

**BİR LABORATUAR AYDINLATMA SİSTEMİ İÇİN
BATARYA DESTEKLEMELİ RÜZGAR-GÜNEŞ HİBRİT
GÜÇ ÜRETİM SİSTEMİNİN SİMÜLASYONU VE
BULANIK MANTIK KONTROLÖR İLE
ENERJİ AKIŞ KONTROLÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emrah OGUZ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

ELEKTRİK ANABİLİM DALI

Eylül, 2012

Bu tez çalışması 10.TEF.05 numaralı proje ile BAP tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BİR LABORATUAR AYDINLATMA SİSTEMİ İÇİN BATARYA
DESTEKLEMELİ RÜZGÂR-GÜNEŞ HİBRİT GÜÇ ÜRETİM SİSTEMİNİN
SİMÜLASYONU VE BULANIK MANTIK KONTROLÖR İLE
ENERJİ AKIŞ KONTROLÜ**

Emrah OGUZ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

ELEKTRİK ANABİLİM DALI

Eylül, 2012

TEZ ONAY SAYFASI

Emrah OGUZ tarafından hazırlanan “Bir Laboratuar Aydınlatma Sistemi İçin Batarya Desteklemeli Rüzgar-Güneş Hibrit Güç Üretim Sisteminin Simülasyonu Ve Bulanık Mantık Kontrolör İle Enerji Akış Kontrolü” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca/...../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

İkinci Danışmanı :

Başkan : Prof. Dr. Kubilay ASLANTAŞ
Teknoloji Fakültesi

İmza

Üye : Prof. Dr. Hasan ÇİMEN
Teknik Eğitim Fakültesi

İmza

Üye : Yrd. Doç. Dr. Yüksel OĞUZ
Teknik Eğitim Fakültesi

İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Fen Bilimleri
Enstitü Müdürü
(Prof. Dr. Mevlüt DOĞAN)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**BİR LABORATUAR AYDINLATMA SİSTEMİ İÇİN BATARYA DESTEKLEMELİ
RÜZGÂR-GÜNEŞ HİBRİT GÜÇ ÜRETİM SİSTEMİNİN SİMÜLASYONU VE
BULANIK MANTIK KONTROLÖR İLE ENERJİ AKIŞ KONTROLÜ**

Emrah OGUZ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

Bu çalışmada, Afyonkarahisar Üniversitesi Elektrik Eğitimi Bölümünde iki laboratuarda bulunan küçük güçlü alıcıların beslemesi için gerekli olan elektrik enerjisinin karşılanması hibrit rüzgar-güneş enerji üretim sistemi ile yapılmıştır. Bunun için 600 W'lık 3 fazlı sabit mıknatıslı senkron jeneratörlü (PMSG) rüzgar güç üretim sistemi (RGÜS) ile 190 W'lık 3 adet monokristal güneş panelinden oluşan güneş güç üretim sistemi (GGÜS) birleştirilerek 1170 W'lık rüzgar-güneş hibrit güç üretim sistemi kurulmuştur. Aynı zamanda tüketim fazlası olan elektrik enerjinin depolanması veya üretimin olmadığı zamanlarda enerjinin sürekliliğini yenilenebilir enerji sistemi üzerinden sağlayabilmek için 100 Ah, 12V'luk 6 adet jel deep cycle akü grubu rüzgar-güneş hibrit güç üretim sistemine (RGGÜS) tesis edilmiştir. Daha sonra kurulumu yapılan hibrit güç üretim sistemini oluşturan sistem elemanlarının blok diyagramları Matlab/Simulink içinde bulunan SimPowerSystems kullanılarak batarya desteklemeli rüzgar-güneş hibrit güç üretim sisteminin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Daha sonra anahtarlamalı kontrolör ve bulanık mantık kontrolör tasarlanarak enerji akış kontrolü yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarından elde edilen eğrilere bakıldığında kurulan hibrit güç üretim sisteminin dinamik davranışına paralel olarak elektriksel ve mekaniksel büyüklüklerde çok büyük bir farklılığın olmadığı görülmüştür.

2012, xvii + 91 sayfa

Anahtar Kelimeler: Rüzgar Güç Üretim Sistemi, Güneş Güç Üretim Sistemi, Batarya Grubu, Hibrit Güç Üretim Sistemi, Modelleme, Matlab/Simulink, Bulanık Mantık

ABSTRACT

M.Sc Thesis

SIMULATION AND POWER FLOW CONTROL WITH FUZZY LOGIC CONTROLLER ON WIND-SOLAR HYBRID POWER GENERATION SYSTEM WITH BATTERY STORAGE FOR A LABORATORY LIGHTING SYSTEM

Emrah OGUZ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Electric

Supervisor: Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

In this study, the electric energy required for feeding of small power receivers at two laboratories of Afyonkarahisar University Electric Education Department was met by hybrid wind-solar power generation system. For this purpose, 600 W 3-phase permanent magnet synchronous generator (PMSG) wind power generation system (WPGS) and solar power generation system (SPGS) consists of 190W 3 pieces mono crystal solar panel were combined to build a 1170W wind-solar hybrid power generation system. Besides, to store the consumption surplus electric energy or in case of lack of generation, to ensure energy continuity via renewable power system, 100 Ah 12V 6 pieces gel jeep cycle accumulator groups were installed on the wind-solar hybrid power generation system (WSPGS). Then, the block diagrams of the system elements forming the hybrid power generation system and SimPowerSystems in the Matlab/Simulink were used to realize the simulation of the wind-solar hybrid power generation system with battery support. Then efficiency of power flow control has done by using control methods of switch and fuzzy logic. When the curves obtained from the simulation results were examined, it was determined that the electrical and mechanical magnitudes in parallel to the dynamic behavior of the installed hybrid power generation system were not so different.

2012, xvii + 91 pages

Key Words: Wind Power Generation System, Solar Power Generation System, Battery Storage System, Hybrid Power Generation System, Modeling, Matlab/Simulink, Fuzzy Logic

TEŞEKKÜR

Öncelikle çalışmalarımda beni yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. Hasan ÇİMEN'e, her konuda desteğini esirgemeyen vaktini göz kırpmadan bizim için harcayan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Yüksel OĞUZ'a, önerileri ile tezimde bana ışık tutan Yrd. Doç . Dr. Said Mahmut ÇINAR'a, hayatım boyunca destekleriyle beni yalnız bırakmayan örnek aldığım değerli amcam Mustafa TOPALOĞLU'na, her türlü destekleriyle yanımda olan değerli abim Balı IŞILDAR'a, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm değerli hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim. Tezin sistem kurulumu için 10.TEF.05 numaralı proje ile BAP tarafından desteklenmesinden dolayı Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesine; güler yüzlü, disiplinli iş anlayışı ile kurulum ve tez aşamam boyunca yalnız bırakmayan Neoenerji firmasına teşekkür ederim.

Özellikle beni yetiştirip bu günlere getiren canım anneme ve bütün aileme teşekkürlerimi sunarım.

Emrah OGUZ

AFYONKARAHİSAR, 2012

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	v
SİMGELER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
TABLolar DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	8
2.1 Dünyadaki Enerji Göstergeleri	8
2.1.1 Yenilenemez Enerji Kaynakları	8
2.1.1.1 Kömür	8
2.1.1.2 Petrol Yakıtları	9
2.1.1.3 Doğal Gaz	9
2.1.1.4 Nükleer Enerji	10
2.1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları	10
2.1.2.1 Rüzgar Enerjisi	10
2.1.2.2 Güneş Enerjisi	12
2.1.2.3 Hidrolik Enerjisi	13
2.1.2.4 Jeotermal Enerjisi	13

2.1.2.5 Gel-Git ve Okyanus Akıntı Enerjileri	14
2.1.2.6 Biyoyakıt Enerjileri.....	14
2.2 Hibrit Güç Üretim Sistemi Bileşenleri.....	15
2.2.1 Rüzgar Türbinleri	15
2.2.1.1 Rüzgar Türbinin Parçaları.....	16
2.2.1.2 Rüzgar türbinlerinin Sınıflandırılması	18
2.2.1.2.1 Güç Sınıflarına Göre Rüzgar Türbini Çeşitleri	18
2.2.1.2.1.1 Mikro Rüzgar Türbinleri.....	18
2.2.1.2.1.2 Küçük Güçlü Rüzgar Türbinleri	18
2.2.1.2.1.3 Büyük Güçlü Rüzgar Türbinleri	19
2.2.1.2.1.4 Megawatt Rüzgar Türbinleri.....	19
2.2.1.2.2 Dönme Eksenlerine Göre Rüzgar Türbini Çeşitleri.....	19
2.2.1.2.2.1 Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri	19
2.2.1.2.2.1.1 Rüzgarı Önden Alan Makineler	20
2.2.1.2.2.1.2 Rüzgarı Arkadan Alan Makineler	21
2.2.1.2.2.2 Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri	21
2.2.1.2.2.2.1 Darrieus Rüzgar Türbini	22
2.2.1.2.2.2.1.1H-Darrieus Rüzgar Türbini	22
2.2.1.2.2.2.2 Savonius Rüzgar Türbini	23
2.2.1.2.2.1 Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri	24
2.2.2 Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Jeneratörler	24
2.2.2.1 Doğru Akım (DC) Jeneratörler	26
2.2.2.2 Senkron Jeneratörler	27
2.2.2.2.1 Rotoru Sargılı (Alan Sargılı) Senkron Jeneratör (RSSG).....	27

2.2.2.2.2 Sabit Mıknatıslı Senkron Jeneratör (SMSG)	28
2.2.2.3 Asenkron Jeneratörler	29
2.2.2.3.1 Sincap Kafesli Asenkron Jeneratör (SKAG)	30
2.2.2.3.2 Rotoru Sargılı (Bilezikli) Asenkron Generator (RSAG)	30
2.2.2.3.2.1 Çift Beslemeli Asenkron Jeneratör (ÇBAG)	31
2.2.2.3.2.2 OptiSlip® indüksiyon Jeneratör (OSİG)	32
2.2.2.4 Anahtarlı Relüktans Jeneratör (Arg).....	32
2.2.3 Güneş (Fotovoltaik) Panelleri.....	33
2.2.4 Enerji Depolama Üniteleri (Bataryalar)	33
2.2.5 Güç Dönüştürücüler (Doğrultucular ve Eviriciler).....	35
2.2.6 Kontrol Üniteleri	36
2.2.7 Yükler	36
2.3 Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Kontrolör.....	37
2.3.1 Üyelik Fonksiyonları	39
2.3.2 Bulanık Mantık Kontrolörün Temel Bileşenleri.....	39
2.3.3 Bulanık Çıkarım Sistemleri	41
2.3.3.1 Mamdani Bulanık Çıkarım Sistemi	41
2.3.3.2 Sugeno Bulanık Çıkarım Sistemi.....	42
3. MATERYAL ve METOT	43
3.1 Batarya Desteklemeli Rüzgar – Güneş Hibrit Güç Üretim Sistemi ve Modellemesi.....	43
3.2 Hibrit Güç Üretim Sistemi Bileşenleri Modellemeleri	45
3.2.1 Rüzgar Güç Üretim Sistemi Modeli	46
3.2.1.1 Rüzgar Türbini.....	46

3.2.1.2 SM Senkron Jeneratör Modeli.....	47
3.2.2 Güneş Paneli Modeli	48
3.2.3 Hibrit Şarj Kontrol Ünitesi Modeli.....	50
3.2.4 Batarya Gurubu Modeli	53
3.3 Enerji Akış Kontrolü.....	53
3.3.1 Enerji Akış Kontrolü İçin Anahtarlama (Switch) Kontrolör Tasarımı.....	53
3.3.2 Enerji Akış kontrolü İçin Bulanık Mantık (Fuzzy logic) Kontrolör Tasarımı	55
3.3.2.1Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Kuralları	57
4. BULGULAR	58
4.1Anahtarlama Kontrol (Switch Control) ile Enerji Akış Kontrolü.....	58
4.2 Bulanık Mantık Kontrol (Fuzzy Logic) ile Enerji Akış Kontrolü.....	67
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	80
6. KAYNAKLAR.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	88
EKLER	89

SİMGELER DİZİNİ

Simgeler

D	Rotor çapı (m)
R	Rotor yarıçapı (m)
A	Rotorun süpürdüğü alan (m ²)
H	Rotor göbeği yüksekliği (m)
W	Güç (watt)
PWh	Peta Watt Saat (W) = Trilyon Kilo Watt saat
Mt	Milyon ton
Kt	Kiloton
P	Hava yoğunluğu (kg/m ³)
a	Merkezkaç kuvvetin birim kütleye etki eden ivmesi (m/sn ²)
V	Rüzgar hızı (m/s)
P	Mutlak basınç (atm)
V	Hacim (m ³)
P_w	Rüzgârdan elde edilen güç (watt)
C_P	Rüzgardan elde edilen güc denkleminde ait performans katsayısı
w_w	Türbinin açısal hızı(rad/san)
λ	Kanat hız oranı
T_w	Rüzgardan elde edilen tork (N.m)
C_T	Rüzgardan elde edilen tork denkleminde ait performans katsayısı
N	Rüzgar türbinin devir türünden dönme hızı (devir/dak)
B	Kanat açısı (°)
T_{gen}, T'_{wtr}	Jeneratör milinin ve türbin milinin açısal hızı (rad/san)
$J_{gen}, J_{wtr}, J_{eco}$	Jeneratör, türbin ve elektromekanik atalet momentleri (Nm/s)
N_s, N_r	Senkron ve rotor hız (devir/dakika)
$s f$	Statora uygulanan gerilimin frekansı
$2P$	Kutup sayısı
w_s, w_r, w_{kay}, w_m	Stator, rotor, kayma ve mekaniksel açısal hızı (rad/san)
s	Kayma

P_{in} , P_o , P_{mil}	Giriş, çıkış, jeneratör mili (Watt)
V_s , V_r	Stator ve Rotor gerilimi (Volt)
I_s , I_r	Statora sargılarından geçen akım (Amper)
$\cos\phi$	Güç katsayısı
R_s , R_r , R_m	Stator, rotor ve ortak sargı direnci (Ohm)
f_{dq0}, f_{abc}	dq0 ve abc dönüşüm ifadeleri
$i_{sd}, i_{sq}, i_{rd}, i_{rq}$	Stator ve rotora ait dq akımları
$V_{sd}, V_{sq}, V_{rd}, V_{rq}$	Stator ve rotor ait dq gerilimleri
K_p, K_I, K_D	Oransal, integral ve türev sabiti

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

IEO	International Energy Outlook
EIA	Energy Information Administration
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
TEP	Ton Eşdeğeri Petrol
PMSG	Permanent Magnet Synchronous Generator
WPGS	Wind Power Generation System
SPGS	Solar Power Generation System
WSPGS	Wind-Solar Power Generation System
HES	Hidroelektrik Santrali
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
EU	European Union
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
REGSR	Renewable Energy Global Status Report
JE	Jeotermal Enerji
GE	Güneş Enerjisi
RE	Rüzgar Enerjisi
RES	Rüzgar Enerjisi Santrali
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
RT	Rüzgar Türbini
AC, AA	Alternatif Akım
DC, DA	Doğru Akım
PWM	Pulse Width Modulation
FL, BM	Fuzzy Logic (Bulanık Mantık)
GGE	Gel-Git Enerjisi
OAE	Okyanus akıntı Enerjisi
YERT	Yatay Eksenli Rüzgar Türbini
DERT	Dikey Eksenli Rüzgar Türbini
Wagner RT	Eğik Eksenli Rüzgar Türbini

DCG	Doğru Akım Jeneratörü
SG	Senkron Jeneratör
RSSG	Rotoru Sargılı (Alan Sargılı) Senkron Jeneratör
SMSG	Sabit Mıknatıslı Senkron Jeneratör
AG	Asenkron Jeneratör
SKAG	Sincap Kafesli Asenkron Jeneratör
RSAG	Rotoru Sargılı Asenkron Jeneratör
ÇBAG	Çift Beslemeli Asenkron Jeneratör
OSG	OptiSlip® Jeneratör
ARG	Anahtarlı Relüktans Jeneratör
RGS	Rüzgar güç üretim sistemi
GGG	Güneş güç üretim sistemi
RGGS	Rüzgar-Güneş güç üretim sistemi
BM	Bulanık mantık
FL	Fuzzy logic

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1	1980-2005 yılları arasında dünya genelinde rüzgar enerjisi üretim kapasites	11
Şekil 2.2	1993-2004 yılları arasında dünya genelinde güneş enerjisi üretimi	13
Şekil 2.3	Rüzgar türbini parçaları	16
Şekil 2.4	YERT türbinlerinin kanat sayılarına göre çeşitleri	20
Şekil 2.5	Alt ve üst rüzgarlı türbinler	21
Şekil 2.6	Darrieus türbine ait rotor yapısı	22
Şekil 2.7	Savonius türbine ait rotor yapısı	24
Şekil 2.8	Rüzgar Elektrik Sisteminin Basit Bileşenleri	25
Şekil 2.9	Rüzgar Türbinlerinde Mekanik Enerji-Elektrik Enerji Dönüşüm Şeması.....	25
Şekil 2.10	Rüzgar türbinine akuple edilmiş RSAG' ün şebekeye bağlantısı	28
Şekil 2.11	Rüzgar türbinine akuple edilmiş SMSG' ün şebekeye bağlantısı	28
Şekil 2.12	Rüzgar türbinine akuple edilmiş SKAG' ün şebekeye bağlantısı	30
Şekil 2.13	Rüzgar türbinine akuple edilmiş RSAG' ün şebekeye bağlantısı	31
Şekil 2.14	Rüzgar türbinine akuple edilmiş ÇBAG' ün şebekeye bağlantısı	31
Şekil 2.15	Anahtarlı relüktans jeneratör.....	32
Şekil 2.16	Üçgen, yamuk, çan, sigma ve tekli üyelik fonksiyonları	39
Şekil 2.17	Blanık mantık kontrolörün genel yapısı	39
Şekil 2.18	Mamdani bulanık çıkarım sistemi	41
Şekil 2.19	Sugeno bulanık çıkarım sistemi	42

Şekil 3.1 Batarya desteklemeli rüzgar-güneş hibrit güç üretim sisteminin genel görünümü ...	43
Şekil 3.2 Batarya desteklemeli rüzgar-güneş hibrit güç üretim sistem bileşenlerinin bağlantılarını gösteren genel blok şeması	44
Şekil 3.3 Batarya desteklemeli rüzgar-güneş hibrit güç üretim sisteminin simülasyon blok diyagramını	45
Şekil 3.4 Rüzgar Türbin Modeli.....	46
Şekil 3.5 Sabit hızlı, SMSG rüzgar güç üretim sisteminin simülasyon blok diyagramı	48
Şekil 3.6 Fotovoltaik hücrenin elektriksel eşdeğer devresi	48
Şekil 3.7 Güneş güç üretim sisteminin simülasyon blok diyagramı	50
Şekil 3.8 Kurulu olan hibrit güç üretim sistemi şarj kontrol ünitesinin bağlantı şeması	51
Şekil 3.9 Hibrit Şarj Kontrolörünün kumanda paneli ve LCD ekranı	51
Şekil 3.10 Anahtarlama kontrol ile enerji akış kontrolü için hibrit şarj kontrol ünitesinin simülasyon blok diyagramı	52
Şekil 3.11 Bulanık mantık kontrol ile enerji akış kontrolü için hibrit şarj kontrol ünitesinin simülasyon blok diyagramı	52
Şekil 3.12 Batarya gurubunun simülasyon blok diyagramı	53
Şekil 3.13 Anahtarlama (Switch control) Kontrolör Modeli	54
Şekil 3.14 Bulanık mantık (Fuzzy Logic) Kontrolör Modeli	55
Şekil 3.15 Bulanık mantık (Fuzzy Logic) kontrolör matlab tasarım ekranı	56
Şekil 3.16 Giriş üyelik fonksiyonları	56
Şekil 3.17 Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Kural yazım tablosu	57

Şekil 4.1.1 Batarya desteklemeli rüzgar–güneş hibrit güç üretim sisteminin 480 W’lık tüketici gücü ile yüklenmesi durumundaki akım, gerilim ve güç eğrileri.....	59
Şekil 4.1.2 Batarya desteklemeli rüzgar–güneş hibrit güç üretim sisteminin 1050 W’lık tüketici gücü ile yüklenmesi durumundaki akım, gerilim ve güç eğrileri.....	61
Şekil 4.1.3 Batarya desteklemeli rüzgar–güneş hibrit güç üretim sisteminin 1550 W’lık tüketici gücü ile yüklenmesi durumundaki akım, gerilim ve güç eğrileri.....	63
Şekil 4.1.4 Hibrit güç üretim sisteminin rüzgar hızı 9m/s ve radyasyon düzeyi 950 iken, 1550 W’lık tüketici gücü ile yüklenmesi durumundaki akım, gerilim ve güç eğrileri.....	65
Şekil 4.2.1 Bulanık mantık kontrollü batarya desteklemeli rüzgar–güneş hibrit güç üretim sisteminin 480W’lık tüketici gücü ile yüklenmesi durumundaki akım, gerilim ve güç eğrileri	68
Şekil 4.2.2 Bulanık mantık kontrollü %70 şarjlı batarya desteklemeli rüzgar–güneş hibrit güç üretim sisteminin 1050W’lık tüketici gücü ile yüklenmesi durumundaki akım, gerilim ve güç eğrileri	70
Şekil 4.2.3 Batarya desteklemeli rüzgar–güneş hibrit güç üretim sisteminin 1550 W’lık tüketici gücü ile yüklenmesi durumundaki akım, gerilim ve güç eğrileri	72
Şekil 4.2.4 Hibrit güç üretim sisteminin rüzgar hızı 9m/s ve radyasyon düzeyi 950 iken, 1550 W’lık tüketici gücü ile yüklenmesi durumundaki akım, gerilim ve güç eğrileri	74
Şekil 4.2.5 Batarya desteklemeli rüzgar–güneş hibrit güç üretim sisteminin 480 W’lık tüketici gücü ile yüklenmesi durumundaki akım, gerilim ve güç eğrileri.....	76
Şekil 4.2.6 Batarya desteklemeli rüzgar–güneş hibrit güç üretim sisteminin 1050 W’lık tüketici gücü ile yüklenmesi durumundaki akım, gerilim ve güç eğrileri	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 2008 Rüzgar gücü kapasitesinde dünya sıralamasındaki ilk 10 ülke.....	12
--	----

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.3.1 Anahtarlama kontrollü hibrit şarj kontrol ünitesi simülasyon blok diyagramının anahtar konumlamaları	54
Tablo3.3.2 Bulanık mantık kontrollü hibrit şarj kontrol ünitesi simülasyon blok diyagramının anahtar konumlamaları	55
Tablo 4.1.1 Anahtarlama kontrollü sistem yükleme parametreleri.....	58
Tablo 4.2.1 Bulanık mantık kontrollü sistem yükleme parametreleri.....	67

1.GİRİŞ

Günümüzün tüketim araçlarından olan elektrik enerjisine; ülkelerin tüm faaliyet ortamlarında günden güne daha çok ihtiyaç duyduğu bilinmektedir. Ayrıca ihtiyaç duyulan enerjinin üretiminin ve tüketiminin; miktarı, ekonomik, verimli ve çevreci oluşu ülkelerin gelişmişlik düzeylerini arttıran unsurlardan biri haline gelmiştir (Çetin ve Başaran 2010).

Bugüne kadar dünyanın enerji ihtiyacı çoğunlukla fosil esaslı yakıtlardan karşılanmaktadır. Bundan dolayı bu yakıta ülkelerin büyük bir bağımlılığı söz konusudur. Fakat fosil esaslı kaynakların çevre üzerindeki olumsuzluklarının hat safhaya gelmesi, rezervlerinin tükenmekte olması ve ülkelerin dışa bağımlılıklarını arttırması nedeniyle yeni enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmuştur. Ayrıca sürekli olarak artan enerji talebi ve tükenen fosil esaslı yakıtlar, ülkelerin ve dünya siyasetinin şekillenmesinde önemli rol oynamaktadır. Dünya genelinde oluşturulan enerji politikaları gereği sera gazı salınımının azaltılması, enerjinin verimli kullanılması, iletim hatları kayıplarının azaltılması, yenilenebilir enerji kaynakları için teşviklerin sağlanması vb. geleceğimizin enerji dünyasını şekillendirmeye yönelik bir dizi çalışmalar başlatılmıştır. Bu süreçte en önemli araştırmalar, çevre üzerinde olumsuz etkileri olmayan ve kendilerini sürekli yenileyebilen, yenilenebilir enerji kaynakları üzerine olmuş ve halende devam etmektedir.

Genel olarak yenilenebilir enerji kaynakları; rüzgar ve güneş enerjileri başta olmak üzere hidrolik, jeotermal, biokütle (odun, katı atıklar, etanol vb), gel git gibi fosil esaslı olmayan enerji kaynaklarını kapsamaktadır. Alternatif enerji kaynakları, fosil yakıtlarına rakip olabilecek düzeyde ve geleceğin enerji talebine karşılık verebilecek miktardadır. Dünya genelinde elektrik enerjisinin çoğunluğu hidroelektrik, termik ve nükleer enerji santralleri tarafından sağlanmaktadır. Ülkemizde hidroelektrik ve termik santrallerin bulunmasına karşın nükleer santral henüz bulunmamaktadır. Bunun sebebi nükleer yakıtın çıkarılmasının ve kontrolünün zor olması, nükleer santrallerin kurulumu ve işletilmesi konusunda yeterince bilgili personelin bulunmamasıdır. Şu unutulmamalıdır ki dünya üzerindeki nükleer yakıtın (uranyum, toryum) çoğunluğu

ülkemizin yer altı kaynaklarında bulunmaktadır. Günümüzde bu enerji üretim sistemi için birtakım çalışmalar başlatılmış olup halende devam etmektedir. İleri ki yıllarda bu üretim sistemi ile ülkemizde elektrik üretimi yapılacağı düşünülmektedir. Fakat nükleer yakıtın (uranyum, toryum) da ömrü diğer enerji kaynakları gibi sınırlıdır. Ayrıca nükleer yakıt stratejik bir yapıya sahip olduğundan dolayı, savaş ve siyasi gibi konular ön plana çıktığında sınırlamaların getirilebileceği unutulmamalıdır (Bedeloğlu ve Bozkurt 2010).

Ülkemizde kullanılan temel enerji kaynakları, kömür, odun, petrol, doğal gaz, rüzgar, jeotermik ve hidrolik olarak gözükmektedir. Ülkemiz fosil esaslı kaynaklar bakımından fakir bir ülke olduğu için kalan ihtiyacını karşılayabilmek için her yıl milyarlarca dolarlık ithalat yapmak zorunda kalmaktadır. Doğrudan üretilmiş elektrik enerjisini ya da kaliteli kömür, petrol ve en çok da doğal gazı, elektrik üretebilmek için satın almaktadır (Oğuz 2007). Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretiminde en büyük payı, hidrolik ve rüzgar almaktadır. Rüzgâr ve güneş enerjilerinin elektrik üretimindeki payları henüz çok az olmasına karşın, ileri ki zamanlarda bu payların artması beklenmektedir. Fakat dünya üzerindeki diğer ülkelerde 1970'li senelerden itibaren rüzgâr türbini ve güneş pili, ayrı ayrı ya da birlikte hibrit olarak genellikle elektrik şebeke hatlarından uzak bölgelerde elektrik üretimi için kullanılmaktadır. Rüzgâr türbini ya da güneş pili ile ayrı ayrı elektrik üretiminin önünde duran bazı engeller vardır. En önemli engeller üretilen enerjinin kesikli olması, ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olması ve yeterli teknolojik bilgi birikiminin bulunmamasıdır.

Güneşten sadece gündüz elektrik üretilebilirken günün geri kalanında yük enerjisiz kalır. Rüzgâr da ise güneş kadar kesin sınırlar ile ayrılmasa da günün bazı saatlerinde elektrik üretimi mümkün iken diğer saatlerde yük enerjisiz kalmaktadır. Gün içinde gerçekleşen bu kesiklik, enerji üretiminin olduğu zaman diliminde üretilen enerjinin tüketim fazlası bataryada depolanarak üretimin yetersiz kaldığı zaman dilimlerinde yük bataryadan beslenerek giderilebilir (Habib, Said ve Zaharna 1999).

Güneş ve rüzgârdan elde edilebilecek elektrik enerjisi mevsimlere göre farklı değişimler gösterir. Kış aylarında günlerce güneşten elektrik üretmek mümkün olmayabilir. Aynı şekilde bahar ve özellikle yaz aylarında rüzgârdan elektrik üretimi çok düşük seviyede kalabilir (Bayer ve Langer 1996).

Mevsimsel elektrik üretimi kesikliliğinin batarya kapasitesinin artırılması ile çözümü hem maliyeti çok arttırır hem de birçok yerde mümkün değildir. Kurulan bölgenin özelliklerine göre rüzgar türbini ve güneş pili birlikte hibrit elektrik üretim sistemi olarak kurulmasıyla bu oluşabilecek kesiklikler büyük ölçüde giderilebilmektedir. Son zamanlarda hibrit sistemler ikiden fazla bir yapıda da kurulmaya başlanmıştır. Bunlar rüzgar ve güneş başta olmak üzere dizel, yakıt pili vb. elektrik üretim sistemlerinin çeşitli yapılarda birleştirilmesi ile gerçekleşmektedir. Fakat birden fazla yenilenebilir enerji kaynağı ile oluşturulan hibrit elektrik üretim sistemlerinde çok daha fazla eleman kullanılacağı için maliyeti ve kurulum alanının ihtiyacı artacaktır, sistemin yapısı ve denetimi karmaşık hale gelecektir.

Gerçek zamanlı çalışmaların çok pahalı ve tehlikeli olması gibi durumlardan dolayı bilgisayar sistemleri üzerinde çalışma imkânı sağlamak için bir takım model çalışmalarında bulunulmuştur.

Nitekim literatür incelemelerinden anlaşılabacağı üzere rüzgâr gücünün kullanımı 5000 yıllık maziye sahiptir. 20. yüzyılın başlarına kadar rüzgar gücü su pompalama, değirmenlerde ve yelkenlerde kullanılmaktaydı. Geçen yüzyılda en büyük rüzgar teknolojisi gelişmeleri Danimarka da olmuştur. İlk elektrik üreten rüzgar türbini Danimarkalı Poul La Cour (1891) tarafından yapılmıştır. Bilim adamları daha sonra bu sistemlerin karakteristikleri tanımlamak için modeller geliştirilmeye çalışılmıştır (Fidan 2010).

Zhen (1996) , fotovoltaiik modüllerin akım-gerilim karakteristiklerini tanımlamak için elde edilen modellerle fotovoltaiik modüllerin karakteristiklerini araştırmıştır. Bununla birlikte, fotovoltaiik modüllerin maksimum çıkış gücünü tanımlayan modeller fotovoltaiik sistemlerin değerlendirilmesi için daha uygun olduğu kanıtına varılmıştır.

Fotovoltaik sistemler için iki basitleştirilmiş model vardır. Bunlardan birincisi, Borowy ve Salameh den önerilen modelde, üretici firma tarafından belirtilmiş parametreleri kullanır. Jones ve Underwood ise var olan modeli fotovoltaik modüller tarafından emilen güneş ışınları ile modül sıcaklığı ve lineer logaritmik ilişkiler arasındaki karşılıklı etkileşime uygular (Habib 1997).

Rüzgar-güneş hibrit güç üretim sistemini geliştirmek için birçok uygulama yapılmıştır. Hibrit güç üretim sistemlerinin boyutlandırması amacı ile ilk çalışma Amerika Birleşik Devletlerinde NREL (National Renewable Energy Laboratory) tarafından desteklenen Manwell and Mc Gowan, tarafından yapılmıştır (Hayman ve Avelar 1996).

R.Glenn Macleod (1999) tarafından yapılan çalışmada hibrit rüzgar-diesel güç üretim sisteminde enerji talebinin yoğun olmadığı zamanlarda rüzgar türbini tarafından üretilen güç kontrollü bir şekilde depolanmaktadır. Kontrollü depolama işleminde bulanık kontrol kullanılmış ve hibrit güç üretim sisteminin işletme maliyetinde ciddi oranda azalmalar olduğu görülmüştür (Elhadidy 2005).

J.T.Bialasiewicz ve arkadaşları hibrit rüzgar-diesel güç sistemlerinin dizaynı ve modüler simülasyon çalışmasını gerçekleştirmişlerdir (Macleod1999). Yapılan çalışmada hibrit güç üretim sistemin oluşturan elemanların dinamik davranışları ve modüllerin kontrol yüzü ifade edilmiştir. Hibrit güç üretim sistemi bileşenlerinin geçici ve kararlı durumdaki çalışma şartları üzerine simülasyon çalışması yapılmıştır. Simülasyon çalışmasından elde edilen sonuçlar grafiklerle gösterilmiştir.

Alexandre de Lemos Pereira yapmış olduğu projede hibrit güç üretim sistemlerinin modüler denetim kontrolünü gerçekleştirmiştir. Modüler denetim kontrolü hibrit güç üretim sistemlerinin piyasadaki yerini almasına katkıda bulunmak, mühendislik uygulamalarındaki teknik güçlüklerin üstesinden gelmek amacıyla sistem dizaynı yaklaşımının önemli bir parçasını oluşturur. Denetim kontrolü için modüler algoritma Matlab programı içerisinde algoritması oluşturulan SuperCon isimli programla geliştirilmiştir. Bu yapılan proje çalışması modüler karakteristikli hibrit güç üretim sistemlerinin zeki ve özerk denetim kontrollerinin gerçekleştirilmesi ve geliştirilmesi

için kullanılabilen eksiksiz kontrol sistem dizaynını ortaya koymaktadır (Valanciage 2003).

David Arap Cheruiyot Cherus tarafından mobil klinikler için bir hibrit güç üretim sisteminin modellenmesi, simülasyonu, performans analizi isminde doktora çalışması yapılmıştır. Hibrit güç sistemi; alternatör, değişken hıza sahip diesel jeneratör, ambulans aracının üst kısmına montajı yapılmış fotovoltaik üretim ünitesi, batarya sistemi, elektriksel gücü gösteren ölçme elemanları ve kontrol devrelerinden oluşmaktadır. Yapılan çalışmanın ilk etabında sistem dizaynı, analizi ve simülasyon çalışması göz önüne alınmıştır. Hibrit güç üretim sisteminin dizaynı ve simülasyon çalışması Matlab/Simulink programı ile gerçekleştirilmiştir. Sistemin her elemanı için ayrı ayrı dizayn ve simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Çalışma sonucunda seyyar ulaşım araçlarının enerji ihtiyaçlarının kontrollü enerji depolama sayesinde güneş panellerinden karşılanacağı ve enerjiye ayrılan ödeneğin daha az olduğu sonucuna varılmıştır (Shaadid 2005).

Eduard Muljadi, ve H. Edward McKenna hibrit güç sistemlerinin güç kalitesi üzerine bir araştırma çalışması yapmışlardır. Hibrit güç üretim sistemi iki temel üretim ünitesinden oluşmaktadır. Bunlar rüzgar türbini ve diesel türbin üretim üniteleridir. Hibrit güç üretim sistemlerinin güç kalitesi, rüzgar ve diesel türbinin etkileşimi ve bölgesel yükler çalışmanın ana konularıdır. Bu yapılan çalışmanın ana konusu bütün sistem üzerinde rüzgar güç santralının etkisini göstermektir. Aynı zamanda geçici işletme şartlarında yük değişimlerinin gerilim ve frekans üzerindeki etkileri de tartışılmıştır. Güç salınımları ile ilişkili olarak tanımlanan işletme karakteristikleri ortaya çıkarılmıştır (Natarajan 2006).

Hibrit güç üretim sisteminden elde edilen enerjinin kaliteli, güvenli ve sürdürülebilir olabilmesi için bugüne kadar yapılan çalışmalarda bazı kontrol yöntemleri incelenmiştir. Daha önceki yapılan çalışmalarda hibrit güç üretim sistemini oluşturan her bir üretim ünitesinden (rüzgar türbini, güneş panelleri) elde edilen gücün veya gerilimin arzu edilen genlikte bazı kontrol metotları (klasik kontrol yöntemler, oransal

integral kontrol, bulanık mantık kontrol yöntemi, v.b.) kullanılmıştır. Hibrit güç üretim sisteminin kontrolünde iki önemli husus vardır. Bunlar;

- Hibrit güç üretim sisteminde istenilen çıkış geriliminin, frekansının ve güç sistemi kararlılığının sürekliliğini denetim altına almak amacıyla yapılan dinamik kontrol,
- Güç sistemi işletimini daha iyi düzeye çıkarmak amacıyla tüketicilere farklı enerji kaynaklarından akan enerji akışını dengede tutmak için güç sistemi bileşenlerinin en iyi kombinasyon seçimini gerçekleştiren işletme stratejisidir.

Güç üretim sisteminden en iyi performansını elde etmek için aynı anda iki kontrol yöntemi de kullanılabilir. Dinamik kontrol, sistem çıkışını arzu edilen veya kabul edilen sınır değerleri içersinde korumaktır. İşletme stratejisi (dispatch control) ise, işletme maliyeti terimlerinde optimal sistem performansını elde etmek için enerji akışının kontrolünü sağlamaktır (Oğuz 2007).

Yapılan incelemeler sonucunda alıcıların yenilenebilir enerji kaynakları ile beslenebilmeleri için genellikle üretim sistemleri batarya desteklemeli hibrit güç üretim sistemleri yapılarında kurulmasının çok avantajlı olduğu anlaşılmıştır. Gerçek zamanlı çalışmaların çok pahalı ve tehlikeli olması gibi durumlardan dolayı bilgisayar sistemleri üzerinde çalışma imkânı sağlamak için bir takım model çalışmalarında bulunduğu gözlenmiştir. Ayrıca enerjinin tekil ya da hibrit sistemler ile üretilmesi sistemin çok verimli olduğunu kanıtlamayacağı dikkat çekilmektedir. Çünkü kurulu sistemlerde üretilen enerjinin kontrollü bir şekilde alıcıya aktarılması, alıcının olmadığı zamanlarda enerjinin depolanması ve en önemlisi tüketim fazlası enerjisinin depolanması yani enerji akış kontrolünün yapılmasının da sistem verimliliği için çok önemli olduğunun öneminin vurgulandığı fark edilmiştir. İncelenen simülasyon çalışmalarında genellikle küçük güçlü üretim sistemlerinde üretilen enerji direkt olarak depolama ünitelerine gönderilerek alıcılar buralardan beslenmesi yapılmıştır. Bu durum depolama ünitelerinin devamlı olarak devrede olmaları kullanım ömürlerinin azalmasına neden olmaktadır. Şu unutulmamalıdır ki depolama ünitelerinin maliyetleri sistem için önemli ölçüde ön

plandadır. Yani enerjinin kontrolsüz bir şekilde kullanılması sistem elemanlarının ömrünü azaltmakta ve de alıcıların enerjisiz kalma riskini arttırmaktadır.

Yukarıdaki hususlar göz önüne alınarak Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Elektrik Eğitimi Bölümünü iki elektrik laboratuvarında bulunan küçük güçlü alıcıların beslenmesi için kurulacak sistem batarya desteklemeli 1170W'lık rüzgar-güneş hibrit güç üretim sistemi seçilerek kurulumu kampüs içerisine yapılmıştır. Kurulumu yapılan sistem üzerinde yapılacak gerçek zamanlı çalışmaların büyük riskler taşımasından dolayı sistem bileşenlerinin blok diyagramları Matlab/Simulink programı içerisinde yer alan SimPowerSystems kullanılarak simülasyon blok şemaları oluşturulup bu blok şemalar birleştirilerek kurulu olan sistemin birebir simülasyon modeli oluşturulmuştur. Ayrıca sistem verimliliğini arttırmak için modellemesi yapılan sistemin enerji akış kontrolü, anahtarlama kontrolör ve bulanık mantık kontrolör tasarlanarak modelleme üzerinde yapılmıştır.

2.LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Dünyadaki Enerji Göstergeleri

İnsanlar ihtiyaçlarını giderebilmek ve hayatlarını daha kolay hale getirmek için enerjiye ihtiyaç duyarlar. Bu enerjiyi ise çeşitli yollarla değişim yaparak kullanırlar. Örneğin ısı, kinetik, ışık, elektrik vb. formlarda kullanırlar. Enerji kaynakları; yenilenemez ve yenilenebilir enerji kaynakları başlığı altında iki guruba ayrılır.

Yenilenemez enerji kaynağı, adından da anlaşılacağı üzere kendini zamanla yenileyemeyen enerji kaynağı biçimidir. Bu enerji kaynakları kömür, petrol ürünleri, doğalgaz, katı yakıtlar (odun, katı atıklar ve etanol vb.) ,uranyum ve toryum gibi radyoaktif (nükleer) elementlerdir. Şu unutulmamalıdır ki bu enerji kaynakları uzun süreli ve aşırı kullanımdan dolayı tükenme aşamasına gelmiştir. Ayrıca bu enerji kaynaklarının çevre üzerindeki birçok olumsuz etkisinden dolayı kullanımının zararlı olduğu dünya üzerinde fark edilmeye başlanmıştır. Bundan dolayı insanlar yeni enerji kaynaklarının arayışına gitmişlerdir. Sonucunda çevreye çok az etkisi olan ve kendini zamanla yenileyebilen enerji kaynağı çeşitlerini kullanmayı keşfetmişlerdir. Yenilenebilir kaynakları ise rüzgar, güneş, hidrolik, jeotermal, biyoyakıt, gel-git, okyanus akıntıları vb. enerji türleridir.

2.1.1 Yenilenemez Enerji Kaynakları

2.1.1.1 Kömür

Dünyadaki kullanılabilir en çok bulunan enerji kaynağı kömürdür. Yapısal olarak katı halde olduğundan dolayı hammadde olarak yer altından çıkarılması, taşınması, depolanması ve kullanımı açısından en güvenli fosil yakıt türüdür. Kömür dünyanın birçok ülkesinin yer altı kaynaklarında bulunabilmektedir. Kömür yakıt olarak kullanıldığında insan sağlığı için zararlı karbondioksit ve karbonmonoksit gibi gazları açığa çıkarmakta ve yanma sonucu kül maddesi oluşturmaktadır. Bu yüzden bu yakıtın kullanımında birtakım önlemler almak gerekmektedir.

Yapılan araştırma ve hesaplamalar sonucunda 2005 yılında kömür kaynaklı elektrik üretimi 7,152 Trilyon KWh değerine ulaşmış ve toplam elektrik üretiminin yaklaşık % 41’lik kısmını oluşturmuştur. Ön görülen hesaplamalara göre ise 2030 yılına kadar kömür kaynaklı üretim 2 kat büyüyecek ve toplam elektrik üretiminin % 46’sını karşılayacaktır. Petrol ve doğal gaz fiyatlarının yüksekliği özellikle ABD, Çin ve Hindistan gibi kömür yataklarının zengin olduğu ülkelerde kömür kaynaklı elektrik üretimini ekonomik olarak daha çekici hale getirmektedir (IEO 2008).

2.1.1.2 Petrol Yakıtları

Bu enerji kaynağı şu an için yenilenemez enerji kaynakları arasında dünya üzerindeki önemi çok daha fazladır. Ülkelerin yer altı kaynaklarında bulunan bu yakıt türünün miktarı ülkelerin dünya üzerindeki ekonomilerini gelişmesini sağlayan bir unsur niteliğindedir. Çünkü ulaşım, tarım ve ağır iş araçlarının tümü bu yakıta ihtiyaç duymaktadır. Hali hazırda petrolün mutlak bir alternatifi henüz mevcut değildir. Ayrıca petrol sadece enerji hammaddesi değil, aynı zamanda birçok sanayinin (boya, plastik, eczacılık, kozmetik, demir-çelik vb.) ana girdilerinin üretildiği hammaddeler arasında yer almaktadır (Bayraç 2006).

2.1.1.3 Doğal Gaz

Bu enerji kaynağı türü diğer fosil esaslı kaynak türleri gibi çevreye olumsuz etki yapan gazları (karbondioksit, karbonmonoksit ve kükürtdioksit) açığa çıkartmamakta ve de kömür gibi ardında kül atığıda bırakmamaktadır. Bu yüzden temiz bir enerji kaynağı türüdür. Bu niteliklerinden dolayı ülkeler arasında önemli bir yakıt türü haline gelmiştir. Türkiye de kendi ihtiyacını karşılayacak kadar doğal gaz çıkartılamadığı için her yıl diğer ülkelerden tonlarca metreküp doğal gaz alınarak milyarlarca dolar ödeme yapılmaktadır. Dünya genelinde bu yakıt ile 2005 yılında 3.4 Trilyon KWh elektrik üretimi yapılmış olup ileri ki 20-25 yıl süre zarfında bu üretimin % 150 artacağı öngörülmektedir. Doğalgaz kaynaklı yakıtlar; yakıt verimliliği, işletme esnekliği, daha kısa santral tasarlama ve inşa süresi, diğer teknolojilere göre daha düşük sermaye gerektirmesi gibi özellikleri sayesinde gittikçe daha çok tercih edilmektedir (IEO 2008).

2.1.1.4 Nükleer Enerji

Enerji üretimi bakımından diğer enerji kaynakları içerisinde en verimli olanıdır. Bu enerji kaynağı yakıtları uranyum ve toryum olarak bilinen radyoaktif elementlerdir. Hammaddenin çıkarılması, taşınması, depolanması, kullanılması ve de en önemlisi kullanıldıktan sonra arda kalan radyoaktif atıkların yok edilmesi bakımından çok büyük riskler taşımaktadır. Nükleer enerjiden elektrik üretimi 2005 yılında 2.6 Trilyon KWh iken 2030 yılında % 50 artış göstereceği ön görülerek 3.8 Trilyon KWh olacağı tahmin edilmektedir (IEO 2008). Ülkemizde halen bir nükleer santral bulunmadığı için bu enerji kaynağı ile elektrik üretimi yapılamamaktadır. Bunun nedeni, ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olması, yeterli teknolojik malzeme, bilgi birikimi ve donanımlı işçi gücünün bulunmamasıdır. Ama şu unutulmamalıdır ki dünya üzerindeki yer altı kaynağı olarak en çok Türkiye de bulunmaktadır. Son zamanlarda bu enerji türü ile ilgili birtakım çalışmalar başlatılmış olup halen devam etmektedir. İleri ki yıllarda büyük bir miktarda elektrik üretiminin gerçekleştirileceği umulmaktadır.

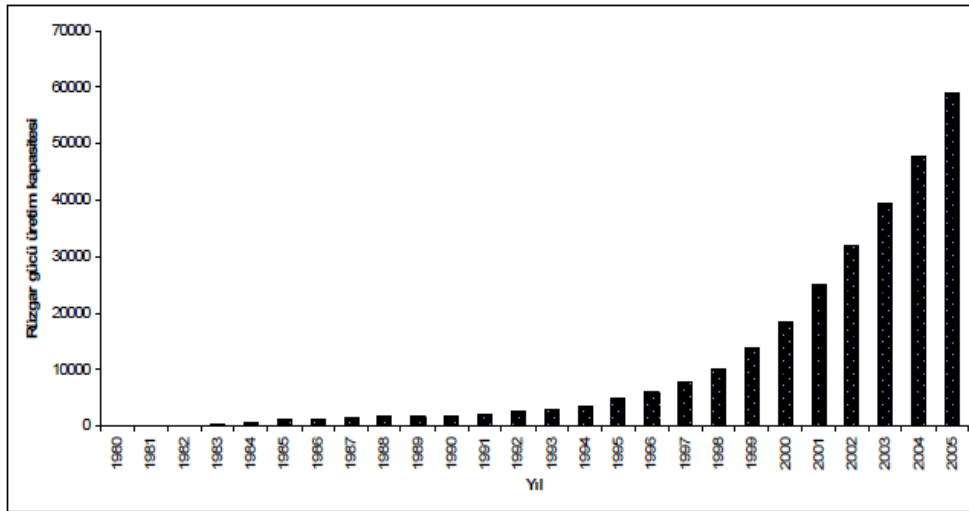
2.1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

2.1.2.1 Rüzgar Enerjisi

Dünya da rüzgar enerjisinin ilk kullanımı yaklaşık 5000 yıl önce Nil nehrinde yelkenli gemileri hareket ettirmek amacıyla kullanıldığı bilinmektedir. Daha sonraki yıllarda insanlar bu gücü ulaşım ve yük taşıma haricinde tarla sulamak amacıyla su pompalamak ve tahıl ürünlerini öğütmek içinde kullanmışlardır. Geçen yüzyılda en büyük rüzgar teknolojisi gelişmeleri Danimarka da olmuştur. İlk elektrik üreten rüzgar türbini Danimarkalı Poul La Cour (1891) tarafından yapılmıştır. Daha sonra ki yıllarda ülkeler bu enerji kaynağı ile elektrik üretimi birçok çalışmada bulunmuşlardır. 1980'den sonra bu girişim sonuç vermeye başlamış olup ülkeler elektrik ihtiyaçlarının bir kısmını buradan sağlamaya başladılar. Günümüzde rüzgar enerjisi ile elektrik üretimi üst seviyelere çıkmaktadır ve ileriki yıllarda çok daha fazla artış olacağı tahmin edilmektedir. Bunun nedeni rüzgar enerjisi temiz bir enerji kaynağıdır. Bugün dünyanın en önemli çevre sorunu, havaküreye CO₂ salımı artışından ve sera etkisinden kaynaklanan küresel ısınmadır. Rüzgâr santralleri CO₂ salınımı oluşturmaz.

Rüzgar enerjisi ile elektrik üretimi yöntemi, çevre dostu, asit yağmurlarına yol açmayan, atmosferik ısınmaya yol açmayan, CO₂ salınımını azaltan fosil yakıt tasarrufu sağlayan, radyoaktif etkisi olmayan bir yöntemdir. Ayrıca rüzgar enerjisi ham madde sıkıntısı olmayan sürekli ve sonsuz bir enerjidir. Ekonomik üretim sağlayan teknolojik gelişimi hızlı, döviz kazandırıcı, dışa bağımlı olmayan, kısa sürede devreye alınabilinen ve kısa sürede söküle bilinen yönleri ile ileri teknoloji kullanarak elde edilen bir güç kaynağı durumundadır.

Rüzgar santrallerinin görsel ve estetik olarak kişileri rahatsız etmesi, gürültü yapması, kuş ölümlerine yol açması, gerek radyo ve gerekse TV alıcılarına parazitler oluşturması gibi olumsuz çevre etkileri ile kaza olasılıkları da bulunmaktadır. Bazı ülkelerde Milli Parklar içerisinde sınırlı sayıda rüzgar türbinleri kurulabilmektedir. Türbinlerin haberleşmede parazit oluşturması ise 2–3 km alanda sınırlı kalmaktadır. Ancak, rüzgar türbini teknolojisinde gelinen bu günkü nokta tüm bu olumsuz etkileri son derece azaltmış veya ortadan kaldırmıştır. Yine de santral kurulacak sitelerde bu olgulara dikkat gösterilmesi gerekmektedir. Dünyadaki enerji rezervlerinin durumu dikkate alındığında, rüzgar enerjisinden yararlanmanın, hem çevresel açıdan hem de kaynak varlığı açısından ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 2.1 1980-2005 yılları arasında dünya genelinde rüzgar enerjisi üretim kapasitesi

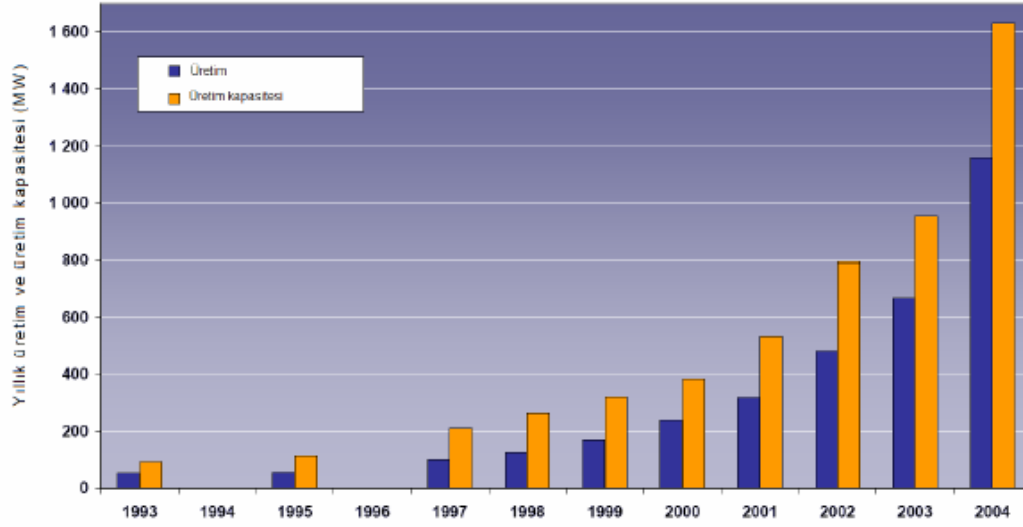
Çizelge 2.1 2008 Rüzgar gücü kapasitesinde dünya sıralamasındaki ilk 10 ülke(REGSR Update 2009)

Sıra No	Ülkeler	2008 yılı toplam kapasite (MW)
1	ABD	25170
2	ALMANYA	23900
3	İSPANYA	16740
4	ÇİN	12210
5	HİNDİSTAN	9650
6	İTALYA	3740
7	FRANSA	3400
8	BİRLEŞİK KRALLIK	3240
9	DANİMARKA	3180
10	PORTEKİZ	2860

2.1.2.2 Güneş Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynakları içinde günümüzde elektrik üretiminde popüler hale gelmiş olan doğal bir enerji kaynağıdır. Dünyada ki tüm ülkeler bu enerji kaynağına sahiptirler. Fakat coğrafi konumlarından dolayı bazı ülkeler daha avantajlıdır. Türkiye de coğrafi konumundan dolayı bu avantajlı ülkeler arasındadır. Türkiye'nin güneş enerjisi gücü ilk kez 1970 yılında, bir bilimsel araştırma kapsamında yapılmıştır. Belirlenen olgulara göre Türkiye'nin yıllık güneşlenme süresi 2608.8 saat olup, maksimum değer 361.8 saat ile temmuz ayında ve minimum değer 97.8 saat ile aralık ayında görülmektedir. Güneşlenme süresi yönünden en zengin bölge yılda 3015.8 ile Güneydoğu Anadolu'dur (EİE Ulusal Enerji Tasarrufu merkezi Yayını,1998).

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMI) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışıyım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışıyım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir (www.eie.gov.tr).



Şekil 2.2 1993-2004 yılları arasında dünya genelinde güneş enerjisi üretimi

2.1.2.3 Hidrolik Enerjisi

Hidrolik enerjisi su gücüne dayalı bir enerji türüdür. Şu an için enerji kaynakları arasında en çok çevre dostu olan ve en az risk potansiyeline sahip enerji kaynağıdır. Bu enerji kaynağından elektrik üretimi hidroelektrik santralleri (HES) ile yapılmaktadır. HES'ler yüksek verimli, temiz, yenilenebilir, çevre dostu ve uzun ömürlü enerji santralleri olduğu için çok tercih edilmektedir. Bunun yanı sıra işletme giderleri düşük, dışa bağımlılığı ve yakıt giderleri olmayan bir enerji santralidir. Tek sakıncalı yönleri kuraklık dolayısı ile faaliyete geçirilememeleridir.

2.1.2.4 Jeotermal Enerjisi

Yeraltında birikmiş olan ısı enerjisinin su gibi sıvı maddelerce sıcak su, buhar gibi formlarda yeryüzüne taşınması ile oluşan enerji kaynağıdır. Bu enerji kaynağı içinde çeşitli elementler bulundurduğu için çok temiz bir enerji kaynağı türü değildir. Ama modern jeotermal elektrik santrallerinde CO_2 gibi gazların salınımı çok düşük olduğundan temiz bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Dünyada JE Kurulu gücü 9.700 MW, yıllık üretim 80 milyar KWh olup, elektrik dışı kullanım ise 33.000 MW'tır. Türkiye, oldukça yüksek jeotermal potansiyele sahip olan bir ülkedir. Özellikle

Afyonkarahisar ve Kütahya illeri bu enerji kaynağı bakımından çok zengin illerdir. Ülkemizin jeotermal potansiyeli 31.500 MW'tır. Bu güne kadar bu potansiyelin % 13'ü (4.000 MW) MTA tarafından kullanıma hazır hale getirilmiştir. Türkiye'deki jeotermal alanların % 55'i ısıtma uygulamalarına uygundur. Ülkemizde, JE kullanılarak 1200 dönüm sera ısıtması yapılmakta ve 15 yerleşim biriminde 100.000 konut JE ile ısıtılmaktadır. JE arama çalışmaları son yıllarda canlandırılmış, 2003 yılından itibaren MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılan arama çalışmaları sonucu 840 MW JE kaynağı tespit edilmiştir. JE potansiyelimizin 1.500 MW'lık bölümünün elektrik enerjisi üretimi için uygun olduğu değerlendirilmekte olup kesinleşen veri şu an için 600 MW'tır. 39 MW'lık bir bölümü elektrik üretim amaçlı kullanılmaktadır (Fidan 2010).

2.1.2.5 Gel-Git ve Okyanus Akıntı Enerjileri

Adından da anlaşılacağı üzere su gücünün oluşturduğu enerji şeklidir. Gel-git enerjisi genellikle okyanuslarda görülmektedir. Bilindiği üzere ayın çekim kuvvetinden dolayı yerküre de ki sular metrelerce içeriye çekilmekte bazen de metrelerce dışarıya doğru taşmaktadır. Bu hareket sonucunda suyun kinetik enerjisi oluşmaktadır. Bu enerji kullanarak elektrik üretimi sağlanmaktadır. Okyanuslarda su akıntıları alt ve üst akıntı olmak üzere birbiri zıt yönlü hareket halindedir. Yani bir çarkın döndürülmesi için iki yönden uygulanan kuvvete benzetilebilir. Bu özellik jeneratör milinin dönme hareketi ile aynıdır. Sonuç olarak akıntı hızı yüksek yerlere elektrik üretim tesisleri kurularak elektrik üretimi yapılmaktadır.

2.1.2.6 Biyoyakıt Enerjileri

Biyoyakıt, içeriklerinin hacim olarak en az % 80'i son on yıl içerisinde toplanmış canlı organizmalardan elde edilmiş, her türlü yakıt olarak tanımlanır. Biyodizel, biyoetanol, biyogaz ve biyokütle olarak değerlendirilmektedir. Biyodizel, kolza (kanola), ayçiçeği, soya, aspir gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen bitkisel yağlardan veya hayvansal yağlardan üretilen bir yakıt türüdür. Biyodizel, tarımsal bitkilerden elde edilmesi nedeniyle, fotosentez yolu ile CO₂ 'i dönüştürüp karbon döngüsünü sağladığı için, sera

etkisini arttırıcı yönde etki göstermez. Ülkemizde de biyodizel çok soğuk bölgelerimizin dışında dizelin kullanıldığı her alanda kullanılabilecek bir yakıttır.

Biyometanol, hammaddesi şeker pancarı, mısır, buğday ve odunsular gibi şeker, nişasta veya selüloz özlü tarımsal ürünlerin fermantasyonu ile elde edilen ve benzinle belirli oranlarda harmanlanarak kullanılan alternatif bir yakıttır. Ulaştırma sektöründe benzin ile karıştırılarak, küçük ev aletlerinde, kimyasal ürün sektöründe kullanılan biyometanol, yakıtın oksijen seviyesini arttırarak, yakıtın daha verimli yanmasını sağlar, egzoz çıkışındaki zararlı gazları azaltır, kanserojen maddelerin çevreci alternatifidir, egzoz emisyonlarını azaltır. 3 Mt'u benzin tüketimi olmak üzere toplam 22 Mt akaryakıt tüketimi olan ülkemizde 160 Kt biyometanol kurulu kapasitesi bulunmaktadır.

Biyogaz organik maddelerin (hayvansal atıklar, bitkisel atıklar, şehir ve endüstriyel atıklar) oksijensiz şartlarda biyolojik parçalanması (anaerobik fermantasyon) sonucu oluşan ağırlıklı olarak metan ve karbondioksit gazıdır. Biyogaz teknolojisi ise organik kökenli atık/artık maddelerden hem enerji eldesine hem de atıkların toprağa kazandırılmasına imkan vermektedir. Türkiye'nin hayvansal atık potansiyeline karşılık gelen üretilebilecek biyogaz miktarı 1,5 - 2 Milyon Ton Eşdeğer Petrol (Mtep) olduğu değerlendirilmektedir. Biyokütle kaynaklarımız; tarım, orman, hayvan, organik şehir atıkları vb.den oluşmaktadır. Atık potansiyelimiz yaklaşık 8,6 Mtep olup bunun 6 Mtep'i ısınma amaçlı kullanılmaktadır. 2007 yılında biyokütle kaynaklarından elde edilen toplam enerji miktarı 11 KTep'dir (Fidan 2010).

2.2 Hibrit Güç Üretim Sistemi Bileşenleri

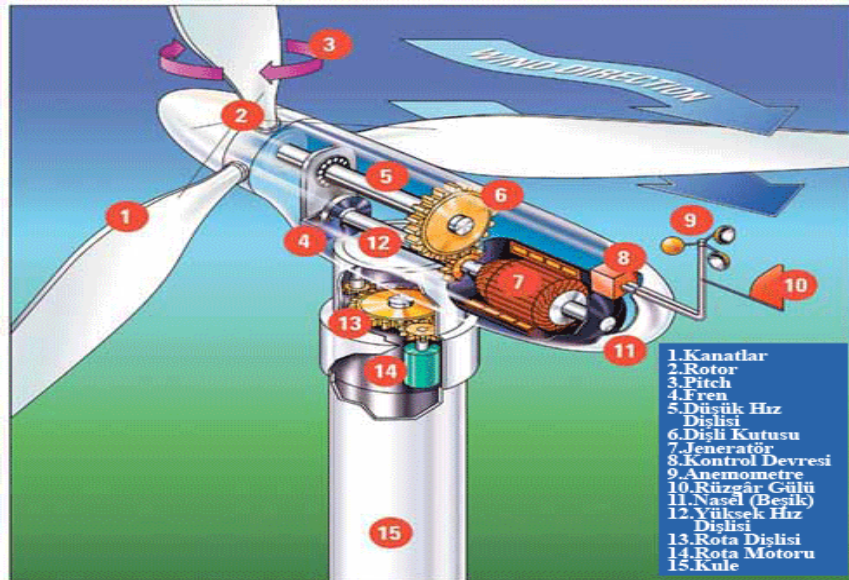
2.2.1 Rüzgar Türbinleri

Rüzgar türbinleri rüzgarın kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. Ürettikleri elektrik enerjisi rüzgarın hızına bağımlı olarak doğru orantılı bir şekilde değişir. Rüzgâr türbininin kurulacağı yer seçimi yapılırken birtakım faktörler çok önemlidir. Bunlar kurulacak yerin rüzgar hızının sürekli ve yüksek olması aynı zamanda hava akışını engelleyecek yükseltilerin türbin çevresinde bulunmamasıdır. Basit olarak rüzgâr

türbininin çalışması şu şekildedir; hava akımı türbin kanatlarına çarptığında kanatların dönmesine neden olur ve bu sayede kanatların bağlı bulunduğu milin dönmesini sağlar. Küçük güçlü rüzgâr türbinlerinde bu mil genellikle doğrudan jeneratöre, büyük güçlülerde ise genellikle dişli kutusu yardımı ile jeneratöre bağlanır (Gagliano ve Neri 2009, Barsali ve Ceraolo 2002). Jeneratörler ise bu mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler. Düşük güçlü rüzgar türbinlerinde çoğunlukla sabit mıknatıslı jeneratörler kullanılırken, yüksek güçlülerde ise senkron veya asenkron jeneratörler kullanılmaktadır (Marcelo ve Molina 2010). Rüzgar türbinleri genellikle 2 veya 3 kanatlı, az da olsa 1 ya da 3 den fazla kanatlı olarak üretilmektedirler. Rüzgar türbinlerinin gücü: rüzgar hızı, kanat adedi, kanat uzunluğu, kanat geometrisi, performans katsayısı, kanat açısı vb. parametrelere bağlı olarak değişir. Rüzgar türbinleri kurulum yeri olarak kara üzerine, okyanus ve göl içine kurulabilmektedir.

2.2.1.1 Rüzgar Türbini Parçaları

RT'ler kullanım amaçlarına göre farklı yapıdaki elemanlardan oluşabilmektedirler. Ama yapıları ve özellikleri farklı olsa da aynı amaç için görev yapan benzer bileşenlerden meydana getirilirler. Şekil 2.3 'de rüzgar türbininin temel bileşenleri gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Rüzgar türbini parçaları

Kanatlar: Türbin kanatları, rüzgârı yakalar ve rüzgârın gücünü türbin göbeğine aktarır. Genelde 2 veya 3 kanatlı olur. Kanatlar değişken açılı veya sabit açılı olabilirler. Kanat kontrol mekanizmaları, türbin verimini doğrudan etkiler. Türbinlerde üç tip kanat kontrol mekanizması vardır (Öztürk 2008).

Rotor: Kanatlar ve dişli kutusunun yuvalandığı kapalı sisteme rotor denir.

Frenler (Brake): Acil durumlarda, mekanik, elektriksel veya hidrolik olarak uygulanan bir disk ile rotorun hareketi durduran mekanizmadır.

Dişli kutusu (Gear Box): Dişli kutuları düşük ve yüksek hız şaftlarının yataklandığı mekanizmadır.

Düşük Hızlı Mil (Low Speed Shaft): Kanatların bağlandığı mildir.

Yüksek Hızlı Mil (High Speed Shaft): Jeneratörlerin elektrik üretebilmesi için milinin yüksek hızlarda döndürülmesi gerekmektedir. Rüzgar türbin kanatları dakikada 30-50 devir ile dönebilmektedirler. Bu kanatların bağlı olduğu düşük hız mili ile bu devir dişli kutusu yardımı ile yükseltip yüksek hız miline aktarılır. Bu mil jeneratörün mili ile bağlantılı olduğu için jeneratör devrini aktaran organ olarak da bilinir.

Jeneratör: Hareket enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesini sağlayan makinedir.

Kule: Yuvarlak veya kafes şeklinde tasarlanan, çelikten yapılmış, tepe düzlemine türbin gövdesinin yerleştirilmesini sağlayan direktir.

Anemometre: Rüzgâr hızını ölçüp elektronik kontrol sistemini ileten bir ölçüm cihazıdır.

Rota dişlisi ve motoru: Rüzgâr türbininin rüzgârın esme yönüne göre dönmesini sağlayarak verimli bir şekilde rüzgârdan faydalanmasını veya bazı durumlarda korunmasını sağlayan parçalardan biridir.

2.2.1.2 Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması

Tarih boyunca çeşitli evrimler geçiren rüzgar makinelerinde kullanılan türbinler farklı tiplerdedir. Şimdiye kadar değişik nitelikte ve tipte geliştiren bu RT'ler günümüzde ticari hale gelmiştir. RT'ler için güçlerine, dönme eksenlerine, yapısında bulunan jeneratör tiplerine ve kontrol sistemlerine göre farklı sınıflandırmalar yapılmaktadır.

2.2.1.2.1 Güç Sınıflarına Göre Rüzgar Türbini Çeşitleri

Güçlerine göre 4 gruba ayrılmaktadırlar. Bunlar:

1. Mikro Rüzgar Türbinleri
2. Küçük Güçlü Rüzgar Türbinleri
3. Büyük Güçlü Rüzgar Türbinleri
4. Çok büyük güçlü (**Megawatt**) Rüzgar Türbinleri

Türbin çeşitlerine göre güç özellikleri alt bölümde anlatılmıştır.

2.2.1.2.1.1 Mikro Rüzgar Türbinleri

Mikro türbinler genellikle 0-3 kW arasındaki güç değerlerine sahiptirler. Genel olarak bu tip türbinlerde (PMSG) sabit mıknatıslı senkron jeneratörler kullanılmaktadır. Bu türbinlerin %80'i dişli kutusu olmadan direkt olarak jeneratör miline bağlıdır. Haberleşme sistemleri, elektrikli çitler, gezi tekneleri, karavanlar ve su pompalama sistemlerinde kullanılırlar. Çoğunlukla batarya desteklemeli olarak kurulumları yapılmaktadır. Kurulum maliyeti ve verimleri düşüktür.

2.2.1.2.1.2 Küçük Güçlü Rüzgar Türbinleri

Bu türbinler 3-30 kW arasındaki güç değerlerine sahip türbinlerdir. Bu tip türbinlerin çok azı dişli kutusu olmadan sürülmektedir. Genel yapı itibarıyla bu türbinler doğrudan(kontrol sistemsiz) sürülmektedir. Doğrudan sürülmelerinin en önemli yararı çok az bakım gerektirmeleri ve yüksek güvenilirliğidir. Bu türbinlerinde kurulum maliyeti ve verimi düşüktür.

2.2.1.2.1.3 Büyük Güçlü Rüzgar Türbinleri

Büyük güçlü türbinler genel olarak kW güç seviyelerinden MW seviyelerine kadar güçte üretilen türbinlerdir. Bunlarda dişli sistemleri kullanılmaktadır. Ayrıca bu tip türbinler kontrol sistemleri ile denetlenerek sürülmektedir. Dolayısıyla verimlilikte artış gibi bazı avantajları vardır. Türkiye de genellikle büyük güçlü rüzgar türbinleri kurulmaya başlamıştır.

2.2.1.2.1.4 Megawatt Rüzgar Türbinleri

Megawatt güç değerlerine sahip türbinlerdir. Türkiye megawatt cinsinden türbinler pek kurulmamaktadır. Çünkü güç arttıkça imal maliyeti, türbin kontrolü ve kurulum maliyeti çok fazla olmaktadır. Fakat dünya üzerinde 7 MW 'a kadar büyüklükte kurulu türbinler bulunmaktadır.

2.2.1.2.2 Dönme Eksenlerine Göre Rüzgar Türbini Çeşitleri

Dönme eksenlerine göre ise 3 guruba ayrılmaktadırlar. Bunlar:

1. Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri(YERT)
2. Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri(DERT)
3. Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri(Wagner RT)

Dönme eksenlerine göre türbin çeşitlerinin özellikleri alt bölümde anlatılmıştır.

2.2.1.2.2.1 Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri

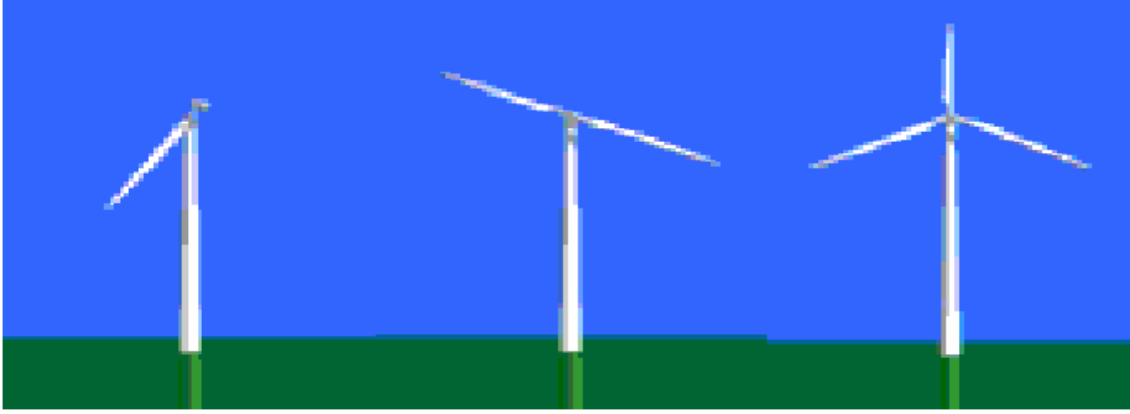
Bu türbinlerde; dönme eksenini rüzgar yönüne paralel, kanatlar rüzgar yönüne diktir. Bu türbinlerde rotor kanatların sayısı azaldıkça rotor daha hızlı dönmektedir. Bu türbinlerin verimi yaklaşık %45'dir.

YERT genel olarak yerden 20-30m yüksekte ve çevredeki engellerden 10m yüksekte olacak şekilde yerleştirilmelidir. Rüzgar hızının, rotor kanadı uç hızına bölünmesi ile elde edilen orana kanat uç hız oranı (λ) denir.

Eğer;

- $\lambda = 1-5$ Çok kanatlı rotor,
- $\lambda = 6-8$ Üç kanatlı rotor,
- $\lambda = 9-15$ İki kanatlı rotor,
- $\lambda > 15$ Tek kanatlı rotor kullanılır.

YERT, farklı sayıda rotor kanadına sahip olan ve rüzgarı önden alan veya rüzgarı arkadan alan sistemler olarak da çeşitlilik gösterirler. Genellikle 3 kanatlı olanları kullanılmaktadır. Ama 2 ve tek kanatlı olanları da vardır.



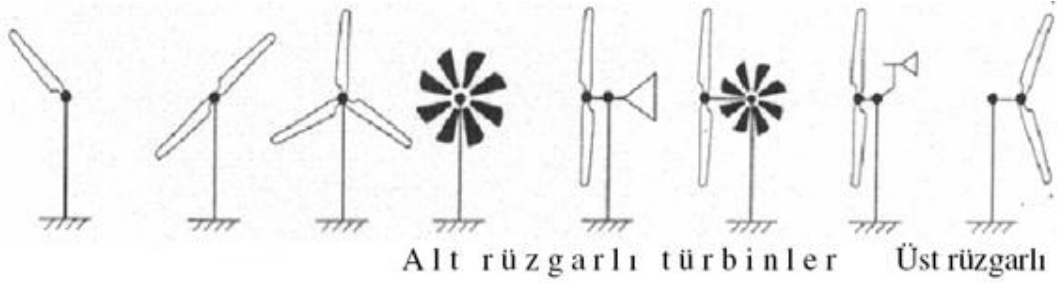
Şekil 2.4 YERT türbinlerinin kanat sayılarına göre çeşitleri

2.2.1.2.2.1.1 Rüzgarı Önden Alan Makineler

Yıllardır yaygın olarak kullanılan bu makinelerde rotor yüzü rüzgara dönüktür. En önemli üstünlüğü kulenin arkasında olacak rüzgar gölgeleme etkisine çok az maruz kalmasıdır, yani rüzgar kuleye eğilerek varır. Kule yuvarlak ve düz olsa bile kanadın kuleden her geçişinde türbinin ürettiği güç biraz azalır. Bu nedenle rüzgar çekilmesinden dolayı kanatların sert yapılması gerekir ve kanatların kuleden biraz uzakta yerleştirilmesi gerekir. Ayrıca, önden rüzgarlı makineler, rotoru rüzgara karşı döndürmek için “Yaw” mekanizmasına gerek duyarlar.

2.2.1.2.2.1.2 Rüzgarı Arkadan Alan Makineler

Bu makinelerin rotorları kule arkasına konulur. Bunların önemli üstünlüğü rüzgara dönmek için “Yaw” mekanizmasına gerek duymayışlarıdır. Eğer nacelle ve rotor uygun tasarlanırsa, nacelle rüzgarı pasif olarak izler. Daha önemli bir üstünlük kanatların esnek özelliğe sahip olmasıdır. Bu, hem ağırlık hem de makinenin güç dinamiği açısından önemli bir üstünlüktür. Böylece bu makinelerin avantajları; önden rüzgarlı makinelere göre daha hafif yapılması sonucu kule yükünün azalmasıdır. Ancak, kanat kuleden geçerken meydana gelen güç dalgalanması, türbine önden rüzgarlı makinelerden daha çok zarar verir.



Şekil 2.5 Alt ve üst rüzgarlı türbinler

2.2.1.2.2.2 Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri (DERT)

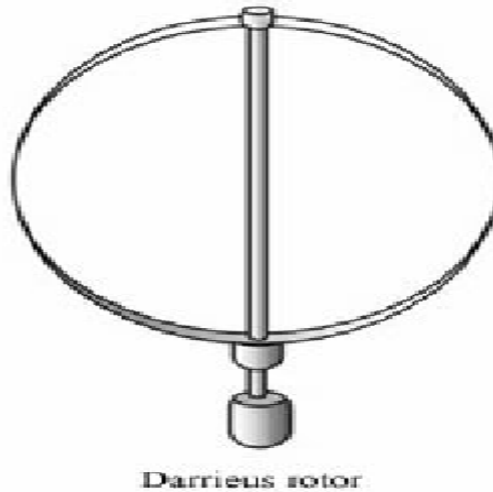
Dönme eksenleri rüzgar yönüne dik ve düşey olan bu türbinlerin kanatları da düşeydir. DERT rüzgarı her yönden kabul edebilme üstünlüğüne sahiptir. Bu türbinler rüzgarı sürükler veya kaldırır. İlk harekete geçişleri güvenilir değildir. Bu türbinlerin verimi yaklaşık %35'tir. Türbinlerin üreteç ve dişli kutusu toprak seviyesinde kurulabildiğinden kuleye gerek duymazlar. Bu yüzden düşük rüzgar hızlarında çalışmak zorunda kalırlar ve “Yaw” mekanizmasına ihtiyaçları yoktur.

Düşük rüzgar hızları ve az miktarda su pompalamak için tasarlanmışlardır. Kanat sayısının artması malzeme ağırlığını da beraberinde getirdiğinden, yüksek rüzgar hızlarında verimsiz çalışır. Rotor çapı 5m olan türbinden yaklaşık 0,5kW güç elde edilir. Bu türbinleri yer yüzeyine bağlayabilmek için çelik halatlara gereksinim duyulmaktadır.

Darrieus ve Savonious isimleri ile bilinen dikey eksenli rüzgar türbinleri vardır.

2.2.1.2.2.1 Darrieus Rüzgar Türbini

1931 yılında Fransız mühendis George J.M. Darrieus tarafından icat edilmiştir. 1970 ve 1980’lerde Amerika ve Kanada da Darrieus türbinlerinin kanat dizaynları üzerine geniş çalışmalar yapılmıştır. Kanatları geometrik formlu aerodinamik profile sahip olduğundan yüksek performanslıdır. Kanatlardaki hafif eğim sayesinde kanatlardaki çekme gerilimleri minimuma iner. Yüksek hızlarda çalışabilir ve türbin; 2 veya 3 kanatlı olur. İlk hareket için Savonius RT veya bir tahrik motoru gerekmektedir. Daha sonraki yıllarda bu türbin geliştirilerek H-Darrieus isimli türbin oluşturulmuştur. Darrieus türbine ait rotor yapısı şekil 2.6’da gösterilmektedir.



Şekil 2.6 Darrieus türbine ait rotor yapısı

2.2.1.2.2.1.1 H-Darrieus Rüzgar Türbini

Dikey eksenli en önemli RT’lerden biridir. Darrieus RT’nin geliştirilmesiyle meydana gelen daha karmaşık tipte bir türbinidir. Darrieus RT’den iki önemli farkla ayrılır. Bunlar:

- Aerodinamik profili düzdür.
- Kanatlara pitch kontrol uygulanır.

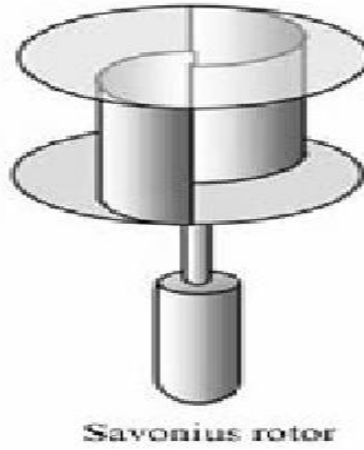
2.2.1.2.2.2 Savonius Rüzgar Türbini

Savonius RT, 1925 yılında Finlandiyalı mühendis Sigurd J. Savonius tarafından keşfedilmiştir. İki yatay disk arasına yerleştirilmiş ve merkezleri birbirine göre simetrik olarak kaydırılmış, “kanat” adı verilen iki yarım silindirden oluşmaktadır. Belirli bir hızla gelen rüzgarın etkisiyle, çarkı oluşturan silindirin iç kısmında pozitif ve dış kısmında negatif bir momentin olmaktadır.

Pozitif moment, negatif momentten daha büyük olduğundan, dönme hareketi pozitif moment yönünde sağlanır. Diğer DERT’ lere göre; düşük rüzgar hızlarında iyi başlangıç karakteristiklerine sahip olması, yapımının kolay ve ucuz olması, rüzgarın yönünden bağımsız olması ve kendi kendine ilk harekete başlaması gibi birçok üstünlüklere sahip olan Savonius RT’lerinin, aerodinamik performansı düşük olduğu için ilk uygulama alanları; havalandırma, su pompalama gibi kısıtlı alanlar olmuştur. Savonius RT’nin birçok üstünlüğü bulunmasına rağmen, aerodinamik performanslarının düşüklüğü nedeniyle kullanılmamaktadır.

Son yıllarda yapılan Savonius RT çalışmaları, aerodinamik performansın geliştirmesi yönünde olmuştur. Aldoss ve Najjar, bu çarkın performansı üzerine; “sallanan kanatlı çark” kullanarak deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında Savonius RT’nin performansını, hem rüzgarın gerisinde hem de rüzgara doğru, çark kanatlarının bir optimum açı ile geriye doğru salınmasına müsaade ederek geliştirmişlerdir.

Reupke ve Probert, Savonius RT’nin çalışma etkinliğini arttırmak için, türbin kanatlarının kavisli kısımlarının yerine bir sıra menteşelenmiş kanatçıklar yerleştirmiştir. Kanatçıklar rüzgara doğru ilerlerken, rüzgar basıncının etkisinde otomatik olarak açılmış ve daha az akış direnci elde edilmiştir. Kanatçıkların ilk konuma gelirken, Tekrar otomatik olarak kapandığını tespit edip, çok düşük uç hız oranlarında, düzeltilmiş parçalı kanatlı çarklardan, klasik Savonius RT’lerine oranla daha yüksek momentler elde edildiğini belirlemişlerdir (Linder 2003). Savonius türbine ait rotor yapısı Şekil 2.7’de gösterilmektedir.



Şekil 2.7 Savonius türbine ait rotor yapısı

2.2.1.2.2.3 Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri

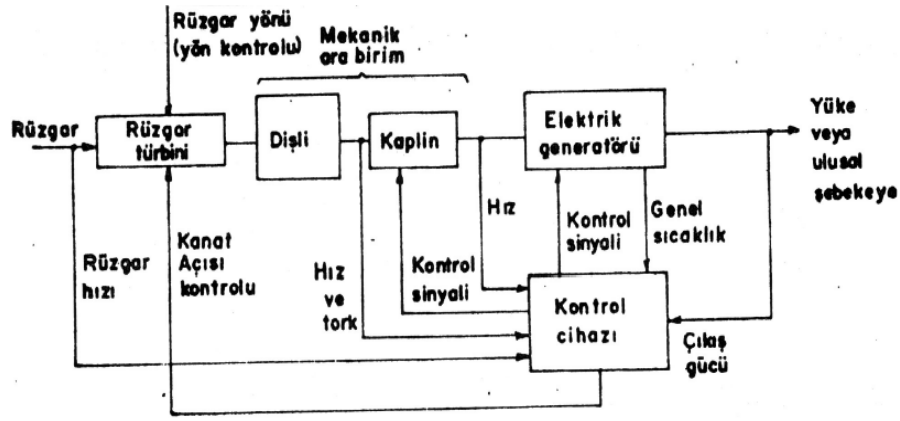
Dönme eksenleri düşeyle, rüzgar yönünde bir açı yapan RT'lerdir. Bu tip türbinlerin kanatları ile dönme eksenleri arasında belirli bir açı bulunmaktadır.

2.2.2 Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Jeneratörler

Elektrik enerjisi elde etmek için kullanılan rüzgar türbinleri az kanatlı ve yüksek hızlı makinelerdir. Yüksek hızda çalışmalarının nedenleri;

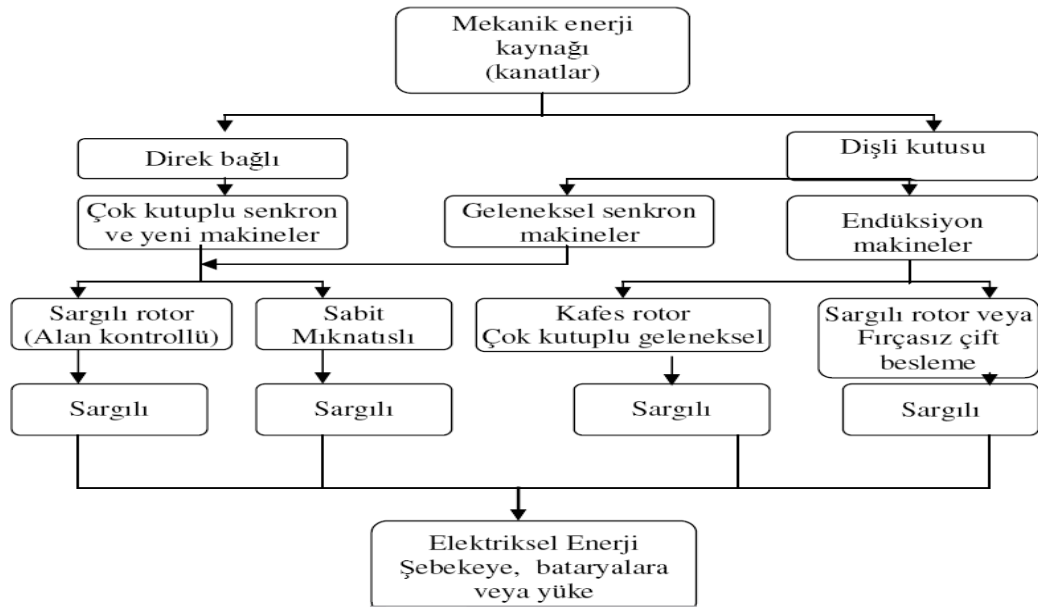
- Eşit çaptaki bir rüzgar türbini düşük hızlı bir rüzgar türbininden daha hafif dolayısıyla ekonomiktir.
- Dönme hızları daha hızlı olduğu için gerekli çevrim oranı daha düşüktür. Bu nedenle dişli kutusu daha hafiftir.
- Elektrik jeneratörünün çalışmaya geçmesi için gerekli başlangıç torku küçüktür.

Rüzgar elektrik sistemlerinin temel bileşenleri Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Hareketli havadan mekanik enerji şeklinde elde edilen enerji, uygun bir kaplin ve dişli kutusu içeren mekanik aktarıcı yoluyla elektrik jeneratörüne aktarılır. Jeneratörden alınan elektrik çıkışı, uygulamaya bir yüke veya güç şebekesine bağlanır.



Şekil 2.8 Rüzgar elektrik sisteminin basit bileşenleri

Bu tür sistemde kullanılan kontrol cihazı bir ya da daha fazla noktada rüzgar hızı ve yönü, mil hızları ve torkları (döndürme momenti) , çıkış gücü ve gerekliyse jeneratör sıcaklığını algılatarak kanat açısı kontrolü, yön kontrolü (sadece yatay eksenli makinelerde) yapmak ve rüzgar enerjisi girişi ile elektrik çıkışını eşlemek amacıyla jeneratöre kontrolü için uygun sinyalleri üretir. Bu sistemler büyük güçlü rüzgar türbinlerinde kullanılmaktadır. Rüzgar türbinlerinde mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren sistemleri gösteren akış şeması Şekil 2.9’da verilmiştir.



Şekil 2.9 Rüzgar türbinlerinde mekanik enerji-elektrik enerji dönüşüm şeması

En genel olarak dört tip elektrik jeneratörü kullanılır. Bu jeneratörler;

1. Doğru Akım (DC) Jeneratörü
2. Senkron Jeneratör
 - a) Rotoru Sargılı (Alan Sargılı) Senkron Jeneratör (RSSG)
 - b) Sabit Mıknatıslı Senkron Jeneratör (MSG)
3. Asenkron Jeneratör
 - a) Sincap Kafesli Asenkron Jeneratör (SKAG)
 - b) Rotoru Sargılı Asenkron Jeneratör (RSAG)
 - Çift Beslemeli Asenkron Jeneratör (ÇBAG)
 - OptiSlip® Jeneratör (OSG)
4. Diğer Tip Jeneratörler
 - Anahtarlı Relüktans Jeneratör (ARG)

2.2.2.1 Doğru Akım (DC) Jeneratörler

Bütün makineler esasta alternatif akım makineleridir. Çünkü endüktör dönmesi, kuzey ve güney kutupların manyetik akısından kaynaklanır. DC makine AC'yi DC ye çevirmek zorundadır. Mekanik komütatörleri kullanarak komütatör performansları kayan karbon fırçalarındaki bakır segmentlerin bir fonksiyonudur. Devamlı pozitif çıkış elde edilir. Dönen kontaklar sonuçta düşük güvenilirlik ve yüksek bakım maliyeti ister bu DC makinenin dezavantajıdır fakat kolay hız kontrolü sağlanmasından dolayı 1980 lere kadar büyük oranda kullanılmıştır. küçük ve yerel rüzgar işletmelerinde kullanılmaktadır. Geleneksel DC makine ayrıca kendinden uyarımlı, DC akımdan bir manyetik alan oluşturan şönt veya seri bobinleri taşır. Bugünlerde DC makineler genellikle sabit mıknatıslı olarak kullanılmaktadır. Rotor sürekli manyetik akıyı sağlayan sabit mıknatıslardan oluşur. Stator ise iletken sarımlardan oluşur ki üzerine gerilim indüklenen kısımdır. Kullanılan DC makinelerin üzerinde komütatör fırça düzeni yoktur. Elde edilen gerilim daha sonra yarı iletken doğrultucularla doğrultulur. Sonuçta güvenli bir sekile dönüştürülmüş olan DC makine küçük rüzgar türbinlerinde kullanır sürekli elde edilebilecek manyetik alan sınırlı olduğundan dolayı fırçasız DC makineler 100kw a kadar imal edilebilmektedir.

2.2.2.2 Senkron Jeneratörler

Sabit hızlı bir hareket vericiden yararlanarak sabit frekanslı (AC) alternatif elektrik üreten senkron makinelerin teknolojisi yaygın ve gelişmiş özelliktedir. Bu tipteki jeneratör makinedeki kutup sayısı ile ilgili senkron hız adı altında verilen sabit bir hızda çalışmalıdır. Elektriksel güç üretmekte en çok kullanılan kendini kabul ettirmiş bir makinedir. Senkron makine sabit hıza bağlı olarak sabit frekansta çalışır. Bu sebepten dolayı değişken hızlı rüzgar türbinlerinde kullanımı için uygun değildir. Fakat fırça ve komütatör bakımı olmaması avantajıdır. Güvenliğinin yanı sıra bakım ve işletme maliyeti de çok düşüktür. Relüktans senkron jeneratör şimdilerde küçük rüzgar türbinleri için geliştirilmekte ve 10'larca kW'a kadar kullanılmaktadır. Şebekeye bağlı sistemlerde kullanılması reaktif güç ihtiyacı olmamasından dolayı uygundur. Fakat şimdiler de daha çok endüksiyon makine kullanılmaktadır.

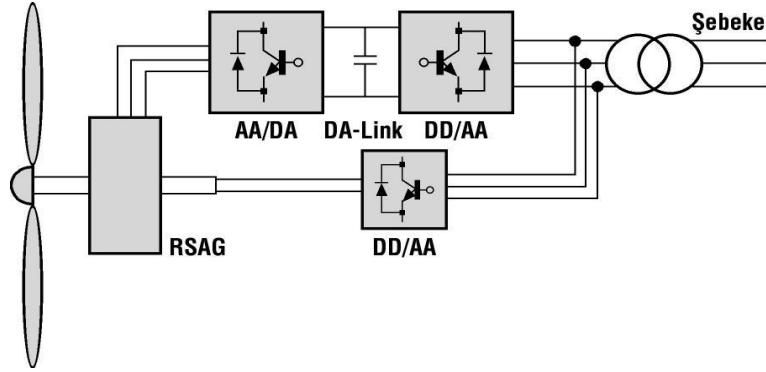
2.2.2.2.1 Rotoru Sargılı (Alan Sargılı) Senkron Jeneratör (RSSG)

Manyetik alan kutup sargısının bulunduğu makinenin hareketli parçası rotorda üretilir. Rotorda ki kutup sargısı doğru akımla beslenerek hava aralığında zamana göre değişmeyen genliği sabit manyetik alan meydana getirir. Bu manyetik alan rotorun döndürülmesi ile statora yerleştirilmiş sargının düzlemlerinden değişik açılarda geçer ve gerilimi indükler. Bu sargıda oluşan gerilim alternatiftir, zamana göre değişir. RSAG'ın hızı, döner alanın frekansı ve kutup sayısına göre değişir (Altaş ve Mengi 2009).

Stator tarafındaki konverter elektromanyetik torku, şebeke tarafındaki konverter ise bu sistemin oluşturduğu aktif ve reaktif gücü regüle eder (Ackermann 2005, Gençoğlu 2005, Mergen 2005). Elektromanyetik tork üretiminde stator akımının tamamı kullanıldığı için RSSG'ın verimi yüksektir. RSSG kullanılmasının en büyük faydası, makinenin güç faktörünün doğrudan kontrolüne müsaade edilmesidir.

Bunun sonucu olarak, stator akımı birçok işletim durumunda minimize edilebilir. Bu jeneratörlerin kutup eğimi indüksiyon makinelerine göre daha küçük olabilir. Bu durum dişli kutusunu ortadan kaldırabilir. Asenkron jeneratörlerin aksine senkron

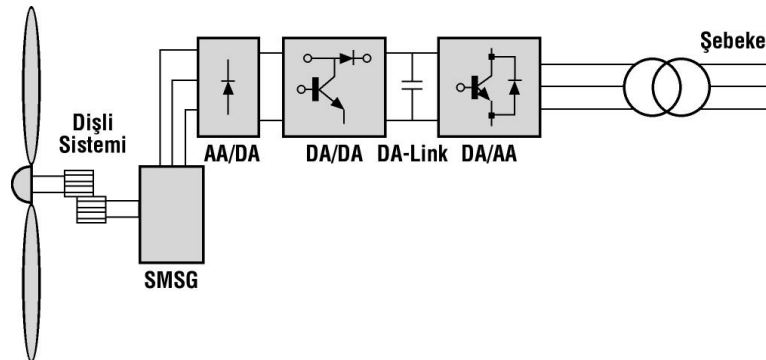
jeneratörlerin, reaktif güç kompanzasyon sistemine ihtiyacı yoktur. Rotorda sargı devresinin bulunması daimi mıknatıslı senkron jeneratör (DMSG) ile kıyaslandığında bir dezavantajdır (Dubois 2000,Hansen 2001,Zorlu 2005).



Şekil 2.10 Rüzgar türbinine akuple edilmiş RSAG'ın şebekeye bağlantısı

2.2.2.2.2 Sabit Mıknatıslı Senkron Jeneratör (SMSG)

SMSG herhangi bir enerji kaynağına gerek duymadan kendinden uyarımlı olması nedeniyle rüzgar türbini uygulamalarında önerilmektedir. En büyük artısı herhangi bir hızda güç üretebilmesidir. Bakım maliyeti düşüktür. Küçük ve hafif uygulamalar için uygundur. Jeneratör hızı herhangi dişli kutusuna gerek kalmadan kontrol edilebilir. SMSG'nin statoru sargılıdır ve rotoruna sürekli mıknatıslar yerleştirilmiştir. SMSG'nin çok yaygın kullanılan tipleri; radyal akılı, aksiyel akılı ve çapraz akılı SMSG'lerdir.



Şekil 2.11 Rüzgar türbinine akuple edilmiş SMSG'nin şebekeye bağlantısı

SMSG'ler harekete geçme anında senkronizasyonda ve gerilim regölasyonunda bazı sorunlar çıkartabilir. Ayrıca sürekli mıknatısların fiyatları çok yüksektir. Bir diğerk dezavantajı ise mıknatısların manyetik özelliklerinin sıcaklıkla değışmesidir. Yüksek sıcaklıklarda ve kısa devre durumlarında mıknatısların manyetik özelliklerini kaybettikleri bilinmektedir. SMSG'lerin rotor sıcaklıklarının soğutma sistemleri ile kontrolünün sağlanması gereklidir (Pan ve Jin 2004 ,Jianzhong 2008) .

2.2.2.3 Asenkron Jeneratörler

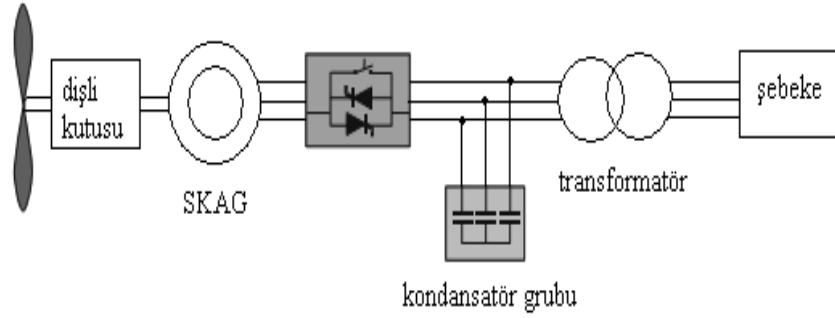
Elektriksel güç endüstrisinde en fazla kullanılan makinedir. Teknolojik gelişmelere paralel olarak geliştirilmiş ve kullanımı artmıştır. Öncelikle avantajı endüksiyon makinelerin bakıma ihtiyaç duymayan fırçasız yapısı ve DC alan güç paylaşımına ihtiyaç duymamasıdır. Bu dezavantajlarının olmamasından dolayı DC ve senkron makinelerin kullanımın azaltmıştır. Ayrıca düşük maliyeti ve geçiş performansının yüksek olması endüksiyon makinelerin kullanımını arttırmıştır. Endüksiyon jeneratörler esas olarak senkron jeneratörlerden daha basit yapıdadır.

Endüksiyon jeneratörlerin işletimi, kontrolü, bakımı daha kolaydır. Senkronizasyon problemi yoktur ve ekonomiktir. Fakat şebekeye endüktif yükleme yaparlar. Endüksiyon jeneratörleri şebekenin frekansına kilitlenmezler. Periyodik moment iniş çıkışları rüzgar türbininden küçük bir değışiklik absorbe edilebilir. Endüksiyon makineler AC akıma ihtiyaç duyarlar. Bu makineler kendinden uyarımlı ve dışarıdan uyarımlı olarak imal edilebilirler. Uyarıma akımı temelde reaktif ve stand alone sistemlerde şönt kapasitör tarafından sağlanır.

İki tür asenkron jeneratör vardır: Asenkron jeneratörler rotor yapılarındaki farklılığa göre ikiye ayrılırlar, rotoru sincap kafesli (kısa devre ubuklu) asenkron jeneratör ve rotoru bilezikli (sargılı) asenkron jeneratördür (Dursun ve Binark 2008).

2.2.2.3.1 Sincap Kafesli Asenkron Jeneratör (SKAG)

SKAG hem sabit hızlı rüzgar türbinlerinde hem de değişken hızlı rüzgar türbinlerinde kullanılır. Manyetik sesleri azaltmak ve iyi kalkınma momenti elde etmek için rotor olukları mile paralel olarak değil meyilli olarak açılarak pres alüminyum döküm rotor sargısı elde edilir (Elhadidy ve Shaahid 2005).

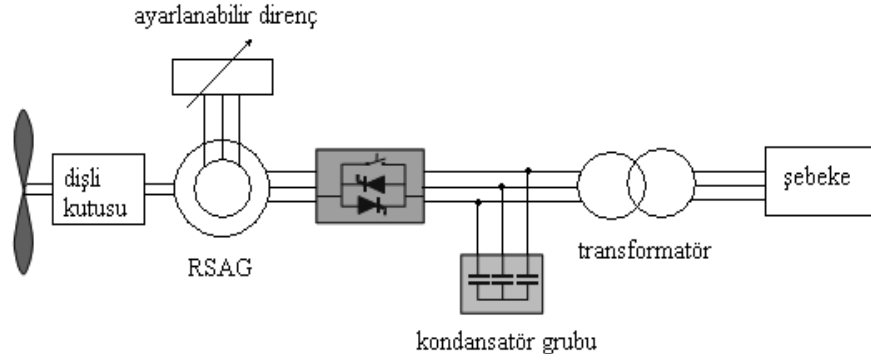


Şekil 2.12 Rüzgar türbinine akuple edilmiş SKAG' ın şebekeye bağlantısı

Sincap kafesli asenkron makineler, fırçasız, güvenilir, ekonomik ve sağlam bir yapıya sahip olmaları nedeniyle uygulamada sıkça kullanılmaktadırlar. Dezavantajları; jeneratör parametrelerinin sıcaklık ve frekansla değişerek sistemin kontrolünü karmaşıktırmasıdır. Moment-hız eğrisi lineerdir. Böylece rüzgar gücündeki dalgalanmalar direkt olarak şebekeye iletilir. Bu geçişler özellikle rüzgar türbininin şebeke bağlantısı sırasında kritiktir. Bu noktalarda nominal akımdan 7-8 kat daha hızlı akım geçişi olur ki bu sistemin dezavantajları arasında yer alır (Madsen ve Blaabjerg 2001, Ackermann 2005).

2.2.2.3.2 Rotoru Sargılı (Bilezikli) Asenkron Generator (RSAG)

Bir RSAG'de rotorun elektriksel özellikleri dışarıdan kontrol edilebilir ve böylece rotor gerilimi değiştirilebilir. Rotor sargı uçları rotorla beraber dönen bileziklere bağlıdır. Bilezikler üzerinde sabit duran fırçalar yardımı ile, rotor sargıları üç fazlı bir yol verici direncine ya da dış kaynağa bağlanabilir. Böylece yol alma akımı sınırlandırıldığı gibi hız ayarı da yapılabilir. Dezavantajı ise pahalı olması ve SKAG kadar sağlam olmamasıdır (Mergen ve Zorlu 2005).

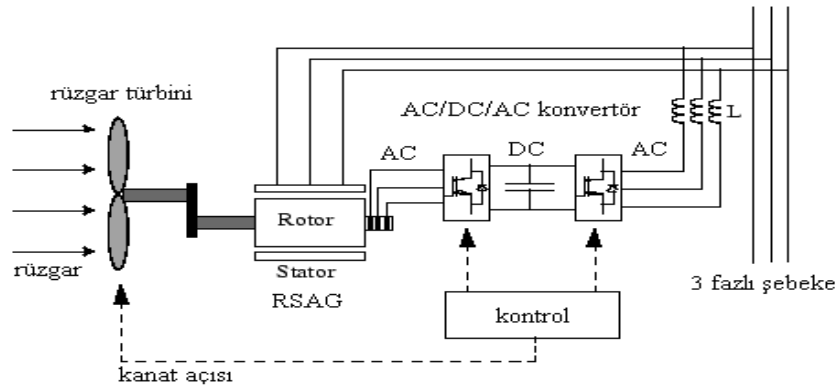


Şekil 2.13 Rüzgar türbinine akuple edilmiş RSAG'ın şebekeye bağlantısı

2.2.2.3.2.1 Çift Beslemeli Asenkron Jeneratör (ÇBAG)

Çift beslemeli asenkron jeneratör stator sargıları direkt olarak sabit frekanslı 3 fazlı şebekeye bağlı bir RSAG ile rotor sargılarına monte edilmiş iki yönlü back-to-back IGBT konverterden meydana gelmiştir. Genellikle, rotor tarafındaki konverter kontrol sistemi, elektromanyetik torku regüle eder ve jeneratörün manyetizasyonunu sürdürebilmesi için reaktif güç sağlar. Şebeke tarafındaki konverter kontrol sistemi ise, DA linkini regüle eder. ÇBAG değişik rüzgar hızı uygulamalarına imkan sağlar, ancak sınırlıdır (Polinder 2000, Deicke 2002).

ÇBAG'ün avantajları; offshore olarak isimlendirilen açık deniz rüzgar santrali uygulamaları gibi büyük güç sistemleri için uygun olmasıdır. ÇBAG'nin en büyük dezavantajı ise bilezik tertibatının düzenli bakıma olan ihtiyacıdır (Bogalecka 1993, Yıldırım 2005).



Şekil 2.14 Rüzgar türbinine akuple edilmiş ÇBAG'ün şebekeye bağlantısı

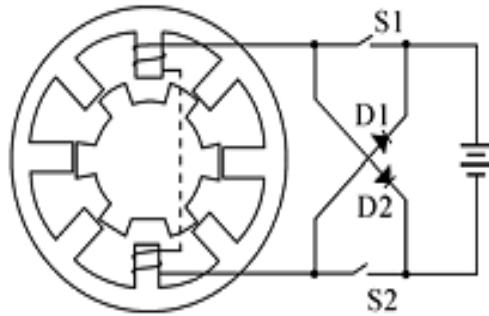
2.2.2.3.2.2 OptiSlip® indüksiyon Jeneratör (OSİG)

OSG, rüzgarın ani ve sert esmesi sırasında rüzgar türbinindeki yükleri çok hızlı güç elektroniği elemanları kullanarak minimuma indirmek için Danimarkalı şirket Vestas® tarafından geliştirilmiştir. OptiSlip® jeneratör rotoru sargılı asenkron jeneratör ile şafta yerleştirilmiş ayarlanabilir harici rotor dirençlerinden oluşur. Herhangi bir bileziğe ihtiyacı yoktur. Jeneratörün kayması, rotor şaftına bağlı bir konverter aracılığıyla toplam rotor direncinin düzenlenmesi ile değiştirilir. Bu değişim rüzgar hızına ve yüke bağlı olarak elektronik devre ile %1 ile %10 arasında değişmektedir. Böylelikle ani rüzgar artışlarında oluşan mekanik yükler ve güç dalgalanmalarının azaltılması hedeflenmiştir. Dezavantajı ise reaktif güç kontrolünün zayıf olmasıdır (Ackermann 2005).

2.2.2.4 Anahtarlı Relüktans Jeneratör (Arg)

Son yıllarda ARG, iyi mekanik güvenilirlik, yüksek tork-güç oranı, yüksek verim ve düşük maliyetten dolayı rüzgar enerjisi uygulamalarında tercih edilen jeneratördür. ARG' nin statorunda bulunan her çıkık kutuba çoklu sargılar yerleştirilmiştir. ARG uyartım ve üretim olmak üzere iki aşamada çalışır.

ARG iki anahtar ve her faz başına iki diyottan oluşur. Uyartım aşamasında S1 ve S2 anahtarları açık olup, statordaki sargılar harici elektriksel devre tarafından uyartılır ve manyetik enerji ortaya çıkar. Üretim aşamasında S1 ve S2 anahtarları kapalı olup, D1 ve D2 diyotları üzerinden manyetik ve mekanik enerji elektrik enerjisine dönüşür (Ackermann 2005,Zhang 2004).



Şekil 2.15 Anahtarlı Relüktans Jeneratör

2.2.3 Güneş (Fotovoltaik) Panelleri

Güneş pilleri (fotovoltaik piller), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan doğru akım elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Enerji dönüşümü sırasında başka bir enerjiye gerek duymazlar. Enerji dönüşümü çok sessiz ve temizdir. Güneş panellerinin bakımı oldukça az ve masrafları düşüktür. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır. Güneş pilinde mekanik olarak elektrik üreten cihazların aksine hareketli parçalar olmadığından ömürleri ortalama olarak 10 ila 20 yıl arasında değişmektedir. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir. Bu yapıya güneş paneli adı verilir. Güneş panelleri yaygın olarak 10 W'tan 300 W gücüne kadar üretilmektedirler. Güç talebine bağlı olarak paneller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç Watt'tan MW' lara kadar sistem oluşturulabilir (Çetinkaya 2001).

GP'lerin en büyük dezavantajı maliyetlerin çok yüksek olmasıdır. Ancak gelecek yıllarda maliyetlerin düşmesi beklenilmektedir. Güneş pilleri, hali hazırda elektrik şebekesinin olmadığı, yerleşim yerlerinden uzak yerlerde ekonomik yönden uygun olarak kullanılabilir. Genellikle çiftlikler, haberleşme sistemleri, özel gezinti tekneleri, su pompalama sistemleri vb. uygulamalarda kullanılmaktadır.

2.2.4 Enerji Depolama Üniteleri (Bataryalar)

Güç üretim sistemlerinde üretimin olmadığı zamanlarda alıcıların enerjisiz kalmaması ve tüketim fazlası olan gücün kaybolmaması için enerji depolama üniteleri olan bataryalar kullanılır. Enerji depolama üniteleri küçük hibrit güç üretim sistemlerinde daha çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca depolama üniteleri çok nadirde olsa geniş AC şebekelerinde kısa vadeli güç salınımlarını düzeltmek amacıyla da kullanılabilir. Enerji depolama işlemi bataryaların kullanımı sayesinde gerçekleştirilmektedir.

Hibrit güç üretim sistemlerinde bataryanın işletilmesi, işletme ömrünün optimizasyonu gibi önemli unsurlar ortaya çıkmaktadır. Bataryalar elektrokimyasal devre elemanlarıdır. Kimyasal formda enerjiyi depolarlar. Hibrit güç üretim sistemlerinde kullanılan bataryaların birçoğu derin kurşun asitlidir. Bu tip bataryalarında birkaç tipi vardır. Bunlar; nikel-kadmiyum, nikel-demir, demir-hava ve sodyum sülfür gibi bataryalardır. Bu bataryalar genellikle deneysel aşamada olduğu gibi pratik uygulamalar için çok güvenilir olmamakla birlikte pahalıdırlar. İfade edilen bataryaların içinde en çok kullanılanı kurşun asitli olanıdır. Batarya maliyetleri sistemin kurulum maliyetinin yanında çok az ihmal edilecek kadar azdır. Fakat bataryanın bakımı, yenisiyle değiştirilmesi, sistem işletim maliyetlerinin önemli bir kısmını oluşturmaktadırlar. Uzun işletme sürelerinde maliyet önceki durumlara göre artmaktadır (Oğuz 2007).

Bataryalar bir veya daha fazla seri halde genellikle 2 V'luk hücrelerden oluşmaktadır. Levhalardan oluşan her bir hücre elektrolit içersindedir. Levhalar arasında bir kimyasal reaksiyon deşarj olduğu zaman elektrolit bir elektrik enerjisi üretir. Bu kimyasal reaksiyon batarya şarj olana kadar devam eder. Bataryanın depolama kapasitesi verilen gerilim değerinde amper saat ile belirtilir. 100 amper-saat lik bataryadan bir saat için 100 amperlik bir akım elde edilmektedir. Depolama kapasitesinin değeri çalışmasına, ömrüne ve işletme durumuna bağlıdır. Birçok batarya üreticisi, depolama kapasitesinin değerini verilen bataryanın deşarj zamanı ile tanımlar. Deşarj zamanı da genellikle 20 ile 100 amper-saattir (Boduroğlu 1998).

Bataryanın enerji depolama kapasitesi alternatif enerji sistemlerinin boyutlandırılmasında önemli bir faktördür. Bataryanın boyutu gerekli olan enerji miktarının saptanmasıyla saptanır. Bataryalar seri bağlanarak gerilimleri, paralel bağlanarak kapasiteleri arttırılır. Bataryanın işletme ömrü 20°C ortam sıcaklığında işletildiği sürece ortalama 10 yıldır.

2.2.5 Güç Dönüştürücüleri (Doğrultucular ve Eviriciler)

Güç üretim sistemleri içerisinde yer alan doğrultucular AC gücü DC güce dönüştüren elektronik devre elemanlarıdır. Doğrultucular genellikle AC güç üretim sisteminde üretilen gücü DC güce dönüştürerek bataryaların şarj olması veya eviricilere ve DC gerilimle beslenen yükleri beslemek amacıyla kullanılırlar. Genellikle bütün devre elemanlarında olduğu gibi doğrultucularda tam yükte çalıştırıldıkları zaman verimle en yüksek değerdedirler. Doğrultucuların yapıları oldukça basit ve maliyetleri ise düşüktür. Diğer bir önemli özelliği de düzenleyici gerilimleri de içermesidir. Doğrultma işlemi diyotlar kullanılarak yapılmaktadır. Evirme işleminde elektronik anahtarlama elemanları kullanılmaktadır. Diyotlu doğrultma işlemi basit, ucuz ve düşük kayıplı olduklarından dolayı çoğu uygulamada tercih edilmektedir. Doğrusal olmayan yapılarından dolayı harmonik akımları üretirler. Sadece bir yönlü güç akışına izin verirler. Jeneratör gerilimi ve akımını kontrol edemezler. Bu yüzden gerilimin ve akımın kontrol edildiği invertörlerle kullanılabilirler (Hansen 2005).

Eviriciler enerji depolama ünitesinden veya DC güç üretim kaynaklarından elde edilen gücü AC güç formuna çevirerek AC şebekelere ve AC yüklere iletilmesini sağlayan devre elemanıdır. Eviriciler normalde küçük güç oranları için tek veya fazlı olarak üretilirler. Üç fazlı eviriciler bir fazlı eviricilere göre maliyetleri yüksektir. Üç fazlı eviriciler daha çok dengesiz yüklere daha kaliteli bir güç sunmak için hizmet vermek amacıyla kullanılmaktadırlar.

Uygulamada kullanılan eviriciler genellikle otomatik frekans kontrolü yapabilen frekans invertörleridir. Şebekeden ayrı olan uygulamalarda kullanılan eviriciler, yüksek frekans ayarlama kapasitesine sahip elektronik devre elemanlarından oluşur. Yarı sinüs, tam sinüs ve kare dalga şeklinde çıkış veren eviriciler kullanılmaktadır. Sinüs çıkışına sahip eviricilerin sağladığı enerjisinin kalitesi yüksektir. Kare dalga çıkışına sahip eviriciler ise döner alan prensibini kullanmayan cihazlarda ve aydınlatma uygulamalarında kullanılmaktadır.

Evirici seçimi yapılırken yükün çekebileceği maksimum güç dikkate alınır. Eviricilerin bir çoğu kısa süreli olarak nominal güçlerinin beş ila altı katına kadar çıkış gücü sağlama kabiliyetine sahiptirler. Özellikle endüktif ve kapasitif yüklerin ilk çalıştırılması anında yüksek akım çekmeleri birçok eviricinin korumaya geçmesine neden olmaktadır. Eviricilerin verimleri düşük güce sahip uygulamalarda düşüktür. En iyi verim nominal çıkış gücünde veya nominal çıkış gücüne yakın değerlerde elde edilir. Eviriciler yüksüz işletilmeleri halinde gereksiz yere enerji harcayacaklarından gerekmedikçe yüksüz çalıştırılmazlar (Engin 2002).

2.2.6 Kontrol Üniteleri

Hibrit güç üretim sistemi uygulamalarında kontrol sistemlerinin kullanılması kaçınılmaz bir durumdur. İstenilen hizmete ve amaca göre değişik kontrol yöntemleri vardır. Hibrit güç sistemlerinde bataryaların aşırı şarj veya düşük kapasiteli şarj durumlarında istenilmeyen durumların ortaya çıkmasını önlemek için bazı kontrol yöntemleri kullanılmaktadır. Çok büyük güç üretim sistemlerinde güç akışının kontrolü ve güç üretim sistemlerinin devreye alınıp çıkartılmaları için kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen gücün kaliteli olması için her bir üretim ünitesinin frekansı ve geriliminin belirlenen değerler içinde korunması istenir. Bu amaç içinde değişik kontrol metotları geliştirilmektedir. Yapılan çalışmada bu amaç için fuzzy kontrol sistemi tasarlanmıştır. Yapılan kontrol eylemleri sistemin işletme amaçlarını kaynak yetersizliği ve belirsizliğine rağmen güvence altına almaktadır. Aynı zamanda sisteme zarar verecek durumları da önleyebilirler (Morgan ve Marshall 1997).

2.2.7 Yükler

Dünya üzerinde en çok kullanılan yükler; 5-12-24 Volt DC gerilimle çalışan aletler, 220/380 Volt AC gerilimle çalışan aletler veya direkt 380 Volt AC gerilimle çalışan aletlerdir. DC gerilimle çalışan aletler AC gerilimle çalışan aletlere göre biraz daha pahalıdır. AC yüklerin DC kaynak tarafından beslemesi yapılması gerektiği durumlarda çalışma performansı ve yükün güç oranına uygun eviricilerden yararlanılır. Ama eviriciler güç sistemleri için maliyetli elemanlardır. Eğer evirici kullanımından mümkün

olduğu kadar uzak durulursa enerji sisteminin maliyeti belli bir oranda azalır. Günlük hayatta DC güç ile çalışan elektrikli araç ve cihazların kullanılmasında çoğu zaman DC gerilime ihtiyaç duyulmaktadır. AC güç kaynağından DC aletlerin beslenmesi söz konusu olduğunda AC gücü DC güce dönüştüren doğrultuculardan faydalanılır. Hibrit güç üretim sistemleri için gerekli olabilecek bir diğer yük de atık yüküdür. Normal yalıtılmış şebekelerde bu tür yüklere ihtiyaç duyulmayabilir. Şebekede bir güç fazlalığı olduğu durumlarda şebekedeki gerilim yükselmesini önlemek için atık yük kullanılır. Yük için gerekli olan enerji talebinin az olduğu ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji miktarının fazla olduğu sürece şebekenin kararlı çalışması bozulabilir. Atık yük güç elektroniğine ve anahtarlamalı direnç yapısında bir devre elemanıdır. Bazı işletme durumlarında atık yük olmadan ihtiyaç fazlası aşırı güç giderilemeyebilir (Slootweg 2003).

2.3 Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Kontrolör

Bulanık mantık (*fuzzy logic*) ilk olarak 1965 yılında California Berkeley Üniversitesi profesörlerinden Lutfi Aliasker Zade'nin (*LA Zadeh*) bu konudaki çalışmalarının yayınlanmasıyla duyulmuştur (Abraham 2001). Bulanık mantık doksanlı yılların başlarında itibaren laboratuvar ortamından çıkarak endüstriyel bir araç haline dönüşmüştür. Avrupa'da, Amerika'da ve Japonya'da bulanık mantık üzerinde birçok çalışma yapılmış ve endüstriyel alanlarda uygulama imkânı bulmuştur. Hatta bugünlerde yüzlercesi gerçekleştirilen bulanık mantık uygulamalarının geleneksel kontrol sistemlerine göre ne kadar üstün olduğu ortaya konulmuştur.

Bulanıklığın kelime anlamı, belirsizlik veya kesinlik barındırmayandır. Buradan hareketle bulanık mantık sözel değişkenlerle, belirsizlik üzerine çalışan bir yapay zeka (*artificial intelligent*) uygulaması olarak tanımlanabilmektedir. Bulanık mantıkla gündelik hayatın belirsiz akışında gerçeğe daha yakın analizler yapılabilen ve bunun sonucunda daha doğru sonuçlar elde edilebilmektedir.

Bulanık mantık, klasik yöntemlerle karşılaştırıldığında kesin bilgiler yerine belirsiz niteliksel bilgiler kullanarak çalışmaya olanak veren özelliği ortaya çıkmaktadır. Bu ise

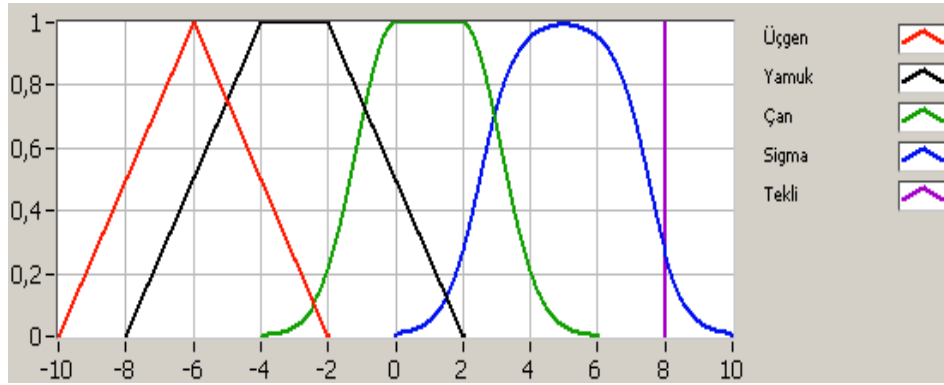
klasik mantıkta matematiksel olarak tanımlanamayan belirsizliklerin modellenenebilmesi anlamına gelmektedir ve bulanık mantığın getirdiği en büyük kolaylık olarak değerlendirilmektedir.

Bulanık mantığın Avrupa'da ilk endüstriyel uygulamaları 1970'den sonra başlamıştır. İngiltere'de Kraliçe Mary Kolejinde Ebrahim Mamdani'nin bir buhar makinesi kontrol etmek amacıyla bulanık mantığı kullanmıştır. Almanya'da Aachen Üniversitesi'nde Hans Zimmermann adındaki bir bilim adamı destekleyici sistemlerin kararı için bulanık mantığı seçmiştir. Bulanık mantığın ilk endüstriyel uygulama alanları çimento ocakları ve su arıtma sistemleridir. Fakat 1970'li yıllarda bulanık mantık endüstri alanında geniş bir kullanım alanı bulamamıştır (Sreedher 2005).

Bir sistemin matematiksel modelinin çıkartılması çeşitli Uzmanlık çözüm yöntemlerinde, insan mantığını uygulayabilmek için sistemin matematiksel modeline ihtiyaç duyulur. Bulanık mantık matematiksel model gibi geliştirilmiş bir kontrol yöntemidir. Aynı zamanda bulanık mantık algoritmik formda değerlendirme işlemlerini ve insan kararını açıklamaya olanak sağlar. Bulanık mantık ile ne yapılabileceğinin de sınırı vardır. İnsan düşüncesini tamamıyla anlama yeteneği, yaratıcılık ve hayal gücü bulanık mantık ile taklit edilmeyebilir. Bununla birlikte, bulanık mantık verilen kural dışı bir durum için bir çözüm üretebilir ve benzer durumlar için aynı çözüm yöntemi saptanabilir. Kurallarla kesin istenilen durumlar için teknik sistemin arzu edilen performansını tanımlayabilerseniz bulanık mantık etkileyici bir şekilde bu tanımlanan bilgiyi bir çözüm yoluna koyar. Klasik kümeler üzerinde tanımlanmış "ve", "veya", "değil" gibi mantıksal işlemler bulanık kümeler üzerinde de tanımlanabilir. Bulanık kümeler teorisinde bir elemanın üyelik derecesi doğruluk derecesi olarak değerlendirilir. Klasik mantıksal işlemlerde doğruluk değeri olarak sadece $[0,1]$ değerlerini kullanırken, bulanık mantıkta $[0,1]$ aralığındaki sonsuz değer doğruluk değeri olarak kullanılır. Klasik mantıkta bir şey ya doğru ya da yanlış olabilirken bulanık mantıkta bir şey doğruluk derecesine göre doğru ya da yanlış olabilir (Eduard ve Butterfield 2001).

2.3.1 Üyelik fonksiyonları

Bulanık kümede bulunan bir elemanın üyelik derecesi üyelik fonksiyonlarıyla verilir. Küme elemanının üyelik derecesi 0–1 aralığında değişim gösterir. Üyelik derecesinin “1” olması elemanın kümeye tam üye olduğunu gösterirken “0” olması elemanın kümeye üye olmadığını gösterir. 0–1 aralığında bulunan değerler; bire yakınsa kümeye üyeliğin kuvvetli olduğunu, tersine sıfıra yakın ise kümeye üyeliğin zayıf olduğunu gösterir.

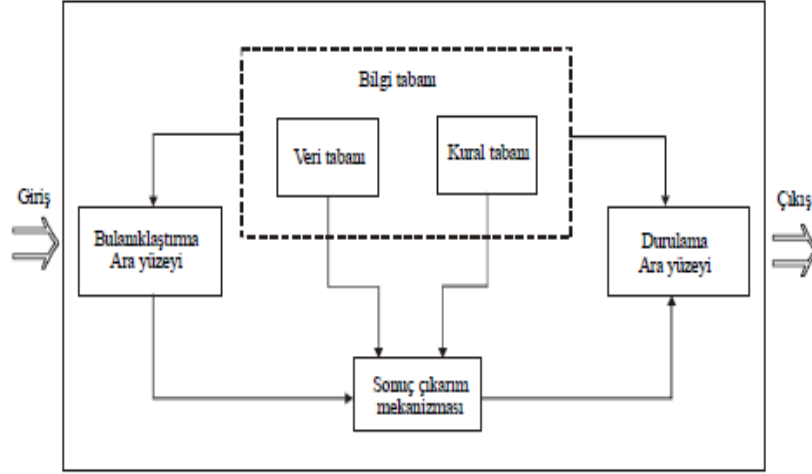


Şekil 2.16 Üçgen, yamuk, çan, sigma ve tekli üyelik fonksiyonları

Yukarıda çok kullanılan; üçgen (*triangular*), yamuk (*trapezoid*), çan (*gaussian*), sigma (*sigmoid*) ve tekli (*singleton*) üyelik fonksiyonları şekil 2.16’da verilmektedir. Üçgen ve yamuk tip üyelik fonksiyonları doğrusal bir eğimle artış gösterir ve maksimum değerine ulaşır ardından tekrar doğrusal bir eğimle azalır. Üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonunu birbirinden ayıran özellik üçgende kümeye tam üye olan eleman sayısının sadece bir, yamuktaysa birden çok olmasıdır (Çınar 2011).

2.3.1 Bulanık Mantık Kontrolörün Temel Bileşenleri

Bulanık mantık kontrolörler temel olarak, bulanıklaştırma (*fuzzification interface*), kural tabanı (*knowledge base, rule base*), bulanık çıkarım (*decision making logic, fuzzy inference system*) ve durulaştırma (*defuzzification interface*) olmak üzere dört birimden oluşur. Aşağıda bulanık mantık kontrolörün dört birimi ve aralarındaki ilişkiyi gösteren blok şema şekil 2.17’de görülmektedir.



Şekil 2.17 Bulanık mantık kontrolörün genel yapısı

Bulanıklaştırma Ara Yüzeyi: Giriş değerlerinin değer aralığı bulanıklaştırma modülüne uygun bir şekilde üyelik fonksiyonları ile birlikte dilsel değişkenlere dönüştürür. Daha sonra, değer aralıkları bulanık kümeye uygun dilsel terimlerle adlandırılır.

Kural Tabanı: Bulanık *Eğer-İse* kuralları kümesini içerir.

Veri Tabanı: Bulanık kurallarda kullanılan üyelik fonksiyonlarını tanımlar.

Durulaştırma Ara Yüzeyi: Bulanık işlemler sonucu elde edilen bulanık çıkarım sonuçlarını keskin sayısal çıkış değerlerine dönüştürür.

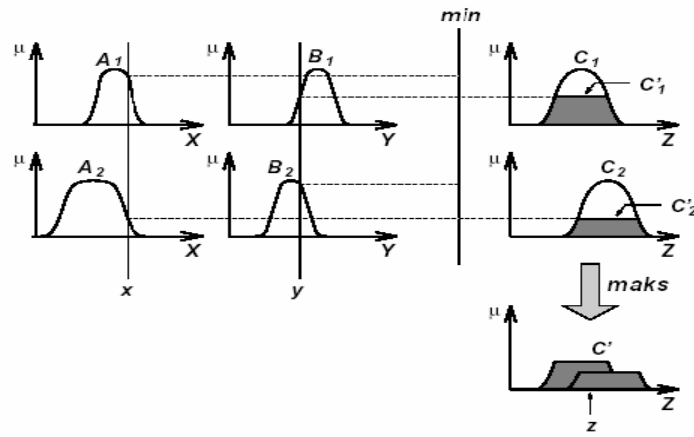
Bilgi Tabanı: Kontrol amaçlarını uygulama alanındaki kontrol stratejisini belirler. Yani incelenecek olayın girdi değişkenlerini ve bunlar hakkında tüm bilgileri içerir.

Sonuç Çıkarım Mekanizması: Kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan ilişkilerin hepsini bir arada toplayarak sistemin bir çıkışlı davranmasını sağlayan işlemler topluluğunu içeren mekanizmadır (Oğuz 2007).

2.3.3 Bulanık Çıkarım Sistemleri

2.3.3.1 Mamdani Bulanık Çıkarım Sistemi

İki girişli, iki kurallı Mamdani bulanık çıkarım sistemi ile toplam z çıkışının nasıl elde edildiği Şekil 2.18’de gösterilmektedir. Mamdani bulanık çıkarım sisteminde giriş ve çıkış değişkenleri bulanık kümeler ile tanımlanmıştır.

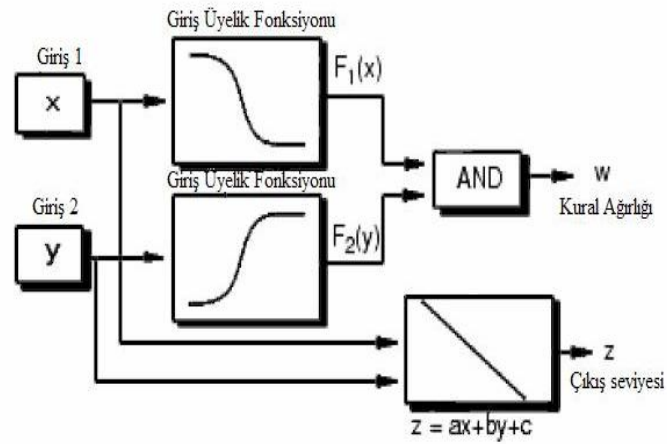


Şekil 2.18 Mamdani bulanık çıkarım sistemi

Mamdani bulanık çıkarım sisteminde, küçük kontrol uygulamalarında maksimum operatör olarak VEYA (OR), minimum operatör olarak da VE (AND) bulanıklaştırıcı operatörler kullanıldığı halde, diğer bulanık operatör türlerine şartlı cümlenin farklı bölümleri arasında ilişki kurmak amacıyla gerek duyulur. Bulanık kontrol kuralında kullanılan maksimum bulanıklaştırma operatörü VEYA (OR) ise kontrol çıkışı girişin maksimum üyelik derecesine göre ölçeklendirilir. Eğer kontrolde minimum bulanıklaştırma operatörü VE (AND) kullanıldıysa kontrol çıkışı bu sefer girişin minimum üyelik derecesine göre derecelendirilir. Standart MAX-MIN/MAX-PROD metotlarının kullanılmasıyla kural tabanı optimizasyonu keyfi kural ekleme ve silmeden oluşur (Oğuz 2007).

2.3.3.2 Sugeno Bulanık Çıkarım Sistemi

Sugeno metodu verilen giriş ve çıkış veri kümesinden sistematik bir yolla bulanık kuralları planlama girişimi olarak ifade edilir. Sugeno M., bir çok yönü ile Mamdani bulanık çıkarım sistemine benzeyen Sugeno veya Takagi-Sugeno-Kang bulanık çıkarım sistemini tanımlamıştır (Chen ve Weus 1995). Bulanık çıkarım işleminin ilk iki kısmı, girişlerin bulanıklaştırılması ve bulanık operatörler Mamdani bulanık çıkarım sistemi ile bire bir aynıdır. Mamdani ve Sugeno bulanık çıkarım sistemindeki tek fark, Şekil 2.19'da görüldüğü gibi Sugeno bulanık çıkarım sistemindeki çıkış üyelik fonksiyonlarının lineer ve sabit olmasıdır.



Şekil 2.19 Sugeno bulanık çıkarım sistemi

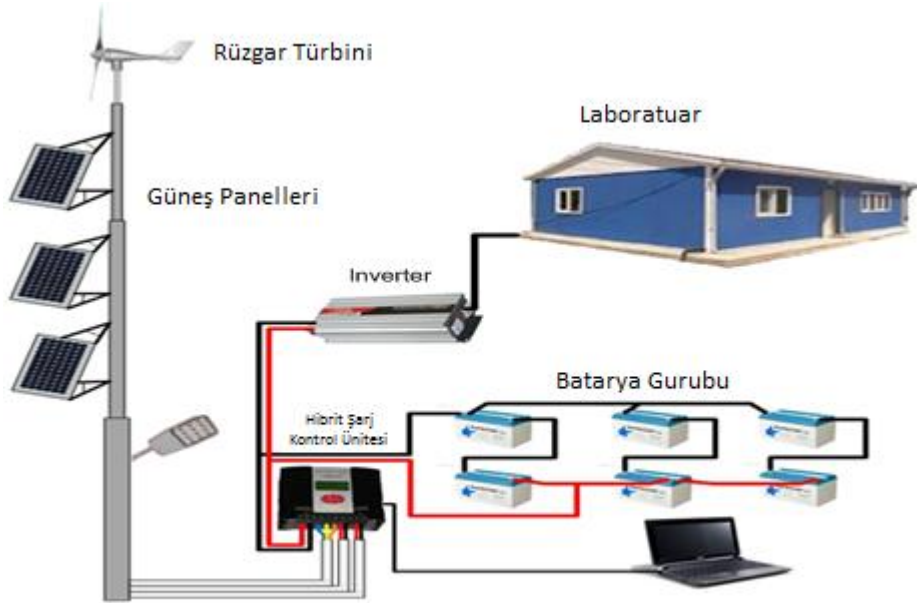
Şekil 2.19'da Sugeno bulanık çıkarım sistemine dayalı bir kuralın oluşumu gösterilmektedir. **Eğer** Giriş-1 x ve Giriş-2 y ise Çıkış $z = ax + by + c$ dir. Sugeno model için çıkış seviyesi z sabit ve $a=b=0$ yani sabittir. Her bir kuralın (z_i) çıkış seviyesi w_i etkinlik derecesi ile ağırlıklıdır. Sugeno bulanık model birinci dereceden daha yüksek üyelik fonksiyonlarıyla kullanıldığı zaman, sistem performansı çok az olmakla beraber istenilmeyen karmaşık durumlar eklenmektedir. Sugeno bulanık çıkarım sistemleri adaptif bulanık uygulamalarda daha sıkça kullanılmaktadır. Sistemin giriş değişkenlerine üzerinde her bir kuralın bağımlılığı yüzünden lineer kontrollerin iç denetimcisi olarak Sugeno model kullanımı daha idealdir (Chee-Mun 1998).

3.MATERYAL ve METOT

Bu bölüm boyunca bir batarya desteklemeli rüzgar-güneş hibrit güç üretim sistemi bileşenlerinin modellenmesi, modellenen sistemin anahtarlama (Switch) kontrolör ve bulanık mantık (fuzzy lojik) kontrolör ile enerji akış kontrolü gerçekleştirilecektir.

3.1 Batarya Desteklemeli Rüzgar – Güneş Hibrit Güç Üretim Sistemi ve Modellemesi

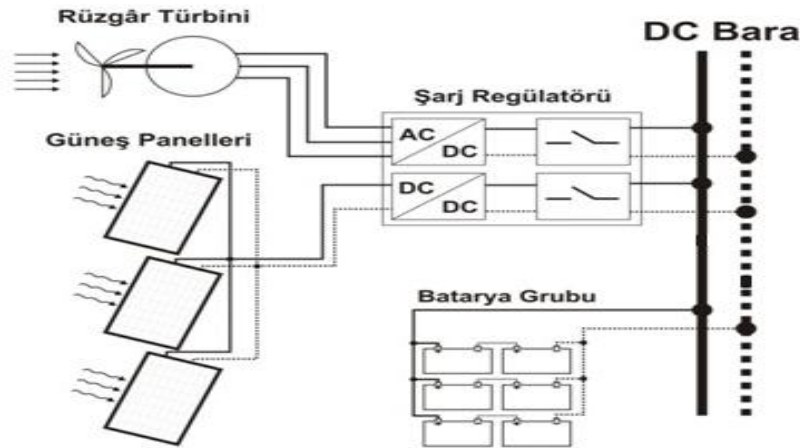
Hibrit güç üretim sistemleri iki veya daha fazla klasik ve yenilebilir enerji üretim sistemlerinin birbirlerine paralel bağlantısı sonucu oluşturulan güç üretim sistemleridir. Hibrit güç üretim sistemleri enerji üretim ve dağıtım merkezlerinden uzak mini şebekelerin ve küçük yerleşim birimlerinin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için en iyi çözüm yöntemlerinden birisidir. En yaygın olarak rüzgar-güneş hibrit güç üretim sistemi kullanılmaktadır (Rajveer ve Sandu 2010).



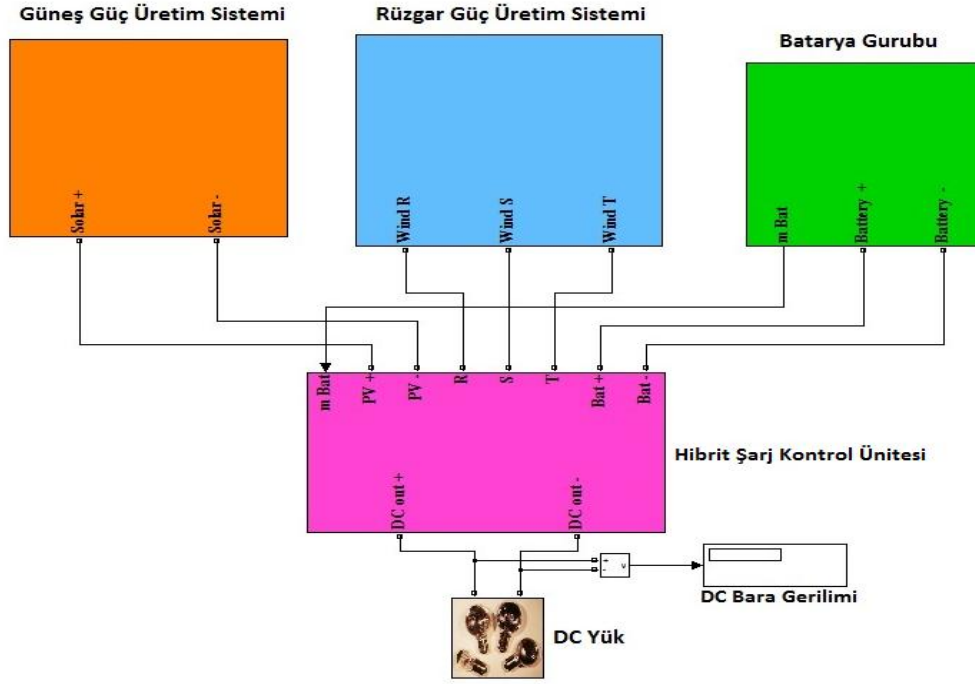
Şekil 3.1 Batarya desteklemeli rüzgar-güneş hibrit güç üretim sisteminin genel görünümü

Kurulumu yapılan batarya desteklemeli rüzgar-güneş hibrit güç üretim sisteminin genel görünümü Şekil 3.1 'de gösterilmiştir. Kurulmuş olan hibrit güç üretim sistemi 600W'lık rüzgar türbini, 190W'lık 3 adet güneş paneli, batarya grubu, bu ünitelerin uyumlu bir şekilde çalışabilmelerini sağlayan 1200W'lık hibrit şarj kontrol ünitesi ve alternatif akımla beslenen tüketiciler için 3kW'lık tam sinüs dalga inverterden meydana gelmektedir. Ayrıca hibrit güç üretim sisteminde üretilen enerjiye ait veriler 10 sn aralıklarla şarj kontrol ünitesi üzerinden takip edilebilmekte ve winpowernet arayüz programı ile bilgisayar üzerinden de takip edilerek Microsoft Excel dosyası olarak kaydedilmektedir.

Hibrit güç üretim sistemini oluşturan temel bileşenlerin birbirleriyle olan elektriksel bağlantıları ve genel blok şeması Şekil 3.2' de görülmektedir. Bu blok şemasına uygun olarak Şekil 3.3'de görüldüğü gibi hibrit güç üretim sisteminin gerçek zamandaki davranışına uygun olarak dinamik modellemesi Matlab/Simulink programı içerisinde yer alan SimPowerSystems kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra RGÜS'ün çıkış gerilimi AC-DC güç konvertörü, GGÜS'ün çıkış gerilimi DC-DC güç konvertörü ile DC 24 V'a regüle edilerek DC bara da batarya grubu da dahil olmak üzere paralel bağlanarak hibrit güç üretim sistemi oluşturulmuştur.



Şekil 3.2 Batarya desteklemeli rüzgar-güneş hibrit güç üretim sistem bileşenlerinin bağlantılarını gösteren genel blok şeması



Şekil 3.3 Batarya desteklemeli rüzgar-güneş hibrit güç üretim sisteminin simülasyon blok diyagramı

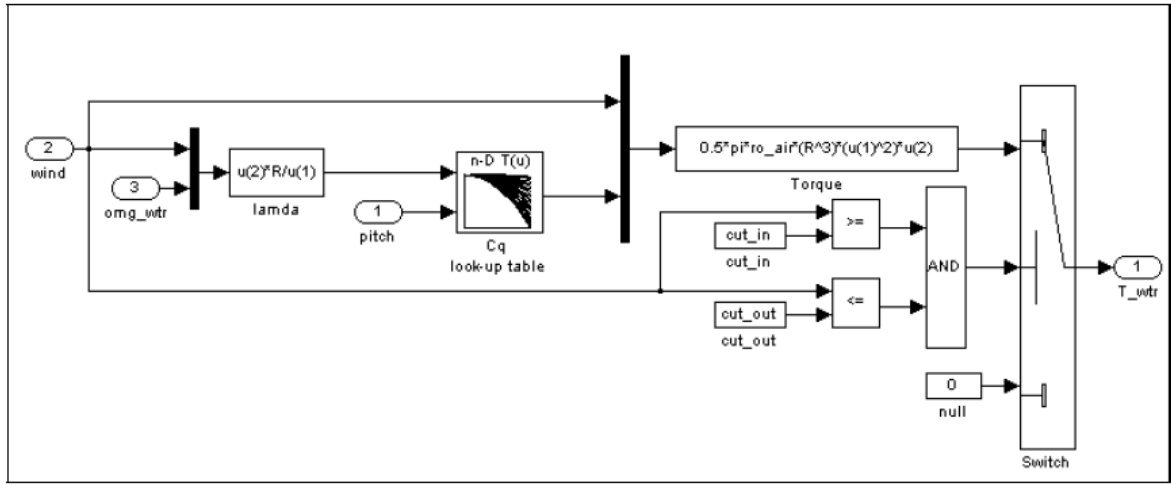
3.2 Hibrit Güç Üretim Sistemi Bileşenleri Modellemeleri

3.2.1 Rüzgar Güç Üretim Sistemi

Rüzgar türbinleri rüzgarın kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. Ürettikleri elektrik enerjisi rüzgarın hızına bağımlı olarak doğru orantılı bir şekilde değişir. Rüzgâr türbininin kurulacağı yer seçimi yapılırken birtakım faktörler çok önemlidir. Bunlar kurulacak yerin rüzgar hızının sürekli ve yüksek olması aynı zamanda hava akışını engelleyecek yükseltilerin türbin çevresinde bulunmamasıdır. Basit olarak rüzgâr türbininin çalışması şu şekildedir; hava akımı türbin kanatlarına çarptığında kanatların dönmesine neden olur ve bu sayede kanatların bağlı bulunduğu milin dönmesini sağlar. Küçük güçlü rüzgâr türbinlerinde bu mil genellikle doğrudan jeneratöre, büyük güçlülerde ise genellikle dişli kutusu yardımı ile jeneratöre bağlanır (Barsali 2002, Gagliano 2009). Jeneratörler ise bu mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler. Düşük güçlü rüzgar türbinlerinde çoğunlukla sabit mıknatıslı jeneratörler kullanılırken, yüksek güçlülerde ise senkron ve asenkron jeneratörler kullanılmaktadır (Thiringer ve Linders 2003).

Rüzgar türbinleri genellikle 2 veya 3 kanatlı, az da olsa 1 ya da 3 den fazla kanatlı olarak üretilmektedirler. Bu çalışmada, RGÜS’de kullanılan PMSG rüzgar türbini 3 kanatlı olup 600 W 36 V AC çıkış değerlerine sahiptir Simülasyon çalışmasında kullanılan rüzgar türbini modeli Şekil 3.4, rüzgar güç üretim sisteminin modeli ise Şekil 3.5’te gösterilmektedir.

3.2.1.1 Rüzgar Türbini



Şekil 3.4 Rüzgar türbin modeli

Rüzgar türbininin matematiksel bağıntıları denklem (1) deki gibidir.

$$T_{wt} = 0.5 \cdot \pi \cdot \rho \cdot R^3 \cdot v^2 \cdot C_Q(\lambda, \beta) \quad (1)$$

Burada;

T_{wt} : Aerodinamik tork

ρ : Hava yoğunluğu (kg/m³)

R : Rüzgar türbini kanat yarıçapı

V : m/sn olarak rüzgarın hızı

λ : Kanat ucundaki lineer hızın serbest akıntılı rüzgar hızına oranı

C_Q : Rüzgar türbini tork verim katsayısı

β : Kanat Açısı

3.2.1.2 SM Senkron Jeneratörü

Kalıcı (sabit) mıknatıslı senkron makine bloğu jeneratör (SMSG) veya motor (SMSM) modunda çalıştırılabilir. Çalışma modu mekanik tork işareti tarafından belirlenir. Jeneratör modu için (-), motor modu içinse (+) mekanik tork girişi uygulanmalıdır. PM senkron jeneratörün rotor referans (d,q) matematiksel bağıntıları denklem(2-4)'teki gibidir.

$$\frac{d}{dt}i_d = \frac{1}{L_d}V_d - \frac{R}{L_d}i_d + \frac{L_q}{L_d}p\omega_r i_q \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt}i_q = \frac{1}{L_q}V_q - \frac{R}{L_q}i_q + \frac{L_d}{L_q}p\omega_r i_d - \frac{\lambda p\omega_r}{L_q} \quad (3)$$

$$T_e = 1.5p[\lambda i_q + (L_d - L_q)i_d i_q] \quad (4)$$

Burada;

L_q, L_d q ve d eksenli endüktansları

R Stator sargılarının direnci

i_q, i_d q ve d eksenli akımları

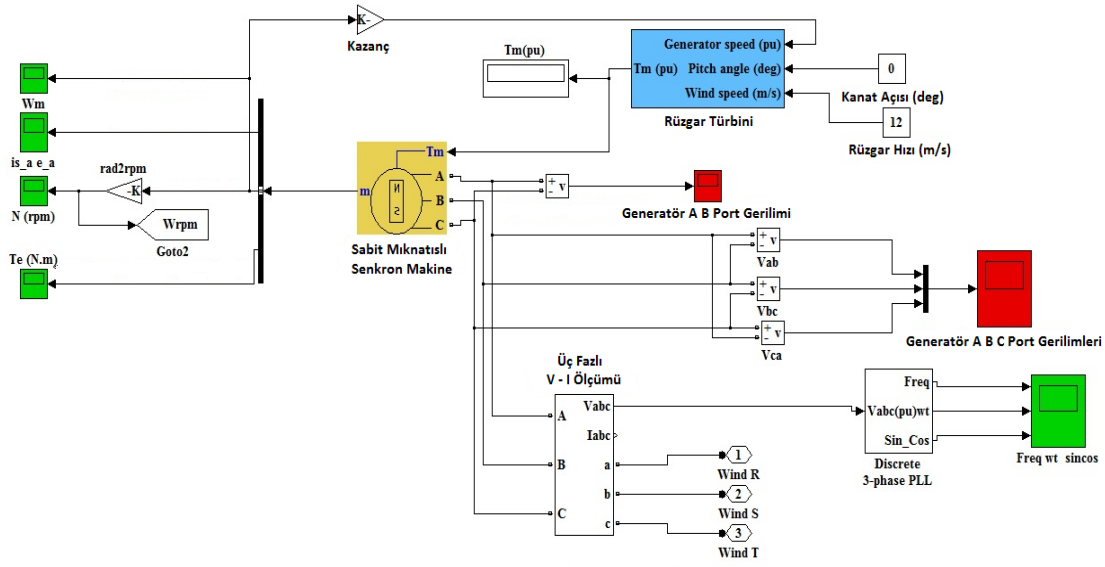
V_q, V_d q ve d eksenli gerilimleri

ω_r Rotor açısal hızı

λ Rotor daimi mıknatısları tarafından stator fazlarında uyarılan akı genliği

p Çift kutup sayısı

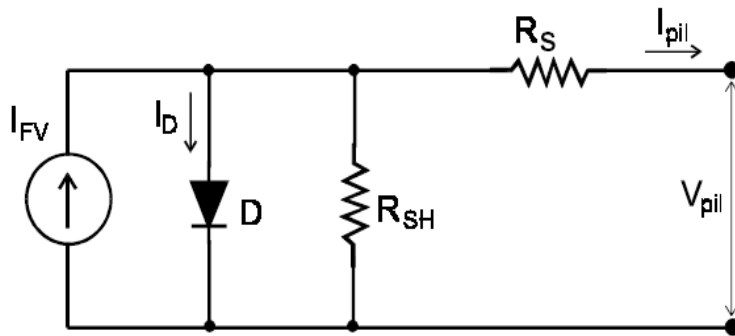
T_e Elektromanyetik tork



Şekil 3.5 Sabit hızlı, MSG rüzgar güç üretim sisteminin simulasyon blok diyagramı

3.2.2 Güneş Paneli

Güneş panelleri güneş ışığını doğru akım elektrik enerjisine dönüştürürler. Elektrik üretiminde önemli olan ışık seviyesinin yeterli düzeyde olmasıdır. Bu üretim sisteminin işletme giderleri çok düşük, güvenilirlikleri ise çok yüksektir. Günümüz teknolojisinde birkaç wattan 300 W gücüne kadar değişik boyutlarda güneş panelleri üretilmektedir. Güneş pillerinin en büyük dezavantajı maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Güneş pillerinin kullanım süreleri yapım teknolojilerine bağlı olarak 10-25 yıl arasında değişmektedir (Puleston 2003, Salameh 2004). Şekil 3.6 'da fotovoltaiik hücrenin elektriksel eşdeğer devresi gösterilmektedir. Bu eşdeğer devre denklem (5) de matematiksel formülle ifade edilmiştir. Şekil 3.7'de ise güneş güç üretim sisteminin simulasyon blok diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 3.6 Fotovoltaiik hücrenin elektriksel eşdeğer devresi

$$I_{pil} = I_{FV} - I_0 \left[\exp \left(\frac{e}{kT_{pil}} (V_{pil} + R_s \times I_{pil}) \right) - 1 \right] - \frac{V_{pil} + R_s \times I_{pil}}{R_{SH}} \quad (5)$$

I_{pil} : FV pilin çıkış akımı (A)

I_{FV} : Işık seviyesi ve P-N birleşim noktası sıcaklığının fonksiyonu, Fotoakım (A)

I_0 : D diyotunun ters doyma akımı (A)

V_{pil} : FV pilin çıkış gerilimi (V)

R_s :Eşdeğer devrenin seri direnci (Ohm)

R_{SH} :Eşdeğer devrenin paralel direnci (Ohm)

e :Elektron yükü ($1.6021917 \times 10^{-19}$ C)

k : Boltzmann sabiti (1.380622×10^{-23} J/°K)

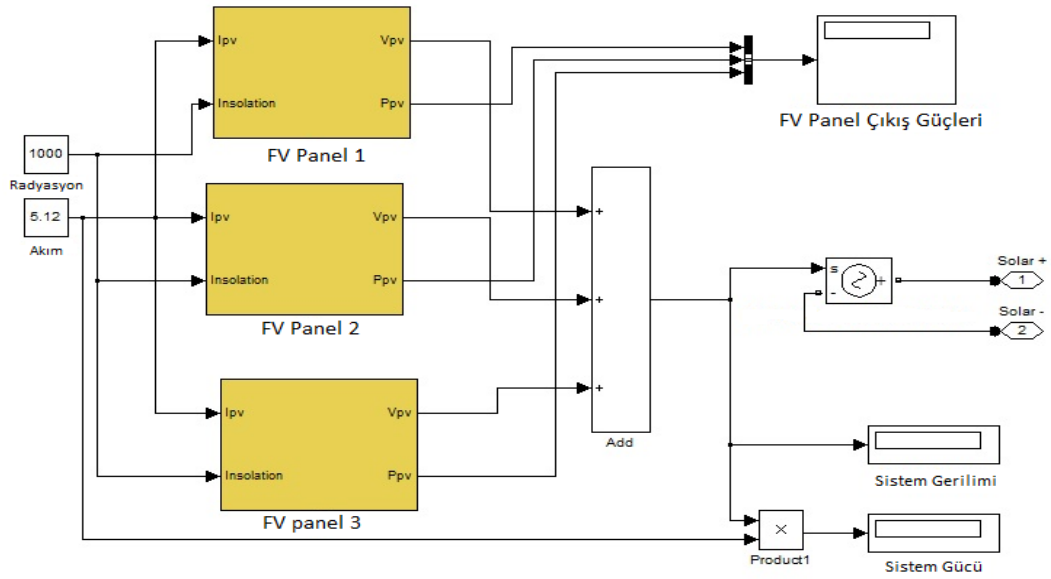
T_{pil} : Referans çalışma sıcaklığı (°K).

Bu çalışmada kullanılan güneş panellerinin elektriksel parametreleri ve değerleri Tablo-1 'de verilmektedir.

Tablo-1 Fotovoltaik panelin parametreleri

Parametreler	Değişken	Değer
Nominal Güç (W)	P_{max}	190 W
Maksimum Güç Voltajı (V)	V_{max}	37.08V
Maksimum Güç Akımı (A)	I_{max}	5.12 A
Açık Devre Voltajı (V)	V_{oc}	44.48 V
Kısa Devre Akımı(A)	I_{sc}	5.54 A

GGÜS de 3 adet 190 W gücünde her biri 72 hücreden oluşan, hücre verimi %18 olan monokristal paneller kullanılmıştır.

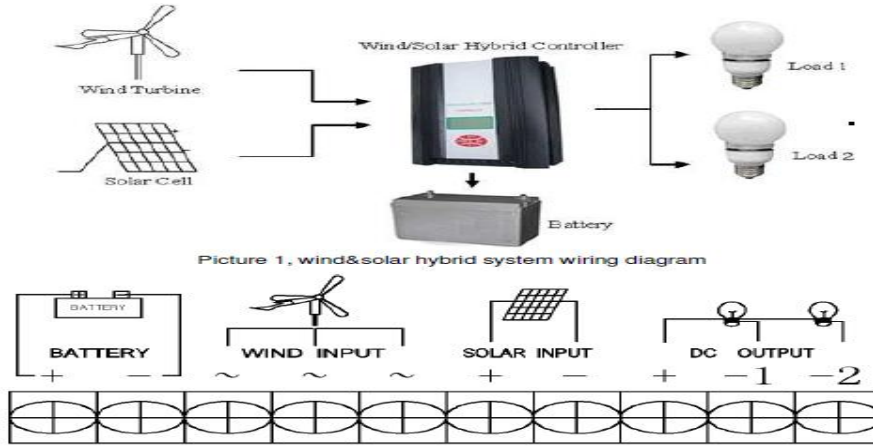


Şekil 3.7 Güneş güç üretim sisteminin simülasyon blok diyagramı

3.2.3 Hibrit Şarj Kontrol Ünitesi

Rüzgar ve güneş güç üretim sistemlerinden gelen enerjiler mikro işlemci tabanlı hibrit şarj kontrol ünitesinde düzenlenir. SMSG rüzgar güç üretim sistemi ve güneş panellerinden kontrol ünitesine gelen elektrik enerjisi, havanın rüzgarlı ve güneşli olduğu anlarda her ikisinden ya da rüzgar ve güneşin herhangi birisinin etkin olduğu anda sadece birinden gelebilir. Bu tamamen çalışma anındaki havanın rüzgar ve güneş durumuna bağlıdır. Ayrıca rüzgar türbininin SM jeneratöründe 3 fazlı alternatif bir gerilim üretilmekte, güneş panelinde ise doğru bir gerilim üretilmektedir. Bu iki sistemin paralel bağlanması için enerji formlarının ve büyüklüklerinin aynı olması gerekmektedir. Bu işlemi Şekil 3.8’de bağlantı şeması gösterilen hibrit şarj kontrol ünitesi sağlamaktadır.

Şarj kontrolörü SM jeneratörden gelen 3 fazlı AC gerilimi AC/DC converter ile istenilen DC forma ve büyüklüğe, güneş panellerinden gelen DC gerilimi DC/DC converter ile istenilen büyüklüğe çevirerek dönüştürücü çıkışlarını birleştirip batarya şarj çıkış gerilimi olarak dışarıya aktarmaktadır. Hibrit şarj kontrol ünitesi üzerinde 10 adet soket bulunmaktadır. Batarya Grubu için iki, Rüzgâr türbini jeneratörü için üç, güneş panelleri ve DC yük çıkışları içinse ikişer adet soket gerekmektedir.



Şekil 3.8 Kurulu olan hibrit güç üretim sistemi Şarj Kontrol Ünitesinin Bağlantı Şeması

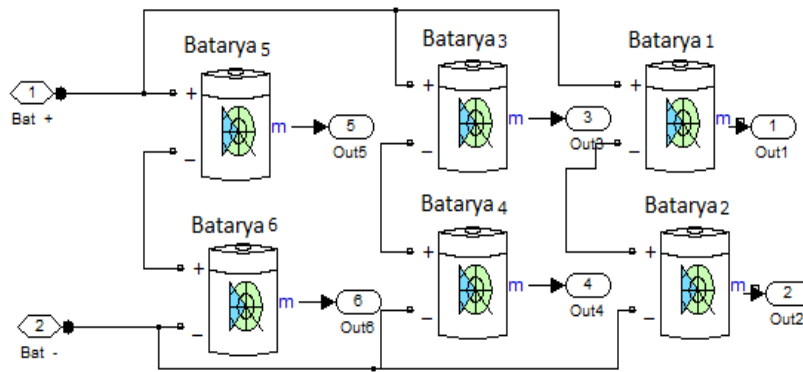
Şekil 3.9’den görüldüğü gibi hibrit şarj kontrol ünitesinin üst kısmında LCD ekran ve farklı fonksiyondaki görevleri yapabilmek için tuş takımı vardır. Batarya grubu hibrit kontrol ünitesinden gönderilen enerji ile şarj edilmektedir. Dolayısıyla batarya grubunun voltajı sistemden gelen enerji miktarına göre değişmektedir. Kontrolör üzerindeki LCD ekrandan; rüzgar ve güneş enerjisinden üretilen elektrik enerjisinin, akünün ve DC çıkışların; akım, gerilim ve güç bilgilerini görülmektedir. Şarj kontrolörü RS232 bağlantı çıkışına sahiptir. Bu port üzerinden Winpowernet ara yüz programı ile veriler bilgisayar ekranından gözlemlenebilmekte ve istenildiğinde Microsoft Excel dosyası olarak kaydedilebilmektedir. Ayrıca jeneratörün kendi karakteristiğine uyumlu şekilde tasarlanan yeni manyetik fren tertibatı ile sistemin çalışma güvenliği bu kontrolör ile sağlanmaktadır. Anahtarlama kontrol ile enerji akış kontrolü için hibrit şarj kontrol ünitesinin simülasyon blok diyagramı Şekil 3.10’da, bulanık mantık kontrol ile enerji akış için hibrit şarj kontrol ünitesinin simülasyon blok diyagramı ise Şekil 3.11’de gösterilmektedir.



Şekil 3.9 Hibrit şarj kontrolörünün kumanda paneli ve LCD ekranı

3.2.4 Batarya Gurubu

Bataryalar elektrik enerjisini kimyasal formda depolayan elektrokimyasal elemanlardır. Yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte kullanılan batarya tipleri kurşun asit, nikel-kadmiyum, nikel-demir, demir-hava vs. bataryalarıdır. İşletme şartlarına göre batarya ömürleri 1-10 yıl arasında değişmektedir. Bu tip bataryaların ilk yatırım maliyetlerinin düşük olmasına rağmen bakım ve yenileme maliyetleri çok yüksektir. Günümüzde jel aküler daha çok kullanılmaya başlanmıştır. Bunların ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen bakım maliyetleri yoktur. Batarya kapasiteleri Ah veya nominal gerilimlerini çarpımı sonucu elde edilen kWh olarak ifade edilir (Salameh ve Bogdan 1996). Kurulu olan hibrit güç üretim sisteminde 6 adet 12 volt 100Ah'lık jel akü kullanılmıştır. Bu aküler kendi aralarında bağlantı yapılarak akü gurubu 24 Volt 300Ah kapasite değerine getirilmiştir. Hibrit güç üretim sistemi için tasarlanan batarya gurubunun simülasyon blok diyagramı Şekil 3.12'de gösterilmiştir.

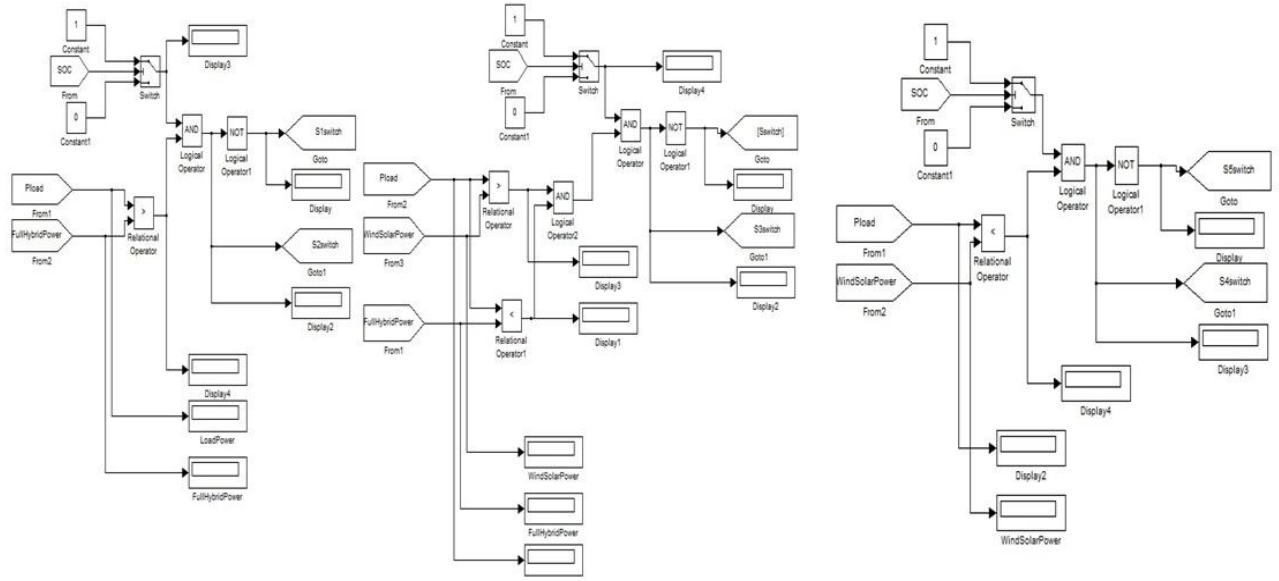


Şekil 3.12 Batarya gurubunun simülasyon blok diyagramı

3.3 Enerji Akış Kontrolü

3.3.1 Enerji Akış Kontrolü İçin Anahtarlama (Switch) Kontrolör Tasarımı

Bu yöntemde boolean denklemleri ve karşılaştırma fonksiyonları kullanılarak enerji akış kontrolü yapılmaktadır. Genel olarak boolean denklemlerinden (and) ve , (or) veya , (not) değil işlemleri kullanılmıştır. Karşılaştırma fonksiyonlarından ise (<) küçüktür ,(>) büyüktür, (=) küçük eşit ve (=>) büyük eşit fonksiyonları istenilen anahtarlama çıkışlarını elde etmek için kullanılmıştır. Şekil 3.13'de anahtarlama kontrol için oluşturulan model gösterilmektedir.



Şekil 3.13 Anahtarlamalı (Switch) kontrolör modeli

Sistem yükleme, üretim ve batarya şarj durumlarına göre şarj kontrol ünitesinin anahtarlama konumları ise Tablo 3.3.1’de ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

Tablo 3.3.1 Anahtarlamalı kontrollü hibrit şarj kontrol ünitesi simülasyon blok diyagramının anahtar konumlamaları

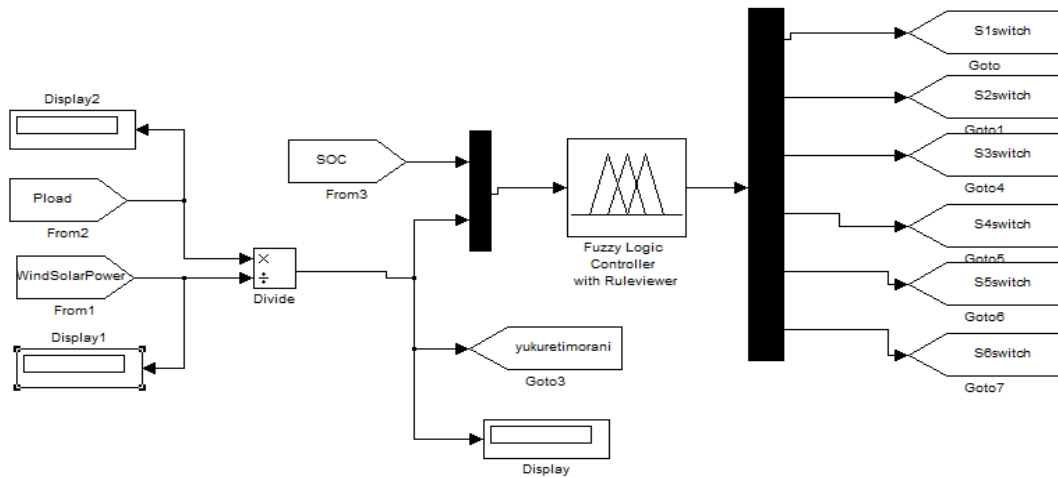
No	Anahtar Kontrol Kuralları	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	Sistem Durumları
1	$SOC \geq \% 95$ ve $P_{Load} > (P_{Wind} + P_{solar} + P_{Battery})$	0	1	0	0	1	1	Aşırı yük Tüm sistem devre dışı
2	$SOC < \% 95$ ve $P_{Load} > (P_{Wind} + P_{solar} + P_{Battery})$	1	0	0	0	1	1	Aşırı yük Yük devre dışı Batarya şarj
3	$SOC \geq \% 95$ ve $P_{Load} > (P_{Wind} + P_{solar})$ ve $P_{Load} \leq (P_{Wind} + P_{solar} + P_{Battery})$	1	0	1	0	1	1	Yük devrede Batarya deşarj
4	$SOC < \% 95$ ve $P_{Load} > (P_{Wind} + P_{solar})$ ve $P_{Load} \leq (P_{Wind} + P_{solar} + P_{Battery})$	1	0	0	0	1	1	Yük devre dışı Batarya şarj
5	$SOC \geq \% 95$ ve $P_{Load} \leq (P_{Wind} + P_{solar})$	1	0	1	1	0	1	Yük devrede Batarya devre dışı
6	$SOC < \% 95$ ve $P_{Load} \leq (P_{Wind} + P_{solar})$	1	0	0	0	1	1	Yük devrede Batarya şarj

3.3.2 Enerji Akış Kontrolü İçin Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Kontrolör Tasarımı

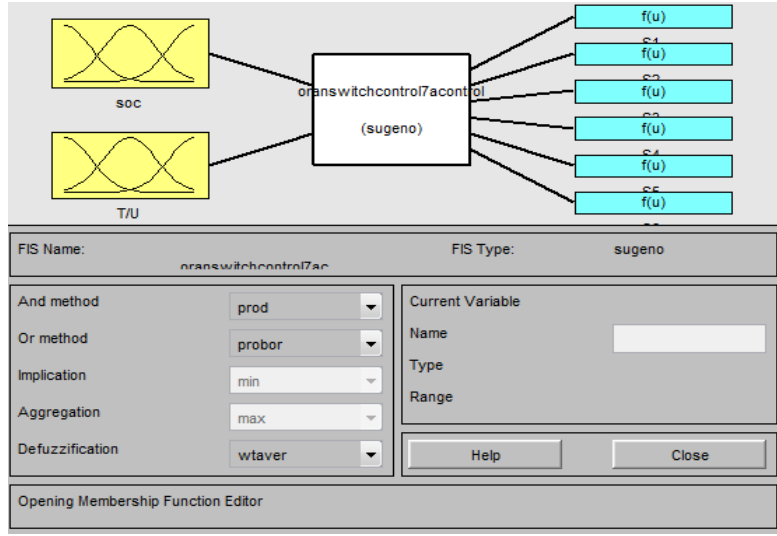
Bulanık mantık (Fuzzy lojik) kontrolör dizaynı 2 giriş ve 6 çıkışlı olarak tasarlanmıştır. Girişler batarya doluluk oranı (SOC),yük gücü ile hibrit güç oranı (T/U).Bu değerler alınarak fuzzy girişlerine uygulanmaktadır. Yazılan kural tabanına göre giriş değerleri işlenip çıkışlar belirlenmekte ve fuzzy tarafından anahtarlar kontrol edilmektedir. Öncelikli olarak üyelik fonksiyonları belirlenir. Daha sonra belirlenen aralıklarla işlem yapılır. Tasarlanmış olan fuzzy lojik kontrolör modeli Şekil 3.14 ‘de matlab tasarım ekranı ise Şekil 3.15’ de gösterilmektedir. Sistem yükleme, üretim ve batarya şarj durumlarına göre şarj kontrol ünitesinin anahtarlama konumları ise Tablo 3.3.2’de ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

Tablo 3.3.2 Bulanık mantık kontrollü hibrit şarj kontrol ünitesi simülasyon blok diyagramının anahtar konumlamaları

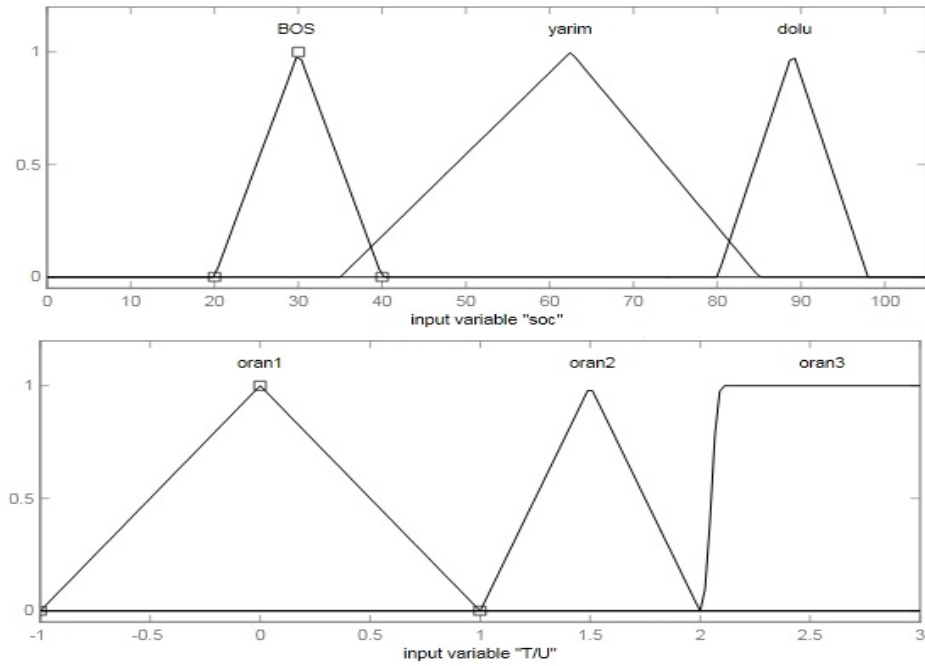
		(Tüketim / Üretim) oranı -- (T/U)																	
		1 < T/U						1 > T/U < 2						T/U>2					
Batarya doluluk oranı (SOC)	bos	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6
		1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1
	yarım	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6
		1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1
	dolu	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6
		1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1



Şekil 3.14 Bulanık mantık (Fuzzy Lojik) kontrolör modeli



Şekil 3.15 Bulanık mantık (Fuzzy Logic) kontrolör Matlab tasarım ekranı



Şekil 3.16 Giriş üyelik fonksiyonları

Giriş üyelik fonksiyonları belirledikten sonra kontrolörümüzün nasıl çalışması gerektiğini ve, veya, değil komutları ile tanımlama yaparak istediğimiz çıkışları elde edebiliriz. Bu çalışmada 9 kural kullanılarak istenilen sonuçlar elde edilmiştir. Ama bu kurallar istenilirse arttırılabilir. Fakat kuralların çok fazla olması kontrolör hızını yavaşlatır. Giriş üyelik fonksiyonları Şekil 3.16’da, bulanık mantık (fuzzy logic) kural yazılım tablosu Şekil 3.17’de gösterilmiştir.

3.3.2.1 Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Kuralları

- 1) If (soc is dolu) and (T/U is oran3) then (S1 is off) (S2 is on) (S3 is off) (S4 is off) (S5 is on) (S6 is on) (1)
- 2) If (soc is yarim) and (T/U is oran3) then (S1 is on) (S2 is off) (S3 is off) (S4 is off) (S5 is on) (S6 is on) (1)
- 3) If (soc is BOS) and (T/U is oran3) then (S1 is on) (S2 is off) (S3 is off) (S4 is off) (S5 is on) (S6 is on) (1)
- 4) If (soc is dolu) and (T/U is oran2) then (S1 is on) (S2 is off) (S3 is on) (S4 is off) (S5 is on) (S6 is on) (1)
- 5) If (soc is yarim) and (T/U is oran2) then (S1 is on) (S2 is off) (S3 is off) (S4 is off) (S5 is on) (S6 is on) (1)
- 6) If (soc is BOS) and (T/U is oran2) then (S1 is on) (S2 is off) (S3 is off) (S4 is off) (S5 is on) (S6 is on) (1)
- 7) If (soc is dolu) and (T/U is oran1) then (S1 is on) (S2 is off) (S3 is on) (S4 is on) (S5 is off) (S6 is on) (1)
- 8) If (soc is yarim) and (T/U is oran1) then (S1 is on) (S2 is off) (S3 is on) (S4 is off) (S5 is on) (S6 is on) (1)
- 9) If (soc is BOS) and (T/U is oran1) then (S1 is on) (S2 is off) (S3 is on) (S4 is off) (S5 is on) (S6 is on) (1)

The screenshot shows a software window titled "File Edit View Options". Inside, there is a list of 9 fuzzy logic rules. Below the list is a configuration panel for the selected rule (Rule 1). The panel has several dropdown menus and checkboxes.

Condition	Value	Operator	Result	Value	Operator	Result
If soc is	BOS	and	T/U is	oran1	Then	S1 is
	yarim			oran2		S2 is
	dolu			oran3		S3 is
	none			none		

Below the configuration panel, there are checkboxes for "not", "or", and "and". The "and" checkbox is selected. There is also a "Weight" field set to 1. At the bottom, there are buttons for "Delete rule", "Add rule", "Change rule", "Help", and "Close". A status bar at the bottom says "The rule is changed".

Şekil 3.17 Bulanık mantık (Fuzzy logic) kural yazım tablosu

4.BULGULAR

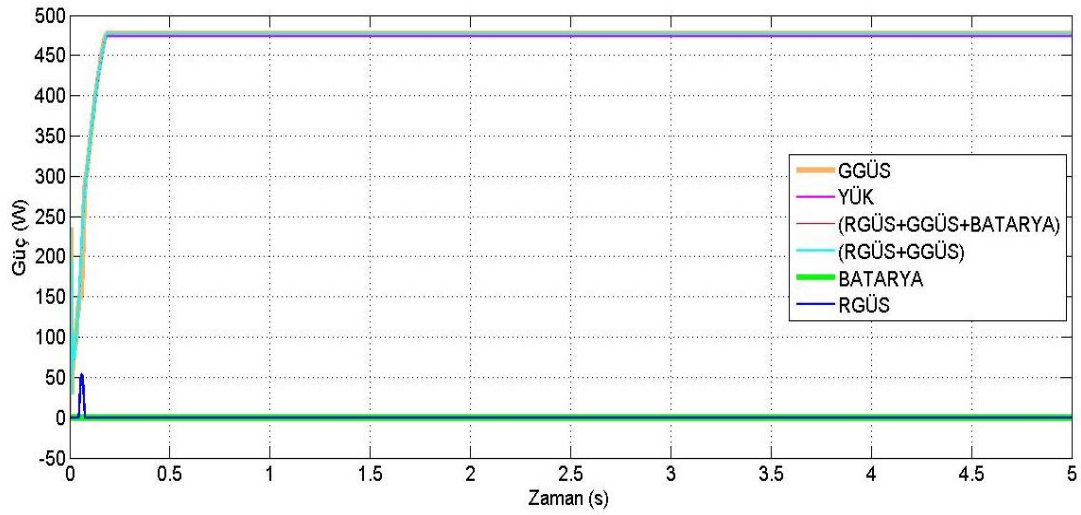
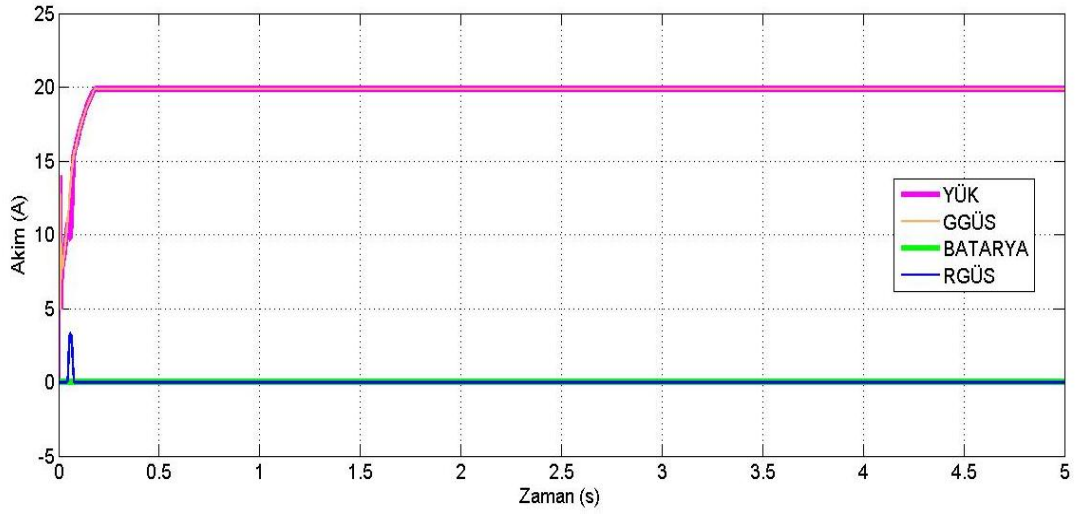
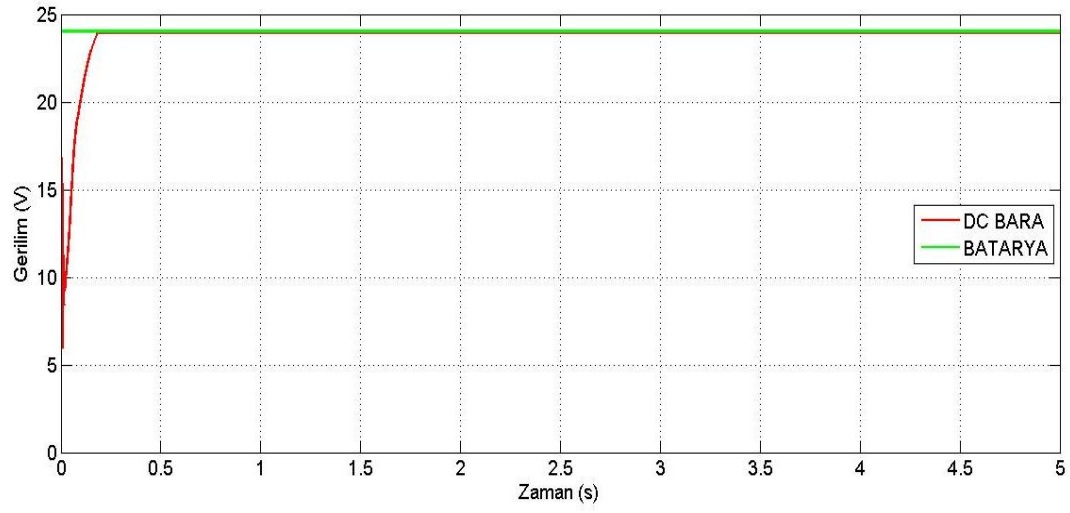
Kurulumu ve simülasyon çalışması yapılan 1170 W'lık rüzgar-güneş hibrit güç üretim sistemi için tasarlanan anahtarlama kontrolör ve bulanık mantık kontrolör ile enerji akış kontrolü yapılmıştır. Sistemin üretim, tüketim ve depolama ünitelerinin değerleri değiştirilerek oluşabilecek bütün aksaklıklar için denemeler yapılmıştır. Alınan simülasyon sonuçları ayrı ayrı verilerek analizi yapılmıştır.

4.1Anahtarlama Kontrolör (Switch Control) ile Enerji Akış Kontrolü

Tablo 4.1.1 'den anlaşılacağı üzere ilk üç yükleme durumunda rüzgar-güneş hibrit güç üretim sistemine maksimum giriş değerleri uygulanarak tam güç üretiminde (1170W), batarya grubunun da tam şarjlı konumda olduğu kabul edilerek sisteme sırayla farklı güçlerde alıcılar bağlanarak hibrit güç üretim sistemine ait elektriksel büyüklüklerin (akım, gerilim ve güç) dinamik davranışı gözlemlenmiştir. Son yükleme durumunda ise üretim değerleri düşürülerek yükleme yapıp sistem davranışı da gözlemlenmiştir.

Tablo 4.1.1 Anahtarlama kontrolörlü sistem yükleme parametreleri

Yükleme Durumu	Rüzgar Güç Üretim		Güneş Güç Üretim		Batarya Grubu	Yük
	Rüzgar Hızı (m/s)	Kanat Açısı (deg)	Akım (A)	Radyasyon	SOC (%)	Güç (W)
1.Yükleme durumu	12	0	5.12	1000	95	480
2. Yükleme durumu	12	0	5.12	1000	95	950
3. Yükleme durumu	12	0	5.12	1000	95	1550
4. Yükleme durumu	9	0	5.12	950	95	1550



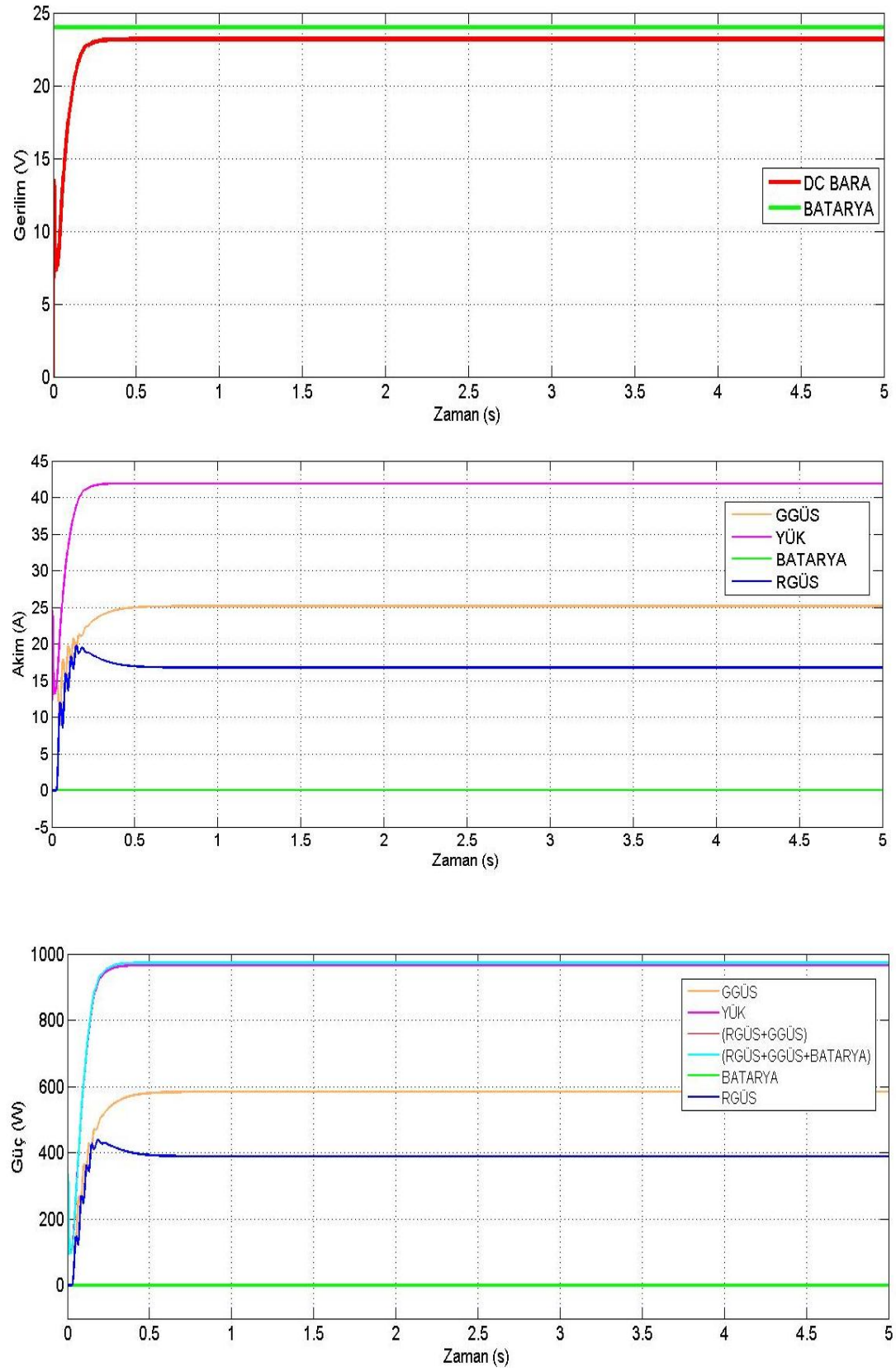
Şekil 4.1.1 Batarya desteklemeli rüzgar–güneş hibrit güç üretim sisteminin 480W’lık tüketici gücü ile yüklenmesi durumundaki akım, gerilim ve güç eğrileri

Birinci yükleme durumunda sisteme maksimum üretim için maksimum giriş değerleri uygulanmıştır. Batarya gurubunun da tam şarjlı olduğu kabul edilerek sisteme 480 W gücünde alıcı bağlanmıştır. Sistemin maksimum üretim gücü 1170 W olduğundan yükleme durumunda çekilen güç toplam üretilen güçten küçüktür. Ayrıca tüketim gücü, üretim ünitelerinin (rüzgar-güneş) bireysel üretim güç kapasitelerinden de küçüktür. Bu yüzden tüketicinin ihtiyaç duyduğu gücü, daha düşük güçlü üretim sistemi de karşılayabileceği için tek başına beslemelidir. Yani üretim sisteminin düşük üretim gücüne sahip olan güneş güç üretim sistemi alıcıyı tek başına beslemelidir.

Küçük güçlü hibrit güç üretim sistemlerinde genel olarak üretilen güç direkt olarak batarya gurubuna gönderilmekte ve alıcı batarya gurubu üzerinden beslenmektedir. Fakat bu durumda bataryanın aşırı şarj olma riski artmaktadır. İdeal bir sistemde alıcının ihtiyaç duyduğu güç direkt olarak alıcıya gönderilerek beslemesi sağlanmalı ve de üretim fazlası güç var ise bataryanın doluluk oranına göre bataryaya güç depolaması yapılmalıdır. Yukarıdaki durumlar düşünülerek anahtarlamalı kontrolör tasarımı ona göre yapılmıştır.

Sistemdeki en düşük güçlü üretim ünitesi olan güneş güç üretim sisteminin alıcıyı besleyebilecek olması ve de batarya gurubunun tam şarjlı olup üretim fazlası gücün depolanamayacağı nedeni ile hibrit şarj kontrolörü rüzgar güç üretim sistemini ve batarya gurubunu devre dışı bırakmaktadır.

Nitekim Şekil 4.1.1'deki simülasyon sonuçlarından anlaşılabacağı üzere gerilim eğrisine bakıldığında alıcıya kesintisiz ve düzgün bir besleme gerilimi sağlanmaktadır. Akım ve güç eğrisinden anlaşılabacağı üzere alıcıyı güneş güç üretim sistemi tek başına beslemektedir.

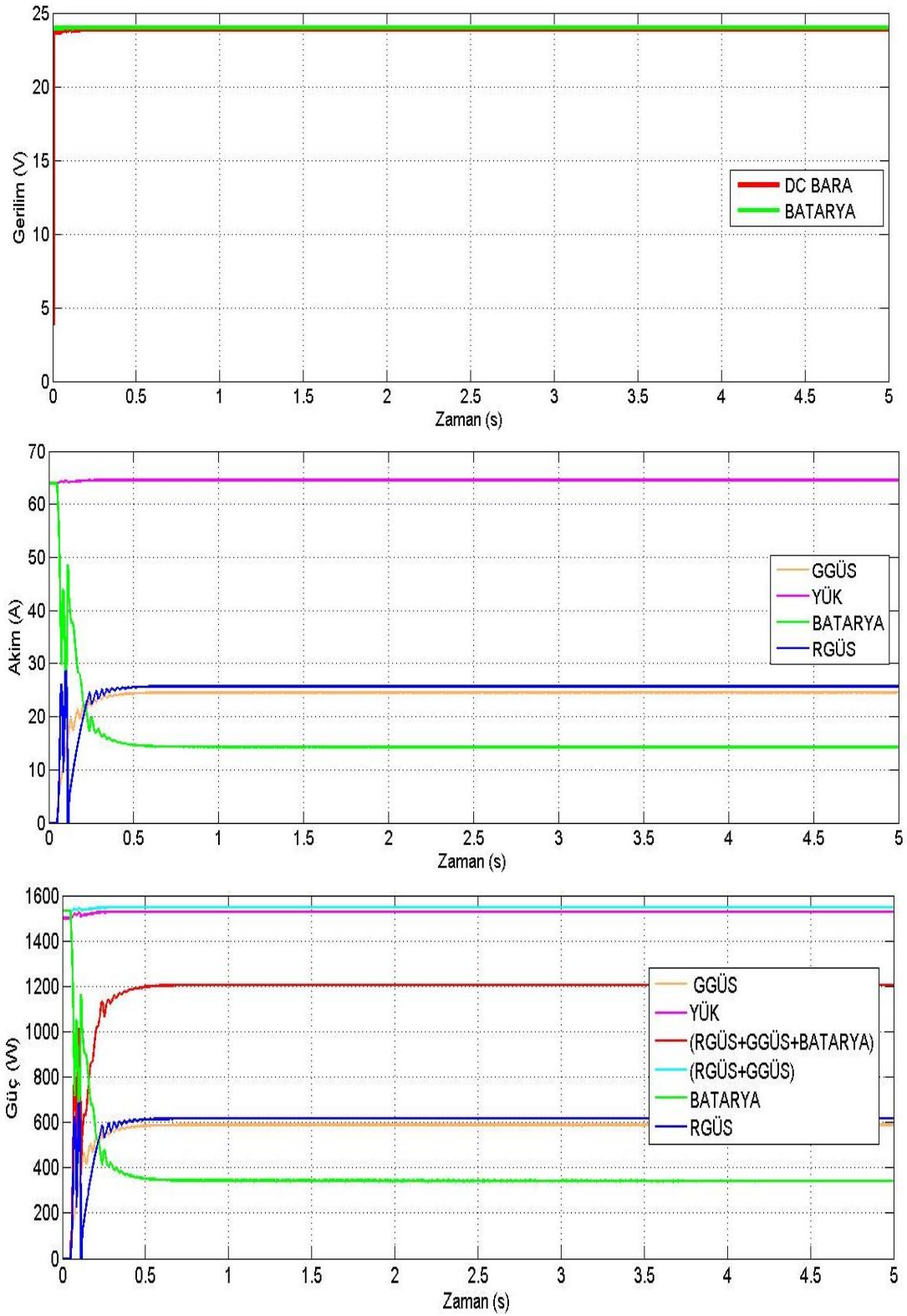


Şekil 4.1.2 Batarya desteklemeli rüzgar–güneş hibrit güç üretim sisteminin 950W’lık tüketici gücü ile yüklenmesi durumundaki akım, gerilim ve güç eğrileri

İkinci yükleme durumunda da sisteme maksimum üretim için maksimum giriş değerleri uygulanmıştır. Batarya gurubunun yine tam şarjlı olduğu kabul edilerek sisteme biraz daha büyük güçlü 950 W gücünde alıcı bağlanmıştır. Sistemin maksimum üretim gücü 1170 W olduğundan bu yükleme durumunda da çekilen güç toplam üretilen güçten küçüktür. Fakat bu yükleme durumunda çekilen güç, üretim ünitelerinin (rüzgar-güneş) bireysel üretim güç kapasitelerinden büyüktür. Bu nedenle tüketicinin ihtiyaç duyduğu güç gereksinimi rüzgar-güneş hibrit güç üretim ünitesinin birlikte çalışması ile karşılanmalıdır. Öncelikli olarak düşük güçlü üretim sistemi tam devreye alınmalıdır. İhtiyaç duyulan geriye kalan güç ise diğer güç üretim sistemi ile kontrollü bir şekilde karşılanmalıdır ve de batarya gurubunun tam şarjlı olması nedeni ile üretim fazlası gücün depolanamayacağı için batarya gurubu devre dışı bırakılmalıdır.

Nitekim Şekil 4.1.2'deki simülasyon sonuçlarına bakıldığında çekilen gücün toplam üretilen güçten küçük olması nedeni ile batarya desteklemesine gerek olmayacağından ve de batarya gurubunun tam şarjlı olup üretim fazlası gücün depolanamayacağından dolayı hibrit şarj kontrolörü batarya gurubunu devre dışı bırakmaktadır. Sisteme maksimum giriş değerleri uygulandığından dolayı 1170 W'lık bir üretim gerçekleştirilebilecektir. Ama öncelikli olarak sistemdeki düşük güçlü üretim sistemi olan güneş güç üretim sistemi maksimum güç üretiminde olup arda kalan güç ise diğer rüzgar güç üretim sistemi ile kontrollü bir şekilde karşılanmaktadır. Yani üretim fazlası güç oluşturmamak için akım kontrolü yapılarak rüzgar güç üretim sisteminin üretim seviyesi düşürülmektedir.

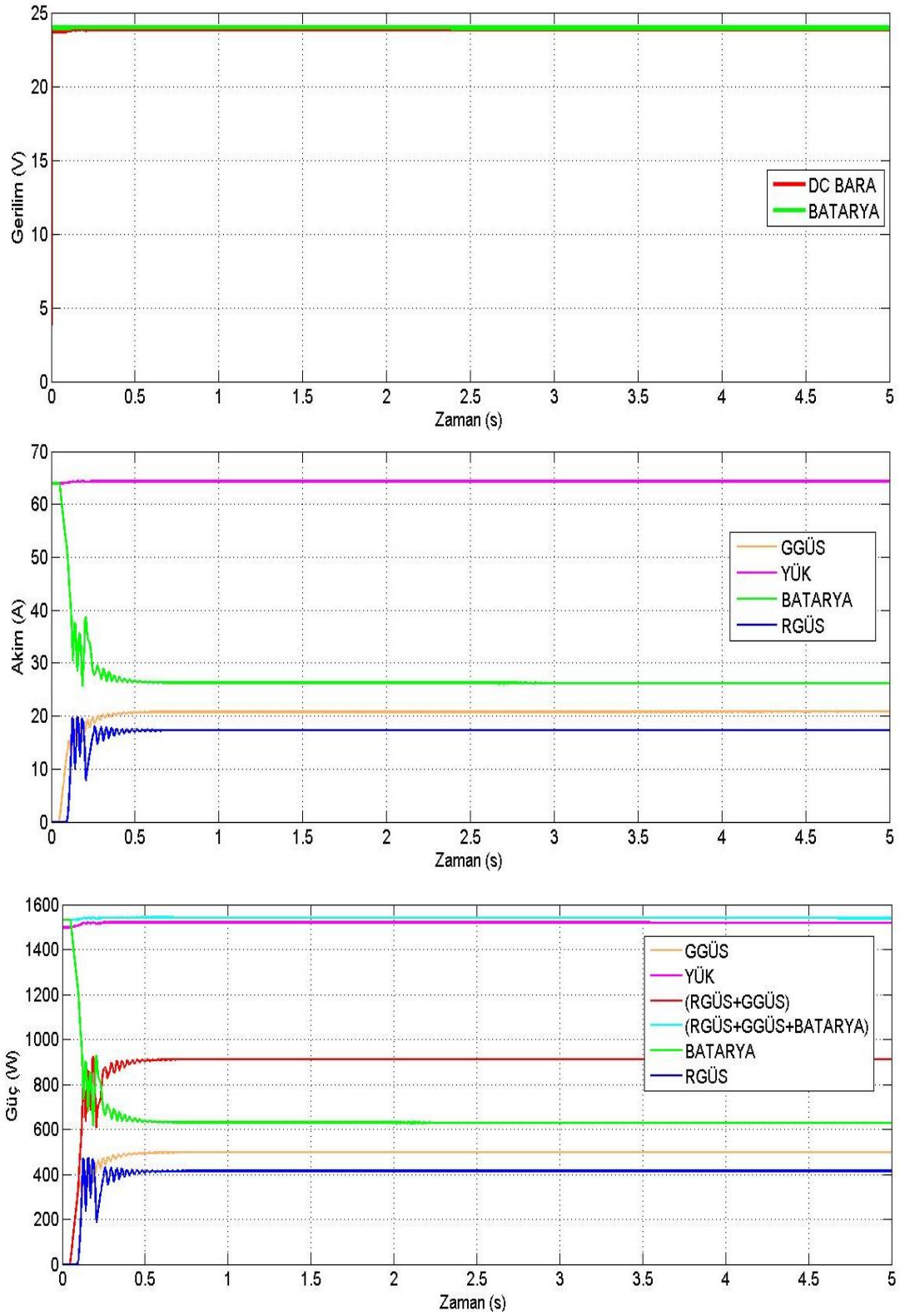
Simülasyon gerilim eğrisine bakıldığında alıcıya kesintisiz ve düzgün bir besleme gerilimi sağlandığı görülmektedir. Akım eğrisine bakıldığında alıcının çektiği 41 A'lık akımın 25 A'ı güneş güç üretim sisteminden 16 A'lık kısım ise rüzgar güç üretim sisteminden sağlanmaktadır. Güç eğrilerinden anlaşılabileceği üzere alıcı hibrit güç üretim sisteminden beslenmektedir. Öncelikli olarak alıcının çektiği gücün 570 W'ı güneş güç üretim sisteminden, geriye kalan 380 W'ı ise rüzgar güç üretim sisteminden sağlanmaktadır.



Şekil 4.1.3 Batarya desteklemeli rüzgar–güneş hibrit güç üretim sisteminin 1550 W’lık tüketici gücü ile yüklenmesi durumundaki akım, gerilim ve güç eğrileri

Üçüncü yükleme durumunda da sisteme maksimum giriş değerleri uygulanmıştır. Batarya gurubunun yine tam şarjlı olduğu kabul edilerek sisteme 1550 W gücünde alıcı bağlanmıştır. Sistemin maksimum üretim gücü 1170 W olduğundan bu yükleme durumunda çekilen güç toplam üretilen güçten büyük olacağından rüzgar-güneş hibrit güç üretim sisteminin üretim gücü yetersiz kalacaktır. Bu durumda gerekli olan güç gereksinimi batarya gurubu üzerinden desteklenmelidir. Fakat şu durum unutulmamalıdır ki bu desteklemenin yapılabilmesi için alıcının çektiği gücün batarya desteklemeli rüzgar-güneş güç üretim sisteminin o andaki toplam gücünden küçük olması gerekmektedir. Aksi takdirde sistemin aşırı yüklenmesinden dolayı sistemden aşırı akım çekileceğinden sistem elemanları zarar görecektir. Yukarıdaki durumlar düşünülerek anahtarlamalı kontrolör tasarımı ona göre yapılmıştır. Nitekim alıcının gücü batarya desteklemeli rüzgar-güneş güç üretim sisteminin o andaki toplam gücünden küçüktür. Böylece alıcı batarya desteklemeli olarak hibrit güç üretim sisteminden beslenebilecektir.

Şekil 4.1.3'deki simülasyon sonuçlarına bakıldığında çekilen gücün toplam üretilen güçten büyük olması nedeni ile batarya desteklemesine ihtiyaç duyulmaktadır. Nitekim tüketim fazlası güç batarya gurubundan karşılanabileceği için hibrit şarj kontrolörü batarya gurubunu devre almaktadır. Sisteme maksimum giriş değerleri uygulandığından dolayı alıcının çektiği 1550W'lık gücün 1170 W'ı rüzgar-güneş hibrit güç üretim sisteminden arda kalan 380W'lık güç miktarı ise batarya gurubundan sağlanmaktadır. Simülasyon eğrilerine bakıldığında alıcıya yine kesintisiz ve düzgün bir besleme gerilimi sağlanmaktadır. Akım eğrisine bakıldığında alıcının çektiği 65 A'lik akımın 25 A'ı rüzgar güç üretim sisteminden 23.5 A'lik kısmı güneş güç üretim sisteminden arda kalan 16'A'lik akım miktarı ise batarya gurubundan sağlanmaktadır. Güç eğrilerinden anlaşılacağı üzere alıcı batarya desteklemeli olarak hibrit güç üretim sisteminden beslenmektedir. Alıcının çektiği gücün 570 W'ı güneş güç üretim sisteminden, 600 W'ı rüzgar güç üretim sisteminden arda kalan 380 W'lık güç miktarı da batarya gurubundan sağlanmaktadır.



Şekil 4.1.4 Hibrit güç üretim sisteminin rüzgar hızı 9m/s ve radyasyon düzeyi 950 iken, 1550 W'lık tüketici gücü ile yüklenmesi durumundaki akım, gerilim ve güç eğrileri

Dördüncü yükleme durumunda ise üçüncü yükleme durumundaki alıcı sabit tutularak sistemin rüzgar hızı 9 m/s ye, güneş radyasyon düzeyi ise 950'ye düşürülerek sistemin tepkisine bakılmıştır. Rüzgar hızı düştüğünden dolayı doğru orantılı olarak rüzgar güç üretim sisteminin, radyasyon düzeyinin düşmesinden dolayı ise güneş güç üretim sisteminin üretim güçleri düşmelidir. Bu durum karşısında üretilen toplam güç 1170 W'ın altına düşecektir. Üretim seviyesinin düşmesinden dolayı alıcının ihtiyaç duyduğu gücün karşılanması için batarya gurubu üçüncü yükleme durumundakinden daha fazla güç vermelidir. Desteklemenin yapılabilmesi için alıcının çektiği gücün batarya desteklemeli rüzgar-güneş güç üretim sisteminin o andaki toplam gücünden küçük olması gerekliliği unutulmalıdır. Bu yükleme durumunda da alıcının gücü batarya desteklemeli rüzgar-güneş güç üretim sisteminin toplam gücünden küçüktür. Böylece alıcı batarya desteklemeli olarak hibrit güç üretim sisteminden beslenebilecektir. Fakat batarya gurubu üçüncü yükleme durumundakinden daha fazla güç beslemesi yapılmalıdır.

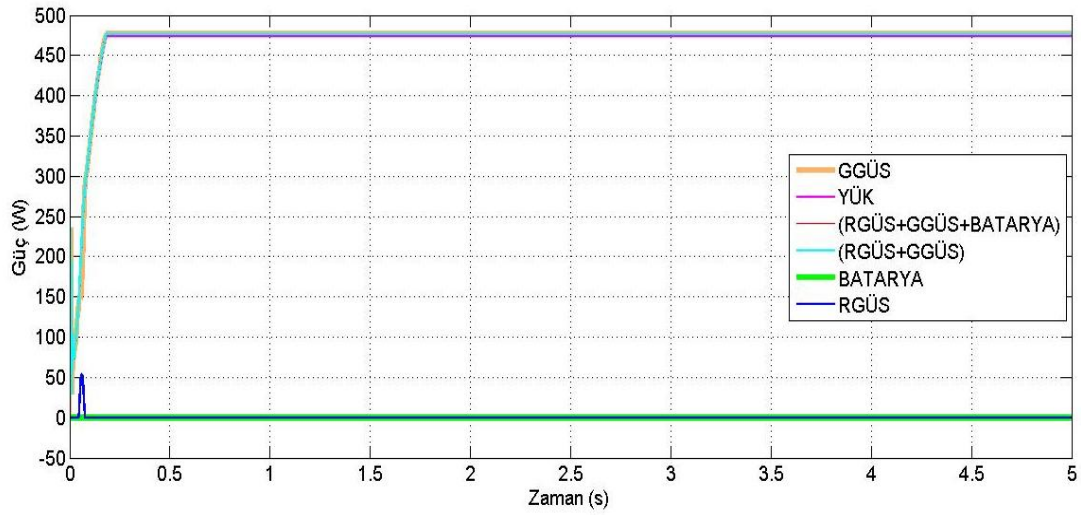
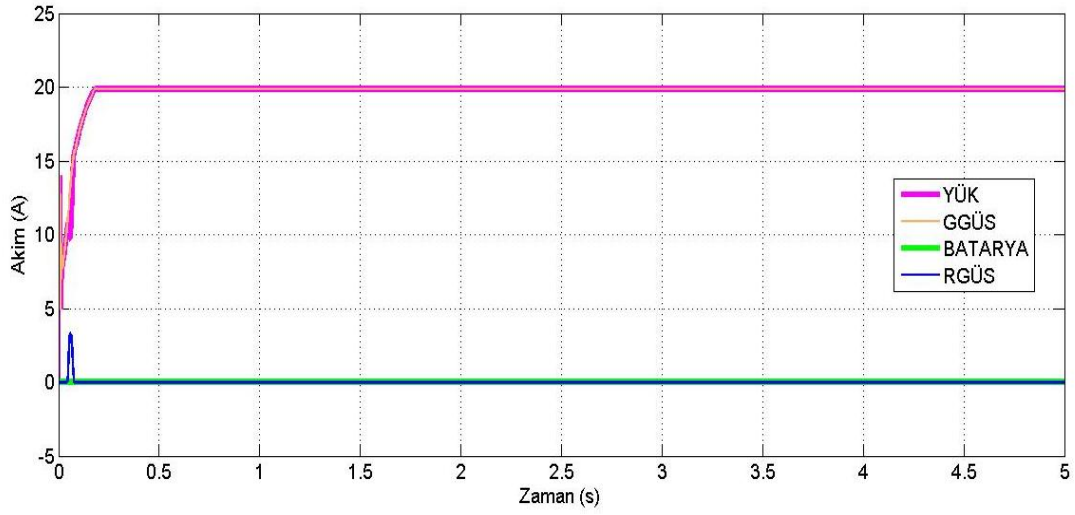
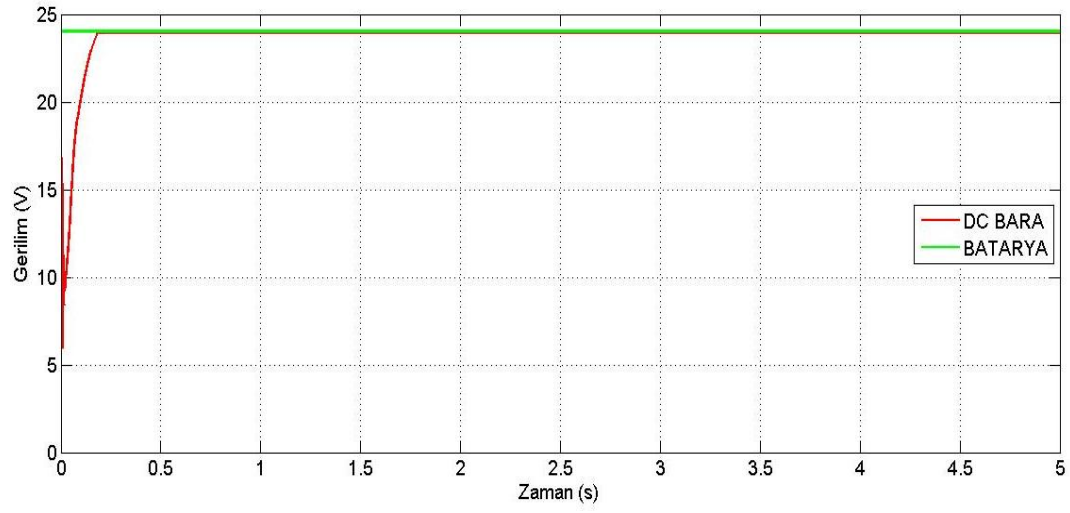
Şekil 4.1.4'deki simülasyon sonuçlarına bakıldığında çekilen gücün toplam üretilen güçten büyük olması nedeni ile batarya desteklemesine ihtiyaç duyulmaktadır. Nitekim tüketim fazlası güç batarya gurubundan karşılanabileceği için hibrit şarj kontrolörü batarya gurubunu devre almaktadır. Rüzgar hızının 9 m/s'ye düşmesinden dolayı rüzgar güç üretim sisteminin üretim gücü 415 W'a, radyasyon seviyesinin 950'ye düşmesinden dolayı ise güneş güç üretim sisteminin üretim gücü 495 W'a düşmektedir. Alıcının çektiği 1550W'lık gücün 910 W'ı rüzgar-güneş hibrit güç üretim sisteminden karşılanabilmektedir. Üçüncü yükleme durumundan daha az hibrit güç üretimi olduğundan batarya gurubu daha fazla güç beslemesi yapmaktadır. Simülasyon eğrilerine bakıldığında alıcıya yine kesintisiz ve düzgün bir besleme gerilimi sağlanmaktadır. Akım eğrisine bakıldığında alıcının çektiği 65 A'lik akımın 21 A'ı rüzgar güç üretim sisteminden, 17A'lık kısmı güneş güç üretim sisteminden arda kalan 27'A'lık akım miktarı ise batarya gurubundan sağlanmaktadır. Güç eğrilerinden anlaşılabileceği üzere alıcı batarya desteklemeli olarak hibrit güç üretim sisteminden beslenmektedir. Alıcının çektiği gücün 415 W'ı güneş güç üretim sisteminden, 495 W'ı rüzgar güç üretim sisteminden arda kalan 640 W'lık güç miktarı da batarya gurubundan sağlanmaktadır.

4.2 Bulanık Mantık Kontrolör (Fuzzy Logic Control) ile Enerji Akış Kontrolü

Tablo 4.2.1 ‘den anlaşılacağı üzere rüzgar-güneş hibrit güç üretim sistemine farklı giriş değerleri uygulanarak güç üretimi değerleri değiştirilmektedir. Batarya gurubunun şarjlılık durumu değiştirilip farklı güçlerde alıcılar bağlanarak hibrit güç üretim sistemine ait elektriksel büyüklüklerin (akım, gerilim ve güç) dinamik davranışı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.2.1 Bulanık mantık kontrolörlü sistem yükleme parametreleri

Yükleme Durumu	Rüzgar Güç Üretim		Güneş Güç Üretim		Batarya Grubu	Yük
	Rüzgar Hızı (m/s)	Kanat Açısı (deg)	Akım (A)	Radyasyon	SOC (%)	Güç (W)
1.Yükleme durumu	12	0	5.12	1000	95	480
2.Yükleme durumu	12	0	5.12	1000	70	480
3. Yükleme durumu	12	0	5.12	1000	95	890
4.Yükleme durumu	12	0	5.12	1000	70	890
5. Yükleme durumu	12	0	5.12	1000	95	1650
6. Yükleme durumu	9	0	5.12	950	95	1650

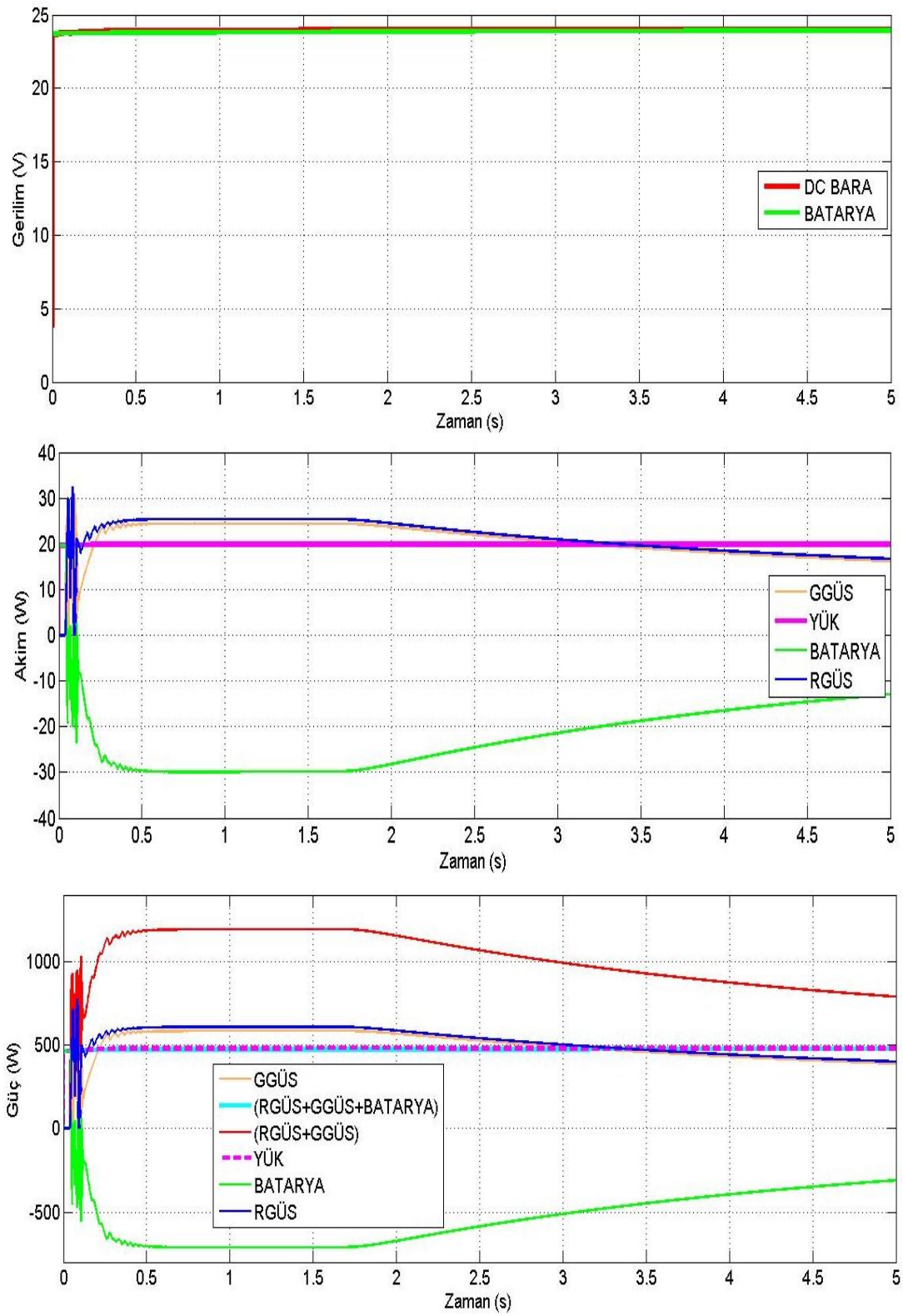


Şekil 4.2.1 Bulanık mantık kontrollü batarya desteklemeli rüzgar–güneş hibrit güç üretim sisteminin 480W’lık tüketici gücü ile yüklenmesi durumundaki akım, gerilim ve güç eğrileri

Birinci yükleme durumunda sisteme maksimum üretim için maksimum giriş değerleri uygulanmıştır. Batarya gurubunun da tam şarjlı olduğu kabul edilerek sisteme 480 W gücünde alıcı bağlanmıştır. Sistemin maksimum üretim gücü 1170 W olduğundan yükleme durumunda çekilen güç toplam üretilen güçten küçüktür. Ayrıca tüketim gücü, üretim ünitelerinin (rüzgar-güneş) bireysel üretim güç kapasitelerinden de küçüktür. Bu yüzden tüketicinin ihtiyaç duyduğu gücü, daha düşük güçlü üretim sistemi de karşılayabileceği için tek başına beslemelidir. Yani üretim sisteminin düşük üretim gücüne sahip olan güneş güç üretim sistemi alıcıyı tek başına beslemelidir.

Küçük güçlü hibrit güç üretim sistemlerinde genel olarak üretilen güç direkt olarak batarya gurubuna gönderilmekte ve alıcı batarya gurubu üzerinden beslenmektedir. Fakat bu durumda bataryanın aşırı şarj olma riski artmaktadır. İdeal bir sistemde alıcının ihtiyaç duyduğu güç direkt olarak alıcıya gönderilerek beslemesi sağlanmalı ve de üretim fazlası güç var ise bataryanın doluluk oranına göre bataryaya güç depolaması yapılmalıdır. Yukarıdaki durumlar düşünülerek bulanık mantık kontrolör tasarımı yapılmıştır.

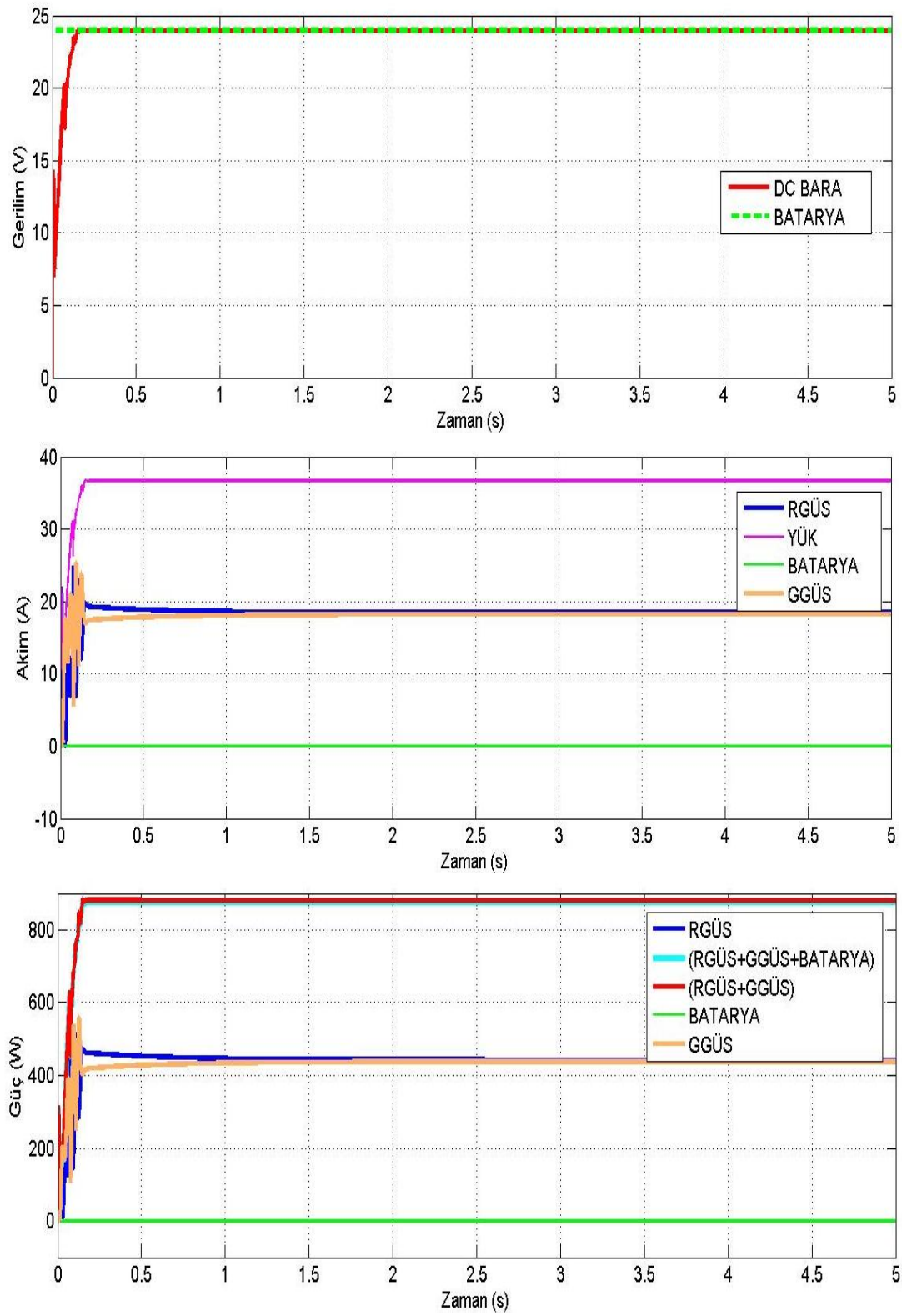
Sistemdeki en düşük güçlü üretim ünitesi olan güneş güç üretim sisteminin alıcıyı besleyebilecek olması ve de batarya gurubunun tam şarjlı olup üretim fazlası gücün depolanamayacağı nedeni ile hibrit şarj kontrolörü rüzgar güç üretim sistemini ve batarya gurubunu devre dışı bırakmaktadır. Nitekim Şekil 4.2.1'deki simülasyon sonuçlarından anlaşılacağı üzere gerilim eğrisine bakıldığında alıcıya kesintisiz ve düzgün bir besleme gerilimi sağlanmaktadır. Akım ve güç eğrisinden anlaşılacağı üzere alıcıyı güneş güç üretim sistemi tek başına beslemektedir.



Şekil 4.2.2 Bulanık mantık kontrollü % 70 şarjlı batarya desteklemeli rüzgar–güneş hibrit güç üretim sisteminin 480W’lık tüketici gücü ile yüklenmesi durumundaki akım, gerilim ve güç eğrileri

İkinci yükleme durumunda sisteme yine maksimum giriş değerleri uygulanmıştır. Batarya gurubunun % 70 şarjlı olduğu kabul edilerek sisteme 480 W gücünde alıcı bağlanmıştır. Sistemin maksimum üretim gücü 1170 W olduğundan yükleme durumunda çekilen güç toplam üretilen güçten küçüktür. Ayrıca tüketim gücü, üretim ünitelerinin (rüzgar-güneş) bireysel üretim güç kapasitelerinden de küçüktür. Bu yüzden tüketicinin ihtiyaç duyduğu gücü, daha düşük güçlü üretim sistemi de karşılayabileceği için tek başına beslemelidir. Birinci yükleme durumundan farklı olarak batarya gurubu tam şarjlı olmadığından dolayı tüketim fazlası güç depolanmalıdır. Bu yüzden akım sınırlaması yapılmayıp maksimum üretim sağlanmalı ve güç depolama işlemi aynı anda yapılmalıdır. İdeal bir sistemde alıcının ihtiyaç duyduğu güç direkt olarak alıcıya gönderilerek beslemesi sağlanmalı ve de tüketim fazlası güç var ise bataryanın doluluk oranına göre bataryaya güç depolaması yapılmalıdır. Yukarıdaki durumlar düşünülerek bulanık mantık kontrolör tasarımı yapılmıştır.

Çekilen gücün toplam üretilen güçten küçük ve batarya gurubunun % 70 şarjlı olmasından dolayı tüketim fazlası güç batarya gurubuna depolanabileceği için hibrit şarj kontrolörü batarya gurubunu devreye almaktadır. Şekil 4.2.2'deki simülasyon sonuçlarından anlaşılabileceği üzere hibrit güç üretim sisteminde üretilen 1170W'lık gücün 480 W'ı alıcıya kesintisiz gönderilmekte tüketim fazlası olan 690 W 'lık güç ise bataryaya gönderilerek güç depolaması yapılmaktadır. Bu depolama işlemi ise hibrit şarj kontrolünün dc çıkış gerilimini arttırarak batarya gurubunu şarj konumuna geçirmesi ile yapılmaktadır. Gerilim eğrisine bakıldığında alıcıya kesintisiz ve düzgün bir besleme gerilimi sağlanmaktadır. Dc çıkış gerilimi arttırılmakta fakat alıcı besleme geriliminin sabit kalmasının nedeni ise çıkış geriliminin dc-dc konverter ile besleme gerilimine ayarlanmasıdır. Eğer ki alıcı direkt olarak batarya gurubu üzerinden beslenmiş olsaydı dc çıkış gerilimi arttığandan dolayı alıcı fazla gerilime maruz kalacaktı. Ek konverter kullanılarak bu sakıncalı durum önüne geçilmiştir. Akım ve güç eğrisinden anlaşılabileceği üzere batarya şarj oldukça gönderilen güç akım kontrolü yapılarak gittikçe azalmaktadır. Bu durum ta ki batarya tam şarj konumuna gelene kadar devam edecektir. Batarya gurubu dolduğu anda hibrit şarj kontrolü tarafından devre dışı bırakılacak olup dc çıkış gerilimi de tekrar eski haline getirilecektir.

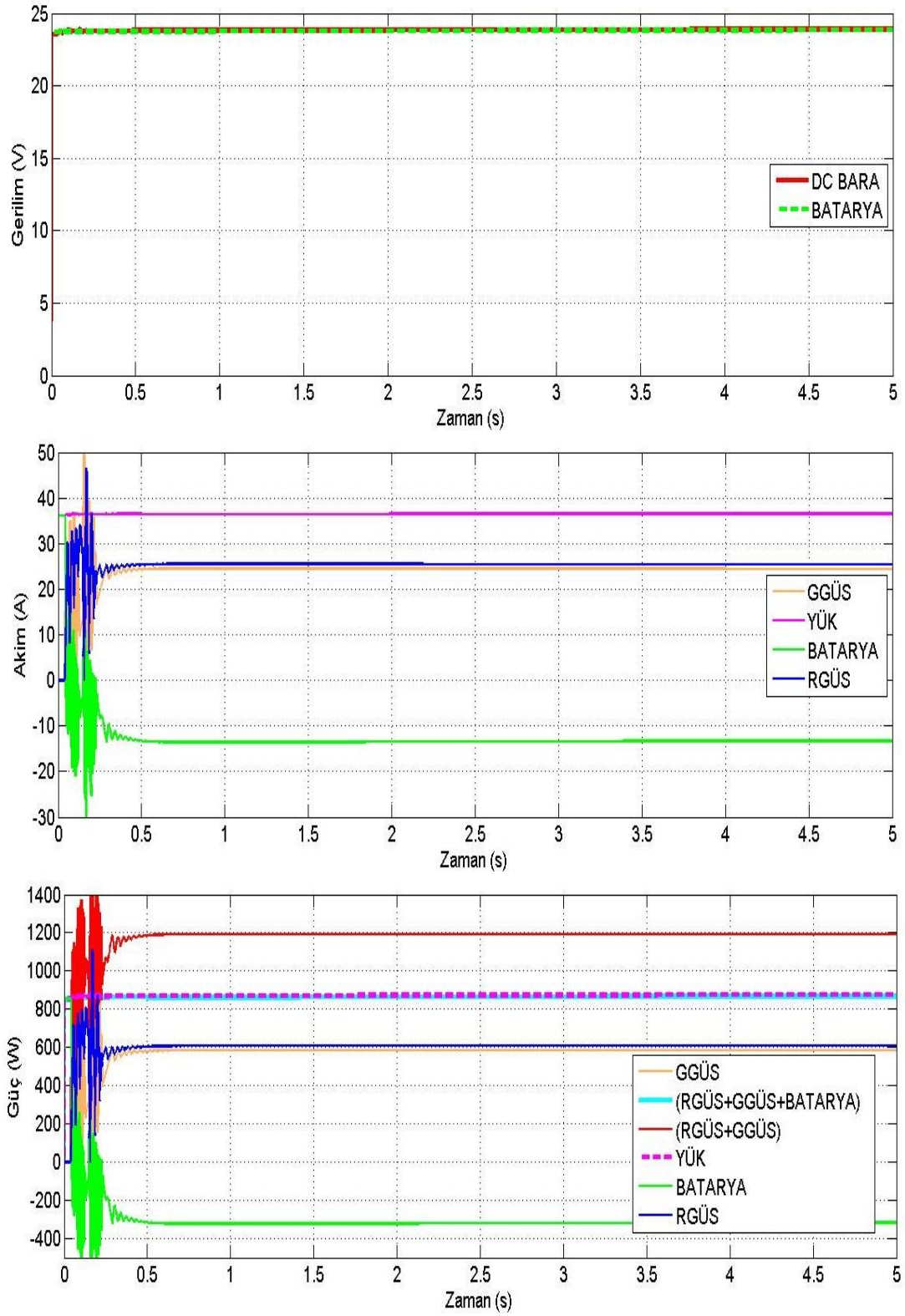


Şekil 4.2.3 Bulanık Mantık kontrollü tam şarjlı batarya desteklemeli rüzgar–güneş hibrit güç üretim sisteminin 890W’lık tüketici gücü ile yüklenmesi durumundaki akım, gerilim ve güç eğrileri

Üçüncü yükleme durumunda da sisteme maksimum üretim için maksimum giriş değerleri uygulanmıştır. Batarya gurubunun yine tam şarjlı olduğu kabul edilerek sisteme biraz daha büyük güçlü 890 W gücünde alıcı bağlanmıştır. Sistemin maksimum üretim gücü 1170 W olduğundan bu yükleme durumunda da çekilen güç toplam üretilen güçten küçüktür. Fakat bu yükleme durumunda çekilen güç, üretim ünitelerinin (rüzgar-güneş) bireysel üretim güç kapasitelerinden büyüktür. Bu nedenle tüketicinin ihtiyaç duyduğu güç gereksinimi rüzgar-güneş hibrit güç üretim ünitesinin birlikte çalışması ile karşılanmalıdır. Batarya gurubunun tam şarjlı olması nedeni ile üretim fazlası gücün depolanamayacağı için batarya gurubu devre dışı bırakılmalıdır. Akım kontrolü yapılarak üretim ünitelerinin güç değerleri kontrol edilmelidir.

Şekil 4.2.3'deki simülasyon sonuçlarına bakıldığında çekilen gücün toplam üretilen güçten küçük olması nedeni ile batarya desteklemesine gerek olmayacağından ve de batarya gurubunun tam şarjlı olup üretim fazlası gücün depolanamayacağından dolayı hibrit şarj kontrolörü batarya gurubunu devre dışı bırakmaktadır. Sisteme maksimum giriş değerleri uygulandığından dolayı 1170 W'lık bir üretim gerçekleştirilebilecektir. Ama akım kontrolü yapılarak üretim fazlası güç oluşturmamak için ünitelerinin güç çıkışları ayarlanmaktadır.

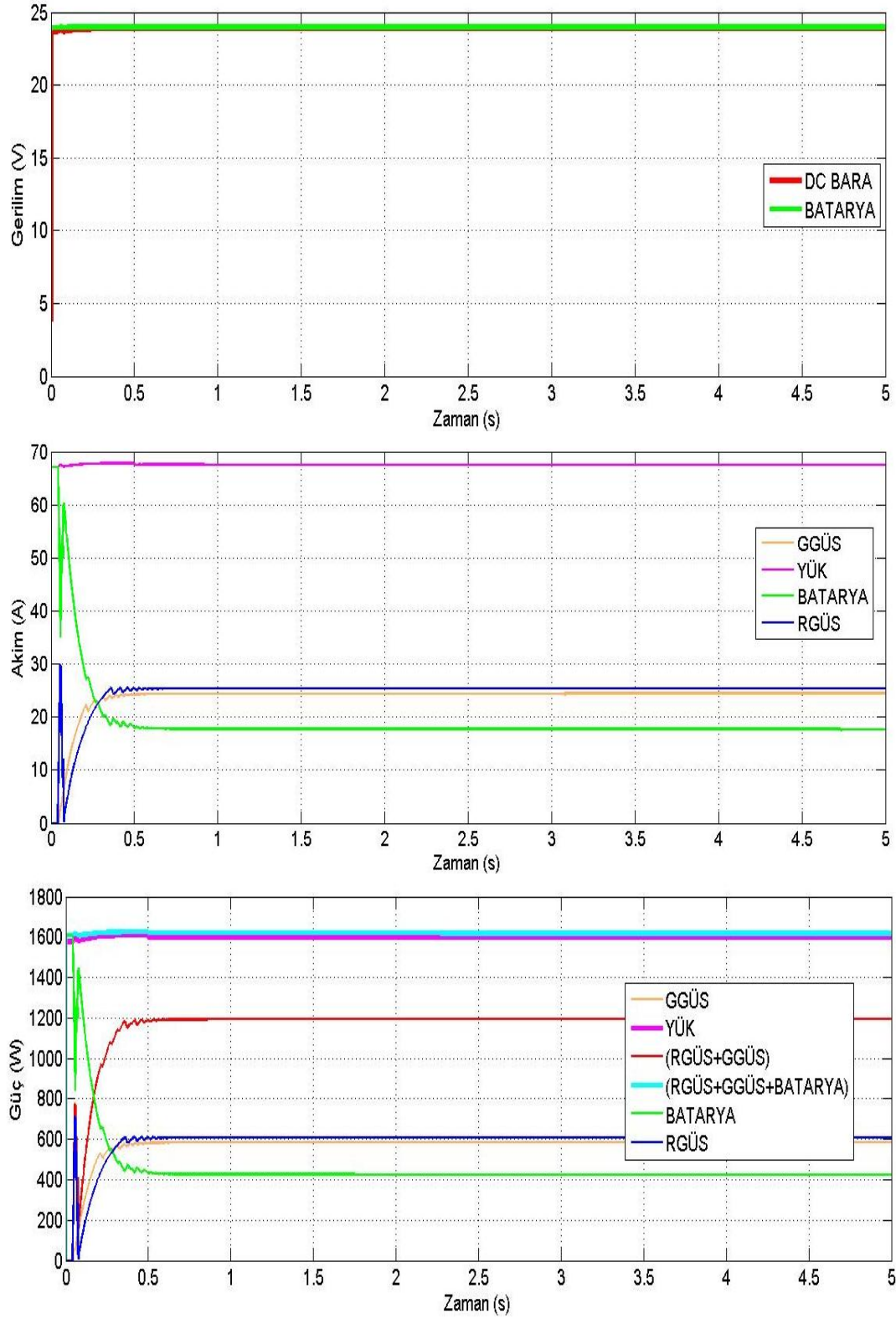
Simülasyon eğrilerine bakıldığında alıcıya kesintisiz ve düzgün bir besleme gerilimi sağlanmaktadır. Akım eğrisine bakıldığında alıcının çektiği 37 A'lık akımın 19 A'ı rüzgar güç üretim sisteminden, 18 A'lık kısmı ise güneş güç üretim sağlanmaktadır. Güç eğrilerinden anlaşılabileceği üzere alıcı hibrit güç üretim sisteminden beslenmektedir. Alıcının çektiği 890 W'lık gücün 450 W'ı rüzgar güç üretim sisteminden, 440 W'ı ise güneş güç üretim sisteminden sağlanmaktadır.



Şekil 4.2.4 Bulanık mantık kontrollü % 70 şarjlı batarya desteklemeli rüzgar–güneş hibrit güç üretim sisteminin 890W’lık tüketici gücü ile yüklenmesindeki akım, gerilim ve güç eğrileri

Dördüncü yükleme durumunda sisteme üçüncü yükleme durumundaki giriş değerleri uygulanmıştır. Sadece batarya gurubunu doluluk oranı % 70 'e düşürülmüştür. Sistemin maksimum üretim gücü 1170 W olduğundan yükleme durumunda çekilen güç toplam üretilen güçten küçüktür. Bu yükleme durumunda da sistemin maksimum üretim gücü 1170 W olduğundan çekilen güç toplam üretilen güçten küçüktür. Fakat üretim ünitelerinin (rüzgar-güneş) bireysel üretim güç kapasitelerinden büyüktür. Bu nedenle tüketicinin ihtiyaç duyduğu güç gereksinimi rüzgar-güneş hibrit güç üretim ünitesinin birlikte çalışması ile karşılanmalıdır. Üçüncü yükleme durumundan farklı olarak batarya gurubu tam şarjlı olmadığından dolayı tüketim fazlası güç depolanmalıdır. Bu yüzden akım sınırlaması yapılmayıp maksimum üretim sağlanmalı ve güç depolama işlemi aynı anda yapılmalıdır. Bu yükleme durumunda çekilen gücün ikinci yükleme durumundakinden fazla olmasından dolayı batarya gurubuna gönderilen güç azalmalıdır. Yukarıdaki durumlar da düşünülerek bulanık mantık kontrolör tasarımı yapılmıştır.

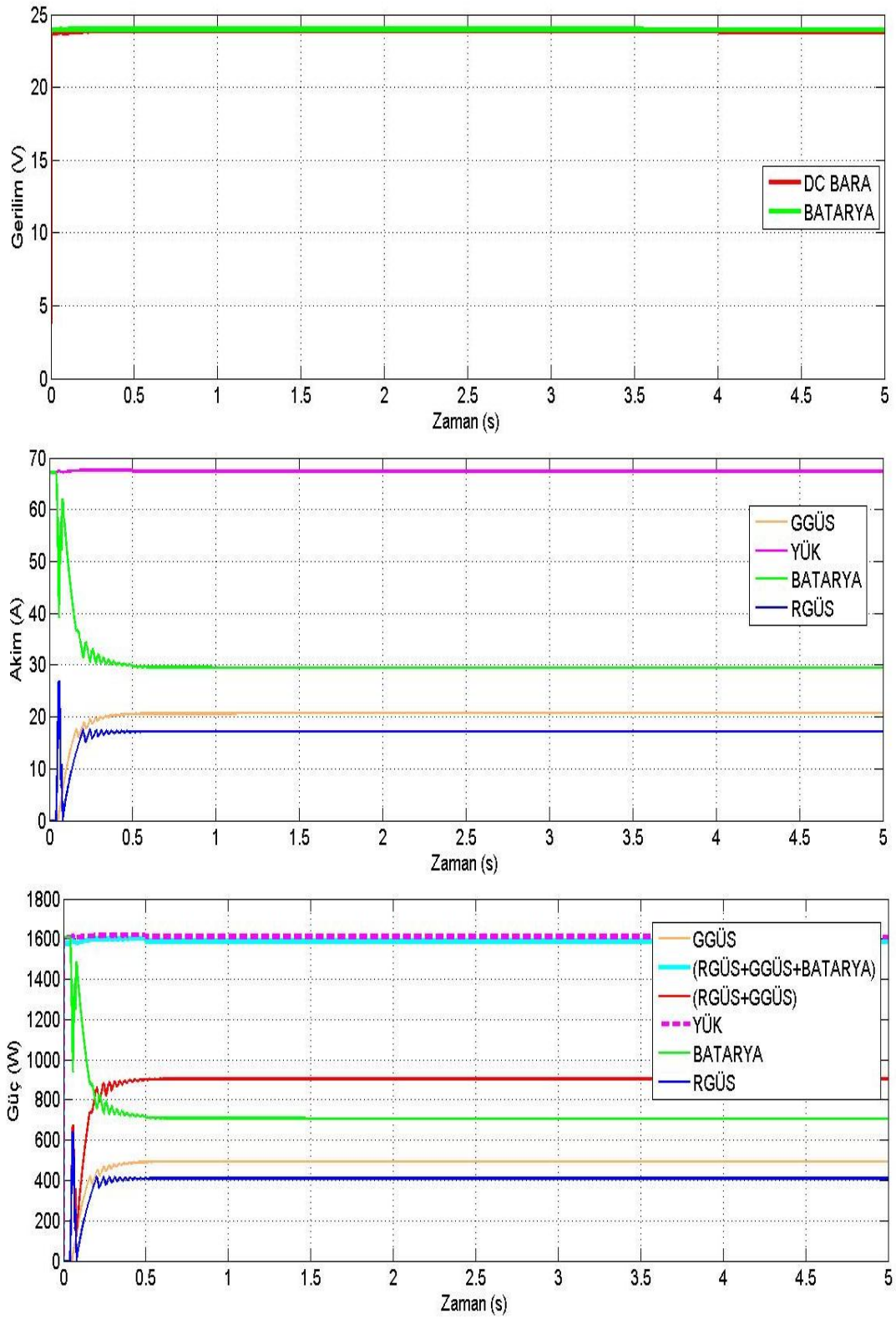
Çekilen gücün toplam üretilen güçten küçük ve batarya gurubunun % 70 şarjlı olmasından dolayı tüketim fazlası güç batarya gurubuna depolanabileceği için hibrit şarj kontrolörü batarya gurubunu devreye almaktadır. Şekil 4.2.4'deki simülasyon sonuçlarından anlaşılabileceği üzere hibrit güç üretim sisteminde üretilen 1170W'lık gücün 890 W'ı alıcıya kesintisiz gönderilmekte, tüketim fazlası olan 280 W'lık güç ise bataryaya gönderilerek güç depolaması yapılmaktadır. Bu depolama işlemi ise hibrit şarj kontrolünün dc çıkış gerilimini arttırarak batarya gurubunu şarj konumuna geçirmesi ile yapılmaktadır. Gerilim eğrisine bakıldığında alıcıya yine kesintisiz ve düzgün bir besleme gerilimi sağlanmaktadır. Akım ve güç eğrisinden anlaşılabileceği üzere batarya şarj oldukça gönderilen gücün ikinci yükleme durumundaki gibi gittikçe azaldığı görülmemektedir. Çünkü batarya gurubuna az güç gönderildiğinden batarya gurubu yavaş şarj olmaktadır. Fakat batarya şarj oldukça tam şarj konumuna gelene kadar bu fark edilebilecektir. Batarya gurubu dolduğu anda hibrit şarj kontrolü tarafından devre dışı bırakılacak olup dc çıkış gerilimi de tekrar eski haline getirilecektir.



Şekil 4.2.5 Bulanık mantık kontrollü tam şarjlı batarya desteklemeli rüzgar–güneş hibrit güç üretim sisteminin 1650W’lık tüketici gücü ile yüklenmesi durumundaki akım, gerilim ve güç eğrileri

Beşinci yükleme durumunda da sisteme maksimum giriş değerleri uygulanmıştır. Batarya gurubunun yine tam şarjlı olduğu kabul edilerek sisteme 1650 W gücünde alıcı bağlanmıştır. Sistemin maksimum üretim gücü 1170 W olduğundan bu yükleme durumunda çekilen güç toplam üretilen güçten büyük olacağından rüzgar-güneş hibrit güç üretim sisteminin üretim gücü yetersiz kalacaktır. Bu durumda gerekli olan güç gereksinimi batarya gurubu üzerinden desteklenmelidir. Fakat şu durum unutulmamalıdır ki bu desteklemenin yapılabilmesi için alıcının çektiği gücün batarya desteklemeli rüzgar-güneş güç üretim sisteminin o andaki toplam gücünden küçük olması gerekmektedir. Aksi takdirde sistemin aşırı yüklenmesinden dolayı sistemden aşırı akım çekileceğinden sistem elemanları zarar görecektir. Yukarıdaki durumlar düşünülerek bulanık mantık kontrolör tasarımı yapılmıştır. Nitekim alıcının gücü batarya desteklemeli rüzgar-güneş güç üretim sisteminin o andaki toplam gücünden küçüktür. Böylece alıcı batarya desteklemeli olarak hibrit güç üretim sisteminden beslenebilecektir.

Şekil 4.2.5'deki simülasyon sonuçlarına bakıldığında çekilen gücün toplam üretilen güçten büyük olması nedeni ile batarya desteklemesine ihtiyaç duyulmaktadır. Nitekim tüketim fazlası güç batarya gurubundan karşılanabileceği için hibrit şarj kontrolörü batarya gurubunu devre almaktadır. Sisteme maksimum giriş değerleri uygulandığından dolayı alıcının çektiği 1650W'lık gücün 1170 W'ı rüzgar-güneş hibrit güç üretim sisteminden arda kalan 480W'lık güç miktarı ise batarya gurubundan sağlanmaktadır. Simülasyon eğrilerine bakıldığında alıcıya yine kesintisiz ve düzgün bir besleme gerilimi sağlanmaktadır. Akım eğrisine bakıldığında alıcının çektiği 69 A'lik akımın 25 A'ı rüzgar güç üretim sisteminden 23.5 A'lik kısmı güneş güç üretim sisteminden arda kalan 20.5'A'lik akım miktarı ise batarya gurubundan sağlanmaktadır. Güç eğrilerinden anlaşılacağı üzere alıcı batarya desteklemeli olarak hibrit güç üretim sisteminden beslenmektedir. Alıcının çektiği gücün 600 W'ı rüzgar güç üretim sisteminden, 570 W'ı güneş güç üretim sisteminden arda kalan 480 W'lık güç miktarı da batarya gurubundan sağlanmaktadır.



Şekil 4.2.6 Hibrit güç üretim sisteminin rüzgar hızı 9m/s ve radyasyon düzeyi 950 iken, 1650 W'lık tüketici gücü ile yüklenmesi durumundaki akım, gerilim ve güç eğrileri

Altıncı yükleme durumunda ise beşinci yükleme durumundaki alıcı sabit tutularak sistemin rüzgar hızı 9 m/s ye, güneş radyasyon düzeyi ise 950'ye düşürülerek sistemin tepkisine bakılmıştır. Rüzgar hızı düştüğünden dolayı doğru orantılı olarak rüzgar güç üretim sisteminin, radyasyon düzeyinin düşmesinden dolayı ise güneş güç üretim sisteminin üretim güçleri düşmelidir. Bu durum karşısında üretilen toplam güç 1170 W'ın altına düşecektir. Üretim seviyesinin düşmesinden dolayı alıcının ihtiyaç duyduğu gücün karşılanması için batarya gurubu beşinci yükleme durumundakinden daha fazla güç vermelidir. Desteklemenin yapılabilmesi için alıcının çektiği gücün batarya desteklemeli rüzgar-güneş güç üretim sisteminin o andaki toplam gücünden küçük olması gerekliliği unutulmalıdır. Bu yükleme durumunda da alıcının gücü batarya desteklemeli rüzgar-güneş hibrit güç üretim sisteminin toplam gücünden küçüktür. Böylece alıcı batarya desteklemeli olarak hibrit güç üretim sisteminden beslenebilecektir. Fakat batarya gurubu beşinci yükleme durumundakinden daha fazla güç beslemesi yapmalıdır.

Şekil 4.2.6'daki simülasyon sonuçlarına bakıldığında çekilen gücün toplam üretilen güçten büyük olması nedeni ile batarya desteklemesine ihtiyaç duyulmaktadır. Nitekim tüketim fazlası güç batarya gurubundan karşılanabileceği için hibrit şarj kontrolörü batarya gurubunu devre almaktadır. Rüzgar hızının 9 m/s'ye düşmesinden dolayı rüzgar güç üretim sisteminin üretim gücü 415 W'a, radyasyon seviyesinin 950'ye düşmesinden dolayı ise güneş güç üretim sisteminin üretim gücü 495 W'a düşmektedir. Alıcının çektiği 1550W'lık gücün 910 W'ı rüzgar-güneş hibrit güç üretim sisteminden karşılanabilmektedir. Beşinci yükleme durumundan daha az hibrit güç üretimi olduğundan batarya gurubu daha fazla güç beslemesi yapmaktadır. Simülasyon eğrilerine bakıldığında alıcıya yine kesintisiz ve düzgün bir besleme gerilimi sağlanmaktadır. Akım eğrisine bakıldığında alıcının çektiği 69 A'lik akımın 16 A'ı rüzgar güç üretim sisteminden 21 A'lik kısmı güneş güç üretim sisteminden arda kalan 32'A'lik akım miktarı ise batarya gurubundan sağlanmaktadır. Güç eğrilerinden anlaşılabileceği üzere alıcı batarya desteklemeli olarak hibrit güç üretim sisteminden beslenmektedir. Alıcının çektiği gücün 495 W'ı rüzgar güç üretim sisteminden, 415 W'ı güneş güç üretim sisteminden arda kalan 740 W'lık güç miktarı da batarya gurubundan sağlanmaktadır.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Türkiye’de ege bölgesi rüzgar ve güneş enerji potansiyeli bakımından oldukça avantajlı konumdadır. Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesinin bulunduğu Afyonkarahisar ili coğrafi olarak Ege Bölgesinde görülmesine karşılık yapılan incelemeler sonucunda iç Anadolu bölgesi iklim şartlarını yaşadığı görülmektedir. Bu yüzden rüzgar potansiyeli düşük, güneş potansiyeli çok yüksektir. Türkiye’de en az güneş enerjisi üretilebilecek aylar olan kış mevsiminde bile kurulumu yapılmış olan sistem, elektrik atölyelerin iç aydınlatma lambalarını 4 saat çalıştırabilmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması için öncelikle üniversitelerde ve toplumun diğer kesimlerinde yenilenebilir enerji kaynakları hakkında bilgi düzeyinin artırılması gerekmektedir. Kurulumu gerçekleştirilmiş olan batarya desteklemeli rüzgar-güneş hibrit güç üretim sistemi sayesinde, üniversite öğrencileri sistem elemanları ve sistem kurulumu hakkında bilgi sahibi olmuşlardır ve de bu sistemin Afyonkarahisar halkına tanıtılarak hibrit güç üretim sistemi ile elektrik üretimi hakkında bir fikir oluşması sağlanmıştır. Günümüzde halen elektrik kesintilerinden en az etkilenmek için küçük güçlü generator sistemlerinin kurulumu yapılmaktadır. Yapılan bu sistem sayesinde en azından elektrik kesintisi olduğunda iç aydınlatma ihtiyacının hibrit güç üretim sistemleri ile sağlanabileceği belirlenmiştir.

Gerçek sistemler üzerinde deneme yapmak hem sistem elemanları hem de insan hayatı için büyük riskler taşımaktadır. Bu yüzden kurulumu yapılan batarya desteklemeli rüzgar-güneş hibrit güç üretim sisteminin birebir modellemesi matlab programında yapılmıştır. Yapılan hibrit güç üretim sistemi modelleme çalışmasının simülasyon sonuçlarından elde edilen eğrilere bakıldığında kurulumu yapılan hibrit güç üretim sisteminin dinamik davranışına paralel olarak elektriksel ve mekaniksel büyüklüklerde çok büyük bir farklılığın olmadığı görülmüştür. Simülasyon çalışmasından alınan veriler incelendiğinde hibrit güç üretim sistemine ait üretim ve tüketim verilerinin de gerçeğe çok yakın olduğu kanıtına varılmıştır.

Küçük güçlü hibrit güç üretim sistemlerinde genel olarak üretilen güç direkt olarak batarya gurubuna gönderilmekte ve alıcılar batarya gurubu üzerinden beslenmektedir. Fakat bu durumda bataryanın aşırı şarj veya deşarj olma riskini artmakta ve de kullanım ömrünü azaltmaktadır. Ne yazık ki kurulumu yapılan gerçek zamanlı sistemdeki üretilen enerji direkt depolama ünitelerine gönderilmekte ve de alıcılar bunlar üzerinden beslenmektedir. Şu unutulmamalıdır ki bataryaların maliyeti sistem maliyetinde önemli bir yer tutmaktadır. Bir de sisteme aşırı yük bağlandığında batarya gurubunda oluşacak aşırı deşarjlılık ve aşırı akım çekilmesinden dolayı sistem elemanları zarar görebilir. İdeal bir sistemde alıcının ihtiyaç duyduğu güç direkt olarak alıcıya gönderilerek beslemesi sağlanmalı, üretim fazlası güç var ise bataryanın doluluk oranına göre bataryaya güç depolaması yapılmalıdır. Ayrıca sistem aşırı yük durumlarına karşı sigortalar ile birlikte ekstra bir koruma yöntemi ile korunması sistem için çok önemli bir avantajdır.

Yukarıdaki durumlar düşünülerek anahtarlama kontrolör ve bulanık mantık kontrolör tasarımı bu aksaklıkları giderecek yönde modelleme üzerinde yapılmıştır. Nitekim simülasyon sonuçları incelendiğinde enerji akış kontrolü için tasarlanmış olan kontrolörlerin çok iyi çalıştığı görülmektedir. Simülasyon sonuçlarından oluşabilecek aksaklıkların giderildiği kanıtına varılmıştır. Ayrıca sistemin aşırı yükleme durumlarına karşı koruması da yapılmaktadır. Batarya gurubu sistemin davranışına göre devreye girip çıkmaktadır. Böylece batarya kullanım ömrünün azalmasının önüne geçilmiştir. Bu da sistem bakım maliyetini düşürmektedir. Anahtarlama kontrolör çeşitli matematiksel işlemlerle oluşturulduğu için kontrolör tasarımı çok karmaşık yapıda olup tasarım için uzun süreye ihtiyaç duyulmaktadır. Bulanık mantık kontrolörde ise birkaç kural ile istenilen kontrol elde edilebilmektedir. Bu yüzden kullanım açısından anahtarlama kontrolöre göre daha elverişli olduğu saptanmıştır.

Yapılan tez çalışması sayesinde elektrik bölüm öğrencileri yenilenebilir enerji sistemleri ile elektrik üretimi, sistem kontrolü, üretilen enerjinin verimliliği vb. konular üzerinde gerçek zamanlı veya bilgisayar ortamında çalışmalar yapabileceklerdir. İleri ki zamanlarda enerji akış kontrolü için tasarlanmış kontrolörler gerçek zamanlı uygulama yapılarak sisteme eklenebilir. Ayrıca sistemin enerji akış kontrolü için yapay sinir ağı,

adaptif yapay sinir ağı-bulanık gibi kontrolörler yapılan modelleme üzerinde tasarlanarak sistem verimliliği artırılabilir. İki güç üretim sistemi ile kurulmuş olan sisteme daha başka güç üretim sistemleri eklenerek değişik yapıdaki hibrit sistemler oluşturulabilir. Diğer bir yapılabilecek gelişim ise sistem şebekeden bağımsız olduğundan dolayı sistemi şebeke ile bağlantılı hale geçirmek için şebeke paralel bağlama yöntemleri geliştirilebilir ya da yeni bağlama yöntemleri tasarlanabilir.

5.KAYNAKLAR

- Abraham A., (2001).Neuro-Fuzzy Systems: State-of-the-Art Modeling Techniques, Connectionist Models of Neurons, Learning Processes, and Artificial Intelligence. Springer-Verlag Germany, Jose Mira and Alberto Prieto (Eds.), Granada, Spain 269-276.
- Alexandre L.P. (2000)Modular supervisory controller for hybrid power systems. Risø National Laboratory, Roskilde.
- Altaş, İ. H. (1993).Control Strategies For Maximum Power Tracking And Energy Utilization Of A Stand-Alone Photovoltaic Energy System. Doktora Tezi, The University of New Brunswick, Faculty of Engineering, Department of Electrical Engineering, Fredericton, New Brunswick, Canada.
- Altaş, İ. H. ve Mengi, O. Ö. AA ve DA Yüklerini Besleyen FV/Akü Grubunun MATLAB/SIMULINK Ortamında Modellenmesi ve Simülasyonu. KTÜ Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Trabzon.
- Barsali, S. and Ceraolo, M. (2002). Dynamical Models of Lead-Acid Batteries. Implementation Issues, IEEE Transactions on Energy Conversion, **Vol. 17**, No. 1.
- Bedeloğlu, A ve Bozkurt, Y. (2010).Fotovoltaik Teknolojisi: Türkiye ve Dünyadaki Durumu, Genel Uygulama Alanları ve Fotovoltaik Tekstiller. Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, **4 (2)** 43-58.
- Bialasiewicz J.T., Muljadi, E., Drouilhet, S., Nix, G.(1998). Hybrid Power Systems With Diesel and Wind Turbine Generation. Proceedings of the American Control conference, Philadelphia.
- Bogdan, S.B. and Salameh, Z.M. (1996).Methodology for optimally sizing the combination of a battery bank and PV array in a wind/PV hybrid system. *IEEE Trans. on Energy Conversion*, **Vol. 11**, pp. 367-375.
- Borowy, B.S., Salameh, Z.M., (1994).Optimum photovoltaic array size for a hybrid wind/PV system. IEEE Transactions on Energy Conversion, **Vol. 9**, Issue 3, pp.482 – 488.

- Chee-Mun, C.(1998).Dynamic Simulation Of Electric Machinery Using Matlab / Simulink. Kitap, Prentice Hall PTR.
- Chen, G., Phem, T.T., Weus, J.(1995). Fuzzy Modeling of Control Systems. IEEE Trans. on Aerospace and Electronics Systems.
- Çetin, N.S.ve Başaran, K.(2010).Adnan Menderes Üniversitesi Yerleşkesinin Rüzgar Elektrik Potansiyelinin Belirlenmesi. VIII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, pp.167-174.
- Çınar, S.M.(2011). Mermer makinelerinde ileri seviye kontrol uygulamaları. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye.
- David Arap, C.C.(2004).Modelling, Simulation, and Performance Analysis of A Hybrid Power System for Mobile Medical Clinic. Kassel University Pres.
- Dubois, M. R., Polinder, H., Fereira, J. A., (2000). Comparison of Generator Topologies for Direct-drive Wind Turbines. in IEEE NordicWorkshop on Power and Industrial Electronics, IEEE, New York, pp. 22–26.
- Eduard, M., Butterfield, C. P.(2001).Pitch-Controlled Variable-Speed Wind Turbine Generation,” IEEE Transactions on Industry Applications ,**Vol. 37**, 240-246
- Eduard, M., Edward M.H. (2002).Power Quality Issues in a Hybrid Power System. IEEE Transactions on Industry Applications, **Vol.38**, No.3,255.
- Elhadidy, M.A. ,Shaahid, S.M. (2005).Decentralized/standalone hybrid Wind–Diesel power systems to meet residential loads of hot coastal regions. Energy Conversion and Management, **Vol. 46**, Issues 15- 16,Pages 2501-2513.
- El Ali, A. , Moubayed,N. and Outbib,R.(2007). Comparison between solar and wind energy in Lebanon. 9th International Conference on Electrical Power Quality and utilization, Barcelona – Spain.
- Engin M., (2002).Fotovoltaik-Rüzgar Hibrit Enerji Sistemlerinin İzmir Koşullarında Tasarımı ve Denenmesi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.
- Fidan, Ş.(2010). Değişken hızlı - değişken kanat açılı rüzgar türbinlerinin tork ve kanat açısı kontrolü. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye.

- Gabriele, S.H.(1998).Optimization of Hybrid Energy Systems Sizing and Operation Control.Ph.Thesis, University of Kassel, Germany.
- Gagliano, S., Neri,D. , Pitrone,N. , Savalli,N. and Tina, G.(2009).Low-cost solar Radiation Sensing Transducer for Photovoltaic Systems. WSEAS Transactions on Environment and Development, Issue 2, **Vol. 5**, pp, 119-125.
- Habib, M.A. , Said, S.A.M. ve El Hadidy, M.A. I. Al-Zaharna(1999).Optimization procedure of a hybrid photovoltaic wind energy system. Energy, **Vol.24** pp 919-929.
- Hans George Bayer, Christian Langer(1996).A method for the identification of configurations of pv/wind hybrid systems for the reliable supply of small loads. Solar Energy, **Vol 57** , pp 381-391,1996.
- Hansen, L.H., Madsen, P.H., Blaabjerg, F., Christensen, H.C., Lindhard, U., Eskildsen,K., (2001). Generators and Power Electronics Technology for Wind Turbines. Industrial Electronics Society, IECON '01. The 27th Annual Conference of the IEEE , **Vol. 3**, pp.2000 – 2005.
- Jianzhong, Z., Ming C., Zhe C., (2008). Optimal Design of Stator Interior Permanent Magnet Machine with Minimized Cogging Torque for Wind Power Application. Energy Conversion and Management, **Vol. 49**, Issue 8, pp. 2100- 2105.
- Lu, L.(2004).Investigation On Characteristics and Application of Hybrid Solar- Wind Power Generation Systems.The Hong Kong Polytechnic University.
- Macleod, R.G.(1999).Fuzzy Controller for A Hybrid Wind/Diesel System with Storage. Master of Applied Science, Electrical and Computer Engineering, Dalhousie University.
- Manwell, J.F., Rogers, A., Hayman, G., Avelar, C.T., McGowan, J.G.(1996). Draft theory manual for hybrid2: the hybrid system simulation model, for hybrid energy systems. NREL/TP-440-21182, Golden.
- Manwell, J.F., McGowan, J.G., Rogers, A.L.(2002).Wind Energy Explained – Theory,Design and Application. Kitap, John Wiley& Sons, 7.
- Marcelo, G. Molina, Luis E. Juanicó, (2010).Dynamic Modelling and Control Design of

- Advanced Photovoltaic Solar System for Distributed Generation Applications.
Journal of Electrical Engineering, Theory and Application ,**Vol.1/Iss.3**, Argentina.
- Mergen, A.F.,Zorlu, S.,(2005). Elektrik Makineleri II Asenkron Makineler. Birsen Yayınevi.
- Mergen, A.F.,Zorlu, S.,(2005) .Elektrik Makineleri III Senkron Makineler. Birsen Yayınevi.
- Moubayed, N., Kouta,J., El-Ali,A., Dernayka, H. and Outbib,R. (2008).Parameter identification of the lead-acid battery model. 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, Californie – USA.
- Morgan, T.R. ,Marshall R. H., Brinkworth, B.J. (1997). ‘ares’ a refined Simulation program for the sizing and Optimization of autonomous hybrid energy systems. Solar Energy **Vol.59**,No.6.
- Oğuz, Y. (2007). Hibrid güç üretim sisteminin modellenmesi, analizi ve neuro-fuzzy kontrolör kullanılarak sistem performansının iyileştirilmesi. Doktora Tezi , Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Onar, O.C. , Uzunoglu, M., Alam,M.S.(2006).Dynamic modeling, design and simulation of a wind/fuel cell/ultra-capacitor-based hybrid power generation system. Journal of Power Sources **161**, 707–722, Department of Electrical and Computer Engineering, University of South Alabama, Mobile, AL 36688, USA.
- Pan Z., Jin. Y. , Zhang, H., (2004). Study on Switched Reluctance Generator. Journal of Zhejiang University.
- Rajendra P.A. ve Natarajan E. (2006).Optimization of integrated photovoltaic–wind power generation systems with battery storage. Energy **31**,1943–1954.
- Rajib, D. Ranganathan, V.T.(2002).Variable Speed Wind Power Generation Using Doubly Fed Wound Rotor Induction Machine-A Comparison With Alternative Schemes.IEEE Transaction on Energy Conversion, **Vol.17**, No.3,414- 420.
- Rajveer Mittal, Sandu, K.S. ve Jain , D.K.(2010).Battery Energy Storage System for Variable Speed Driven PMSG for Wind Energy Conversion System. International Journal of Innovation, Management and Technology, **Vol. 1**, ISSN: 2010-0248.

- Siegfried, H.(1998). Grid Integration of Wind energy Conversion Systems. Kitap, John Wiley& Sons, 1-2.
- Sreedher, R.G.(2005).Modeling and Power Management of A Hybrid Wind-Microturbine Power Generation System.Master of Science in electrical engineering, Montana State University, Bozeman Montana.
- Slootweg, J.G.,(2003).Wind Power:Modeling and Impact On Power System Dynamics. Ph. Thesis, Dept. Elect. Eng., Delft University of Technology, Delft, Netherlands.
- Thiringer T. , Linders J.(2003). Control by variable rotor speed of a fixed-pitch wind turbine operating in speed range. Chalmers university of technology, Göteborg, Sweden
- Tony, B., David, S., Nick, J., Ervin B.(2001).Wind Energy Handbook. Kitap, John Wiley& Sons.
- Uyar, M., Gençoğlu, M.T., ve Yıldırım, S., (2005). Değişken Hızlı Rüzgar Türbinleri için Jeneratör Sistemleri. YEKSEM 2005, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Sh.173-178.
- Valenciaga, F., Puleston, P.F., Battaiotto, P.E.(2003).Power Control of a Solar/Wind Generation System Without Wind Measurement: A Passivity/Sliding Mode Approach. IEEE Transactions on Energy Conversion, **Vol.18**, no.4, pp. 501-507.
- Zheng, G.F.(1996).High Efficiency Thin-Film Silicon Solar Cell. Ph.D.Thesis, University of New South Wales, Sydney, Australia.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Emrah OGUZ
Doğum Yeri ve Tarihi : Çanakkale Merkez – 04.03.1986
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) :0542 405 85 27 / emrahoguz17@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Çanakkale Anadolu Meslek Lisesi 2001-2005

Lisans : 2005–2006 Dicle Üniversitesi Batman Teknik Eğitim
Fakültesi (Elektrik Öğretmenliği)
2006–2007 Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim
Fakültesi (yatay geçiş)
2008–2009 Syddansk University Odense/DANIMARKA
(Erasmus öğrencisi) (Electrical Power Engineering)
2009 Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi
elektrik öğretmenliği

Yüksek Lisans : A.K.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Ana Bilim Dalı
2009-2012

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :

- ✓ Bayat Çok Programlı Lisesi Elektrik Öğretmeni (ücretli öğretmen) / 2009-2010
- ✓ Bayat Yatılı ilköğretim Bölge Okulu Fen ve Teknoloji öğretmeni
(ücretli öğretmen) / 2012

Yayınları (SCI ve diğer) :

- Installation, Simulation and Power Flow Control of Isolated Wind-Solar Hybrid Power Generation System with Battery Storage in Afyonkarahisar
- Efficiency analysis of isolated wind-photovoltaic hybrid power system with battery storage for laboratory general illumination in Afyonkarahisar

EKLER

Rüzgar Türbini Parametreleri

Genel	
Model	EFS600 1.2-0.6
Tasarım ömrü	20 years
Komple türbin ağırlığı	6
Performans	
Ölçülen güç (W)	12 V 400W – 24V 600W 3 faz AC
Maksimum güç (W)	12 V 500W – 24V 750W
Ölçülen çalışma rüzgar hızı(m/s)	12
Devreye girme rüzgar hızı(m/s)	2.5
Çalışma rüzgar hızı	Max.25
Devreden çıkma rüzgar hızı	60
Hareket	
Dişli kutusu	Yok
Generator	Doğrudan,sabit mıknatıs
Rotor kanatları	3 – karbon fiber takviyeli plastik
Rotor kanat çapı (m)	1.2
Rotor hız kontrol	Mekanik yöntem
DC çıkış (Vdc)	12 /24
İnverter AC çıkış (Vac)	220
Hız	750

PMSG Elektriksel Parametreleri

Stator faz direnci $R_s(\text{ohm})$	0.12
İnduktanslar $[L_d (H) L_q(H)]$	8.5e-3
Mıknatıslardaki manyetik akı yoğunluğu (V.s)	0.055133
Voltaj sabiti ($V_{\text{peak}} L-L/\text{krpm}$)	36
Tork sabiti ($N.m/A\text{-peak}$)	0.3308
Atalet, sürtünme faktörü,çift kutup sayısı	[0.002 , 0.02 , 4]
$[J(\text{kg.m}^2) F(N.m.s) p()]$	
Başlangıç değerleri $[w_m(\text{rad/s}) \theta_{\text{tam}} (\text{deg})$ $i_a, i_b(A)]$	[100 ,0 ,0 ,0]

S190M Güneş Panel Parametreleri

Teknik

Nominal güç(W)	190 W
Hücre cinsi	Monokristal
Hücre sayısı	72(6x12)
Hücre verimi	18%
Modül ebatlar (mm)	1580X808X46mm
Yüzey yük kapasitesi – kar ve rüzgar	60m/s – 200km/m2
Ağırlık (kg)	16
Çıkış toleransı (%)	±5%
Çerçeve	alüminyum

Electriksel

Maksimum güç voltajı (V)	37.08
Maksimum güç akımı(A)	5.12
Açık devre voltajı (V)	44.48
Kısa devre akımı (A)	5.54
Maksimum sistem voltajı (V)	1000V
Sıcaklık katsayısı	Isc (%) α 0.03% / °C
Sıcaklık katsayısı	Voc (%) B – 2.2mV / °C
Sıcaklık katsayısı	Pm (%) Y -0.55 %/ °C
Sıcaklık katsayısı	Im (%) α 0.03% / °C
Sıcaklık katsayısı	Vm (%) B – 2.2mV / °C
Sıcaklık aralığı	-40 °C / + 85°C

Hibrit Şarj Kontrolör Parametreleri

Model	WWS06A-24
Anma batarya voltajı	24V
Anma türbin voltajı	28VDC
Anma türbin maksimum voltajı	600W
Giriş empedans aralığı	2-300Ω (3Ω)
Türbin maksimum giriş akımı	40A
Anma türbin maksimum giriş gücü	1200W
Türbin şarj voltajı (fabrika ayarı)	(4 V)
Boştaki voltaj (fabrika ayarı)	26-30V (28V)
Boştaki akım (fabrika ayarı)	0-20A (18A)
Türbin aşırı hızı (fabrika ayarı)	0-600 mp 10 dk içerisinde (500 rpm)
Anma PV maksimum gücü	600W
Anma PV maksimum voltajı	34 V
PV maksimum akımı	10A
Batarya aşırı deşarj koruma voltajı	20v-24V (22V)
Batarya aşırı deşarj toparlanma voltajı	22v-26V (24V)
Sıcaklık kompanzasyonu	-5mv/ ⁰ C/2V (Aşırı şarj koruma, aşırı deşarj voltaj kompanzasyonu)
Ekran modu	LCD
Ekran parametreleri	Batarya voltajı, türbin voltajı, PV voltajı, türbin akımı, PV akımı, turbine gücü, PV gücü, aşırı voltaj, düşük voltaj, aşırı yük, kısa devre etc.
Haberleşme arayüzü modülü	RS 232 C (RS485 seçilirse)
Çalışma sıcaklığı ve nem aralığı	-20 - +55 ⁰ C/ 35 – 85%RH
Quiescent current	15mA(100mA eğer arayüz RS485)