bu şekilde hesaplanmaktadır.

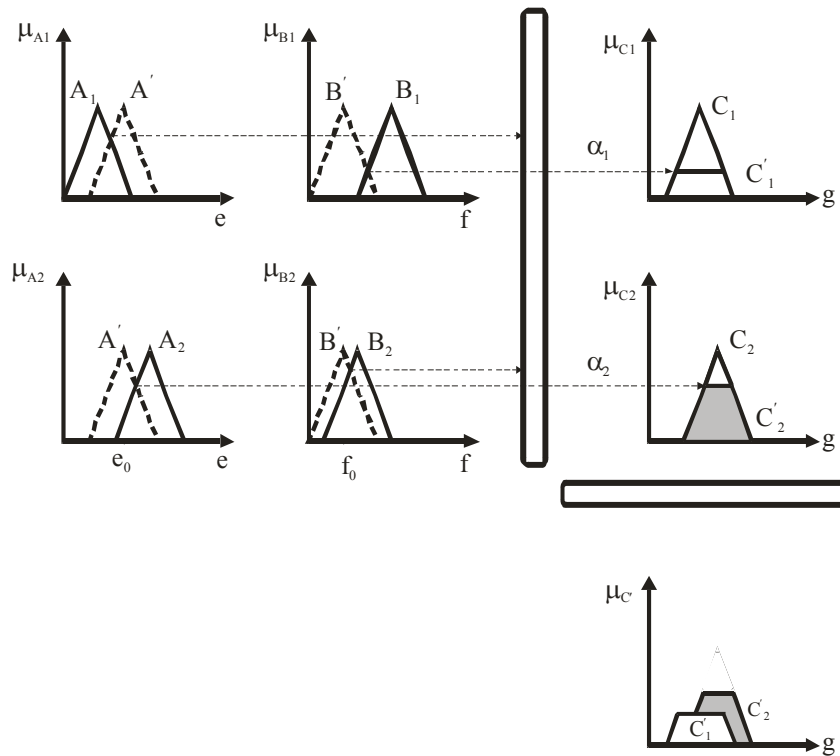


Şekil 2.13. BMD'nin çalışması için gereken kurallar

Bulanık mantık sonuçlandırma kısmı ise; bulanık mantık denetleyicinin çekirdek kısmını oluşturan sonuçlandırma ya da karar verme biriminde kurallara bağlı olarak elde edilen koşullardan gerekli sonuçların çıkarıldığı kısımdır. Kurallara bağlı olarak elde edilen pek çok sonuç birleştirilerek tek bir sonuca indirgenir. Burada mamdani, larsen, tsukamoto, sugeno, gibi

yöntemler kullanılmaktadır. Mamdani ve Larsen yöntemlerinde alanlar hesaplanırken Sugeno ve Tsukamoto yöntemlerinde ağırlıklı ortalamalar hesaplanmaktadır. Bu tez çalışmasında Mamdani yöntemi kullanılmaktadır.

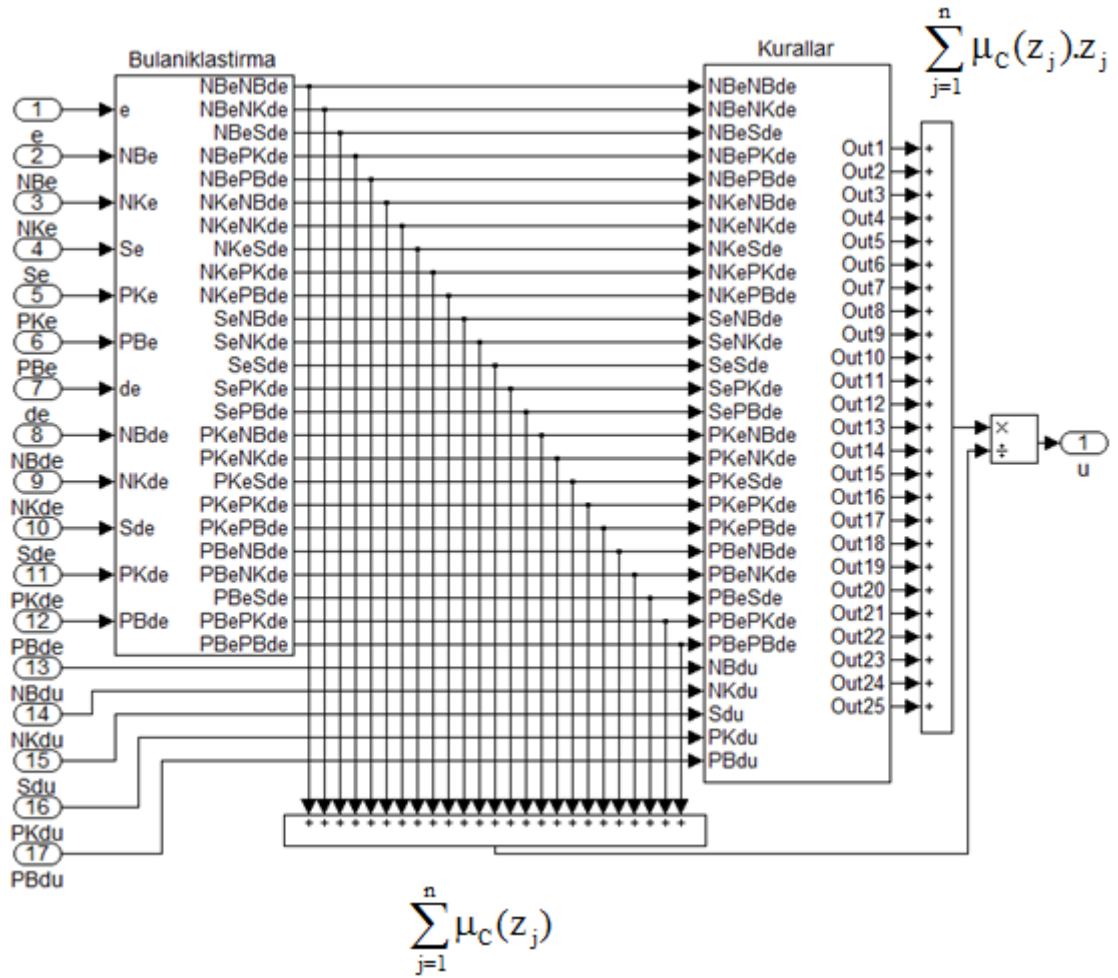
Mamdani yöntemi minimum alma işlemidir. Şekil 2.14’de Mamdani sonuçlandırma metodu görülmektedir. Her bir giriş değeri için ait olduğu üyelik derecesine bağlı olarak ilgili bulanık kümenin üyelik değerinin üstündeki kısmı kesilir. Her bir kural sonunda elde edilen sonuçlar arasında büyük olan alınarak işlem tamamlanır [216].



Şekil 2.14. Mamdani sonuçlandırma metodu

Şekil 2.15’de durulaştırma işlemi görülmektedir. Bu bölümde artık bulanık değerler kesin değerlere çevrilmektedir. Bu bölüm Denklem (2.11)’de verildiği gibi ağırlık merkezi yöntemini kullanarak kesin değerleri hesaplamaktadır [215-217, 234].

$$z_0 = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_C(z_j) \cdot z_j}{\sum_{j=1}^n \mu_C(z_j)} \quad (2.11)$$

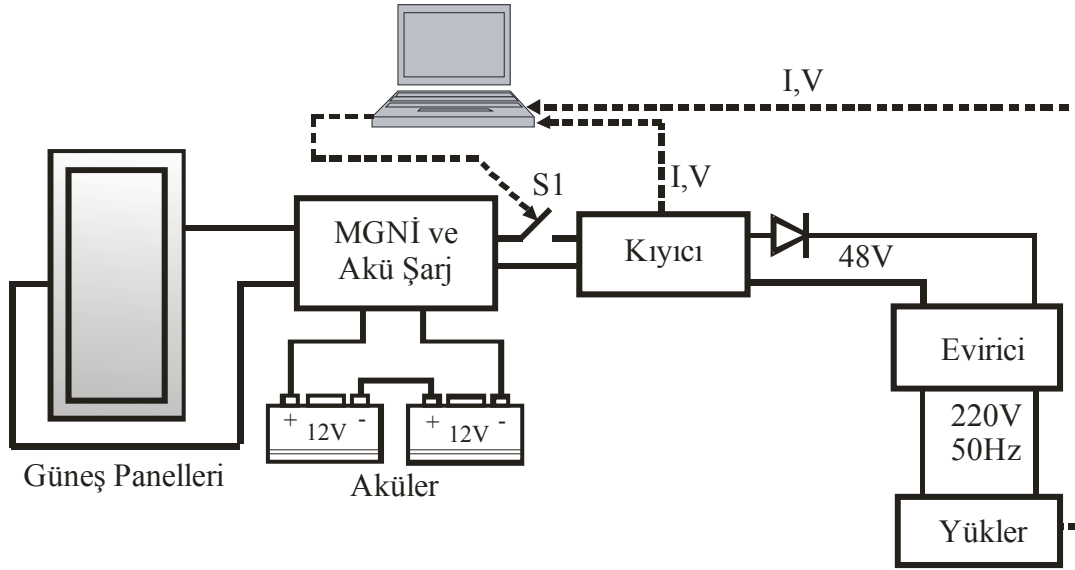


Şekil 2.15. Durulaştırma işlemi

2.2. Deneysel Çalışmalar

2.2.1. FV Güneş Panelleri Sistemi (FVGPS)

Şekil 2.16'da görülen sistemde 4 adet FV güneş paneli kullanılmaktadır. Bu FV paneller ikişerli seri iki paralel koldan oluşmaktadır. Bu şekilde her bir koldaki gerilim değeri 42V ve akım değeri de maksimum 5A olmaktadır.



Şekil 2.16. Kurulan FVGPS/Akü sistemi

FV güneş panelleri ile akü grubu, düzenleyici ve maksimum güç izleyici de içeren bir cihaz vasıtasıyla birbirine bağlanmaktadır. Bu şekilde güneşten istenen güç elde edilemediği durumda aküler devreye girerek ihtiyaç duyulan enerjiyi yüklerle aktarmaktadır. Maksimum güç izleyici ile o anki ortam koşullarında güneşten elde edilebilecek gücün en iyi şekilde kullanılması amaçlanmaktadır. Kullanılan düzenleyici aynı zamanda bir adet şarj kontrol ünitesine de sahiptir. Düzenleyici 12/24/36/48V, 30A'lık bir cihazdır. Sistemde 4 adet 80W'lık FV güneş paneli kullanılmıştır. Toplam güç miktarı maksimum seviyede 320W'dır. 2 adet seri ve 2 adet paralel bağlanmışlardır. Aküler 2 adet sulu tip 12V'luk akülerdir ve seri olarak bağlanarak gerilim değerleri 24V değerine getirilmektedir. Bu değer bir kıyıcıdan geçirilerek 48V değerine getirilerek sabitlenmektedir. Daha sonra bu değer eviricinin girişine uygulanmaktadır. Evirici giriş gerilim değeri 42-60V doğru akım olan bir cihazdır ve bu değeri 220V/50Hz alternatif gerilim değerine çevirmektedir. Burada yükler üzerindeki akım ve gerilim bilgisi ile kıyıcı giriş gerilimi ve çıkış akımı ölçülerek bu değerler bilgisayara aktarılmaktadır.

Sistemde kullanılan cihazların özellikleri Tablo 2.2 ve Tablo 2.6 arasındaki tablolarda görülmektedir.

Tablo 2.2. FV güneş paneli değerleri

Açık Devre Gerilim Değeri	:	21,6V DA
Kısa Devre Akım Değeri	:	5,15A
Maksimum Güç Noktasındaki Gerilim Değeri	:	17,3V
Maksimum Güç Noktasındaki Akım Değeri	:	4,63A
Maksimum Gücü	:	80W

Tablo 2.3. Kullanılan akülerin özellikleri

Gerilim Değeri	:	12V DA
Akım Değeri	:	80Ah
Akü Tipi	:	Sulu

Tablo 2.4. Maksimum güç izleyicili akü şarj cihazı

Giriş Gerilim Değeri	:	12/24/36/48V DA
Akım Değeri	:	30A

Tablo 2.5. Kıyıcının özellikleri

Giriş Gerilimi	:	19~72V DA
Çıkış Gerilimi	:	48V DA
Akımı	:	21A
Gücü	:	1000W

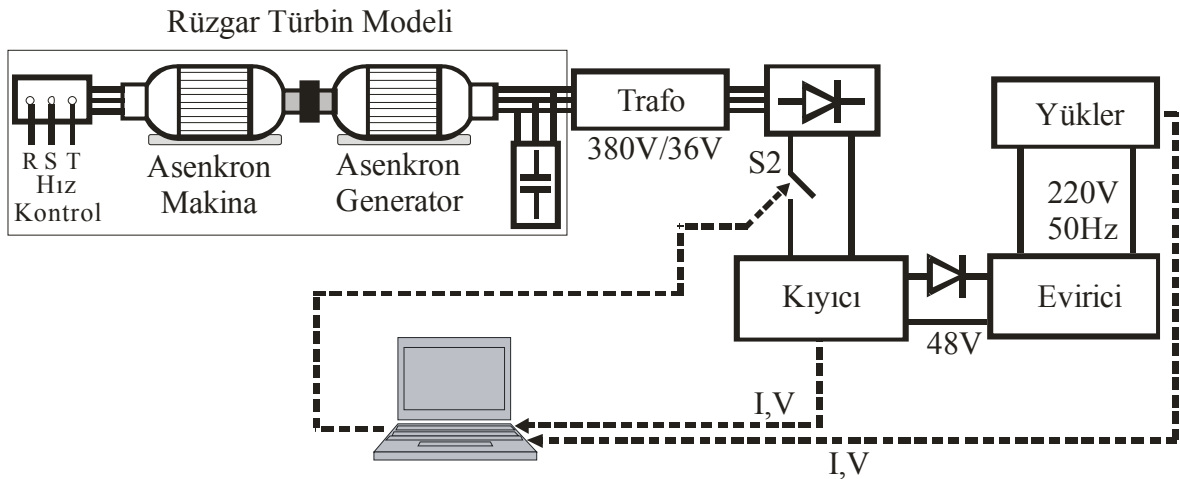
Tablo 2.6. Tam sinüs eviricinin özellikleri

Giriş Gerilim Aralığı	:	42~60V DA
Çıkış Gerilim Değeri	:	230V AA
Frekans	:	50Hz
Gücü	:	3000W

Sistemde FV güneş panelleri aküleri şarj etmektedir. Güneşin fazla olduğu durumda hem aküler şarj edilmekte hem de yükler beslenmektedir. Yükün olmadığı durumda aküler tam dolana kadar şarj edilmektedir. Tam dolduktan sonra şarj etme ünitesi FV güneş panellerini kendiliğinden devreden çıkararak akülerin uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır. Sistemdeki maksimum güç izleyici cihaz ile FV güneş panellerinden elde edilen enerji ekonomik bir şekilde kullanılmaktadır.

2.2.2. Rüzgar Enerji Sistemi Modeli

Şekil 2.17’de görülen RES modelini oluşturmak için 2 adet sincap kafesli asenkron motor (ASM) birbirine bağlanmıştır.



Şekil 2.17. RES modelinden üretilen enerji ile yüklerin beslenmesi

İlk asenkron motor (5kW) motor olarak, ikincisi ise (3kW) generatör olarak kullanılmış ve her iki motorda millerinden birbirine bir kayışla bağlanmıştır. İlk motor bir hız denetleyicisi ile kontrol edilmektedir. İkinci motor bağlantı uçlarından elde edilen 3 fazlı gerilim değeri bir trafo vasıtasıyla daha düşük bir seviyeye getirilmektedir (380V/36V). Burada enerjinin üretilebilmesi için gereken reaktif güç kondansatör grubundan temin edilmektedir. Daha sonra doğrultulan bu 3 faz gerilim bir kıyıcıdan geçirilerek 48V değerine getirilerek doğru akım hattına bağlanmaktadır. Daha sonra bu 48V'luk gerilimi, 230V/50Hz'lik alternatif gerilime çeviren bir evirici kullanılmakta ve

yükler beslenmektedir. Burada yükler üzerindeki akım ve gerilim bilgisi ile kıyıcı giriş gerilimi ve çıkış akımı ölçülerek bu değerler bilgisayara aktarılmaktadır.

Sistemde kullanılan cihazların özellikleri Tablo 2.7 ile Tablo 2.14 arasında görülmektedir.

Tablo 2.7. Asenkron motorun özellikleri

Faz Sayısı	: 3
Kutup Sayısı	: 4
Gücü	: 5,5kW
$\Delta 220$: 50Hz - 1450d/d - $\text{Cos}\phi=0,86$
Y380	: 50Hz - 1450d/d - $\text{Cos}\phi=0,86$
Verim	: %87
Ağırlık	: 74kg

Tablo 2.8. Asenkron generatörün özellikleri

Faz Sayısı	: 3
Kutup Sayısı	: 4
Gücü	: 3,5kW
Frekans	: 50Hz
$\text{Cos}\phi$: 0,80
Devir Sayısı	: 1415d/dak
$\Delta 220$: 11,3A
$\Delta 240$: 11,1A
Y380	: 6,5A
Y415	: 6,4A

Tablo 2.9. Asenkron motor hız kontrol ünitesinin özellikleri

Beygir Gücü	: 7,5HP
Motor Kapasitesi	: 5kW
Frekans Ayar Aralığı	: 0,1-400Hz
Giriş Gerilimi	: 380-480V
Giriş Akımı	: 24A
Çıkış Akımı	: 16A
Faz Sayısı	: 3
Çıkış Frekansı	: 50-60Hz

Tablo 2.10. Kondansatör grubunun özellikleri

Anma Gerilimi	:	400V AA
Anma Akımı	:	7,2A
Anma Kapasitesi	:	3x33 μ F
Anma Frekansı	:	50Hz
Anma Gücü	:	5kVAr
Bağlantı Şekli	:	Δ
Yalıtım Düzeyi	:	3kV

Tablo 2.11. Trafonun özellikleri

Giriş Gerilimi	:	380V AA
Faz Sayısı	:	3
Çıkış Gerilimi	:	24 / 36 / 48 / 72V AA
Frekans	:	50Hz
Gücü	:	2,2kW

Tablo 2.12. 3 doğrultucunun özellikleri

Gerilimi	:	1000V
Akımı	:	50A
Tipi	:	Tekli
Diyot Sayısı	:	6

Tablo 2.13. Kıyıcının özellikleri

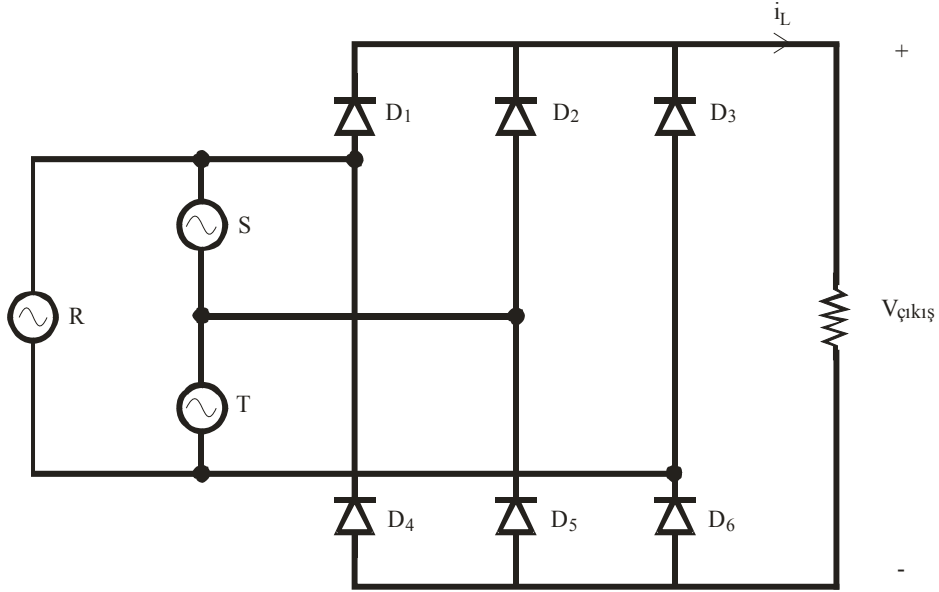
Giriş Gerilimi	:	19~72V DA
Çıkış Gerilimi	:	48V DA
Akımı	:	21A
Gücü	:	1000W

Tablo 2.14. Tam sinüs evircinin özellikleri

Giriş Gerilim Aralığı	:	42~60V DA
Çıkış Gerilim Değeri	:	230V AA
Frekansı	:	50Hz
Gücü	:	3kW

Kullanılan 3 fazlı kontrolsüz köprü tipi doğrultucu devresi Şekil 2.18'de görülmektedir. Çıkış gerilim değeri Denklem (2.12)'deki gibi bulunur.

$$U_{\text{çıkış}} = 1.654U_{R_{TEPE}} \quad (2.12)$$



Şekil 2.18. 3 fazlı doğrultucu devresi

Kullanılan asenkron generatörün ihtiyaç duyduğu reaktif güç bir kondansatör grubundan temin edilmektedir. Bu nedenle ihtiyaç duyulacak kapasite değerinin hesaplanması gerekmektedir. Motor parametreleri Tablo 2.8’de görüldüğü gibidir. Kondansatör değeri Denklem (1.56) ile Denklem (1.62) arasındaki ifadelerden faydalanarak aşağıdaki gibi bulunur:

$$P=S \cdot \cos\varphi \rightarrow 3500=S \cdot 0,8 \rightarrow S=4375\text{VA}$$

$$\cos\varphi=0,8 \text{ ise } \varphi=36,86 \text{ ve } \sin\varphi=0,6$$

$$Q=S \cdot \sin\varphi \rightarrow Q=4375 \cdot 0,6 \rightarrow Q=2625\text{Var}$$

$$\text{Tek faz reaktif güç} = Q/3=875\text{Var}$$

$$I_C = \frac{Q}{E} = \frac{875}{380} = 2,3\text{A}$$

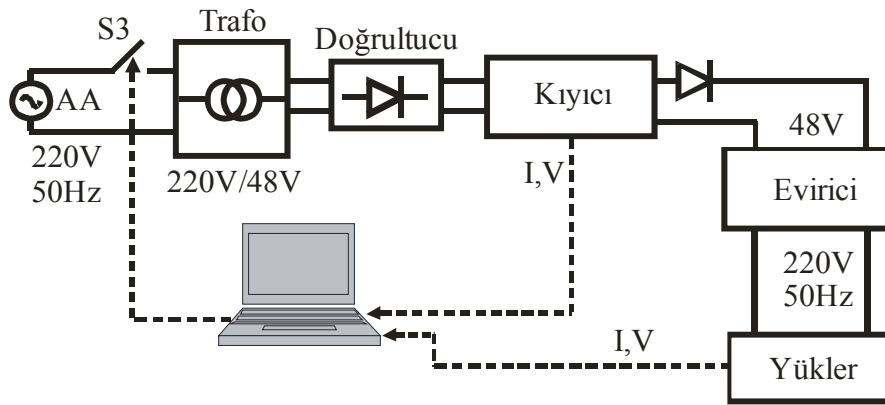
$$X_C = \frac{E}{I_C} = \frac{380}{2,3} = 165,2\Omega$$

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 165,2} = 19,27\mu\text{F}$$

olarak faz başına kapasite değeri bulunur. Yapılan denemelerde $22\mu\text{F}$ denenmiş fakat farklı hız değerlerinde sorun çıkmıştır. Bu nedenle bu değer arttırılmış ve $33\mu\text{F}$ değerinde sistemin sorunsuz bir şekilde çalıştığı tespit edilmiştir.

2.2.3. Şebeke Bağlantısı

Kurulan sistemde şebeke bağlantısı Şekil 2.19’da görüldüğü gibi yapılmıştır. Burada her bir enerji üretim sisteminden elde edilen enerji 48V’luk doğru akım barada birleştirildiği için şebekeden elde edilen gerilim için de aynı tasarım yapılmıştır.



Şekil 2.19. Kurulan sistemde şebeke bağlantısının yapısı

Şebekeden elde edilen 220V’luk alternatif gerilim bir trafodan geçirilerek 48V değerine düşürülmekte daha sonrada köprü tipi bir doğrultucu ile doğrultularak doğru gerilim elde edilmektedir. Bu değer kıyıcı giriş değeridir. Kıyıcı çıkışında bu değer 48V’da sabitlenerek ortak 48V’luk doğru akım barasına bu gerilim değeri verilmektedir. Dolayısıyla 48V’luk doğru akım barasının da 3 ayrı sistemden gelen gerilim değerleri tek bir çatı altında birleşmiş olmaktadır. Son aşamada kullanılan evirici 48V doğru akımı 220V/50Hz alternatif akıma çevirmektedir. Benzer şekilde burada da kıyıcı giriş gerilimi ile çıkış akım değeri ve yükler üzerindeki akım ve gerilim değerleri bir veri aktarım kartı aracılığıyla bilgisayara aktarılarak bu veriler bilgisayarda değerlendirilmektedir. Tablo 2.15 ve Tablo 2.17 arasında kullanılan malzemenin özellikleri görülmektedir.

Tablo 2.15. Trafonun özellikleri

Giriş Gerilimi	: 220V AA
Faz Sayısı	: 1
Çıkış Gerilimi	: 36 / 48V AA
Frekans	: 50-60Hz
Gücü	: 1,5kW

Tablo 2.16. Kıyıcının özellikleri

Giriş Gerilimi	: 19~72V DA
Çıkış Gerilimi	: 48V DA
Akımı	: 21A
Gücü	: 1000W

Tablo 2.17. Tam sinüs eviricinin özellikleri

Giriş Gerilim Aralığı	: 42~60V DA
Çıkış Gerilim Değeri	: 230V AA
Frekansı	: 50Hz
Gücü	: 3kW

2.2.4. Veri Aktarımı

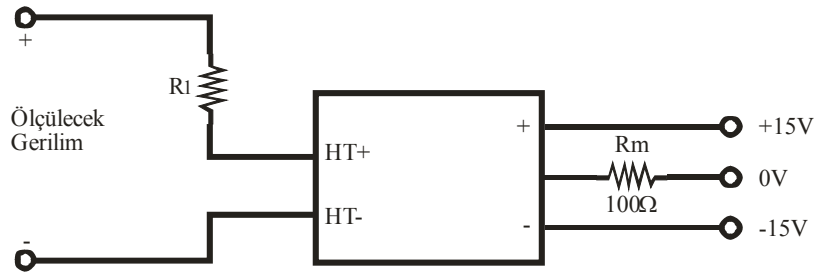
FV güneş panelleri, RES, şebeke ve yüklerle ait akım ve gerilim bilgilerinin bilgisayar ortamına aktarılabilmesi için National Instruments firmasının ürettiği NI USB 6259 veri aktarım kartı kullanılmaktadır. USB portundan bilgisayara bağlanan bu cihaz ile sisteme ait elektriksel büyüklükler MATLAB/Simulink ortamına aktarılmakta ve burada değerlendirilmektedir.

Bu kart 16 bit çözünürlüğünde 32 analog girişe, 4 analog çıkışa ve 48 giriş çıkış olarak yapılandırılabilen dijital giriş/çıkışa sahiptir. Dijital çıkışlar 32 bit, analog çıkış ise 1,25Ms/S değerine sahiptir. Giriş gerilimi maksimum $\pm 10V$ değerindedir.

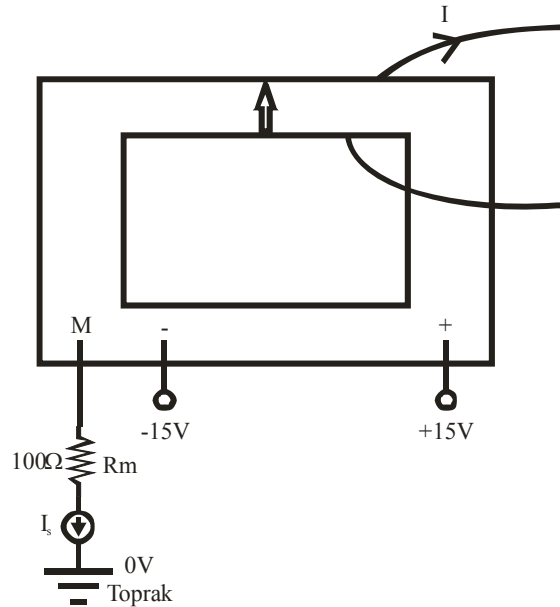
2.2.5. Akım – Gerilim Algılayıcıları

Sistemdeki akım ve gerilim bilgileri hall etkili algılayıcılar vasıtasıyla alınmaktadır. Manyetik alan içerisinde bulunan ve içinden akım geçen bir iletken boyunca gerilim oluşması prensibi ile çalışmaktadır. LEM firmasının LA-55P akım algılayıcısı ve

aynı firmanın LV-25P gerilim algılayıcısı kullanılmaktadır. Buradan elde edilen veri, veri aktarım kartı ile bilgisayara aktarılmaktadır. Şekil 2.20 ve Şekil 2.21’de akım ve gerilim algılayıcılarının kullanım diyagramları görülmektedir. Ölçüm direncinin değeri (R_M) her ikisinde de 100Ω ’dur. Gerilim algılayıcılarda kullanılan R_1 direncilerinin değeri FV güneş panelleri sisteminde $2,35k\Omega/5W$ değerinde, RES ve şebeke sisteminde ise $5,7k\Omega/5W$ ve yük üzerindeki ise $25k\Omega/5W$ değerinde ayarlı dirençlerdir. Ölçme gerilimine göre bu değerler algılayıcı kataloglarındaki hesaplamalardan yola çıkılarak bulunmaktadır. Besleme gerilimleri $\pm 15V$ ’dur. Bu devreler de akım ve gerilim bilgileri herhangi bir ara devreden geçirilmeden doğrudan bilgisayara aktarılmaktadır.

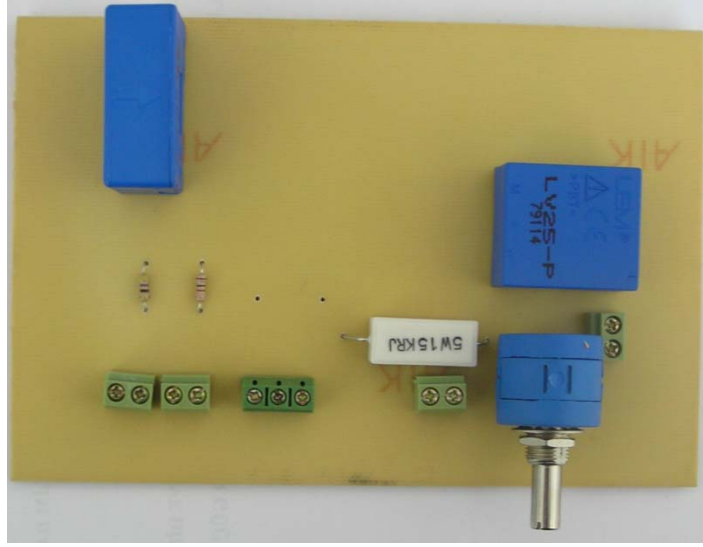


Şekil 2.20. LV-25P gerilim algılayıcı bağlantı şeması



Şekil 2.21. LA-55P akım algılayıcı bağlantı şeması

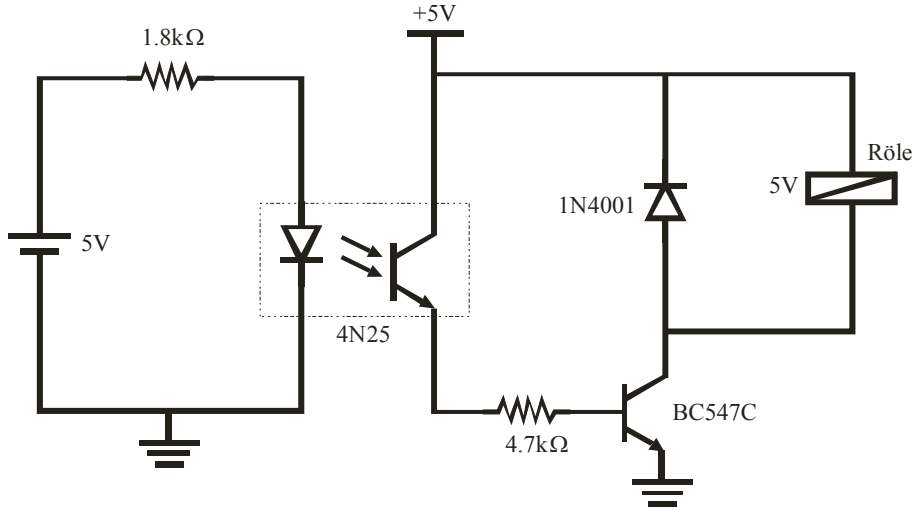
Şekil 2.22’de tasarlanan akım-gerilim algılama devresi görülmektedir.



Şekil 2.22. Akım-gerilim algılama devresi

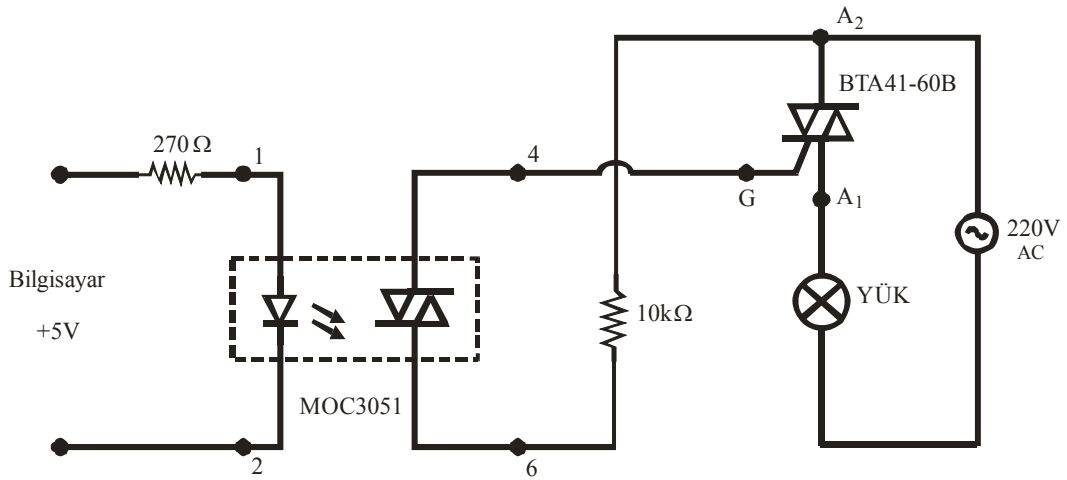
2.2.6. Ara Sürme ve Yalıtım Devreleri

RES, FV güneş panelleri ve şebekeyi devreye alan ve devreden çıkaran bir anahtar kullanılmaktadır. Bu anahtarlarlar bilgisayardan gönderilen bilgi ile sürülmektedir. Şekil 2.23'de RES ve FV güneş panellerini anahtarlama için kullanılan yalıtım devresi görülmektedir. Burada bilgisayardan gönderilen genliği 5V olan çıkış işareti ile 4N25 yalıtım devresi sürülerek veri aktarım kartı ile sistem arasında yalıtım yapılmaktadır. Gelen sinyal BC547 transistörünü sürmekte bu transistor de röleyi devreye almaktadır. Bu röle de FV güneş panellerini ya da RES'i devreye alıp çıkaran büyük güçlü röleyi sürerek bu sistemleri devreye alıp çıkarmaktadır.



Şekil 2.23. Yalıtım ve sürme devresi

Şekil 2.24'de ise şebekeyi devreye alıp çıkarana anahtarın bağlantı şeması görülmektedir.

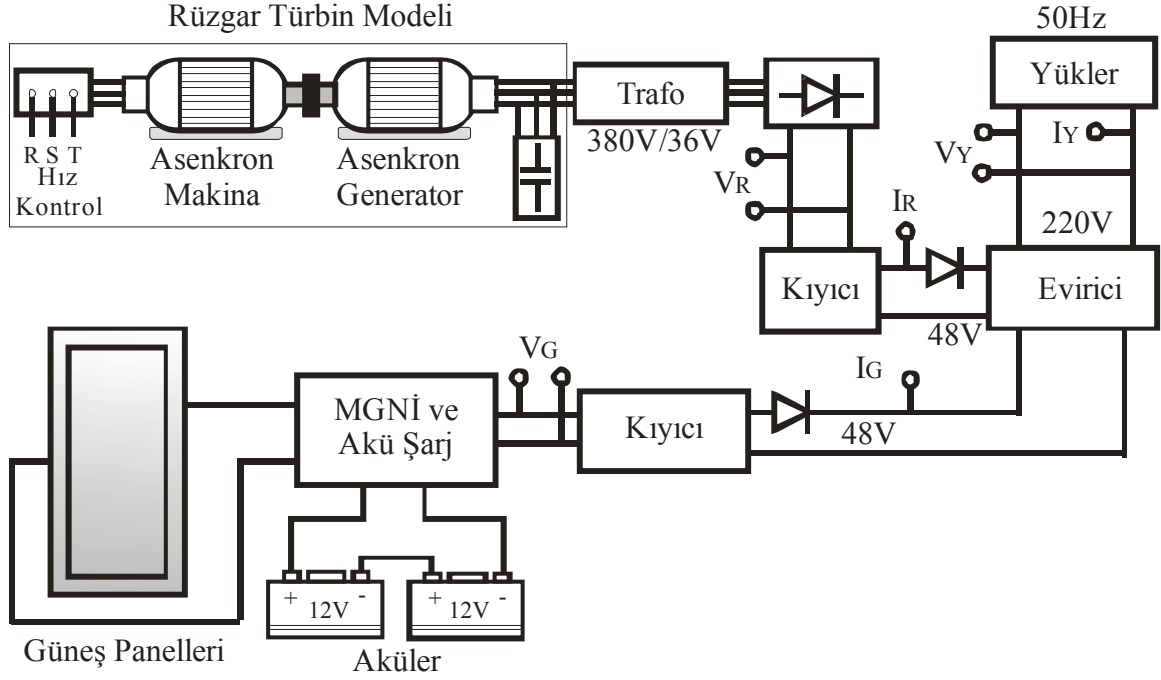


Şekil 2.24. Şebekenin devreye alınıp çıkarılması

Burada bilgisayardan gönderilen ve genliği 5V olan sinyal ile MOC3051 opto diyodun tetiklenmektedir. Bu kısım veri aktarım kartı ile şebeke arasındaki yalıtımı sağlamak amacıyla yapılmaktadır. Diyodun çıkışında ise bir triak sürülerek şebeke devreye alınmakta ya da devreden çıkarılmaktadır.

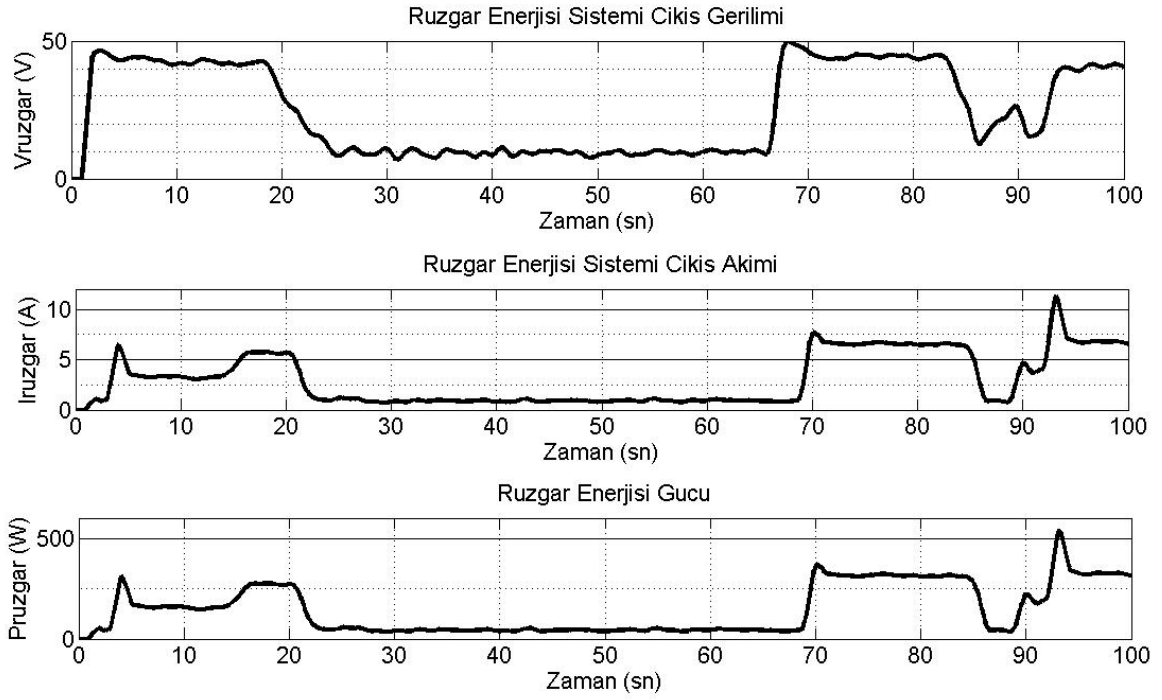
2.2.7. Enerji Yönetim Yazılımı ve Tasarımı

Şekil 2.25’de RES’den ve FV güneş panellerinden oluşan sistem görülmektedir.

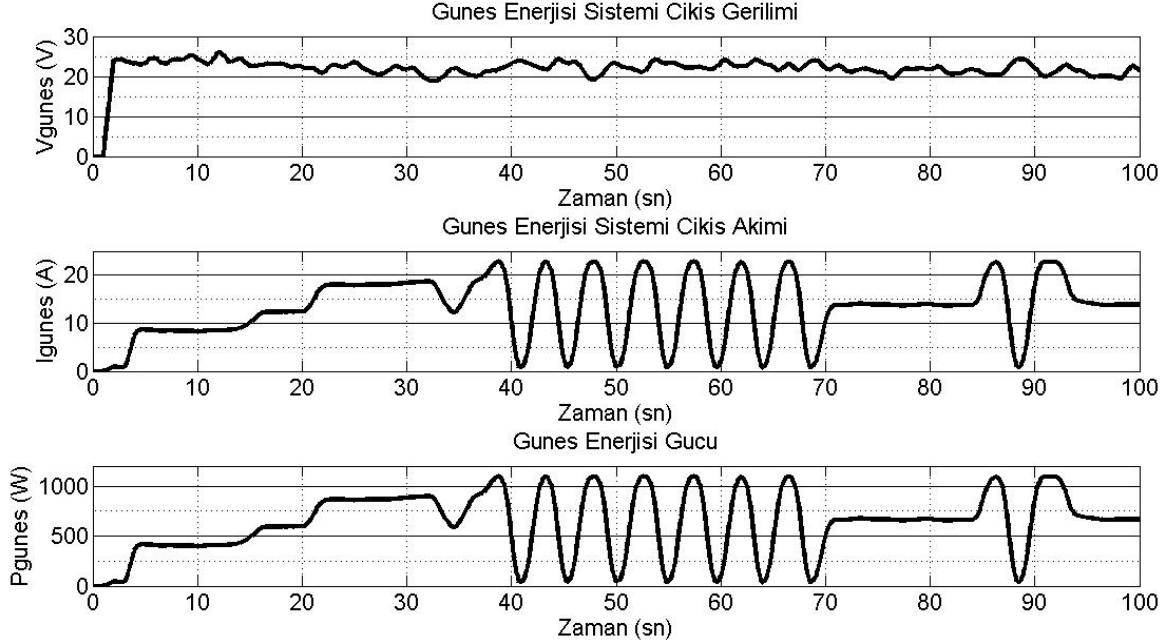


Şekil 2.25. Kontrolsüz çalışan rüzgar-güneş enerji üretim sistemi

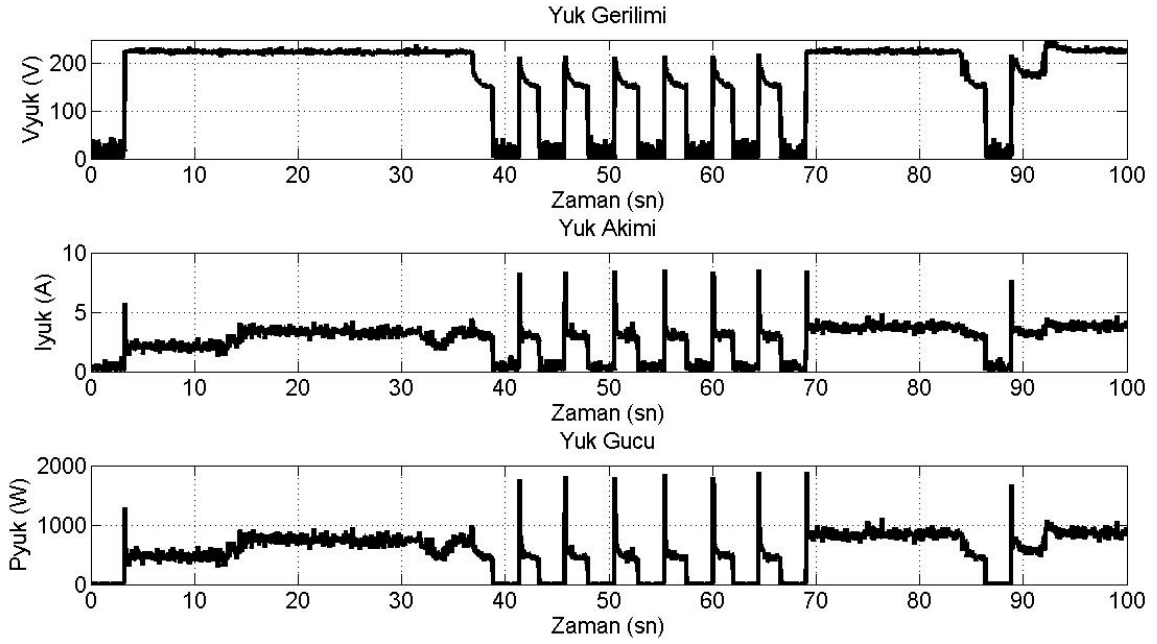
Pratik olarak gerçekleştirilen bu sistemde, her iki sistemin de sürekli olarak devrede olduğu ve sistemin kontrol edilmediği durumda RES’de bulunan kıyıcı giriş gerilimi V_R ve kıyıcı çıkış akımı I_R , FV güneş panelleri sisteminde bulunan kıyıcı giriş gerilimi V_G ve kıyıcı çıkış akımı I_G , yük gerilimi V_Y ve yük akımı I_Y değerleri ölçülmektedir. Bu değerler Şekil 2.26 ile Şekil 2.28 arasında görülmektedir.



Şekil 2.26. RES'e ait gerilim, akım ve güç değişimi



Şekil 2.27. FV güneş paneli sistemine ait gerilim, akım ve güç değişimi



Şekil 2.28. Yüklere ait gerilim, akım ve güç değişimi

Dikkat edilirse RES ve FV güneş panelleri sistemi $t=40-70$.sn'ler ve $t=86-89$.sn'ler arasında yük 800W olduğu halde sistem düzgün çalışmadığı için yükleri besleyememiş ve yükler üzerinde 220V olması gereken gerilim değeri 0V'a düşmüştür. Bu durumda sistemde aslında yeterli güç bulunmaktadır. Buna rağmen rüzgar hızındaki bu değişimleri FV güneş panellerinin devreye girerek elimine etmesi gerekirken sistemin kararsız çalışması ve gereken tepkiyi en kısa sürede verememesi nedeniyle yükler enerjisiz kalmaktadır. Bu durumda sistemin kontrol edilmesi ve bazı kararlar alarak yüklerin enerjisiz kalmasını engelleyecek bir karar verme sistemine ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

2.2.7.1. Eğri Uydurma

Hem RES'ler hem de FV güneş panellerinde enerji yönetimi yapabilmek için ilk önce her bir sisteme ait verilerin deneysel olarak alınması gerekmektedir. Daha sonra enerji yönetimi planlamasında yol göstermesi için alınan verilerden faydalanarak eğriler uydurulmuştur. Bu şekilde tasarlanacak sistemde deneysel bir çalışma yapmadan ara değerlerdeki sonuçların da hesaplanabilmesi sağlanmıştır. Bu ara değer hesapları için Matlab da ayrıca bir program yazılmıştır. Bu programda her bir eğriye ait denklemler

girilmiştir. İstenen akım değerlerinde sistem gerilimi bu programda hesaplanmıştır. Sonraki aşamada enerji yönetiminde kullanılan bulanık mantık karar verme bölümü, bu eğriler kullanılarak tasarlanmıştır. Eğri uydurma Matlab programında bulunan Curve Fitting Toolbox kullanılarak yapılmıştır.

2.2.7.1.1. FV Güneş Panelleri Sisteminden Alınan Veriler

Şekil 2.16'da bu sistem verilmiştir. FV güneş panellerine ait yapılan ölçüm sonuçları Tablo 2.18'de görülmektedir. Burada kısıyıcı giriş gerilimi V_{DC/DC_G} , giriş akımı I_{DC/DC_G} , kısıyıcı çıkış akımı I_{DC/DC_C} ve besleyebildiği tepe güç değeri de P_m ile gösterilmektedir. Bu değerler akım ve gerilim ölçebilen aletler ile ölçülmektedir. Her bir yük değerinden bu ölçümler tekrarlanmaktadır. Yükler 100W'lık ampullerden oluşmaktadır. Sistemde tepe güç değeri 1kW olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni kullanılan kısıyıcının 1kW'lık güce sahip olması nedeniyledir.

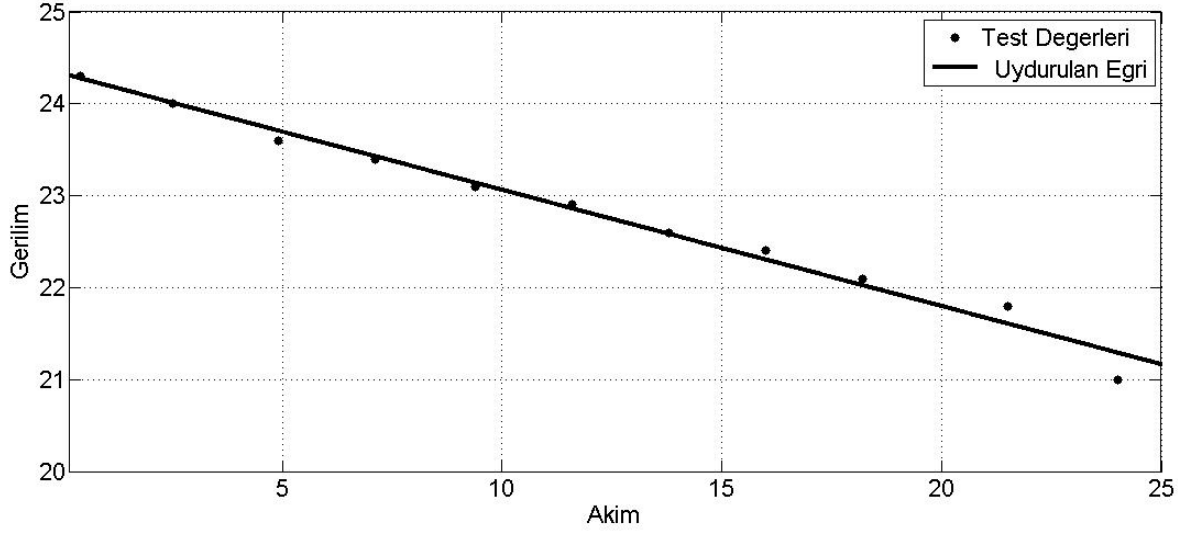
Tablo 2.18. FV güneş panelleri ölçümleri

P_m (W)	V_{DC/DC_G} (V)	I_{DC/DC_G} (A)	I_{DC/DC_C} (A)
1000	---	---	---
900	21,8	52,7	21,5
800	22,1	45,9	18,2
700	22,4	39,9	16
600	22,6	33,9	13,8
500	22,9	27,8	11,6
400	23,1	22,3	9,4
300	23,4	17	7,1
200	23,6	11,7	4,9
100	24	6,3	2,5
0	24,3	1,6	0,4

Şekil 2.29'da ise bu değerlere ait uydurulan birinci derece doğru görülmektedir.

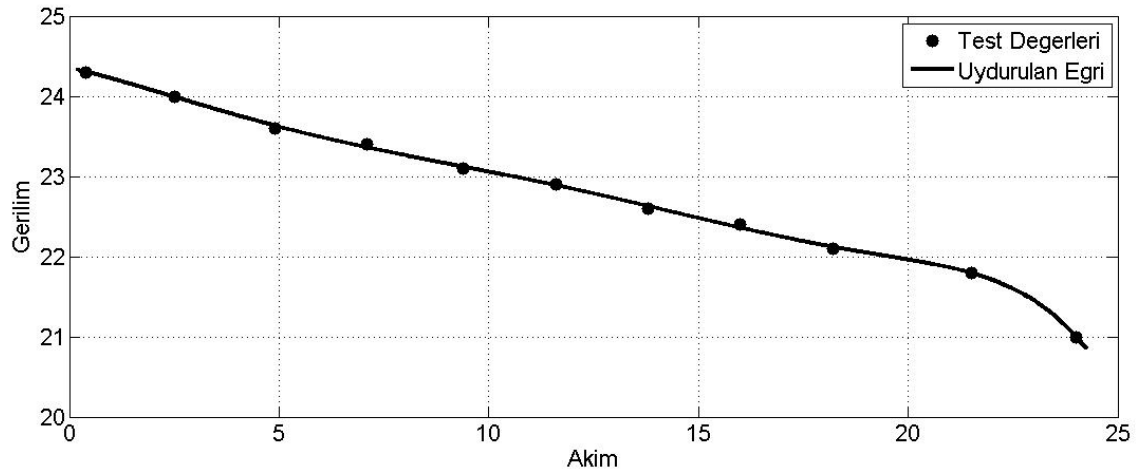
Ölçülen değerler noktalar halinde gösterilmiştir. Bu doğrunun matematiksel ifadesi Denklem (2.13)'deki gibidir;

$$f(V)=-0.1264*I+24,32 \quad (2.13)$$



Şekil 2.29. FV güneş paneli akım-gerilim değişimi birinci dereceden doğru ile

Benzer şekilde aynı veriler kullanılarak yedinci dereceden bir polinom uydurulduğunda elde edilen Denklem (2.14)'de görülmektedir. Grafiğin çizimi ise Şekil 2.30'daki gibidir.



Şekil 2.30. FV güneş paneli akım-gerilim değişimi yedinci dereceden eğri ile

$$f(V) = -1,624 \times 10^{-8} I^7 + 8,546 \times 10^{-7} I^6 - 1,166 \times 10^{-6} I^5 - 7,638 \times 10^{-5} I^4 + 0,002754 I^3 - 0,01589 I^2 - 0,1221 I + 24,35 \quad (2.14)$$

2.2.7.1.2. Rüzgar Enerji Sisteminden Alınan Veriler

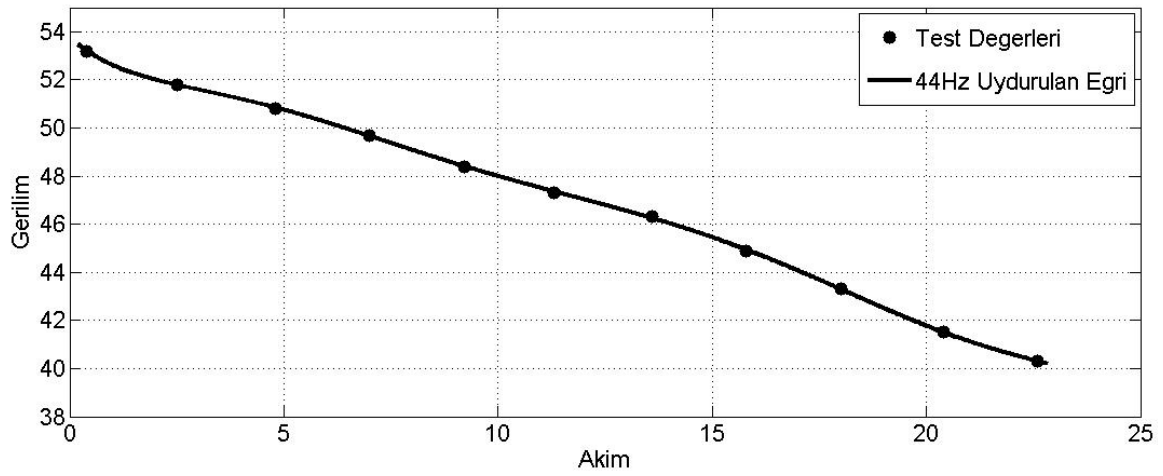
Şekil 2.17’de bu sistem verilmişti. RES’e ait yapılan ölçüm sonuçları Tablo 2.19’da görülmektedir. Burada asenkron motoru süren sürücü frekansı 44Hz’dir. Tabloda kıyıcı giriş gerilimi V_{DC/DC_G} , giriş akımı I_{DC/DC_G} , kıyıcı çıkış akımı I_{DC/DC_C} ve besleyebildiği tepe güç değeri de P_m ile gösterilmektedir. Bu değerler AVO metre ile ölçülmektedir. Yükler 100W’lık ampullerden oluşmaktadır. Sistemde tepe güç değeri 1kW olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni kullanılan kıyıcının 1kW’lık güce sahip olmasıdır.

Tablo 2.19. Asenkron motor hız değeri 44Hz

P_m (W)	I_{DC/DC_G} (A)	I_{DC/DC_C} (A)	V_{DC/DC_G} (V)
1000	33,3	22,6	40,3
900	31,2	20,4	41,5
800	26,4	18	43,3
700	22,1	15,8	44,9
600	16,2	13,6	46,3
500	13,2	11,3	47,3
400	10,5	9,2	48,4
300	8,4	7	49,7
200	5,5	4,8	50,8
100	2,9	2,5	51,8
0	0,6	0,4	53,2

Şekil 2.31’de ise bu değerlere ait uydurulan yedinci dereceden polinom eğrisi görülmektedir. Eğri çiziminde kıyıcı çıkış akımı I_{DC/DC_c} ile kıyıcı giriş gerilimi V_{DC/DC_g} değerleri kullanılmıştır. Ölçülen değerler noktalar halinde gösterilmiştir. Bu eğrinin matematiksel ifadesi Denklem (2.15)’deki gibidir;

$$f(V) = -2,418 \times 10^{-7} I^7 + 2,137 \times 10^{-5} I^6 - 0,0007446 I^5 + 0,01299 I^4 - 0,1193 I^3 + 0,5518 I^2 - 1,6 I + 53,76 \quad (2.15)$$



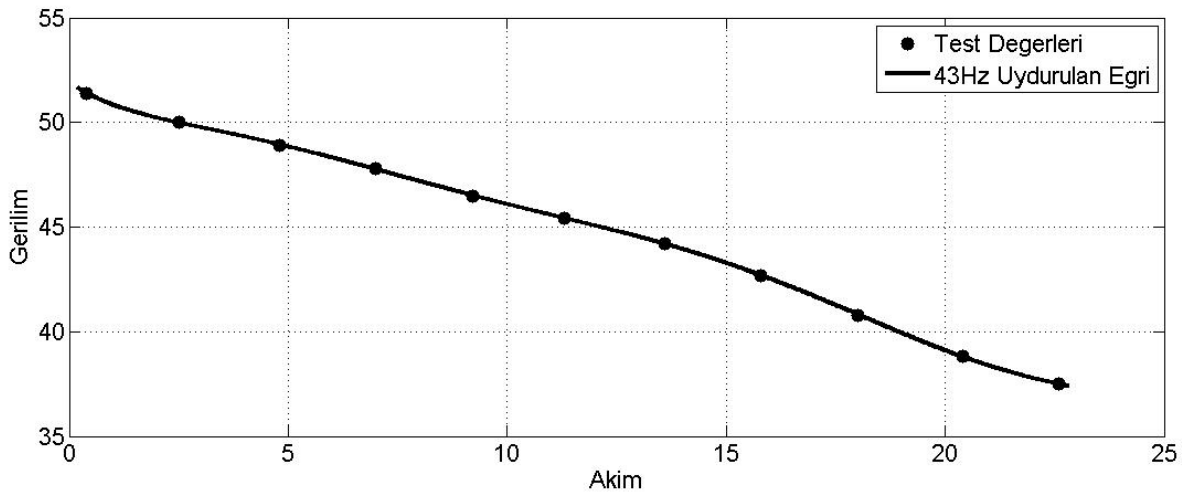
Şekil 2.31. 44Hz hız değerinde değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi

Asenkron motor sürücü değerinin 43Hz olduğu duruma ait veriler Tablo 2.20’de görülmektedir.

Tablo 2.20. Asenkron motor hız değeri 43Hz

P_m (W)	I_{DC/DC_G} (A)	I_{DC/DC_C} (A)	V_{DC/DC_G} (V)
1000	35,5	22,6	37,5
900	33,2	20,3	38,8
800	28,1	17,9	40,8
700	23,3	15,6	42,7
600	17,2	13,5	44,2
500	13,9	11,3	45,4
400	11	9,1	46,5
300	8,8	7	47,8
200	5,8	4,8	48,9
100	3	2,5	50
0	0,7	0,4	51,4

Şekil 2.32’de ise bu değerlere ait uydurulan yedinci derecede polinom eğrisi görülmektedir. Eğri çiziminde kıyıcı çıkış akımı I_{DC/DC_C} ile kıyıcı giriş gerilimi V_{DC/DC_G} değerleri kullanılmıştır.



Şekil 2.32. 43Hz hız değerinde değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi

Ölçülen değerler noktalar halinde gösterilmiştir. Bu eğrinin matematiksel ifadesi Denklem (2.16)'daki gibidir;

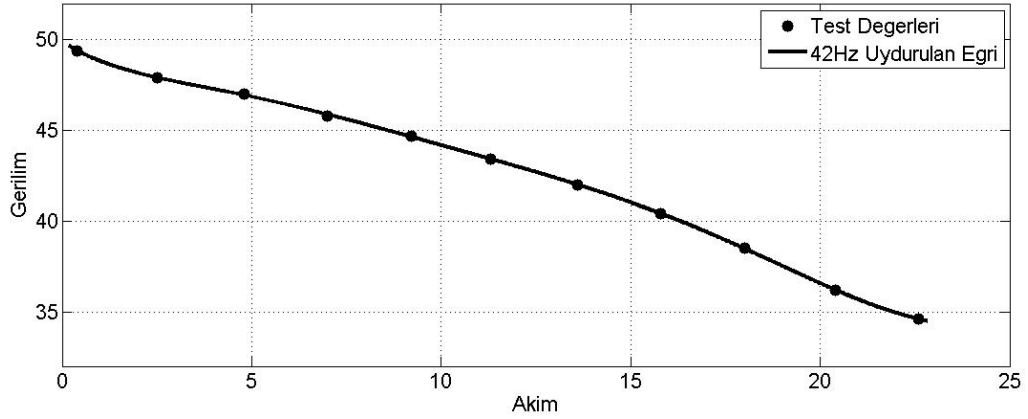
$$f(V) = -2,06 \times 10^{-7} I^7 + 1,817 \times 10^{-5} I^6 - 0,0006281 I^5 + 0,01083 I^4 - 0,09847 I^3 + 0,4545 I^2 - 1,439 I + 51,91 \quad (2.16)$$

Asenkron motor sürücü değerinin 42Hz olduğu duruma ait veriler Tablo 2.21'de görülmektedir.

Tablo 2.21. Asenkron motor hız değeri 42Hz

P_m (W)	I_{DC/DC_G} (A)	I_{DC/DC_C} (A)	V_{DC/DC_G} (V)
1000	38	22,7	34,6
900	35,3	20,4	36,2
800	30	18,1	38,5
700	24,7	15,9	40,4
600	20,4	13,6	42
500	16,2	11,4	43,4
400	12,6	9,3	44,7
300	9,3	7,1	45,8
200	6,2	4,9	47
100	3,2	2,7	47,9
0	0,9	0,5	49,4

Şekil 2.33'de ise bu değerlere ait uydurulan yedinci derecede polinom eğrisi görülmektedir. Eğri çiziminde kıyıcı çıkış akımı I_{DC/DC_C} ile kıyıcı giriş gerilimi V_{DC/DC_G} değerleri kullanılmıştır.



Şekil 2.33. 42Hz hız değerinde değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi

Ölçülen değerler noktalar halinde gösterilmiştir. Bu eğrinin matematiksel ifadesi Denklem (2.17)'deki gibidir;

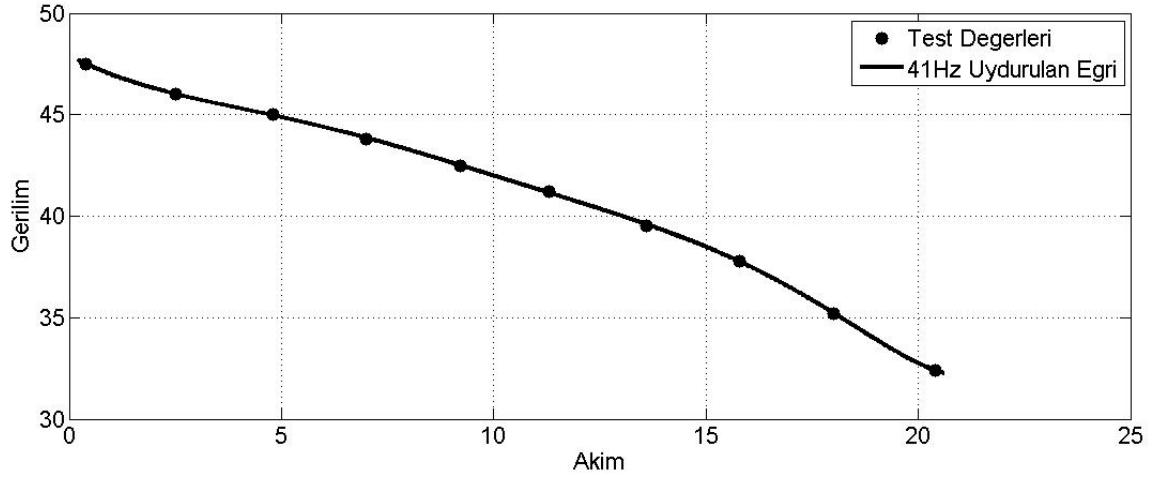
$$f(V) = -8,794 \times 10^{-8} I^7 + 8,956 \times 10^{-6} I^6 - 0,0003517 I^5 + 0,006877 I^4 - 0,07182 I^3 + 0,3841 I^2 - 1,399 I + 49,9 \quad (2.17)$$

Asenkron motor sürücü değerinin 41Hz olduğu duruma ait veriler Tablo 2.22'de görülmektedir.

Tablo 2.22. Asenkron motor hız değeri 41Hz

P_m (W)	I_{DC/DC_G} (A)	I_{DC/DC_C} (A)	V_{DC/DC_G} (V)
900	38,2	20,3	32,4
800	32,6	18,1	35,2
700	27	15,9	37,8
600	22	13,6	39,5
500	17,4	11,4	41,2
400	13,5	9,3	42,5
300	9,8	7,1	43,8
200	6,4	4,9	45
100	3,3	2,7	46
0	0,9	0,5	47,5

Şekil 2.34’de ise bu değerlere ait uydurulan yedinci derecede polinom eğrisi görülmektedir. Eğri çiziminde kıyıcı çıkış akımı I_{DC/DC_c} ile kıyıcı giriş gerilimi V_{DC/DC_g} değerleri kullanılmıştır.



Şekil 2.34. 41Hz hız değerinde değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi

Ölçülen değerler noktalar halinde gösterilmiştir. Bu eğrinin matematiksel ifadesi Denklem (2.18)’deki gibidir;

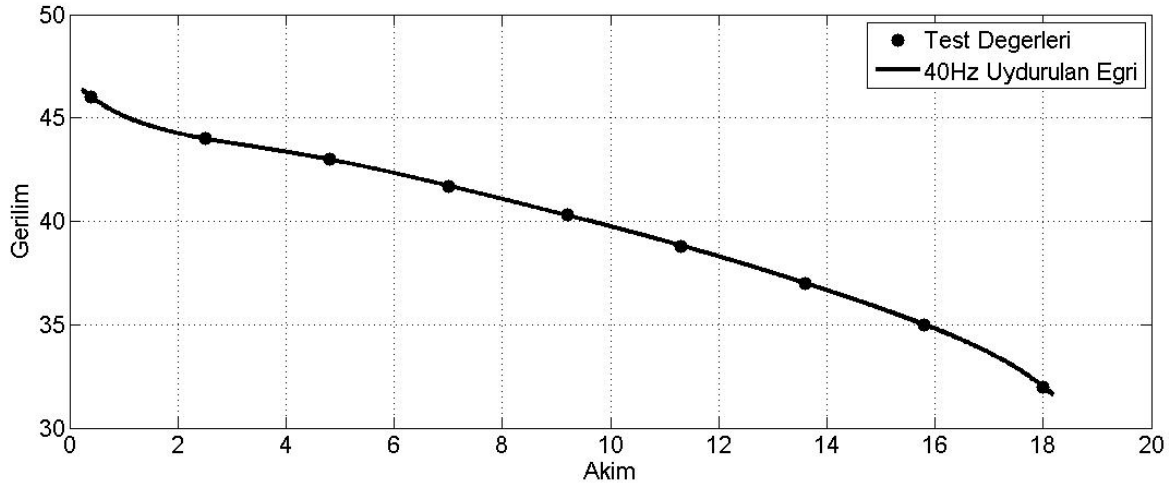
$$f(V) = 2,096 \times 10^{-7} I^7 - 1,126 \times 10^{-5} I^6 + 0,0001894 I^5 - 0,0003942 I^4 - 0,0203 I^3 + 0,1986 I^2 - 1,132 I + 47,92 \quad (2.18)$$

Asenkron motor sürücü değerinin 40Hz olduğu duruma ait veriler Tablo 2.23’de görülmektedir.

Tablo 2.23. Asenkron motor hız değeri 40Hz

P_m (W)	I_{DC/DC_G} (A)	I_{DC/DC_C} (A)	V_{DC/DC_G} (V)
800	36,8	18	32
700	29	15,7	35
600	23,7	13,5	37
500	18,7	11,5	38,8
400	14,4	9,4	40,3
300	10,4	7	41,7
200	6,6	4,8	43
100	3,3	2,4	44
0	0,8	0,4	46

Şekil 2.35’de ise bu değerlere ait uydurulan yedinci derecede polinom eğrisi görülmektedir. Eğri çiziminde kıyıcı çıkış akımı I_{DC/DC_C} ile kıyıcı giriş gerilimi V_{DC/DC_G} değerleri kullanılmıştır.



Şekil 2.35. 40Hz hız değerinde değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi

Ölçülen değerler noktalar halinde gösterilmiştir. Bu eğrinin matematiksel ifadesi Denklem (2.19)’daki gibidir;

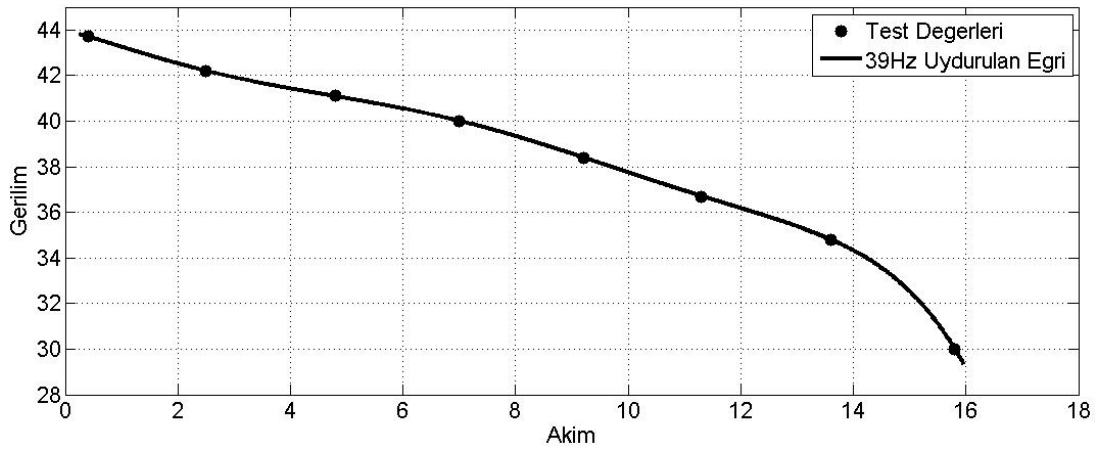
$$f(V) = -1,048 \times 10^{-6} I^7 + 7,093 \times 10^{-5} I^6 - 0,001968 I^5 + 0,02865 I^4 - 0,2329 I^3 + 1,018 I^2 - 2,627 I + 46,9 \quad (2.19)$$

Asenkron motor sürücü değeri 39Hz olduğu duruma ait veriler Tablo 2.24'de görülmektedir.

Tablo 2.24. Asenkron motor hız değeri 39Hz

P_m (W)	I_{DC/DC_G} (A)	I_{DC/DC_C} (A)	V_{DC/DC_G} (V)
700	34,2	15,8	30
600	25	13,5	34,8
500	19,8	11,3	36,7
400	15	9,2	38,4
300	10,7	7	40
200	7	4,8	41,1
100	3,6	2,5	42,2
0	0,8	0,4	43,7

Şekil 2.36'da ise bu değerlere ait uydurulan altıncı derecede polinom eğrisi görülmektedir. Eğri çiziminde kıyıcı çıkış akımı I_{DC/DC_C} ile kıyıcı giriş gerilimi V_{DC/DC_G} değerleri kullanılmıştır.



Şekil 2.36. 39Hz hız değeri de değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi

Ölçülen değerler noktalar halinde gösterilmiştir. Bu eğrinin matematiksel ifadesi Denklem (2.20)'deki gibidir;

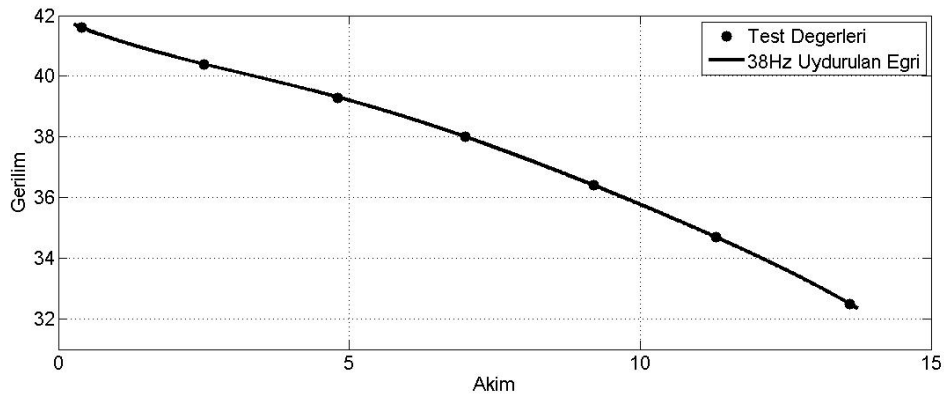
$$f(V) = -2,14 \times 10^{-5} I^6 + 0,0008708 I^5 - 0,0128 I^4 + 0,07821 I^3 - 0,1579 I^2 - 0,6356 I + 43,97 \quad (2.20)$$

Asenkron motor sürücü değerinin 38Hz olduğu duruma ait veriler Tablo 2.25'da görülmektedir.

Tablo 2.25. Asenkron motor hız değeri 38Hz

P_m (W)	I_{DC/DC_G} (A)	I_{DC/DC_C} (A)	V_{DC/DC_G} (V)
600	27,2	13,6	32,5
500	21,3	11,3	34,7
400	16,1	9,2	36,4
300	11,5	7,1	38
200	7,4	4,9	39,3
100	3,8	2,6	40,4
0	1	0,5	41,6

Şekil 2.37'de ise bu değerlere ait uydurulan beşinci derecede polinom eğrisi görülmektedir. Eğri çiziminde kıyıcı çıkış akımı I_{DC/DC_C} ile kıyıcı giriş gerilimi V_{DC/DC_G} değerleri kullanılmıştır.



Şekil 2.37. 38Hz hız değerinde değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi

Ölçülen değerler noktalar halinde gösterilmiştir. Bu eğrinin matematiksel ifadesi Denklem (2.21)'deki gibidir;

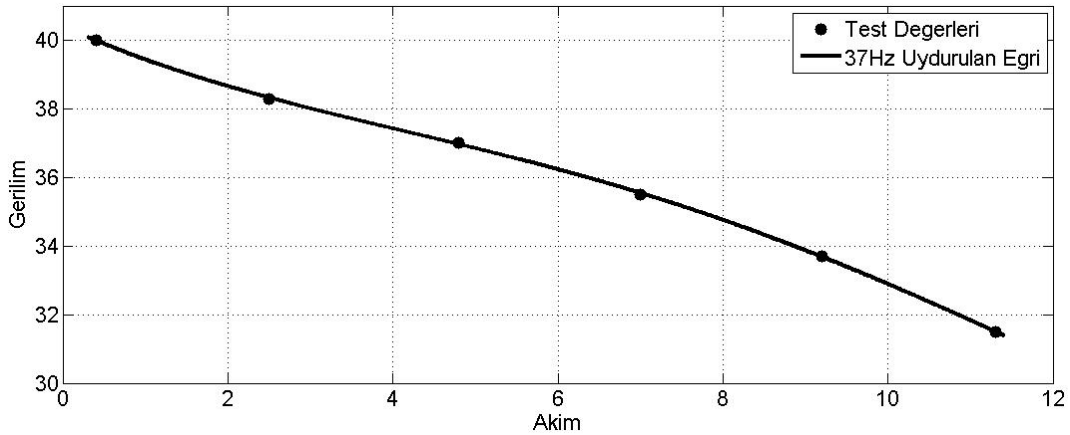
$$f(V)=-5,18 \times 10^{-5} I^5 + 0,002012 I^4 - 0,02922 I^3 + 0,1695 I^2 - 0,8822 I + 41,93 \quad (2.21)$$

Asenkron motor sürücü değerinin 37Hz olduğu duruma ait veriler Tablo 2.26'da görülmektedir.

Tablo 2.26. Asenkron motor hız değeri 37Hz

P_m (W)	I_{DC/DC_G} (A)	I_{DC/DC_C} (A)	V_{DC/DC_G} (V)
500	23,3	11,2	31,5
400	17,4	9	33,7
300	12,2	7	35,5
200	7,7	4,8	37
100	3,9	2,5	38,3
0	0,9	0,4	40

Şekil 2.38'de ise bu değerlere ait uydurulan dördüncü derecede polinom eğrisi görülmektedir. Eğri çiziminde kıyıcı çıkış akımı I_{DC/DC_C} ile kıyıcı giriş gerilimi V_{DC/DC_G} değerleri kullanılmıştır.



Şekil 2.38. 37Hz hız değerinde değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi

Ölçülen değerler noktalar halinde gösterilmiştir. Bu eğrinin matematiksel ifadesi Denklem (2.22)'deki gibidir;

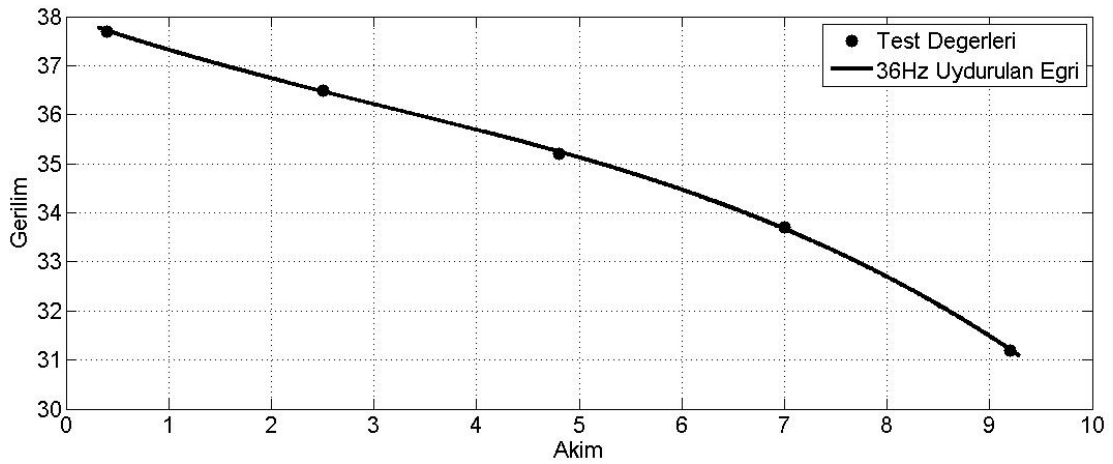
$$f(V)= 0,0005223I^4-0,01693I^3+0,155I^2-1,133I+40,43 \quad (2.22)$$

Asenkron motor sürücü değerinin 36Hz olduğu duruma ait veriler Tablo 2.27'de görülmektedir.

Tablo 2.27. Asenkron motor hız değeri 36Hz

P_m (W)	I_{DC/DC_G} (A)	I_{DC/DC_C} (A)	V_{DC/DC_G} (V)
400	19	9,1	31,2
300	13,2	7	33,7
200	8,3	4,9	35,2
100	4,2	2,5	36,5
0	1	0,4	37,7

Şekil 2.39'da ise bu değerlere ait uydurulan üçüncü derecede polinom eğrisi görülmektedir. Eğri çiziminde kısıcı çıkış akımı I_{DC/DC_C} ile kısıcı giriş gerilimi V_{DC/DC_G} değerleri kullanılmıştır.



Şekil 2.39. 36Hz hız değerinde değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi

Ölçülen değerler noktalar halinde gösterilmiştir. Bu eğrinin matematiksel ifadesi Denklem (2.23)'deki gibidir;

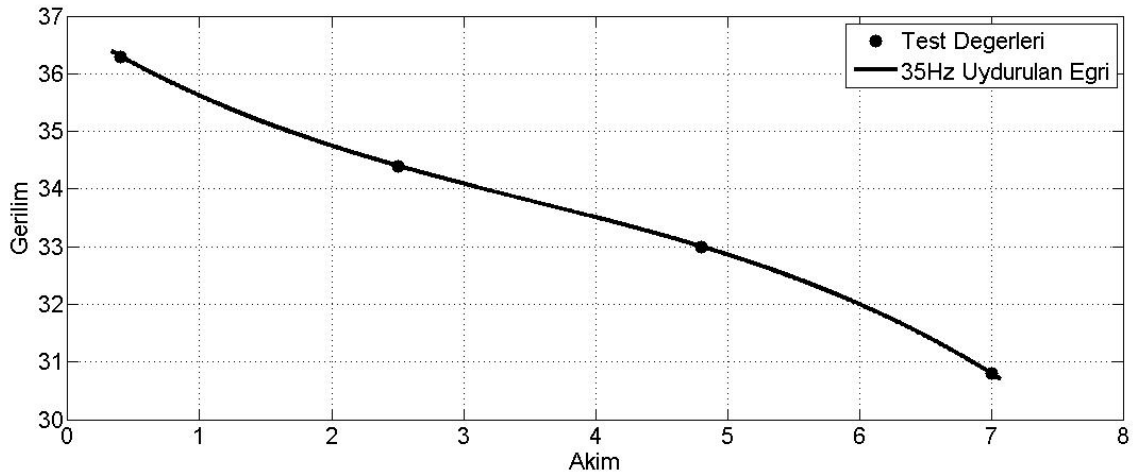
$$f(V) = -0,007861I^3 + 0,07269I^2 - 0,7409I + 37,99 \quad (2.23)$$

Asenkron motor sürücü değerinin 35Hz olduğu duruma ait veriler Tablo 2.28'de görülmektedir.

Tablo 2.28. Asenkron motor hız değeri 35Hz

P_m (W)	I_{DC/DC_G} (A)	I_{DC/DC_C} (A)	V_{DC/DC_G} (V)
300	14,4	7	30,8
200	8,8	4,8	33
100	4,4	2,5	34,4
0	1	0,4	36,3

Şekil 2.40'da ise bu değerlere ait uydurulan üçüncü derecede polinom eğrisi görülmektedir. Eğri çiziminde kıyıcı çıkış akımı I_{DC/DC_C} ile kıyıcı giriş gerilimi V_{DC/DC_G} değerleri kullanılmıştır.



Şekil 2.40. 35Hz hız değerinde değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi

Ölçülen değerler noktalar halinde gösterilmiştir. Bu eğrinin matematiksel ifadesi Denklem (2.24)'deki gibidir;

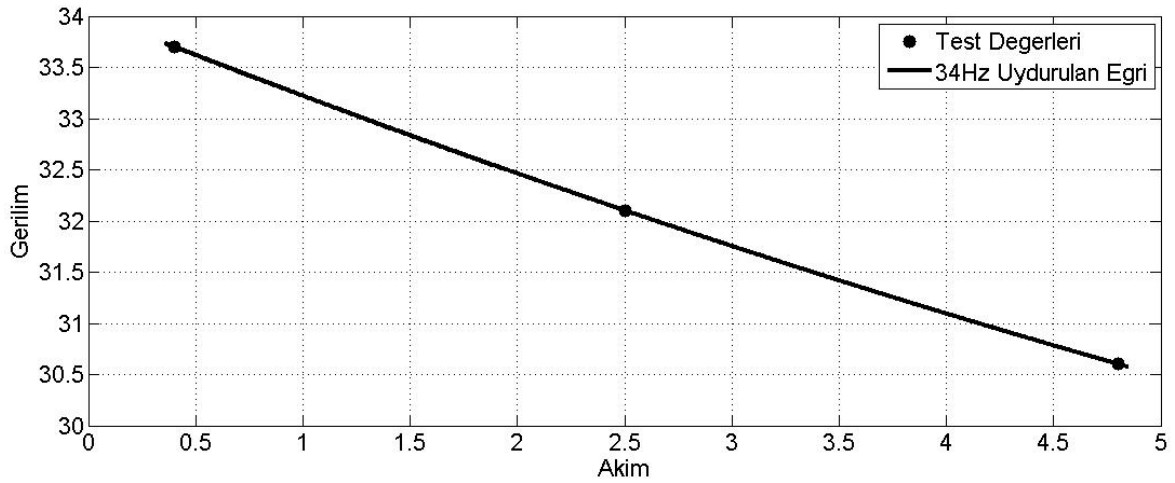
$$f(V) = -0,02337I^3 + 0,2472I^2 - 1,449I + 36,84 \quad (2.24)$$

Asenkron motor sürücü değerinin 34Hz olduğu duruma ait veriler Tablo 2.29'de görülmektedir.

Tablo 2.29. Asenkron motor hız değeri 34Hz

P_m (W)	I_{DC/DC_G} (A)	I_{DC/DC_C} (A)	V_{DC/DC_G} (V)
200	9,7	4,8	30,6
100	4,8	2,5	32,1
0	1,1	0,4	33,7

Şekil 2.41'de ise bu değerlere ait uydurulan ikinci derecede polinom eğrisi görülmektedir. Eğri çiziminde kıyıcı çıkış akımı I_{DC/DC_C} ile kıyıcı giriş gerilimi V_{DC/DC_G} değerleri kullanılmıştır.



Şekil 2.41. 34Hz hız değerinde değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi

Ölçülen değerler noktalar halinde gösterilmiştir. Bu eğrinin matematiksel ifadesi Denklem (2.25)'deki gibidir;

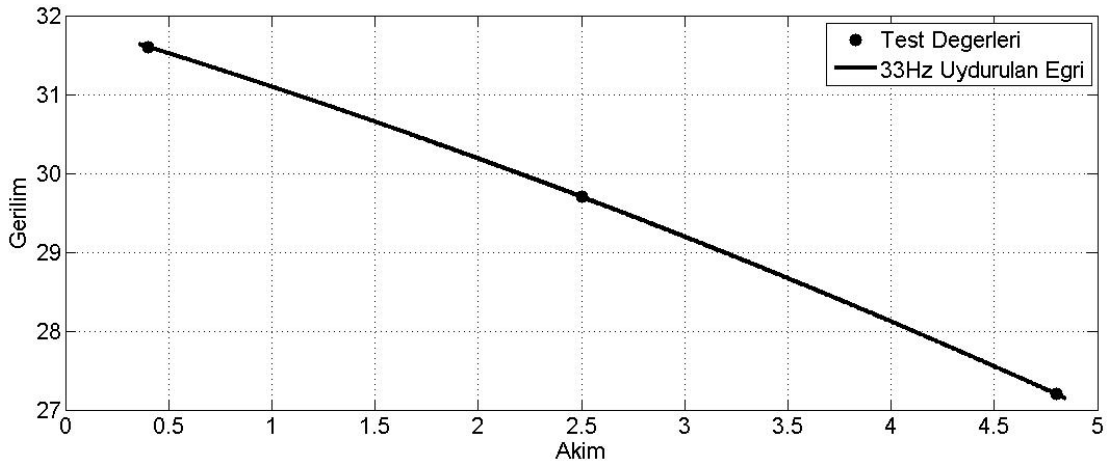
$$f(V) = 0,02494I^2 - 0,8342I + 34,03 \quad (2.25)$$

Asenkron motor sürücü değerinin 33Hz olduğu duruma ait veriler Tablo 2.30'de görülmektedir.

Tablo 2.30. Asenkron motor hız değeri 33Hz

P_m (W)	I_{DC/DC_G} (A)	I_{DC/DC_C} (A)	V_{DC/DC_G} (V)
200	10,4	4,8	27,2
100	5,1	2,5	29,7
0	1,1	0,4	31,6

Şekil 2.42'de ise bu değerlere ait uydurulan ikinci derecede polinom eğrisi görülmektedir. Eğri çiziminde kıyıcı çıkış akımı I_{DC/DC_C} ile kıyıcı giriş gerilimi V_{DC/DC_G} değerleri kullanılmıştır.



Şekil 2.42. 33Hz hız değerinde değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi

Ölçülen değerler noktalar halinde gösterilmiştir. Bu eğrinin matematiksel ifadesi Denklem (2.26)'daki gibidir;

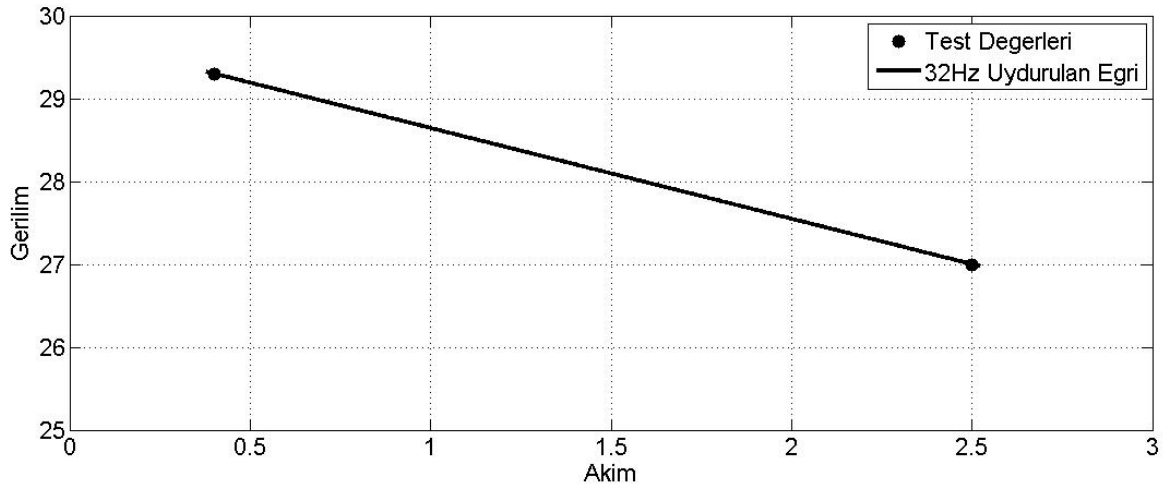
$$f(V) = -0,04141I^2 - 0,7847I + 31,92 \quad (2.26)$$

Asenkron motor sürücü değerinin 32Hz olduğu duruma ait veriler Tablo 2.31'de görülmektedir.

Tablo 2.31. Asenkron motor hız değeri 32Hz

P_m (W)	I_{DC/DC_G} (A)	I_{DC/DC_C} (A)	V_{DC/DC_G} (V)
100	5,7	2,7	27
0	1,4	0,6	29,3

Şekil 2.43'de ise bu değerlere ait uydurulan birinci derecede polinom eğrisi görülmektedir. Eğri çiziminde kıyıcı çıkış akımı I_{DC/DC_C} ile kıyıcı giriş gerilimi V_{DC/DC_G} değerleri kullanılmıştır.



Şekil 2.43. 32Hz hız değerinde değişken yük durumundaki RES akım-gerilim değişimi

Ölçülen değerler noktalar halinde gösterilmiştir. Bu eğrinin matematiksel ifadesi Denklem (2.27)'deki gibidir;

$$f(V) = -1,095I + 29,74 \quad (2.27)$$

Asenkron motor sürücü değeri 31Hz olduğu duruma ait veriler Tablo 2.32'de görülmektedir.

Tablo 2.32. Asenkron motor hız değeri 31Hz

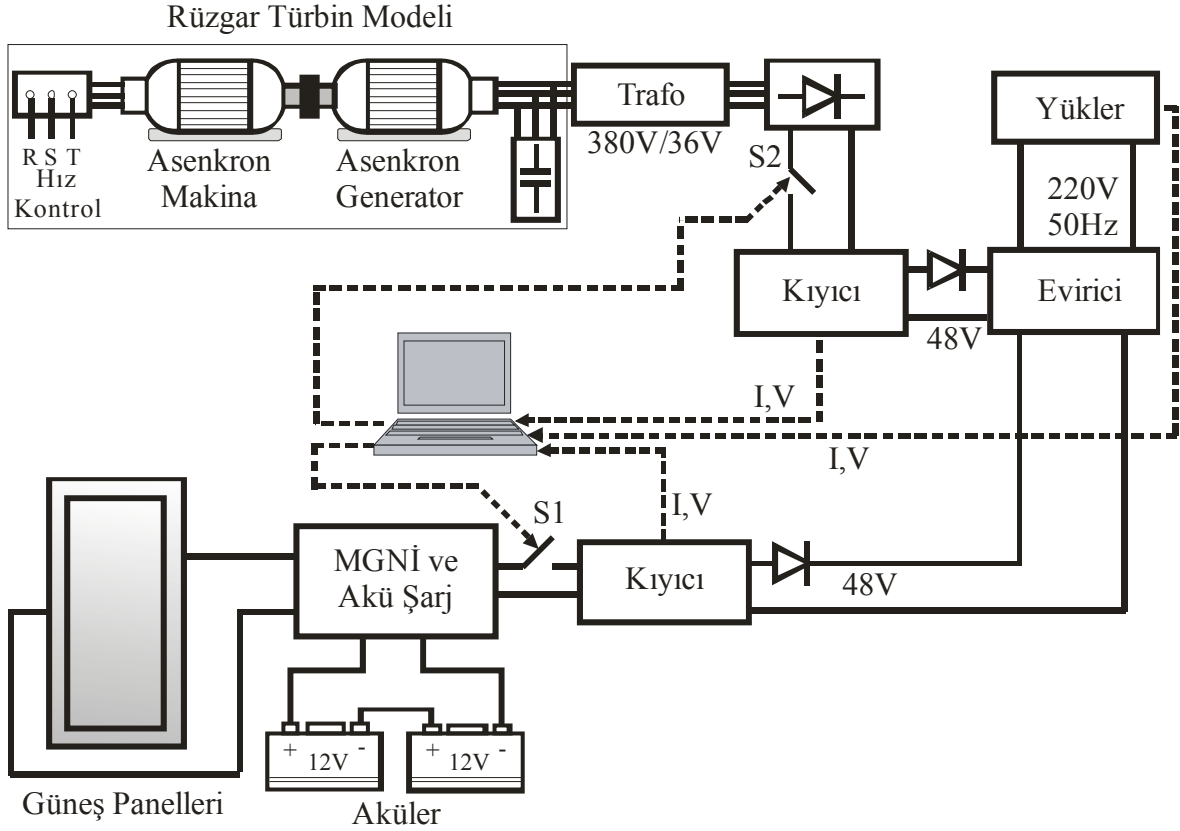
P_m (W)	I_{DC/DC_G} (A)	I_{DC/DC_C} (A)	V_{DC/DC_G} (V)
0	0	0	0

31Hz ve altındaki hızlarda sistem enerji üretilmediği için yükler üzerinde harcanan bir güç değeri bulunmamaktadır. Sistem çalışma limiti 44Hz ile 31Hz arasında değişmektedir.

2.2.7.2. Güneş Enerjisi / Rüzgar Enerjisi Karma Enerji Üretim Sisteminde Enerji Yönetimi

Sistemin kendi kendisine çalışması durumunda meydana gelen enerji kesintileri, rüzgar enerjisi fazla olduğunda dahi güneş enerjisinin devreden çıkmaması, akülerin gereksiz kullanımı gibi problemleri ortadan kaldırabilmek amacıyla sistemde enerji yönetimi yapılmaktadır.

Şekil 2.44'de deneysel olarak kurulan karma enerji üretim sistemi görülmektedir. Burada rüzgardan enerji üretimi ve FV güneş panellerinden enerji üretimi yapılmaktadır. Kıyıcı çıkış akımları ile giriş gerilimleri ve yük üzerindeki akım ve gerilim değerleri algılayıcılar vasıtasıyla bilgisayara aktarılarak bu verilerin değerlendirilmesi yapılmaktadır.



Şekil 2.44. FV güneş panelleri - RES

Enerji planlamasında öncelik yükler üzerindeki gerilimin kesintisiz olarak temin edilmesidir. Bunun için hem RES'den hem de FV güneş panellerinden elde edilebilecek tepe güç değerinin hesaplanması gerekir. FV güneş panelleri için kullanılan MGNI cihazı bu işi tek başına halletmektedir. Bu nedenle FV güneş panellerinden tepe güç elde edilmesi ile ayrıca uğraşılmamıştır. Fakat RES'den elde edilecek tepe güç değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Aynı zamanda ortam şartlarının sürekli değişmesi elde edilen enerji miktarını etkilediği için bu etkinin bertaraf edilmesi amacıyla sistemde garanti güç bırakılarak enerji yönetimi planlanmaktadır. Bu değer 300W olarak belirlenmiştir. Fakat istenirse yazılımdan kolayca değiştirilebilir. Bunun anlamı: eğer yük miktarı 300W'dan fazla değişmiyorsa yükler enerjisiz kalmadan ve sistem gereksi yere zorlanmadan rahatça çalışabilecektir. Sistem en fazla 1kW'lık yükleri besleyecek şekilde tasarlanmıştır. Garanti güç miktarı da bu değerün üçte biri olacak şekilde düşünülmüştür.

Ortam şartları çok iyiye yani yeterli rüzgar ve güneş varsa, rüzgar enerji üretim sistemi ve FV güneş panelleri üretim sistemi üretebileceği maksimum gücü üretiyorsa kurulu güç 2kW değerine kadar çıkabilir. Yapılan denemelerde RES rahatça 2 kW'lık yükü

besleyebilmiştir. Bu durumda fazladan kullanılacak bir kısıcının diğer kısıcıya paralel bağlanması durumunda RES'den elde edilen güç miktarı 2 katına çıkarılabilir. Kullanılan eviricinin 3kW'lık güce sahip olması nedeniyle toplam kurulu güç 3 kW değerini aşamaz.

Sistemin ana çalışma prensibi özetlenirse:

1. Sistem önce hem güneş enerjisi hem de rüzgar enerjisi ile çalışmaya başlayacak. Başlangıçta her ikisi de devrede olacak.
2. Gerekli ölçümler yapıldıktan sonra yük durumuna göre ya RES ya da FV güneş panelleri sistemi devrede kalacak. Eğer o anki ortam şartları hem FV güneş panelleri hem RES için tek tek çalışmaya müsait değilse ikisi birden çalışacak. Mevcut durum, yükün enerji talebini karşılayamıyorsa yükler enerjisiz kalacak.
3. Eğer RES tek başına yük ihtiyacını karşılayabiliyorsa devrede kalacak. FV güneş panelleri devreden çıkartılıp sadece aküleri şarj etmesi sağlanacak.
4. Eğer RES yeterli enerji üretmiyorsa FV güneş panelleri devreye girecek. Her ikisi birlikte çalışacak.
5. Eğer hiç rüzgar yoksa sadece FV güneş panelleri yükleri besleyecek.
6. Güneş yok ve aküler boş iseyse da o anki akü doluluk oranına göre yükleri besleyemiyorsa yükler enerjisiz kalacak.

Bundan sonraki aşamada aşağıdaki sorulara cevap verilmelidir;

1. Hangi sistem ne zaman devreye girecek?
2. Hangi sistem ne zaman devreden çıkacak?
3. O an ki koşullarda ne kadar yük beslenebilir?

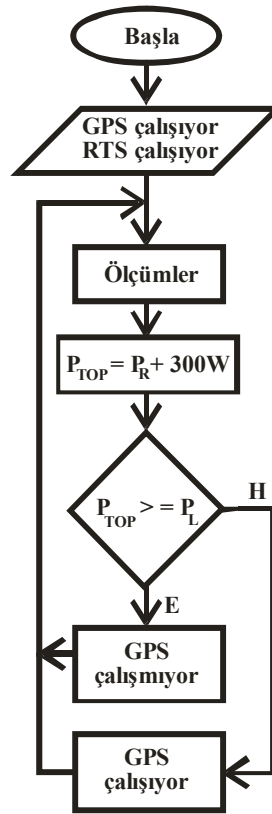
Bunun için sistemde sürekli devrede kalacak enerji rüzgar enerjisi olduğu için rüzgar enerji sisteminden alınan ölçümlerden faydalanarak şu kuralları koyabiliriz:

1. Sistemde sürekli olarak 300W'lık güç kalıcı güç olarak temin edilecek. Bu değer ancak asenkron motor sürücü frekansının 35Hz ve üstündeki değerlerde olması durumunda sağlanabilir. Bu değer altında güneş enerjisi otomatik olarak devreye girecek.

2. Dikkat edilirse kıyıcı çıkış akım değeri olan I_{DC/DC_C} asenkron motor sürücü frekansı ne olursa olsun her güç değerinde yaklaşık olarak sabittir. Dolayısıyla bu değeri kullanarak o anda sistemden çekilen güç değeri tespit edilebilir.
3. Kıyıcı giriş gerilim değeri olan V_{DC/DC_G} asenkron motor sürücü frekanslarında farklı olduğu görülmektedir. Örneğin yük değeri 500W olduğu durumda 44Hz'de bu değer 47,3V iken 43Hz'de 45,4V ve diğer değerlerde de azalarak son olarak 37Hz'de 31,5V değerine kadar düşmektedir. Dolayısıyla bu gerilim değeri ölçülerek sistemin hangi frekans değerinde çalıştığı öğrenilir.
4. I_{DC/DC_C} ve V_{DC/DC_G} değerlerinin ikisine birden bakılarak o anki asenkron motor sürücü frekansı, o an harcanan güç değeri ve o sürücü frekansındaki maksimum yük değerleri tespit edilebilir. Bu durum FV güneş panellerin ne zaman devreye gireceği ya da ne zaman devreden çıkacağına karar vermede kullanılır. 300W'lık bir gücün sürekli olarak sistemde garanti güç olarak kalacağı hiçbir zaman unutulmamalıdır.
5. FV güneş panelleri sisteminde de benzer olarak yük değeri arttıkça kıyıcı giriş gerilim değeri azalmaktadır. Dikkat edilirse Tablo 2.18'den yük durumuna göre kıyıcı çıkış akımı RES'deki ile yaklaşık olarak aynıdır. Yine bu değer kullanılarak panellerin ne kadar gücü beslemekte oldukları bulunur. Kıyıcı giriş gerilim değeri aküler boşaldıkça düşmeye başlayacaktır. Bu durum kontrol edilerek, bu değer 21V'un altına düştüğünde akülerin boş oldukları varsayılacaktır. Bu değer altında yüklerin FV güneş panellerinden beslenmesi söz konusu değildir.
6. Tablo 2.18'de I_{DC/DC_C} ve V_{DC/DC_G} değerlerine bakılarak FV güneş panellerinin o anki besleyebilecekleri yük miktarı tespit edilebilir. Basitçe bu değer I_{DC/DC_C} ile kıyıcı çıkış gerilimi olan 48V'un çarpımı ile bulunur.
7. FV güneş panelleri yükleri beslerken RES'lerin çalışmaya başlaması ile talep edilen gücün bir kısmı RES'lerden temin edilir. RES o anki yük değerini karşılayabiliyorsa FV güneş panelleri devreden çıkarılır.
8. Bu değerlerin sürekli olarak bilinmesi ani yük değişimlerinde sistemin hızlı cevap vermesi için önemlidir. Garanti güç miktarı 300W'dır. Dolayısıyla o anki ortam şartlarına göre limitte güç temini durumunda ani yük değişim değeri 300W'ın üstüne çıkarsa sistem devreden çıkar. Örneğin yük miktarının 500W olduğu bir

durumda RES de maksimum 500W verebiliyorsa FV güneş panelleri devreye girmelidir ki 300W'lık ani yük artışı olursa sistem kendini kapatmadan yükler beslenebilsin. Bu durum o anki ortam şartlarına göre ani yüklenmelerden doğacak güç değişimlerinde sistemin arızalanmasını önlemek için yapılmaktadır.

Bu kurallar bir akış diyagramı olarak Şekil 2.45'deki gibi gösterilebilir.

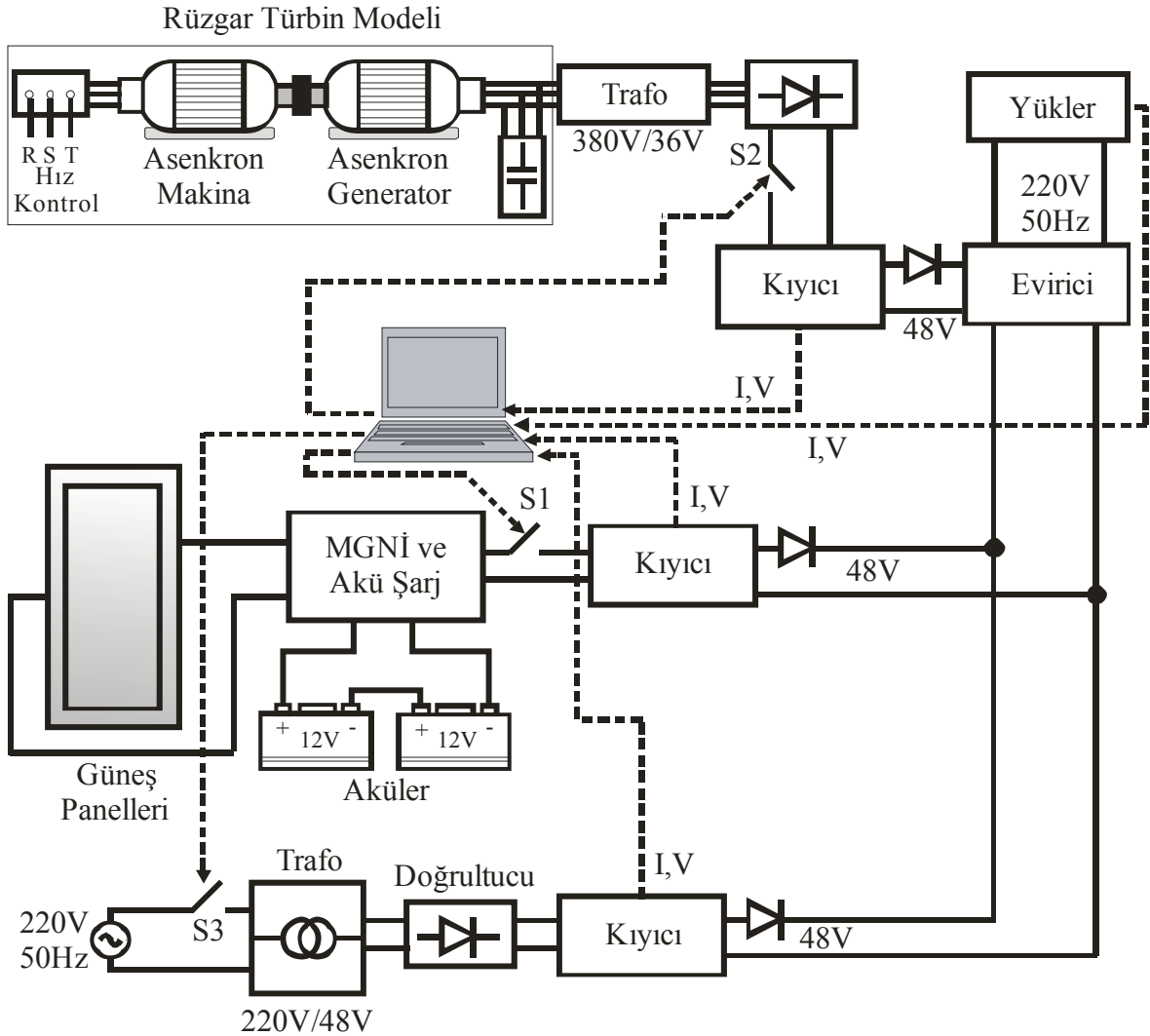


Şekil 2.45. Enerji yönetim programının basitleştirilmiş akış diyagramı

2.2.7.3. Güneş Enerjisi / Rüzgar Enerjisi / Şebeke Karma Enerji Üretim Sisteminde Enerji Yönetimi

Bir önceki sisteme ilave olarak enerjinin tüketildiği yerin şebekeye yakın olması durumunda Şekil 2.46'da görüldüğü gibi bir şebeke bağlantısı yapılarak güneşin ve rüzgarın olmadığı aynı zamanda akülerin de boşaldığı bir durumda yüklerin enerjisiz kalması engellenmeye çalışılmaktadır. Şebekeden elde edilen gerilim bir trafodan geçirilip

48V değerine düşürülmektedir. Bundan sonra elde edilen gerilim önce doğrultulmakta sonra bir kıyıcıdan geçirilerek 48V'luk sabit doğru gerilim elde edilmektedir. Bu gerilim ortak doğru akım barasında diğer enerji üretim birimleri ile birleştirilerek evirici çıkışında yükler beslenmektedir.

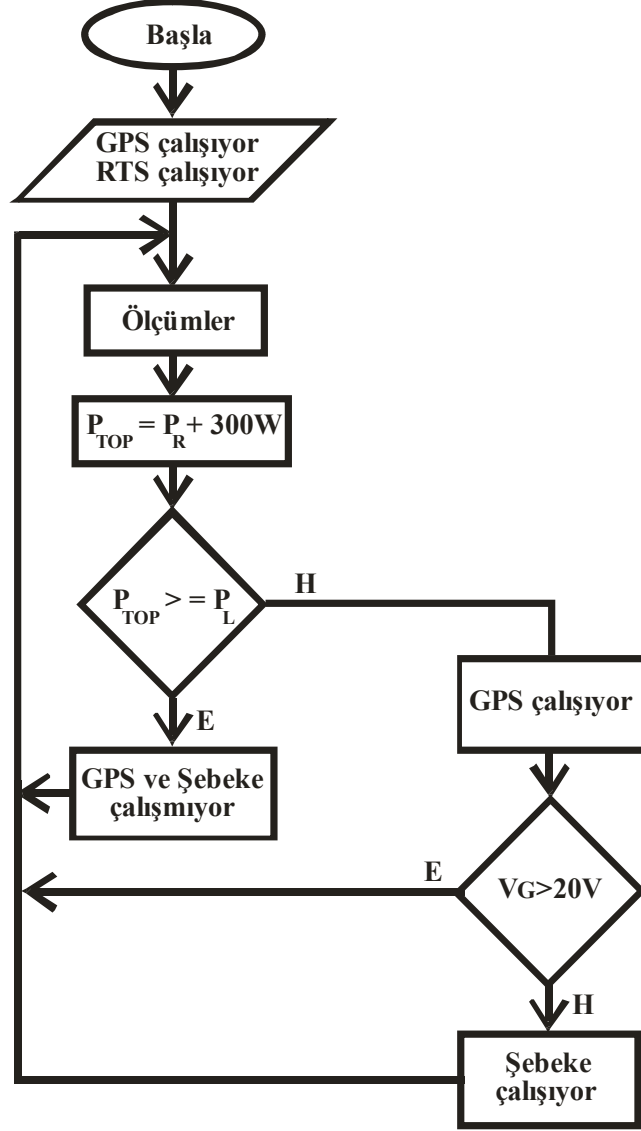


Şekil 2.46. FV güneş panelleri - RES - şebeke sistemi

Bir önceki sistemde olduğu gibi bu sistemde de kıyıcı çıkış akımları ile giriş gerilimleri ve yük üzerindeki akım ve gerilim değerleri, algılayıcılar vasıtasıyla bilgisayara aktarılarak bu verilerin değerlendirilmesi yapılmaktadır.

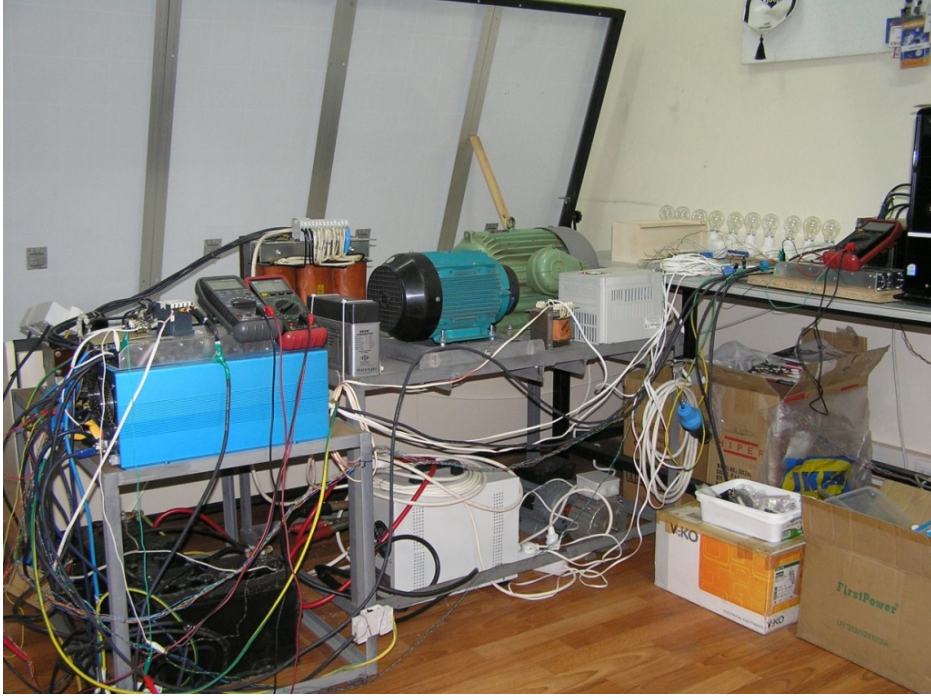
Bu sistemde enerji yönetim programına şebeke bağlantısı ile ilgili fazladan bir bölüm eklenmiştir. 300W'lık garanti güç miktarı dikkate alınarak güneşin ve rüzgarın yeterli

olmadığı durumda şebeke devreye sokulmaktadır. S3 anahtarı bu iş için eklenmiştir. Enerji yönetim programının akış diyagramı Şekil 2.47'deki gibidir.



Şekil 2.47. Enerji yönetim programının basitleştirilmiş akış diyagramı

Şekil 2.48 ve Şekil 2.49'de deneysel olarak hazırlanan sistem görülmektedir.



Şekil 2.48. Deneysel sistemin yandan görünüşü



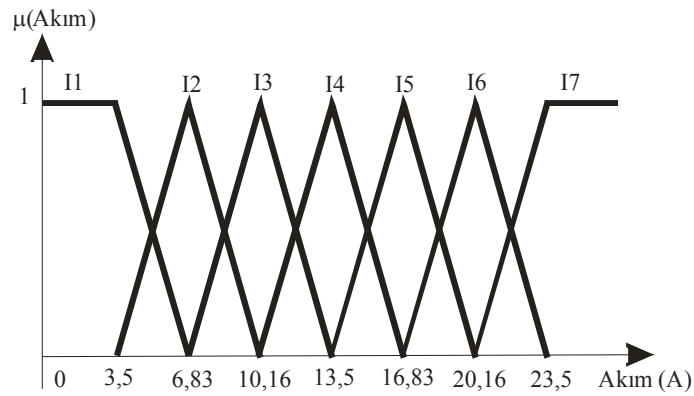
Şekil 2.49. Deneysel sistemin üstten görünüşü

2.2.7.4 Bulanık Mantık Sonuçlandırma (BMS) ile Tepe Rüzgar Güç Değerinin Hesabı

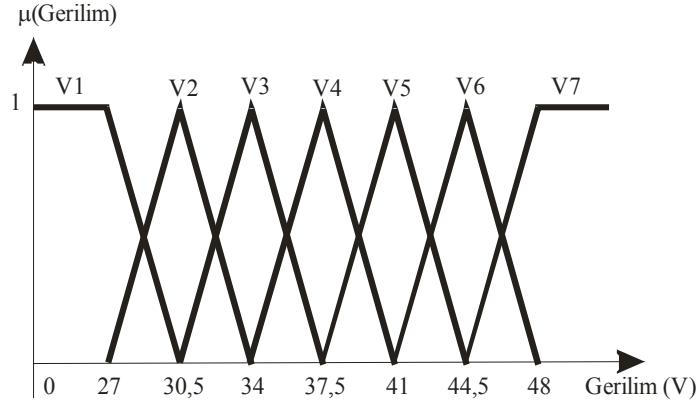
RES’de kullanılan kıyıcıya bağlı bulunan algılayıcılar V_{DC/DC_G} ve I_{DC/DC_C} değerlerini algılayarak bilgisayara aktarmaktadır. Kurulan sistemde rüzgar türbini, 3 fazlı trafo, 3 fazlı köprü doğrultucu ve kıyıcıların hepsi birden bir sistem olarak alınmaktadır. Hesaplamalar V_{DC/DC_G} ve I_{DC/DC_C} değerleri temel alınarak yapılmaktadır. I_{DC/DC_C} o anda beslenen gücün hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bu değer kıyıcı çıkış akımı ile çıkış gerilimi olan 48V’un çarpımı ile bulunur.

Sistemde algılayıcılardan gelen bilgiler değerlendirilerek sistemden çekilen yük değeri hesaplanmaktadır. Bunun yanında enerji yönetiminde sistemin o anda verebileceği maksimum güç değerinin tespit edilebilmesi için algılayıcılardan gelen bilgiler bir bulanık mantık karar verme sisteminde değerlendirilmektedir.

Şekil 2.50 ve Şekil 2.51’de görüldüğü gibi algılayıcılardan gelen akım ve gerilim bilgileri, V_{DC/DC_G} ve I_{DC/DC_C} bulanıklaştırılmaktadır. 7 kurallı olarak tasarlanan karar verici, akım için I1-I7 ve gerilim için V1-V7 biçiminde isimlendirilen üyelik fonksiyonlarına sahiptir. Sistemde akım değişimi 3,5A ile 23,5A ve gerilim değişimi ise 27V ile 55V arasındadır. Burada enerjinin üretildiği hız değerlerinde gerilimin minimum değeri 27V’dur. Bu nedenle 27V’un altındaki değerler hiçbir işe yaramamaktadır.

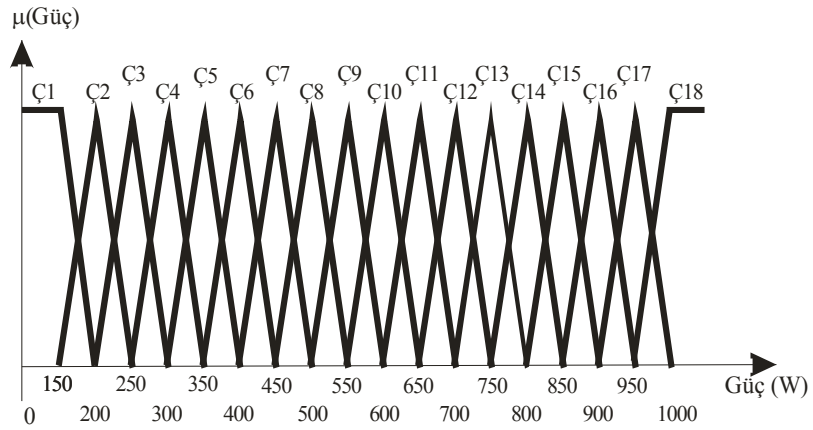


Şekil 2.50. Algilayıcıdan gelen akım giriş değeri

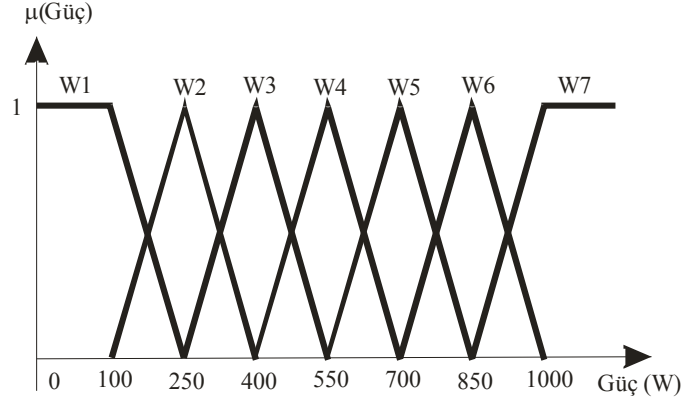


Şekil 2.51. Algılayıcıdan gelen gerilim giriş değeri

Bulanık karar vericinin çıkış değişkeni ise o anda RES modelinden elde edilebilecek maksimum güç değerini veren güç çıkış uzayıdır. Bu değer rüzgarın hızına göre değişmektedir. Çıkış uzayı 18 kısımdan oluşmaktadır. Yapılan başka bir denemede çıkış uzayı 7 seviyeli olarak tasarlanmıştır. Çıkış uzayı Şekil 2.52 ve Şekil 2.53'de 18 seviyeli ve 7 seviyeli değerler için görülmektedir.



Şekil 2.52. 18 seviyeli güç çıkış uzayı



Şekil 2.53. 7 seviyeli güç çıkış uzayı

Tablo 2.33 ve Tablo 2.34'de BMS için konulan kurallar görülmektedir. BMS giriş değerleri RES'in kısıyıcı giriş gerilimi ve çıkış akımındır. Çıkış ise RES'den elde edilebilecek tepe rüzgar güç değeridir.

Tablo 2.33. BMS kurallar 0-700W güç için

Akım (A)	Gerilim (V)	Frekans (Hz)	Tepe Güç (W)	7 Kural 18 Çıkış BMS	7 Kural 7 Çıkış BMS
I1→3,5 (100W)	V1→27	32,1	150	Ç1	W1
I1→3,5	V2→30,5	33,5	250	Ç3	W2
I1→3,5	V3→34	34,8	350	Ç5	W3
I1→3,5	V4→37,5	36,6	500	Ç8	W4
I1→3,5	V5→41	38,5	650	Ç11	W5
I1→3,5	V6→44,5	40,3	900	Ç16	W6
I1→3,5	V7→48	42,2	1000	Ç18	W7
I2→6,83 (250W)	V1→27	33,6	250	Ç3	W2
I2→6,83	V2→30,5	34,6	350	Ç5	W3
I2→6,83	V3→34	36	450	Ç7	W3
I2→6,83	V4→37,5	37,6	550	Ç9	W4
I2→6,83	V5→41	39,4	750	Ç13	W5
I2→6,83	V6→44,5	41,2	925	Ç17	W7
I2→6,83	V7→48	43	1000	Ç18	W7
I3→10,16 (400W)	V1→27	35,4	400	Ç6	W3
I3→10,16	V2→30,5	35,9	450	Ç7	W3
I3→10,16	V3→34	37,3	550	Ç9	W4
I3→10,16	V4→37,5	38,8	650	Ç11	W5
I3→10,16	V5→41	40,2	850	Ç15	W6
I3→10,16	V6→44,5	42	1000	Ç18	W7
I3→10,16	V7→48	43,8	1000	Ç18	W7
I4→13,5 (550W)	V1→27	-	-	-	W3
I4→13,5	V2→30,5	37,4	550	Ç9	W4
I4→13,5	V3→34	38,5	650	Ç11	W5
I4→13,5	V4→37,5	40	850	Ç15	W6
I4→13,5	V5→41	41,4	950	Ç17	W7
I4→13,5	V6→44,5	-	1000	Ç18	W7
I4→13,5	V7→48	-	1000	Ç18	W7

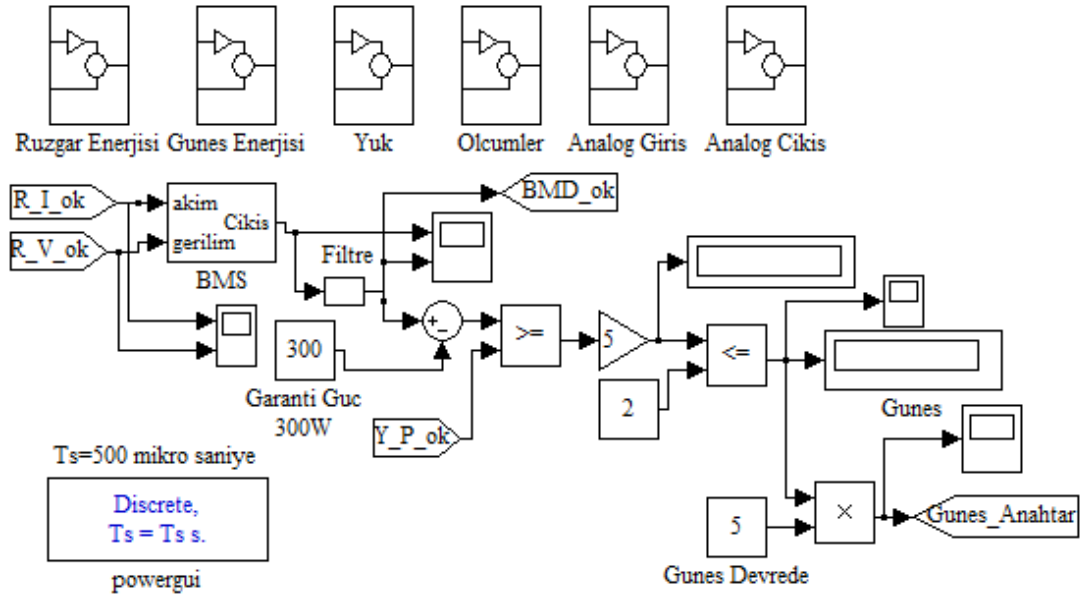
Tablo 2.34. BMS kurallar 700W-1000W güç için

Akım (A)	Gerilim (V)	Frekans (Hz)	Tepe Güç (W)	7 Kural 18 Çıkış BMS	7 Kural 7 Çıkış BMS
I5→16,83 (700W)	V1→27	-	-	-	W4
I5→16,83	V2→30,5	39,2	700	Ç12	W5
I5→16,83	V3→34	39,8	850	Ç15	W6
I5→16,83	V4→37,5	41	900	Ç16	W6
I5→16,83	V5→41	-	1000	Ç18	W7
I5→16,83	V6→44,5	-	1000	Ç18	W7
I5→16,83	V7→48	-	1000	Ç18	W7
I6→20,16 (850W)	V1→27	-	-	-	W5
I6→20,16	V2→30,5	40,2	850	Ç15	W6
I6→20,16	V3→34	41,3	950	Ç17	W7
I6→20,16	V4→37,5	-	1000	Ç18	W7
I6→20,16	V5→41	-	1000	Ç18	W7
I6→20,16	V6→44,5	-	1000	Ç18	W7
I6→20,16	V7→48	-	1000	Ç18	W7
I7→23,5 (1000W)	V1→27	-	-	-	W6
I7→23,5	V2→30,5	-	-	-	W6
I7→23,5	V3→34	-	1000	Ç18	W7
I7→23,5	V4→37,5	-	1000	Ç18	W7
I7→23,5	V5→41	-	1000	Ç18	W7
I7→23,5	V6→44,5	-	1000	Ç18	W7
I7→23,5	V7→48	-	1000	Ç18	W7

3. BULGULAR

3.1. FV Güneş Panelleri / Rüzgar Enerji Sisteminde Enerji Yönetim Yazılımı

Enerji yönetimi Şekil 3.1’de görülen MATLAB/Simulink programı ile yapılmaktadır ve bilgisayara aktarılan veriler için MATLAB programı içerisinde bulunan Data Acquisition Toolbox’ı kullanılmıştır. Burada algılayıcılardan alınan bilgilere göre RES, FV güneş panelleri sistemi ve yük olmak üzere toplam 6 adet akım gerilim bilgisi programa aktarılmaktadır. Daha sonra gerekli hesaplamalar yapılarak her bir sistemden o anda çekilen güç değerleri hesaplanmaktadır. Sistemde RES’den çekilebilecek tepe güç değeri bir BMS ile hesaplanmakta ve son aşamada 300W’lık garanti gücü de hesaplamalara dahil edecek şekilde enerji yönetimi yapılmaktadır. Şekil 2.45’de verilen akış diyagramına göre program çalışmaktadır. Ayrık zamanlı çalışan programda örnekleme zamanı $T_s = 500\mu s$ ’dir.

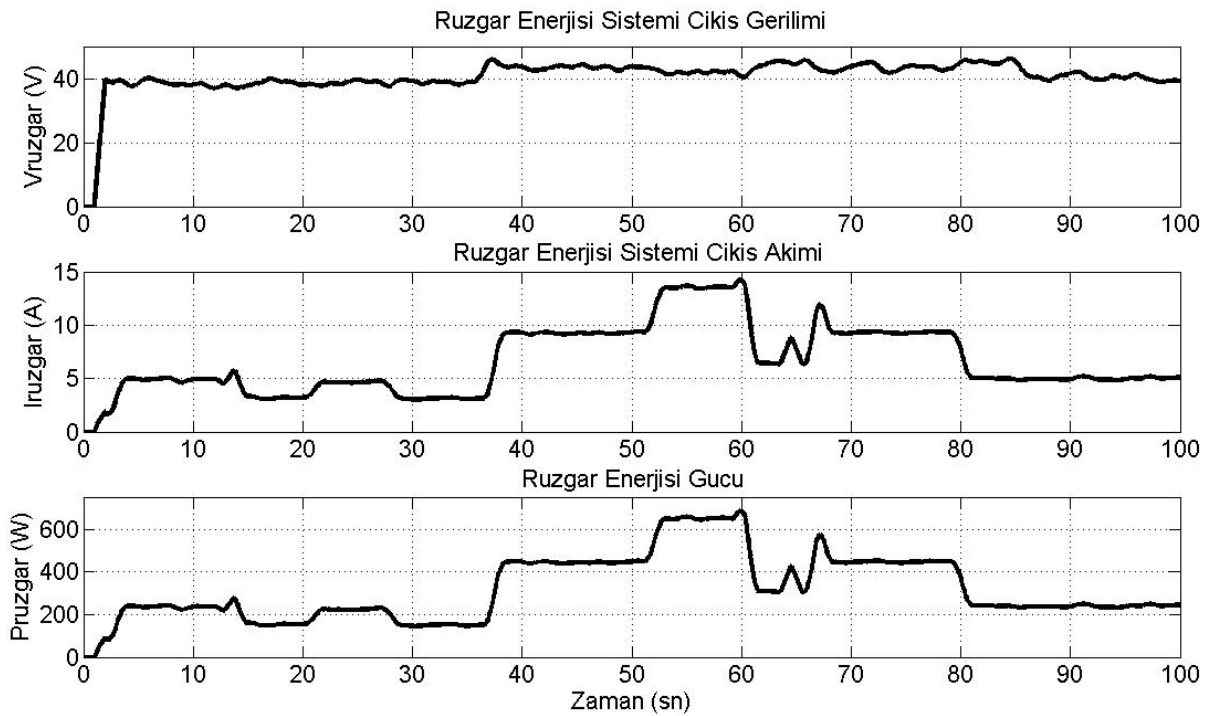


Şekil 3.1. Rüzgar-güneş enerji üretim sisteminde enerji yönetim programı

Rüzgar ve güneş enerji sisteminde enerji yönetimi ile yüklerin enerjisiz kalmamasını temin eden enerji yönetim yazılımından elde edilen sonuçlar Şekil 3.2 ile Şekil 3.6

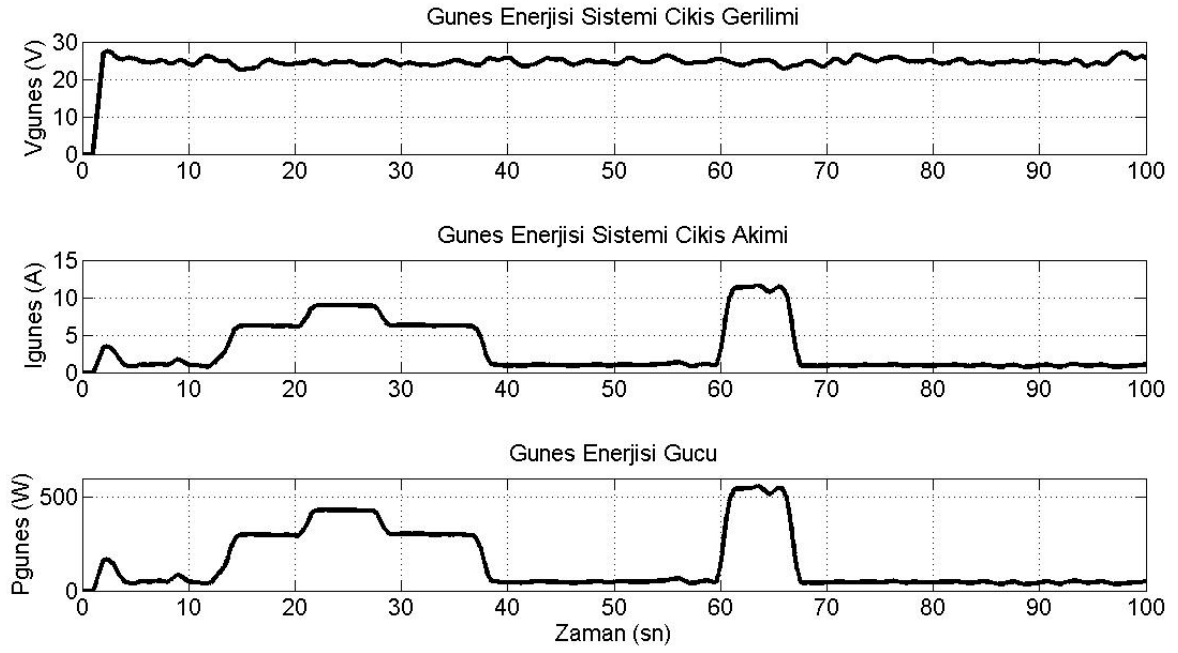
arasında ki şekillerde görülmektedir. Farklı zamanlarda yapılan deneylerin sonuçları grafiklerde görülmektedir.

Şekil 3.2’de RES’e ait olan akım, gerilim ve güç değişimleri görülmektedir. Şekilde yük miktarı farklı zaman aralıklarında değiştirildiği için RES’e ait grafiklerde değerlerde değişimler meydana gelmektedir. Dikkat edilirse RES her zaman devrededir. Fakat rüzgar hızı ve çekilen güçler nedeniyle sisteme aktardığı güç miktarı değişmektedir.



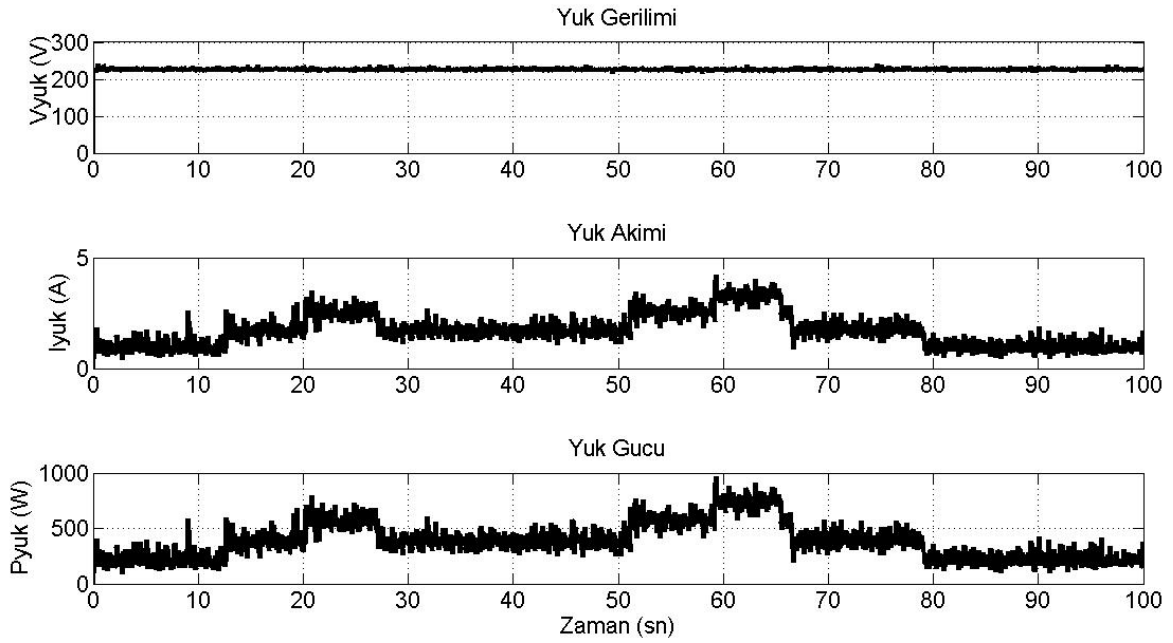
Şekil 3.2. Rüzgar enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi

Şekil 3.3’de güneş enerji sistemine ait elektriksel büyüklüklerin değişimi görülmektedir. Burada 0 ile 13.sn’ler arasında, 39 ve 60.sn’ler arasında ve 66 ile 100.sn’ler arasında FV güneş panelleri devrede değildir. Sadece kullanılan güç elektroniği çeviricileri nedeniyle 10-20W gibi çok düşük bir güç tüketimi bulunmaktadır. Diğer zaman aralıklarında FV güneş panelleri duruma göre kısa ya da uzun süre devrededirler. Örneğin t=60-70sn aralığında FV güneş panelleri, sisteme 550W’lık güç aktarmaktadır.



Şekil 3.3. Güneş enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi

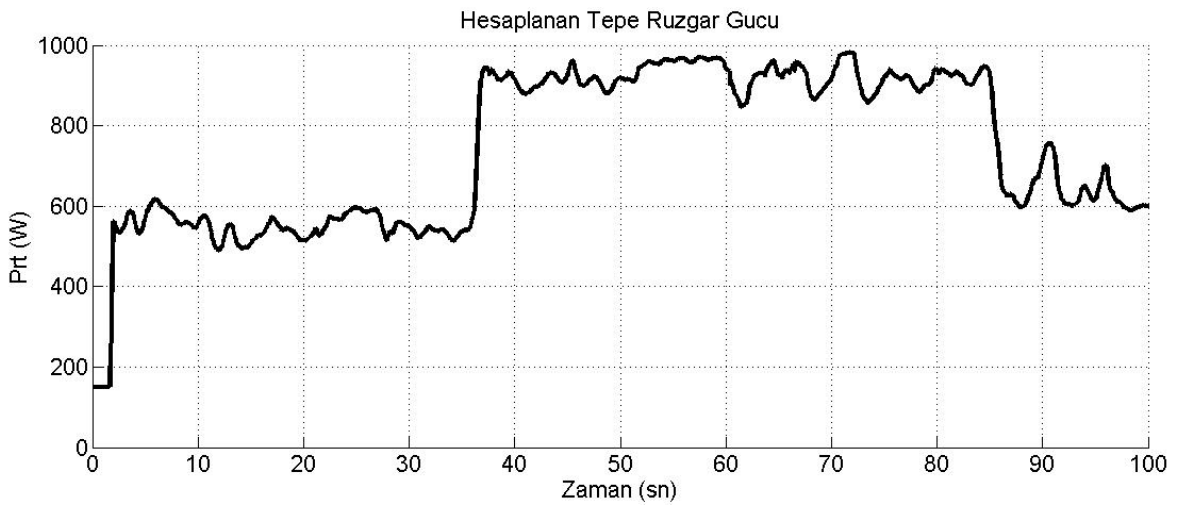
Şekil 3.4’de yük üzerindeki akım, gerilim ve güç değişimleri görülmektedir.



Şekil 3.4. Yük üzerindeki akım, gerilim ve güç değişimi

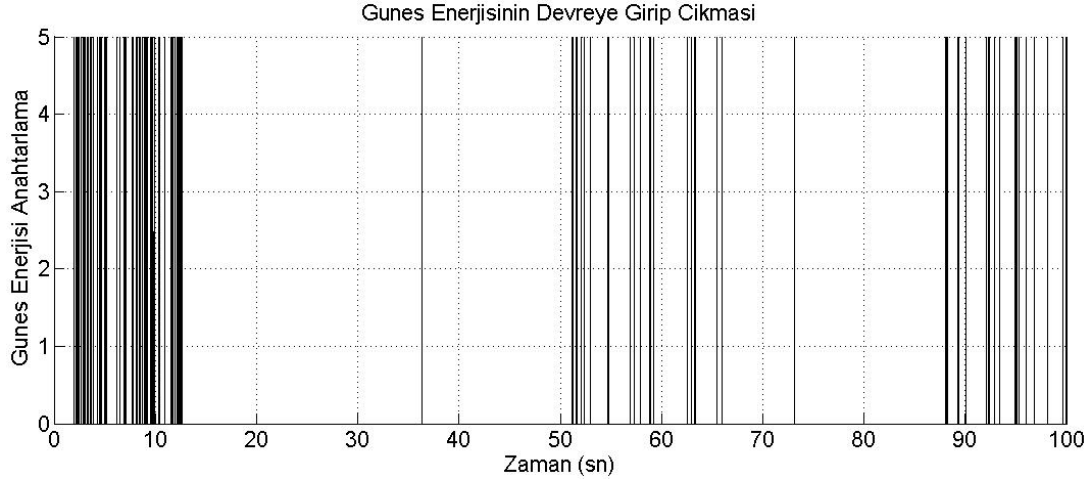
$t=0-13$ sn aralığında 200W, $t=13-20$ sn aralığında 400W, $t=20-27$ sn aralığında 600W, $t=27-51$ sn aralığında 400W, $t=51-59$ sn aralığında 600W, $t=59-66$ sn aralığında 800W, $t=66-79$ sn aralığında 400W ve son olarak $t=79-100$ sn aralığında 200W'lık güç tüketilmektedir. Yük üzerindeki gerilim 220V'dur. Akım değeri yük durumuna göre değişmektedir. Yük olarak her biri 100W değerinde 10 adet akkor flamanlı ampul kullanılmaktadır.

Şekil 3.5'de RES'de o anki rüzgar durumuna göre elde edilebilecek tepe güç değeri görülmektedir. Bu değer BMS bloğunda sürekli olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 3.5. BMS çıkışında RES'den elde edilebilecek tepe güç değerinin değişimi

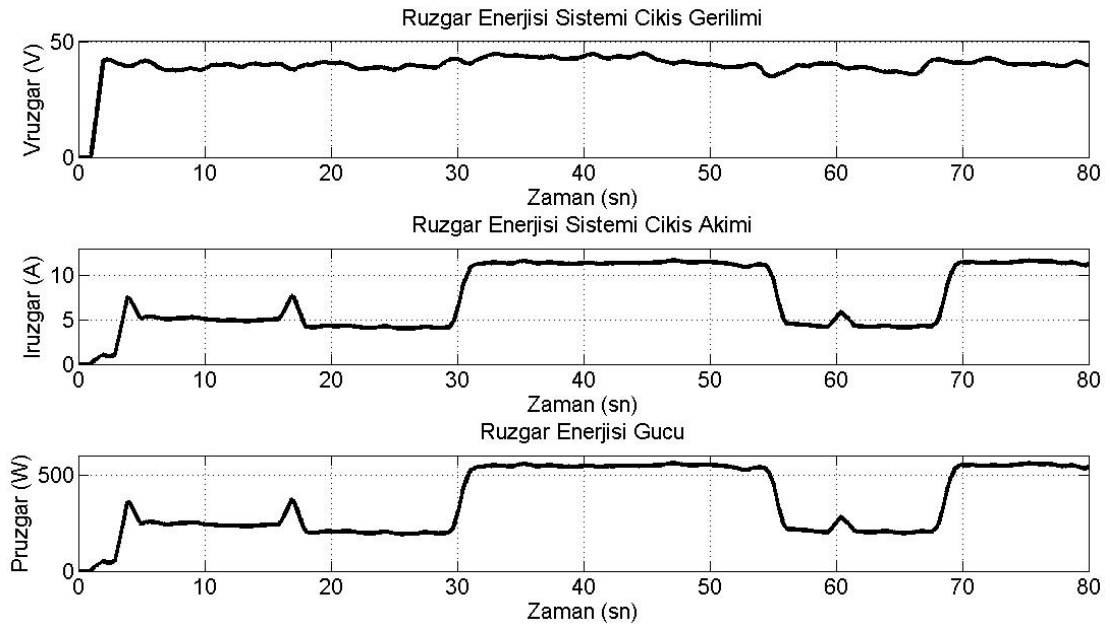
Şekil 3.6'da FV güneş panellerinin devreye girip çıkma durumları görülmektedir. Bu sistemin devreye girip çıkması tamamen enerji yönetim programının aldığı kararlar doğrultusundadır. Burada kullanılan BMS alt programı 18 çıkış uzayı değerine sahiptir ve oldukça hassas çalışmaktadır.



Şekil 3.6. Güneş enerjisinin rüzgar gücünün yetmediği durumda devreye girip çıkması

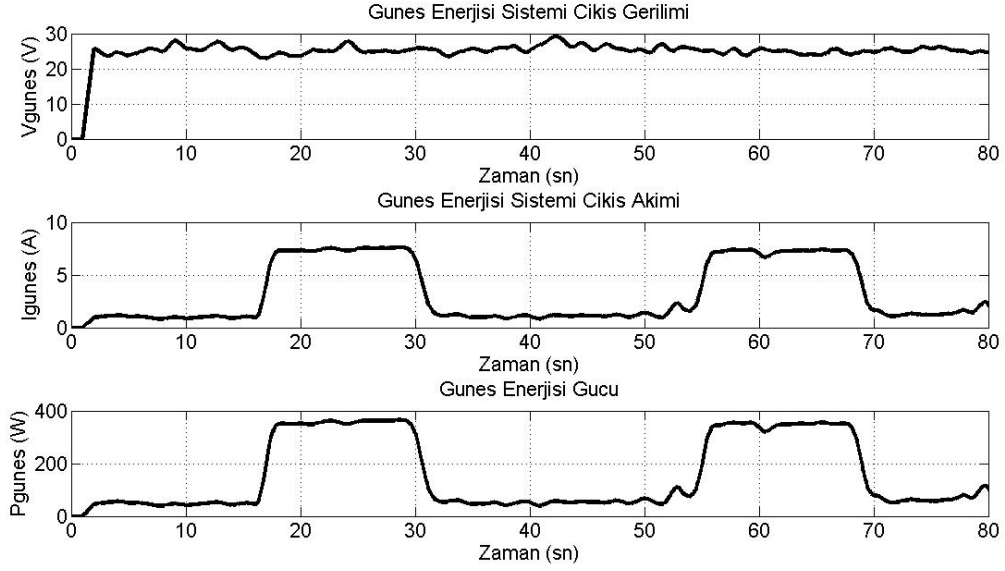
Şekil 3.7 ile Şekil 3.11 arasında farklı bir denemeden elde edilen sonuçlar görülmektedir.

Şekil 3.7'de RES'e ait olan akım, gerilim ve güç değişimleri görülmektedir. Şekilde yük miktarı farklı zaman aralıklarında değiştirildiği için RES'e ait grafiklerde, akım ve gerilim bilgilerinde değişimler meydana gelmektedir. Dikkat edilirse RES her zaman devrededir. Fakat rüzgar hızı ve çekilen güçler nedeniyle sisteme aktardığı güç miktarı değişmektedir. Özellikle 30-55.sn'ler arasında RES'den 550W'lık güç çekilmektedir.



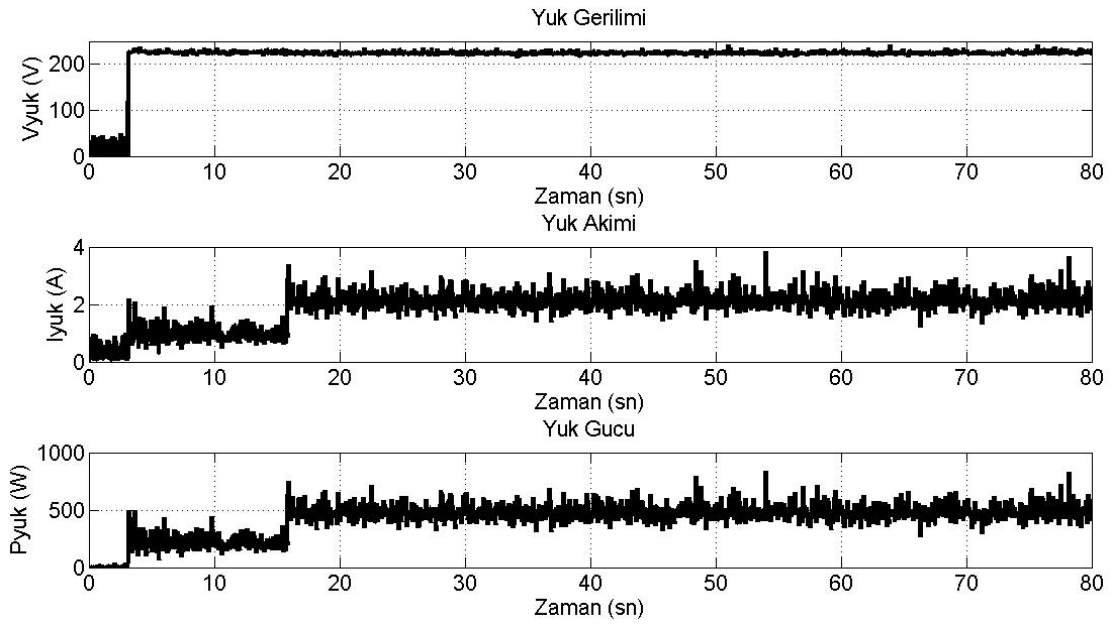
Şekil 3.7. Rüzgar enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi

Benzer olarak Şekil 3.8’de $t=0-16\text{sn}$, $t=32-55\text{sn}$ ve $t=70-80\text{sn}$ aralıklarında FV güneş panelleri devrede değildir. Sadece kullanılan güç elektroniği çeviricileri nedeniyle 10-20W’lık bir güç tüketimi bulunmaktadır.



Şekil 3.8. Güneş enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi

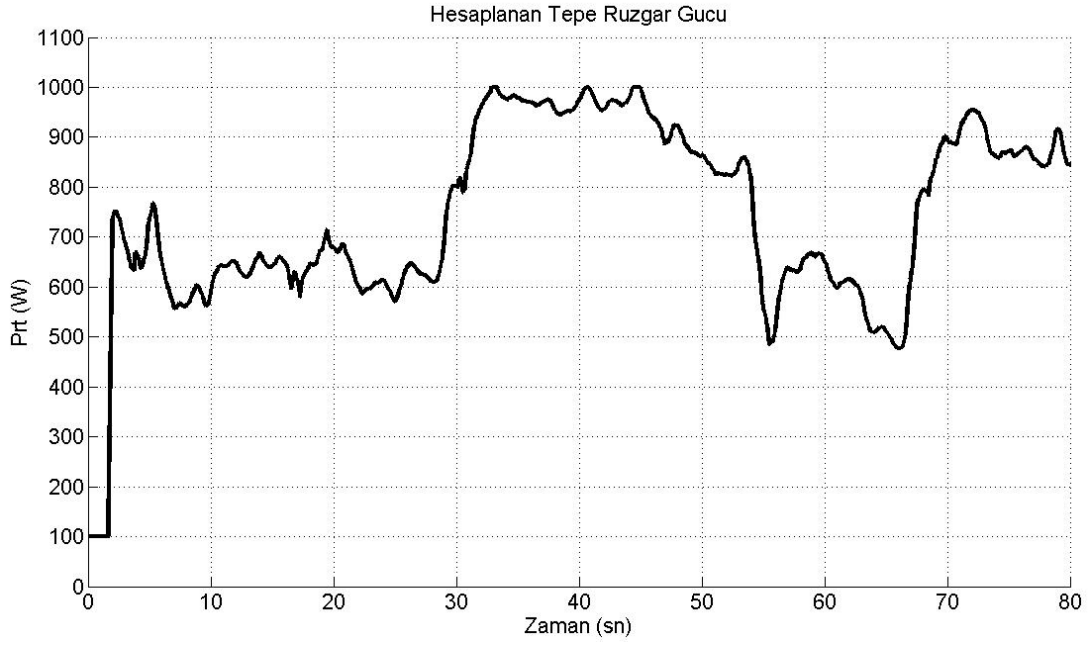
Şekil 3.9’da yük üzerindeki akım, gerilim ve güç değişimleri görülmektedir.



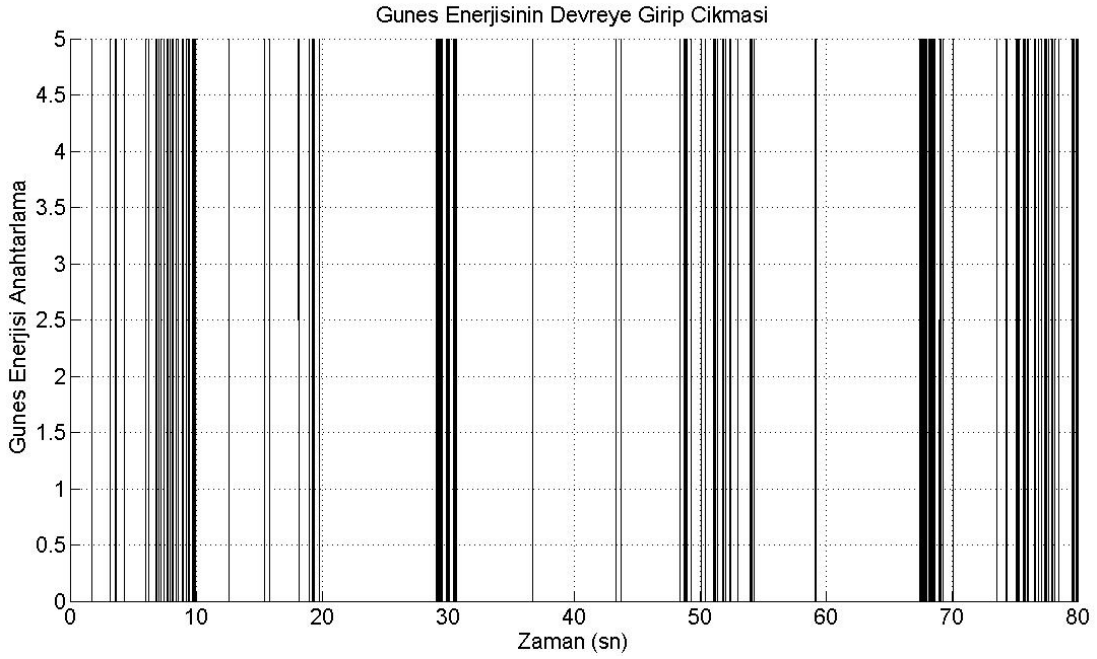
Şekil 3.9. Yük üzerindeki akım, gerilim ve güç değişimi deneysel sonuçlar

$t=4-16$ sn aralığında 200W ve $t=16-100$ sn aralığında 500W'lık yük bulunmaktadır.

Şekil 3.10'da $t=0-16$ sn aralığında RES'de yaklaşık olarak 600W'lık tepe güç değeri bulunmaktadır. Bu aralıkta yük değeri 200W'dır ve tüm güç RES'den çekilmektedir. FV güneş panelleri devrede değildir ve sistem 300W'lık garanti gücü de RES'den temin edebilmektedir. Daha sonra $t=16-80$ sn aralığında yük değeri 500W'a çıkmıştır. $T=16-32$ sn aralığında RES 600W'lık tepe güç değerine sahiptir ve ayrıca ihtiyaç duyulan 300W'lık garanti gücü bu esnada temin edemediği için FV güneş panelleri sistemi devreye girmiştir. Yük 500W, RES 550W ve FV güneş panelleri sistemi 350W güç temin etmektedir. Dolayısıyla sistemde yaklaşık olarak 400W'lık bir garanti güç bulunmaktadır. $t=32-55$ sn aralığında rüzgar hızı artmıştır. Bu esnada yük gücü hala 500W'dır. RES bu aralıkta 1000W'lık güç sağlayabildiği için FV güneş panelleri devreden çıkmaktadır. Aynı zamanda 300W'lık garanti güç değeri de sadece RES'den karşılanabilmektedir. $t=55-70$ sn aralığında rüzgar hızı azaldığı için RES garanti güç ile birlikte o anki yük değeri olan 500W'lık gücü tek başına temin edemediği için FV güneş panelleri sistemi devreye girmiştir. $t=70-80$ sn aralığında rüzgar hızı yükselmiş ve ihtiyaç duyulan güç ile birlikte garanti gücünde sağlayabildiği için enerji yönetim yazılımı FV güneş panelleri sistemini devreden çıkararak sadece RES'den yükleri beslemiştir. Şekil 3.11'de FV güneş panellerini devreye girip çıkma yani anahtarlama grafiği görülmektedir. RES'deki dalgalanmalar nedeniyle zaman zaman FV güneş panelleri çok kısa süreli olarak devreye girip çıkmıştır.

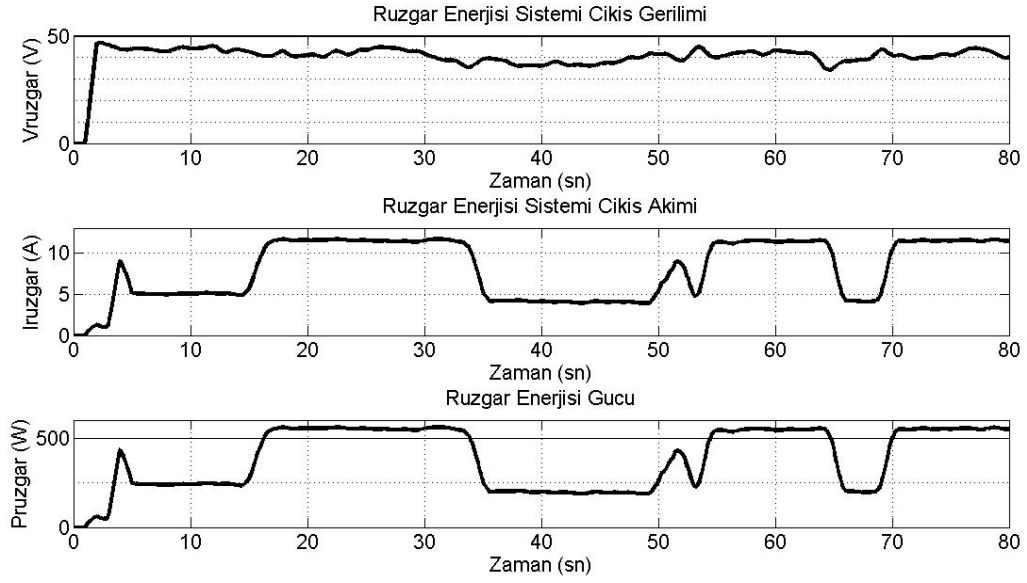


Şekil 3.10. BMS çıkışında RES’den elde edilebilecek tepe güç değerinin değişimi

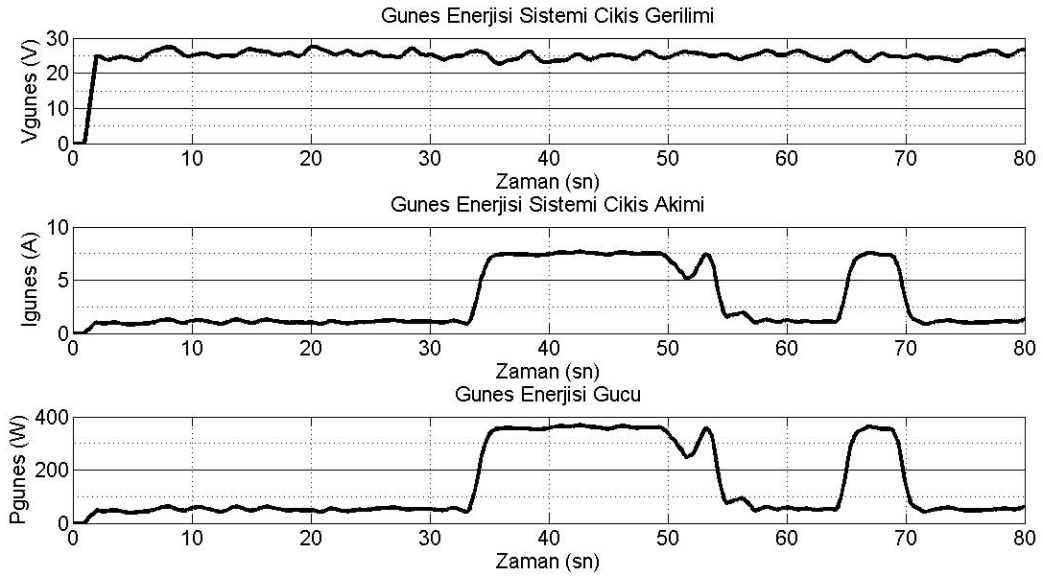


Şekil 3.11. Güneş enerjisinin rüzgar gücünün yetmediği durumda devreye girip çıkması

Şekil 3.12 ile Şekil 3.16 arasında da farklı bir denemeden elde edilen sonuçlar görülmektedir. Diğer denemelere benzer şekilde $t=5-15$ sn aralığında 200W'lık ve $t=15-80$ sn aralığında ise 500W'lık yük bulunmaktadır. Rüzgar hızındaki değişimlere göre FV güneş panelleri sistemi $t=35-55$ sn ve $t=65-70$ sn aralıklarında devreye girerek sisteme enerji sağlamaktadır.

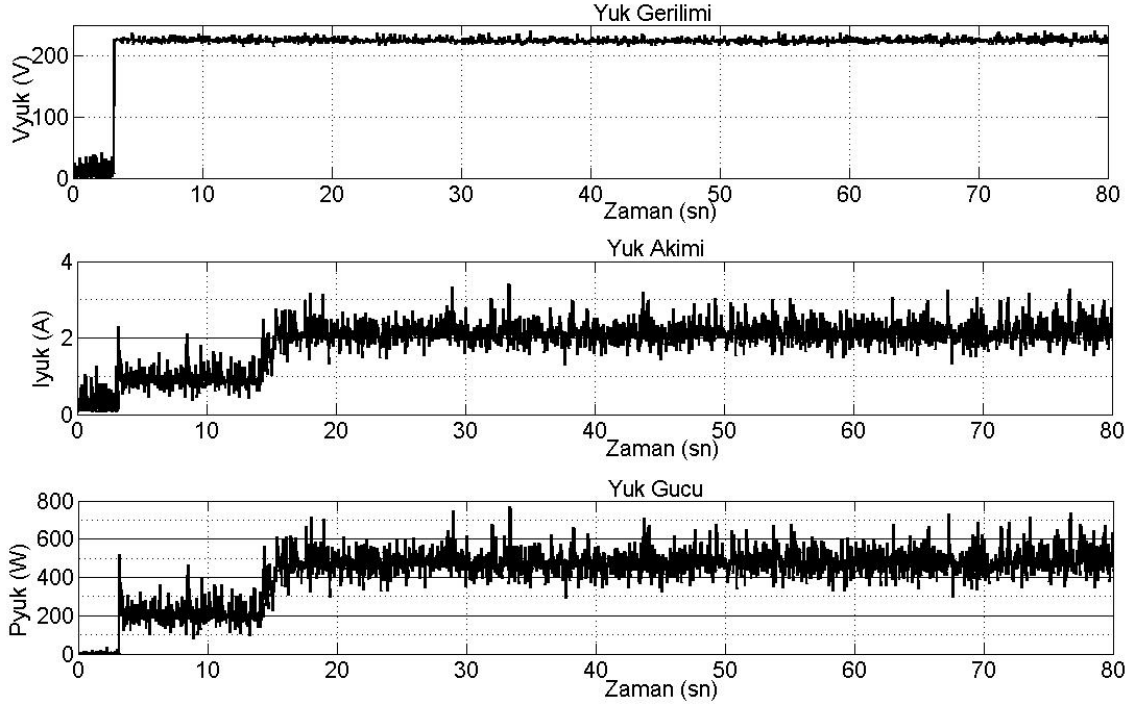


Şekil 3.12. Rüzgar enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi



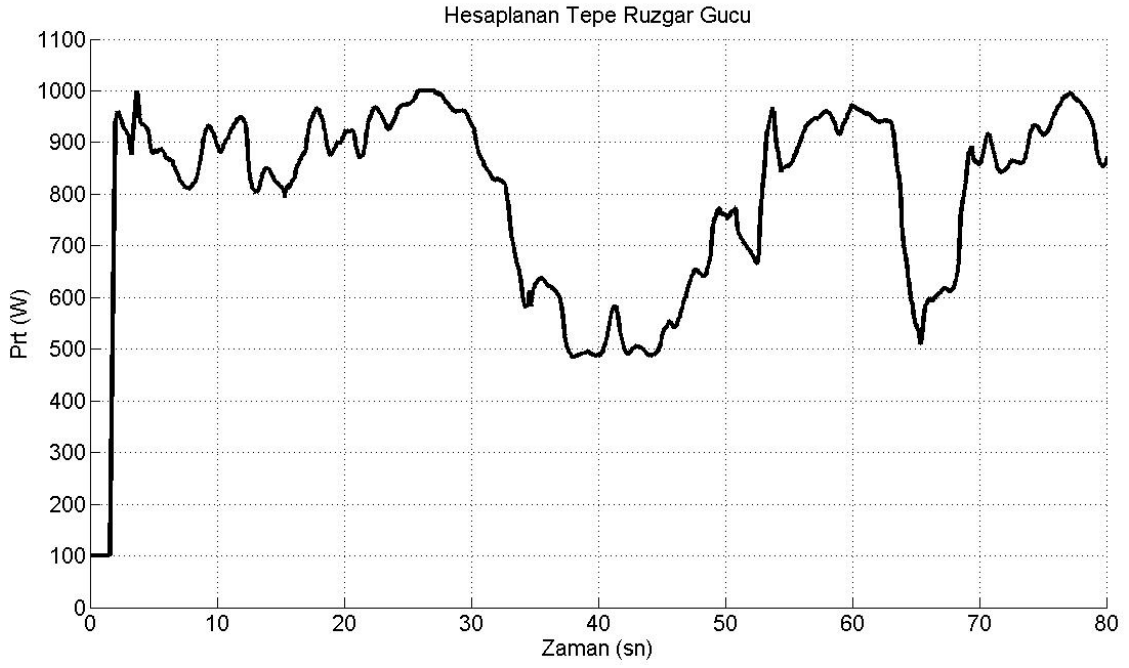
Şekil 3.13. Güneş enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi

Şekil 3.14’de yük üzerindeki gerilim değeri 220V’dur. Akım ise $t=5-15$ sn aralığında yaklaşık 1A ve $t=15-80$ aralığın da ise yaklaşık 2,5A değerindedir.

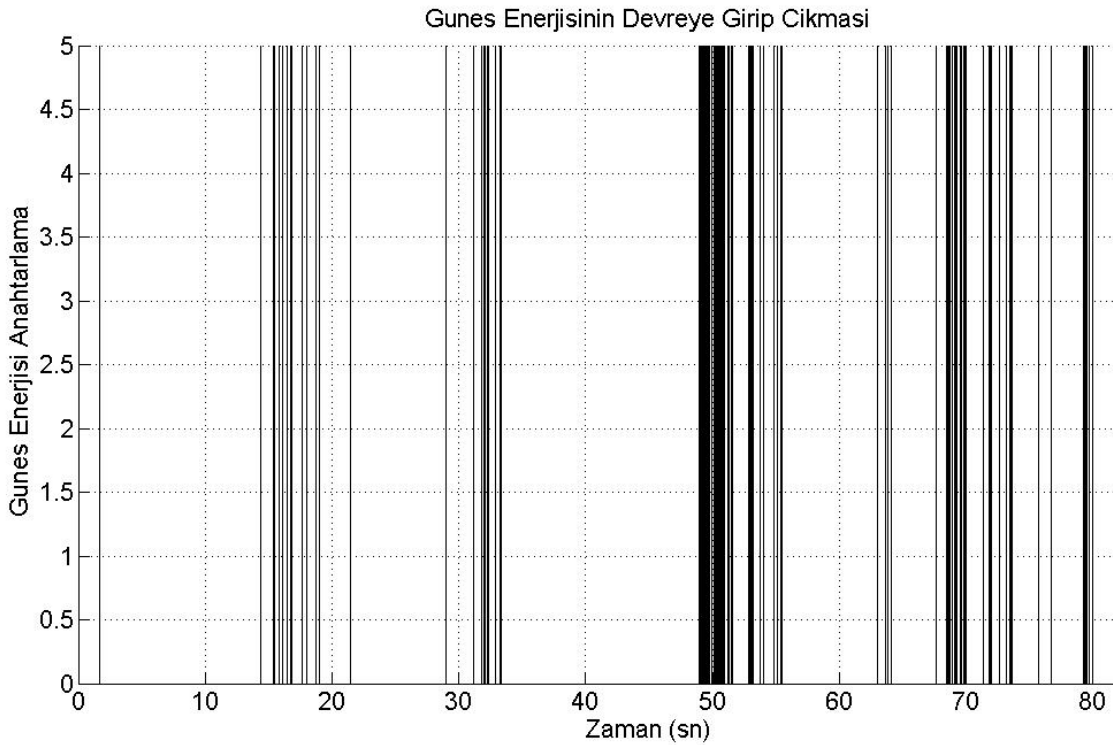


Şekil 3.14. Yük üzerindeki akım, gerilim ve güç değişimi

Şekil 3.15’de RES’den elde edilebilecek tepe güç değerinin değişimi görülmektedir. $t=5-30$ sn aralığında 800-1000W arasında RES güç üretebilmektedir. Daha sonra bu değer $t=30-55$ sn aralığında rüzgar hızındaki oynamalar nedeniyle 500W değerine kadar azalmıştır. $t=55-62$ sn aralığında tekrar yükselmiş ve 900W’a kadar çıkmıştır. $t=62-70$ sn aralığında yine 500W’a kadar düşmüş ve $t=70-80$ sn aralığında tekrar yükselerek 1000W değerine kadar çıkmıştır. Şekil 3.16’da FV güneş panelleri sisteminin ne zaman devreye girip çıktığı görülmektedir.



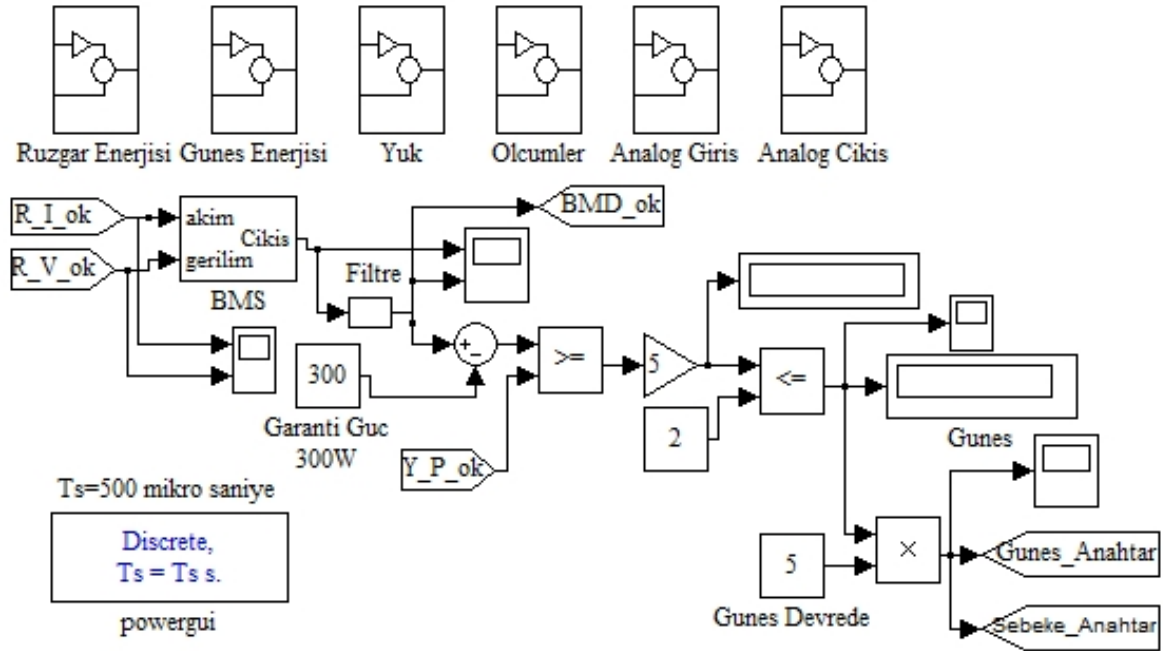
Şekil 3.15. BMS çıkışında RES'den elde edilebilecek tepe güç değerinin değişimi



Şekil 3.16. Güneş enerjisinin rüzgar gücünün yetmediği durumda devreye girip çıkması

3.2. FV Güneş Panelleri/Rüzgar Enerji Sistemi/Şebeke Sisteminde Enerji Yönetim Yazılımı

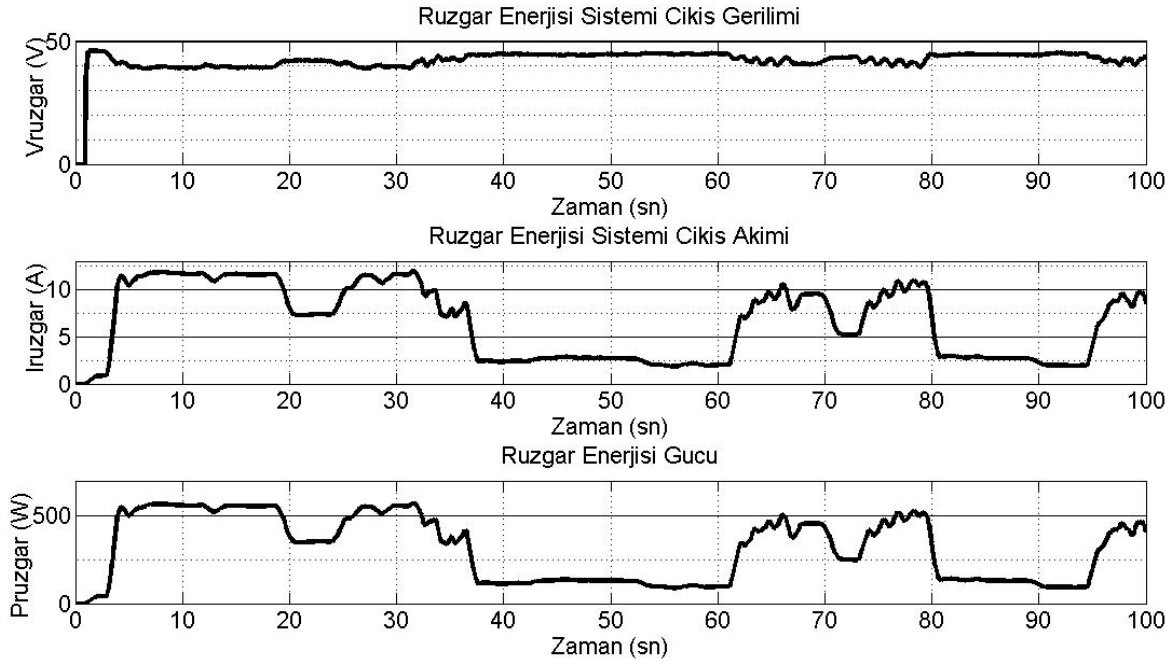
Rüzgar ve güneşin olmadığı durumda akülerde boş ise sistem enerjisiz kalmaktadır. Bunu engellemek için sisteme şebeke bağlantısı da eklenmiştir. Enerji yönetimi Şekil 3.17’de görülen MATLAB/Simulink programı ile yapılmaktadır. Burada algılayıcılardan alınan bilgilere göre RES, FV güneş panelleri sistemi, şebeke sistemi ve yük olmak üzere toplam 8 adet akım gerilim bilgisi programa aktarılmaktadır. Daha sonra gerekli hesaplamalar yapılarak her bir sistemden o anda çekilen güç değerleri hesaplanmaktadır. Sistemde RES’den çekilebilecek tepe güç değeri bir BMS ile hesaplanmakta ve son aşamada 300W’lık garanti gücü de hesaplamalara dahil edecek şekilde enerji yönetimi yapılmaktadır. Akü gerilim değerini Şekil 2.47’de verilen akış diyagramına göre program çalışmaktadır. Ayrık zamanlı çalışan programda örnekleme zamanı $T_s=500\mu s$ ’dir.



Şekil 3.17. Rüzgar-güneş-şebeke enerji üretim sisteminde basit enerji yönetim programı

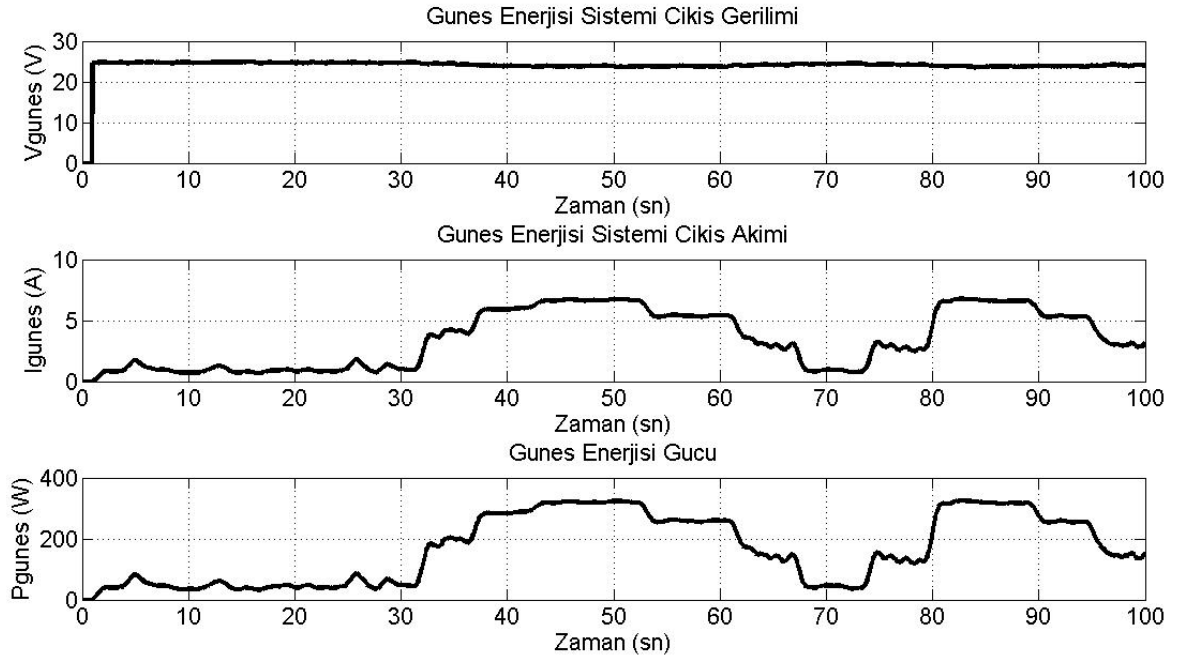
Rüzgar ve güneş enerji sisteminde enerji yönetimi ile yüklerin enerjisiz kalmamasını temin eden enerji yönetim yazılımından elde edilen sonuçlar Şekil 3.18-3.25 arasında görülmektedir.

Şekil 3.18’de RES’e ait olan akım, gerilim ve güç değişimleri görülmektedir. Şekilde yük miktarı farklı zaman aralıklarında değiştirildiği için RES’e ait grafiklerde değerlerde değişimler meydana gelmektedir. Dikkat edilirse RES her zaman devrededir. Fakat rüzgar hızı ve çekilen güçler nedeniyle sisteme aktardığı güç miktarı değişmektedir.



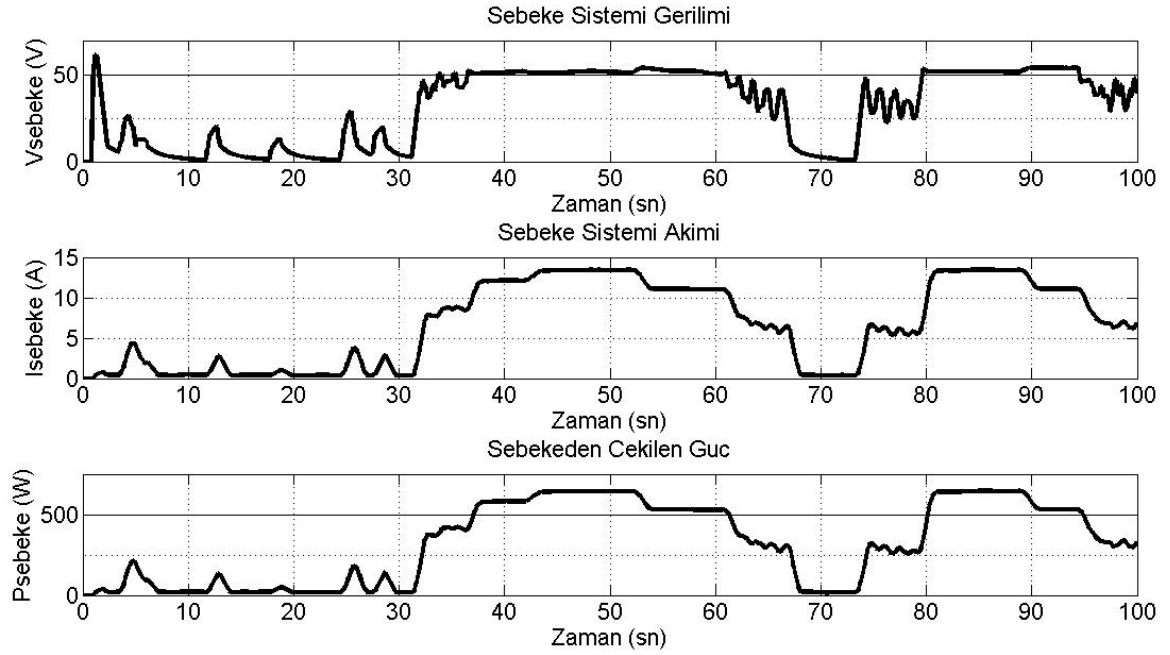
Şekil 3.18. Rüzgar enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi

Şekil 3.19’da özellikle $t=32-70$ sn ve $t=75-100$ sn aralıklarında FV güneş panellerinin sisteme güç aktardığı görülmektedir.



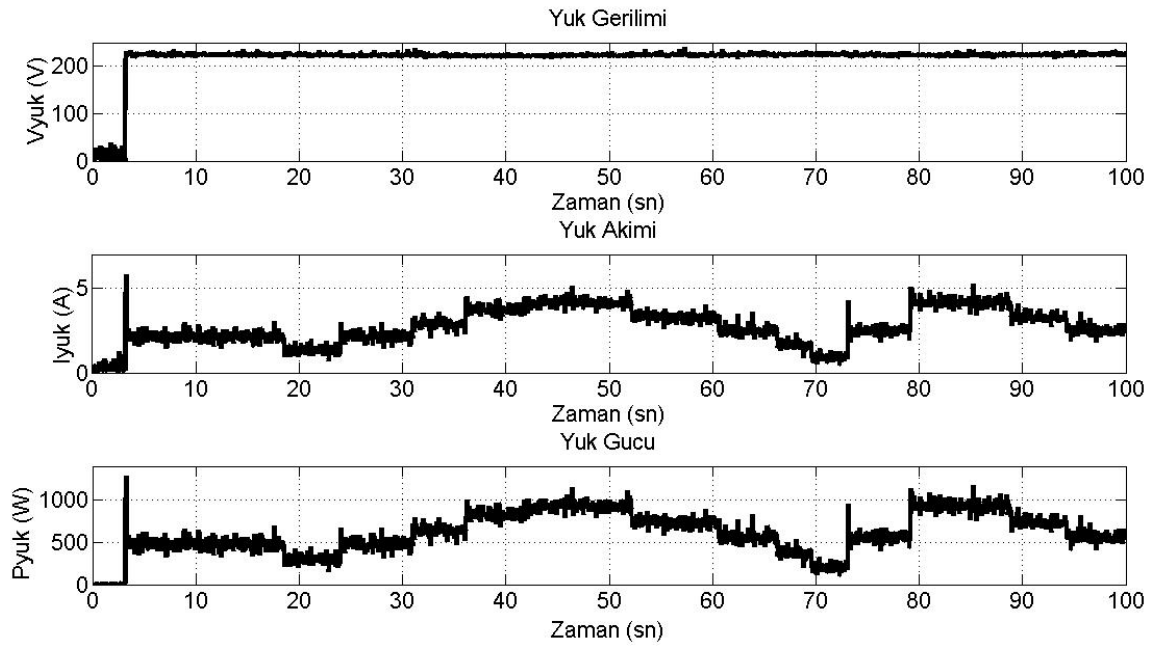
Şekil 3.19. Güneş enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi

Şekil 3.20’de şebeke sistemi $t=0-5\text{sn}$, $t=32-70\text{sn}$ ve $t=73-100\text{sn}$ aralıklarında devrededir.



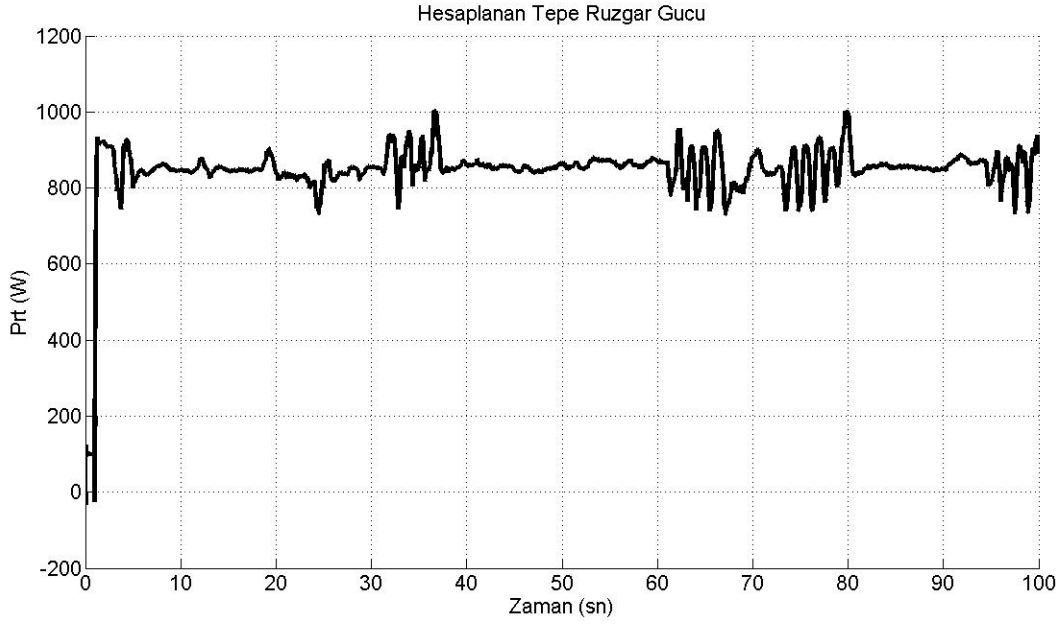
Şekil 3.20. Şebeke sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi

Şekil 3.21’de yük üzerindeki gerilim, akım ve güç değişimleri görülmektedir. Yük üzerindeki gerilimin etkin değeri 220V’dur. Yük durumuna göre çektiği akım miktarı değişmektedir. Farklı zaman aralıklarında örneğin 0-1000W arasında yük miktarı değişmektedir. Yük olarak burada da 100’er wattlık 10 adet ampul kullanılmaktadır. Rastgele değişen bu yüklerde enerji kesilmeleri enerji yönetim programının düzgün çalışması nedeniyle görülmemektedir. Programın çalışmadığı durumda yük geriliminde 0V değerine düşmeler görülmektedir.



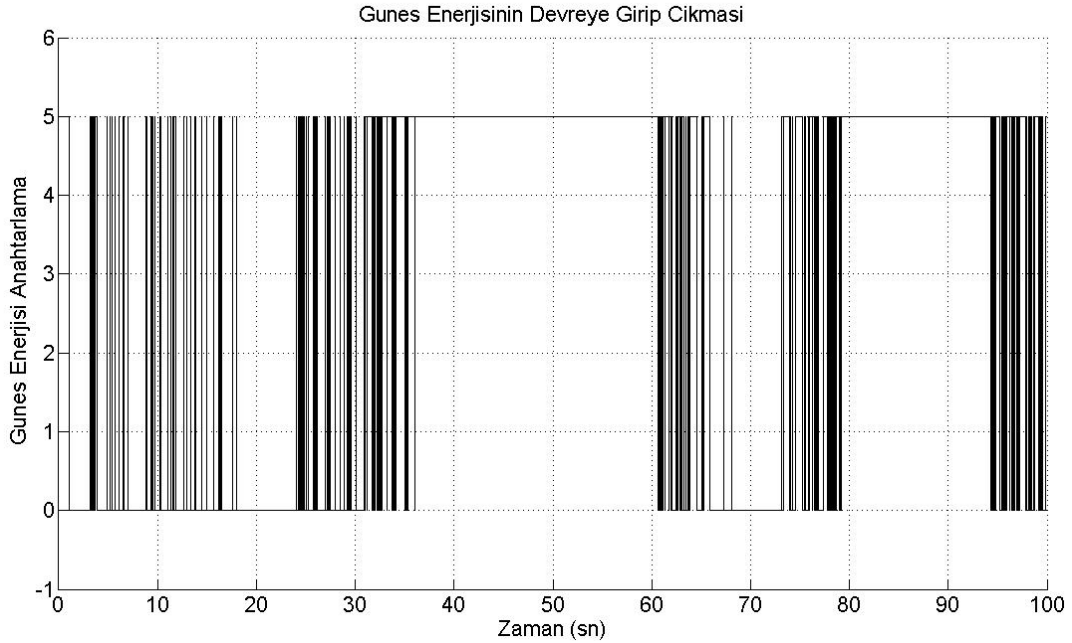
Şekil 3.21. Yük üzerindeki akım, gerilim ve güç değişimi

Şekil 3.22’de 7 çıkış uzayı değerine sahip BMS sisteminde hesaplanan tepe rüzgar güç değerinin değişimi görülmektedir. Burada rüzgar hız değeri hemen hemen sabit olduğu için generatör ortalama 900W’lık güç üretebilmektedir.



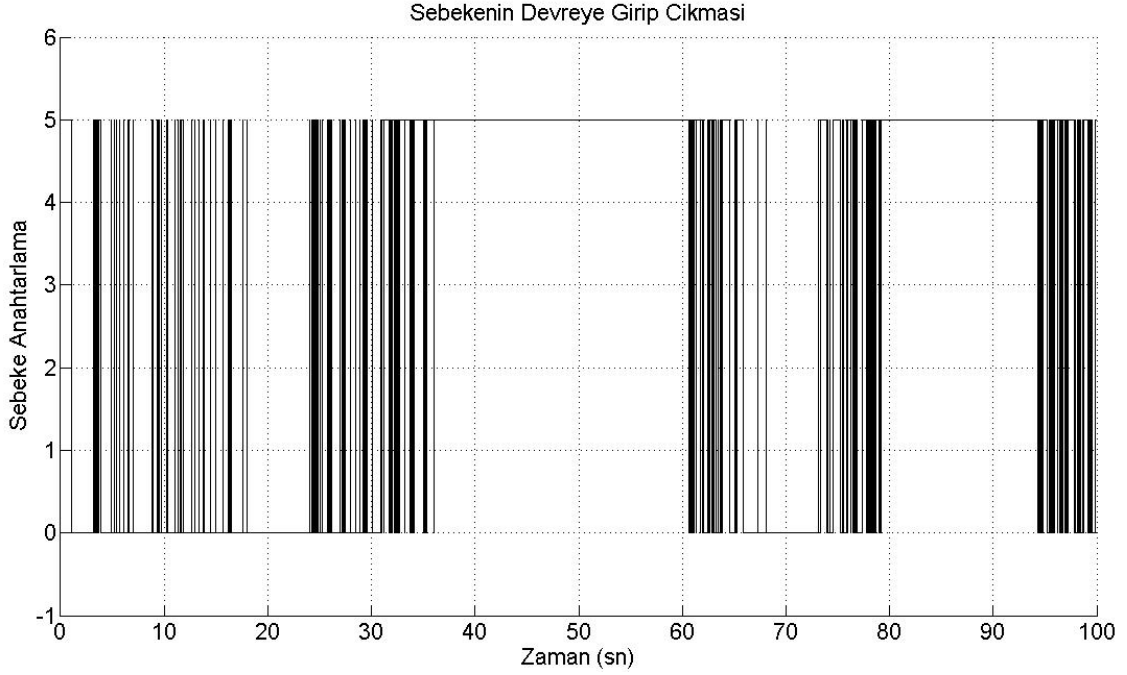
Şekil 3.22. BMS çıkışında RES’den elde edilebilecek tepe güç değerinin değişimi

Şekil 3.23 ve Şekil 3.24’de güneş enerjisi sistemi ile şebeke sisteminin devreye girip çıkma durumları görülmektedir.



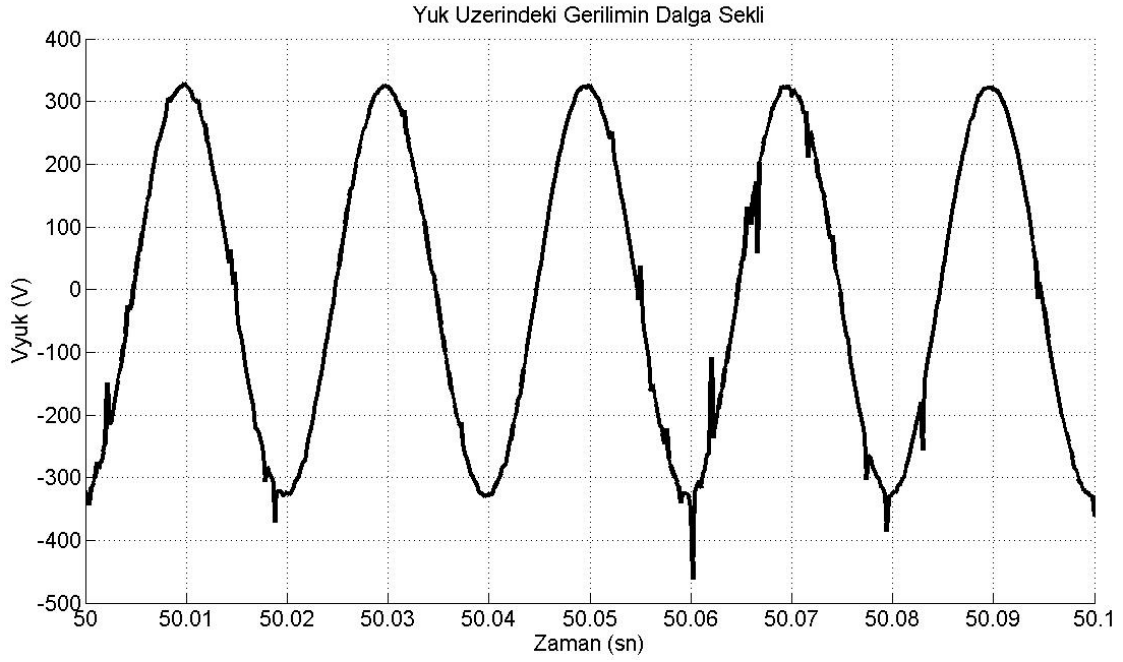
Şekil 3.23. Rüzgar gücünün yetmediği durumda güneş enerjisinin devreye girip çıkması

Dikkat edilirse grafikler aynıdır. Bunun nedeni yazılımın rüzgar gücü ile birlikte garanti güç toplamının yetmediği durumda FV güneş panelleri sistemi ile şebekeyi aynı anda devreye alarak sistemi beslemesinden kaynaklanmaktadır.



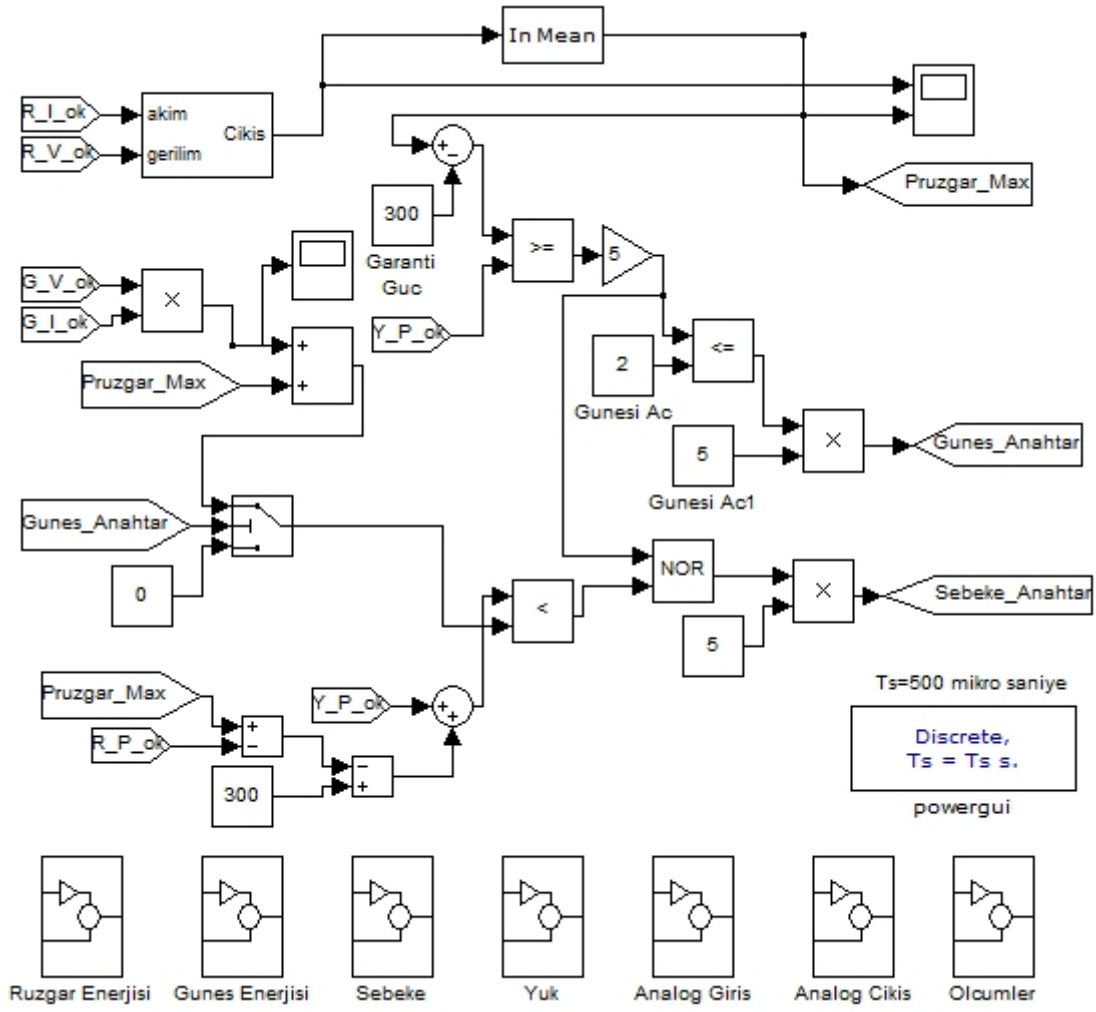
Şekil 3.24. Rüzgar gücünün yetmediği durumda şebekenin devreye girip çıkması

Şekil 3.25’de yük üzerindeki gerilimin dalga şekli görülmektedir. Dikkat edilirse aynı zamanda evirici çıkış grafiği olan bu eğrideki toplam harmonik bozulması standartlar dahilindedir ve bu bozulma değeri %5’in altındadır. Grafikteki ani değişimler aslında gerilim algılayıcısından kaynaklanmaktadır. Bu eğri osiloskop ekranında çok daha düzgün olarak gözlemlenmiştir.



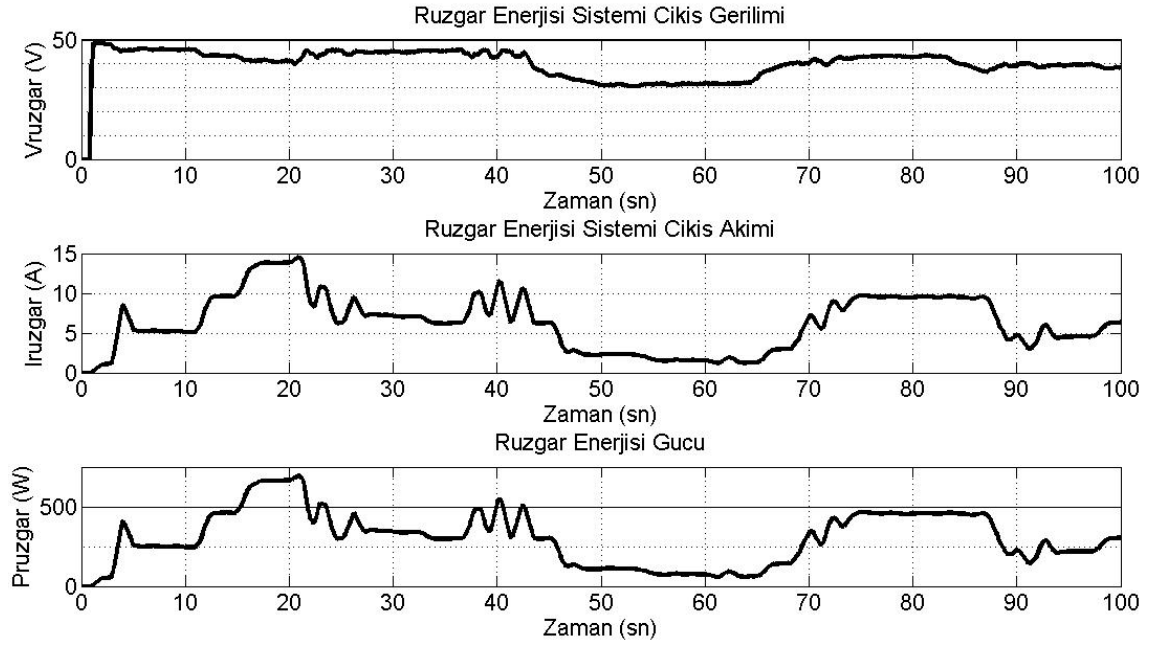
Şekil 3.25. Yük üzerindeki gerilimin dalga şeklinin ayrıntısı

Yazılan bu programın en büyük sıkıntısı yeterli rüzgar gücü olmasına rağmen ve pek çok yük bu sistemden beslenebilirken, FV güneş panelleri ve şebekenin devreye girdiği durumda gereksiz yere yükleri beslemeye başlamaları yanlış kaynaklar ile yüklerin beslendiği sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Bazı durumlarda gereksiz yere şebekeden enerji çekilerek ödenen fatura yükseltilmektedir. Benzer olarak FV güneş panellerinin aküleri de örneğin yükleri gece beslemek için daha az kullanılabilir ya da sadece şarj edilmeleri için düzenlenebilir. Bunun için Şekil 3.26'da görülen enerji yönetim yazılımı geliştirilmiş ve yükler bu sistemden beslenerek elde edilen sonuçlar Şekil 3.27 ile Şekil 3.34 arasında gösterilmiştir.



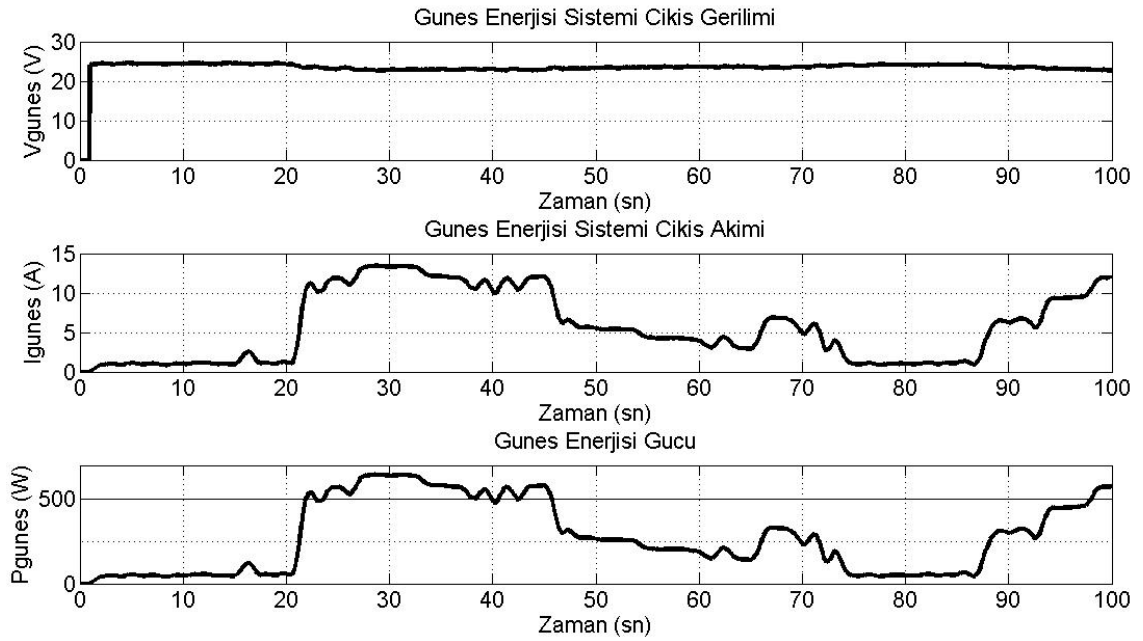
Şekil 3.26. Rüzgar-güneş-şebeke enerji üretim sisteminde geliştirilmiş enerji yönetim programı

Şekil 3.27’de RES’e ait olan akım, gerilim ve güç değişimleri görülmektedir. Şekilde yük miktarı farklı zaman aralıklarında değiştirildiği için RES’e ait grafiklerde değerlerde değişimler meydana gelmektedir. Dikkat edilirse RES her zaman devrededir. Fakat rüzgar hızı ve çekilen güçler nedeniyle sisteme aktardığı güç miktarı değişmektedir.



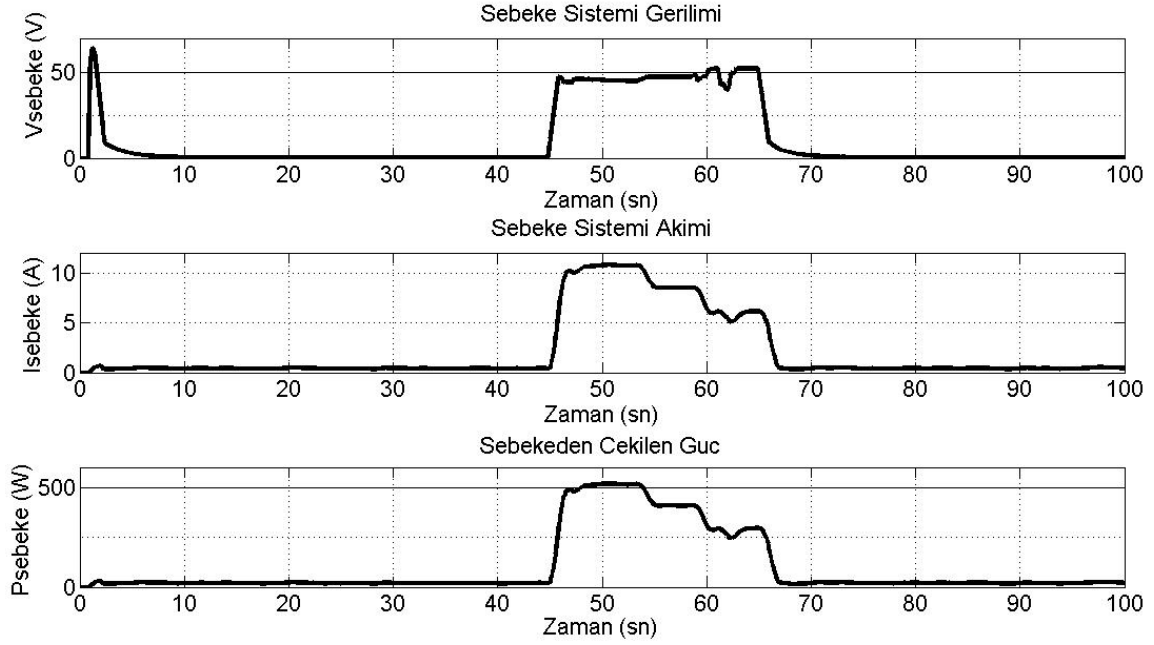
Şekil 3.27. Rüzgar enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi

Şekil 3.28’de FV güneş panelleri sistemine ait akım, gerilim ve güç değişimleri görülmektedir. $t=20-75$ sn ve $t=88-100$ sn aralıklarında FV güneş panelleri yüklere enerji aktarmaktadır.



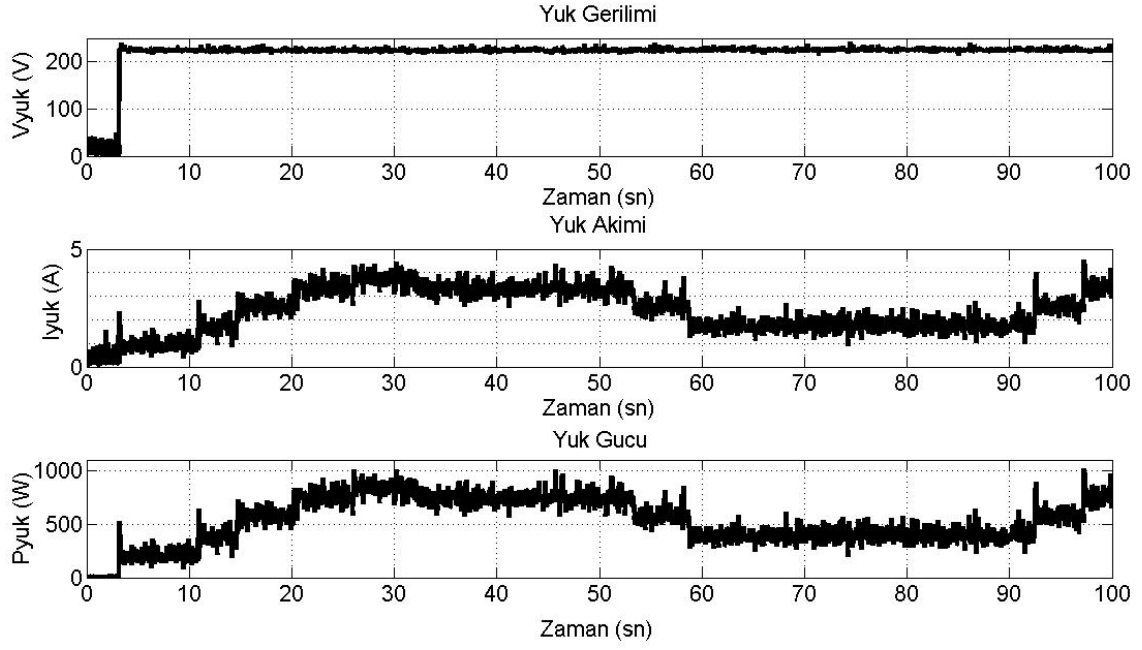
Şekil 3.28. Güneş enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi

Şekil 3.29'da şebeke sistemine ait akım, gerilim ve güç değişimleri görülmektedir. $t=0-5$ sn ve $t=45-68$ sn aralıklarında şebeke sisteminden yüklere enerji aktarılmaktadır.



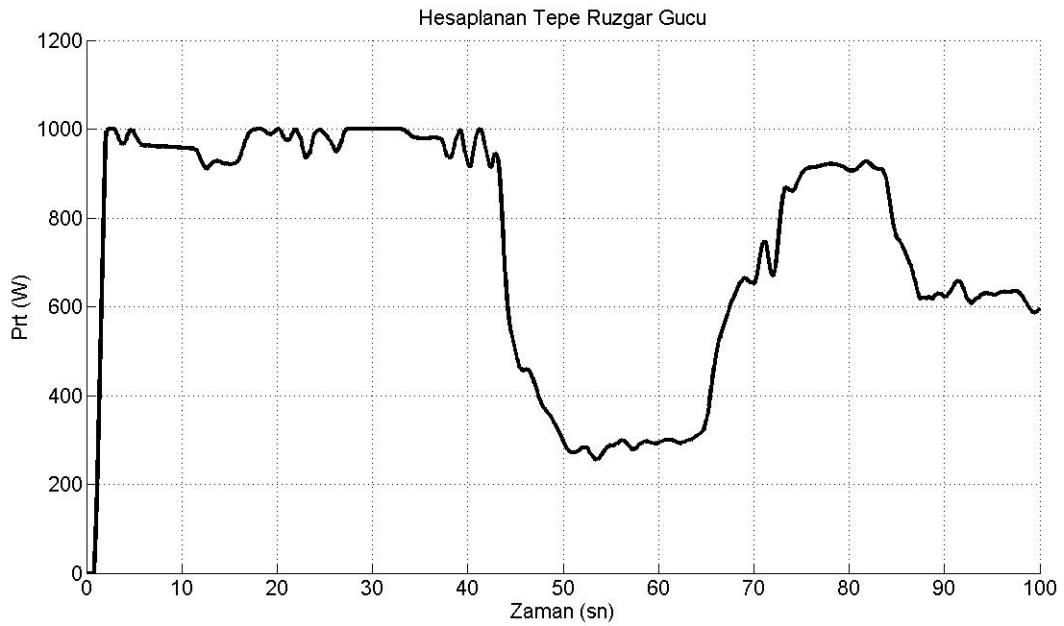
Şekil 3.29. Şebeke sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi

Şekil 3.30'da yük üzerindeki akım, gerilim ve güç değişimleri görülmektedir. Yük miktarı sürekli olarak değişmektedir. 0W ile 900W arasında değişen bir güç tüketimi söz konusudur. 100'er wattlık ampuller yük olarak kullanılmıştır. Yük üzerindeki gerilim 220V'dur. Yük durumuna göre enerji üretim sisteminden değişen miktarda akım çekilmektedir.



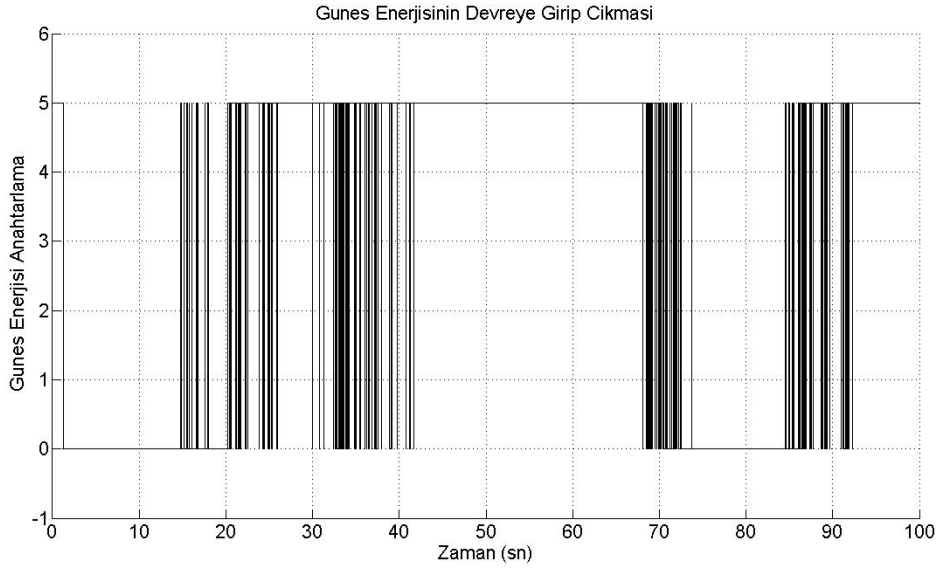
Şekil 3.30. Yük üzerindeki akım, gerilim ve güç değişimi

Şekil 3.31’de BMS sisteminde hesaplanan tepe RES güç üretim değerinin değişimi görülmektedir. Enerji yönetim programı burada üretilen güç değerini referans alarak yüklerle güç aktarmaktadır.

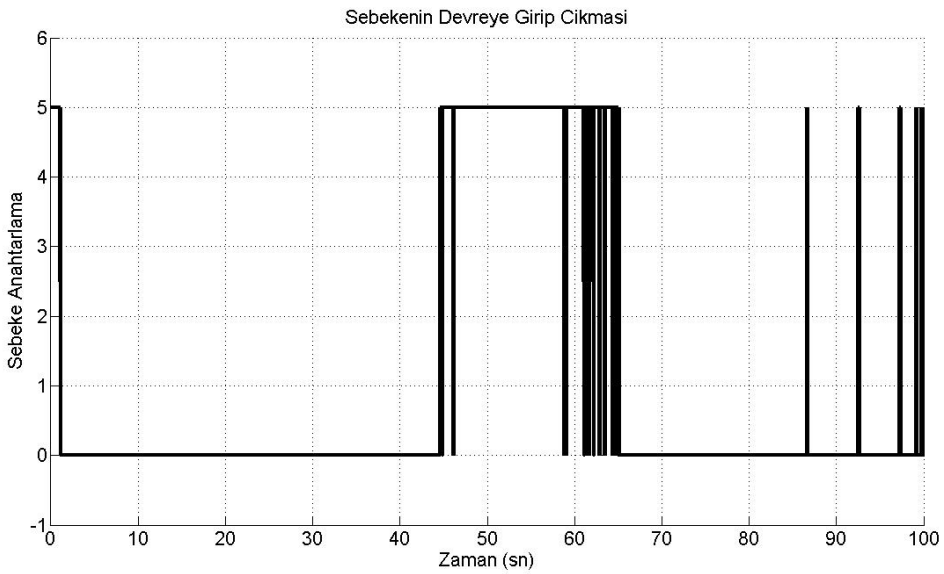


Şekil 3.31. BMS çıkışında RES’den elde edilebilecek tepe güç değerinin değişimi

Şekil 3.32 ve Şekil 3.33’de FV güneş panelleri ve şebeke sisteminin ne zaman devreye girdiği ve ne zaman devreden çıktığı görülmektedir. Özellikle $t=41-68$ sn aralığında FV güneş panelleri sistemi, $t=45-58$ sn aralığında şebeke sistemi yükleri beslemektedir. Bunun yanında zaman zaman ani değişimlerde çok kısa süreli olarak her iki sistem de devreye girip çıkmaktadır.

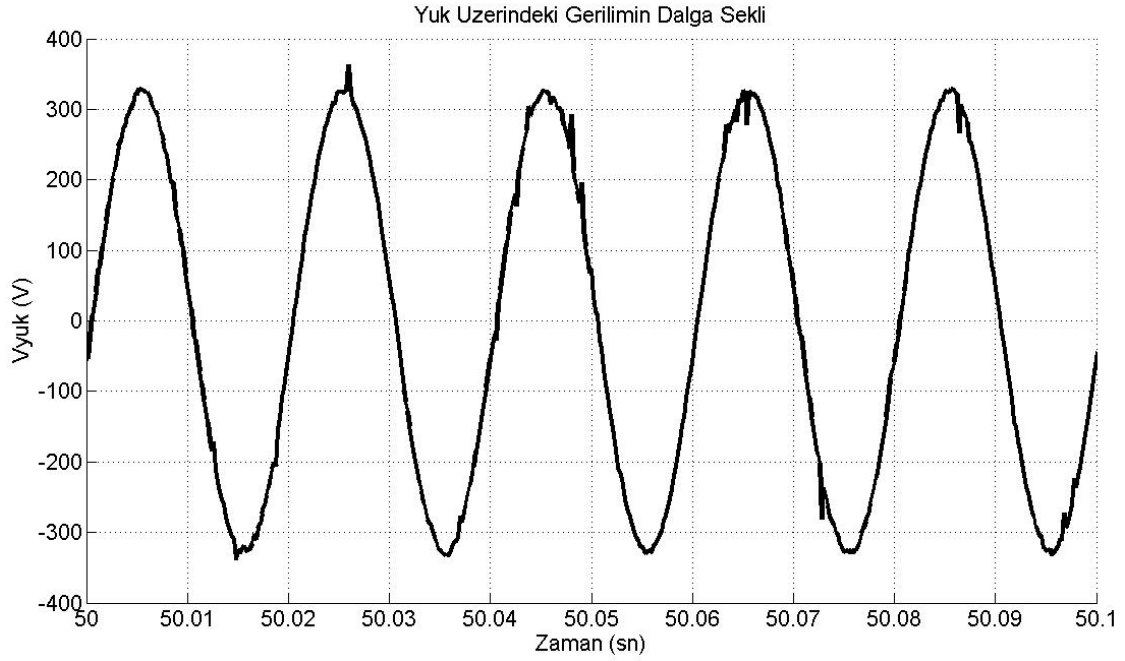


Şekil 3.32. Güneş enerjisinin rüzgar gücünün yetmediği durumda devreye girip çıkma durumu



Şekil 3.33. Şebekenin devreye girip çıktığı durumlar

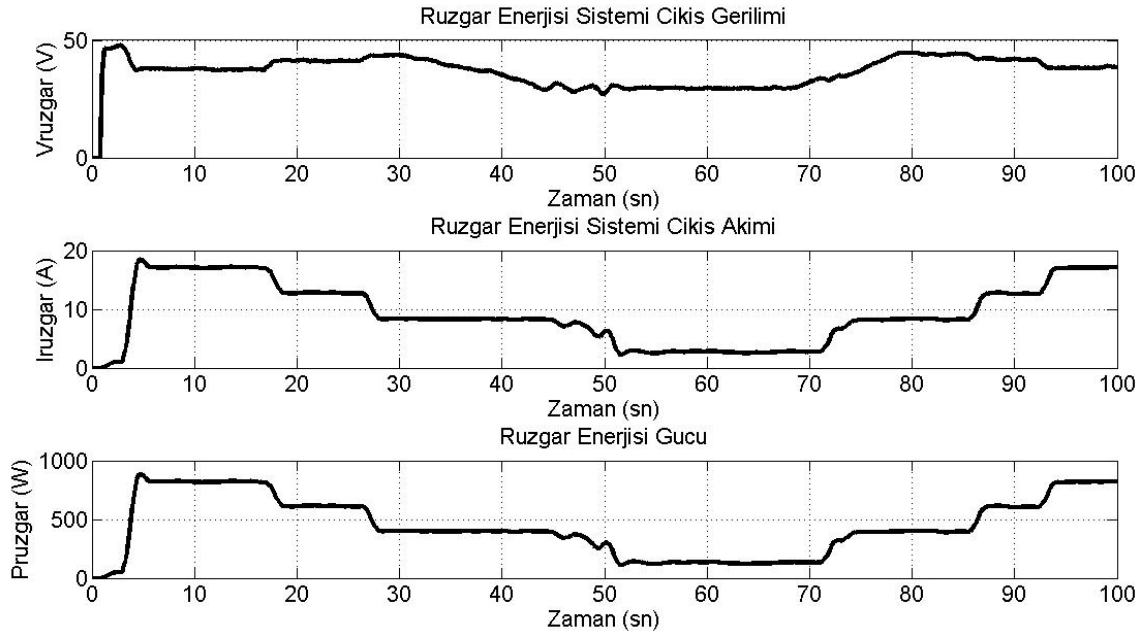
Şekil 3.34’de ise yük üzerindeki gerilimin değişiminin ayrıntısı görülmektedir. Dalga şekli oldukça sinüse yakındır. Bozulmalar genel olarak gerilim algılayıcısından veri alındığı için görülmektedir. Osiloskop ekranında daha düzgün bir gerilim dalga şekli görülmektedir.



Şekil 3.34. Yük üzerindeki gerilimin dalga şekli

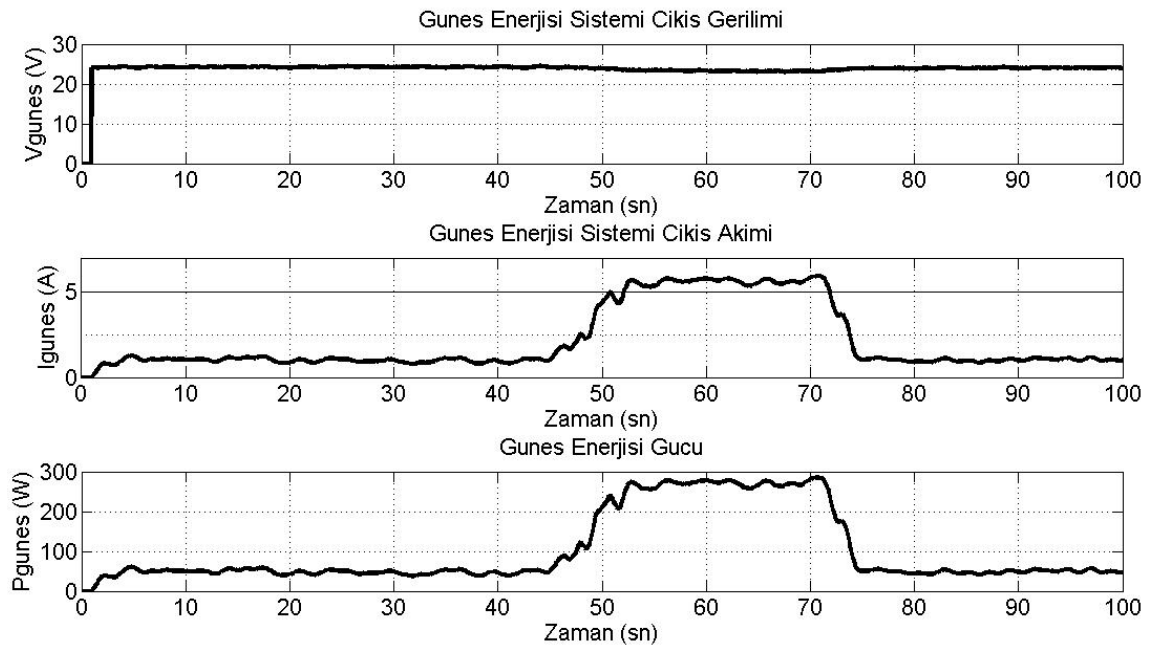
Şekil 3.35 ile Şekil 3.44 arasında, yük olarak kullanılan ampullerin yanına bir adet asenkron motor eklenerek sistem tekrar çalıştırılmıştır ve elde edilen sonuçlar çizdirilmiştir. Böylece omik yük ile birlikte endüktif yük de sisteme eklenerek farklı tipteki yük durumunda sistemin davranışı ayrıntılı olarak incelenmiştir. Burada da gelişmiş enerji yönetim programı kullanılmıştır.

Şekil 3.35’de RES’den elde edilen akım, gerilim ve güç değerlerinin değişimi görülmektedir. Özellikle $t=50-70$ sn aralığında rüzgar hızının çok düşmesi nedeniyle oldukça az gerilim üretilmektedir.



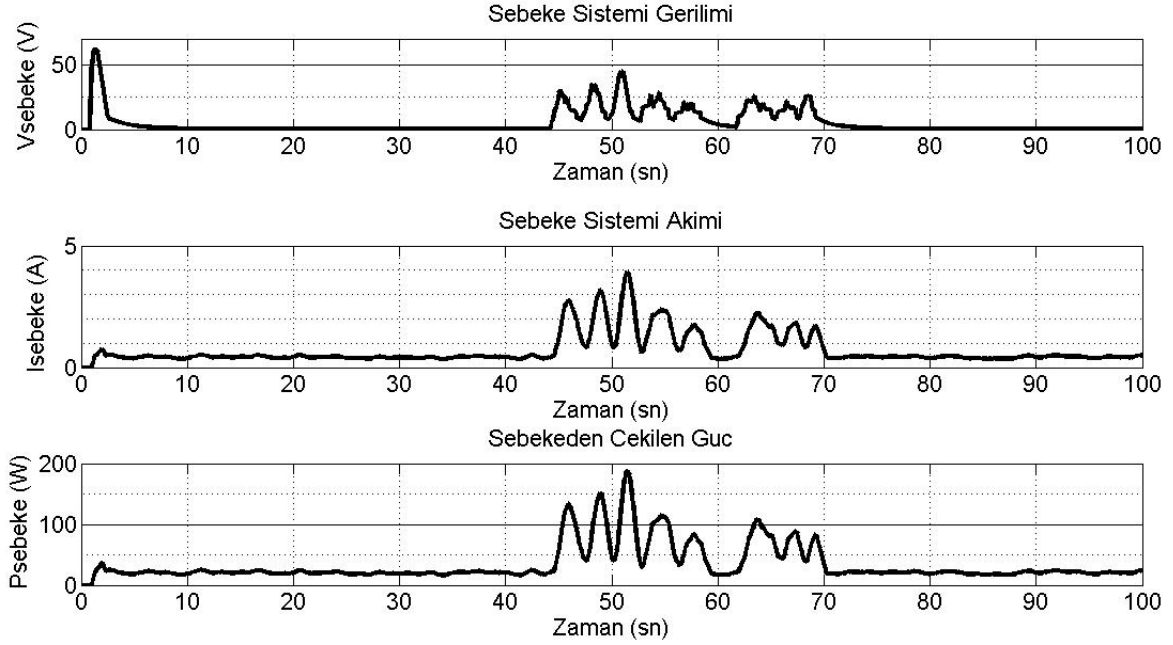
Şekil 3.35. Rüzgar enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi

Şekil 3.36'da FV güneş panelleri sistemindeki elektriksel büyüklüklerin değişimi görülmektedir. FV güneş panelleri özellikle $t=45-70$ sn aralığında devrededir. Bu aralıkta RES yükleri besleyebilecek gücü üretmediği için FV güneş panelleri sistemi devrededir.



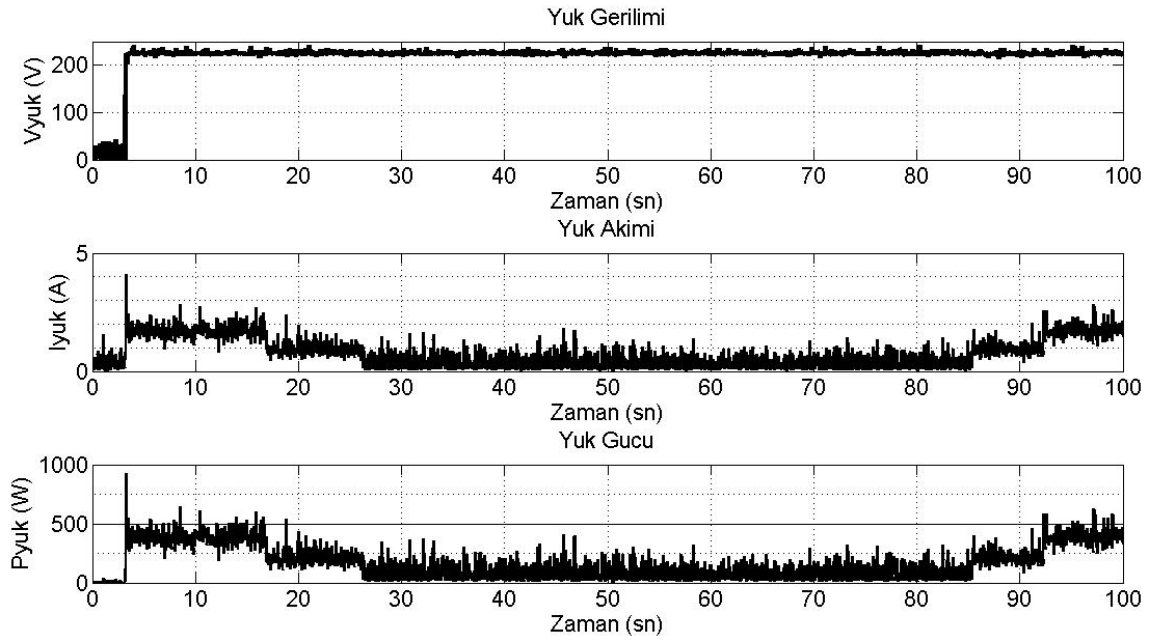
Şekil 3.36. Güneş enerji sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi

Şekil 3.37’de $t= 45-75$ sn aralığında şebeke sistemi FV güneş panelleri sistemine yardımcı olarak devreye girmiştir. Yük durumuna ve sistemdeki oynamalara göre şebekeden değişen oranda güç çekilmektedir.



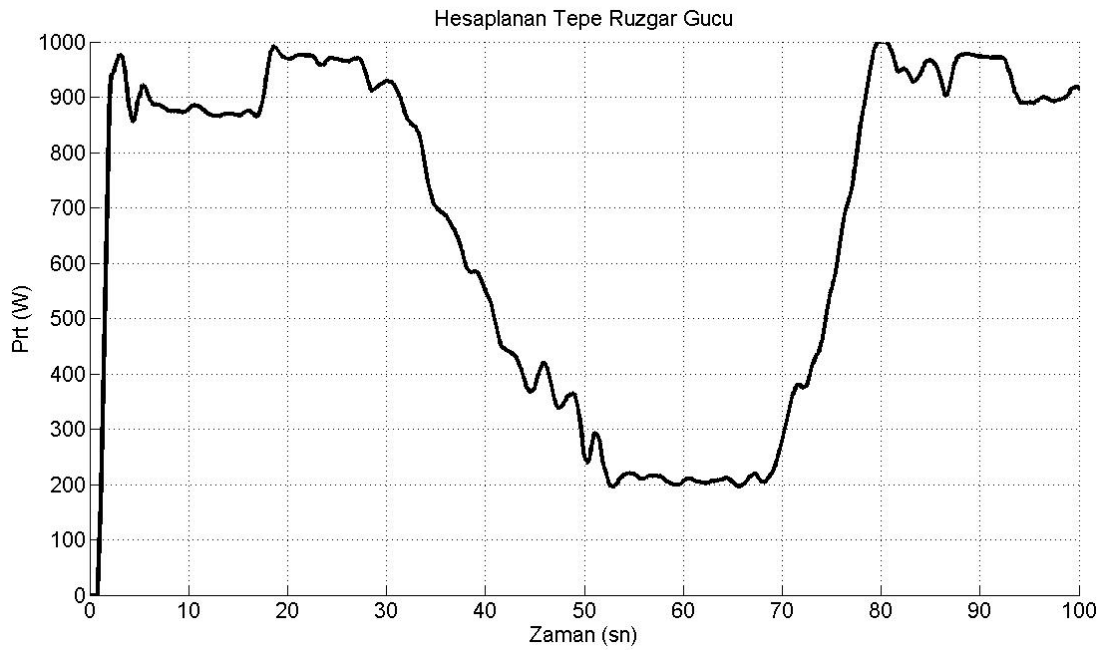
Şekil 3.37. Şebeke sisteminde akım, gerilim ve güç değişimi

Şekil 3.38’de yük üzerindeki akım, gerilim ve güç değişimleri görülmektedir. Bağlanan asenkron motor sürekli olarak devrededir. $t=3-18$ sn aralığında asenkron motor ile birlikte 200W’lık ampullerde yük olarak çalışmaktadır. Daha sonra yük miktarı azaltılarak $t=27-85$ sn aralığında asenkron motor yalnız olarak çalıştırılmıştır. Bu esnada rüzgar hızı sürekli olarak değişmektedir. Yük gerilimi 220V alternatif akımdır ve yük durumuna göre farklı miktarda akım sistemden çekilmektedir.



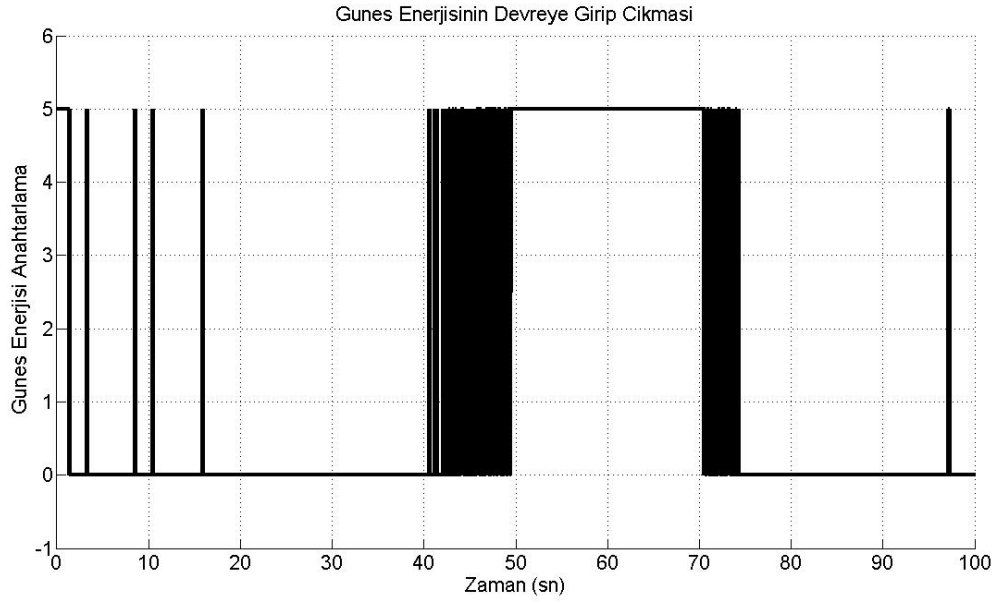
Şekil 3.38. Yük üzerindeki akım, gerilim ve güç değişimi

Şekil 3.39’da RES’den çekilebilecek tepe güç değerinin değişimi görülmektedir. Özellikle $t=50-70$ sn aralığında rüzgar hızı çok düştüğü için üretilebilen güç miktarı 200W değerine kadar azalmıştır.

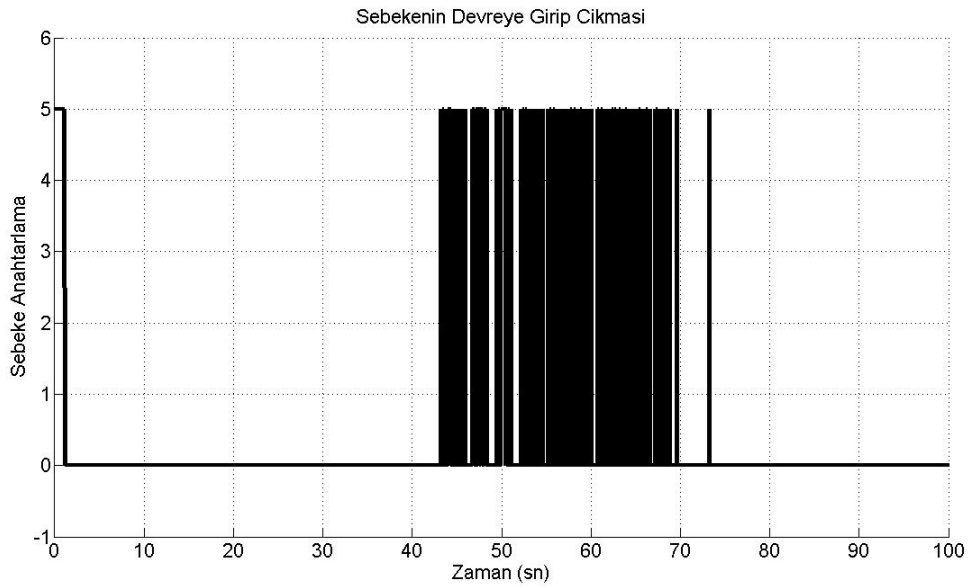


Şekil 3.39. BMS çıkışında RES’den elde edilebilecek tepe güç değerinin değişimi

Şekil 3.40’da ve Şekil 3.41’de FV güneş panelleri ve şebeke sisteminin devreye girip çıkma durumları görülmektedir. $t=40-70$ sn aralığında FV güneş panelleri sistemi ve $t=43-70$ sn aralığında şebeke sistemi devrededir. Bu aralıkta yüklerin enerjisiz kalmasının engellenmesi için RES’e yardımcı olarak devreye girmektedirler.

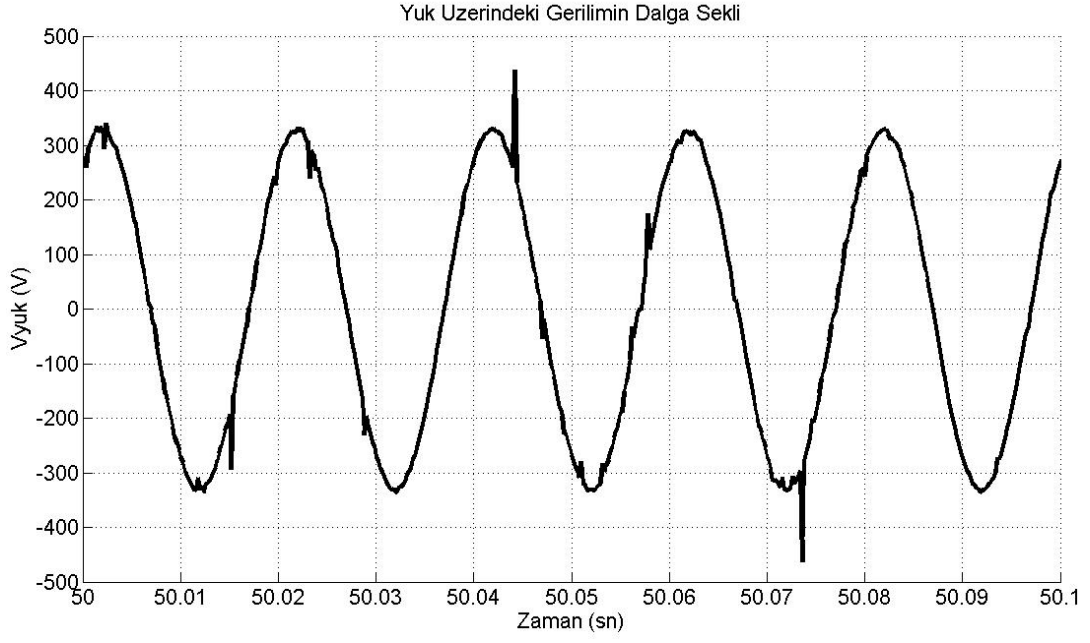


Şekil 3.40. Güneş enerjisinin rüzgar gücünün yetmediği durumda devreye girip çıkması



Şekil 3.41. Şebekenin devreye girip çıkması

Şekil 3.42’de ise yük üzerindeki gerilimin dalga şeklinin ayrıntısı görülmektedir. Asenkron motor gibi elemanlar harmoniğe neden olmalarına rağmen oldukça temiz bir sinüs grafiği elde edilmektedir. İşaret az miktarda bozulmaya sahiptir.

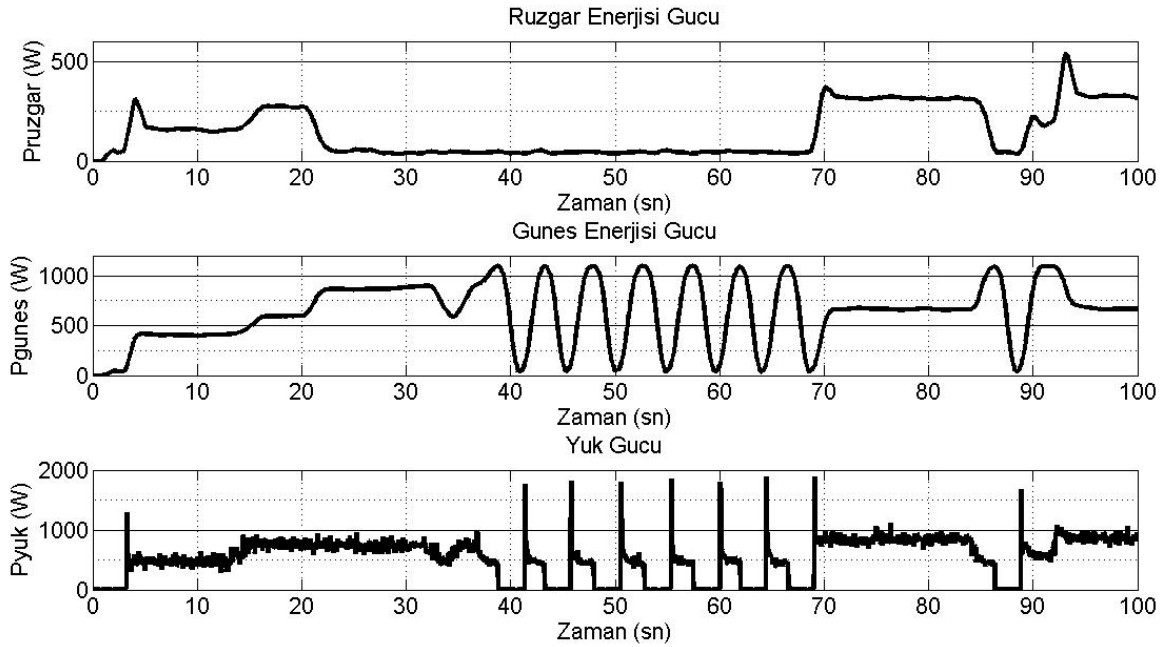


Şekil 3.42. Yük üzerindeki gerilimin dalga şekli

4.TARTIŞMA

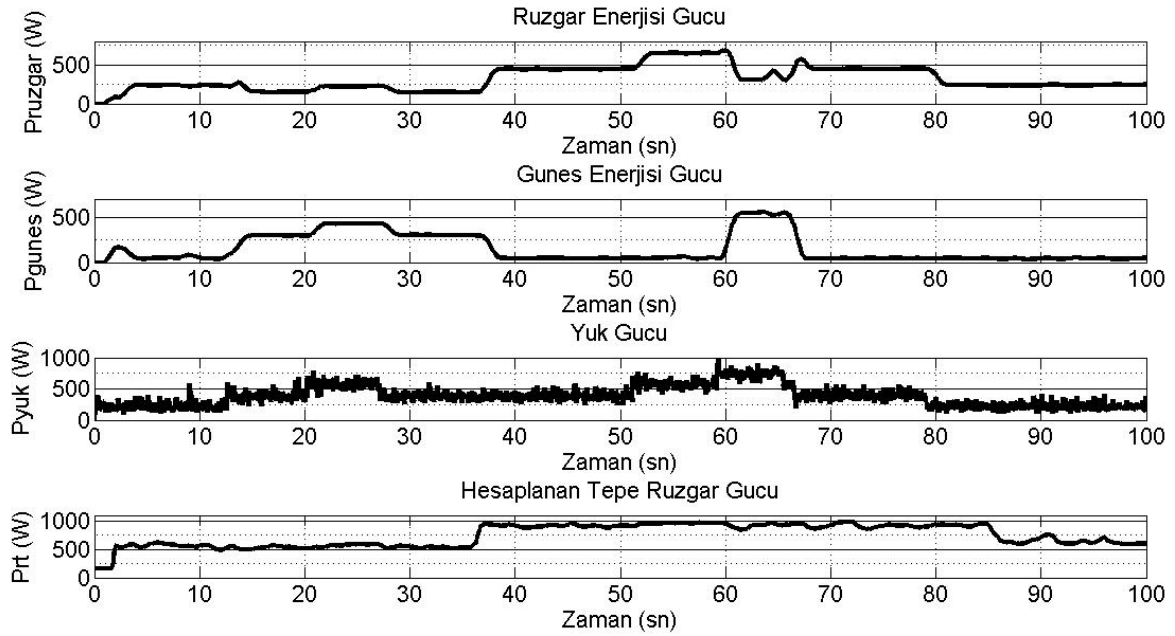
Şekil 4.1’de görüldüğü gibi FV güneş panelleri ve RES’de kontrolsüz çalışmada yüklerin yeterli güç olmasına rağmen zaman zaman enerjisiz kaldığı görülmektedir. Ayrıca zaman zaman kontrolsüz çalışma nedeniyle evirici devreden çıkmaktadır. Bu durumda eviricinin kapatılıp tekrar çalıştırılması gerekmektedir. Bu istenmeyen durumların ortadan kaldırılması için enerji yönetim yazılımına ihtiyaç vardır.

Enerji yönetim yazılımının en önemli parçalarından bir tanesi RES’den elde edilebilecek tepe güç değerinin hesaplanmasıdır. Bu değer ortamdan herhangi bir ölçüm değeri alınmadan sadece sisteme ait akım ve gerilim değerlerinin ölçülerek yapılması ile tespit edilmektedir. Bilindiği gibi rüzgar hızının değiştiği durumlarda üretilen güç miktarı da değişmektedir. Fakat tasarlanan program çekilen yükten ve rüzgar hız değerinden bağımsız olarak RES’in verebileceği tepe güç değerini doğru bir şekilde belirleyebilmektedir. Bunun için bulanık mantık temelli bir alt yazılım geliştirilmiştir.

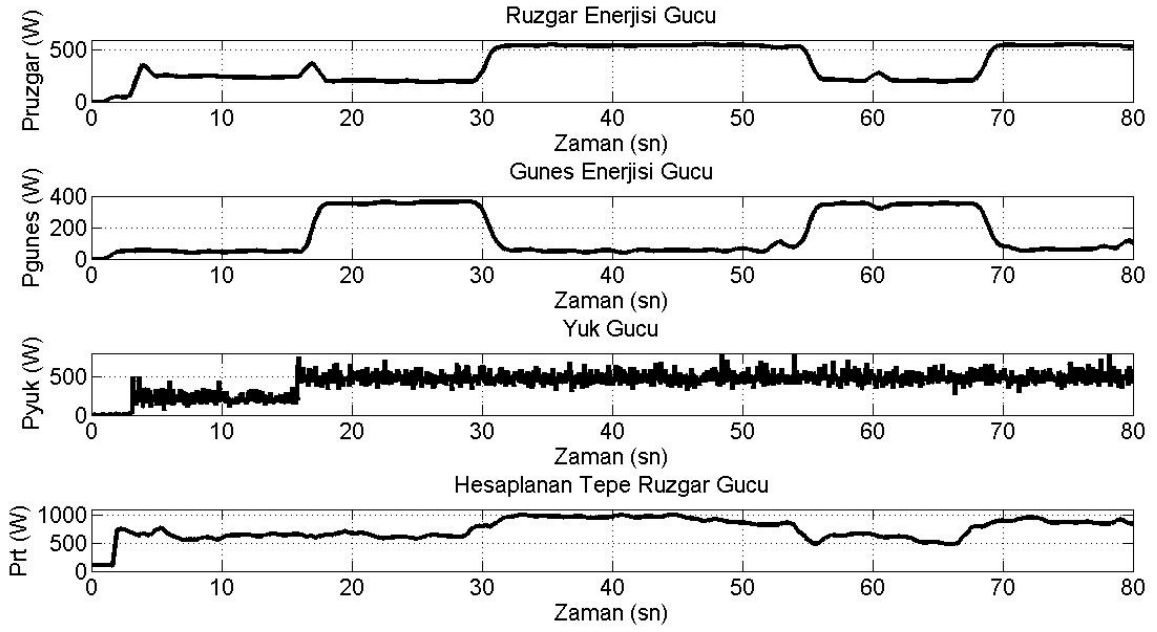


Şekil 4.1. Kontrolsüz çalışan sistemde güç değişimleri

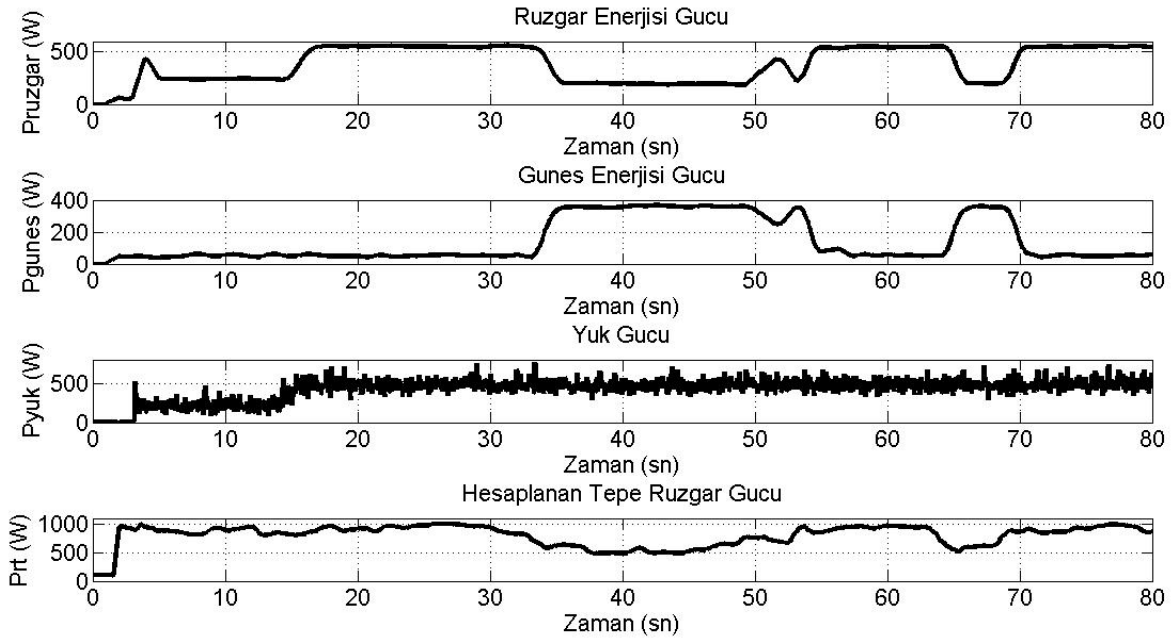
Şekil 4.2 ve Şekil 4.4 arasında RES ve FV güneş panelleri sisteminde yapılan denemelerde elde edilen rüzgar enerji sisteminin gücü, FV güneş panelleri sisteminin gücü, yük gücünün değişimi ve RES'den elde edilebilecek tepe güç değerlerinin değişimi bir arada görülmektedir. Kullanılan enerji yönetim yazılımı gerekli anahtarlama yapılarak gerektiği durumda FV güneş panelleri sistemini devreye alarak yüklerin enerjisiz kalmasını engellemektedir. Dikkat edilirse yük üzerindeki güç değişimlerinde devamlılık bulunmaktadır. Programın çalışmadığı durumda, yük olmasına rağmen yük kısmının gücü sıfır değerine düşmektedir. Ayrıca enerji yönetim sistemindeki 300W'lık garanti güç 300W'lık ani yük değişimlerini yük kısmına yansıtmadan gerekli gücü yüklerle aktarabilecek şekilde gerekli hesaplama ve kontrolleri yapmaktadır.



Şekil 4.2. Güneş-rüzgar sisteminde enerji yönetim programındaki güç değişimleri



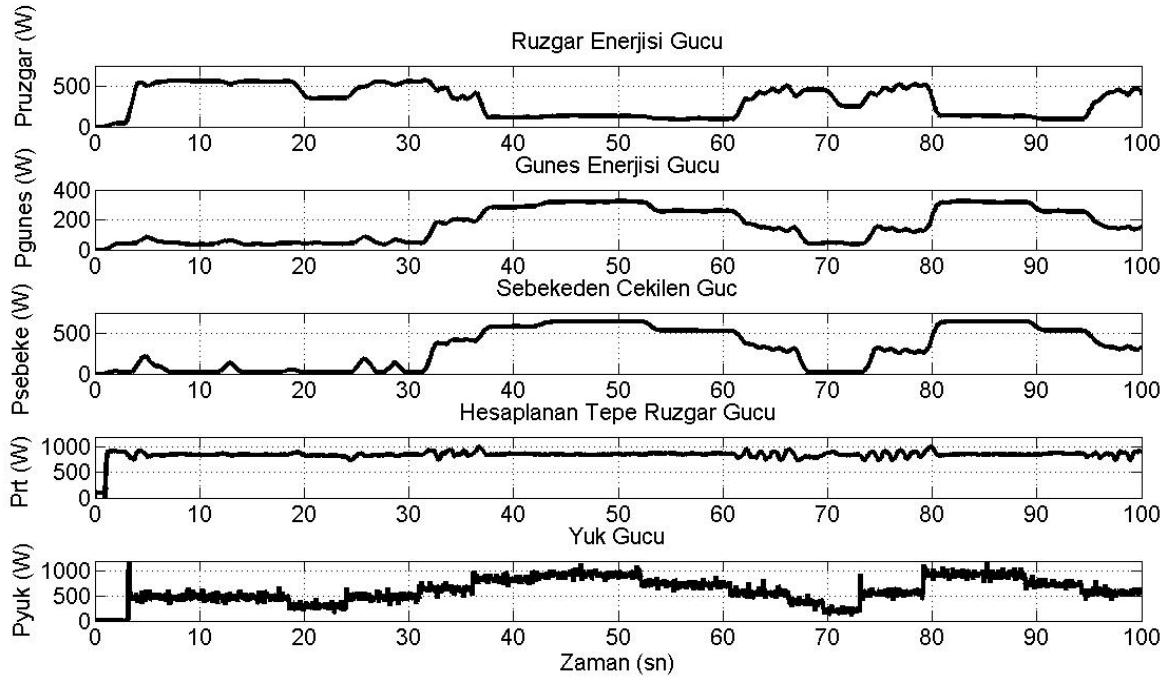
Şekil 4.3. Farklı bir denemede güneş-rüzgar enerji üretim sisteminde enerji yönetim programındaki güç değişimleri



Şekil 4.4. Değişik bir zamanda yapılan güneş-rüzgar enerji üretim sisteminde enerji yönetim programındaki güç değişimleri

RES ve FV güneş panelleri sistemi; rüzgarın olmadığı ve akülerin boşaldığı durumda yükleri besleyememektedir. Bu durumu ortadan kaldırmak için şebekeye yakın yerlerdeki sistemler için ayrıca ana sistemin yapısını bozmayan bir şebeke bağlantısı sisteme ilave

edilmiştir. Böylece rüzgarın olmadığı ve akülerin tamamen boşaldığı durumda yüklerin enerjisiz kalmaması sağlanmaya çalışılmıştır. Şekil 4.5 ile Şekil 4.7 arasında şebeke bağlantısı yapılan sistemden alınan sonuçlar görülmektedir. Bu şekillerde rüzgar enerji sisteminin gücü, FV güneş panelleri sisteminin gücü, şebeke sisteminden çekilen güç, yük gücünün değişimi ve RES'den elde edilebilecek tepe güç değerlerinin değişimi bir arada görülmektedir. Enerji yönetim yazılımı önce rüzgarın tepe güç değerini hesaplayarak garanti güç ile birlikte yükleri besleyip besleyemediğine bakmaktadır. Bunu sağlayamıyorsa FV güneş panelleri sistemini devreye almaktadır. Enerji yönetim yazılımı; RES, FV güneş panelleri sistemi ve garanti güç değerlerinin toplamına bakarak o anki tüketilen güç miktarına göre şebeke sistemini devreye alıp almama konusunda bir karar vermektedir. Alınan bu kararlara göre gerekli anahtarlama işlemleri ile istenen sistemler devreye alınmakta ya da devreden çıkarılmaktadır.

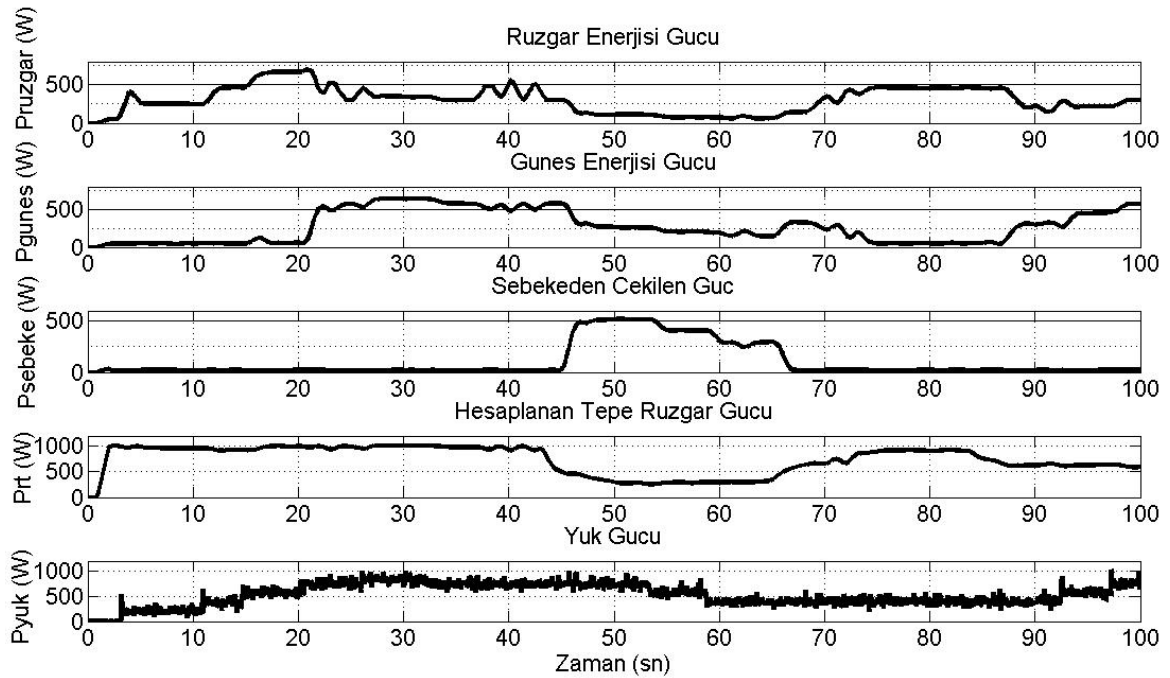


Şekil 4.5. Güneş-rüzgar-şebeke sisteminde basit enerji yönetim programında omik yük durumunda güç değişimleri

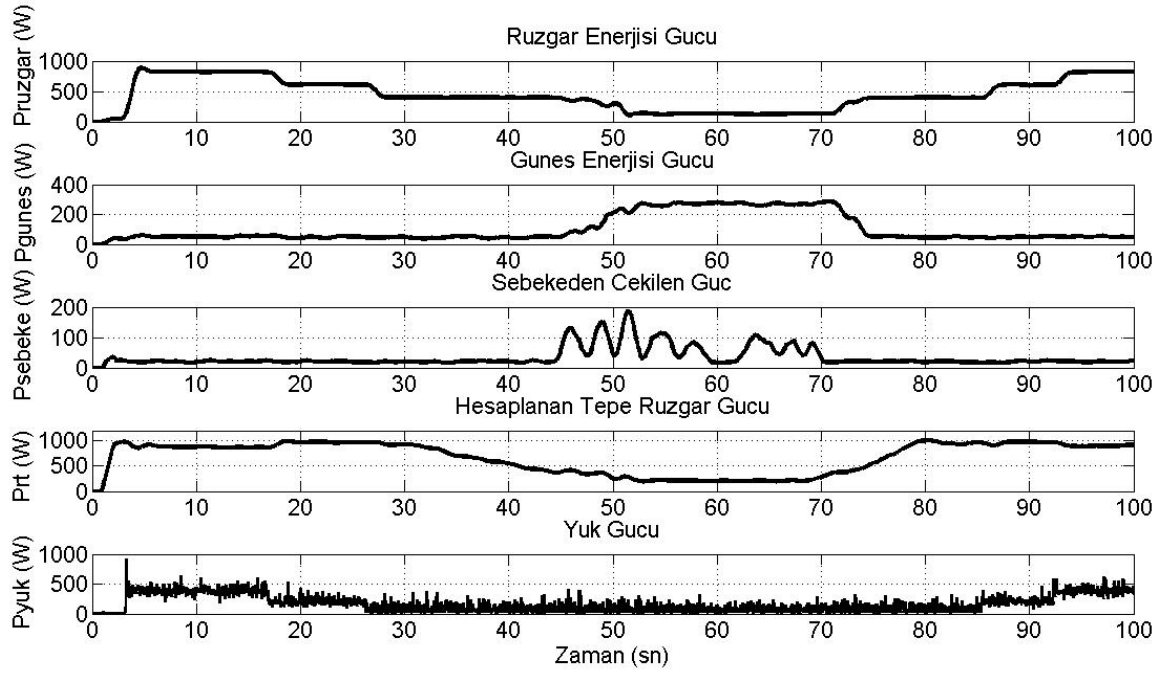
Burada hem basit bir enerji yönetim yazılımı hem de gelişmiş bir enerji yönetim yazılımı kullanılarak değişik denemeler yapılmıştır. Basit enerji yönetim yazılımı FV güneş panelleri ile birlikte şebekeyi de aynı anda devreye almaktadır. Bu durumda bazen

RES daha fazla enerji verebilecekken gereksiz yere sistemin şebekeden beslenmesine neden olmaktadır. Aynı zamanda akülerin gereksiz yere kullanıldığı durumlar da ortaya çıkmaktadır. Mevsim şartları ve gece-gündüz durumları düşünüldüğünde akülerin doluluk oranlarının yüksek olması özellikle akşam olduğunda gereksiz yere şebekeden güç çekilmesine kısmi çözüm olabilir.

Şekil4.5’de ve Şekil 4.6’da yük olarak sadece ampullerin kullanıldığı durumda yapılan denemelerin sonuçları görülmektedir. Şekil 4.7’de ise omik yüklerle ilave olarak bir asenkron makina da yük olarak bağlanmıştır. Böylece bir miktar endüktif güç tüketilmesi de sağlanmaya çalışılmıştır.



Şekil 4.6. Güneş-rüzgar-şebeke sisteminde gelişmiş enerji yönetim programında sadece omik yük durumunda güç değişimleri



Şekil 4.7. Güneş-rüzgar-şebeke sisteminde gelişmiş enerji yönetim programında omik ve endüktif yük durumunda güç değişimleri

Enerji yönetim yazılımı omik yüklerde daha başarılıdır. Endüktif yüklerin bulunduğu durumda zaman zaman meydana gelen ani değişimler sıkıntılara neden olmaktadır. Bunun nedeni kurulan sistemde var olan eviricinin ani değişimlere yeterli cevap verebilecek yapıya sahip olmamasıdır. Hızlı değişimlere cevap verebilen bir evirici daha iyi sonuçlar verebilir.

Kurulan sistem akıllı şebekenin bir parçası olarak kullanılabilir. Akıllı şebekelere benzer olarak üretici ve tüketici tarafında sürekli olarak akım, gerilim ve güç gibi elektriksel bilgilerin ölçülerek bilgisayarda toplanması ve değerlendirilmesi işlemi gerçekleştirilmektedir. Sisteme internet üzerinden yapılacak bağlantı ile sisteme uzak noktalardan da istenen açma-kapama gibi işlemler bu kurulan deneysel sistemde rahatça gerçekleştirilebilir. Ayrıca sistemin gerekli kararları kendi kendine alabilmesi ile insan faktörü ortadan kaldırılarak tam otomasyona da rahatça geçilebilir. Kurulan sistem ve enerji yönetimi yazılımı ile küçük çaplı bir akıllı şebeke sistemi kurulduğunu rahatça söyleyebiliriz.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarında enerji yönetimi konusunda çalışılmıştır. RES'den ve FV güneş panellerinden enerjinin elde edilmesi ve bu enerjinin yük durumuna göre hangi kaynaktan besleneceğine karar verilmesine çalışılmıştır. Yüklerin enerjisiz kalmadan ve enerji üretim tarafındaki ani güç değişimlerini yüklerle hissettirmeyecek şekilde bir enerji yönetim programı yazılmış ve deneysel olarak elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Bu doğrultuda FV güneş panellerinde maksimum güç bir MGNİ cihazı ile elde edilmiş ve RES modelinde ise tasarlanan bulanık mantık temelli bir yazılım ile tepe güç değerinin tespit edilmesine çalışılmıştır. FV güneş panelleri sistemi, rüzgar enerji sistemi ve şebeke sisteminden alınan akım ve gerilim bilgileri bilgisayara aktarılmıştır. Bu değerler bilgisayarda değerlendirilerek gerekli açma ve kapama işlemleri bilgisayarın kontrolünde gerçekleştirilmiştir. Tüm bu işlemler enerji yönetim yazılımının kontrolünde yapılmaktadır.

Sistemin serbest olarak kontrolsüz çalıştığı durumda ortam şartlarındaki değişimlerde yüklerin zaman zaman enerjisiz kalabildiği ve ani güç değişimlerine gereken tepkiyi veremediği gözlemlenmiştir. Ayrıca yeterli rüzgar gücü olduğu durumda dahi FV güneş panelleri sisteminin devrede olmasının gereksiz yere akülerin kullanılmasına neden olduğu belirlenmiştir. Bu gibi durumları engellemek için enerji yönetim yazılımı geliştirilmiştir.

Güneşin ve rüzgarın olmadığı durumda aküler de boş ise bu durumda yükler enerjisiz kalacaktır. Bu duruma çözüm olarak şebekeye yakın yerlerde çalışıldığı durumda şebeke bağlantısı ile yüklerin enerjisiz kalması engellenmeye çalışılmıştır. Bu nedenle sistemin yapısını bozmadan ek olarak şebeke bağlantısı, FV güneş panelleri ve RES'e benzer olarak yapılmıştır. Böylece sistemin şebekeden bağımsız ve şebeke bağlantılı olarak çalışabilmesi olanağı getirilmiştir.

Şebeke bağlantısı durumunda şebekeden gereksiz yere güç çekilmesini engellemek ve bu nedenle oluşacak ekonomik kaybı azaltmak için daha gelişmiş bir enerji yönetim yazılımı tasarlanmış ve deneysel olarak etkinliği araştırılmıştır.

Ayrıca farklı sistemlerin bu şekilde ortak bir payda da rahatça birleştirilebilmesi farklı sistemlerin entegre edilmesi durumunda oluşabilecek sıkıntıları en aza indirmektedir. Bu sisteme güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve şebeke bağlantısının yanında dizel jeneratör,

dalga enerjisi, hidrojen enerjisi gibi kaynakların da rahatça bağlanabileceğini göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar sistemin ve enerji yönetim yazılımının iyi bir şekilde çalıştığını ve yük tarafında herhangi bir kesinti olmadan istenen enerjiyi temin edebildiğini göstermektedir. Enerji sağlayan kaynaklar arasındaki geçiş yük tarafında hissedilmemektedir. RES’de kullanılan BMS ile tepe rüzgar güç değerinin doğru hesaplanması sonucunda etkin bir enerji yönetimi yapılabilmektedir.

Kullanılan sistem bir nevi akıllı şebeke yapısındadır. Üretici ve tüketici tarafında yapılan akım ve gerilim ölçümleri bilgisayar destekli bir sistemde toplanmakta, değerlendirilmekte ve bu bilgilerin ışığında alınan kararlar sonucunda sistem kontrol edilmektedir. Kullanılan akıllı enerji yönetim yazılımı sistemi desteklemektedir. Burada ortamdaki herhangi bir ölçüm alınmadan sadece akım ve gerilim bilgilerinden yola çıkılarak rüzgar enerji sisteminden o anda elde edilebilecek tepe güç değerinin belirlenmesi aynı zamanda ortamdaki alınacak ölçümler nedeniyle hem işlerin zorlaşmasını engellemekte hem de veri çeşidi ve karmaşıklığına son vermektedir. Bu açıdan bakıldığında akıllı şebekenin rahatça bir parçası olabilecek niteliktedir.

Enerji yönetim yazılımının tamamı Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. BMS’nin tamamı Simulink’in içerisinde bulunan bloklar kullanılarak tasarlanmıştır. Çizdirilen grafikler kullanıcıya sistemi izleme de kolaylık sağlamaktadır. İstenen değerlerin rahatça değiştirilebilmesi enerji yönetim yazılımının kolayca kullanılabilmesini sağlamaktadır. Yazılım kolay anlaşılır ve geliştirilebilir bir yapıdadır.

6. ÖNERİLER

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımı için bir enerji yönetim yazılımı tasarlanmış ve deneysel olarak test edilmiştir. Enerji yönetim yazılımında RES'den o an çekilebilecek tepe güç değeri bir BMS ile anlık olarak hesaplanmıştır. Kurulan bu sistemin daha iyi ve verimli çalışabilmesi için şunlar yapılabilir:

- Sistemdeki ana bara doğru akım barasıdır. Ana bara doğru akım yerine alternatif akım olsa daha iyi olur. Bunun nedeni düşük doğru akım (48V) değerinde yüksek güç için akımın yüksek olması gerekir. Bu durumda hem kablo kesitleri artmakta hem de kablolar ısınmaktadır. Bu nedenle kayıplar artmakta ve yüksek akımda kontrol gereken uygulamalarda sıkıntılar doğmaktadır. Maliyetler gereksiz yere artmaktadır. Alternatif akımda çalışmak bu problemleri azaltabilir.
- Kullanılan doğru akım barasının kısa olması parazitik etkileri ve kayıpları azaltmaktadır. Hattın mümkün olduğunca kısa tutulması tavsiye edilir.
- Sisteme hidrojen enerjisi, dizel motor, dalga enerjisi gibi kaynaklar eklenebilir. Bu durumda enerji yönetim yazılımı daha karmaşık olur.
- Daha farklı enerji yönetim yazılımları düşünülebilir. Anlık enerji yönetimi ve sistem kontrolünün yanında mevsimlik ya da senelik enerji yönetim yazılımları ile farklı zamanlarda farklı programlar çalıştırılmak suretiyle daha etkin bir sistem kullanımı mümkün olabilir.
- Garanti güç miktarı istenildiği gibi değiştirilebilir. Kurulan sistemde üretilen gücün %30'luk kısmı garanti güç olarak tutulmaktadır. Bu oran duruma göre ve kurulu güce göre değiştirilebilir.
- Sistem gücü istendiği taktirde 3kW değerine kadar yükseltilebilir. Bunun nedeni evirici gücünün 3kW olmasıdır. RES 2kW, FV güneş panelleri sistemi 3kW ve şebeke sistemi istenirse daha fazla enerji verebilecek şekilde yapılabilir. Sistemin kurulu gücü ihtiyaca göre arttırılabilir.
- Yük üzerindeki gerilimin genlik ve frekansının istenen standartta olması çok önemlidir. Bu nedenle yüklere filtre eklenebilir. Böylece endüktif gücün bulunduğu durumda sistem daha rahat çalışabilir.

- Sistemde daha iyi bir evirici kullanılması ile çok daha kolay ve sıkıntısız enerji yönetimi yapılabilir. Eğer şebeke etkileşimli bir evirici kullanılıyorsa bu tipteki cihazların şebekeye tam bağlantısı zaman almaktadır. Bu durumda yüklerin enerjisiz kalması ihtimal dahilindedir. Tasarımda bu konu dikkate alınmalıdır.
- Şebeke bağlantısı, hızlı çalışan bir senkronoskop ile yapılabilir. Böylece şebeke bağlantısı ile ilgili güç sınırlaması ve maliyet daha da düşebilir. Benzer olarak bağlantı süresi böyle bir sistemde de dikkate alınmalıdır.
- Daha fazla enerji üreterek sistem daha güçlü hale getirilebilir. Bu nedenle FV güneş panellerinden daha fazla verim alabilmek için yoğunlaştırıcı kullanılabilir. Aynı zamanda FV güneş panellerini hareketli yaparak ve güneşi takip etmesi sağlanarak gün içerisinde daha çok enerji üretilebilir. Bu akülerin daha hızlı dolmasını sağlar.
- Daha farklı MGNİ teknikleri kullanılarak daha verimli sistemler tasarlanabilir.
- Aküler için şarj yüzdesi hesaplaması ve denetimi yaparak daha farklı enerji yönetim yazılımları tasarlanabilir.
- RES'den elde edilen tepe güç değerini daha doğru hesaplayabilmek için yapay sinir ağları ya da genetik algoritmalar gibi teknikler kullanılabilir.
- Daha hızlı çalışan güç elektroniği çeviricileri kullanılarak daha hızlı cevap verebilen bir sistem tasarlanabilir. Bu durumda enerji yönetim yazılımı daha verimli olabilir.

7. KAYNAKLAR

1. Quasching, V., Understanding Renewable Energy Systems, Earthscan Company, England, 2005.
2. Ackermann, T., Wind Power in Power Systems, John Wiley and Sons LTD, England, 2005.
3. Akova, İ., Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2008.
4. Kocatepe, C., Uzunoğlu, M., Yumurtacı, R., Karakaş, A. ve Arıkan, O., Elektrik Tesislerinde Harmonikler, Birsen Yayınevi, 2003.
5. ESRAM, T. and Chapman, P., L., Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques, IEEE Transactions on Energy Conversion, 22,2 (2007) 439-449.
6. Masters, G., M., Renewable and Efficient Electric Power Systems, John Wiley and Sons, United States of America, 2004.
7. Luque, A. and Hegedus, S., Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, John Wiley and Sons, England, 2003.
8. Zadeh, L., A., Fuzzy Sets, Information and Control, 8 (1965) 338-353.
9. Jang, J., S., R., Sun, C., T. and Mizutani, E., Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence, Prentice Hall, 1996.
10. Engin, M. ve Çolak, M., Güneş-Rüzgar Hibrid Enerji Üretim Sisteminin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11,2 (2005) 225-230.
11. Sefa, İ., Demirtaş, M., Çolak, İ. ve Uğur, D., Hibrit Enerji Kaynakları için Paralel Çalışabilen Yükselten Dönüştürücü Benzetimi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Mayıs 2009, Karabük, Türkiye, 1-6.
12. Bernal-Agustín, J., L., Dufo-López, R., Domínguez-Navarro, J., A. and Yusta-Loyo, J., M., Optimal Design of a PV-Wind System for Water Pumping, The International Conference on Renewable Energies and Power Quality, March 2008, Santander, 1-6.
13. Thiaux, Y., Seigneurbieux, J., Multon, B., Ahmed, H., B. and Miller, D., Single Phase AC Power Load Profile Emulator, The International Conference on Renewable Energies and Power Quality, March 2008, Santander.

14. Rao, V., V. and Chinnagounder, C., Analysis of Hybrid Power Systems, First Asia International Conference on Modelling and Simulation, March 2007, Phuket, 48-52.
15. Chen, Y., M., Cheng., C., S. and Wu, H., C., Grid-Connected Hybrid PV/Wind Power Generation System with Improved DC Bus Voltage Regulation Strategy, Twenty-First Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, March 2006, Dallas, USA, 1088-1094.
16. Kim, S., K., Kim, E., S. and Ahn., J., B., Modeling and Control of a Grid-Connected Wind/PV Hybrid Generation System, IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition, May 2006, Dallas, TX, 1202-1207.
17. Vechium, I., Camblong, H., Tapia, G., Curea, O. and Dakyo, B., Modelling and Control of Four-Wire Voltage Source Inverter Under Unbalanced Voltage Condition for Hybrid Power System Applications, European Conference on Power Electronics and Applications, September 2005, Dresden, 1-10.
18. Shahirinia, A., H., Tafreshi, S., M., M., Gastaj, A., H. and Moghaddomjoo, A., R., Optimal Sizing of Hybrid Power System Using Genetic Algorithm, International Conference on Future Power Systems, November 2005, Amsterdam, 1-6.
19. Xu, D., Kang, L., Chang, L. and Cao, B., Optimal Sizing of Standalone Hybrid Wind/PV Power Systems Using Genetic Algorithms, Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, May 2005, Saskatoon, Sask., 1722-1725.
20. Uehara, A., Senjyu, T., Yona, A. and Funabashi, T., A Frequency Control Method by Wind Farm & Battery using Load Estimation in Isolated Power System, International Journal of Emerging Electric Power Systems, 11,2 (2010) 1-22.
21. Courtecuisse, V., Sprooten, J., Robyns, B., Petit, M., Francois, B. and Deuse, J., A Methodology to Design a Fuzzy Logic Based Supervision of Hybrid Renewable Energy Systems, Mathematics and Computers in Simulation, 81,2 (2010) 208-224.
22. Jebaraj, S. and Iniyan, S., A Review of Energy Models, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 10,4 (2006) 281-311.
23. Papadakis, K., Koutroulis, E. and Kalaitzakis, K., A Server Database System for Remote Monitoring and Operational Evaluation of Renewable Energy Sources Plants, Renewable Energy, 30,11 (2005) 1649-1669.
24. Chen, Y. and Wu, J., Agent-Based Energy Management and Control of a Grid-Connected Wind Solar Hybrid Power System, International Symposium on Electrical Machines and Systems, October 2008, Wuhan, 2362-2365.

25. Das, D., Esmaili, R., Xu, L. and Nichols, D., An Optimal Design of a Grid Connected Hybrid Wind/Photovoltaic/Fuel Cell System for Distributed Energy Production, 31st Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society, November 2005, USA, 1-6.
26. Calderon, M., Calderon, A., J., Ramiro, A. and Gonzales, J., F., Automatic Management of Energy Flows of a Stand-Alone Renewable Energy Supply with Hydrogen Support, International Journal of Hydrogen Energy, 35,6 (2010) 2226-2235.
27. Dali, M., Belhadj, J., Roboam, X. and Blaquiere, J., M., Control and Energy Management of a Wind-Photovoltaic Hybrid System, 2007 European Conference on Power Electronics and Applications, September 2007, Aalborg, 1-10.
28. Shengtie, W. and Zhiyuan, Q., Coordination Control of Energy Management for Stand-Alone Wind/PV Hybrid Systems, 4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, May 2009, Xi'an, 3240-3244.
29. Ammar, B., M., Chaabene, M. and Elhajjaji, A., Daily Energy Planning of a Household Photovoltaic Panel, Applied Energy, 87,7 (2010) 2340-2351.
30. Koutroulis, E. and Kalaitzakis, K., Development of an Integrated Data-Acquisition System for Renewable Energy Sources Systems Monitoring, Renewable Energy, 28,1 (2003) 139-152.
31. Rydh, C., J. and Sanden, B., A., Energy Analysis of Batteries in Photovoltaic Systems. Part I: Performance and Energy Requirements, Energy Conversion and Management, 46,11-12 (2005) 1957-1979.
32. Rydh, C., J. and Sanden, B., A., Energy Analysis of Batteries in Photovoltaic Systems. Part II: Energy Return Factors and Overall Battery Efficiencies, Energy Conversion and Management, 46,11-12 (2005) 1980-2000.
33. El-Shatter, T., F., Eskander, M., N. and El-Hagry, M., T., Energy Flow and Management of a Hybrid Wind/PV/Fuel Cell Generation System, Energy Conversion and Management, 47,9-10 (2006) 1264-1280.
34. Zhu, X. and Liao, Z., Energy Management for Stand-Alone PV System, International Colloquium on Computing Communication Control and Management, 4 (2009) 311-314.
35. Abbey, C. and Joos, G., Energy Management Strategies for Optimization of Energy Storage in Wind Power Hybrid System, IEEE 36th Power Electronics Specialists Conference, June 2005, Recife, 2066-2072.
36. Schouten, N., J., Salman, M., A. and Kheir, N., A., Energy Management Strategies for Parallel Hybrid Vehicles Using Fuzzy Logic, Control Engineering Practice, 11,2 (2003) 171-177.

37. Figueiredo, J. and Martins, J., Energy Production System Management – Renewable Energy Power Supply Integration with Building Automation System, Energy Conversation and Management, 51,6 (2010) 1120-1126.
38. Seme, S., Štumberger, G. and Voršič, J., Energy Storage Device as a Part of Electric Energy Production System Based on Renewable Energy Sources, International Conference on Renewable Energies and Power Quality, March 2008, Santander.
39. Ibrahim, H., Ilinca, A. and Perron, J., Energy Storage Systems—Characteristics and Comparisons, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12,5 (2008) 1221-1250.
40. Chaabene, M., Ammar, M., B. and Elhajjaji, A., Fuzzy Approach for Optimal Energy-Management of a Domestic Photovoltaic Panel, Applied Energy, 84,10 (2007) 992-1001.
41. Dali, M., Belhadj, J. and Roboam, X., Hybrid Solar–Wind System with Battery Storage Operating in Grid-Connected and Standalone Mode Control and Energy Management – Experimental Investigation, Energy, 35,6 (2010) 2587-2595.
42. Zhiyuan, Q., Shengtie, W., Guangchen, L. and Guizhen, T., Integrated Control of Energy Management for Stand-Alone PV System, Power and Energy Engineering Conference, March 2009, Asia – Pacific, 1-4.
43. Cull, R., C. and Eltimsahy, A., H., Investigation of Energy Management Strategies for Photovoltaic Systems - A Predictive Control Algorithm, American Control Conference, June 1983, San Francisco, USA, 393-398.
44. Divya, K., C. and Nagendra Rao, P., S., Models for Wind Turbine Generating Systems and Their Application in Load Flow Studies, Electric Power Systems Research, 76,9-10 (2006) 844-856.
45. Salah, C., B., Chaabene, M. and Ammar, M., B., Multi-Criteria Fuzzy Algorithm for Energy Management of a Domestic Photovoltaic Panel, Renewable Energy, 33,5 (2008) 993-1001.
46. Giannakoudis, G., Papadopoulos, A., I., Seferlis, P. and Voutetakis, S., Optimum Design and Operation under Uncertainty of Power Systems using Renewable Energy Sources and Hydrogen Storage, International Journal of Hydrogen Energy, 35,3 (2010) 872-891.
47. Fahmy, F., H., Optimum Design of Combination Renewable Energy Sources using Decomposition-Coordination Technique, IEEE International Symposium on Industrial Electronics, May 1992, Xian, China, 2, 539-542.

48. Kaldellis, J., K. and Zafirakis, D., Optimum Energy Storage Techniques for the Improvement of Renewable Energy Sources-Based Electricity Generation Economic Efficiency, Energy, 32,12 (2007) 2295-2305.
49. Wang, C. and Nehrir, M., H., Power Management of a Stand-Alone Wind/Photovoltaic/Fuel Cell Energy System, IEEE Transactions on Energy Conversation, 23,3 (2008) 957-967.
50. Ipsakis, D., Voutetakis, S., Seferlis, P., Stergiopoulos, F. and Elmasides, C., Power Management Strategies for a Stand-Alone Power System using Renewable Energy Sources and Hydrogen Storage, International Journal of Hydrogen Energy, 34,16 (2009) 7081-7095.
51. Georgilakis, P., S. and Katsigiannis, Y., A., Reliability and Economic Evaluation of Small Autonomous Power Systems Containing only Renewable Energy Sources, Renewable Energy, 34,1 (2009) 65-70.
52. Belur, R. and Langari, R., Supervisory Control of an Energy Management Control System via Fuzzy Logic, Third International Conference on Industrial Fuzzy Control and Intelligent Systems, December 1993, Houston, USA, 120-122.
53. Kana, C., L., Thamodharan, M. and Wolf, A., System Management of a Wind-Energy Converter, IEEE Transactions on Power Electronics, 16,3(2001) 375-381.
54. Li, G., Chen, Y. and Li, T., The Realization of Control Subsystem in the Energy Management of Wind/Solar Hybrid Power System, 3rd International Conference on Power Electronics Systems and Applications, May 2009, Hong Kong, 1-4.
55. Yang, J., M., Cheng, K., W., E., Wu, J., Dong, P. and Wang, B., The Study of the Energy Management System Based-On Fuzzy Control for Distributed Hybrid Wind-Solar Power System, First International Conference on Power Electronics Systems and Applications, November 2004, Hong Kong, 113-117.
56. Calderon, M., Calderon, A., J., Ramiro, A. and Gonzales, J., F., Weather Data and Energy Balance of a Hybrid Photovoltaic-Wind System with Hydrogen Storage, International Journal of Hydrogen Energy, 35,15 (2010) 7706-7715.
57. Zahedi, A., A New Approach in Size Optimization and Performance Prediction of Photovoltaic-Hybrid Power Systems, Twenty-Eighth IEEE Photovoltaic Specialists Conference, September 2000, Anchorage, USA, 1548-1551.
58. Seenumani, G., Sun, J. and Peng, H., A Numerically Efficient Iterative Procedure for Hybrid Power System Optimization Using Sensitivity Functions, Proceedings of the 2007 American Control Conference, July 2007, New York City, USA, 4738-4743.

59. Mellit, A., Kalogirou, S., A., Hontoria, L. and Shaari, S., Artificial Intelligence Techniques for Sizing Photovoltaic Systems: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13,2 (2009) 406-419.
60. Li, C., H., Zhu, X., J., Cao, G., Y., Sui, S. and Hu, M., R., Dynamic Modeling and Sizing Optimization of Stand-Alone Photovoltaic Power Systems using Hybrid Energy Storage Technology, Renewable Energy, 34,3 (2009) 815-826.
61. Huang, W., Z., Zaheeruddin, M. and Cho, S., H., Dynamic Simulation of Energy Management Control Functions for HVAC Systems in Buildings, Energy Conversion and Management 47,7-8 (2006) 926-943.
62. Thounthonga, P., Chunkag, V., Sethakul, P., Sikkabut, S., Pierfederici, S. and Davat, B., Energy Management of Fuel Cell/Solar Cell/Supercapacitor Hybrid Power Source, Journal of Power Sources, 196,1 (2011) 313-324.
63. Zahran, M., Hanafy, A., Mahgoub, O. and Kamel, M., FLC Based Photovoltaic Battery Diesel Hybrid System Management and Control, Twenty-Eighth IEEE Photovoltaic Specialists Conference, September 2000, Anchorage, USA, 1607-1610.
64. Muljadi, E. and Bialasiewicz, J., T., Hybrid Power System with a Controlled Energy Storage, 29th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, November 2003, USA, 1, 1296-1301.
65. Yu, D. and Yuvarajan, S., Load Sharing in a Hybrid Power System with a PV Panel and a PEM Fuel-Cell, Twenty-First Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, March 2006, Dallas, USA, 1-6.
66. Shahnia, F., Majumder, R., Ghosh, A., Ledwich, G. and Zare, F., Operation and Control of a Hybrid Microgrid Containing Unbalanced and Nonlinear Loads, Electric Power Systems Research, 80,8 (2010) 954-965.
67. Borowy, B., S. and Salameh, Z., M., Optimum Photovoltaic Array Size for a Hybrid Wind/PV System, IEEE Transactions on Energy Conversion, 9,3 (1994) 482-488.
68. Wakao, S., Ando, R., Minami, H., Shinomiya, F., Suzuki, A., Yahagi, M., Hirota, S., Ohhashi, Y. and Ishii, A., Performance Analysis of the PV Wind Wave Hybrid Power Generation System, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, May 2003, Osaka, Japan, 3, 2337-2340.
69. El-Shater, T., F., Power Management of PV Fuel Cell System, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, May 2003, Osaka, Japan, 3, 2389-2392.
70. Wang, L. and Singh, C., PSO-Based Multi-Criteria Optimum Design of a Grid-Connected Hybrid Power System with Multiple Renewable Sources of Energy, IEEE Swarm Intelligence Symposium, April 2007, Honolulu, HI, 250-257.

71. Valenciaga, F. and Puleston, P., F., Supervisor Control for a Stand-Alone Hybrid Generation System Using Wind and Photovoltaic Energy, IEEE Transactions on Energy Conversion, 20,2 (2005) 398-405.
72. Hakimi, S., M., Tafreshi, S., M., M. and Rajati, M., R., Unit Sizing of a Stand-Alone Hybrid Power System Using Model-Free Optimization, IEEE International Conference on Granular Computing, November 2007, Fremont, CA, 751-756.
73. Hakimi, S., M., Tafreshi, S., M. and Kashefi, A., Unit Sizing of a Stand-alone Hybrid Power System Using Particle Swarm Optimization (PSO), IEEE International Conference on Automation and Logistics August 2007, Jinan, China, 3107-3112.
74. Zhu, X., Xu, D., Wu, P., Shen, G. and Chen, P., Energy Management Design for a 5kW Fuel Cell Distributed Power System, Twenty-Third Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, February 2008, Austin, USA, 291-297.
75. Yumurtacı, M., Varbak, Neşe, S. ve Oğuz, Y., Rüzgar-Dizel Hibrit Güç Sisteminin Simulasyonu ve Güç Akışı Kontrolü, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Mayıs 2009, Karabük, Türkiye.
76. Jeong, K., S., Lee, W., Y. and Kim, C., S., Energy Management Strategies of a Fuel Cell Battery Hybrid, Journal of Power Sources, 145,2 (2005) 319-326.
77. Jiang, Z., Power Management of Hybrid Photovoltaic - Fuel Cell Power Systems, IEEE Power Engineering Society General Meeting, June 2006, Montreal, Que, 1-6.
78. Saadat, H., Power Systems Analysis, McGraw-Hill, 1999.
79. Harrington, S. and Dunlop, J., Battery Charge Controller Characteristics in Photovoltaic Systems, 7th Annual Battery Conference on Applications and Advances, January 1992, California, USA, 15-21.
80. Dijk, E., V., Klaassens, J., B., Spruijt, H., J., N. and O'Sullivan, D., M., Battery Charger Design for the Columbus MTF Power System, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 33,1 (1997) 29-37.
81. Singh, P., Rajagopalan, J., LaFollette, R., Fennie, C., Jr., Reisner, D., E., Fuzzy Logic-Based Solar Charge Controller for Microbatteries, Twenty-Eighth IEEE Photovoltaic Specialists Conference, September 2000, Anchorage, AK, 1726-1729.
82. Wills, R., H., Maximum Power Point Tracking Charge Controllers for Telecom Applications-Analysis and Economics, Twenty-Sixth IEEE Photovoltaic Specialists Conference, October 1997, Anaheim, CA, 1109-1112.

83. Grzesiak, W., MPPT Solar Charge Controller for High Voltage Thin Film PV Modules, IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, May 2006, Waikoloa, HI, 2, 2264-2267.
84. Dehbonei, H., Lee, S., R., Ko, S., H. and Nayar, C., V., A Control Approach and Design Consideration of PV/Diesel Hybrid Distributed Generation System Using Dual Voltage Source Inverter for Weak Grid, International Joint Conference, October 2006, Busan, 672-677.
85. Altaş, I., H., and Sharaf, A., M., A Fuzzy Logic Power Tracking Controller for A Photovoltaic Energy Conversion Scheme, Electric Power Systems Research Journal, 25,3 (1992) 227-238.
86. Altas, I., H. and Sharaf, A., M., Novel On-Line MPP Search Algorithm For PV Arrays, IEEE Transactions on Energy Conversion, 11,4 (1996) 748-754.
87. Altas, I., H. and Sharaf, A., M., Novel Maximum Power Fuzzy Logic Controller for Photovoltaic Solar Energy Systems, Renewable Energy, 33 (2008) 388-399.
88. Eminoğlu, I. and Altas, I., H., A Method To Form Fuzzy Logic Control Rules For A pmc Motor Drive System, Electric Power Systems Research Journal, 39,2 (1996) 81-87.
89. Mahmoud, A., M., A., Mashaly, H., M., Kandil, S., A., El Khashab, H. and Nashed, M., N., F., Fuzzy Logic Implementation for Photovoltaic Maximum Power Tracking, 9th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, September 2000, Roman, 155-160.
90. Weiss, H. and Xiao, J., Fuzzy System Control for Combined Wind and Solar Power Distributed Generation Unit, IEEE International Conference on Industrial Technology, December 2003, Maribor, Slovenia, 2, 1160- 1165.
91. Mashaly, H., M., Sharaf, A., M., Mansour, M., M. and El-Sattar, A., A., Implementation of an Artificial Neural Network Based Controller for a Photovoltaic Energy Scheme, IEEE World Congress on Computational Intelligence, IEEE International Conference on Neural Networks, June-July 1994, Orlando, FL, 4, 2545-2549.
92. Sera, D., Kerekes, T., Teodorescu, R. and Blaabjerg, F., Improved MPPT Algorithms for Rapidly Changing Environmental Conditions, 12th International Power Electronics and Motion Control Conference, August 2006, Portoroz, Slovenia, 1614-1619.
93. Hsiao, Y., T. and Chen, C., H., Maximum Power Tracking for Photovoltaic Power System, 37th IAS Annual Meeting Industry Applications Conference, October 2002, Rio de Janeiro, 2, 1035-1040.

94. Solodovnik, E., V., Liu, S., and Dougal, R., A., Power Controller Design for Maximum Power Tracking in Solar Installations, IEEE Transactions on Power Electronics, 19,5 (2004) 1295-1304.
95. Valentini, M., Raducu, A., Sera, D. and Teodorescu, R., PV Inverter Test Setup for European Efficiency, Static and Dynamic MPPT Efficiency Evaluation, 11th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, May 2008, Brasov, Romania, 433-438.
96. Hua, C. and Shen, C., Study of Maximum Power Tracking Techniques and Control of DC/DC Converters for Photovoltaic Power System, 29th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, May 1998, Fukuoka, Japan, 1, 86-93.
97. Chen, Y., Smedley, K., Vacher, F. and Brouwer, J., A New Maximum Power Point Tracking Controller for Photovoltaic Power Generation, Eighteenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, February 2003, Florida, USA, 1, 58-62.
98. Simoes, M., G., Franceschetti, N., N. and Friedhofer, M., A Fuzzy Logic Based Photovoltaic Peak Power Tracking Controller, IEEE International Symposium on Industrial Electronics, July 1998, South Africa, 1, 300-305.
99. Mashaly, H., M., Sharaf, A., M., Mansour, M. and El-Sattar, A., A., Photovoltaic Maximum Power Tracking using Neural Networks, Third IEEE Conference on Control Applications, August 1994, Glasgow, Scotland, 1, 167-172.
100. Torres, A., M., Antunes, F., L., M. and Reis, F., S., An Artificial Neural Network-Based Real Time Maximum Power Tracking Controller for Connecting a PV System to the Grid, 24th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, September 1998, Aachen, Germany, 1, 554-558.
101. Park, S., S., Jinda, A., K., Gole, A., M., Park, M. and Yu, I., K., An Optimized Sensorless MPPT Method for PV Generation System, Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, May 2009, St. John's, NL, 720-724.
102. Rashid, M., Power Electronics, Prentice Hall, USA, 1993.
103. Bingöl, O., Altıntaş, A. and Öner, Y., Microcontroller Based Solar-Tracking System, Pamukkale University Engineering College, Journal of Engineering Science, 12,2 (2006) 243-248.
104. Uyar, M., Gençoğlu, M., T. ve Yıldırım, S., Değişken Hızlı Rüzgar Türbinleri İçin Generatör Sistemleri, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Ekim 2005, Mersin, 173-178.
105. Petru, T. and Thiringer, T., Modeling of Wind Turbines for Power System Studies, IEEE Transactions on Power Systems, 17,4 (2002) 1132-1139.

106. Nurbay, N. ve Çınar, A., Rüzgar Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle Karşılaştırılması, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Ekim 2005, Mersin, 164-168.
107. Wildi, T., Electric Machines, Drives and Power Systems, Prentice-Hall, USA, 1997.
108. Krichen, L., Francois, B. and Ouali, A., A Fuzzy Logic Supervisor for Active and Reactive Power Control of A Fixed Speed Wind Energy Conversion System, Electric Power Systems Research, 78,3 (2008) 418-424.
109. Levi, E. and Liao, Y., W., An Experimental Investigation of Self-Excitation in Capacitor Excited Induction Generators, Electric Power Systems Research, 53,1 (2000) 59-65.
110. Ünal, S., Demir, Y. ve Özdemir, M., Asenkron Generatörün Uç Geriliminin Kontrolü İçin Uyarım Kondansatörünün Anahtarlanması, Elektrik-Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı, Aralık 2002, Bursa, 110-114.
111. Muljadi, E., Sallan, J., Sanz, M. and Butterfield, C., P., Investigation of Self-Excited Induction Generators for Wind Turbine Applications, Thirty-Fourth IAS Annual Meeting Industry Applications Conference, October 1999, Phoenix, USA, 1, 509-515.
112. Sürkan, R. ve Aras, F., Küçük Ölçekli Uygulamalar için Kendinden Uyarımlı İndüksiyon Generatörünün Elektronik Kontrollü Olarak Uyarım Kapasitesinin Belirlenmesi, Elektrik – Elektronik – Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Aralık 2002, Bursa, 80-84.
113. Calderaro, V., Galdi, V., Piccolo, A. and Siano, P., A Fuzzy Controller for Maximum Energy Extraction from Variable Speed Wind Power Generation Systems, Electric Power Systems Research, 78,6 (2008) 1109-1118.
114. Rao, S., S. and Murthy, B., K., A New Control Strategy for Tracking Peak Power in a Wind or Wave Energy System, Renewable Energy, 34,6 (2009) 1560-1566.
115. Pan, C., T. and Juan, Y., L., A Novel Scheme for Rapid Tracking of Maximum Power Point in Wind Energy Generation Systems, IEEE Transactions on Energy Conversion, 25,1 (2010) 207-216.
116. Agarwal, V., Aggarwal, R., K., Patidar, P. and Patki, C., A Novel Scheme for Rapid Tracking of Maximum Power Point in Wind Energy Generation Systems, IEEE Transactions on Energy Conversion, 25,1 (2010) 228-236.
117. Tafticht, T., Agbossou, K. and Cheriti, A., DC Bus Control of Variable Speed Wind Turbine using a Buck-Boost Converter, IEEE Power Engineering Society General Meeting, June 2006, Montreal, Que, 1-6.

118. Galdi, V., Piccolo, A. and Siano, P., Exploiting Maximum Energy from Variable Speed Wind Power Generation Systems by using an Adaptive Takagi–Sugeno–Kang Fuzzy Model, Energy Conversion and Management, 50,2 (2009) 413-421.
119. Lin, W., M. and Hong, C., M., Intelligent Approach to Maximum Power Point Tracking Control Strategy for Variable-Speed Wind Turbine Generation System, Energy, 35,6 (2010) 2440-2447.
120. Arifujjaman, Md., Iqbal, M., T., and Quaiocoe, J., E., Maximum Power Extraction from a Small Wind Turbine Emulator using a DC - DC Converter Controlled by a Microcontroller, 4th International Conference on Electrical and Computer Engineering, December 2006, Dhaka, Bangladesh, 213-216.
121. Adzic, E., Ivanovic, Z., Adzic, M. and Katic, V., Maximum Power Search in Wind Turbine Based on FLC, Acta Polytechnica Hungarica, 6,1 (2009) 131-149.
122. González, L., G., Figueres, E., Garcerá, G. and Carranza, O., Maximum-Power-Point Tracking with Reduced Mechanical Stress Applied to Wind-Energy-Conversion-Systems, Applied Energy, 87,7 (2010) 2304-2312.
123. Hong, Y., Y., Lu, S., D. and Chiou, C., S., MPPT for PM wind generator using gradient approximation, Energy Conversion and Management, 50,1 (2009) 82-89.
124. Lee, C., Y., Shen, Y., X., Cheng, J., C., Chang, C., W., and Li, Y., Y., Optimization Method Based MPPT for Wind Power Generators, World Academy of Science, Engineering and Technology, 60, July 2009.
125. Senjyu, T., Ochi, Y., Kikunaga, Y., Tokudome, M., Yona, A., Muhando, E., B., Urasaki, N. and Funabashi, T., Sensor-less Maximum Power Point Tracking Control for Wind Generation System with Squirrel Cage Induction Generator, Renewable Energy, 34,4 (2009) 994-999.
126. Munteanu, I., Bratcu, A., I. and Ceanga, E., Wind Turbulence used as Searching Signal for MPPT in Variable-Speed Wind Energy Conversion Systems, Renewable Energy, 34,1 (2009) 322-327.
127. Kamal, E., Koutb, M., Sobaih, A., A. and Abozalam, B., An Intelligent Maximum Power Extraction Algorithm for Hybrid Wind–Diesel Storage System, Electrical Power and Energy Systems, 32,3 (2010) 170-177.
128. Khan, M., J. and Iqbal, M., T., Analysis of a Small Wind-Hydrogen Stand-Alone Hybrid Energy System, Applied Energy, 86,11 (2009) 2429-2442.

129. Milanda, H., Glöckner, R., Taylor, P., Aaberg, R., J. and Hagend, G., Load Control of a Wind-Hydrogen Stand-Alone Power System, International Journal of Hydrogen Energy, 31,9 (2006) 1215-1235.
130. Li, H., Du, Z., Wang, K., Tolbert, L., M. and Liu, D., A Hybrid Energy System Using Cascaded H-bridge Converter, 41st IAS Annual Meeting IEEE Industry Applications Conference, October 2006, Tampa, FL, 198-203.
131. Khan, M., J. and Iqbal, M., T., Dynamic Modeling and Simulation of a Small Wind-Fuel Cell Hybrid Energy System, Renewable Energy, 30,3 (2005) 421-439.
132. Onar, O., C., Uzunoglu, M. and Alam, M., S., Dynamic Modeling, Design and Simulation of a Wind Fuel Cell/Ultra-Capacitor-Based Hybrid Power Generation System, Journal of Power Sources, 161,1 (2006) 707-722.
133. Zhou, T., Francois, B., Lebbal, M., E., H. and Lecoeuche, S., Modeling and Control Design of Hydrogen Production Process by Using a Causal Ordering Graph for Wind Energy Conversion System, IEEE International Symposium on Industrial Electronics, June 2007, Vigo, 3192-3197.
134. Mengi, O., Ö. ve Altaş, İ., H., Rüzgar Türbini/Yakıt Pili Karma Enerji Üretim Sisteminden Beslenen Yükler Üzerindeki Gerilimin Genliğinin Denetimi, Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Mayıs 2009, Kocaeli, 23-27.
135. Eren, S., Hui, J., C., Y., To, D. and Yazdani, D., A High Performance Wind-Electric Battery Charging System, Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, May 2006, Ottawa, Ont., 2275-2277.
136. Goikoetxea, A., Rodríguez, M., Binder, H. and Milo, A., Design of Control Strategies to Improve Grid Integration in Fixed Speed Wind Energy Systems with Battery Storage, The International Conference on Renewable Energies and Power Quality, March 2008, Santander, 1-7.
137. Meenakshi, S., Rajambal, K., Chellamuthu, C. and Elangovan, S., Intelligent Controller for a Stand-Alone Hybrid Generation System, IEEE Power India Conference, June 2006, New Delhi, 1-8.
138. Kolhe, M., Agbossou, K., Hamelin, J. and Bose, T., K., Analytical Model for Predicting the Performance of Photovoltaic Array Coupled with a Wind Turbine in a Stand-Alone Renewable Energy System Based on Hydrogen, Renewable Energy, 28,5 (2003) 727-742.
139. Nelson, D., B., Nehrir, M., H. and Wang, C., Unit Sizing of Stand-Alone Hybrid Wind/PV/Fuel Cell Power Generation Systems, IEEE Power Engineering Society General Meeting, June 2005, San Francisco, USA, 3, 2116-2122.

140. Das, D., Esmaili, R., Xu, L. and Nichols, D., An Optimal Design of a Grid Connected Hybrid Wind/Photovoltaic/Fuel Cell System for Distributed Energy Production, 31st Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society, November 2005, USA, 1-6.
141. Kolhe, M., Agbossou, K., Hamelin, J. and Bose, T., K., Analytical Model for Predicting the Performance of Photovoltaic Array Coupled with a Wind Turbine in a Stand-Alone Renewable Energy System Based on Hydrogen, Renewable Energy, 28,5 (2003) 727-742.
142. Rajashekara, K., Hybrid Fuel-Cell Strategies for Clean Power Generation, IEEE Transactions on Industry Applications, 41,3 (2005) 682-689.
143. Alam, M., S. and Gao, D., W., Modeling and Analysis of a Wind/PV/Fuel Cell Hybrid Power System in HOMER, 2nd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, May 2007, Harbin, 1594-1599.
144. Uzunoglu, M., Onar, O., C. and Alam, M., S., Modeling, Control and Simulation of a PV/FC/UC Based Hybrid Power Generation System for Stand-Alone Applications, Renewable Energy, 34,3 (2009) 509-520.
145. Onar, O., C., Uzunoglu, M. and Alam, M., S., Modeling, Control and Simulation of an Autonomous Wind Turbine Photovoltaic Fuel Cell Ultra-Capacitor Hybrid Power System, Journal of Power Sources, 185,2 (2008) 1273-1283.
146. Contino, R., Iannone, F., Leva, S. and Zaninelli, D., Hybrid Photovoltaic-Fuel Cell System Controller Sizing and Dynamic Performance Evaluation, IEEE Power Engineering Society General Meeting, October 2006, Montreal, Que, 1-6.
147. Mei, Q., Wu, W., Y. and XU, Z., L., A Multi-Directional Power Converter for a Hybrid Renewable Energy Distributed Generation System with Battery Storage, CES/IEEE 5th International Power Electronics and Motion Control Conference, August 2006, Shanghai, 3, 1-5.
148. Ji, C., Zhang, X., Zeng, G., He, B. and Zhou, X., Wind-Solar Complementary Power Supply System, Eighth International Conference on Electrical Machines and Systems, September 2005, Nanjing, 2, 1054-1057.
149. Ropp, M., E. and Gonzales, S., Development of a MATLAB/Simulink Model of a Single-Phase Grid-Connected Photovoltaic System, IEEE Transactions on Energy Conversion, 24,1 (2009) 195-202.
150. Chen, Y., M., Cheng, C., S. and Wu, H., C., Grid-Connected Hybrid PV Wind Power Generation System with Improved DC Bus Voltage Regulation Strategy, Twenty-First Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, March 2006, Dallas, USA, 1088-1094.

151. Chen, Y., M., Hung, S., C., Cheng, C., S. and Liu, Y., C., Multi-Input Inverter for Grid-Connected Hybrid PV/Wind Power System, Twentieth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, March 2005, Austin, TX, 2, 850-856.
152. Lu, B. and Shahidehpour, M., Short-Term Scheduling of Battery in a Grid-Connected PV/Battery System, IEEE Transactions on Power Systems, 20,2 (2005) 1053-1061.
153. Giraud, F. and Salameh, Z., M., Steady-State Performance of a Grid-Connected Rooftop Hybrid Wind-Photovoltaic Power System with Battery Storage, IEEE Transactions on Energy Conversion, 16,1 (2001) 1-7.
154. Ro, K. and Rahman, S., Two-Loop Controller for Maximizing Performance of a Grid-Connected Photovoltaic-Fuel Cell Hybrid Power Plant, IEEE Transactions on Energy Conversion, 13,3 (1998) 276-281.
155. Iov, F., Ciobotaru, M., Sera, D., Teodorescu, R. and Blaabjerg, F., Power Electronics and Control of Renewable Energy Systems, 7th International Conference on Power Electronics and Drive Systems, November 2007, Bangkok, Thailand, 6 – 28.
156. Papathanassiou, S., A., Vokas, G., A. and Papadopoulos, M., P., Use of Power Electronic Converters in Wind Turbines and Photovoltaic Generators, IEEE International Symposium on Industrial Electronics, July 1995, Athens, 1, 254-259.
157. Weiss, H. and Xiao, J., Fuzzy System Control for Combined Wind and Solar Power Distributed Generation Unit, IEEE International Conference on Industrial Technology, December 2003, Maribor, Slovenia, 2, 1160-1165.
158. Ahmed, N., A. and Miyatake, M., A Stand-Alone Hybrid Generation System Combining Solar Photovoltaic and Wind Turbine with Simple Maximum Power Point Tracking Control, CES/IEEE 5th International Power Electronics and Motion Control Conference, August 2006, Shanghai, 1, 1-7.
159. Zhang, F., Shi, Q., Wang, Y. and Wang, F., Simulation Research on Wind Solar Hybrid Power System Based on Fuzzy-PID Control, International Conference on Electrical Machines and Systems, October 2007, Seoul, Korea, 338-342.
160. Altas, I., H. and Mengi, O., O., A Fuzzy Logic Controller for a Hybrid PV/FC Green Power System, International Journal of Reasoning-Based Intelligent Systems, 2,3 (2010) 176-183.
161. Mengi, O., O. and Altas, I., H., A Fuzzy Logic Control for Wind/Battery Renewable Energy Production System, International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, June 2010, Kayseri, 229-233.

162. Mengi, O., Ö. ve Altaş, İ., H., Yakıt Pili Sistemlerinde Gerilim Genliğinin Bulanık Mantık Denetleyici ile Kontrolü, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Dergisi, 2, (2009) 32-47.
163. Tremblay, O., Dessaint, L., A. and Dekkiche, A., I., A Generic Battery Model for the Dynamic Simulation of Hybrid Electric Vehicles, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, September 2007, Dallas, USA, 284-289.
164. Ortjohann, E., Omari, O., Lingemann, M., Mohd, A., Hamsic, N., Sinsukthavorn, W. and Morton, D., An Online Control Strategy for A Modular DC Coupled Hybrid Power System, European Conference on Power Electronics and Applications, September 2007, Aalborg, Denmark, 1-10.
165. Omari, O., Ortjohann, E., Mohd, A. and Morton, D., An Online Control Strategy for DC Coupled Hybrid Power Systems, IEEE Power Engineering Society General Meeting, June 2007, Tampa, FL, 1-8.
166. Nair, N., K., C. and Garimella, N., Battery Energy Storage Systems Assessment for Small Scale Renewable Energy Integration, Energy and Buildings, 42,11 (2010) 2124-2130.
167. Yoshimoto, K., Nanahara, T., Koshimizu, G. and Uchida, Y., New Control Method for Regulating State-of- Charge of a Battery in Hybrid Wind Power Battery Energy Storage System, IEEE PES Power Systems Conference and Exposition, October-November 2006, Atlanta, GA, 1244-1251.
168. Dufo-López, R., Bernal-Agustín, J., L. and Contreras, J., Optimization of Control Strategies for Stand-Alone Renewable Energy Systems with Hydrogen Storage, Renewable Energy, 32,7 (2007) 1102-1126.
169. Knauff, M., C., Dafis, C., J., Niebur, D., Kwatny, H., G. and Nwankpa, C., O., Simulink Model for Hybrid Power System Test Bed, IEEE Electric Ship Technologies Symposium, May 2007, Arlington, VA, 421-427.
170. Hocaoğlu, F., O. and Kurban, M., A Preliminary Detailed Study on Constructed Hybrid (Wind-Photovoltaic) System Under Climatically Conditions of Eskisehir Region in Turkey, First International Power and Energy Conference, November 2006, Putrajaya, Malaysia, 40-43.
171. Barsoum, N., N. and Vacent, P., Balancing Cost, Operation and Performance in Integrated Hydrogen Hybrid Energy System, First Asia International Conference on Modelling & Simulation, March 2007, Phuket, 14-18.
172. Zahedi, A., Development of a Numerical Model for Evaluating the Performance of Renewable Generation Systems, IEEE Region 10 Conference on Computers, Communications, Control and Power Engineering, October 2002, 3, 1950-1953.

173. Su, W., F., Huang, S., J. and Lin, C., E., Economic Analysis for Demand-Side Hybrid Photovoltaic and Battery Energy Storage System, IEEE Transactions on Industry Applications, 37,1 (2001) 171-177.
174. Zahedi, A. and Wren, S., Performance Prediction of Photovoltaic Hybrid Power Systems, IEEE International Multi Topic Conference, December 2001, Pakistan, 45-48.
175. Wies, R., W., Johnson, R., A., Agrawal, A., N. and Chubb, T., J., Simulink Model for Economic Analysis and Environmental Impacts of a PV with Diesel-Battery System for Remote Villages, IEEE Transactions on Power Systems, 20,2 (2005) 692-700.
176. Bernal-Agustin, J., L. and Dufo-Lopez, R., Simulation and Optimization of Stand-Alone Hybrid Renewable Energy Systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13,8 (2009) 2111-2118.
177. Negnevitsky, M., Mandal, P. and Srivastava, A., K., Machine Learning Applications for Load, Price and Wind Power Prediction in Power Systems, 15th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems, November 2009, Curitiba, Brazil, 1-6.
178. Lydia, M. and Kumar, S.,S., A Comprehensive Overview on Wind Power Forecasting, International Power Electronics Conference, October 2010, Singapore, 268-273.
179. Mandal, P., Senjyu, T. and Funabashi, T., Neural Networks Approach to Forecast Several Hour Ahead Electricity Prices and Loads in Deregulated Market, Energy Conversion and Management, 47,15 (2006) 2128-2142.
180. Jain, A., and Satish, B., Short Term Load Forecasting by Clustering Technique Based on Daily Average and Peak Loads, IEEE Power & Energy Society General Meeting, July 2009, Calgary, AB, 1-7.
181. Liu, W. and H., E., Analytics and Information Integration for Smart Grid Applications, IEEE Power and Energy Society General Meeting, July 2010, Minneapolis, MN, 1-3.
182. Sasse, C., Electricity Networks of the Future, IEEE Power Engineering Society General Meeting, Montreal, Que, June 2006, 1-7.
183. Budka, K., Deshpande, J., Hobby, J., Kim, Y., J., Kolesnikov, V., Lee, W., Reddington, T., Thottan, M., White, C., A., Choi, J., I., Hong, J., Kim, J., Ko, W., Nam, Y., W. and Sohn, S., Y., GERI - Bell Labs Smart Grid Research Focus: Economic Modeling, Networking, and Security & Privacy, 2010 First IEEE International Conference on Smart Grid Communications, October 2010, Gaithersburg, MD, 208-213.

184. Crow, M., L., McMillin, B., Wang, W. and Bhattacharyya, S., Intelligent Energy Management of the FREEDM System, 2010 IEEE Power and Energy Society General Meeting, July 2010, Minneapolis, MN, 1-4.
185. Masoum, M., A., S., Moses, P., S. and Deilami, S., Load Management in Smart Grids Considering Harmonic Distortion and Transformer Derating, Innovative Smart Grid Technologies, January 2010, Gaithersburg, MD, 1-7.
186. Molderink, A., Bakker, V., Bosman, M., G., C., Hurink, J., L. and Smit, G., J., M., Management and Control of Domestic Smart Grid Technology, IEEE Transactions on Smart Grid, 1,2 (2010) 109-119.
187. Goutard, E., Renewable Energy Resources in Energy Management Systems, IEEE Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe, October 2010, Gothenburg, 1-6.
188. Zhou, X., Cui, L. and Ma, Y., Research on Smart Grid Technology, International Conference on Computer Application and System Modeling, October 2010, Taiyuan, 3, 599-603.
189. Kanchev, H., Lu, D., Francois, B. and Lazarov, V., Smart Monitoring of a Microgrid Including Gas Turbines and a Dispatched PV Based Active Generator for Energy Management and Emissions Reduction, IEEE Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe, October 2010, Gothenburg, 1-8.
190. Gang, L., De, D. and Song, W., Z., SmartGridLab: A Laboratory Based Smart Grid Testbed, 2010 First IEEE International Conference on Smart Grid Communications, October 2010, Gaithersburg, MD, 143-148.
191. Huang, A., Q., Crow, M., L., Heydt, G., T., Zheng, J., P. and Dale, S., J., The Future Renewable Electric Energy Delivery and Management (FREEDM) System: The Energy Internet, Proceedings of the IEEE, 99,1 (2011) 133-148.
192. Bedir, A., Ozpineci, B. and Christian, J., E., The Impact of Plug-in Hybrid Electric Vehicle Interaction with Energy Storage and Solar Panels on the Grid for a Zero Energy House, IEEE Transmission and Distribution Conference and Exposition, April 2010, New Orleans, LA, USA, 1-6.
193. Yamashita, H., Tamahashi, K., Michihira, M., Tsuyoshi, A., Amako, K. and Park, M., A Novel Simulation Technique of the PV Generation System Using Real Weather Conditions, Power Conversion Conference, April 2002, Osaka, 2, 839-844.
194. Park, M., Seo, H., R., Lee, D., H. and Yu, I., K., Characteristics Analysis of a PV-AF-SPE System Under Several Irradiation Conditions, Renewable Energy, 34,3 (2009) 499-503.
195. Ahmed, N., A., Miyatake, M. and Al-Othman, A., K., Power Fluctuations Suppression of Stand-Alone Hybrid Generation Combining Solar Photovoltaic

- Wind Turbine and Fuel Cell Systems, Energy Conversion and Management, 49,10 (2008) 2711-2719.
196. Chen, Y., M., Liu, Y., C., Hung, S., C. and Cheng, C., S., Multi-Input Inverter for Grid-Connected Hybrid PV/Wind Power System, IEEE Transactions on Power Electronics, 22,3 (2006) 1070-1077.
 197. Patel, M., R., Wind and Solar Power Systems Design, Analysis and Operation, Taylor and Francis, 2006.
 198. Bal, G., Doğru Akım Makinaları ve Sürücülerini, Seçkin Yayınevi, Ankara, 2001.
 199. Heier, S., Wind Plant Development and State of the Art of Grid Connected Systems, The World Renewable Energy Congress IX and Exhibition, August 2006, Florence, Italy, 1-6.
 200. Çolak, İ., Asenkron Motorlar, Nobel Yayın Dağıtım, 2001.
 201. Mengi, O., Ö. ve Altaş, İ., H., Rüzgar Enerji Sistemlerinde Gerilim Genliği Denetiminin Bulanık Mantıkla Gerçeklenmesi, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, Kasım 2008, İstanbul, 835-840.
 202. Sarıoğlu, M., K., Gökaşan, M. ve Boğosyan, S., Asenkron Makinalar ve Kontrolü, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2003.
 203. Luque, A. and Hegedus, S., Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, John Wiley & Sons Ltd, England, 2003.
 204. Rashid, M., H., Power Electronics Handbook, Academic Press, Canada, 2001.
 205. Öztürk, H., Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2008.
 206. Markvart, T. and Castaier, L., Practical Handbook of Photovoltaics Fundamental and Applications, 137-483, Elsevier Ltd., Netherlands, 2003.
 207. Altaş, İ., H., Fotovoltaik Güneş Pilleri: Yapısal Özellikleri ve Karakteristikleri, Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e Dergisi, 47 (1998) 66-71.
 208. Kouta, J., El-Ali, A., Moubayed, N. and Outbib, R., Improving the Incremental Conductance Control Method of a Solar Energy Conversion System, The International Conference on Renewable Energies and Power Quality, March 2008, Santander.
 209. Skocil, T. and Donsión, M., P., Mathematical Modeling and Simulation of Photovoltaic Array, The International Conference on Renewable Energies and Power Quality, March 2008, Santander.

210. Altas, I., H. and Sharaf, A., M., A Photovoltaic Array Simulation Model for Matlab-Simulink GUI Environment, International Conference on Clean Electrical Power-Renewable Energy Resources Impact, May 2007, Capri, Italy, 341-345.
211. Luo, F., Xu, P., Kang, Y., Duan, S., A Variable Step Maximum Power Point Tracking Method Using Differential Equation Solution, 2nd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, May 2007, Chine, 2259-2263.
212. Altaş, İ., H., Fotovoltaik Güneş Pilleri: Eşdeğer Devre Modelleri ve Güneş ışığı ile Sıcaklığın Etkileri, Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e Dergisi, 46 (1998) 86-91.
213. Mengi, O., Ö. ve Altaş, İ., H., Fotovoltaik Güneş Pilleri için Genel Amaçlı Bir Matlab/Simulink GUI Modeli, Genç Araştırmacılar Ulusal Mühendislik ve Eğitim Sempozyumu, Haziran 2007, Kocaeli Üniversitesi, 216-219.
214. Ogata, K., Modern Control Engineering, 4th Edition, Prentice Hall, 2001.
215. Elmas, Ç., Bulanık Mantık Denetleyiciler (Kuram, Uygulama, Sinirsel Bulanık Mantık), Seçkin Yayıncılık San. ve Tic. A.Ş., İstanbul, 2003.
216. Baykal, N. ve Beyan, T., Bulanık Mantık İlke ve Temelleri, Bıçaklar Kitabevi, İstanbul, 2004.
217. Baykal, N. ve Beyan, T., Bulanık Mantık Uzman Sistemler ve Denetleyiciler, Bıçaklar Kitabevi, İstanbul, 2004.
218. Mohan, N., Undeland, T., M. ve Robbins, W., P., Güç Elektroniği Çeviriciler, Uygulamalar ve Tasarım, Literatür yayınları, İstanbul, 2003.
219. Martha, S., K., Hariprakash, B., Gaffoor, S., A., Ambalavanan, S. and Shukla, A., K., Assembly and Performance of Hybrid-VRLA Cells and Batteries, Journal of Power Sources, 144,2 (2005) 560-567.
220. Gustavsson, M. and Mtonga, D., LeadAcid Battery Capacity in Solar Home Systems-Field Tests and Experiences in Lundazi, Zambia, Solar Energy, 79,5 (2005) 551-558.
221. Kiehne, H., A., Battery Technology Handbook, Second Edition (Electrical and Computer Engineering), Marcel Dekker Inc., USA, 2003.
222. Messenger, R., A. and Ventre, J., Photovoltaic Systems Engineering, CRC Press, USA, 2003.
223. T.C. Resmi Gazete, Enerji Verimliliği Kanunu. (5627), 02.05.2007.

224. Wang, Q., and Chang, L., An Intelligent Maximum Power Extraction Algorithm for Inverter Based Variable Speed Wind Turbine Systems, IEEE Transactions on Power Electronics, 19,5 (2004) 1242-1249.
225. Azzouz, M., Elshafei, A., and Emara, H., Maximum-Power Tracking of Wind Energy Conversion Systems Based on Fuzzy Algorithms, 2010 IEEE International Symposium on Intelligent Control Part of 2010 IEEE Multi-Conference on Systems and Control, Yokohama, Japan, September 8-10, 2010, 481-486.
226. Sanlı, B., Hınç, A., Smart Grid (Akıllı Şebekeler): Türkiye’de Neler Yapılabilir?, 11. Enerji Kongresi, Ekim 2009, İzmir, 1-12.
227. Wissner, M., The Smart Grid – A Saucerful of Secrets?, Applied Energy, 88,7 (2011) 2509-2518.
228. Kurban, M., Kantar, Y., M., ve Hoccoğlu, F., O., Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Araştırılmasında Weibull ve Rayleigh Dağılımlarının Kullanılması, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10,1 (2006) 14-21.
229. Mengi, O., Ö. ve Altaş, İ., H., FV Panelden Beslenen Adım Motoru için Değişik Koşullarda Enerji Sürekliliğinin Sağlanması, Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu (BMYS 2008), Ekim 2008, Eskişehir, 583-590.
230. Altaş, İ., H. ve Mengi, O., Ö., AA ve DA Yüklerini Besleyen FV/Akü Grubunun Matlab/Simulink Ortamında Modellenmesi ve Simülasyonu, Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO 2008), Kasım 2008, Bursa, 135-139.
231. Mengi, O., Ö. ve Altaş, İ., H., Fotovoltaik ve Yakıt Hücreli Karma Temiz Enerji Sisteminin Modellenmesi ve Simülasyonu, Ulusal Temiz Enerji Günleri (UTEG 2008), Aralık 2008, İstanbul, 683-690.
232. Mengi, O., Ö. ve Altaş, İ., H., Fotovoltaik Güneş Panellerinden Beslenen Yükler Üzerindeki Gerilim Genliğinin Denetimi, EVK’09-3. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Mayıs 2009, Kocaeli, 18-22.
233. Altaş, İ., H. ve Mengi, O., Ö., Rüzgar Enerji Sistemlerinde Harmoniklerin Azaltılması, Ulusal Temiz Enerji Günleri (UTEG 2008), Aralık 2008, İstanbul, 691-698.
234. Altaş, I., H. and Sharaf, A., M., A Generalized Direct Approach for Designing Fuzzy Logic Controllers in Matlab/Simulink GUI Environment, International Journal of Information Technology and Intelligent Computing, Int. J. IT&IC, 4,1 (2007).

ÖZGEÇMİŞ

15.06.1978 tarihinde İstanbul'da doğdu. Liseyi Elazığ Mehmet Akif Ersoy Lisesi'nde tamamladı. 1995 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. Şubat 2000'de lisans eğitimini tamamlayarak aynı sene Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. Bir sene İngilizce hazırlık okuduktan sonra 2004 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2005 yılının Şubat ayında, aynı bölümde doktora eğitimine başlayarak aynı yıl askerlik görevini tamamladı. Aralık 2002'de Giresun Üniversitesi Giresun Meslek Yüksekokulunda Öğretim Görevlisi olarak göreve başlayan Mengi, halen aynı görevi sürdürmektedir. 2000 yılında Elektrik Mühendisleri Odasına (EMO) ve 2008 yılında da Uluslararası Elektrik-Elektronik Mühendisleri Birliğine üye oldu. Orta derecede İngilizce bilmektedir.