

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

**ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN
MODELLENMESİ VE ANALİZİ**

BATUHAN YAVUZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ELEKTRİK TESİSLERİ
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. ASLAN İNAN**

İSTANBUL, 2011

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

**ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN
MODELLENMESİ VE ANALİZİ**

BATUHAN YAVUZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ELEKTRİK TESİSLERİ
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. ASLAN İNAN**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN
MODELLENMESİ VE ANALİZİ

Batuhan YAVUZ tarafından hazırlanan tez çalışması 02.11.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Aslan İNAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Aslan İNAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Oktay ARIKAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Burhanettin ÇETİN

Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu çalışmada; şebekeden bağımsız, enerji ihtiyacını giderebilecek bir ev için rüzgar enerjisi ve şarj edilebilir bataryalar ile optimizasyon yapılmış ekonomik açıdan en uygun bataryanın bulunması amaçlanmıştır.

Enerji maliyetlerinin her geçen gün artması ve enerji kaynaklarında çeşitliliğin artık bir mecburiyet olduğu günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar enerjisinden ne kadar ve nasıl faydalanabileceğimiz ile ilgili araştırmalar yapılmıştır.

Yine enerji depolamanın çok büyük bir sorun olduğu günümüzde en kullanışlı bataryanın hangisi olduğu sorusuna cevap aranmıştır.

Bu tez süresince çalışmalarımızda yardımlarını, desteğini, sabrını ve bilgisini esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Aslan İNAN'a, yardımlarını bir an eksik etmeyen değerli hocam ve dostum Arş. Gör. Ahmet Yiğit ARABUL'a, yüksek lisans dönemimde bana çalışma izni ve olanağı sağlayan değerli iş arkadaşlarım ve amirlerime, her zaman yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

KASIM, 2011

BATUHAN YAVUZ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET.....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	3
BÖLÜM 2	
ENERJİ DEPOLAMA TEKNİKLERİ	4
2.1 Mekanik Enerji Depolama.....	4
2.1.1 Volan Depolama.....	4
2.1.2 Sıkıştırılmış Hava Enerji Depolama (CAES).....	5
2.1.3 Basınçlı Su Depolama	5
2.2 Manyetik Enerji Depolama	6
2.2.1 Süper İletken Manyetik Enerji Depolama	6
2.2.2 Süper Kapasitör Enerji Depolama.....	7
2.3 Termal Enerji Depolama	8
2.3.1 Güneş Termik Elektrik Depolama	8
2.3.1.1 Güneş Enerjisinin Üstünlükleri ve Eksiklikleri.....	10
2.3.1.2 Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyeli.....	11

2.4	Kimyasal Enerji Depolama	12
2.4.1	Batarya Depolama	12
2.5	Enerji Depolama Teknolojileri Karşılaştırması.....	12
BÖLÜM 3		
RÜZGAR ENERJİSİ VE RÜZGAR TÜRBİNLERİ.....		15
3.1	Rüzgar Enerjisinin Tanımı ve Özellikleri	15
3.2	Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi	18
3.3	Rüzgar Enerjisi ile İlgili Kuramsal Temeller	22
3.3.1	Frekans Historgamı ve Rüzgar Hızı Dağılımları	22
3.3.1.1	Weibull Dağılımı.....	22
3.3.1.2	Rayleigh Dağılımı	24
3.3.2	Rüzgar Hızının Yükseklikle Değişimi	24
3.3.3	Rüzgar Enerjisi Hız ve Güç Bağlantıları	25
3.3.4	Rüzgardan Güç Elde Edilmesi	26
3.3.5	Betz Limiti Yasası.....	27
3.4	Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması	30
3.4.1	Düşey Eksenli Rüzgar Türbinleri.....	31
3.4.2	Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri	33
3.4.3	Yükselen Hava Akımlı Rüzgar Türbinleri	36
3.5	Rüzgar Türbinlerinin Ekipmanları	39
3.5.1	Dişli Kutusu	39
3.5.2	Rotor (Pervane)	40
3.5.3	Anemometre	41
3.5.4	Otomatik Yönelme Düzeni	41
3.5.5	Frenleme Sistemi.....	42
3.5.6	Yaw (Saptırma) Mekanizması.....	43
3.5.7	Elektronik Kontrolcü.....	44
3.5.8	Soğutma Sistemi.....	44
3.5.9	Platform ve Kule	44
3.6	Rüzgar Türbinlerinin Bakımı, Güvenliği ve Çevreye Etkileri	45
3.6.1	Bakım	45
3.6.2	Güvenlik.....	45
3.6.3	Çevreye Etkileri	46
3.7	Rüzgar Jeneratörleri	47
3.7.1	DC Jeneratörler	49
3.7.2	Senkron Jeneratörler.....	49
3.7.3	Asenkron jeneratörler.....	50
BÖLÜM 4		
BATARYALAR		51
4.1	Enerji Depolama Sistemlerinin Tarihçesi.....	51
4.2	Bataryaların Genel Karakteristikleri ve Uygulamaları.....	56
4.3	Şarj Edilebilir Batarya Çeşitleri	57

4.3.1	Kurşun Asit Bataryalar.....	57
4.3.2	Nikel Kadmiyum Bataryalar	58
4.3.3	Nikel Demir.....	59
4.3.4	Nikel Metal Hidrit	59
4.3.5	Lityum Bataryalar	60
4.3.5.1	Lityum İyon Bataryalar	61
4.3.5.2	Lityum İyon Polimer Bataryalar	61
4.3.6	Vanadyum Redoks Bataryalar.....	62
4.3.7	Sodyum Sülfür Bataryalar	63
4.4	Batarya Analizi.....	64
BÖLÜM 5		
EKONOMİK ANALİZ.....		65
Bir Değere Getirilmiş Maliyetler Yöntemi		65
BÖLÜM 6		
SAYISAL UYGULAMA		68
6.1	Rüzgar Hız Analizi	68
6.2	Konut Yüğü Verileri.....	70
6.3	Batarya Simölasyonları	73
6.3.1	Türbin Gücü Senaryoları.....	74
6.3.2	Batarya Sayısına Göre Senaryolar	82
6.3.3	Batarya Gerilimine Göre Senaryolar.....	85
6.3.4	Batarya Kapasitesine Göre Senaryolar.....	88
6.3.5	Enerji İhtiyacının En Yüksek ve En Düşük Olduğı Aylar	91
6.3.6	Mevsimlere Göre Batarya Karşılaştırma.....	94
6.4	Ekonomik Analiz Sonuçları	99
BÖLÜM 7		
SONUÇLAR.....		101
KAYNAKLAR		104
EK-A		
MATLAB KODLARI.....		107
A-1	Yıllık hesap.....	107
A-2	Ekonomik Analiz Kodu	113
A-3	Weibull kodları	117
ÖZGEÇMİŞ		120

SİMGE LİSTESİ

α	Ölçek parametresi
β	Şekil parametresi
C_{bat}	Sıcaklığa göre oluşan batarya kapasitesi
C'_{bat}	Nominal batarya kapasitesi
C_m	Bakım maliyeti
C_{m0}	İlk bakım maliyeti
C_n	Nominal kapasite
C_p	Maksimum güç faktörü
CRF	Amortisman faktörü
d	İskonto oranı
d_i	Faiz oranı
E_k	Kinetik Enerji
E_{tot}	Toplam enerji
g	Enflasyon oranı
g	Yerçekimi
H	Rüzgar hızının hesaplanacağı yükseklik
H_0	Rüzgar hızının ölçüldüğü yükseklik
I	Atalet momenti
I_{bat}	Batarya akımı
I_c	Başlangıç maliyeti
J	Enerji
m	Kütle
n	Pürüzlülük katsayısı
n	Yavaşlatma faktörü
n_{bat}	Batarya şarj ve deşarj verimi
n_{dog}	Doğrultucu verimi
n_{evi}	Evirici verimi
N_r	Batarya sayısı
P	Güç
P_a	Basınç
P_o	Deniz seviyesindeki hava basıncı
P_0	Rotordan açığa çıkartılan mekanik güç
$P_{rüzgar}$	Saatlik rüzgar gücü
$P_{yük}$	Evin saatlik yükü
R	Havanın özgül gaz sabiti
R_c	Değiştirecek parçaların maliyeti
ρ	Havanın yoğunluğu
δ_c	Sıcaklık bileşeni

σ	Batarya özgül kaybı
S	Alan
SOC	Son andaki batarya şarj durumu
SOC_0	İlk andaki batarya şarj durumu
T	Sıcaklık
t	Zaman
T_p	Proje süresi
t_i	Çalışma süresi
t_0	Başlangıç anı
T_{bat}	Saatlik batarya sıcaklığı
T_i	Batarya ömrü
u	Rüzgar hızı
U_c	Batarya birim maliyeti
v	Hacim
V	Rotor kanatları çıkışındaki rüzgar hızı
V_i	Bulunmak istenen rüzgar hızı
V_o	Ölçülen rüzgar hızı
V_0	Rotor kanatları girişindeki rüzgar hızı
V_{bat}	Batarya gerilimi
ω	Açısal hız
z	Deniz seviyesinden yükseklik

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternative Current
CAES	Compressed Air Energy Storage
DC	Direct Current
DG	Distributed Generation
DOD	Depth of Discharge
EPR	Equal Parallel Resistance
ESR	Equal Serial Resistance
GRP	Glassfibre Reinforced Plastics
LCE	Levelized Cost of Energy
ORB	Organik Radikal Batarya
PLI	Polimer Lithium Ion
PV	Photovoltaic
PVC	Present Value of Cell
RAM	Rechargeable Alkaline Mangan
SCE	Southern California Edison
SMES	Super Magnetic Energy Storage
YHART	Yükselen Hava Akımlı Rüzgar Türbini

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Volan depolama açık hali [7].....	4
Şekil 2.2 CAES sistemi [8]	5
Şekil 2.3 Basıncılı su depolama şeması [9]	6
Şekil 2.4 Çin’de üretilmiş 1.0 F’lık bir süper kapasitör [10]	7
Şekil 2.5 Termal düzlemsel kollektör [12]	9
Şekil 2.6 Parabolik oluk tipi kollektörler [13]	9
Şekil 2.7 Isı kolektörünün nasıl çalıştığını gösteren bir model [14]	10
Şekil 2.8 Türkiye güneş enerji haritası [17].....	11
Şekil 3.1 Yatay eksen tipli yel değirmeni [20]	18
Şekil 3.2 Datça’da bir yel değirmeni [21].....	18
Şekil 3.3 Bodrum’da bir yel değirmeni [22].....	19
Şekil 3.4 Amsterdam’da bir yel değirmeni resmi [23]	19
Şekil 3.5 Bir modern rüzgar enerjisi su pompalama sistemi resmi [19].....	20
Şekil 3.6 Belidor tarafından tasarlanan pervane tipi rüzgar türbini [19]	20
Şekil 3.7 Putnam rüzgar türbini [24]	21
Şekil 3.8 Frekans histogramı ve weibull dağılımı [19].....	23
Şekil 3.9 Rüzgar enerjisinin türbine giriş ve çıkış hızları [19]	28
Şekil 3.10 $C_p - V_0/V$ değişimi [19]	28
Şekil 3.11 Betz limitinin şematik açıklaması.....	29
Şekil 3.12 Yatay ve düşey eksenli rüzgar türbinleri [19]	31
Şekil 3.13 Dikey eksenli bir rüzgar türbini [25]	33
Şekil 3.14 Düşey eksenli düz tip bir darrieus rüzgar türbini [25].....	33
Şekil 3.15 Savonius tipi bir rüzgar türbini [26]	33
Şekil 3.16 Çok kanatlı bir rüzgar türbini [27].....	35
Şekil 3.17 Açık denizde elektrik üreten üç kanatlı rüzgar türbinleri [28]	36
Şekil 3.18 Yükselen hava akımlı rüzgar türbininin çalışma prensibi [19].....	36
Şekil 3.19 Şematik bir YHART bacası ve cam toplayıcılar [19].....	37
Şekil 3.20 İspanya’da kurulmuş olan YHART [19]	37
Şekil 3.21 Bir rüzgar türbini üzerindeki ekipmanlar ve konumları [19]	39
Şekil 3.22 Dişli kutusu [19]	40
Şekil 3.23 Bir rüzgar türbininin düşük hız şaftı ve dişli kutusu [19].....	40
Şekil 3.24 Bir rüzgar türbininin yüksek hız şaftı ve dişli kutusu [19].....	40
Şekil 3.25 Rotor (Pervane) [29]	41
Şekil 3.26 Anemometre [30].....	41

Şekil 3.27 Klasik yön düzeltme düzeni [19].....	42
Şekil 3.28 Aerodinamik fren sistemi [19].....	42
Şekil 3.29 Mekanik frenleme sistemi [19].....	43
Şekil 3.30 Basit bir frenleme tertibatı [19]	43
Şekil 3.31 Yaw mekanizması [19].....	43
Şekil 3.32 Yaw mekanizmasının türbin rotasını ayarlaması [19].....	44
Şekil 3.33 Basit bir jeneratör ve stator-rotor aksamı [19].....	47
Şekil 3.34 Rüzgar elektrik sistemi genel bileşenleri [19]	48
Şekil 4.1 Bağdat Bataryası [31]	51
Şekil 4.2 Volta kimyasal elektrik pili [32].....	53
Şekil 4.3 Pensilvanya'da rüzgar türbini ile çalışan batarya grubu (40 adet) [34]	57
Şekil 4.4 Kurşun Asit Batarya iç yapısı [36]	58
Şekil 4.5 Nikel Kadmiyum Bataryanın yapısı [37].....	59
Şekil 4.6 Lityum İyon Bataryanın iç yapısı [38]	61
Şekil 6.1 Rüzgar verisi ve oluşturulan weibull dağılımı.....	69
Şekil 6.2 Sistem için kullanılan evin saatlik bazda bir yıllık yük grafiği	72
Şekil 6.3 Sistem için kullanılan evin aylık yük grafiği.....	72
Şekil 6.4 Sistem için kullanılan evin aylık (çubuk) yük grafiği	73
Şekil 6.5 Bataryaların deşarj grafiği	74
Şekil 6.6 Bir adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 1. batarya grubu.....	75
Şekil 6.7 Bir adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 2. batarya grubu.....	75
Şekil 6.8 Bir adet 10 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 1. batarya grubu.....	76
Şekil 6.9 Bir adet 10 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 2. batarya grubu.....	76
Şekil 6.10 Bir adet 15 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 1. batarya grubu.....	77
Şekil 6.11 Bir adet 15 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 2. batarya grubu.....	77
Şekil 6.12 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 1. batarya grubu	79
Şekil 6.13 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 2. batarya grubu	79
Şekil 6.14 İki adet 10 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 1. batarya grubu	80
Şekil 6.15 İki adet 10 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 2. batarya grubu	80
Şekil 6.16 İki adet 15 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 1. batarya grubu	81
Şekil 6.17 İki adet 15 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 2. batarya grubu	81
Şekil 6.18 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 20 adet 1. batarya grubu.....	83
Şekil 6.19 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 20 adet 2. batarya grubu.....	83
Şekil 6.20 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 40 adet 1. batarya grubu.....	84
Şekil 6.21 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 40 adet 2. batarya grubu.....	84
Şekil 6.22 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 24 V'luk 1. batarya grubu.....	86
Şekil 6.23 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 24 V'luk 2. batarya grubu.....	86
Şekil 6.24 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 48 V'luk 1. batarya grubu.....	87
Şekil 6.25 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 48 V'luk 2. batarya grubu.....	87
Şekil 6.26 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 100 Ah'lik 1. batarya grubu	89
Şekil 6.27 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 100 Ah'lik 2. batarya grubu	89
Şekil 6.28 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 250 Ah'lik 1. batarya grubu	90
Şekil 6.29 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 250 Ah'lik 2. batarya grubu	90
Şekil 6.30 Şubat ayı, 2x6 kW rüzgar türbini, 12 V, 200 Ah 1. batarya grubu.....	92
Şekil 6.31 Şubat ayı, 2x6 kW rüzgar türbini, 12 V, 200 Ah 2. batarya grubu.....	92
Şekil 6.32 Eylül ayı, 2x6 kW rüzgar türbini, 12 V, 200 Ah 1. batarya grubu	93
Şekil 6.33 Eylül ayı, 2x6 kW rüzgar türbini, 12 V, 200 Ah 2. batarya grubu	93

Şekil 6.34 Kış, 2x6 kW rüzgar türbini, 12 V, 200 Ah 1. batarya grubu	94
Şekil 6.35 Kış, 2x6 kW rüzgar türbini, 12 V, 200 Ah 2. batarya grubu	95
Şekil 6.36 İlkbahar, 2x6 kW rüzgar türbini, 12 V, 200 Ah 1. batarya grubu	95
Şekil 6.37 İlkbahar, 2x6 kW rüzgar türbini, 12 V, 200 Ah 2. batarya grubu	96
Şekil 6.38 Yaz, 2x6 kW rüzgar türbini, 12 V, 200 Ah 1. batarya grubu	96
Şekil 6.39 Yaz, 2x6 kW rüzgar türbini, 12 V, 200 Ah 2. batarya grubu	97
Şekil 6.40 Sonbahar, 2x6 kW rüzgar türbini, 12 V, 200 Ah 1. batarya grubu.....	97
Şekil 6.41 Sonbahar, 2x6 kW rüzgar türbini, 12 V, 200 Ah 2. batarya grubu.....	98

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [16].	12
Çizelge 2.2	Depolama Teknikleri Karşılaştırma [18]	13
Çizelge 2.3	Bazı Bataryaların Karşılaştırılması [18].....	14
Çizelge 3.1	Rüzgar türbin tipleri ve kullanım alanları [19]	30
Çizelge 3.2	YHART tipik ölçüleri [19].....	38
Çizelge 5.1	2010 yılı enerji kaynakları maliyetleri aralıkları [43]	66
Çizelge 6.1	Rüzgar hızı frekans analizi.....	69
Çizelge 6.2	Bir yıllık Weibull verileri.....	70
Çizelge 6.3	Simülasyonda kullanılan evin aylık yük bilgileri.....	71
Çizelge 6.4	Türbin güçlerine göre 1. Grup batarya karşılaştırması.....	78
Çizelge 6.5	Türbin güçlerine göre 2. Grup batarya karşılaştırması.....	78
Çizelge 6.6	Türbin güçlerine göre 1. Grup batarya karşılaştırması.....	82
Çizelge 6.7	Türbin güçlerine göre 2. Grup batarya karşılaştırması.....	82
Çizelge 6.8	Batarya sayısına göre 1. Grup batarya karşılaştırması	85
Çizelge 6.9	Batarya sayısına göre 2. Grup batarya karşılaştırması	85
Çizelge 6.10	Batarya gerilimine göre 1. Grup batarya karşılaştırması	88
Çizelge 6.11	Batarya gerilimine göre 2. Grup batarya karşılaştırması	88
Çizelge 6.12	Batarya kapasitesine göre 1. Grup batarya karşılaştırması	91
Çizelge 6.13	Batarya kapasitesine göre 2. Grup batarya karşılaştırması	91
Çizelge 6.14	Mevsimlere göre 1. Grup batarya karşılaştırması	98
Çizelge 6.15	Mevsimlere göre 2. Grup batarya karşılaştırması	99
Çizelge 6.16	Mevsimlere göre bataryaların ekonomik analizi.....	100

ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ VE ANALİZİ

Batuhan YAVUZ

Elektrik Mühendisliği Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Aslan İNAN

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de Çanakkale bölgesindeki rüzgar hızına göre bir rüzgar türbini sistemi seçilip, bu rüzgar türbini ile bir evin enerji ihtiyacının şebekeden bağımsız bir şekilde giderilmesidir. Bunun yanı sıra rüzgar hızındaki düşüşler sebebiyle oluşabilecek enerji kesintilerini batarya grubu ve dizel jeneratör ile yılın rüzgar hızının yüksek olduğu dönemlerinde depolanarak telafi edilmek istenmiştir.

Tezin giriş bölümünde genel olarak enerji sistemlerinden bahsedilmiştir. Fosil yakıtlar ve yenilenebilir enerji sistemleri anlatılmıştır. Bu enerji sistemlerinin avantajları ve dezavantajlarından bahsedilmiştir.

Gelişme bölümünde rüzgar enerjisi ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir. Rüzgar enerjisinin tarihçesi, kullanılan farklı rüzgar türbinleri ve nasıl enerji elde edildiği anlatılmıştır. Rüzgar hızı ve çıkış gücü arasındaki bağlantı açıklanmış ve rüzgar türbinleri ile beraber kullanılan jeneratörlerden bahsedilmiştir.

Simülasyonda kullanılacak tekrar şarj edilebilen bataryalar ile ilgili bataryaların tarihçesi ve devir sayıları, ömürleri, çalışma prensibi gibi teknik bilgiler verilmiştir. Başlıca kurşun asit, vanadyum redoks, sodyum sülfür, lityum iyon ve nikel bataryalar bu bölümde anlatılmıştır.

Bataryaların yetersiz olduğu ve rüzgar hızının enerji üretemeyecek seviyelere düştüğü kritik anlar tespit edilmiştir. Bu süre zarfında dizel jeneratör kullanılması düşünülmüştür.

Ekonomik analizi yapabilmek için bir değere indirgenmiş enerji maliyeti metodu tercih edilmiş ve uygulanmıştır. Bu metot ile ilgili kullanılan formüller açıklanmış ve simülasyonda kullanılmıştır.

Tekrar şarj edilebilir bataryalar teknik özelliklerine göre analiz edilmiş ve sisteme en uygun bataryanın seçilmesi amaçlanmıştır. Ekonomik açıdan bataryalar ve farklı modeldeki rüzgar türbinleri karşılaştırılmış maliyet açısından en uygun olanı tercih edilmiştir. Bunu yapabilmek için matlab programı kullanılmış sonuçlar sayısal uygulama bölümünde paylaşılmıştır. Sonuçlar ve öneriler kısmında ise yapılan analizler yorumlanmış ve yapılabilecek çalışmalardan bahsedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji depolama sistemleri, rüzgar türbinleri, tekrar şarj edilebilen bataryalar, ekonomik analiz, MATLAB, optimizasyon

ABSTRACT

MODELLING AND ANALYSIS OF ENERGY STORAGE SYSTEMS

Batuhan YAVUZ

Department of Electrical Engineering, Power System Division
MSc. Thesis

Advisor: Assist. Prof. Dr. Aslan İNAN

The aim of this study is to choose a wind turbine system, which provide energy need of a house without grid electricity, according to the wind speed in Çanakkale, Turkey. Furthermore there will be energy deduction due to drop in wind speeds so it's thought that a battery group and diesel generator can be stored to compensate the energy deduction when the wind speed is higher in periods of the year.

In the first part of this thesis energy systems are mentioned generally. Fossil fuels and renewable energy systems are rehearsed. It's referred to advantages and disadvantages of these energy systems.

In the development part it is given detailed information about wind energy. The history of wind energy, different types of wind turbines and how to obtain energy are elucidated. The connection between wind speed and output power are explained and generators which are used with wind turbines are mentioned.

About rechargeable batteries which will be used in simulation, the history of batteries and technical information as battery cycles, lives, working principle and so on are given. Basically lead acid, vanadium redox, sodium sulfur, lithium ion and nickel batteries are explained in this section.

Critical moments are determined when the batteries are not capable enough to provide energy and wind speed is too low to produce energy. This period of time, using a diesel generator is conceived.

In order to make an economic analysis, levelized cost of energy method is chosen and applied. Formulas used with this method are explained, used in the simulation.

Rechargeable batteries are analyzed as their technical characteristics and determining the most suitable battery according to the system are targeted. Batteries and different types of wind turbines are compared as economically and is chosen the optimum combination. To be able to do this study, matlab is used and the results are shared in numeric application section. The section of conclusions and suggestions, series of analysis are commented and to do studies are mentioned.

Keywords: Energy storage systems, wind turbines, rechargeable batteries, economic analysis, MATLAB, optimization

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Elektronik malzemelerin kullanımının artmasıyla beraber bu ihtiyaç ile enerji üretimi arasındaki fark da giderek artmaktadır. Bunun yanı sıra fosil yakıtların fiyatlarındaki artış ve çevresel problemler, kaliteli güç üreten merkezi güç istasyonlarının enerji depolama teknolojisini kullanması gerekmektedir. Bu tezde enerji depolama tekniklerine (bataryalar, güneş enerjisi, basınçlı su depolama, sıkıştırılmış hava enerjisi depolama, volan depolama, süperkondaktör manyetik enerji depolama ve süper kapasite enerji depolama), rüzgar enerjisine ve rüzgar enerjisi ile bataryaların beraber kullanıldığı sistemler hakkında detaylı bilgiler verilecektir.

Günümüzde güç sistemleri düzenli piyasadan daha düzensiz bir piyasaya geçiş sürecindeyken, yük merkezlerine daha yakın yerel sistemler üzerinde durulmaktadır. Bunun sebepleri arasında çevre için artan endişe, yenilenebilir enerjinin kullanımı, işletme rahatlığı, daha düşük başlangıç maliyeti, projenin daha kısa zamanda tamamlanması, elektrik piyasasının serbestleşmesi, yani iletim hatlarının yapımının bileşenleri ve tüketicilerin daha güvenilir enerjiye ihtiyaç duyması bulunmaktadır. Yapılan bir çalışmaya göre 2005-2030 arasında dünyadaki toplam enerji tüketiminin %50 arasında artması beklenmektedir [1].

Enerji depolama sistemleri temel olarak üç amaç için kullanılır; enerji stabilizasyonu, ihtiyacı karşılayacak kapasite ve gücün dağıtılmasıdır.

Enerji stabilizasyonu dağıtılmış üretimin (DG) enerji depolama sistemlerinin yardımıyla sabit bir çıkışta çalışmamasına, yük sık sık değişse bile, izin vermektedir. Bir DG birimi çok yüksek piklerde bile kapasitesi olan bir yüke hizmet verebilir. DG biriminin yük

değişimlerine çabuk cevap vermediğinden ötürü güç kalitesi problemleri daha da artabilir. Bununla beraber enerji depolama birimi yüke paralel bağlanırsa enerji ihtiyacındaki herhangi bir ani değişimde enerji depolama birimi bu ihtiyacı karşılayabilir. İhtiyaç az olduğunda ise DG birimi tarafından şarj edilebilir ve bu sayede DG sürekli aynı çıkışla çalışır [1].

İhtiyacı karşılayacak kapasite enerji depolama biriminin, DG birimi devrede değilken yüke uygun miktarda enerjiyi sağlamasıdır, örneğin gece güneş enerjisi çalışmıyorken veya DG birimlerinin herhangi birinin tamirde veya bakımda olduğu süre zarfıdır. Güce ihtiyacı olanların iki seçeneği vardır. Birincisi elektrik şebekesini kullanmak, ikincisi ise kaynak kullanılmıyor iken enerji depolama birimini kullanmaktır. Elektrik şebekesini veya başka bir DG birimi kullanmak ekonomik olarak uygun olmadığından ikinci seçenek daha mantıklı gözükmektedir [1].

Gücün dağıtılması DG biriminin o anda ürettiği güç ne olursa olsun DG sahiplerinin peşinen işlemesine izin verir. Dağıtılabilir enerjinin, dağıtılamayan enerjiye göre özünde olan kullanılabilirliği ve işlenebilirliğinin karakteristiği çok daha dikkate değerdir. Enerji kaynaklarının PV hücre ve rüzgar enerjisi gibi enerji üretimi güneş ışığına ve rüzgara bağlıdır. Bu da kullanılabilir olan gücün kesik kesik olmasına ve bu durum kaynağın dağıtılabilir olmasına sebep olur. Bununla beraber enerji depolama sistemi ile dağıtılabilir olmayan bir sistem beraber kullanıldığında dağıtılabilir bir sistem olmaktadır. Bu sadece uygun bir tasarıma gereksinim duyar [1].

Bu tezde öncelikli olarak enerji depolama sistemlerinden bahsedilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar enerjisiyle ilgili tarihçe ve detaylı bilgiler verilmiş olup, depolama sistemi olarak bataryalar tercih edilmiştir. Bataryaların tarihçesi ile beraber teknik bilgileri paylaşılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda oluşturulan hibrit sistemlerden bazıları; rüzgar-güneş ve batarya [2], rüzgar-dizel [3], rüzgar, mikro-su güç tesisi ve süper kapasitör [4], rüzgar-batarya ve dizel [5] ve rüzgar-yakıt pili [6] gibi rüzgar türbinleri ile gerçekleştirilen birçok hibrit sistem çalışması bulunmaktadır.

Bu çalışmaların amacı, yenilenebilir enerji kaynaklarının çevre şartlarına bağımlılığı

sebebiyle bu kaynaklara yardımcı olarak dizel jeneratör, batarya ve yakıt pilleri ile dengeli ve güvenilir sistemler oluşmasını sağlamaktır.

Bu tezde oluşturulan hibrit sistem rüzgar enerjisi başta olmak üzere batarya grubu ve dizel jeneratörden oluşmaktadır. Çalışmada kullanılan veriler bir evin bir yıl boyunca ölçülen saatlik yükü, sıcaklık değerleri ve rüzgar hızı verileridir. Rüzgar türbinleri ve bataryalar arasındaki en uygun kombinasyon araştırılacak, sonuçlar bölümünde bulgular paylaşılacaktır. Sistemin enerjisiz kalmaması için sisteme dizel jeneratör eklenerek sistemin güvenilirliği artırılacaktır. Bulunan sonuçlar ekonomik analizle güçlendirilecektir.

1.3 Hipotez

Kurşun asit batarya, teknik ve ekonomik açıdan en uygun bataryadır. Kurulacak sistemde 20 yıl boyunca işletme ve değiştirme maliyetleri de göz önünde bulundurularak ekonomik açıdan en uygun batarya olacaktır. Teknik açıdan rüzgar türbinleri ile beraber uyumlu bir şekilde çalışacaktır.

ENERJİ DEPOLAMA TEKNİKLERİ

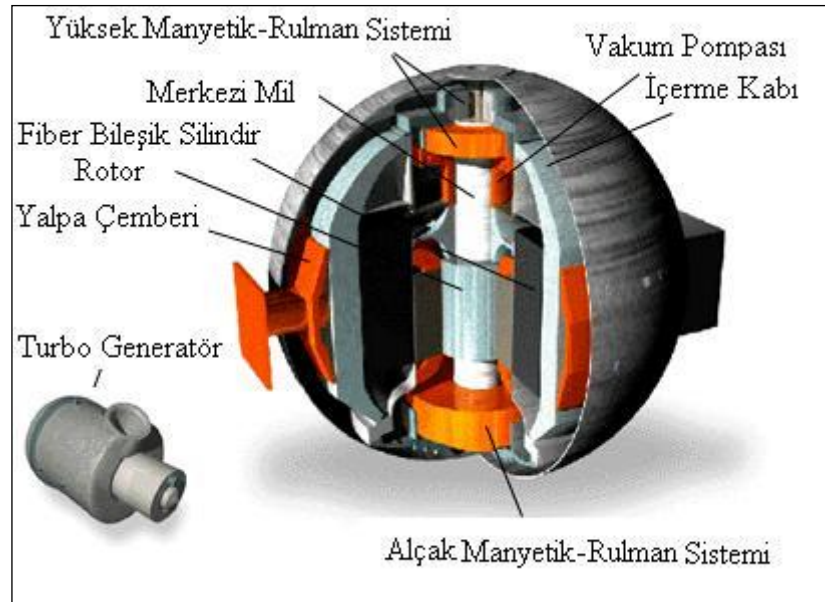
2.1 Mekanik Enerji Depolama

2.1.1 Volan Depolama

Volanlar frensiz motor-generatör takımlarının eski tasarımlarının ataları sayılır. Çok hızlı bir şekilde dönen bu tekerlekteki kinetik enerjinin bir biçimi bu volanlarda depolanmış halidir (Şekil 2.1). Klasik olarak volanlarda depolanan enerji;

$$J = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2 \quad (2.1)$$

Burada, J joule olarak enerji veya (W-s), I atalet momenti, (kg-m^2) ve ω açısal hız, (rad/s)'dir [1].

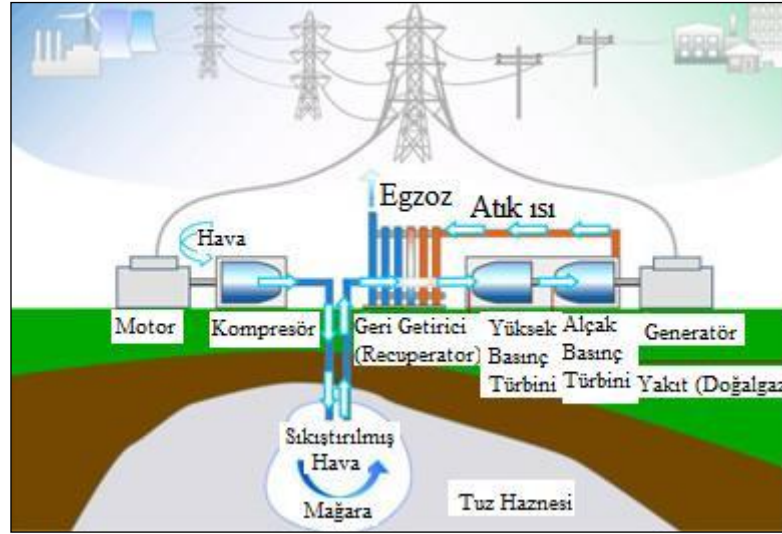


Şekil 2.1 Volan depolama açık hali [7]

Bu tarz depolamada iki tip teknoloji vardır. Birincisi yüksek hızlı ve küçük volanlarla yapılan ve dakikada 50.000 turdan fazla döner. Boyutun ve ağırlığın önemli olduğu durumlarda birçoğu elektrikli araçlar ve benzer uygulamalar içindir. İkinci tip ise yavaş dönen fakat büyük volanlar genellikle 7000 d/d'de çalışır, çapı 1 metre veya daha fazladır [1].

2.1.2 Sıkıştırılmış Hava Enerji Depolama (CAES)

Sıkıştırılmış hava sistemleri elektrik gücünü, kompresörleri çalıştırıp tankları havayı yüksek basınçla ittirdikten sonra bir piston veya türbin içerisindeki bu basınçlı havayı ihtiyaç halinde enerji üretmek için kullanır. CAES sistemleri sıkıştırılmış havayı yer altı su havzası gibi jeolojik yapılarda depolar (Şekil 2.2). CAES sistemleri oldukça maliyetlidir. Pratik olarak en küçük tipi 10 MW güç ve 100 MW/h enerjidir. CAES sistemleri basılmış su depolama sistemlerine nazaran yüksek güç ve enerji yoğunluğuna sahiptir [1].



Şekil 2.2 CAES sistemi [8]

2.1.3 Basınçlı Su Depolama

Hidrolik gücü ilgilendiren enerji depolama sistemleri potansiyel enerji uygulaması kavramına dayanır. Pik zamanı haricinde elektrik, suyu yüksek tepelerdeki veya dağlardaki su haznelerine pompalamak için kullanılır (Şekil 2.3). Pik zamanında ise su borulardan hidroelektrik generatörlere iletilir. Bu tip depolama genellikle pik ihtiyacını

karşılama için kullanılır. Bir döngü için verim yaklaşık olarak %70-85 civarındadır. Bu tip bir sistemin en büyük dezavantajı büyük bir su haznesi inşa edildiği için ekolojiye zarar vermesidir. Diğer dezavantajı ise en az iki su haznesine ihtiyaç duymasıdır [1].



Şekil 2.3 Basıncı su depolama şeması [9]

2.2 Manyetik Enerji Depolama

2.2.1 Süper İletken Manyetik Enerji Depolama

SMES sistemleri enerjiyi, çok yüksek bir şekilde yalıtılmış bir şişede bulunan sıvı helyum gibi çok soğuk bir sıvı içerisine batırılmış süper iletken manyetik bir bobin ile depolar. Süper iletken manyetik bobinlerin dirençleri 0'dır, bu yüzden elektrik akımı bir kez akmaya başladıktan sonra zamanla azalmayacaktır. Bobinler çok büyük boyutlarda değildirler. Yaklaşık olarak çapları 2 feet (0.6 m) ve yüksekliği de 1 feet(0.3 m)'dir [1].

SMES içerisinde güç, DC elektrik akımının bobin içerisinde manyetik olarak döndürülmesi ile depolanır. Bu işlemin tersi yapılarak durdurulur. Tipik bir SMES birimi yaklaşık 250 kW-h enerjiyi büyükçe bir buzdolabı boyutlarındaki bir alanda depolayabilir ve ağırlığı da 700 pound (317,5 kg)'dır. SMES'in avantajları verimli, sağlam, güvenilir ve sessiz çalışmasıdır. Mikro saniye hızında ve çok iyi gerilim regülasyonuylaköprüleme zamanı 1-60 sn, kurulum süresi 3 hafta ve verimi de %90'dır. SMES'in ürettiği güç kalitesi en yüksek kalitedir. SMES'in dezavantajları ise soğutmaya ihtiyaç duyması, giderler(her bir(per) kW-h depolama kapasitesi fiyatı 2500-3800 dolar arasındadır ki bu kurşun asitlide 20 kat daha fazladır) sıcaklığa karşı duyarlıdır,

çok yüksek manyetik akım oluşturmasıdır [1].

2.2.2 Süper Kapasitör Enerji Depolama

Süper kapasitörler çift katmanlı kapasitörlerdir. Enerji elektrot ve elektrolit arasındaki sınırda olan şarj transferi ile depolar (Şekil 2.4). Süper kapasitörler iki elektrot, bir ayırıcı ve bir elektrolitten oluşur. Elektrotlar etkinleştirilmiş karbondan oluşur bu sayede süper kapasitörlerin enerji yoğunluğunun daha geniş bir alanı etkilemesi sağlanır. Elektrotlar bir çerper ile ayrılmıştır ki bu şarj olmuş iyonların hareketini kolaylaştırır ve elektrottan diğeriye iletir. Depolama enerjisini miktarı elektrot yüzey alanı, iyonların boyutu ve elektrolitin gerilim analiz seviyesinin bir fonksiyonudur [1].

Genellikle süper kapasitörler 2 sınıfa ayrılır şöyle ki; çift katmanlı kapasitörler ve elektrokimyasal kapasitörlerdir. Çift katmanlı Kapasitör çift katman mekanizmasına dayanır ve bu aktif karbonun elektrot yüzeyi veya karbon fiber ve elektrolitik çözümünün arasındaki ara yüzdeki şarjların ayrılması sonucudur. Elektrokimyasal kapasitörler hızlı Faradayoksidasyon-redüksiyon (REDOX) reaksiyonuna dayanır. Metal oksit süper kapasitörler ve iletken polimer süper kapasitörler içerir. Elektrot yüzeyinde oluşan ters çevrilebilir REDOX reaksiyonunun veya elektrot potansiyeline bağılı olarak kapasite üretmek için hepsini kullanırlar. Kapasiteleri temelde aktif elektrot malzemesinin uygulamalarına dayanır [1].



Şekil 2.4 Çin’de üretilmiş 1.0 F’lık bir süper kapasitör [10]

Elektrokimyasal kapasitörün çalışma gerilimi genellikle 3 Volt'un altındadır. Yüksek çalışma gerilimine sahip elektrokimyasal kapasitörler, elektrolitik kapasitörün anodu ve elektrokimyasal kapasitörün katodu ile birleştirilerek geliştirilen hibrit süper kapasitörler ile mümkündür. Yüksek kapasitenin en iyi özelliklerine ve elektrokimyasal kapasitörün yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Bu tip kapasitörler birçok hücreyi seri olarak bağlamaya ihtiyaç duymadan yüksek gerilimde çalışır. En önemli parametreleri kapasite (C), eşit seri direnç (ESR) ve eşit paralel dirençtir (EPR) [1].

2.3 Termal Enerji Depolama

2.3.1 Güneş Termik Elektrik Depolama

Termal güneş enerjisi sistemleri, düşük sıcaklık ve yüksek sıcaklık uygulamaları olmak üzere ikiye ayrılabilir. Düşük sıcaklık uygulamalarının en yaygını düzlemsel kollektörlerdir (Şekil 2.5). Düzlemsel güneş kollektörleri, güneş enerjisini ısı enerjisi olarak bir akışkana aktaran aygıtlardır. Basitliği ve ucuzluğu nedeniyle en yaygın kullanılan güneş enerjisi uygulamasıdır. Evlere, yüzme havuzlarına ve sanayi tesislerine sıcak su sağlamakta kullanılırlar. Daha yüksek sıcaklıklar verebilen vakumlu kollektörlerde ise absorban yüzey cam boru içerisine alınmış ve cam boru ısı kayıplarını azaltmak için vakumlanmıştır. Çıkışları daha yüksek sıcaklıkta olduğu için, düzlemsel kollektörlerin kullanıldığı yerlerde ve ayrıca güneşli soğutma sistemlerinde kullanılabilirler (Şekil 2.5). Bu grupta yer alan diğer sistemler; güneş havuzları, su damıtma sistemleri, güneş mimarisi, seralar, ürün kurutma sistemleri ve güneş ocaklarıdır [11].



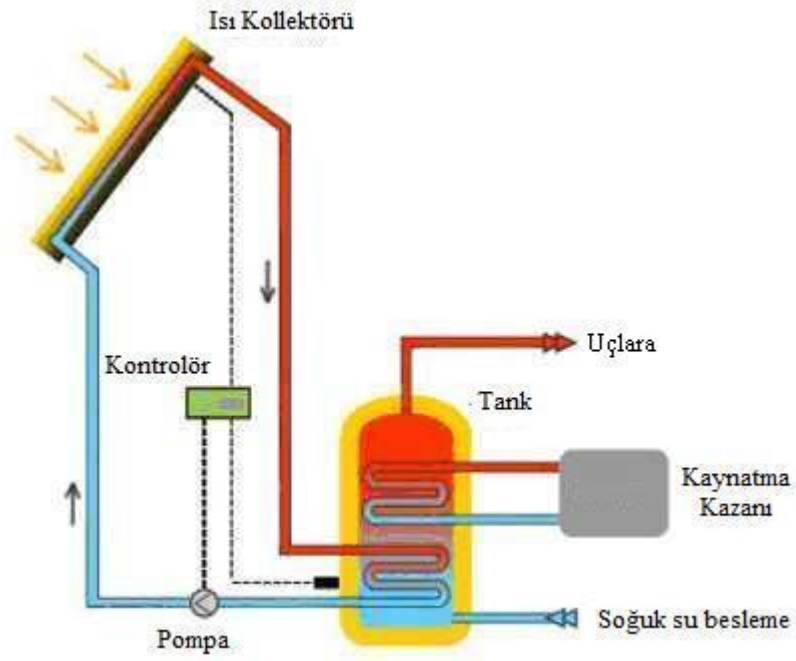
Şekil 2.5 Termal düzlemsel kollektör [12]

Yüksek sıcaklık uygulamaları ise yoğunlaştırma yapan termal sistemlerdir. Yoğunlaştırıcı sistemler direkt güneş ışınımından yararlanarak yüksek sıcaklıkta buhar üretirler ve elektrik üretiminde kullanılırlar. Yoğunlaştırıcı termal sistemlerin en yaygını parabolik oluk kollektörlerdir (Şekil 2.6). Kesiti parabolik olan kollektörlerin iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş ışınlarını, odakta yer alan siyah bir absorban boruya odaklarlar. Absorban boruda dolaştırılan sıvıda toplanan ısı ile elde edilen buhardan elektrik üretilir. Diğer bir tür yoğunlaştırıcı sistem olan parabolik çanak sistemler, iki eksende güneşi takip ederek, güneş ışınlarını odaklama bölgesine yoğunlaştırırlar. Merkezi alıcı sistemlerde ise; tek tek odaklama yapan ve heliostat adı verilen aynalardan oluşan bir alan, güneş ışınlarını, bir kule üzerine monte edilmiş ısı eşanjörüne yansıtarak yoğunlaştırma yaparlar [11].



Şekil 2.6 Parabolik oluk tipi kollektörler [13]

Güneş termik elektrik sistemleri enerjiyi erimiş tuz veya süper ısınmış yakıtla depolar. Güneş enerjisi, büyük tanklar içine doldurulmuş tuzu veya yakıtı 600 F ile 1100 F ‘a kadar ısıtmak için kullanılır. Tuzdaki veya yakıttaki ısı, ihtiyaç olduğunda suyu buhara dönüştürüp elektrik generatörüyle kuplaj yapılmış buhar türbinini çalıştırmak için kullanılır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Isı kolektörünün nasıl çalıştığını gösteren bir model [14]

2.3.1.1 Güneş Enerjisinin Üstünlükleri ve Eksiklikleri

- Güneş enerjisi tükenmeyen bir enerji kaynağıdır.
- Güneş enerjisi, arı bir enerji türüdür. Gaz, duman, toz, karbon veya kükürt gibi zararlı maddeleri yoktur.
- Güneş, tüm dünya ülkelerinin yararlanabileceği bir enerji kaynağıdır. Bu sayede ülkelerin enerji açısından bağımlılıkları ortadan kalkacaktır.
- Güneş enerjisinin bir diğer özelliği, hiçbir ulaştırma harcaması olmaksızın her yerde sağlanabilmesidir.
- Güneşi az veya çok gören yerlerde biraz verim farkı olmakla birlikte, dağların tepelerinde vadiler ya da ovalarda da bu enerjiden yararlanmak mümkündür.
- Güneş enerjisi doğabilecek her türlü bunalımın etkisi dışındadır. Örneğin, ulaşım şebekelerinde yapacakları bir değişiklik bu enerji tümünü etkilemeyecektir.
- Güneş enerjisi hiçbir karmaşık teknoloji gerektirmemektedir. Hemen hemen bütün ülkeler, yerel sanayi kuruluşları sayesinde bu enerjiden kolaylıkla yararlanabilirler [15].

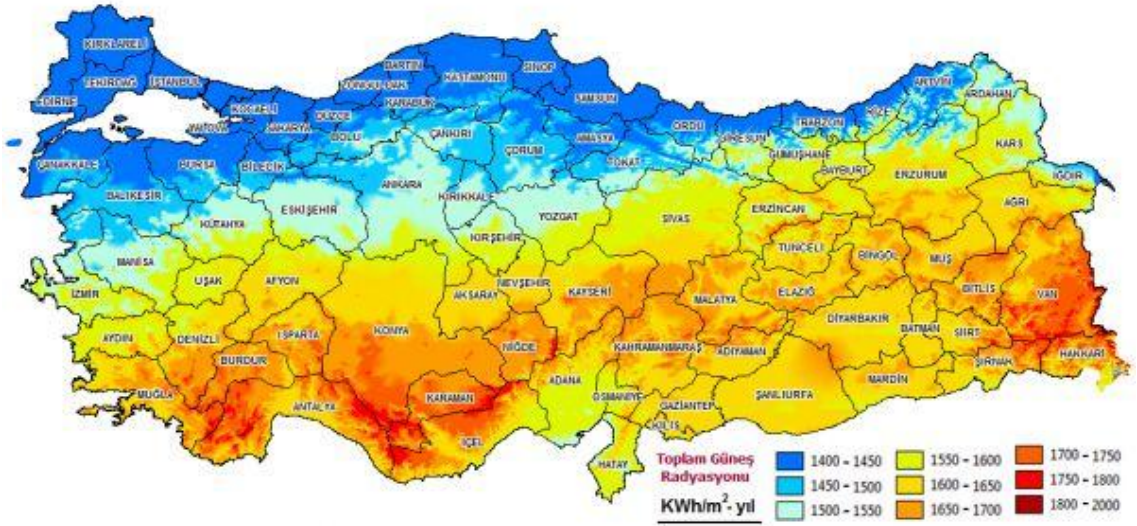
Bugünkü bu enerjinin karşılaştığı sorunlar ise şöyledir:

- Güneş enerjisinin yoğunluğu azdır ve sürekli değildir. İstenilen anda istenilen yoğunlukta bulunamayabilir.

- Güneş enerjisinden yararlanmak için yapılması gereken düzeneklerin yatırım giderleri bugünkü teknolojik aşamada yüksektir.
- Güneşten gelen enerji miktarı bizim isteğimize bağlı değildir ve kontrol edilemez [15].

2.3.1.2 Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyeli

Türkiye, 36°- 42° kuzey enlemleri ve 26°- 45° doğu meridyenleri arasındaki güneş bandında bulunmaktadır (Şekil 2.8). Türkiye'nin yıllık ortalama güneş ışınlımı 1303 kWh/m²-yıl, ortalama yıllık güneşlenme süresi ise 2623 saattir. Bu rakam günlük 3,6 kWh/m² güce, günde yaklaşık 7,2 saat, toplamda ise 110 günlük bir güneşlenme süresine denk gelmektedir. Yılın on ayı boyunca teknik ve ekonomik olarak toplam ülke yüzölçümünün %63'ünde ve tüm yıl boyunca %17'sinden yararlanılabilir [16].



Şekil 2.8 Türkiye güneş enerji haritası [17]

Gerekli yatırımların yapılması halinde Türkiye yılda birim m²'sinden ortalama 1100 kWh'lık güneş enerjisi üretebilir (Şekil 2.8). Güneşten dünyaya saniyede yaklaşık olarak 170 milyon MW enerji gelmektedir. Güneşten bir saniyede dünyaya gelen güneş enerjisi miktarı, Türkiye'nin yıllık enerji üretiminin 1700 katıdır [16].

Türkiye'nin en fazla güneş alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup, ikinci sırada Akdeniz Bölgesi gelmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ülkemizin güneş enerjisi bakımından en zengin bölgesidir. Bu bölgeye gelen yıllık toplam güneş enerjisi miktarı 1460 kWh/m² ve yıllık toplam güneşlenme süresi ise 2993 saattir. Bu veriler ışığında

Türkiye’de toplam olarak yıllık alınan enerji 1015 kWh kadardır [16].

Çizelge 2.1 Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [16]

Bölge	Toplam Ortalama Güneş Enerjisi	Ortalama Güneşlenme Süresi
	kWh/m ² -yıl	saat/yıl
Güneydoğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

2.4 Kimyasal Enerji Depolama

2.4.1 Batarya Depolama

Bataryalar, bir elektrolitin varlığında kimyasal bir reaksiyon gerçekleştirerek, iyonları salar ve bu iyonlar elektrolit içerisinde hareket edip nispeten düşük gerilimde direkt bir akım yaratarak elektrik üretir. Genelde bataryalar yüksek gerilimli yakıt hücreleri modüllerini üretmek için küme halinde bir araya getirilir. Bataryalar elektrik akımını zıt yönde doldurarak, iyonları diğer yöne zorlayarak gönderir ve enerjiyi depolar. Bataryaların tipleri şu şekilde sıralanabilir. Kurşun asit batarya, nikel metal hidrit batarya, lityum batarya, sodyum sülfür batarya, vanadyum redoks ve nikel kadmiyum bataryadır [1].

2.5 Enerji Depolama Teknolojileri Karşılaştırması

Çizelge 2.1’de bazı enerji depolama sistemlerinin karakteristiklerinin karşılaştırılması yapılacaktır. Basınçlı su depolama, CAES, bataryaların genel karakteristikleri, süper kapasitör, volan depolama ve süper iletken manyetik enerji depolama sistemleri başlıca değerlendirilmiştir.

Çizelge 2.2 Depolama Teknikleri Karşılaştırma [18]

Depolama Teknolojisi	Avantajları	Dezavantajları	Verimi	Zaman Skalası
Basınçlı Su Depolama	*Yüksek Verim *Uzun Süre Depolama *Yaygın olarak kullanım	*Yüksek Başlangıç Maliyeti *Önemli Ölçüde Karasal Alan *Belirli Topoğrafya	%70-80	Saat-Gün
Sıkıştırılmış Hava Depolama	*Yüksek Güvenilirlik *Uzun Süre Depolama	*Doğa Kirliliği (Benzin Kullanır) *Yüksek Başlangıç Maliyeti *İşletme Maliyeti	%85	Saat-Gün
Bataryalar	*Yüksek Esneklik *Doğayı Kirliletmeyen *Hızlı Cevap Verebilme	*Verimi Elektrokimyaya dayanır *Yüksek Başlangıç Maliyeti	%60-80	Dakika-Saat
Süper Kapasitör	*Uzun Devirli Ömür *Alçak Ses	*Kısa Süreli Depolama *Sınırlı Güç Aralığı	%86	Saniye-Dakika
Volan Depolama	*Çok Yüksek Verim *Ticari Başarı	*Kısa Süreli Depolama *Yüksek Başlangıç Maliyeti *Büyük Boyut	%89	Saniye-Dakika
Süper İletken Manyetik Enerji Depolama	*Hızlı Cevap Verebilme	*Soğutma İhtiyacı *Yüksek Başlangıç Maliyeti *Düşük Verim	%21	Saniye

Çizelge 2.3'te Vanadyum Redoks Akış Bataryası, Lityum-İyon Batarya, Kurşun Asit Batarya, Sodyum Sülfür Batarya ve Çinko Brom Batarya ömür, verim, zaman skalasına ve avantajlarına göre karşılaştırılmıştır. Bataryalar genel olarak, hızlı cevap verebilirken aynı zamanda sisteme ayarlama da esneklik sağlarlar [18].

Çizelge 2.3 Bazı Bataryaların Karşılaştırılması [18]

Depolama Teknolojisi	Ömür	Verim	Zaman Skalası	Yorumlar
Vanadyum Redoks Akış Bataryası	10.000 Devir	%80	Dakika-Saat	Yüksek Derecede Ölçeklenebilir, Maliyeti Elverişli, Orta ve Uzun Vade Uygulamaları
Lityum-İyon Batarya	3.000 Devir	%100' e yakın	Saniye-Dakika	Yüksek Maliyet, Düşük Güç Aralığında Sınırlı, Kısa Vade Uygulamalar, Hızlı Cevap Verebilme
Kurşun Asit Batarya	3.000 Devir	%85	Saniye-Dakika	Yüksek Maliyet, Bakım Gerekir, Kısa Vade Uygulamalar
Sodyum Sülfür Batarya	2.250 Devir	%89	Dakika-Saat	Sıcaklığa Duyarlı
Çinko Brom Akış Bataryası	5.000 Devirden Fazla	%75	Dakika-Saat	Yüksek Derecede Ölçeklenebilir, Orta ve Uzun Vade Uygulamaları

RÜZGAR ENERJİSİ VE RÜZGAR TÜRBİNLERİ

3.1 Rüzgar Enerjisinin Tanımı ve Özellikleri

Dünyanın yeryüzüne bağlı hava hareketi, rüzgar olarak adlandırılır. Rüzgar enerjisi; doğal, yenilenebilir, temiz ve sonsuz bir güç olup kaynağı güneştir. Güneşin yer yüzeyini ve atmosferi homojen ısıtamamasının bir sonucu olarak ortaya çıkan sıcaklık farkından dolayı hava akımı oluşur. Bir hava kütlesi mevcut durumundan daha fazla ısınır ve atmosferin yukarısına doğru yükselir ve bu hava kütlelerinin yükselmesi ile boşalan yere, aynı hacimdeki soğuk hava kütlesi yerleşir. Bu hava kütlelerinin yer değiştirmelerine rüzgar adı verilmektedir. Diğer bir ifade ile rüzgar; birbirine komşu bulunan iki basınç bölgesi arasındaki basınç farklarından dolayı meydana gelen ve yüksek basınç merkezinden alçak basınç merkezine doğru hareket eden hava akımıdır. Rüzgarlar yüksek basınç alanlarından, alçak basınç alanlarına akarken; dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesi, yüzey sürtünmeleri, yerel ısı yayılımı, rüzgar önündeki farklı atmosferik olaylar ve arazinin topografik yapısı gibi nedenlerden dolayı şekillenir [19].

Rüzgar kinetik enerjisi nedeniyle doğal bir potansiyele sahiptir. Buna Rüzgar Enerjisi Doğal Potansiyeli denir. Bunun bilimin fiziksel kanunlar ve eldeki teknolojik imkanlar dahilinde enerjiye çevirebilen miktarına Rüzgar Enerjisi Teknik Potansiyeli ve bu potansiyelin diğer enerji kaynaklarına göre ekonomik olarak kullanılabilen kısmına ise Rüzgar Enerjisi Potansiyeli adı verilir [19].

Meteorolojik ve topografik açıdan rüzgar oluşumu olan yerler şöyledir:

- Basınç gradyanının yüksek olduğu yerler
- Yağışların sürekli esen rüzgara paralel olduğu vadiler

- Yüksek engebesiz tepe ve platolar
- Yüksek basınçlı gradyanlı düzlükler ve sürekli rüzgar alan az eğimli vadiler
- Güçlü rüzgar bulunan ve alanlarının etkisinde kalan tepe, zirve ve kıyı şeritleri [19].

Dünyanın yeryüzüne göre bağlı hava hareketi, rüzgar olarak adlandırılır. Bu hava hareketlerine neden olan faktörleri ise şunlardır:

- Basınç gradyan kuvveti

Havayı yüksek basınçtan alçak basınca doğru iten ısı ve yoğunluk farkıdır. Kuzey yarım kürede saat ibresi yönüne, güney yarım kürede saat ibresinin tersi yönünde esmesi ile oluşmaktadır.

- Saptırıcı kuvvet

Bu kuvvet, enlem daireleri boyunca oluşan hareketler için yer dönmesinin saptırıcı kuvveti ve ekvatordan kutuplara doğru yada ters yönde oluşan hareketler için yer dönmesinin saptırıcı kuvveti olarak iki yönden etkili olabilmektedir.

- Merkezkaç kuvveti

Rüzgarların genel olarak bir merkez çevresinde dolanmaları sonucu doğan kuvvettir.

- Sürtünme kuvveti

Rüzgarın doğuşunda etkili olmayan bu kuvvet rüzgarın hızı yavaşlatmaya çalışır. Bu kuvvetin etkisi, yer yakınında en büyüktür. Yer üstünde 450-600m yüksekliğe kadar etkili olabilmektedir [19].

Rüzgarı doğuran ana neden yeryüzü ile atmosferdeki sıcaklık farklarıdır. Sıcaklık farkları basınç farklarını doğurur. Soğuk alanlar yüksek basınç, sıcak alanlar ise alçak basınç alanlarıdır. Rüzgar yüksek basınçtan, alçak basınca doğru eser. Rüzgar ölçen aletlere jirüet, anemometre ve bu ölçümlere de anemograf ölçümleri denilmektedir. Atmosferin kinetik enerjisi olan ve dünya ile güneş var olduğu sürece tükenmeyecek olan rüzgar enerjisinin özellikleri ise aşağıda sıralanmıştır:

- Çevre kirliliği yaratmayan temiz bir enerji kaynağıdır.
- Taşıdığı enerji, hızının küpü ile orantılıdır.
- Atmosferde bol ve serbest olarak bulunur.

- Depolanabilmesi için başka bir enerjiye dönüştürülmesi gerekir.
- Rüzgar enerjisinin yoğunluğu düşüktür.
- Bakım ve işletme maliyetleri düşük ve kolaydır.
- İstihdam yaratır.
- Hammaddesi tamamen yerlidir, dışa bağımlılık yaratmaz.
- Teknolojisinin tesisi ve işletmesi göreceli olarak basittir.

Niçin Rüzgar enerjisi sorusuna aşağıdaki gibi cevap verebiliriz;

- Asit yağmurlarına yol açmayan,
- Atmosferik ısınmaya neden olmayan,
- CO₂ emisyonu olmayan ve oksijen tüketmeyen,
- Radyoaktif etkisi olmayan,
- Ham madde sıkıntısı olmayan,
- Teknolojik gelişim hızlı ve modern,
- Dışa bağımlı olmayan,
- Kısa sürede devreye alınabilen ve tevsii edilebilen,
- Kuruldukları alanın sadece %1'lik bölümünü kullanan, (Geri kalan alan diğer faaliyetlerde (tarımsal, hayvancılık vb.) rahatlıkla kullanılabilir.)
- Doğal bitki örtüsü ve insan sağlığına olumsuz etkileri olmayan,
- Kurulacak olan 0,6 MW'lık bir türbin ile 86 000 ağaca eşdeğer oksijen tasarrufusağlayan,
- Diğer enerji türlerini destekleyerek doğal kaynakların tüketilmesini geciktirecek ve yeni teknolojilerin gelişmesi için zaman sağlayacak, ekonomik ve sağlıklı bir enerji üretim kaynağıdır [19].

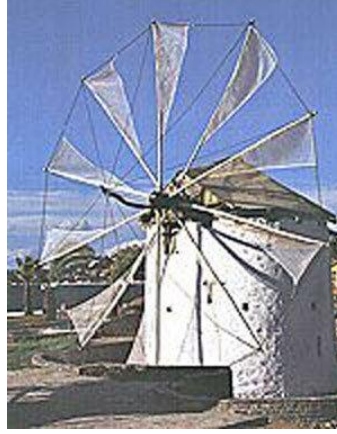
Tabii bazı olumsuzlukları da beraberinde getirmektedir. Ancak bu mahsurların gelişen teknoloji ile beraber ortadan kalkacağı değerlendirilebilir. Bu mahsurlar şunlardır;

- Görsel ve estetik olarak olumsuzdur.
- Gürültüldürler ve kus ölümlerine neden olur.
- Radyo ve tv alıcılarında parazitlenme yaparlar. Bu nedenle İngiltere basta olmak üzere birçok Avrupa ülkesinde büyük rüzgar türbinlerinin yarattığı çevre sorunları nedeniyle milli park alanlarının sınırları içine ve çok yakınlarına

kurulması yasaklanmıştır [19].

3.2 Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi

Milattan önceki yıllarda kullanılmaya başlanılan rüzgar enerjisi, denizlerde yelkenli gemilere, karalarda ise, yel değirmenlerine ve rüzgar millerine ana güç kaynağı olmuştur (Şekil 3.1). Özellikle buğday, mısır öğütme ve su pompalama gibi gereksinimler uzun yıllar bu yolla çözülmüştür.



Şekil 3.1 Yatay eksen tipli yel değirmeni [20]

Rüzgar enerjisi kullanımı, M.Ö. 2800'lü yıllarda Orta Doğu'da başlamıştır. M.Ö. 17. yüzyılda Babil Kralı Hammurabi döneminde Mezopotamya'da sulama amacıyla kullanılan rüzgar enerjisinin, aynı dönemde Çin'de de kullanıldığı belirtilmektedir. Yel değirmenleri ilk olarak İskenderiye yakınlarında kurulmuştur (Şekil 3.2). Türklerin ve İranlıların ilk yel değirmenlerini M.S. 7. yüzyılda kullanmaya başlamalarına karşın, Avrupalılar yel değirmenlerini ilk olarak haçlı seferleri sırasında görmüşlerdir (Şekil 3.3). Fransa ve İngiltere'de yel değirmenlerinin kullanılmaya başlaması ise (Şekil 3.4), 12. yüzyılda olmuştur [19].



Şekil 3.2 Datça'da bir yel değirmeni [21]



Şekil 3.3 Bodrum’da bir yel değirmeni [22]



Şekil 3.4 Amsterdam’da bir yel değirmeni resmi [23]

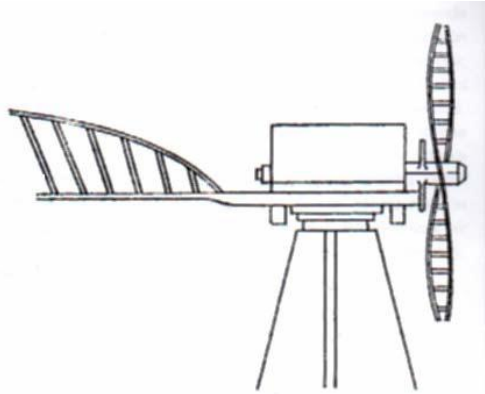
Avrupa, haçlı seferlerinde kazandığı bu teknoloji ile, Roma İmparatorluğu’nun kaçırdığı bir serveti yakalamıştır. Roma İmparatorluğu gücünün zirvesinde iken, para basmak için gereken altın ve gümüşü Avrupa dışındaki eyaletlerinden sağlamaktaydı. Bu eyaletleri kaybettikten sonra, Avrupa’daki fakir madenlerin işletilmesi denenmiş, fakat bu madenlerin yüzeysel kapasiteleri hızla tükenip, derinlere inildikten sonra galerilerden su çıktığından, madenler terk edilmişti. Altın ve gümüş bulunamayınca paralara bakır katılmaya başlandı. Giderek artan parasal ve ekonomik bunalımla birlikte, o dönemin yüksek hızlı enflasyonu Roma İmparatorluğu’nun sonunu getirmişti. Avrupa’nın Orta Çağ karanlığından sıyrılmasında önemli etmenlerinden birinin, Romalıların terk ettikleri madenlerin yeniden işletmeye açılması olduğu söylenir. Avrupalılar bunu yel değirmenleri yardımıyla, galeri diplerindeki suları dışarı pompalayarak, yani rüzgar enerjisini kullanarak başarmışlardır [19].

Tarımsal ürünleri öğütmek, su pompalamak, hızar çalıştırmak gibi amaçlarla geliştirilen yel değirmenleri; Avrupa’da Endüstri Devrimi’ne kadar hızla yayılmışlardır (Şekil 3.5). 18. yüzyılın sonunda yalnızca Hollanda’da 10.000 yel değirmeni bulunuyordu. Buhar makinesinin yapılması ve odun, kömür gibi yakıtlardan kesintisiz enerji üretimine başlanması ile, rüzgar enerjisi önemini yitirmeye başlamıştır. Bununla beraber, rüzgar türbini denilen ve elektrik üretiminde kullanılan ilk makineler, 1890’ların başlarında

Danimarka’da yapılmıştır. Aynı dönemde, bu makinelerin geliştirilmesi için Almanya’da önemli çalışmalar yapıldığı bilinmektedir (Şekil 3.6). Rüzgar kuvvet makineleri yerlerini yakıtlı kuvvet makinelerine bırakırken, rüzgar enerjisinin kullanımının sürmesi için yeni bir teknoloji de başlamıştır. Ancak, 19. yüzyılda geliştirilen ilk rüzgar türbinlerinin verimi düşüktü [19].



Şekil 3.5 Bir modern rüzgar enerjisi su pompalama sistemi resmi [19]



Şekil 3.6 Belidor tarafından tasarlanan pervane tipi rüzgar türbini [19]

1918 yılında Danimarka’da başlatılan bir çalışma ile, 120 kırsal merkezde elektrik üretimini 20-30 kW’lık rüzgar türbinlerinin kullanımı sağlanmıştı. Rusya’da 1931 yılında 100 kW’lık rüzgar türbini yapılmıştı. 1941 yılında ABD’de Vermont yakınlarında Granpa’sKnop’da kurulan Putnam rüzgar türbini, 1250 kW gücü ile dönemin en büyük rüzgar kuvvet makinesi olmuştur. İki kanatlı rotorun çapı 53 m idi. Putnam türbini, modern rüzgar makinelerinin ilkidir (Şekil 3.7). Toplam ağırlığı 250 ton

olan bu rüzgar santraline, bir milyon dolar yatırım yapılmıştı. Ancak titreşim ve malzeme yorgunluğundan dolayı, 26 Mart 1945 sabahı olan bir kazada kanatlarından biri kopmuş, yaklaşık 8 tonluk kanat 230 m uzağa fırlamıştır [19].



Şekil 3.7 Putnam rüzgar türbini [24]

İkinci Dünya Savaşı'nın ardından 1945'de İngiltere'de başlatılan deneysel çalışmalar sonucunda, Enfeld'da 10 kW gücündeki Andreu makinesi kurulmuştur. Bu rüzgar türbininin rotoru üç kanatlı olup, çapı 15 metreydi. 1947 yılında Danimarka'da başlatılan ve modern yaklaşımlar içeren elektrik üretim amaçlı bir başka çalışmanın son ürünü ise, 1959 yılında işletmeye sokulan 200 kW'lık Gedser türbini olmuştu. Bu makinenin 24 metre çaplı rotoru üç kanatlı idi. Aynı dönemde Fransa'da yapılan makinelerden Noeget Le Roi'deki rüzgar türbini 300 kW gücündedir. Bu yıllardaki ilgi artışının sebepleri şu şekilde sıralanabilir:

- Hızla artan elektrik enerjisi talebi karşısında, ekonomik olarak geliştirilebilen hidroelektrik kaynakların yakıt tedarikinin yetersiz kalması,
- Hidroelektrik santrallerinin ve buhar türbinlerinin oluşturulmasında, hem ilk yatırım sırasında, hem de enerjinin iletilmesi esnasında hızla artan yüksek maliyetler,
- Savaş sonrasındaki zor ekonomik ve politik koşullar nedeniyle, ülkelerin enerji üretiminde ithal yakıtlar yerine kendi öz kaynaklarına yönelmesi,
- Kömür ve petrol türevli kaynakların yakıt olarak kullanımının yüksek hızla artması ve dolayısıyla rezervlerin azalmaya başlaması,

- Savaş sırasındaki araştırma–geliştirme çalışmalarının sonucunda uçak konstrüksiyonlarında uygulanan aerodinamik bilgi birikiminin büyük bir oranda artması ve bu bilginin büyük rüzgar türbinlerinin konstrüksiyonu yolunda kullanılabilirliği,
- Yaygın enerji ağına farklı kaynaklardan enerji ve güç bağlanabilmesinin avantajlarının değerlendirilmesi,
- Rüzgar türbinleri ile ilgili denemelerin yapılması ve bu tip uygulamaların ekonomik bir tesis olarak başarılı olmamasına karşın, rüzgar enerjisinden faydalanarak elektrik üreten büyük tesislerin pratik olarak iyi bir performansla çalışabileceğinin kanıtlanması [19].

1961 yılında Roma’da Birleşmiş Milletler tarafından düzenlenen Enerjinin Yeni Kaynakları Konferansı’nda ele alınan üç kaynaktan biri rüzgar enerjisi idi. Böylece, çok eskiden buyana tanınan rüzgar enerjisi, teknolojik gelişmelerle ele alınıyor yeni ve yenilenebilir kaynaklar arasına sokuluyordu. Ucuz petrol döneminde güncellik kazanmayan rüzgar enerjisi, 1974-1978 yılları arasındaki yapay petrol bunalımları ardından gündeme daha çok girmiştir [19].

Rüzgar enerjisinin gelişimine, 1980’li yıllarda Uluslararası Enerji Ajansı eşgüdümünde yürütülen araştırma geliştirme çalışmalarının büyük etkisi olmuştur. Artık eski tip rüzgar jeneratörleri yerine, modern ve çağdaş rüzgar enerjisi çevrim sistemleri kurulmaktadır. Ayrıca rüzgar türbinleriyle beraber dizel motor ve güneş fotovoltaik jeneratörü içeren rüzgar-dizel-PV hibrid sistemler de geliştirilmiştir. Bir tüketiciyi besleyecek tek makine yerine, birden çok türbin içeren rüzgar çiftlikleri ile elektrik şebekeleri için üretim yapılır olmuştur. ABD, Danimarka, Hollanda, İngiltere ve İsveç’in katkıları sonucunda, deniz üstünde, kıyıdan uzakta rüzgar santralleri kurulmuştur [19].

3.3 Rüzgar Enerjisi ile İlgili Kuramsal Temeller

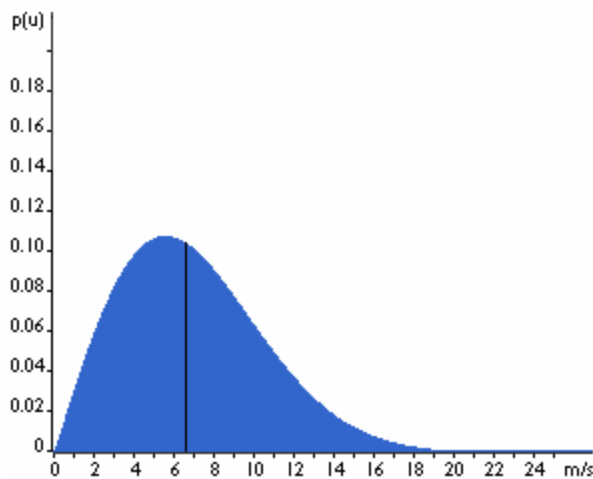
3.3.1 Frekans Historgamı ve Rüzgar Hızı Dağılımları

3.3.1.1 Weibull Dağılımı

Rüzgar endüstrisinde rüzgar hızlarında görülen değişimleri tanımlayabilmek çok

önemlidir. Türbin tasarımcıları türbinlerin tasarımlarını optimize etmek için rüzgar değişim bilgilerine ihtiyaç duyarlar. Rüzgar yükü değişim bilgileri, oluşacak yatırım maliyetlerini minimize etmede önemli ipuçları vermektedir. Türbin yatırımcıları elektrik üretiminden elde edilecek geliri hesaplamada bu bilgiye ihtiyaç duyarlar. Rüzgar hızları için yıllık ortalaması önemlidir. Dar zaman aralıklarında esen fırtınalar yanıltmamalıdır. Tipik bir arazinin rüzgar değişimlerini tanımlamak için çoğunlukla Weibull Dağılımı kullanılır [19].

Rüzgar hızlarının istatistik olarak değerlendirilerek, yıl içindeki şiddetine göre dağılımları çıkartılmalıdır. Rüzgar güç fonksiyonları şeklinde periyodik esintiler olasılık dağılımına açılır. Rüzgar hızları ile bu hızların olasılıkları, farklı eksenlere yerleştirilerek çizilen güç fonksiyon dağılım eğrileri Şekil 3.8’de verilmiştir. Şekildeki eğrinin altındaki alan tam olarak 1’e eşittir. Yatay eksene dik çizilen çizginin soluna doğru olan alandaki mavi bölgenin yarısı saniyede 6,6 metredir. Bu demek oluyor ki rüzgar zamanın yarısında saniyede 6,6 metrelik bir hızda esmiştir. Diğer yarı alanda saniyede 6 metreden daha az esmiş olduğu kolayca anlaşılır. Şekil 3.8.’de verilen eğriye göre rüzgar; ortalama 7 m/sn.’lik bir hızla esmiştir. Ortalama rüzgar hızı, bu arazide yapılan rüzgar hızı gözlemlerinin gerçekten ortalamasını verecektir. Görüldüğü gibi rüzgar hızı dağılımı simetrik değildir. Bazen yüksek rüzgar olur, fakat bunlar nadiren gerçekleşir. 5,5 m/sn.’lik hızlar en yaygın olarak göze çarpmaktadır. Özel rüzgar hızını elde etme olasılığı ile her ufak rüzgar hızı aralığını çarpıp topladığımızda, “ortalama rüzgar hızını” elde etmiş oluruz [19].



Şekil 3.8 Frekans histogramı ve weibull dağılımı [19]

Weibull dağılım fonksiyonu aşağıda (3.1) eşitliğinde verilmiştir.

$$\varphi(u) = \frac{\beta}{\alpha} \cdot \left[\frac{u}{\alpha}\right]^{\beta-1} \cdot e^{-\left[\frac{u}{\alpha}\right]^\beta}, u > 0 \quad (3.1)$$

Burada,

u : Rüzgar Hızı,

α : Ölçek Parametresi,

β : Şekil Parametresi, olarak verilmiştir.

3.3.1.2 Rayleigh Dağılımı

Rüzgar hızının istatistiki dağılımı dünya yüzeyinde bölgeden bölgeye değişmektedir. Bu değişimleri mahalli iklimsel şartlar, toprak yapısı, arazi ve yüzey topografyası belirler. Weibull dağılımı değişkenlerin sistematik bir değerlendirme ile tahmin edilmesini sağlar.

Rüzgar türbini imalatçıları genellikle Rayleigh dağılımını kullanarak makinelerinin standart performans değerlerini verirler. Rayleigh dağılımı türbin tasarımcıları için önemli bir referanstır [19].

Rayleigh fonksiyonu Weibull'un basitleştirilmiş bir versiyonu olarak düşünülebilir. Weibull fonksiyonunda şekil parametresi olan β , 2'ye eşitlenirse Rayleigh fonksiyonu elde edilir.

3.3.2 Rüzgar Hızının Yükseklikle Değişimi

Meteorolojik veriler gösteriyor ki herhangi bir yükseklikteki hız ile diğer bir yükseklikteki hız farklıdır. Yer yüzeyine yaklaştıkça rüzgarın hızı azalmaktadır. Bu olay genelde rüzgar kesme olarak adlandırılır ve rotor tasarımında kullanılır. Yerden 5 km yükseklikte ise rüzgar hızı artık yüzey şekilleri ve hareketlerinden etkilenmemektedir. Birçok araştırmacının kabul ettiği şekilde eşitlik;

$$\frac{V_i}{V_o} = \left(\frac{H}{H_o}\right)^n \quad (3.2)$$

Burada,

V_o = Ölçülen Rüzgar Hızı (m/sn)

H_0 = Rüzgar Hızının Ölçüldüğü Yükseklik (m.)

V_i = Bulunmak İstenen Rüzgar Hızı (m/sn.)

H = Rüzgar Hızının Hesaplanacağı Yükseklik (m.)

n = Pürüzlülük Katsayısı $0,10 < n < 0,40$, olarak verilmiştir.

Pürüzlük katsayısı, düz yüzeylerde (deniz, kar kaplı alanlar) 0,10 – 0,13 iken, yüksek binaların bulunduğu şehirlerde ise 0,27 – 0,40 arasında değişir.

Rüzgar enerjisi ise;

$$\frac{E}{E_0} = \left(\frac{H}{H_0} \right)^{3n}, 0,30 < 3n < 1,20 \quad (3.3)$$

olacaktır.

Rüzgar yüksekliğe bağlı olduğu kadar yüzey şekillerine göre de farklı özelliklere sahip olacaktır. Yüksek tepelerin önündeki rüzgar hızı ve şekli ile tepelerin arkasındaki şekil aynı olmayacaktır [19].

3.3.3 Rüzgar Enerjisi Hız ve Güç Bağlılıkları

Rüzgardaki enerji, sahip olduğu hız dolayısıyla taşıdığı kinetik enerjidir.

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2 \quad (3.4)$$

Buradaki “m”, “v” hacminden V hızıyla geçen havanın kütlesidir. Kütle,

$$m = \rho \cdot v \quad (3.5)$$

ρ : Havanın Yoğunluğu, olduğuna göre, “S” alanının “t” zamanında “V” şiddetiyle geçen hava hacmi,

$$v = S \cdot V \cdot t \quad (3.6)$$

ve havanın kütlesi de aşağıda belirtilmektedir.

$$m = \rho \cdot S \cdot V \cdot t \quad (3.7)$$

Sonuç olarak, rüzgarın sahip olduğu kinetik enerji,

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^3 \cdot t \quad (3.8)$$

Güç ise aşağıdaki şekilde bulunur.

$$p = \frac{dE_k}{dt} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^3 \text{ Watt} \quad (3.9)$$

Rüzgarın sahip olduğu güç yoğunluğu ise aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$E = \frac{p}{S} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \text{ Watt/m}^2 \quad (3.10)$$

Burada güç, rüzgar şiddeti ve dolayısıyla güç yoğunluğu anlık değerleridir. Güç ifadesi incelendiğinde kanatların kestiği alanla ve en önemlisi de rüzgarın hızının ile orantılı olduğu görülecektir. Görüldüğü gibi rüzgarın sahip olduğu güç, hava yoğunluğuna bağlıdır. Hava yoğunluğu şu eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$\rho = \frac{Pa}{R.T} \text{ kg/m}^3 \quad (3.11)$$

Pa : Basınç Pa veya N/m²

R : Havanın Özgül Gaz Sabiti (287,16 J/kg K)

T : Sıcaklık (K)

Enerji üretimi hesapları yapılırken seçilen rüzgar türbininin güç eğrisi proje sahasının hava yoğunluğuna göre düzeltilmelidir. Bu işlem yapılırken kanat açılarındaki değişiklikler dikkate alınmalıdır. Bunun yanı sıra hava yoğunluğunun yükseklikle değişeceği için düzeltilmesi gerektiği bilinmelidir. Hava yoğunluğunun yükseklikle değişimi şu eşitlikle verilmektedir [19].

$$\rho = \left(\frac{P_o}{R.T} \right) \cdot e^{\left(-\frac{g.z}{R.T} \right)} \quad (3.12)$$

P_o : Deniz Seviyesinde Hava Basıncı (1013,25 N/m²)

g : Yerçekimi İvmesi (9,81 m/sn²)

z : Deniz Seviyesinden Yükseklik (m)

3.3.4 Rüzgardan Güç Elde Edilmesi

Rotor kanatlarından gerçek gücün elde edilmesi, hava akıntısına karşı ve aynı yöndeki rüzgar güçleri arasındaki farklılıktır.

$$P_0 = \frac{1}{2} \cdot (\text{saniyedeki kütle akış oranı}) \cdot (V^2 - V_0^2) \quad (3.13)$$

P_0 : Rotordan açığa çıkartılan mekanik güç (türbin çıkış gücü)

V_0 : Rotor kanatları girişindeki rüzgar hızı

V : Rotor kanatları çıkışındaki rüzgar hızı

Havanın şiddeti devamlılık göstermez ve V 'den V_0 'a kadar değişebilir. Rotor kanatlarının duyarlılığı ve tasarımı, aerodinamiği ile ilgilidir. Dönen kanatlardan hava kütesinin akış oranı, ortalama şiddetli yoğunluğunun çoklanması ile bulunabilir. Dönen kanatlardan akan hava kütesinin akış oranı, ortalama şiddetli yoğunluğun çoklanması ile bulunabilir [19].

$$\text{Kütle akış Oranı} = \rho \cdot A \cdot \frac{V+V_0}{2} \quad (3.14)$$

Rotordan ortaya çıkarılan mekanik güç eşitliği;

$$P_0 = \frac{1}{2} \left(\rho \cdot A \left(\frac{V+V_0}{2} \right) \right) \cdot (V^2 - V_0^2) \quad (3.15)$$

Yukarıdaki eşitlik aşağıdaki gibi düzenlenirse,

$$P_0 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot \frac{\left(1+\frac{V_0}{V}\right) \cdot \left(1-\frac{V_0}{V}\right)^2}{2} \quad (3.16)$$

$$P_0 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot C_p \quad (3.17)$$

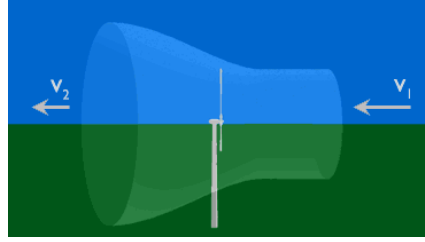
$$C_p = \frac{\left(1+\frac{V_0}{V}\right) \cdot \left(1-\frac{V_0}{V}\right)^2}{2} \quad (3.18)$$

C_p , rüzgar gücüne karşı koymanın bir sonucudur ve rotor kanatları tarafından oluşturulur. Rotorun güç katsayısı veya rotor etkinliği olarak adlandırılır [19].

3.3.5 Betz Limiti Yasası

Rüzgardaki tüm enerjiyi çıkarmayı deneseydik, hava sıfır hızla hareket ederdi, yani hava türbinden çıkamazdı. Bu durumda hiç enerji çıkaramazdık, çünkü havanın tümü açık bir şekilde türbin rotoruna girmeden önce engellenirdi. Diğer bir ekstrem durumda, rüzgar tüpümüz içerisinde hiç engellenmeden geçerdi. Bu durumda da benzer şekilde

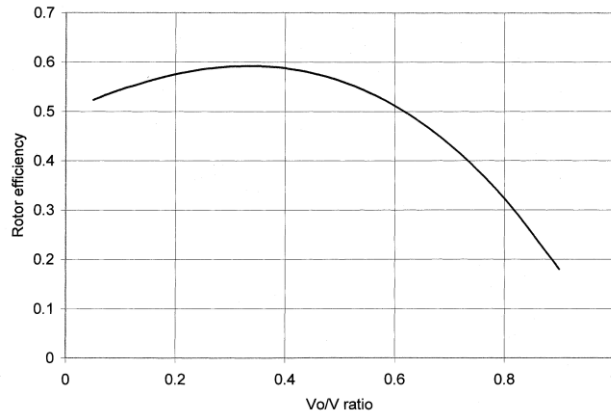
rüzgardan hiçbir enerji elde edemezdik. Bu nedenle bu iki ekstrem nokta arasında kalan bir frenleme yolu olması gerekir ve bu yolun rüzgardaki enerjinin mekanik enerjiye dönüştürülmesinde daha verimli olduğunu kabul edilir. İdeal bir rüzgar türbini rüzgarı orijinal hızının 2/3'üne kadar yavaşlatır. Bir türbin rüzgardan ne kadar fazla kinetik enerji alırsa, rüzgar Şekil 3.9'daki türbinin sol tarafından çıkarken o kadar yavaşlatılacaktır [19].



Şekil 3.9 Rüzgar enerjisinin türbine giriş ve çıkış hızları [19]

Betz yasası rüzgardaki kinetik enerjinin yalnızca 16/27'sinden daha azını (veya %59'unu) bir rüzgar türbini kullanarak mekanik enerjiye dönüştürebileceğinizi söyler.

Betz yasası ilk olarak Alman Fizikçi Albert Betz tarafından 1919 yılında formüle edilmiştir.



Şekil 3.10 $C_p - V_o/V$ değişimi [19]

Şekil 3.10'da $C_p - V_o/V$ oranı verilmiştir. Görüleceği üzere $C_p = 0,59$ teorik olarak elde edilebilecek maksimum değerdir.

$$C_p = \frac{1}{2} \cdot (1 + n) \cdot (1 - n^2) \quad (3.19)$$

n = Yavaşlatma Faktörü (V_o/V)

Bu eşitlikte maksimum güç faktörü C_p 'yi bulmak için yavaşlatma faktörü n 'in türevi alınıp sıfıra eşitlenirse,

$$\frac{d}{dn} \cdot C_p = \frac{1}{2} \cdot \frac{d}{dn} (1 + n - n^2 - n^3) \quad (3.20)$$

$$n_1 = 1/3, n_2 = -1$$

bulunur. Yavaşlatma faktörü n , hiçbir zaman negatif değer olamayacağından, $1/3$ alınır ve 3.20 eşitliğinde yerine konursa,

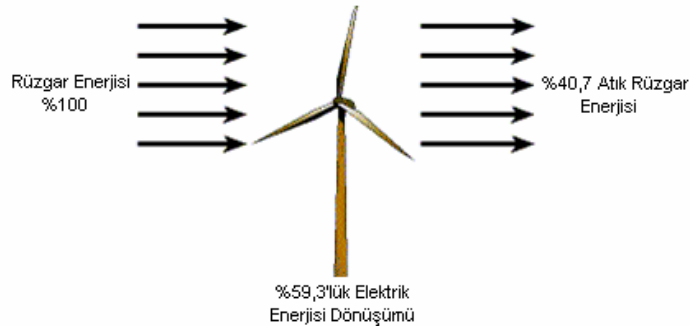
$$C_{p_{mak}} = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{1}{3}\right) \cdot \left(1 - \frac{1}{9}\right) = 0,5926$$

bulunur. Bu değeri Eşitlik (3.17)'de yerine koyarsak elde edebileceğimiz maksimum gücün formülünü bulmuş oluruz:

$$P_{mak} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot 0,5926$$

$C_{P_{mak}}$ değeri serbest pervaneden alınacak maksimum verim olarak bulunur. Yani bir rüzgar türbiniyle, rüzgarın tüm enerjisinden faydalanmak imkansızdır. Rüzgar, rüzgar türbininden, rüzgardan aldığımız enerji ölçüsünde yavaşlamış olarak çıkar. Eğer rüzgardaki tüm enerjiyi alabilseydik, rüzgarın türbinden durgun halde çıkması gerekirdi. Fakat bu durumda da türbine rüzgarın diğer taraftan girmesi engellenir ve hiç enerji elde edilemezdi.

Çağdaş rüzgar türbinleri için C_p değeri yaklaşık olarak 0,40'tır. Bunun nedeni hava direnci, rotorun oluşturduğu türbülans ve aktarma organları ile elektrik sistemi gibi noktalardaki kayıplardır [19].



Şekil 3.11 Betz limitinin şematik açıklaması

3.4 Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması

Rüzgar türbinleri, rüzgarın kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren bir makinedir. Çizelge 3.1’de çoğunlukla kullanılan türbin tipleri ve kullanım alanları verilmiştir [19].

Çizelge 3.1 Rüzgar türbin tipleri ve kullanım alanları [19]

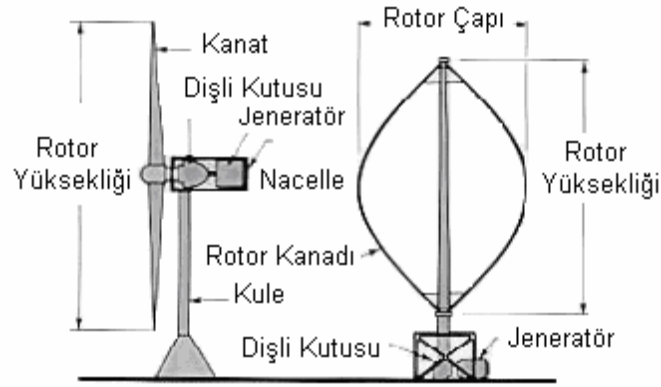
Rotor Tipi		Cp	Rpm	Tork	Kullanım Yeri
Pervane Tipi		0,42	Yüksek	Alçak	Elektrik Üretimi
Darrieus Tipi		0,40	Yüksek	Alçak	Elektrik Üretimi
Cylogiro Tipi		0,45	Orta	Orta	Elektrik Üretimi veya Su Pompalama
Çok Kanat Tipi		0,35	Orta	Orta	Elektrik Üretimi veya Su Pompalama
Yelken Kanat Tipi		0,35	Orta	Orta	Elektrik Üretimi veya Su Pompalama
Fan Tipi		0,30	Orta	Orta	Su Pompalama
Savonius Tipi		0,15	Alçak	Yüksek	Su Pompalama
Hollanda Tipi		0,17	Alçak	Yüksek	Su Pompalama

Kullanımdaki rüzgar türbinleri boyut ve tip olarak çok çeşitlilik gösterse de genelde türbinler, dönme eksenine göre sınıflandırılırlar. Rüzgar türbinleri dönme eksenine göre yatay eksenli ve düşey eksenli olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar (Şekil 3.12).

Her ne kadar türbinler yatay eksenli ve düşey eksenli türbinler olarak ikiye ayrılırsalar da, her iki tip türbin de aynı aerodinamik prensiplerle çalışırlar. Yararlı aerodinamik kuvvet türü olarak ise, taşıma ya da sürüklenme kuvvetlerini kullanırlar [19].

Genel olarak türbin sistemlerinde kullanılan alt sistemler şunlardır:

- Kanatların, göbeğin ve milin bağlandığı rotor
- Vites kutusu, fren mekanizması ve jeneratör
- Kule, denetim ve güvenlik sistemleri
- Elektrik bağlantıları, hizmet ve destek sistemleri



Şekil 3.12 Yatay ve düşey eksenli rüzgar türbinleri [19]

3.4.1 Düşey Eksenli Rüzgar Türbinleri

Adından da anlaşılacağı gibi, türbin mili düşey ve rüzgarın geliş yönüne diktir (Şekil 3.13). Savonius tipi, Darrieus tipi gibi çeşitleri vardır. Daha çok deney amaçlı üretilmişlerdir. Ticari kullanımları çok azdır.

Darrieus tipi düşey eksenli rüzgar türbininde, düşey şekilde yerleştirilmiş iki tane kanat vardır (Şekil 3.14). Kanatlar, yaklaşık olarak türbin mili uzun eksenli olan bir elips oluşturacak biçimde yerleştirilmişlerdir. Kanatların içbükey ve dışbükey yüzeyleri arasındaki çekme kuvveti farkı nedeniyle dönme hareketi oluşur. Yapısı gereği Darrieus tipi rüzgar türbinlerinde, devir başına iki kere en yüksek tork elde edilir. Rüzgarın tek

yönden estiği düşünülürse; türbinin verdiği güç, sinüs şeklinde bir eğri oluşturur. Savonius tipi dikey eksenli rüzgar türbinleri, iki ya da üç adet kepçeye benzer kesitin birleşimi şeklindedir. En yaygını iki adet kepçenin bulunduğu durumdur ve “S” şeklini andıran bir görüntüsü vardır. Savonius türbininde akışkan içbükey kanat üzerinde türbülanslı bir yol izler ve burada dönel akışlar meydana gelir (Şekil 3.15). Bu dönel akışlar Savonius türbininin performansını düşürür, bu nedenle elektrik üretiminde pek fazla kullanılmazlar. Daha çok su pompalama amaçlı ve rüzgâr ölçümlerinde kullanılan anemometre olarak kullanılırlar [19].

Dikey eksenli rüzgar türbinleri her istikametlidirler ve değişen rüzgar yönlerinde dönerler. Böylece rüzgarı her bir yönden kabul ederler. Dönüşün dikey eksen, sürücünün toprak seviyesine dahi yerleştirilmesine izin vermektedir. Bu tipteki rüzgar türbinlerinin güç kat sayısı 0,15’ten azdır. Bu nedenle güç üretiminde tercih edilmezler.

Bu türbinlerin iyi yönleri şöyle sıralanabilir:

- Jeneratör ve dişli kutusu yere yerleştirildiği için, türbini kule üzerine yerleştirmek gerekmez. Böylece kule masrafı olmaz.
- Türbini rüzgar yönüne çevirmeye gerek yoktur. Yani dümen sistemine ihtiyaç yoktur.
- Türbin mili hariç diğer parçaların bakım ve onarımı kolaydır.
- Elde edilen güç toprak seviyesinde çıktığından, nakledilmesi daha kolaydır.

Kötü yönleri ise şöyledir:

- Yere yakın oldukları için alt noktalardaki rüzgar hızları düşüktür.
- Verimi düşüktür.
- Çalışmaya başlaması için bir motor tarafından ilk hareketin verilmesi gerekir. İlk hareket motoruna ihtiyacı vardır.
- Ayakta durabilmesi için tellerle yere sabitlenmesi gerekir. Bu da pek pratik değildir.
- Türbin mili yataklarının değişmesi gerektiğinde, makinenin tamamının yere yatırılması gerekir [19].



Şekil 3.13 Dikey eksenli bir rüzgar türbini [25]



Şekil 3.14 Düşey eksenli düz tip bir darrieus rüzgar türbini [25]



Şekil 3.15 Savonius tipi bir rüzgar türbini [26]

3.4.2 Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri

Adında anlaşılacağı gibi, bu tip türbinlerde dönme eksenini rüzgar yönüne paraleldir. Kanatları ise rüzgar yönüyle dik açı yaparlar. Ticari türbinler genellikle yatay

eksenlidir. Rotor, rüzgarı en iyi alacak şekilde, döner bir tabla üzerine yerleştirilmiştir.

Yatay eksenli türbinlerin çoğu, rüzgarı önden alacak şekilde tasarlanırlar. Rüzgarı arkadan alan rüzgar türbinlerinin ise, yaygın bir kullanım yeri yoktur. Rüzgarı önden alan türbinlerin iyi tarafı, kulenin oluşturduğu rüzgar gölgelenmesinden etkilenmemesidir. Kötü tarafı ise, türbinin sürekli rüzgara bakması için dümen sisteminin yapılmasıdır. Rüzgarı arkadan alan türbinlerde ise; eğer rotor ve gövde uygun şekilde tasarlanmışsa, dümen sistemine gerek yoktur. Bu nedenle daha hafiftirler. Fakat büyük çaplı türbinlerde rüzgarın arkadan gelmesi tercih edilmez. Bunun nedeni ise; serbestçe dönmeye bırakılan türbinin elektrik enerjisini taşıyan kabloları burmasıdır. 1000 amper gibi yüksek akımlarla çalışan bu sistemde, akımın mekanik sistemlerle de toplanması sağlıklı değildir. Fakat küçük çaplı türbinlerde kolaylıkla uygulanabilirler [19].

Yatay eksenli türbinlerin bir başka sınıflandırması ise, dönme hızlarına göre yapılır. Yavaş çalışan rüzgar türbinleri ve hızlı çalışan rüzgar türbinleri adı altında iki gruba ayrılırlar.

- Yavaş Hızlarda Çalışan Rüzgar Türbinleri: İlk olarak 1870'li yıllarda ABD'de çok kanatlı düşük hızlarda çalışan türbinler üretilmeye başlandı. Günümüzde 12 ile 24 adet arasında değişen kanatlar, rotorun ya tüm yüzeyini, ya da hemen hemen tüm yüzeyini kaplar (Şekil 3.16). Yerleştirilen kuyruk kanadı dümen işlevini görür [19].

Genellikle bu tip rüzgar türbinlerinin çapı 5 ile 8 m arasında değişir. Bu tipin en büyük örneği ABD'de inşa edilmiş olup, çapı 15 m'dir. Yavaş çalışan rüzgar türbinleri 2-3 m/s arası rüzgar hızlarında kendiliğinden çalışmaya başlarlar. Bu türbinlerin özellikleri aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

- Genellikle hızları 3-7 m/s arasında değişen rüzgarlarda kullanılırlar.
- Elektrik üretimi için verimleri düşüktür.
- Çap büyüdükçe ağırlık artacağından, bu türbinleri kurmak kolay değildir.
- Bu tipteki türbinler, daha çok su pompalama işi için idealdirler. Genellikle pistonlu pompalarda kullanılırlar [19].



Şekil 3.16 Çok kanatlı bir rüzgar türbini [27]

- **Yüksek Hızlarda Çalışan Rüzgar Türbinleri:** Yüksek hızlarda çalışan bu tip rüzgar türbinlerinde kanat sayısı 1 ile 4 adet arasındadır. Düşük hızlarda çalışan çok kanatlı rüzgar türbinlerinden çok daha fazla hafiftirler. En çok kullanılan tip üç kanatlı olanlardır.

İki kanatlı türbinler, üç kanatlılara göre %2-3 daha az verimlidir. Tek kanatlı türbinler ise, iki kanatlı türbinlerden %6 daha verimsizdirler. Ayrıca tek kanatlı türbinlerde dengeleyici olarak karşı ağırlık kullanılır. Yüksek rüzgar hızlarında çalışan bu tip türbinlerde kanat sayısı arttıkça verim artar. Ancak 3 kanattan daha fazla sayıda kanat, maliyeti önemli ölçüde arttıracığından tercih edilmez. Bir ve iki kanatlı türbinler daha hızlı döndüklerinden, üç kanatlı türbinlere göre daha fazla gürültü yaparlar. Bütün bunların yanında (Şekil 3.17), üç kanatlı türbinlerin estetik görünüşleri de bu tip türbinlerin daha çok tercih edilmesinde önemli bir etkidir [19].

Söz konusu türbinlerin yavaş hızlarda çalışan rüzgar türbinlerine göre avantajları şunlardır;

- Düşük kanat sayısı; bu tipteki türbinlerin fiyatını ve ağırlığını önemli ölçüde azaltır.
- Ani rüzgar patlamalarından kaynaklanan basınç değişimlerinden etkilenmezler.
- Çok yüksek hızlarda çalışan kanat koruyucu sistemleri, bu tip türbinlerde daha ucuzdur.

Tek dezavantajı ise güçlkle çalışmaya başlamasıdır. Yüksek verimleri nedeniyle günümüzde elektrik üretimi amaçlı kullanılan rüzgar türbinlerinin neredeyse tamamı bu tipli türbinlerdir [19].

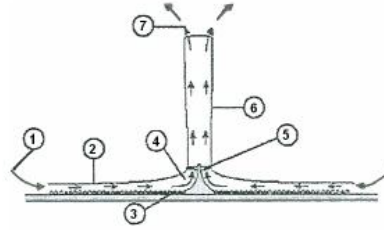


Şekil 3.17 Açık denizde elektrik üreten üç kanatlı rüzgar türbinleri [28]

3.4.3 Yükselen Hava Akımlı Rüzgar Türbinleri

Enerji dönüştürücüsü yükselen hava akımlı rüzgar türbinleri (güneş enerjisi konveksiyon bacası), güneş ışınlarının enerjisi tarafından ısıtılan havanın yükselmesi ve yükselen havadaki kinetik enerjinin de rüzgar türbinini tahrik etmesi prensibine göre çalışır (Şekil 3.18).

Isınarak yükselmesi istenen hava, üstten cam veya plastik geçirgen bir çatı ile örtülüdür ve bu çatının ortasında yer alan betonarme bacada yükselir [19].



Şekil 3.18 Yükselen hava akımlı rüzgar türbininin çalışma prensibi [19]

Burada numaralandırılan türbin parçaları aşağıda verilmiştir:

1. Soğuk Hava Girişi
2. Cam Çatı
3. Enerji Depolama (İçi Su Dolu Siyah Borular)
4. Sıcak hava türbin girişi
5. Türbin
6. Baca
7. Hava Çıkışı

Yükselen hava akımlı rüzgar türbinleri (YHART), güneş ve rüzgar enerjilerinin birlikte kullanıldıkları bir enerji dönüşüm sistemidir (Şekil 3.19). Bir YHART sisteminin elemanları; cam çatılı toplayıcı, baca ve rüzgar türbinidir. YHART teknolojisi, temel olarak güneş bacaları teknolojisine dayanır. Teknolojinin alt yapısı; ısınan ve dolayısı ile yoğunluğu azalan havanın hareketinden faydalanarak enerji içeriğini kullanmaya yöneliktir [19].



Şekil 3.19 Şematik bir YHART bacası ve cam toplayıcılar [19]

YHART fikri ilk olarak, 1970'li yıllarda Prof. J. Schlaich tarafından ortaya atılmış ve bundan kısa bir süre sonra 50 kW nominal güçte pilot bir tesisin yapımına Manzanares, İspanya'da başlanmıştır (Şekil 3.20). Tasarımı ve teorik çözümlemesine 1980 yılında başlanan tesisin; yapımı, devreye alımı ve deneme safhaları üç yıl sürmüştür. Yapılan iyileştirmelerle, tesis, 1989 yılına kadar enerji üretmiştir. Bu tesisin baca yüksekliği 195 metre, kolektör çapı ise 240 metreydi [19].



Şekil 3.20 İspanya'da kurulmuş olan YHART [19]

Çizelge 3.2’de YHART tipik ölçüleri verilmiştir. Bu tabloya göre 100 MW’lık güç üreten bir tesisin kapladığı alan 10 km² baca yüksekliği ise 1 km’ye yakındır.

Çizelge 3.2 YHART tipik ölçüleri [19]

Güç (MW)	5	30	100
Toplayıcı Çapı (m)	1110	2200	3600
Baca Yüksekliği	445	750	950
Baca Çapı	54	84	11,5
Toplayıcıdaki Sıcaklık Artışı (Co)	25,6	31,0	35,7
Baca İçerisindeki Hız (m/s)	9,1	12,6	15,8
Toplam Basınç (Pa)	383,3	767,1	1100,5
Ortalama Verim			
Toplayıcı (%)	56,24	54,72	52,62
Baca (%)	1,45	2,33	3,10
Türbin (%)	77	78,3	80,1
Toplam (%)	0,63	1,00	1,31

Günümüzde YHART ile ilgili akademik ve deneysel bazda çalışmalar devam etmektedir. Kurulması düşünülen sistemin 1000 m’lik baca yüksekliğine ve 2500m’lik toplayıcı çapına sahip olacağı bildirilmektedir.

Sistem, modern rüzgar türbinlerinde yaşanan “Rüzgar yoksa enerji de yok” problemine maruz kalmaz; çünkü sistemde, sürekli bir hava akımı mevcuttur. Ayrıca toplayıcı tabanına yerleştirilen absorber bir yüzey yardımıyla gece de enerji üretilebilir.

Bu sistemin avantajları şunlardır:

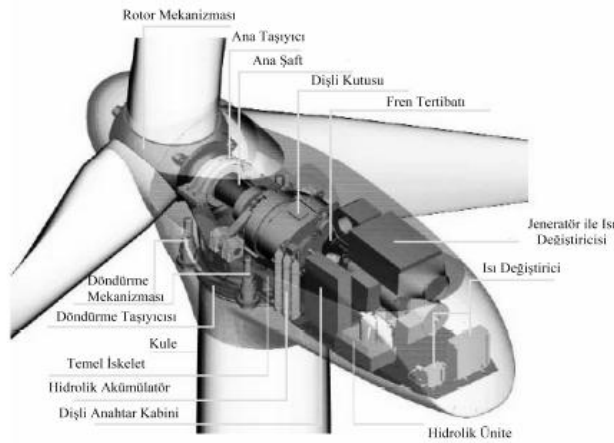
- Cam çatılı toplayıcı, güneş ışınımının tamamını kullanır (yayılı+direkt).
- Toplayıcı tabanı, doğal bir enerji depolayıcı gibi davranır. Bu sayede gecede enerji üretimi devam eder.
- Geleneksel güç sistemlerinden farklı olarak, soğutma suyuna ihtiyaç yoktur.

- Sistemde çok az sayıda hareketli parça bulunduğundan, diğer sistemlere göre çok daha güvenlidir [19].

YHART sisteminin en büyük dezavantajı kapladığı alandır. Ancak ülkemizin coğrafi yapısı göz önüne alındığında, YHART'nin kurulması için uygun birçok düzlük alan bulunabilir [19].

3.5 Rüzgar Türbinlerinin Ekipmanları

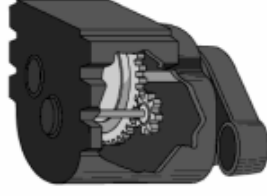
Bir rüzgar türbini başlıca; dişli kutusu, rotor, anemometre, otomatik yöneltme düzeni, frenleme düzeni, yaw mekanizması ve kuleden meydana gelmektedir. Şekil 3.21'de tipik bir rüzgar türbinine ait ekipmanlar ve konumları görülmektedir [19].



Şekil 3.21 Bir rüzgar türbini üzerindeki ekipmanlar ve konumları [19]

3.5.1 Dişli Kutusu

Rüzgar türbini rotorunun (pervanesinin) dönmesiyle elde edilen güç, ana şaft, dişli kutusu ve yüksek hız şaftından oluşan güç ünitesiyle jeneratöre aktarılır. Rüzgar türbini rotorundan elde edilen yavaş dönme hızı ve yüksek tork, dişli kutusuyla jeneratör için kullanılan yüksek hız, düşük tork gücüne dönüştürülür. Genellikle rotorun dönüşüyle jeneratör arasında, tek bir dişli oranı vardır. 600 ya da 750 kW'lık bir makine için iletim oranı yaklaşık olarak 1/50'dir. Dişli kutusunun kesit görünümü Şekil 3.22'de, rüzgar türbini düşük hız şaftı Şekil 3.23'de ve rüzgar türbini yüksek hız şaftı Şekil 3.24'de yer almaktadır [19].



Şekil 3.22 Dişli kutusu [19]



Şekil 3.23 Bir rüzgar türbininin düşük hız şaftı ve dişli kutusu [19]



Şekil 3.24 Bir rüzgar türbininin yüksek hız şaftı ve dişli kutusu [19]

3.5.2 Rotor (Pervane)

Pervane; gelen rüzgar hareketini, şaft vasıtasıyla dişli kutusuna, oradan da jeneratöre gönderen en dış birimdir (Şekil 3.25). Rotor kanadından etkiyen rüzgar, kanadın gövdesine ve rotorun merkezine doğru hareketlendikçe, daha dik bir açıdan gelir. Eğer rotor kanadı çok dik bir rüzgar geliş açısı etkisinde kalırsa, rüzgarın kanadı kaldırma kuvveti azalır ve sıfırlanır. Bu nedenle, rotor kanadı burulmak zorundadır ve kanadın arka ucu esen rüzgarla aynı yöne doğru itilir. Çoğu modern rüzgar türbin rotor kanatları GRP (glassfibrereinforcedplastics) yani cam elyaf plastikten yapılır.

Diğer kullanılan malzeme ise karbon fiber veya aramid'dir. Ancak bunlar, büyük türbinler için ekonomik değildir. Çelik veya alüminyum karışımlarının ağırlık ve yorulmadan kaynaklanan problemleri olmakla beraber küçük türbinler için günümüzde sıkça kullanılmaktadır [19].



Şekil 3.25 Rotor (Pervane) [29]

3.5.3 Anemometre

Anemometre; Şekil 3.26’da görüldüğü gibi, bir dikey eksene ve rüzgarı tutan üç fincana sahiptir. Dakikadaki devir sayıları elektronik olarak kaydedilir. Anemometreler fincanlar yerine, pervanelerle de donatılabilirler, ama bu yaygın değildir. Bunların yanı sıra, sesin fazla yükselmesi ve hava moleküllerinden yansıyan coherent ışığı tespit eden ses üstü ve lazer anemometreleri de vardır. Sıcak kablo anemometreleri, rüzgar ve rüzgar altına yerleştirilen kabloların arasında meydana gelen dakikalık sıcaklık farkından dolayı rüzgar hızını tespit eder. Mekanik olmayan anemometrelerin avantajı, buzlanmaya karşı az hassas olmalarıdır. Bununla beraber uygulamada fincan anemometreleri her yerde kullanılmakta olup elektrikle ısıtılan mil ve fincanlı özel modeller kutuplarda da bile kullanılmaktadır [19].



Şekil 3.26 Anemometre [30]

3.5.4 Otomatik Yönelme Düzeni

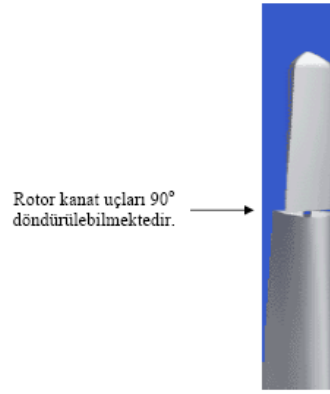
Çeşitli yönlerden esen rüzgarlardan yararlanabilmek için, dönen çarkın, her an rüzgar doğrultusuna dikey konumda olması istenir. Bu yönelme (Şekil 3.27), ya çark düzlemine dikey olan büyük düzeyli bir dümenle veya yardımcı bir çarkla otomatik olarak sağlanabilmektedir [19].



Şekil 3.27 Klasik yön düzeltme düzeni [19]

3.5.5 Frenleme Sistemi

Modern rüzgar türbinlerinin fren tertibatı iki şekildedir. Bunlardan birincisi aerodinamik fren sistemi, ikincisi ise mekanik fren sistemidir. Aerodinamik fren sistemi, rotor kanatlarının boyuna eksen etrafında yaklaşık 90° lik döndürülmesini (derece veya aktif kontrollü türbinler için geçerli) veya rotor kanat uçlarının 90° döndürülmesini esas alır (Şekil 3.28).



Şekil 3.28 Aerodinamik fren sistemi [19]

Bu sistemler elektriksel güç hatalarının oluşmasında çalışmaya devam etmesi için ve türbinlerdeki basınç kayıplarında hidrolik sistemi otomatik olarak aktif hale getirmesi için kullanılır. Genellikle rotasyon sorunlarında sistem türbini durduracaktır [19].

Mekanik frenleme sistemi ise türbinin yavaşlatıcı kontrolde durdurulması için aerodinamik frenleme sistemlerine destek vermek amacıyla kullanılmaktadır. Devir sayısının belirli bir değerden sonra sabit tutulması, belirli bir sınırı aşmasına engel olunması, çarkın ve pallerin korunması yönünden çok önemlidir. Özellikle fırtınalı havalarda rüzgara karşı küçük bir yüzey çıkarmak, hatta tesisten yararlanılmayacaksa tamamen durdurmak gerekir. Mekanik fren sistemi, dişli kutusuna yerleştirilen bir diskten oluşmaktadır. Fren diskisi çelikten yapılır ve mil üzerine sabitlenir (Şekil 3.29).

Olabilecek arızalara karşı frenleme sistemini korumak için hidrolik yağ basıncı gerekmektedir (Şekil 3.30). Yağ basıncı olmadığında, fren blokları fren diskini sıkıştıracaktır. Genel olarak frenleme sistemi, fren bloğu ile disk arasındaki sürtünmenin bir sonucudur [19].



Şekil 3.29 Mekanik frenleme sistemi [19]



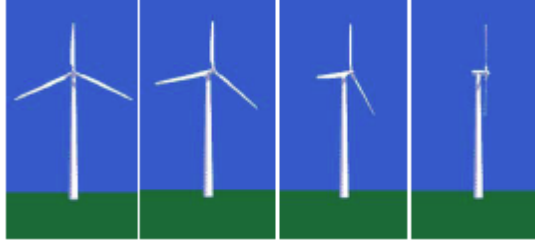
Şekil 3.30 Basit bir frenleme tertibatı [19]

3.5.6 Yaw (Saptırma) Mekanizması

Rotorun rüzgara dik olmadığı durumlarda rüzgar türbinin bir yaw (rotadan çıkma) hatasına sahip olduğu söylenir. Bir yaw hatası, rüzgardaki enerjinin düşük bir parçasının rotor alanına doğru akmasını ifade eder. Yaw kontrolü rüzgar türbin rotorunun güç giriş kontrolünün en iyi yoludur. Yatay eksenli rüzgar türbinlerinin hemen hemen hepsinde yaw döndürme kuvveti kullanılır. Bu türbinlerde, rüzgara karşı elektrik motoru ve dişli kutuları kullanarak döndürülen türbini tutan bir mekanizma vardır. 750 kW'lık tipik bir türbinin yaw mekanizması Şekil 3.31'de verilmiştir. Türbin çalıştırıldığında, pervane kanadı (Şekil 3.32), konumunu belirli zaman aralıklarında elektronik kontrollere yaw mekanizması vasıtasıyla hareket ettirir [19].



Şekil 3.31 Yaw mekanizması [19]



Şekil 3.32 Yaw mekanizmasının türbin rotasını ayarlaması [19]

3.5.7 Elektronik Kontrolcü

Elektronik kontrolcü, rüzgar türbininin şartlarını sürekli olarak takip eden ve yaw mekanizmasını kontrol eden bir bilgisayar bulundurulur. Herhangi bir bozukluk (dişli kutusu veya jeneratörün aşırı ısınması gibi) durumunda türbini otomatik olarak durdurur ve türbin operatörü bilgisayara modem hattı ile çağrı mesajı gönderir [19].

3.5.8 Soğutma Sistemi

Jeneratörler çalışırken ısınır ve soğutma sistemine ihtiyaç duyulur. Türbinlerin çoğunda jeneratördeki hava kanallarından bir fan ile hava sirkülasyonu sağlanması metodu ile soğutulmaktadır. Soğutma birimi fanı elektrik jeneratörünü soğutur. Ayrıca dişli kutusunun yağını soğutan bir yağ soğutma birimini de bulundurulur. Bazı türbinler su-soğutmalı jeneratörlere sahiptir. Fakat birkaç üretici firma su ile soğutulan jeneratörler kullanırlar. Su ile soğutulan jeneratörler daha küçük yapılabilir. Ayrıca elektriksel olarak daha sorunsuz ve verimlidir. Ancak bu sistemde soğutma suyu için sıvı tankı gereklidir. Bu tankın veya radyatörün nacelleye yerleştirilmesi problem yaratır [19].

3.5.9 Platform ve Kule

Sistemin mekanize bölümlerinin tümünü üzerinde bulunduran platform, çelik konstrüksiyondan ve gürültü kirliliğini azaltmak amacıyla ses izolasyonlu olarak imal edilmektedir. Platformun kütlesi üzerindeki aksamlarla birlikte 12-82 ton arasında değişebilmektedir. Platform bir mil vasıtası ile konik veya bilyeli radyal rulmanlarla kuleye, çevresinde dönebilecek şekilde yataklandırılır. Kule yüksekliği rüzgar hızına etkili bir faktör olduğundan tasarımının hem çevrim sisteminin gücüne hem de mukavemetine göre yapılması gerekmektedir. Kule, sistem büyüklüğüne göre çelik koni boru, çelik kafes, çelik silindir, beton konik boru ya da silindir biçiminde imal

edilebilmektedir. Kule yükseklikleri 70 m'ye dek ulaşabildiğinden, kafes kulelerin dışındaki konstrüksiyonlar iki ya da üç parçalı olabilmektedir. Kafes kuleler görüntü kirliliği nedeni ile pek tercih edilmezler. Rotor 3-26 ton, gövde 10-56 ton ve kule ağırlığı 12-88 ton arasında değişmektedir. Türbin gücü, rüzgar hızının, süpürme alanının ve güç faktörünün fonksiyonudur. Rüzgar hızı yükseklikle arttığından, aynı çaplı bir rüzgar rotorunun daha yüksek kuleye yerleştirilmesi ile elde edilebilecek güç artmakta ise de, kule ağırlığının ve maliyetin artması bir sınır koymaktadır [19].

3.6 Rüzgar Türbinlerinin Bakımı, Güvenliği ve Çevreye Etkileri

3.6.1 Bakım

Modern rüzgar türbinleri 20 yıllık ömürlerinde 120000 saat çalışacak şekilde tasarlanırlar. Bu süre, bir otomobilin 4000-6000 saat çalışma aralığından çok daha fazladır. Danimarka'da 1975'den beri kullanılan 4400 türbin üzerinde yapılan çalışmalar, yeni üretim türbinlerinin bakım ve onarım maliyetlerinin eski üretim türbinlerin bakım ve onarım maliyetlerinden oldukça düşük olduğu görülmektedir. Eski Danimarka türbinlerinin yıllık bakım maliyetleri, türbin yatırım maliyetlerinin %3'ü dolayındadır. Yeni üretim türbinlerinde ise bu oran, yatırım maliyetlerinin %1.5-2 dolayındadır. Tek bir türbinin bakım maliyeti, bir rüzgar parkındaki türbinlerin bakım maliyetinden daha pahalıdır. Bazı rüzgar türbini parçaları bozulmaya ve değiştirilmeye, diğerlerinden çok maruz kalır. Bu, özellikle rotor kanatları ve vites kutusu görülür. Özellikle kanatlar, vites kutusu veya üreteç türbin fiyatının %15-20 arasında değişen kısmını oluşturur. Türbinlerin 20 yıllık tasarım ömrü üreticiler tarafından belirtilmektedir. Ancak gerçek ömür hem türbin kalitesine hem de lokal klimatolojiye bağlıdır. Örneğin, sitedeki türbülans miktarı gerçek ömrü önemli oranda belirleyen değişkendir [19].

3.6.2 Güvenlik

Büyük modern rüzgar türbinlerinde normal olarak konik çelik boru şeklinde kuleler kullanılır. Bu kulelerin kafes kulelere göre en büyük üstünlüğü, daha güvenli olması ve rüzgar türbininin bakım ve onarımını personel tarafından daha rahat ve güvenli yapılmasını sağlamasıdır. Kusuru ise, maliyetinin yüksek olmasıdır. Kafes tipi kulelerin

en büyük kusurları, rüzgar çiftliğine daha az uygun olması ve bakım onarım sırasında yanına ulaşılabilirliğin zor olmasıdır. Bakım, onarım ve servis için güvenlik açısından bazı sakıncalar içermektedir. Kule yüksekliğinde, türbinleri kurarken ve bakım-onarım çalışması yaparken tehlikeli sonuçlar doğurabilir. Fakat yeni rüzgar türbinlerinde personelin düşmemesi için inerken ve çıkarken her türlü güvenlik önlemi alınmıştır. Bakım anında makinelerin tamamen durdurulması gerekmektedir. Kritik parçaların bozulması durumunda veya şebekeden ayrılma durumunda, rotorun ve türbinin durması gerekmektedir. Bu durma olmazsa, rotor çok kısa sürede hızlanmaya başlayacaktır. İşte bu durumlarda aşırı hızlanma koruması olmalıdır. Yeni modern türbinlerde bu önlem mevcuttur [19].

3.6.3 Çevreye Etkileri

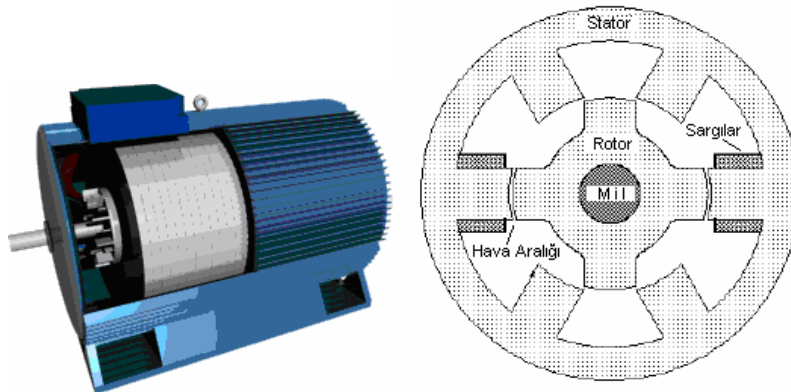
Rüzgar enerjisi temiz bir kaynaktır. Bugün dünyanın en önemli çevre sorunu atmosferdeki CO₂ artısından ve sera etkisinden kaynaklanan küresel ısınmadır. Oysa, rüzgar santralleri CO₂ emisyonu olmayan santrallerdir. Rüzgarın temiz kaynak olması, olumsuz çevre etkilerinin hiç bulunmaması demek değildir.. Ancak sıralanacak olumsuzluklar, yok sayılacak düzeylerde değildir. Yine de rüzgar projelerinin araziye uyumlu ve yerel toplumların danışmanlığıyla geliştirilerek hazırlanması önem taşımaktadır. Bu yolla kamuoyunun desteği de sağlanacaktır. Rüzgar tarlalarının geniş alan istemesi bir sorun gibi gözükebilir. Tek türbin açısından bakıldığında alan gereksinimi 700-1000 m²/MW düzeyindedir. Rüzgar tarlalarının birim kurulu güç başına toplam alan gereksinimi ise, bunun 150-200 katı üzerinde olup, tarla özgül alanı 0.1-0.2 km²/MW arasındadır. Ancak, rüzgar tarlalarında türbinlerin kapladığı gerçek alan, tarla toplam alanının %1-1.2'si kadardır. Türbinlerin aralarında yetiştiricilik yapılabildiğinden, arazi kaybı söz konusu değildir. Rüzgar çiftliklerinin görsel ve estetik olarak kişileri rahatsız etmesi, gürültü yapması, kus ölümüne neden olması, gerek radyo ve gerekse TV alıcılarında parazitler oluşturması gibi olumsuz çevre etkileri ile kaza olasılıkları vardır. İngiltere'de büyük rüzgar çiftlikleri (10 türbinden fazla veya 5 MW'ın üzerinde) çevre sorunları nedeni ile milli park alanlarının sınırları içinde kurulamıyorlar. Görüntü kirliliğini engellemek ve estetik görünüm için kafes kulelerin yerini boru kuleler almıştır. Türbinlerin haberleşmede parazit oluşturması ise 2-3 km'lik alanla sınırlı kalmaktadır. Ancak, rüzgar türbinlerinin kuşlar için ölüm tuzağı olması

önlenememektedir [19].

Rüzgar türbinlerinden yayılan gürültü iki kaynaktan üretilir. Mekanik gürültü, dişli kutusu, jeneratör ve yedek motorların oluşturduğu gürültüdür. Aerodinamik ya da geniş bant gürültüsü, makinenin kanatları üzerinden hava geçerken oluşur. Mekanik gürültü, akustik kılıfların ve özel dişlilerin dönen parçalarının ses emici malzeme ile kaplanması gibi birçok standart tekniğin kullanılması ile azaltılabilir. Aerodinamik gürültü ise, hava içinde hareket eden kanatların hızına bağlı olarak artar. Gürültü etkisi, topografik ve ikamet edilen bölgelerin yakınındaki yerlere göre rüzgar türbinlerinin dikkatli yerleştirilmesi ile kolayca azaltılabilir. Rüzgar çiftliği içerisindeki ses, geliştirilmiş türbinlerin bulunduğu ortamda bile 85 dB düzeyindedir. Araba içerisindeki gürültü ise 80-90 dB kadardır. Rüzgar tarlaları ile yerleşim birimleri ve konutlar arasındaki uzaklığın 300 m'den az olmaması, standart 400 m olması gürültü korumasını sağlamakta, bu koşulda var olan taban gürültüye 5dB daha gürültü eklenmektedir. Böylece, 400 m uzaklıkta gürültü kirliliği 36.9-56 dB olarak kaydedilmiştir [19].

3.7 Rüzgar Jeneratörleri

Basit bir jeneratörün çalışma prensibi; ilk olarak rotordan bir hareket sağlanır. Örneğin rüzgar veya su vs. gücüyle türbin rotor miline hareket verilir. Verilen hareket sonucu, rotor sargılarındaki elektronlar göreceli olarak hareket ettiği için geleneksel motor durumunun tersi yönde bir döner manyetik alan oluşturur. Bu alan statorda elektrik akımı indükler ve statordan elektrik akımı çekilmeye başlanmasıyla elektrik enerjisi üretilmiş olur (Şekil 3.33).



Şekil 3.33 Basit bir jeneratör ve stator-rotor aksamı [19]

Genellikle rüzgar, pervaneyi bir dişli kutusu üzerinden hareket ettirerek elektrik

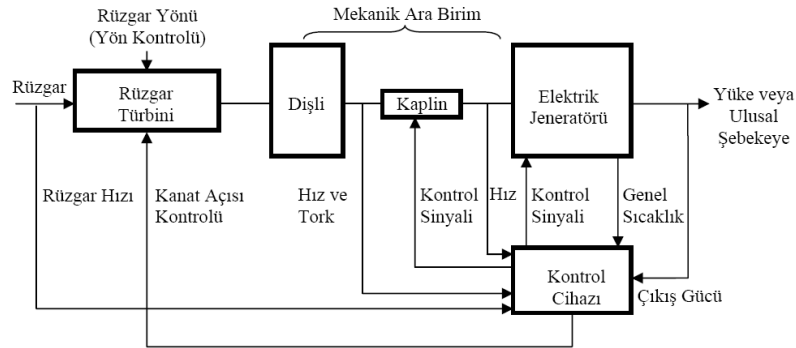
jeneratörünü sürer. Dişli teknolojisinde ortaya çıkan gelişmeler ve düşük hızlı elektrik jeneratörlerinin maliyetinin yüksek olması, küçük sistemler dışında pervanenin jeneratör tarafından doğrudan sürülmemesi eğilimine yol açmaktadır [19].

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

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

Rüzgar elektrik sisteminin genel bileşenleri Şekil 3.34’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 göre bir yüke veya güç şebekesine bağlanır [19].



Şekil 3.34 Rüzgar elektrik sistemi genel bileşenleri [19]

Rüzgar türbinlerinde genel olarak iki tip jeneratör kullanılır. Bu jeneratörler;

1. DC (Doğru Akım) Jeneratörler
2. AC (Alternatif Akım) Jeneratörler
 - a) Senkron Jeneratörler (Alternatörler)
 - b) Asenkron (Endüksiyon) Jeneratörler

3.7.1 DC Jeneratörler

Küçük güçlü sistemlerde eskiden çok fazla kullanılan doğru akım jeneratörleri şimdi genellikle senkron veya asenkron jeneratörler ile değiştirilmektedir. Bu jeneratörler, bir değiştirici yardımıyla alternatif akıma dönüştürebilen doğru akımı üretir [19].

DC jeneratörlerde devamlı olarak pozitif çıkış elde edilir. Dönen kontaklar sonuçta düşük güvenilirlik ve yüksek bakım maliyeti ister. Bu özellik DC makinenin bir dezavantajıdır, fakat kolay hız kontrolü sağlamasından dolayı 1980'lere kadar büyük oranda kullanılmıştır. DC jeneratörler Küçük ve lokal rüzgar işletmelerinde kullanılmaktadır. DC jeneratörler, komütatör, fırça bakım problemleri yüzünden gözden düşmüştür [19].

Bugünlerde DC makineler genellikle sabit mıknatıslı olarak kullanılmaktadır. Rotor sürekli manyetik akıyı sağlayan sabit mıknatıslardan oluşur. Stator ise iletken sarımlarından oluşur ki üzerinde gerilim indüklenen kısımdır. Elde edilen gerilim daha sonra yarı iletken doğrultucularla doğrultulur. Sürekli mıknatısla elde edilebilecek manyetik alan sınırlı olduğundan dolayı fırçasız DC makineler 100 kW'a kadar imal edilebilmektedir [19].

3.7.2 Senkron Jeneratörler

Sabit hızlı bir hareket vericiden yararlanarak sabit frekanslı AC elektrik üreten senkron makinelerin teknolojisi yaygın ve gelişmiş özelliktedir. Jeneratör, makinedeki kutup sayısı ile ilgili senkron hız adı verilen sabit bir hızda çalışmalıdır.

Senkron makinelerin şebeke ile paralel çalışması için üretilen hız sabit olmalıdır ve %1-2 oranındaki çok küçük dalgalanmalar saniyenin bölümleri gibi yalnızca çok kısa süreler için kabul edilebilir. Rüzgar sürücülü senkron makinelerde, bu koşulun yerine getirilmesi aşağıdaki nedenlerden dolayı zordur.

- Rüzgar girişindeki sürekli dalgalanmalar,
- Elektriksel çıkışın hız değişimlerine duyarlılığı,
- Makinenin şebekeden güç çekme ve motor olarak çalışma gibi özellikleri,

Bu problemler jeneratör mili ile dişli kutusu arasında uygun bir kuplaj kullanılarak aşılabilir. Maksimum torka sınırlama getiren kuplajlar, en iyi performansı ortaya çıkarır.

Elektriksel güç üretmekte en çok kullanılan kendini kabul etmiş bir makinedir. Senkron makine, sabit hıza bağlı olarak sabit frekansta çalışır. Bu sebepten dolayı değişken hızlı rüzgar türbin uygulamaları kullanımı için uygun değildir. Senkron makinenin ideal kullanımı, güneş enerjili güç alanları ile birlikte sabit hızda kullanılmasıdır. Şebekeye bağlı sistemlerde kullanılması, reaktif güç ihtiyacı olmamasından dolayı uygundur [19].

3.7.3 Asenkron jeneratörler

Elektriksel güç endüstrisinde en fazla kullanılan makinedir. Teknolojik gelişmelere paralel olarak geliştirilmiş ve kullanımı artmıştır. Öncelikli avantajı endüksiyon makinelerin bakıma ihtiyaç duymayan fırçasız yapısı ve DC alan güç paylaşımına ihtiyaç duymamasıdır. Bu avantajlarından dolayı, senkron ve DC makinelerin kullanımı azalmıştır. Ayrıca düşük maliyeti ve geçiş performansının yüksek olması endüksiyon makinelerin kullanımını arttırmıştır.

Rüzgar sürücülü endüksiyon jeneratörünün çıkışı yalnızca işletim hızıyla belirlenir. Çıkışı nominal değeri aştığı zaman kanat açısı kontrolü çalışmalı ve çıkışı sınırlamalıdır.

Değişken hızlı bir rüzgar türbininden sabit frekanslı çıkış elde etmek için sabit hız, sabit frekanslı üretim türü gereklidir. Endüksiyon jeneratörlerin ekonomikliği ve güvenilirliği birçok rüzgar sistemlerinde kullanımını arttırmıştır [19].

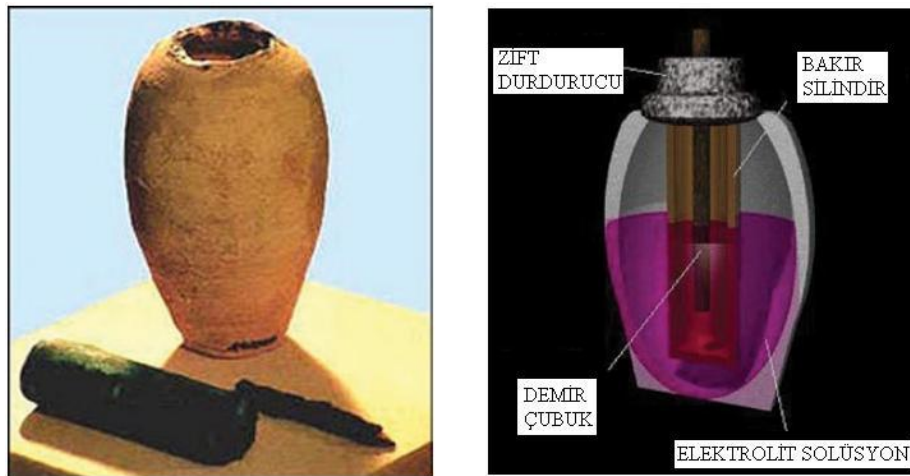
Bu jeneratörün belli başlı avantajları;

- Tesisi ucuzdur.
- Dönen kontaklar yoktur, bu nedenle başlatma kolaydır.
- Şebekeye bağlantı kolaylığı mevcuttur.
- Şebekeye bağlandığı zaman salınımlar oluşmaz [19].

BATARYALAR

4.1 Enerji Depolama Sistemlerinin Tarihçesi

1930’larda Bağdat yakınlarında Khujut Rabu’da yapılan kazı çalışmalarında bulunmuş olan toprak kavanozların milattan önce 250 yılına ait olduğu sanılmaktadır. Bu kavanoz 14 cm büyüklüğünde ve içerisinde bakır bir silindirin tabanında bakır bir disk ve ziftle kaplanmıştır. Asfalt bir durdurucuyla demir bir çubuk silindirin ortasından içeri girmiş ve silindirin açık tarafı kapatılmıştır. Çubuğun, şarap, üzüm suyu veya sirke gibi asidik bir karışımla çürüdüğü bulgusuna varılmıştır. Alman arkeolojist Dr. Wilhelm Konig’in teorisine göre bu toprak kavanozlar galvanik piller veya elektriksel kaplamayla gümüş ile bakırı yaldızlamak için batarya olarak kullanıldığı yönündedir. Bu teorisini güçlendiren bulguları daha önceki kazı çalışmalarında gümüşle kaplı bakır vazolardır. Farklı görüşler ise (Şekil 4.1), bu kavanozların mücevher yapımında kullanıldığı ve önemli parşömenleri saklamak için kullanıldığı yönündedir [31].



Şekil 4.1 Bağdat Bataryası [31]

1651 Alman kimyager Johann Rudolf Glauber'ın "Sabit sıcaklıkta uygulama" adlı kitabında güvenlik vanasını kimyasal damıtma işlemi için anlatmaktadır. Bugün Glauber'ın vanasını pillerin kaçakları engellemek için mühürlerken kullanıyoruz. 1681 Fransız fizikçi ve kaşif Denis Papin basınçlı kazanlardaki patlamaları önlemek için kullanılan basınçlı vanaları bulmasıyla tanınmıştır. 1745 Hollandalı fizikçi ve matematikçi Pieter van Musschenbroek ve öğrencisi Andreas Cunaeus Leyden, Hollanda'da adını Leyden kavanozu koydukları elektrik depolamaya yarayan bir şişe yapmaya çalışmışlardır. Benzer bir alet ise aynı zamanda Ewald Jurgens Von Kleist Dean tarafından icat edilmiştir. Büyük bir kapasitör icat etmiştir ve bu İngiliz astronom John Bevis tarafından 1747 yılında geliştirilmiştir. 1700lerin ortasında Alman matematikçi, fizikçi ve Göttingen Üniversitesi'nde doktor olan Johann Andreas Segner reaktif bir su türbini (Segner tekeri) icat etmiştir, günümüzde küçük su tesisleri için kullanımı devam etmektedir. 1752 Johann Georg Sulzer daha sonra batarya dil testi olarak bilinen bir buluş yapmıştır. İki ayrı metali dilinin her bir yanına değdirerek karıncalanma algısı hissettiğini fark etmiştir. Bu sayede pilin dolu olup olmadığını kontrol etmiştir. 1752 Benjamin Franklin yıldırım çubuğunu keşfetmiştir. Elektrik akışkan teoremini öne sürmüştür ve mesleki bir dille anlatmıştır. Akımın pozitif ve negatif şarj olması, iletkenler, armatür, elektrik şoku ve bugün kullandığımız bataryayı açıklamıştır. 1757 Fransız botanikçi Michel Adanson Leyden kavanozunun deşarjı ile karşılaştırılabilecek kedi balığı deşarjı teorisini öne sürmüştür. Bazı balıkların elektrik şoku verebileceği ilk çağlardan beri bilinmektedir. 1759 Alman matematikçi Franz Maria Ulrich Theodosius Aepinus Elektrik ve Manyetizma Teorisine Giriş adlı kitabını yayınlamıştır. 1772 John Walsh, Michel Adanson'un elektrik yılanından bir kıvılcım elde edileceği teorisini ispatlamıştır. Walsh'un deneyinin Galvani etkilediği oldukça muhtemeldir. Galvani kurbağalarla kendi deneylerine başlamıştır. 1786 İtalya'da Bolonya Bilim Akademisi anatomi profesörü, Luigi Galvani bugün bildiğimiz elektriğin temelini ölü kurbağalarla yaptığı deneylerden elde ettiği sinir dürtüleri ile ispatlamıştır [31].

1800 İtalya'da Pavia Üniversitesi'nde Alessandro Volta kimyasal elektrik pili keşfetmiştir ve elektriği üreten/depolayan ilk pratik metodu bulmuştur (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Volta kimyasal elektrik pili [32]

1800 İngiliz bilimci, William Nicholson ve Anthony Carlisle, Volta'nın kimyasal bataryası ile çalışırken kazara elektrolizi keşfetmişlerdir ve elektrokimya bilimine önyak olmuşlardır. 1803 Alman fizikçi Johann Wilhelm Ritter tekrar şarj edilebilir bataryayı ispatlamıştır ve polarizasyonu tanımlayan ilk bilim adamı olmuştur. Ne yazık ki bu dönemde voltaik pil dışında şarj edecek hiçbir yol yoktu. 1807 Humphry Davy 250 pil kullanarak o dönemde kurulan en büyük bataryayı yapmıştır. Bir sonraki yıl Davy bataryasını ark lambası inşa etmekte kullanmıştır. 1812 Venedikli papaz ve fizikçi Giuseppe Zamboni ilk yüksek gerilimli kaçaksız kuru bataryayı veya uç gerilimi 2000 voltun üzerinde olan Zamboni pilini geliştirmiştir. Tamamen bitmeden elli yıl boyunca şarjı dayanmakta olmasına rağmen kullanılabilir akım çok düşüktü (yaklaşık 10^{-9} A). 1816 İngiliz kimyager William Hyde Wollaston maliyet yüksek metal tabakaları pillerdeki elektrolitten yukarı çekmeye yarayacak bir sistem inşa etmiştir. Rezerv bataryanın öncüsü olmuştur ve bu sistem 19. yüzyılda birçok batarya üreticisi tarafından taklit edilmiştir. 1820 Amerikan kimyager Robert Hare spiral sargılı elektrot kullanarak yükseltilmiş yüzey alanı ve yüksek akım galvanik bataryayı bulmuştur. 1821 Prusyalı fizikçi Thomas Johann Seebeck bir metal bir çubuğun bir ucu ısıtılıp diğer ucu soğutulduğunda iki uç arasında bir gerilim olduğunu keşfetmiştir. Bu termoelektrik etkisi günümüzde Seebeck etkisi olarak veya Peltier-Seebeck etkisi olarak adlandırılır ve elektrikli ısıtıcı elementleri oluşturan termokupl ve termopillerin temelini oluşturur. 1828 Fransız fizyolog ve biyolog Rene Joachim Henri Dutrochet yarı geçirgen çeper kullanarak ozmoz bulmuştur. 1828 Fransız mühendis Claude Bourdin word türbinini bulmuştur. Bilindik eski tip su türbinlerinden ve su değirmenlerinden farkı suyu girdap yaparak döndüren bir bileşenin olması ve enerjiyi döner rotora bu şekilde iletmesidir.

1832 Londra'daki Kraliyet Enstitüsü'nde Michael Faraday at nalı mıknatısının uçları arasında dönen bir bakır disk kullanarak Faraday diski olarak adlandırılan küçük bir doğru akım üretti. 1836 İngiliz kimyager John F. Daniel polarizasyonu olmayan ilk pili üreterek tanınmıştır. Daniel pilinde iki elektrolit kullanmıştır ve Fransız fizikçi Antoine-César Becquerel tarafından 1829 yılında bulunan Sabit Akımlı Pile çok benzemektedir. 1839-1842 Sir William Robert Grove ve Bunsen bataryalarda sıvı elektrot kullanarak elektrik üretmişlerdir. En başarılı deneyleri Grove (1839) ve Bunsen (1842) yapmıştır. 1853 MosesGerrishFarmer gelişmiş bataryanın patentini almıştır. 1859-1860 Fransız mucit, Gaston Plante ilk pratik tekrar şarj edilebilen kurşun asit bataryayı bulmuştur. Bugün arabalarda kullanılan bataryaların temelini oluşturur. 1866-1868 Fransız demiryolu mühendisi Georges Leclanché ilk pratik batarya ürünün üretilmiştir ve Leclanché pili olarak ticarileştirmiştir. 1872 İngiliz elektrik mühendisi Josiah Latimer Clark Standart Pilini bulmuştur. 1874 M. Clamond isimli Fransız Clamond Seebeck etkisini temel alarak pili veya termopil olarak bilinen termo-elektrik bataryayı keşfetmiştir. 1879 İngiliz mucit Henry Albert Fluess bir “kapalı devre” sistemi geliştirmiştir ve o dönemde rebreather olarak adlandırılmıştır. 1880 Fransız Emile Alphonse Fauré kurşun asit bataryaların üretimi için patent almıştır. 1881 J.A. Thiebaut Leclanché pilini geliştirmiştir ve çinko bir bardak içine yerleştirilmiş geçirgen bir kap ve negatif elektrodun birlikte olduğu ilk bataryanın patentini almıştır. 1881 Carl Gassner ticari açıdan en başarılı olmuş kuru pil batarya olan çinko-karbon pili bulmuştur. 1882 Fransız kimyager Felix de Lalande ve Georges Chaperon, Lalande-Chaperon pili olarak bilinen ilk alkalin elektroliti bulmuşlardır. 1892 İngiliz doğumlu Amerikalı kimyager Edward Weston, Weston Standart Pili olarak bilinen doymuş kadmiyum pilini bulmuş ve patentini almıştır. 1896 Amerikalı mühendis William W. Jacqueskarbon bir batarya geliştirmiştir. 1897 Alman araştırmacı W. Peukert, Peukert eşitliği olarak bilinen $C=I^nT$ 'yi deneysel kanununu geliştirmiştir. Bu kanun bir batarya ne kadar hızlı deşarj olursa kullanılabilir kapasitesinin o kadar düşük olduğunu gösterir. 1899 Waldmar Jungner tekrar şarj olabilen ilk nikel-kadmiyum bataryayı üretmiştir [31].

1900-1901 yıllarında Thomas Edison tekrar şarj olabilen alkalin nikel-demir pilinin patentini almıştır. 1901 Rus Michaelowski tekrar şarj olabilen nikel-çinko bataryanın patentini almıştır. 1915 Willard Batarya Depolama Şirketi plaka ayırıcıları ve sert

kauçuk kılıflarla otomotiv kurşun bataryaları geliştirmiştir. 1915 Fransız fizikçi Charles Fery hava manyetikliğini yok eden alternatif bir batarya geliştirmiştir. 1932 İngiliz makine mühendisi Francis Thomas Bacon ilk pratik yakıt pili sistemini geliştirmiştir. 1941 Amerikalı mucit B.N. Adams suyla aktive olan bataryanın patentini almıştır ve 1943 yılında ödül almıştır. 1944 Amerikalı bağımsız mucit Samule Rubenciva butonlu pili geliştirmiştir. Philip Rogers Mallory'nin sahip olduğu bir şirket tarafında lisansı alınmıştır. Ruben ve Mallory daha sonra Duracell Şirketini kurmuştur. 1947 Fransız Neumann nikel-kadmiyum batarya için farklı formasyonlara daha çabuk dönüşebilmesini sağlayacak bir mühürleme geliştirmiştir. 1949 Kanadalı Lew Urry küçük alkalin bataryayı keşfetmiştir. 1951 Amerikalı Philip Edwin Ohmart radyoaktif enerjiyi direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren ilk nükleer bataryayı bulmuştur. 1954 Gerald Pearson, Calvin Fuller veDarylChapin ilk güneş pilini keşfetmişlerdir. 1959 Kanadalı LewUrry ilk modern Alkalin bataryasının patentini almıştır. Bildiğimiz bataryalar Ever Ready ve Duracell şirketleri tarafından 1968 ve 1970 yıllarında tanıtılmıştır. 1964 Rus Dr. N.V.Geuliailk süper volan bataryanın patentini almıştır. 1971 Amerikalı araştırmacı mühendis Henry Thomas Sampson Gamma Elektrik Pilinin patentini almıştır. 1978 Almanya Huntorf'ta her ne kadar (CAES) teknolojisi 20 yıldır kullanılıyor olmasına rağmen, ilk 290 MW'lık CAES sistemi inşa edilmiştir. 1979 Amerikalı araştırmacı John B. Goodenough Oxford Üniversitesi'nde Lityum-ion tekrar şarj olabilen batarya teknolojisini mükemmelleştirmiştir. 1980 İngiltere Atomik Enerji Uzmanları ilk Zebra Sodyum/Nikel Klorür pilinin patentini aldılar. 1988 Kaliforniya'da Güney Kaliforniya Edison (SCE) tarafından inşa edilen 40MWH'lık kurşun asit yük dengeleyici batarya 4 saat boyunca (10 MW) 2000 Volta 5000 A iletmıştır. 1989 Amerikalı fizikçi Paul M. Brown nükleer enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren Betavoltaik bataryanın patentini aldı.1991 İsviçre Birleşik Teknoloji Enstitüsü'nde Michael Grätzel ve iş arkadaşları güneşle şarj olan Grätzel güneş pilinin patentini aldı. 1992 Avusturyalı Karl Kordesch yeniden kullanılabilir alkalin veya tekrar şarj olabilen alkalin mangan bataryanın (RAM) patentini aldı. 1993 Lawrence Livermore Laboratuarlarında çalışan John Cooper tekrar doldurulabilen çinko hava bataryanın patentini almıştır. 1994 Bellcoreplastik lityum-ion (PLI) teknolojisinin patentini almıştır. 1995 Pouchpili PLI teknolojisi ile yapılmıştır.1995 David Clifton ve Joe Pinkertonkurşun asit bataryaya alternatif olarak çelik volanlı düşük bütçeli bir motor-generatör tasarlamışlardır. 1996 Johns Hopkins Üniversitesi'ndeki araştırmacılar

Theodore O. Poehler ve Peter C. Sears tamamen plastik bataryayı ispatlamışlardır. Kolay üretileceği ve ucuz olacağı iddialarına rağmen, şimdiye kadar kullanımı yaygınlaşmamıştır [31].

2000 Harvard eğitilmiş doktor ve kimyager ayrıca biyoteknoloji ve elektrik mühendisliği eğitimi de almış olan Dr. Randell Lee Mills Hidrin (Hidrojenin normalden daha düşük enerjiye sahip olduğu formu) Hidrat Bataryayı önermiştir. Bu işlemle üretilen hidrinler kendine has fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olur ve bir çok yeni uygulamayı gerçekleştirebilir. 2003 Kaliforniya Üniversitesi'nde "akıllı toz" adında çok küçük robotlar yapılmaya başlandı. Bu robotlar bir kum tanesinden daha küçüktür ve nano bataryalar sayesinde hareket etmektedir. 2003 Alman çok ortaklı grubu RWE, Ulusal Güç'ün yeni sahipleri kendi kendine şarj olan batarya projesinden vazgeçti. Proje 14 yılda harcanan 250 milyon dolara rağmen tamamlanamadı. 2003 Dünyanın en büyük bataryası Alaska'nın ikinci en büyük şehrine Fairbanks'a acil enerji ihtiyacını karşılamak için kuruldu. Batarya 40 MW gücünde ve yaklaşık olarak 12.000 insana 7 dakikaya kadar enerji sağlayabilmektedir. 2003 Finlandiyalı maden uzmanı Rainer Partanen tekrar şarj olabilen alüminyum hava bataryasının patentini aldı ve nanoteknoloji kullanarak çok yüksek yoğunlukta çalışmasını sağladı. 2004 Toshiba cep telefonlarını çalıştırabilecek kadar küçük direkt metanol yakıt pilini üretti. 2005 Singapur Biomühendislik ve Nanoteknoloji Enstitüsü'nde çalışan Koreli biomühendis, idrarla çalışan kağıt bataryayı geliştirdi. Avantajı, diyabet ve diğer hastalıklar için ev sağlık testlerinde kullanılmak üzere basit, ucuz ve harcanabilir bir güç kaynağı olmasıdır. 2005 Japonya'da NEC'de çalışan Masaharu Satoh düşük kapasiteli küçük ışık yüklü ve yüksek güçlü bir batarya üretti. Organik Radikal Batarya (ORB) olarak adlandırılan bu batarya çok kısa bir süre çalışabilmesine rağmen 100°C'de şarj ve deşarj olabilmektedir [31].

4.2 Bataryaların Genel Karakteristikleri ve Uygulamaları

Bataryalar, portatif elektrik ve elektronik araçlar, aydınlatma, iletişim araçları, duyma aletleri, saatler, oyuncaklar, hafıza yedekleme ve daha birçok geniş uygulama alanlarında elektrik şebekesine bağımlılığı azaltan uygun güç kaynaklarıdır. Bataryaların en büyük avantajları, basit olması, kolay kullanımı, çok az bakım ihtiyacı ve uygulamaya ayarlanıp şekil verilebilmesidir. Diğer genel avantajları arasında iyi

rafömürleri, makul enerji ve güç yoğunluğu, güvenilirliği ve kabul edilebilir fiyatıdır [33].

Bataryalar 100 yılı aşkın bir süredir kullanımdalar, fakat 1940 yılına kadar geniş alanda kullanılan batarya tipi çinko-karbon batarya olmuştur. İkinci Dünya Savaşı sırasında ve savaş sonrası dönemde, sadece çinko-karbon bataryada değil yeni ve üstün batarya tiplerinde kayda değer gelişmeler yaşanmıştır [33].

1970-90 yılları arasında elektronik teknolojisinde yaşanan gelişmelerin etkisi ile eş zamanlı olarak batarya sektöründe önemli gelişmeler yaşanmıştır.

4.3 Şarj Edilebilir Batarya Çeşitleri

Bu çalışmada başlıca incelenecek bataryalar kurşun asit bataryalar, nikel kadmiyum bataryalar, nikel metal hidrit bataryalar, nikel demir bataryalar, lityum iyon bataryalar, lityum iyon polimer bataryalar, vanadyum redoks bataryalar ve sodyum sülfür bataryalardır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Pensilvanya'da rüzgar türbini ile çalışan batarya grubu (40 adet) [34]

4.3.1 Kurşun Asit Bataryalar

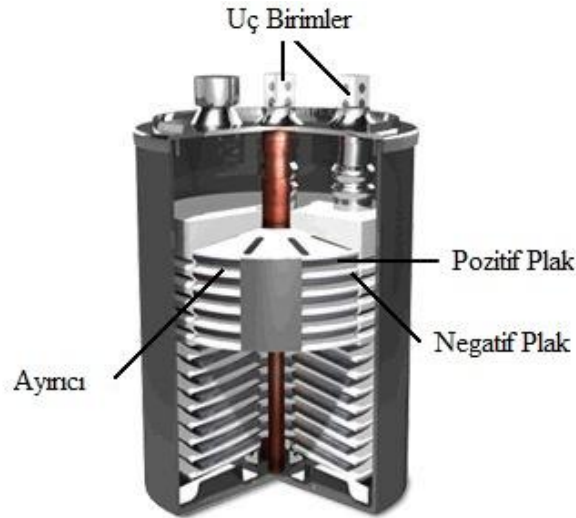
Kurşun asit bataryalar 1859 yılında Gaston Plante tarafından bulunmuş ve 1860 yılında Fransız Bilim Akademisinde gösterilmiştir. Sağlam ve ucuz olmaları sayesinde otomotiv sektöründe kullanılmıştır. Kurşun asit bataryalar genellikle çok büyük, ağır ve

kısa ömürlüdürler (Şekil 4.4). Kullanımlarının asıl sebebi diğer bataryalara nazaran ucuz olmalarıdır [35].

Bulunuşundan 150 yıl geçmesine rağmen hala karakteristiklerinde iyileştirmeler yapılmaktadır, dezavantajlarına ve yeni bulunan birçok bataryaya rağmen kurşun asit hala pazarda aslan payına sahiptir [35].

Avantajları; maliyeti düşük, güvenilir, sağlam, yüksek akım verebilmekte, birçok farklı kapasitelerde bulunabilir, birçok üreticiye sahip ve dünyanın en çok geri dönüştürülen ürünlerinden birisidir [35].

Dezavantajları; çok ağır ve yer kaplamakta, şarj verimi düşük, şarj ederken ısınma sorunu ve bununla beraber getirdiği soğutma masrafı, hızlı şarja uygun değil ve kullanım ömrü azdır [35].



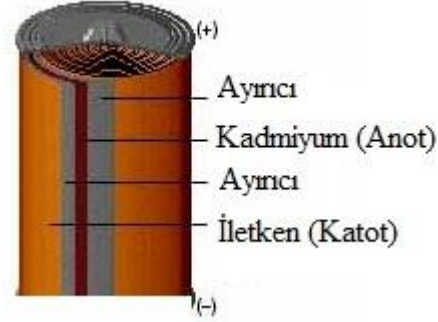
Şekil 4.4 Kurşun Asit Batarya iç yapısı [36]

4.3.2 Nikel Kadmiyum Bataryalar

1899 yılında bulunmuştur fakat 1960'ların başlarında tanıtılmıştır. Boyut olarak küçük ve yüksek deşarj kapasitesiyle portatif ürünlerde tercih edilmiştir (Şekil 4.5). Pazar payını nikel metal hidrite kaptırmıştır [35].

Avantajları; düzgün deşarj karakteristiği, batarya kapasitesi tümüyle kullanılabilir, şarj olurken ısınmaz ve çok yüksek kapasitelerde bulunabilirler. Dezavantajları; hafıza etkisine aşırı duyarlıdırlar. Batarya tam olarak deşarj olmadan tekrar kullanıldığı takdirde çok hızlı deşarj olmaya başlar bunu önlemek için batarya ek deşarj devresi

gerekmektedir. Maliyeti aynı kapasitelerdeki kurşun asit bataryanın 4-5 katı kadardır[35].



Şekil 4.5 Nikel Kadmiyum Bataryanın yapısı [37]

4.3.3 Nikel Demir

1900 yılında Thomas Edison tarafından bulunmuştur. Çok sağlam bir bataryadır ve ömrü uzundur [35].

Avantajları; çok dayanıklıdır, tamamıyla deşarj edilebilirler, ölü durumda bırakılabilirler nikel demir bataryalar bu durumdan etkilenmez, 30 yıla yakın ömrü vardır [35].

Dezavantajları; sadece düşük gerilimlerde bulunurlar, çok ağır ve hantaldır, yavaş şarj olurlar ve çok yüksek özgül kayıpları vardır [35].

4.3.4 Nikel Metal Hidrit

1986 yılında Stanford Oushinsky tarafından patenti alınmıştır. Teknolojisinin olgunlaşmasıyla, yüksek gerilimlerde otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. Enerji yoğunluğu kurşun asit bataryaların iki katı ve nikel kadmiyum bataryalardan ise %40 fazladır. Yüksek şarjda ve deşarjda sorun yaşamazlar [35].

Kurşun asit batarya ve nikel kadmiyum bataryadan pahalıdır fakat çevreye karşı duyarlıdırlar. Pazar paylarını lityum iyon bataryaya kaybetmektedirler [35].

Avantajları; tamamıyla deşarj edilebilirler, dayanıklıdırlar, düzgün deşarj karakteristiği, civa veya kurşun içermez [35].

Dezavantajları; yüksek özgül kayıp, hafıza etkisi vardır fakat nikel kadmiyum kadar etkili değildir ayda bir %0'a kadar deşarj edildiğinde hafıza etkisinden etkilenmez,

doluluk oranı %50'nin altına düştüğünde performansı oldukça düşer, kaynağı nadir ve sadece Çin'de bulunur, nikel kadmiyumdan daha pahalıdır [35].

4.3.5 Lityum Bataryalar

Karakteristikler; Lityum suda batmayan en hafif metaldir. ayrıca çok yüksek elektrokimyasal potansiyele sahiptir bu da lityumu en reaktif metal yapar. bu özellikler lityumu potansiyel olarak yüksek enerji ve güç yoğunluklarında çalışabilmesine sağlar [35].

Tarih; Lityum bazlı şarj edilebilir bataryalar ilk olarak 1970lerde piyasaya çıkmıştır ve bir çok uygulamada örneğin; cep telefonları, dizüstü bilgisayarlar, kameralar ve diğer elektronik ürünlerde kullanılmaktadırlar. Birçok performans avantajının sayesinde çoğu yüksek güçlü uygulamada da tercih edilirler [35].

Sıvı elektrolit içermezler böylelikle sızıntısı yoktur. Çok yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir (kurşun asidin yaklaşık olarak 4 katıdır). Örneğin 750 kg'lık kurşun asit batarya yaklaşık olarak 200 kg lityum bataryaya eşit enerji üretir. 1000 Ah'ye kadar üretilirler [35].

Hızlı şarja uygundur. çok düşük özgül kaybı vardır. 10 yıla kadar kapasitesini korur. Hafıza etkisi yoktur. Küçük devirleri tolere eder. 1000-3000 arası derin devir yapabilir. Nikel bataryalar gibi onarıma ihtiyaç duymaz. 500 mAh'den 1000 Ah'ye kadar, 100'ün üzerinde üretici tarafından üretilirler [35].

Dezavantajları; yüksek güçlü uygulamalarda kurşun asit bataryaya göre fiyat belirli oranda yükselir. Bu yüzden bu uygulamalara yatırımı engellemesine rağmen, lityum bataryalar bu uygulamalarda da kullanılmak üzere maliyetleri düşürülmeye çalışılmaktadır [35].

Bataryanın şarj durumunu öğrenmek gerçekten çok karmaşıktır. Basit batarya gerilimi ölçümüyle tahmin yürütülerek ölçülür. Fazla maliyetli kulomb sayma tekniği de tercih edilebilir [35].

Avantajlarının yanı sıra dezavantajları çok fazla dikkate alınmadığından artık günümüzde bir çok alanda kullanılmaktadırlar [35].

Şarj işlemi; düzenli olarak şarj edilmesi gerekmektedir. Aşırı şarjı tolere edemez. Kısa

kısa şarj tam şarjdan daha etkilidir.

Maliyeti kurşun asit bataryaya göre 3-4 kat daha pahalıdır, ancak ömrü yine kurşun asit bataryaya nazaran 5-10 kat daha fazladır. Başlangıç maliyeti ve çalışma ömrü dikkate alınarak ikisi arasında tercih yapılabilir [35].

4.3.5.1 Lityum İyon Bataryalar

Lityum iyon bataryalar yüksek oranda reaktif özelliklere sahip (Şekil 4.6), lityum metalinin güvenlik problemlerini yenebilecek şekilde tasarlanmıştır [35].

Lityum iyon pillerinin hafıza etkisi yoktur, uzun ömürlüdürler ve mükemmel deşarj performansları vardır. Güvenlik sebepleri sebebiyle şarj kontrol devresine ihtiyaç duyarlar. Çok yüksek akımlarda çalışabilirler [35].



Şekil 4.6 Lityum İyon Bataryanın iç yapısı [38]

4.3.5.2 Lityum İyon Polimer Bataryalar

Lityum iyon polimer bataryalar iyon iletken polimerin içinde sıvı lityum iyon elektrokimyası kullanır. Lityum polimer bataryalar Katı durum pilleri olarak da tanımlanır [35].

Lityum iyon polimer bataryalarda sıvı olmadığı için ağır koruyucu bir tabakaya ihtiyaç duymaz. Birçok farklı boyutta tasarlanabilirler. Bu sayede maliyet ve ağırlık avantajı vardır. Sıvı içermemesi lityum iyon polimer bataryaları daha istikrarlı ve aşırı şarj ve hasar gibi problemlere karşı dayanıklıdır. Uzun depo ömrü vardır fakat düşük deşarj

oranı vardır [35].

4.3.6 Vanadyum Redoks Bataryalar

Vanadyum Redoks bataryalar 1980'lerin başında Avustralya Üniversitesi'nde geliştirilmiştir. 1998 yılında patenti alınmıştır (Şekil 4.7). Bataryanın bulunma amacı kurşun asit bataryanın yedekleme sistemlerinde yerini almaktır. VRB'ler megawat seviyelerinde enerji depolayabilirler ve şebeke, alternatif enerji veya dizel jeneratörlerle beraber kullanılabilirler. Bütün güç kalitesi varyasyonlarında şarj ve deşarj edilirler. Bu geniş özellikli tasarımı VRB'leri yük dengeleme, alternatif enerjide depolama ve anlık güç kesintilerinde kullanılmasını sağlar. Maliyetleri boyutları arttıkça önemli oranda azalır. VRB'ler %20-%80 aralığında 13bin kez şarj ve deşarj edilebilirler. Yeşil teknoloji olarak da bilinir doğaya diğer bütün enerji depolama teknolojilerine nazaran en az etkiyi yapar. Kurşun asite göre çok uzun ömrü vardır. Japonya'da 16 adet VRB sistemi bulunur. Utah'da 250 kW x 8 saat,(2 Mwh) 25 kV'luk şebekeye bağlıdır ve pik saatlerde yük dengeleme için kullanılır. 2003 yılında Avustralyada Kral Adasında kurulmuştur. Bu adada 5 adet rüzgar türbini 250-850 kw arasında değişen ve 4 adet dizel jeneratör (1.5MW) bulunur. 3 yoldan hibrit sistem gerçekleştirmek için 200 kw x 4 saat (800kwh) sisteme entegre edilmiştir [39].



Şekil 4.7 Vanadyum redoks enerji depolama sistemi [40]

4.3.7 Sodyum Sülfür Bataryalar

Sodyum sülfür batarya, Sodyum ve Sülfür yapılı erimiş metal bataryaların bir türüdür. Bu tip bataryalar yüksek enerji yoğunluğuna, yüksek enerji verimliliğine (şarj/deşarj %89-92) sahiptir ve uzun ömürlüdür [41].

Lakin sodyum polisülfürlerin aşındırıcı doğası ve çalışma sıcaklıkları (300 – 350 C) nedeniyle bu tip piller öncelikle büyük ölçekli mobil olmayan uygulamalarda daha uygundur [41].

TEPCO/NGK konsorsiyumu 1983 yılında sodyum sülfür batarya çalışmasıyla ilgilendiğini bildirdi ve bu tür gelişimlerin öncüsü haline geldi. TEPCO sodyum sülfür bataryayı seçti çünkü bileşen elementlerin (sodyum, sülfür, seramik) çoğu Japonya' daydı. İlk büyük ölçekli örnek 1993-1996 yılları arasında TEPCO'nun Tsunashima şubesinde 3x2 MW, 6,6kv batarya grupları kullanılarak yer aldı [41].

Bu çalışmadan elde edilen bulgulara dayanarak, geliştirilmiş batarya modelleri ticari olarak 2000 yılında geliştirildi ve üretildi.

Ticari sodyum sülfür batarya grubu performansı:

Kapasite: 25-250 kW her grup için

Ömür 2,500 devir (%100 DOD), veya 4,500 devir (%80 DOD)

2008 itibariyle, sodyum sülfür bataryalar bir grup tarafından üretilmiştir, NGK/TEPCO konsorsiyumu, her yıl 90MW depolama kapasitesi üretmiştir [41].

Japonya'da Miura Wind Park'ta Japon Wind Gelişim ortaklığının sodyum sülfür bataryalarda NGK yalıtkanlarının kullanıldığı proje örnek teşkil eden bir projedir.2007 yılında Japonya'da hazırda 165 MW kurulu kapasite bulunmaktaydı ve NGK 90 MW'luk yıllık çıkışı 150 MW yükseltmeyi planladığını açıkladı.2008 Mayıs'ta Futamata'daki Aomori vilayetinde 51 MW rüzgar çiftliği 34 MW sodyum sülfür batarya sistemi dahil edilmiştir [41].

Japon NGK İzolatör Ltd Şirketinin 20-50 kW sodyum sülfür bataryaları baz alan rüzgar çiftliği enerji depolama batarya testi yapacağı XCEI Energy tarafından açıklandı. 80 ton ve 2 yarı römork boy pilin 1 MW şarj vedeşarj oranı kapasitesi saatte 7.2 MW olması beklenmektedir [41].

2011 Mart'ta Samitomo Elektrik Endüstri ve Kyoto Üniversitesi 100 C nin altında güç çıkışı yapabilen düşük sıcaklıkta erimiş sodyum iyon pili geliştirdiğini açıkladı. Bataryalar Lityum iyonu enerjisi kullanılarak yapılsaydı 2 kat enerji elde edilecekti ve nispeten maliyeti daha düşük olacaktı [41].

4.4 Batarya Analizi

Bataryaların şarj durumlarını formülize etmek gerekirse;

$$I_{bat} = \frac{P_{rüzgar} \cdot n_{dog} - P_{yük} \cdot n_{evi}}{V_{bat}} \quad (4.1)$$

Burada, I_{bat} batarya akımını (A), $P_{rüzgar}$ saatlik rüzgar gücünü (W), n_{dog} doğrultucu verimini, $P_{yük}$ evin saatlik yükünü (W), n_{evi} evirici verimini ve V_{bat} ise batarya gerilimini belirtir [42].

$$C_{bat} = C'_{bat}(1 + \delta_c(T_{bat} - 298.15)) \quad (4.2)$$

Burada, C_{bat} sıcaklığa göre oluşan batarya kapasitesini, C'_{bat} nominal batarya kapasitesini (Ah), δ_c sıcaklık bileşenini ve T_{bat} ise saatlik batarya sıcaklığını gösterir. Bataryaların açık ortamda bulunduğu ortam sıcaklığından etkilendiği fakat bu sayede ısıtma soğutma maliyetinin ortadan kaldırıldığı düşünülmüştür [42].

Son olarak batarya şarj durumunu gösterecek formül,

$$SOC = SOC_0 \left[1 - \frac{\sigma}{24} (t_i - t_0) \right] + \int_{t_0}^t \frac{I_{bat} \cdot n_{bat}}{C_{bat}} \quad (4.3)$$

Burada, SOC son andaki batarya şarj durumunu, SOC_0 ilk andaki batarya doluluk oranını, σ bataryanın özgül kaybını, t_0 başlangıç anını, t_i çalışma süresini ve n_{bat} batarya şarj ve deşarj verimini gösterir [42].

EKONOMİK ANALİZ

Bir Değere Getirilmiş Maliyetler Yöntemi

Farklı enerji kaynaklarından üretilen elektriğin maliyeti, başlangıç maliyeti, yatırım geri dönüşü ayrıca devam eden işletme maliyetleri, yakıt ve bakımın tamamıdır. Genellikle bu metotla birim elektrik maliyeti hesaplanır. Örneğin; Bir kilowatt saat başına düşen sent veya megawat saat başına düşen dolar olarak tanımlanır [43].

Bu maliyetler hesaplanırken birçok faktör göz önünde bulundurulmalıdır.

Başlangıç maliyetleri: Fosil yakıt enerji santralleri için düşüktür, rüzgar türbinlerinde, güneş enerjisi ve nükleer enerjide ise yüksektir [43].

İşletim ve bakım maliyetleri: Kömür, ve çöpe atılan enerji sebebiyle (küllerin atılması temizlik ve çalışan buhar jeneratörleri) oldukça yüksektir, rüzgar türbinlerinde, nükleer enerjide ve güneş enerjisinde bu meblağlar düşüktür [43].

Yakıt maliyetleri: Fosil yakıtlarda yüksektir, nükleer ve yenilenebilir enerjide çok düşüktür.

Varsayılan yıllık çalışma saatleri: dizel jeneratörlerde %3, rüzgarda %30 ve nükleerde %90'a varan değerlerdedir [43].

Kojenerasyon ile ısı satışlarından elde edilen gelir işletim maliyetlerini düşürür.

Atık ve farklı sigorta maliyetleri hesaplamalara dahil edilmemiştir.

Özel kullanım: Santralin pompaları çalıştırmak için kendi enerjisinden bir miktar kullanması gibi.

Bu bilgilerin haricinde yenilenebilir enerji maliyetlerinin eğrisinin azalma eğilimi

göstermesi bunun yanı sıra diğer enerji türlerinin artan bir maliyet eğrisine sahip olduğudur [43].

Çizelge 5.1 2010 yılı enerji kaynakları maliyetleri aralıkları [43]

Enerji Kaynakları	MW/saat başına üretilen elektrik maliyeti (euro)
Nükleer Enerji	107.0 – 124.0
Kahverengi Kömür	88.0 – 97.0
Siyah Kömür	104.0 – 107.0
Doğalgaz	106.0 – 118.0
Rüzgar Enerji Kıyıda	49.7 – 96.1
Rüzgar Enerji Açık Deniz	35.0 – 150.0
Hidro Elektrik	34.7 – 126.7
Biyokütle	77.1 – 115.5
Güneş Enerjisi	284.3 – 391.4

Ekonomik analiz bu metoda göre yapılırsa;

$$CRF = \frac{d \cdot (1+d)^{T_p}}{(1+d)^{T_p} - 1} \quad (5.1)$$

Burada, CRF amortisman faktörü, d iskonto oranı ve T_p ise proje süresidir [44].

$$PVC = I_c + C_m + R_c \quad (5.2)$$

Burada, PVC kullanılacak bataryaların şu anki değeri, I_c başlangıç maliyeti, C_m bakım maliyeti ve R_c de değiştirilecek parçaların veya bataryaların maliyetini gösterir [44].

$$R_c = U_c \cdot C_n \sum_{i=1}^{N_r} \left(\frac{1+g}{1+d} \right)^{\frac{T_i}{N_r+1}} \quad (5.3)$$

Burada U_c batarya birim maliyeti (\$/W), C_n nominal kapasite (Wh), N_r batarya sayısı, g enflasyon oranı ve T_i batarya ömrünü gösterir [44].

$$C_m = C_{m0} \cdot \left(\frac{1+g}{d_i-g} \right) \cdot \left[1 - \left(\frac{1+g}{1+d} \right)^{T_i} \right] \quad (5.4)$$

Burada C_{m0} ilk yıl bakım maliyetini ve d_i faiz oranını gösterir [44].

$$LCE = \frac{PVC.CRF}{E_{tot}} \quad (5.5)$$

Burada LCE bir değere indirgenmiş enerji maliyetini ve E_{tot} ise toplam enerjiyi gösterir [44].

Bu tezde yapılan çalışmada bakım maliyeti bataryalar için $C_m = 0$ kabul edilmiştir. Yapılan maliyet analizinde kullanılan bataryalar; kurşun asit batarya, sodyum sülfür, vanadyum redoks, lityum iyon ve lityum iyon polimer bataryalardır

BÖLÜM 6

SAYISAL UYGULAMA

Bu tezde şebekeden bağımsız hayali bir dağ evinin rüzgar türbinleri, bataryalar ve gerektiğinde dizel jeneratörler ile enerji ihtiyacının giderildiği bir sistem düşünülmüştür. Bu sistemde rüzgar türbini ile çalışacak farklı batarya tipleri karşılaştırılmış ve en ideal batarya seçilmiştir. Rüzgar hızı, evin yükü ve bölgenin sıcaklık verileri saatlik olarak kullanılmıştır.

6.1 Rüzgar Hız Analizi

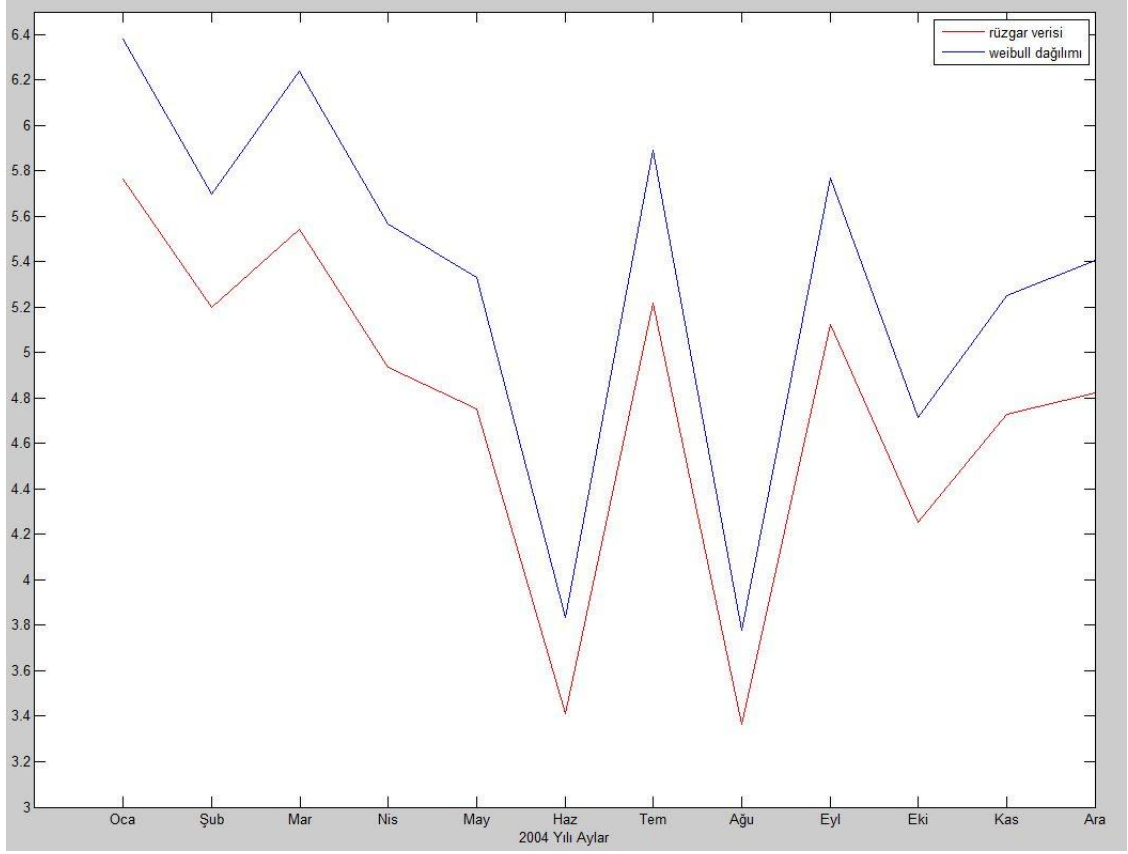
Rüzgar türbininden elde edilen güç için,

$$W = \frac{1}{2} \cdot r \cdot A \cdot v^3 \quad (6.1)$$

formülü kullanılmıştır. Burada W rüzgar gücü(W), r hava yoğunluğu,A kanat alanı ve v ise rüzgar hızına karşılık gelir.

Bu tezde kullanılan rüzgar verileri 2004 yılına ait olup Çanakkale'de ölçülen rüzgar hızlarıdır.

Bu rüzgar hızları için Weibull grafiği;



Şekil 6.1 Rüzgar verisi ve oluşturulan weibull dağılımı

Yıllık rüzgar hızı ortalaması 4.75 m/sn olan veriler için yapılan frekans analizinde rüzgar hızlarının hangi aralıklarda yoğunlaştığı bilgisine ulaşılmıştır.

Çizelge 6.1 Rüzgar hızı frekans analizi

	Frekans	Sınırlar
1	911	0-1.5
2	2694	1.5-3.5
3	1979	3.5-5.5
4	1541	5.5-7.5
5	1012	7.5-9.5
6	371	9.5-11.5
7	139	11.5-13.5
8	75	13.5-15.5

9	29	15.5-17.5
10	8	17.5-19.5
11	1	19.5-21.5

Weibull dağılım ortalaması (alfa), Weibull varyansı (beta) ve güç yoğunluğu verileri aylık olarak hesaplanmıştır. Çizelge 6.2'de ilk 12 satır her bir ayı göstermekte olup 13. satır bir yılın ortalamasını gösterir.

Çizelge 6.2 Bir yıllık Weibull verileri

	Alfa (α)	Beta (β)	Ortalama Hız (m/s)	Güç Yoğunluğu (W/m ²)
1	6.3812	1.4890	5.7501	117.5006
2	5.6982	1.3918	5.2079	86.1089
3	6.2394	1.8424	5.5379	104.3876
4	5.5657	1.9089	4.9265	73.8145
5	5.3331	1.7259	4.7474	65.8499
6	3.8357	1.8193	3.4033	24.2917
7	5.8918	2.2869	5.2142	87.1557
8	3.7794	1.7637	3.3534	23.3462
9	5.7698	1.8557	5.1244	82.4783
10	4.7131	1.5037	4.2360	47.1723
11	5.2499	1.5239	4.7092	64.8939
12	5.2499	1.7142	4.8296	68.7690
13	5.3219	1.7271	4.7532	70.1504

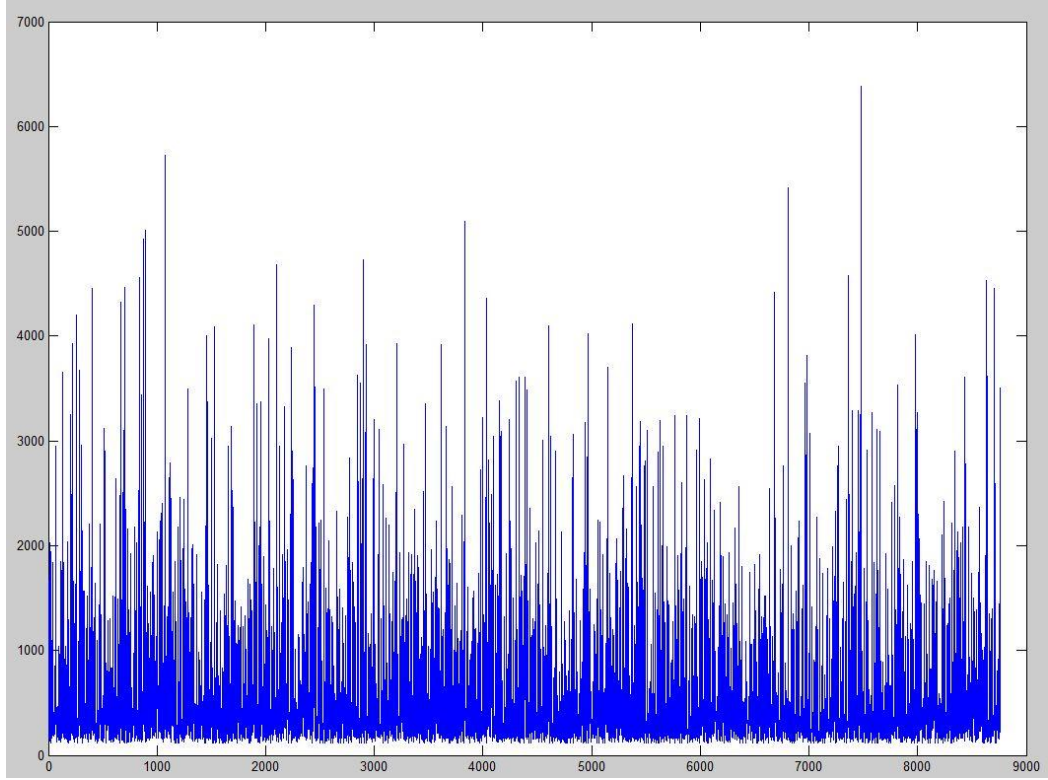
6.2 Konut Yüğü Verileri

Önceki bölümlerde elde edilen verilere göre 6 kW'lık iki adet rüzgar türbinine, 200 Ah batarya kapasitesine, 12 V batarya gerilimi ve 30 adet batarya sayısına karar verilmiş olup, bu duruma göre bir yılda enerji ihtiyacının en yüksek ve en düşük olduğu aylar

tespit edilmiştir. Şekil 6.27 ve 6.28’de Şubat ayı, Şekil 6.29 ve 30’da ise Eylül ayı verileri grafiklere yansıtılmıştır. Çizelge 6.13’te bütün ayların maksimum, minimum ve ortalama yükleri gösterilmiştir.

Çizelge 6.3 Simülasyonda kullanılan evin aylık yük bilgileri

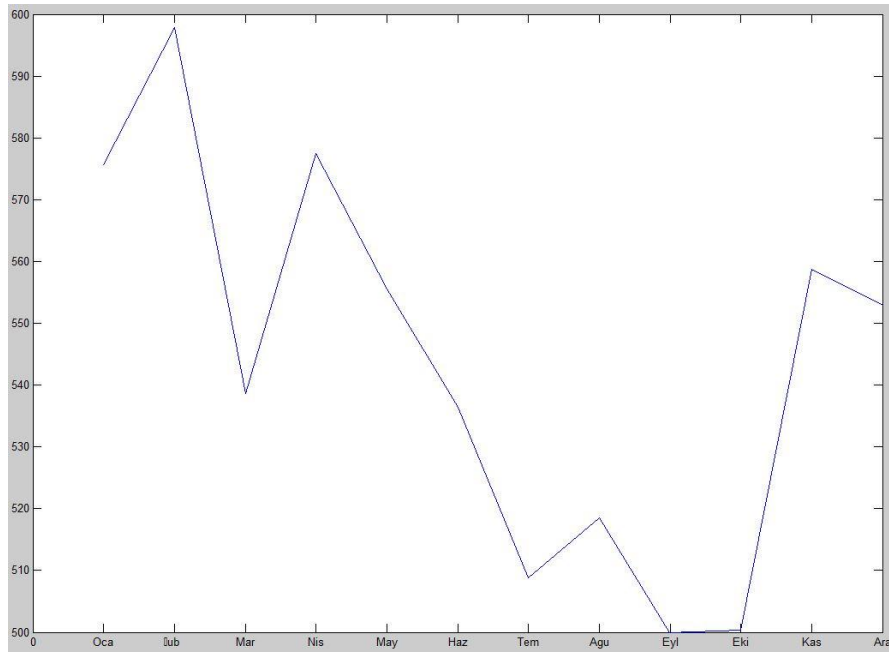
Aylar	Minimum (Watt)	Ortalama (Watt)	Maksimum (Watt)
Ocak	121	575.6	4467
Şubat	121	597.8	5729
Mart	121	538.6	4685
Nisan	121	577.5	4295
Mayıs	121	555.6	4730
Haziran	121	536.4	5099
Temmuz	121	508.8	4094
Ağustos	121	518.5	4118
Eylül	121	500.0	3242
Ekim	121	500.4	5418
Kasım	121	558.7	6386
Aralık	121	552.9	4526



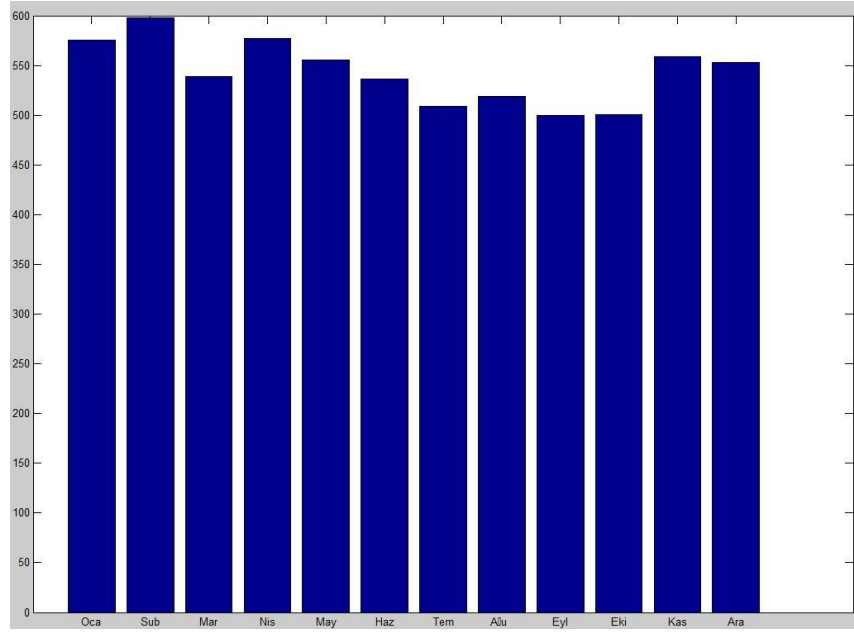
Şekil 6.2 Sistem için kullanılan evin saatlik bazda bir yıllık yük grafiği

Evin minimum yük değeri 121 W, en yüksek değeri ise Kasım ayında 6386 W ile yaşanmıştır.

Aylık bazda grafikler ise aşağıda gösterilmiştir.



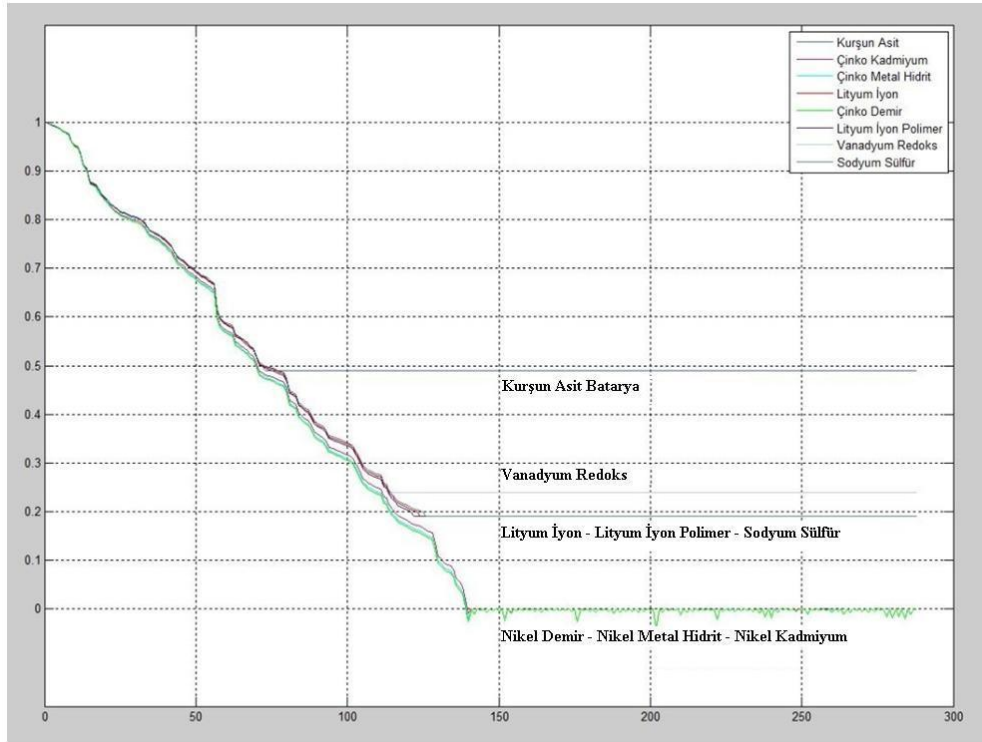
Şekil 6.3 Sistem için kullanılan evin aylık yük grafiği



Şekil 6.4 Sistem için kullanılan evin aylık (çubuk) yük grafiği

6.3 Batarya Simülasyonları

Karşılaştırılan bataryalar arasındaki farkı daha net görebilmek için ilk olarak bataryaların tamamının dolu olduğu kabul edilip yüke göre deşarj edilmesi sağlanmıştır. Şekil 5.2'de Matlab programı ile elde edilen şekil gösterilmiştir. Burada her bataryanın farklı deşarj olma derinliği (DOD) olduğu için bataryaların tamamı %0'a indirilmemiş DOD değerlerinde enerjisi kesilmiştir. Nikel bataryalar hariç çalışmada kullanılan diğer bataryalar %0'a indirildiği takdirde devir sayılarındaki gözle görülür düşüş ekonomik açıdan faydalı olmadığı için katalog DOD değerleri dikkate alınmıştır.



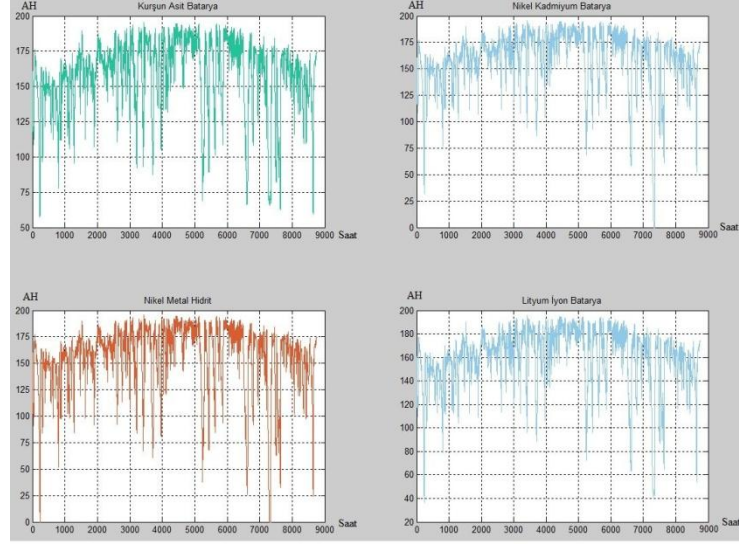
Şekil 6.5 Bataryaların deşarj grafiğı

İkinci çalışmada ise rüzgar hızı, sıcaklık verileri ve bir eve ait yük saatlik olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada bataryaların DOD değerleri dikkate alınmış olup, nikel bataryalar için hafıza etkisi hesaba alınmamış ve sodyum sülfür batarya için yüksek sıcaklık gereksinimi göz ardı edilmiştir.

10 kW'lık rüzgar türbini kullanıldığı takdirde bir yılda rüzgardan faydalanamama %21.26 olurken, 6 kW ve 15 kW'lık rüzgar türbinlerinde bu oran %30.1'e çıkmaktadır. Bunun temel sebebi olarak rotorların dönmeye başladığı rüzgar hızlarının 10 kW'lık türbinde 2.0 m/sn, 6 ve 15 kW'lık türbinlerde ise 2.5 m/sn olmasıdır. Bu sebeplerden ötürü 3 farklı rüzgar türbini için tek türbin ve çift türbin simülasyonları yapılmış olup ekonomik ve teknik açıdan en uygun olanı seçilmiştir.

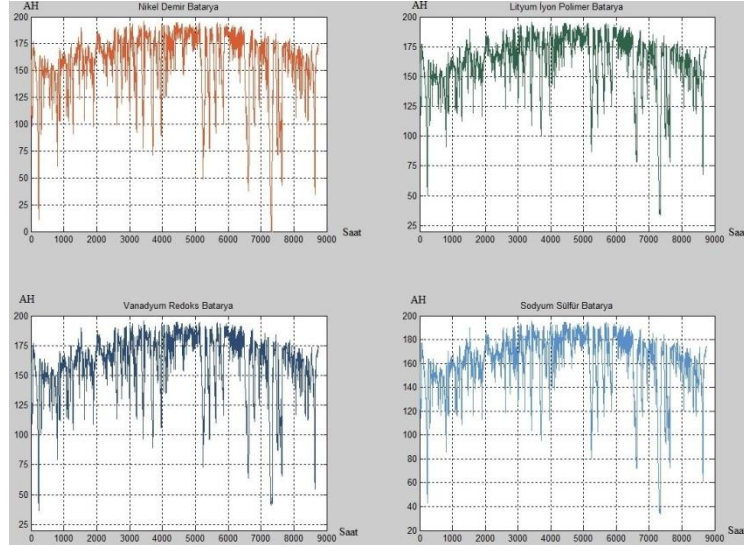
6.3.1 Türbin Gücü Senaryoları

Şekil 6.6'da kurşun asit, nikel kadmiyum, nikel metal hidrit ve lityum iyon bataryaya yer verilmiştir. Bir yıllık (8760 saat) enerji doluluk oranları rüzgar hızı, sıcaklık ve evin yük durumuna göre değişkenlik göstermektedir.



Şekil 6.6 Bir adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 1. batarya grubu

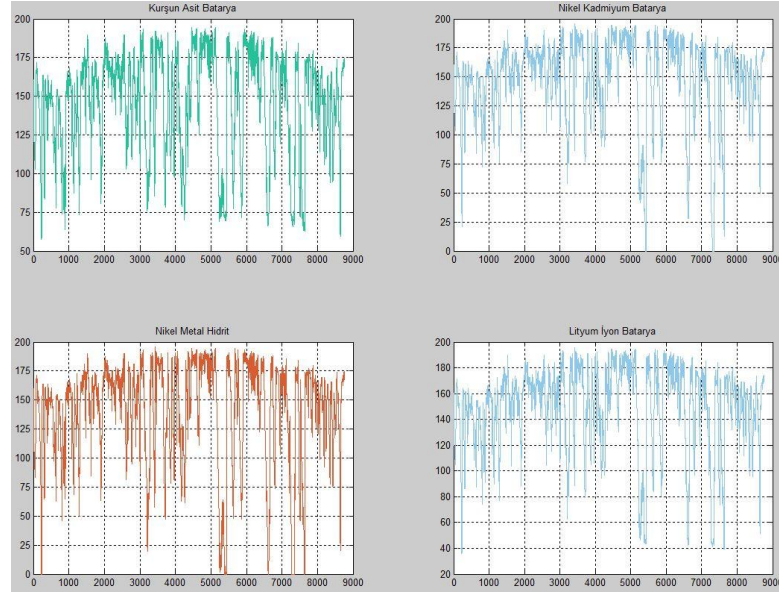
Şekil 6.7'de nikel demir, lityum iyon polimer, vanadyum redoks ve sodyum sülfür batarya yine bir adet 6 kW rüzgar türbini ile beraber çalıştırılmıştır. Şekil 6.6 ve 6.7'de 6 kW'lık rüzgar türbininin bataryaları yılın büyük bir çoğunluğunda evle beraber şarj edebildiği gözlenmesine rağmen uzun süreli kesintiler (30-70 saat aralığında) yaşanmaktadır. Her ne kadar dizel jeneratör, türbinden gelen enerji kesildiğinde ve bataryalar ölü durumda olduğunda devreye girecek olmasına rağmen enerji kesintisinin çok uzun sürmesi ekonomik açıdan uygun olmamaktadır.



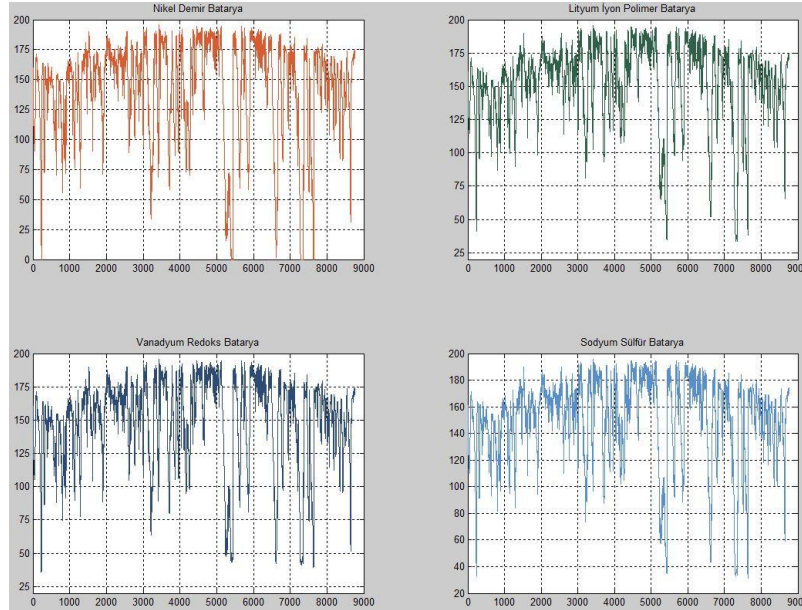
Şekil 6.7 Bir adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 2. batarya grubu

Şekil 6.8 ve 6.9'da 10 kW'lık rüzgar türbinleri 8 farklı bataryada denenmiştir. 6 kW'lık

rüzgar türbinlerinden farklı başlangıç hızına sahip olmalarına rağmen (daha düşük 2m/sn) yılın büyük bölümünde (yaklaşık olarak 1750 saat/73 gün) evi enerjisiz bırakmıştır.



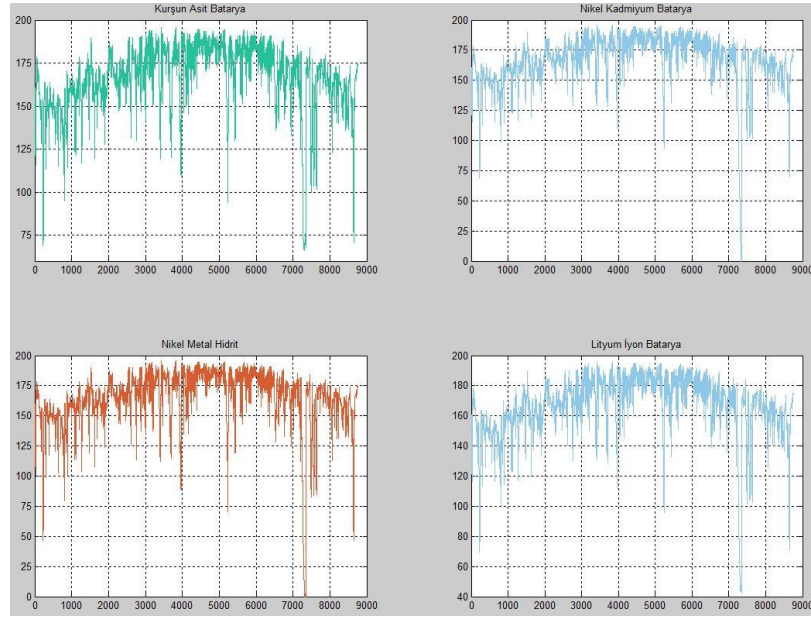
Şekil 6.8 Bir adet 10 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 1. batarya grubu



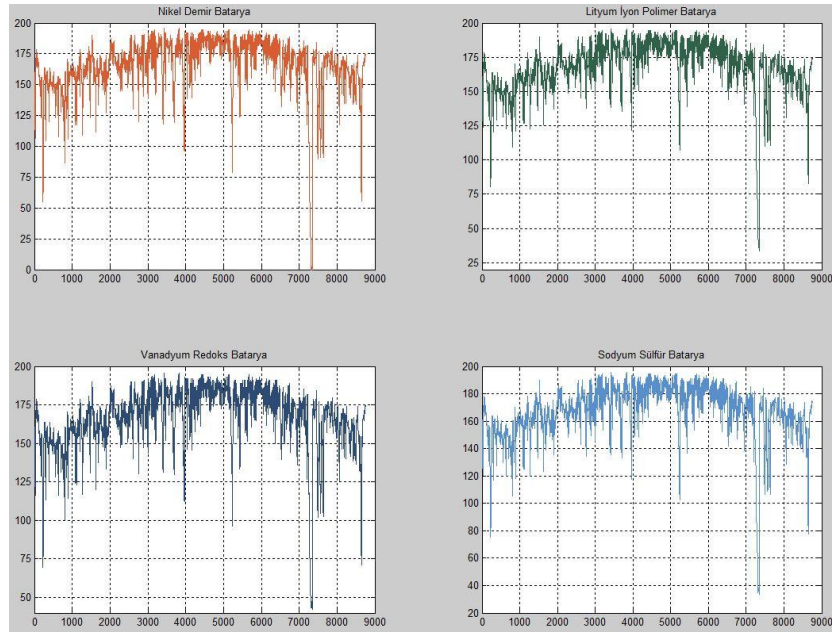
Şekil 6.9 Bir adet 10 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 2. batarya grubu

Şekil 6.10 ve 6.11'de ise rüzgar türbinini bir kademe daha artırarak 15 kW'lık türbin kullanıldı. Buna rağmen yılın farklı iki döneminde uzun süreli kesintiler (50-70 saat) yaşanmakta olup 15 kW rüzgar türbini maliyeti de göz önüne alındığında (6 kW'lık rüzgar türbinin yaklaşık olarak 3 katı maliyette) şebekeden bağımsız bir sistem için

uygun çözüm olmamaktadır.



Şekil 6.10 Bir adet 15 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 1. batarya grubu



Şekil 6.11 Bir adet 15 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 2. batarya grubu

Çizelge 6.4 ve 6.5'te, Şekil 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10 ve 6.11'de elde edilen grafiklerdeki değerler için batarya kapasitelerinin (0-200 arasında değişen) minimum, maksimum ve ortalama değerleriyle beraber evin bir yılda kaç saat enerjisiz kalacağı verileri gösterilmiştir.

Çizelge 6.4 Türbin güçlerine göre 1. Grup batarya karşılaştırması

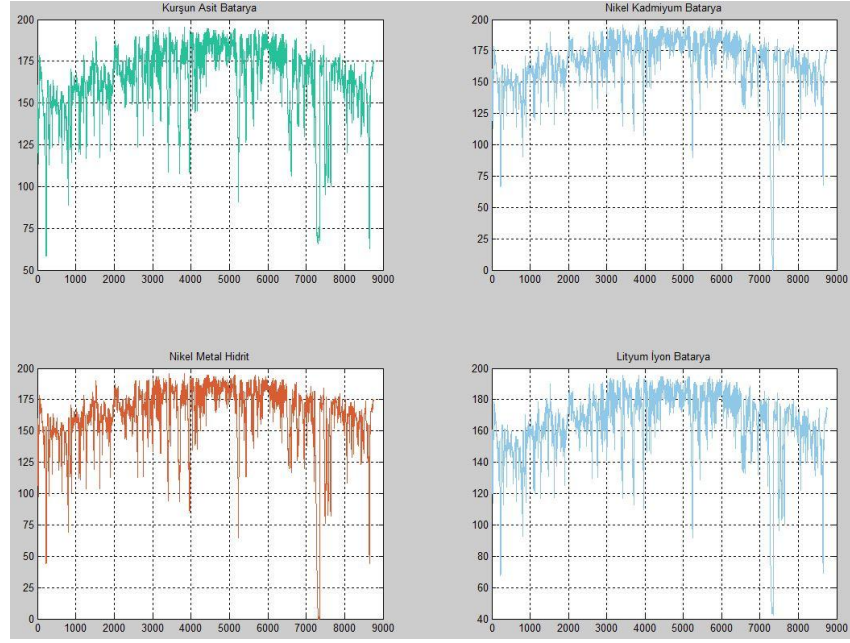
	Kurşun Asit			Nikel Kadmiyum			Nikel Metal Hidrit			Lityum İyon		
	1xTürbin (kW)			1xTürbin (kW)			1xTürbin (kW)			1xTürbin (kW)		
Bat. Kap. (Ah)	6	10	15	6	10	15	6	10	15	6	10	15
Min	57.24	57.24	65.90	0	0	0	0	0	0	36.63	36.06	42.33
Maks	195.52	194.39	195.53	195.52	195.53	195.53	195.52	195.53	195.53	195.52	195.53	195.53
Ort.	157.45	145.41	165.58	158.40	146.44	165.76	154.40	139.60	163.78	159.25	148.37	166.16

Çizelge 6.5 Türbin güçlerine göre 2. Grup batarya karşılaştırması

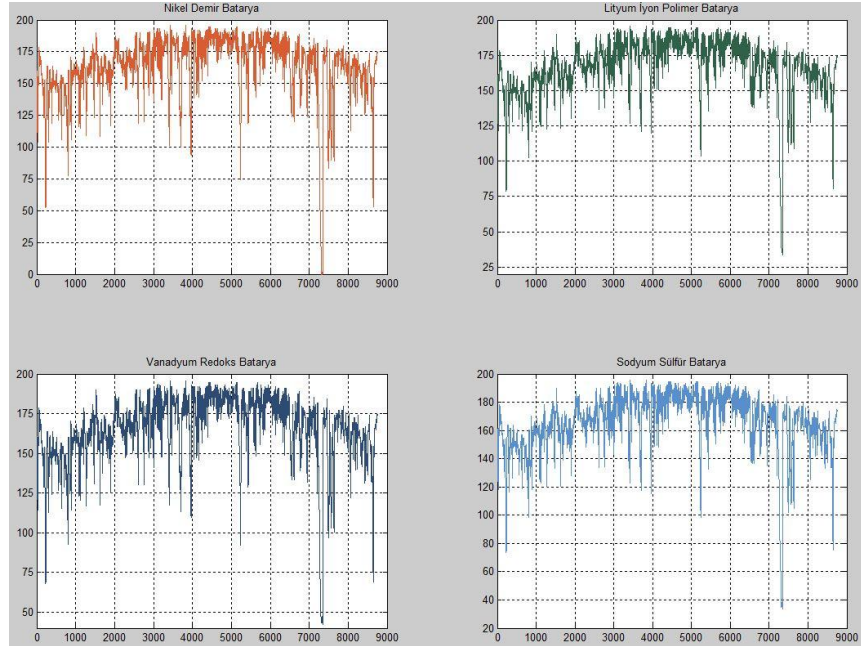
	Nikel Demir			Lityum İyon Polimer			Vanadyum Redoks			Sodyum Sülfür		
	1xTürbin (kW)			1xTürbin (kW)			1xTürbin (kW)			1xTürbin (kW)		
Bat. Kap. (Ah)	6	10	15	6	10	15	6	10	15	6	10	15
Min	0	0	0	33.63	33.63	33.86	36.63	36.06	42.33	33.63	31.35	33.86
Mak	195.52	195.53	195.53	195.52	195.53	195.53	195.52	195.53	195.53	195.52	195.53	195.53
Ort.	155.82	141.87	164.50	161.05	151.34	167.07	159.34	148.55	166.20	160.28	150.05	166.65

Tek türbin kullanarak (6-10-15 kW'lık) simülasyonlar yapılmıştır. Güvenilirlik sorunu ilk olarak karşımıza çıkmaktadır. Türbinde çıkacak arıza da yedeği olmadığı için sistemimiz beklenmedik enerji kesintileri ile karşılaşabilir. Bu yüzden her bir türbin için 2 adet kullanılarak simülasyonlar tekrarlanmıştır.

Şekil 6.12 ve 6.13'de 2 adet 6 kW rüzgar türbini kullanılmış olup yılın sadece eylül ayında enerji kesintisi yaşanmaktadır. Bu durum bütün senaryolarda yaşanan kesintidir.

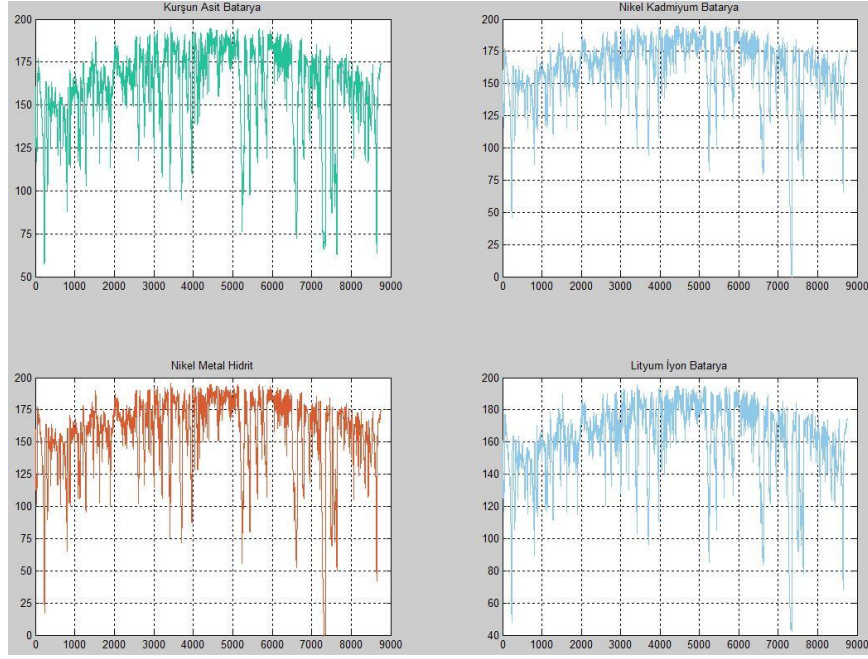


Şekil 6.12 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 1. batarya grubu

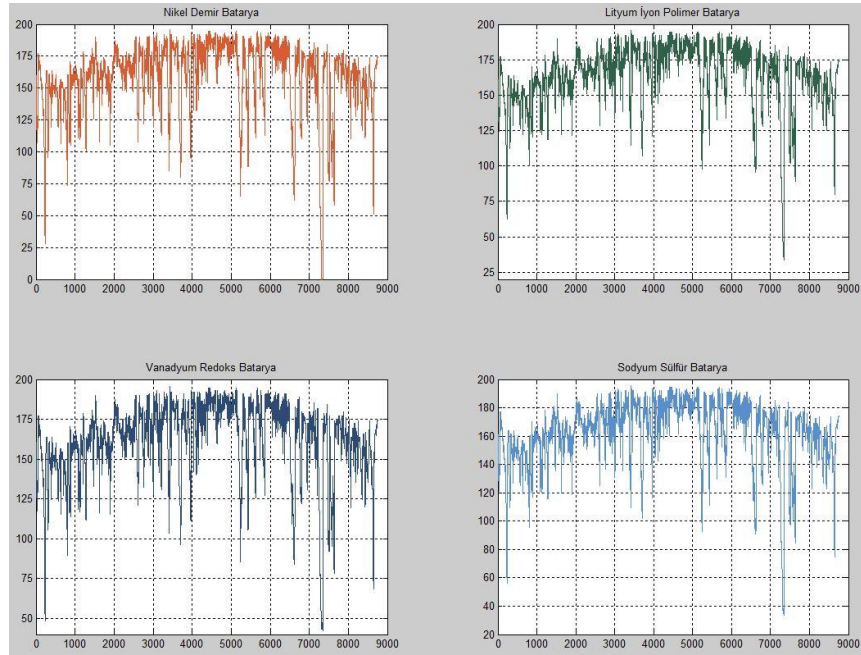


Şekil 6.13 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 2. batarya grubu

Şekil 6.14 ve 6.15'te iki adet 10 kW'lık rüzgar türbinlerinin 1. ve 2. batarya grubu üzerindeki etkileri grafiğe dökülmüştür. Türbinin çalışmaya başlangıç hızı 6 ve 15 kW'lık türbinlerden daha düşük olduğu için daha uzun süre çalışmaktadır.

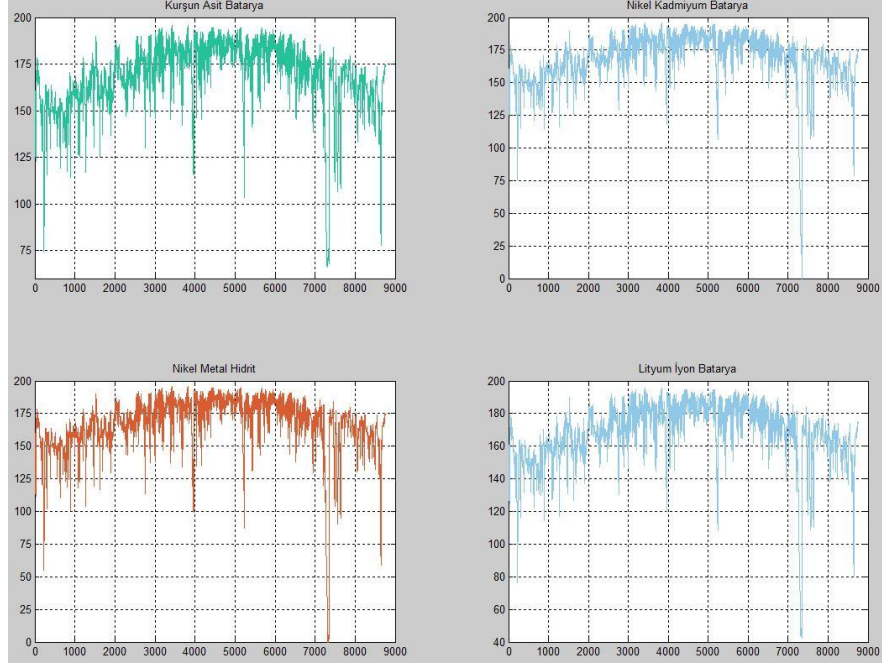


Şekil 6.14 İki adet 10 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 1. batarya grubu

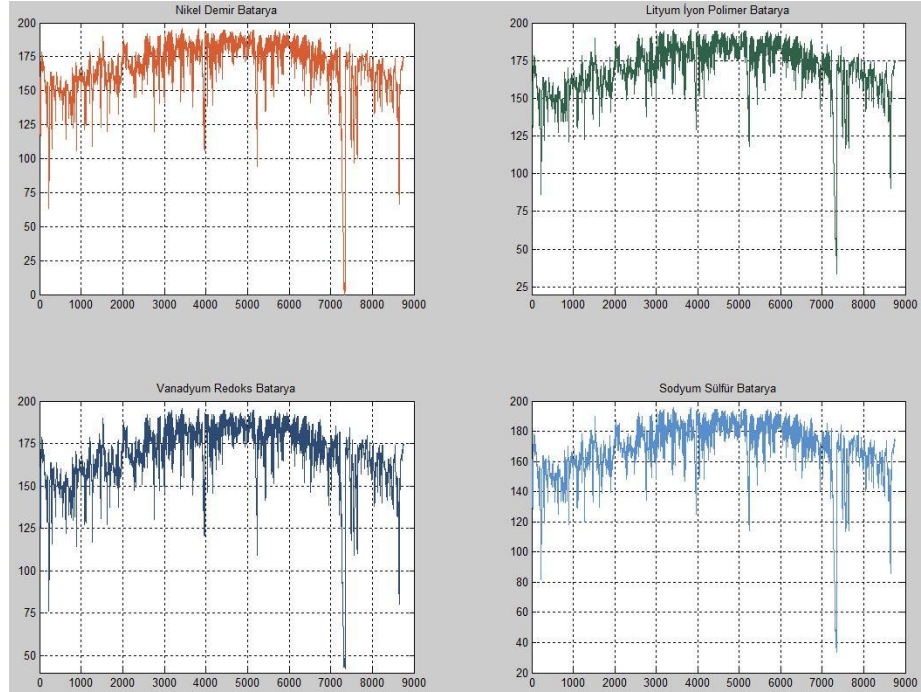


Şekil 6.15 İki adet 10 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 2. batarya grubu

Şekil 6.16 ve 6.17'de son olarak 15 kW'lık iki adet rüzgar türbini kullanılmış ve sonuçlar gözlemlenmiştir. Sadece eylül ayında kesinti yaşanmasına rağmen çok lüks bir sistem olduğu ortaya çıkmaktadır. Sistemde yılın büyük bir döneminde enerji fazlası yaşanmaktadır.



Şekil 6.16 İki adet 15 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 1. batarya grubu



Şekil 6.17 İki adet 15 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 2. batarya grubu

Şekil 6.12, 6.13, 6.14, 6.15, 6.16 ve 6.17'de elde edilen veriler Çizelge 6.6 ve 6.7'de gösterilmiştir. Burada çıkan sonuçlara göre teknik ve ekonomik açıdan en uygun kombinasyonun 2x6 kW'lık rüzgar türbinleri olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 6.6 Türbin güçlerine göre 1. Grup batarya karşılaştırması

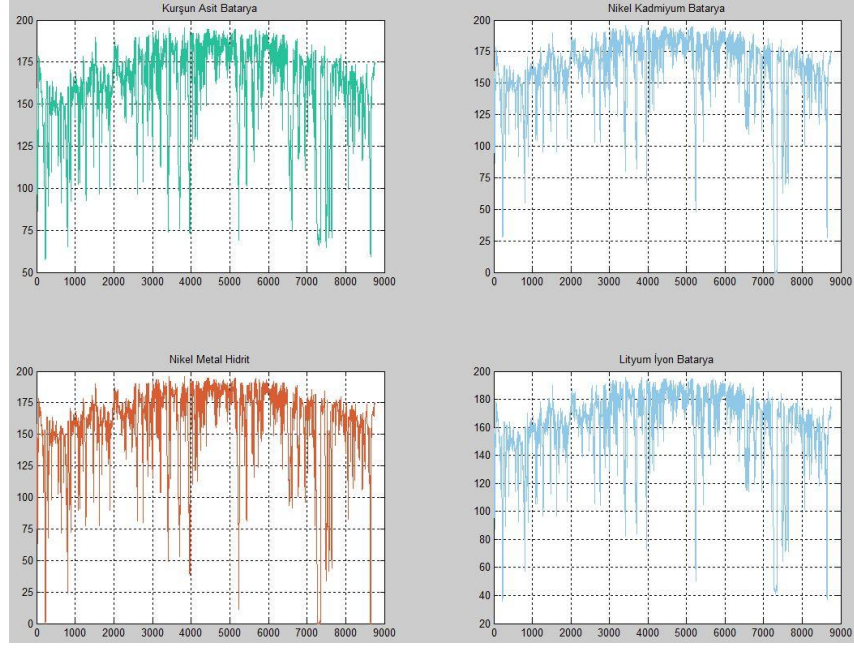
	Kurşun Asit			Nikel Kadmiyum			Nikel Metal Hidrit			Lityum İyon		
	2xTürbin (kW)			2xTürbin (kW)			2xTürbin (kW)			2xTürbin (kW)		
Bat. Kap. (Ah)	6	10	15	6	10	15	6	10	15	6	10	15
Min	58.56	57.24	65.90	0	0	0	0	0	0	42.33	42.33	42.33
Maks	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53
Ort	164.01	159.94	167.53	164.51	160.84	167.62	162.18	157.45	166.09	165.00	161.54	167.88

Çizelge 6.7 Türbin güçlerine göre 2. Grup batarya karşılaştırması

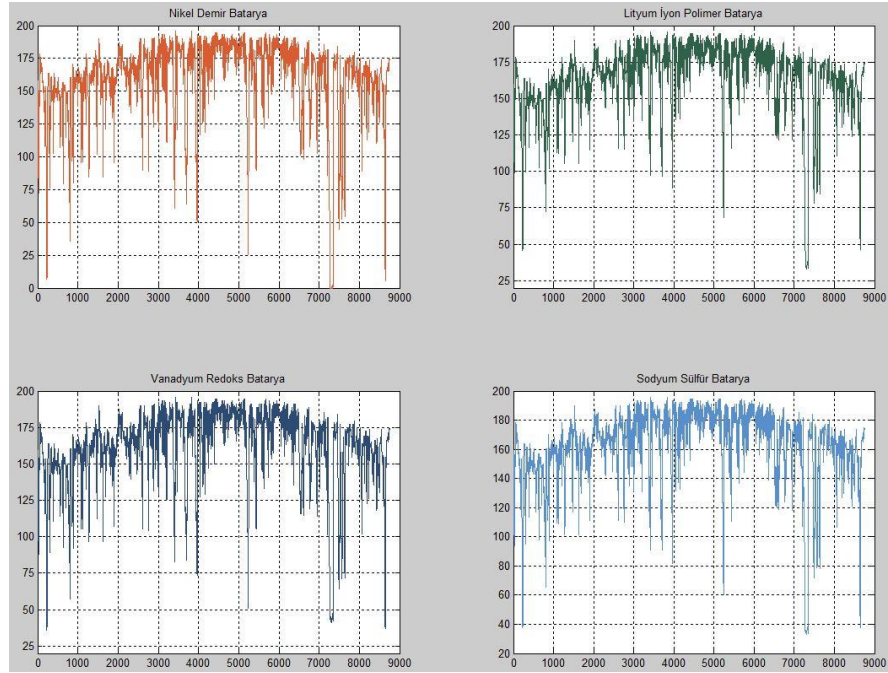
	Nikel Demir			Lityum İyon Polimer			Vanadyum Redoks			Sodyum Sülfür		
	2xTürbin (kW)			2xTürbin (kW)			2xTürbin (kW)			2xTürbin (kW)		
Bat. Kap. (Ah)	6	10	15	6	10	15	6	10	15	6	10	15
Min	0	0	0	33.86	33.86	33.86	42.33	42.33	42.33	33.86	33.86	33.86
Maks	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53
Ort	163.01	158.65	166.64	166.05	163.07	168.60	165.05	161.62	167.91	165.58	162.41	168.26

6.3.2 Batarya Sayısına Göre Senaryolar

Batarya sayılarına göre senaryolar üç adımda gerçekleştirilmiştir. 20,30 ve 40 adetlik 200 Ah bataryalar kullanılmış sonuçlar şekillere yansıtılmıştır. Bu çalışmada bir önceki senaryonun sonucuna göre elde edilen 2x6 kW'lık rüzgar türbini kombinasyonu kullanılmıştır. Şekil 6.18 ve 6.19'da 20'şer adet batarya gruplarıyla simülasyonlar yapılmıştır. Yılın büyük bölümünde enerji kesintisi gözlemlenmektedir.

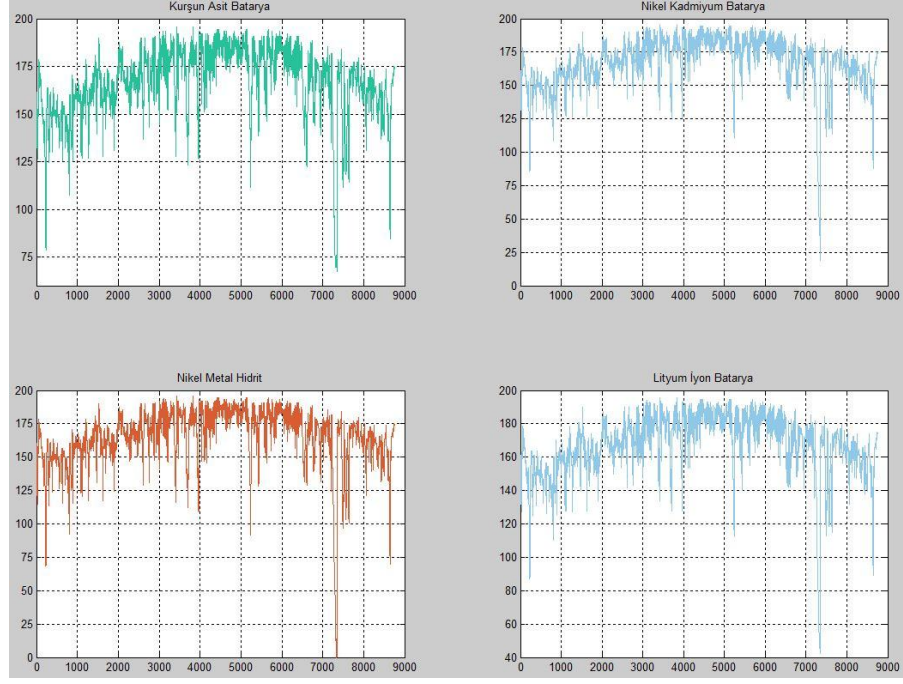


Şekil 6.18 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 20 adet 1. batarya grubu

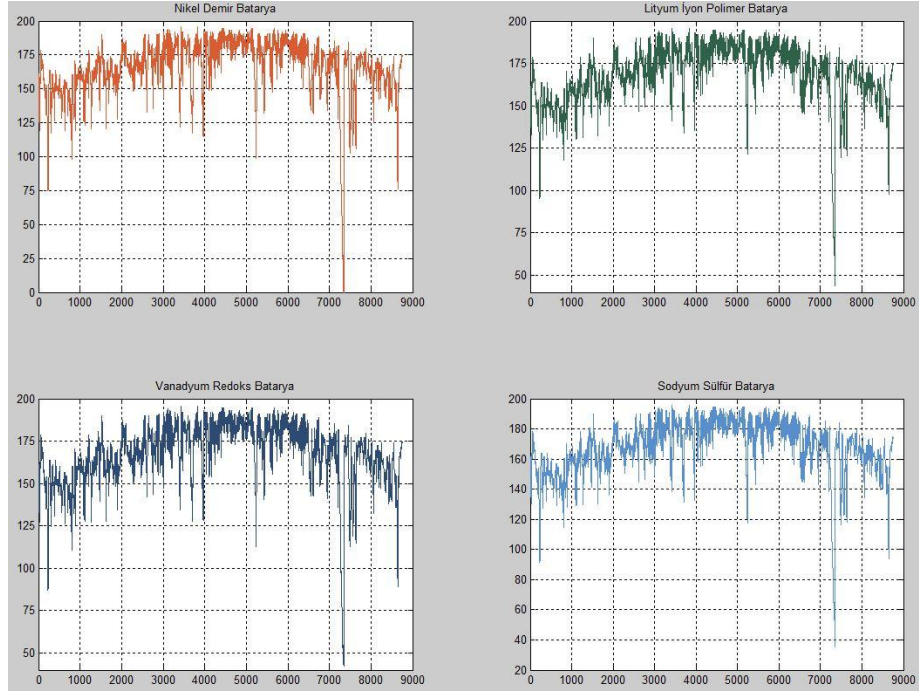


Şekil 6.19 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 20 adet 2. batarya grubu

Şekil 6.20 ve 6.21'de 40'ar adet batarya kullanılmıştır. 2 adet 15 kW'lık rüzgar türbinlerinde ortaya çıkan sorunla benzer bir sorun ortaya çıkmış gereğinden fazla enerji elde edilmiştir.



Şekil 6.20 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 40 adet 1. batarya grubu



Şekil 6.21 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 40 adet 2. batarya grubu

Çizelge 6.8 ve 6.9'da Şekil 6.12, 6.13, 6.18, 6.19, 6.20 ve 6.21'de elde edilen veriler kullanılmıştır. 30 adet 200 Ah bataryanın teknik ve ekonomik açıdan en uygun batarya sayısı olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 6.8 Batarya sayısına göre 1. Grup batarya karşılaştırması

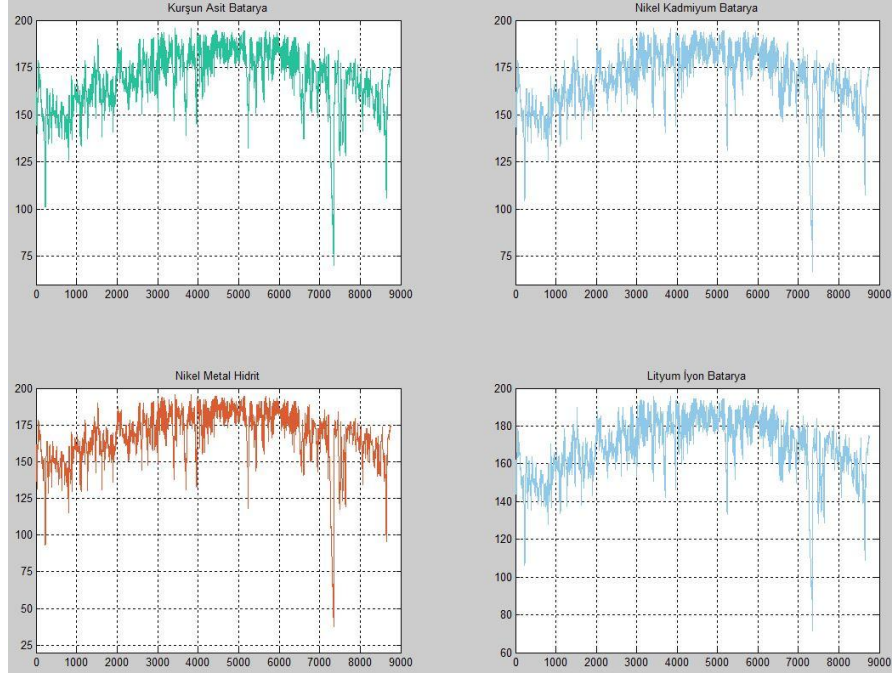
	Kurşun Asit			Nikel Kadmiyum			Nikel Metal Hidrit			Lityum İyon		
	Batarya Sayısı			Batarya Sayısı			Batarya Sayısı			Batarya Sayısı		
Bat. Kap. (Ah)	20	30	40	20	30	40	20	30	40	20	30	40
Min	57.23	58.56	67.40	0	0	18.73	0	0	0	36.06	42.33	42.33
Maks	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53
Ort	159.93	164.01	166.15	160.46	164.51	166.60	157.24	162.18	164.68	161.19	165.00	166.94

Çizelge 6.9 Batarya sayısına göre 2. Grup batarya karşılaştırması

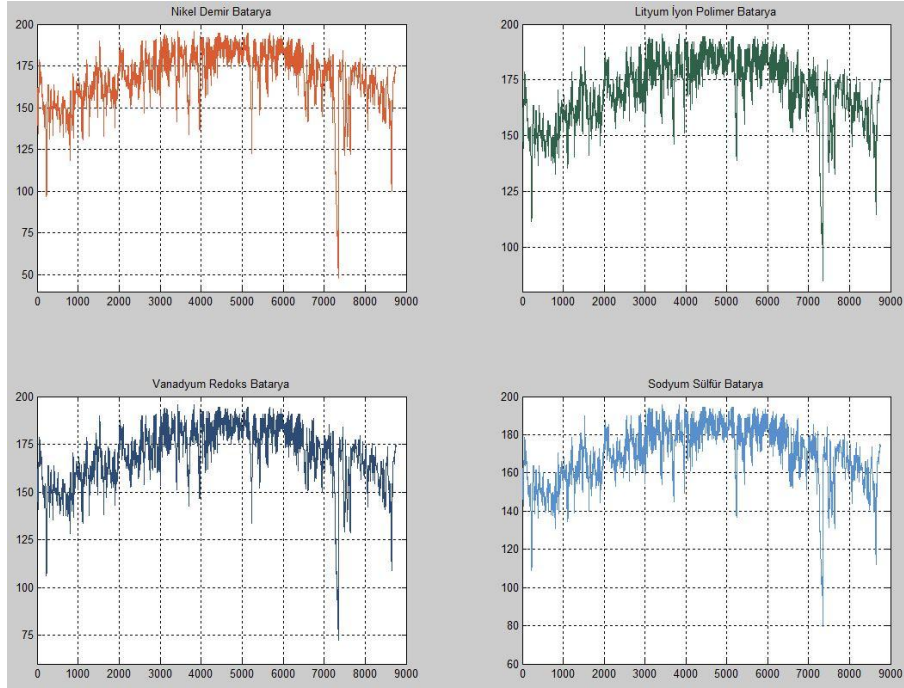
	Nikel Demir			Lityum İyon Polimer			Vanadyum Redoks			Sodyum Sülfür		
	Batarya Sayısı			Batarya Sayısı			Batarya Sayısı			Batarya Sayısı		
Bat. Kap. (Ah)	20	30	40	20	30	40	20	30	40	20	30	40
Min	0	0	0	32.95	33.86	44.10	36.06	42.33	42.33	32.95	33.86	35.18
Maks	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53
Ort	158.41	163.01	165.34	162.64	166.05	167.81	161.23	165.05	166.99	161.93	165.58	167.44

6.3.3 Batarya Gerilimine Göre Senaryolar

Bu bölümde bataryalar 12, 24 ve 48 V'luk gerilimlere uygun olarak simüle edilmiştir. Bu simülasyonlarda 2x6 kW rüzgar türbinleri, 30 adet rüzgar türbini kullanılmıştır. Şekil 6.22 ve 6.23'de 24 V'luk gerilimlerle çalışılmıştır.

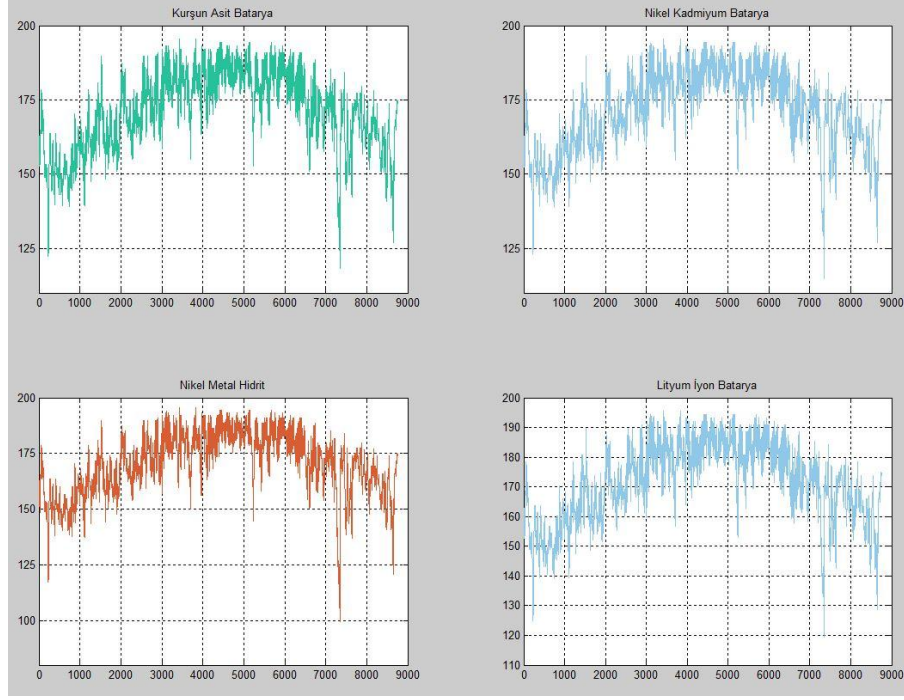


Şekil 6.22 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 24 V'luk 1. batarya grubu

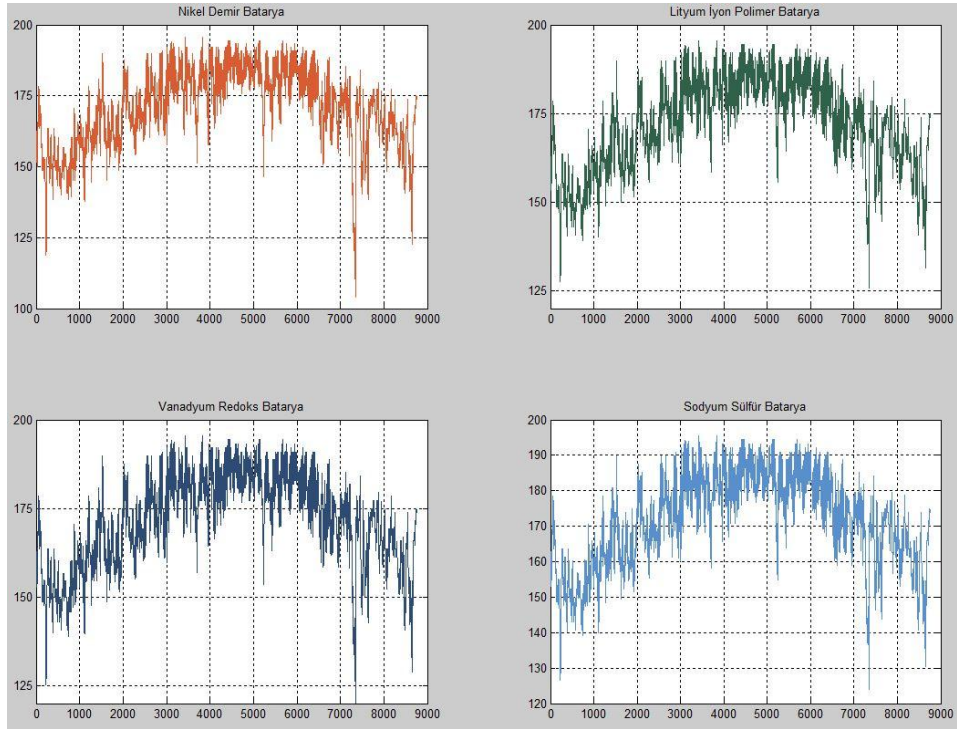


Şekil 6.23 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 24 V'luk 2. batarya grubu

Şekil 6.24 ve 6.25'de 48 V gerilim kullanılmıştır. 48 V'ta üretilmeyen bataryalar olması durumunda bataryalar seri bağlanarak simüle edilebilmektedir.



Şekil 6.24 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 48 V'luk 1. batarya grubu



Şekil 6.25 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 48 V'luk 2. batarya grubu

Çizelge 6.10 ve 6.11’de Şekil 6.12, 6.13, 6.22, 6.23, 6.24 ve 6.25’de elde edilen veriler kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda 12 V bataryaların en uygun çözüm olduğuna karar verilmiş ve sistemde bu tip bataryaların kullanılacağı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 6.10 Batarya gerilimine göre 1. Grup batarya karşılaştırması

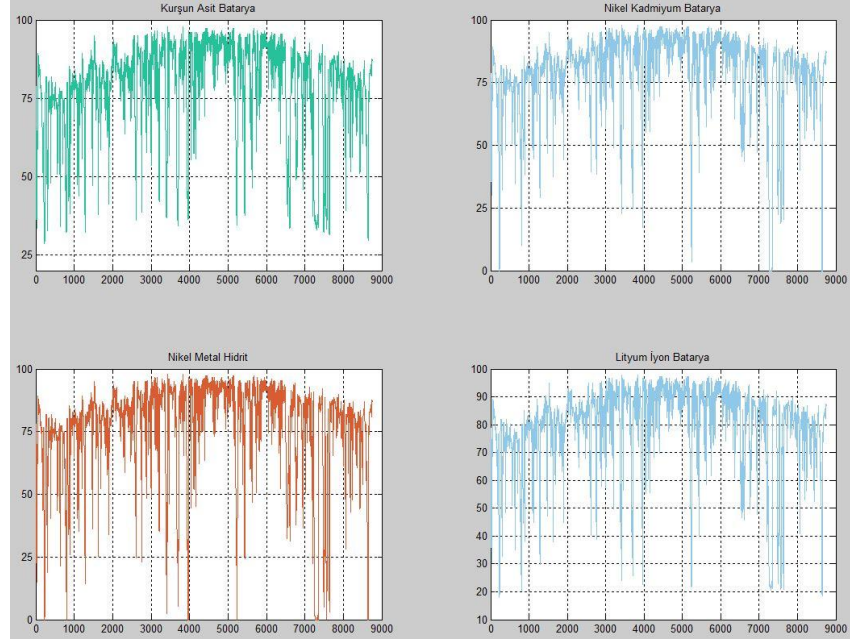
	Kurşun Asit			Nikel Kadmiyum			Nikel Metal Hidrit			Lityum İyon		
	Akü Gerilimi (V)			Akü Gerilimi (V)			Akü Gerilimi (V)			Akü Gerilimi (V)		
Bat. Kap. (Ah)	12	24	48	12	24	48	12	24	48	12	24	48
Min	58.56	70.10	118.36	33.86	66.83	114.77	42.33	37.63	99.37	33.86	71.50	119.44
Maks	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53
Ort	164.01	168.41	170.85	166.05	168.74	170.89	165.05	167.40	170.16	165.58	169.06	171.21

Çizelge 6.11 Batarya gerilimine göre 2. Grup batarya karşılaştırması

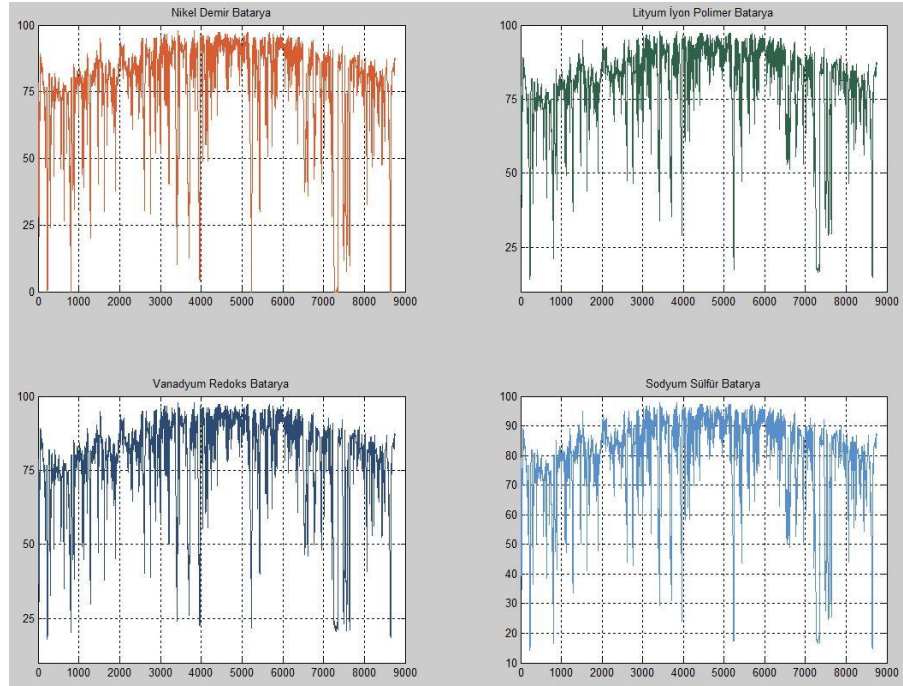
	Nikel Demir			Lityum İyon Polimer			Vanadyum Redoks			Sodyum Sülfür		
	Akü Gerilimi (V)			Akü Gerilimi (V)			Akü Gerilimi (V)			Akü Gerilimi (V)		
Bat. Kap. (Ah)	12	24	48	12	24	48	12	24	48	12	24	48
Min	0	47.95	104.16	33.86	84.94	125.77	42.33	72.27	120.22	33.86	79.57	123.87
Maks	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53	195.53
Ort	163.01	167.84	170.36	166.05	169.64	171.48	165.05	169.11	171.26	165.58	169.43	171.42

6.3.4 Batarya Kapasitesine Göre Senaryolar

Bu çalışmada sistemimizde kullanılacak bataryaların kapasiteleri bulunmaya çalışılmıştır. Yapılan simülasyonlarda 100, 200 ve 250 Ah bataryalar kullanılmıştır. Şekil 6.26 ve 6.27’de 100 Ah’lık bataryalar kullanılarak elde edilen sonuçlara göre bu kapasitede bataryaların sistem için yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır.

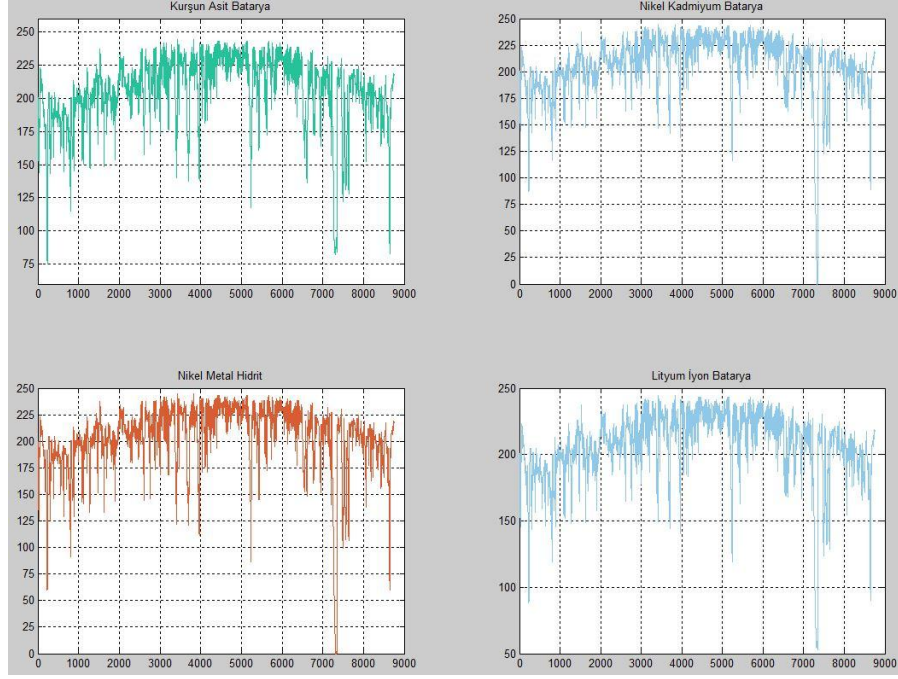


Şekil 6.26 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 100 Ah'lık 1. batarya grubu

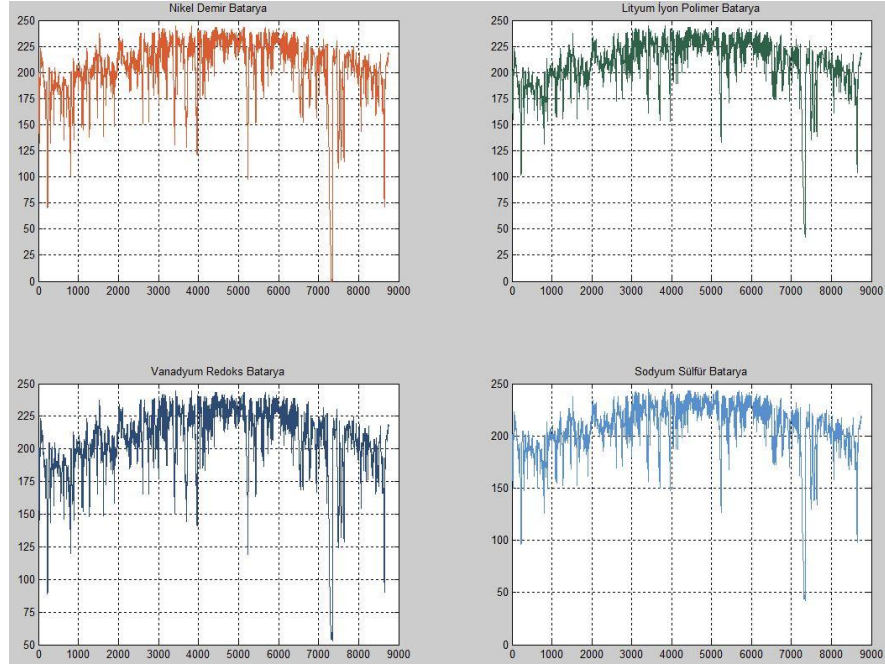


Şekil 6.27 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 100 Ah'lık 2. batarya grubu

Şekil 6.28 ve 6.29'da 250 Ah'lık bataryalar kullanılmış ve sistem için fazla enerji vermekte olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 6.28 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 250 Ah'lık 1. batarya grubu



Şekil 6.29 İki adet 6 kW'lık rüzgar türbini ile çalışan 250 Ah'lık 2. batarya grubu

Çizelge 6.12 ve 6.13'de Şekil 6.12, 6.13, 6.26, 6.27, 6.28 ve 6.29'da elde edilen veriler kullanılmıştır. Çizelgeleri yorumladığımızda sistem için en uygun batarya kapasitesinin 200 Ah olacağına karar verilmiştir.

Çizelge 6.12 Batarya kapasitesine göre 1. Grup batarya karşılaştırması

	Kurşun Asit (Gerilim)			Nikel Kadmiyum (Gerilim)			Nikel Metal Hidrit (Gerilim)			Lityum İyon (Gerilim)		
	Batarya Kapasitesi (Ah)			Batarya Kapasitesi (Ah)			Batarya Kapasitesi (Ah)			Batarya Kapasitesi (Ah)		
Bat. Kap. (Ah)	100	200	250	100	200	250	100	200	250	100	200	250
Min	28.62	58.56	74.90	0	33.86	0	0	42.33	0	17.89	33.86	52.91
Maks	97.76	195.53	244.41	97.76	195.53	244.41	97.76	195.53	244.41	97.76	195.53	244.41
Ort	78.31	164.01	205.36	78.33	166.05	205.97	76.36	165.05	203.14	78.85	165.58	206.57

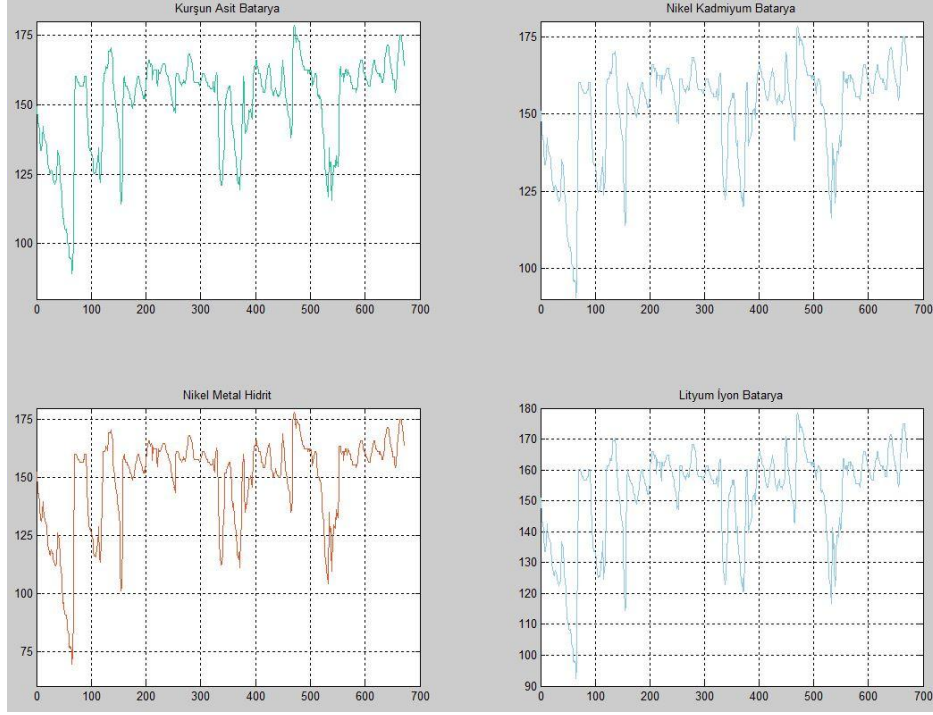
Çizelge 6.13 Batarya kapasitesine göre 2. Grup batarya karşılaştırması

	Nikel Demir			Lityum İyon Polimer			Vanadyum Redoks			Sodyum Sülfür		
	Batarya Kapasitesi (Ah)			Batarya Kapasitesi (Ah)			Batarya Kapasitesi (Ah)			Batarya Kapasitesi (Ah)		
Bat. Kap. (Ah)	100	200	250	100	200	250	100	200	250	100	200	250
Min	0	0	0	14.31	33.86	42.33	17.89	42.33	52.91	14.31	33.86	42.33
Maks	97.76	195.53	244.41	97.76	195.53	244.41	97.76	195.53	244.41	97.76	195.53	244.41
Ort	77.10	163.01	204.15	79.73	166.05	207.85	78.88	165.05	206.63	79.29	165.58	207.28

6.3.5 Enerji İhtiyacının En Yüksek ve En Düşük Olduğu Aylar

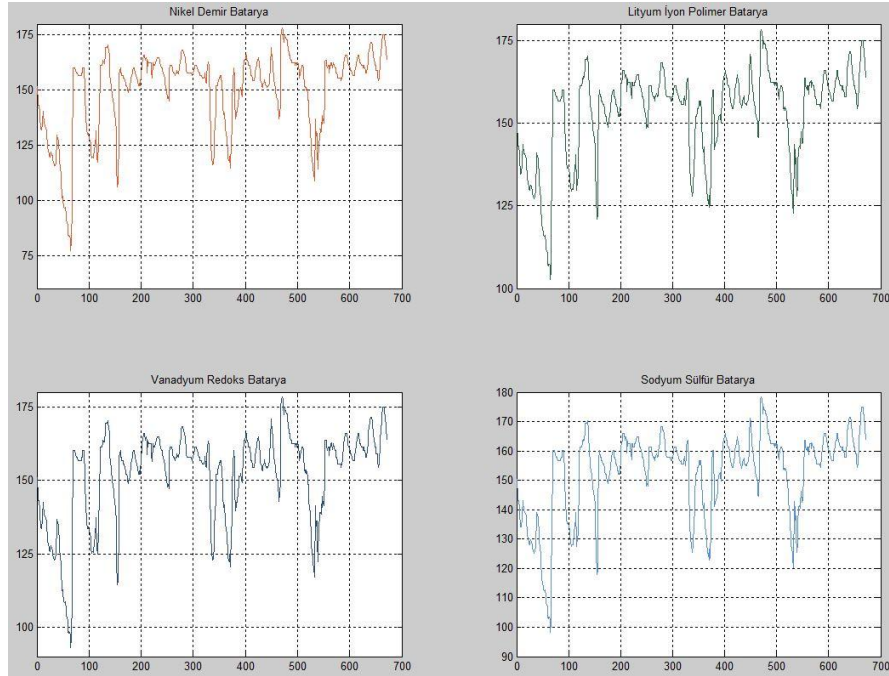
Önceki bölümlerde elde edilen verilere göre 6 kW'lık iki adet rüzgar türbinine, 200 Ah batarya kapasitesine, 12 V batarya gerilimi ve 30 adet batarya sayısına karar verilmiş olup, bu duruma göre bir yılda enerji ihtiyacının en yüksek ve en düşük olduğu aylar tespit edilmiştir. Şekil 6.27 ve 6.28'de Şubat ayı, Şekil 6.29 ve 30'da ise Eylül ayı verileri grafiklere yansıtılmıştır. Çizelge 6.13 ve 6.14'te bütün ayların maksimum, minimum ve ortalama yükleri gösterilmiştir.

Şekil 6.30 ve 6.31'de sistemin sadece Şubat ayı için kullanıldığı varsayılmıştır.



Şekil 6.30 Şubat ayı, 2x6 kW rüzgar türbini, 12 V, 200 Ah 1. batarya grubu

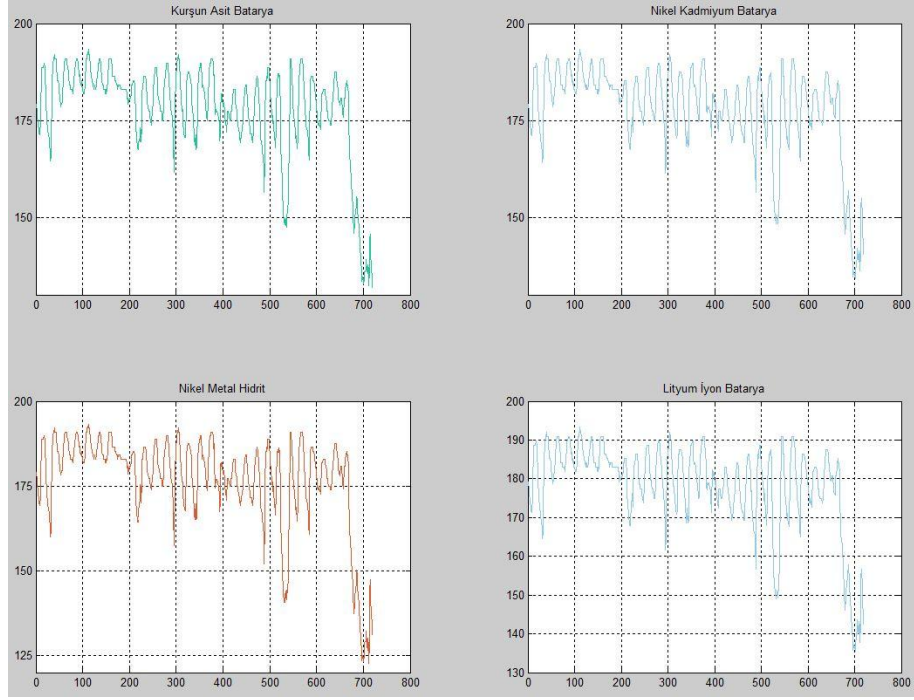
Evden talep edilen enerjinin ortalaması en yüksek Şubat ayında, en düşük ise Eylül ayında gerçekleşmiştir. Sistem her iki ay için de kesintisiz çalışmaktadır.



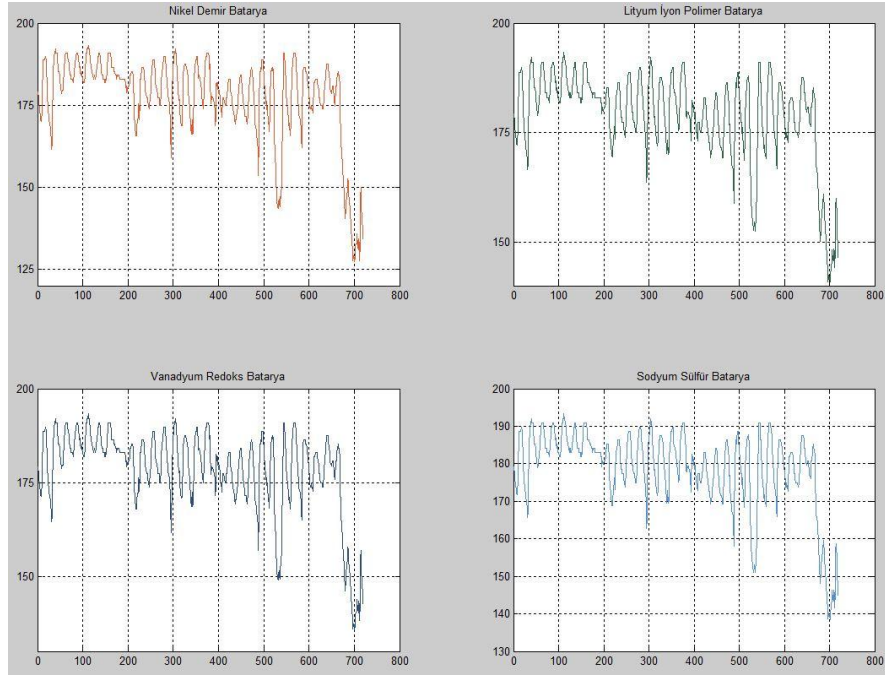
Şekil 6.31 Şubat ayı, 2x6 kW rüzgar türbini, 12 V, 200 Ah 2. batarya grubu

Şekil 6.32 ve 6.33 Eylül ayı için gerçekleştirilmiş sistemi göstermektedir. Yük ihtiyacı

düşük olan bu ay için sistem sorunsuz bir şekilde simülasyonda kullanılan bütün bataryalarla çalıştırılabilmektedir.



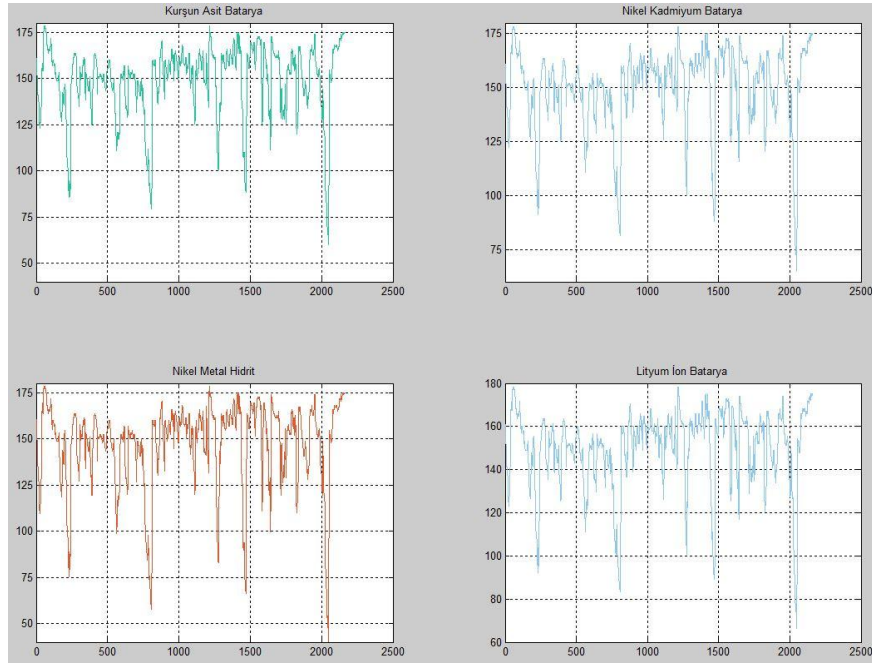
Şekil 6.32 Eylül ayı, 2x6 kW rüzgar türbini, 12 V, 200 Ah 1. batarya grubu



Şekil 6.33 Eylül ayı, 2x6 kW rüzgar türbini, 12 V, 200 Ah 2. batarya grubu

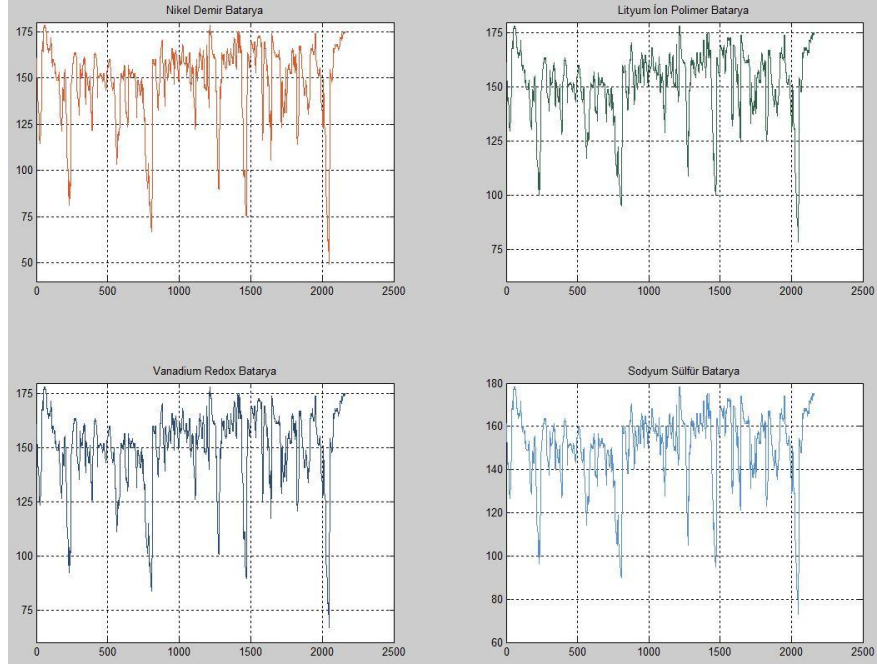
6.3.6 Mevsimlere Göre Batarya Karşılaştırma

Sonbahar, kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerine göre analizler yapılmıştır. Bu analizlerin amacı hangi mevsimde dizel jeneratöre gereksinim duymadan sadece rüzgar türbini ve bataryalarla enerji ihtiyacının karşılanabileceği araştırılmış olup yılın hangi mevsiminde evi kullanmanın daha uygun olacağı sorgulanmıştır. Analizlerde 2x6 kW rüzgar türbini ve 30 adet 12 V, 200 Ah batarya kullanılmıştır.

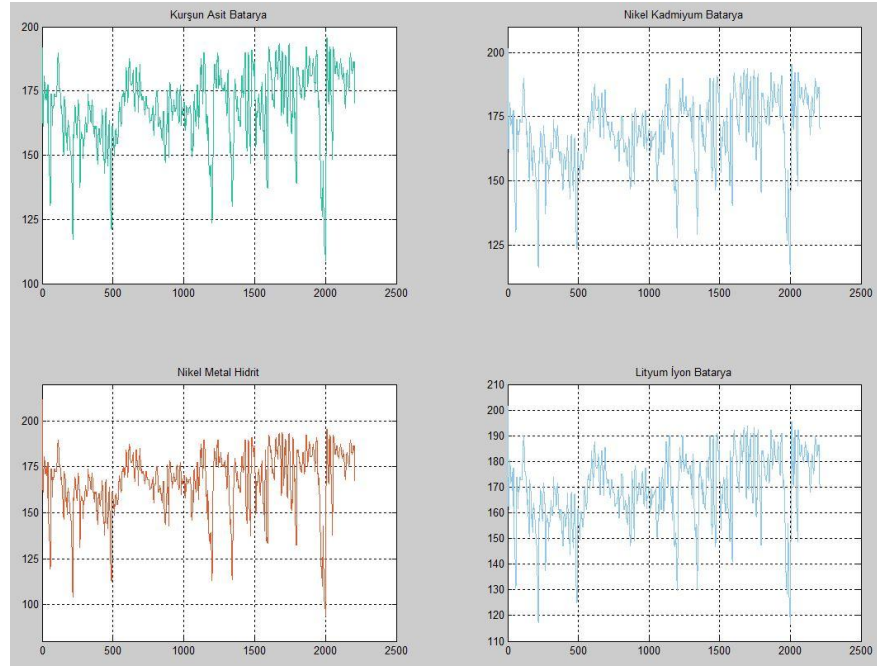


Şekil 6.34 Kış, 2x6 kW rüzgar türbini, 12 V, 200 Ah 1. batarya grubu

Şekil 6.34 ve 6.35’de Kış mevsimi senaryosuna göre grafikler gösterilmiştir. Sistem sadece kış aylarında kullanıldığında dizel jeneratöre ihtiyaç duymadan çalışabilmektedir.

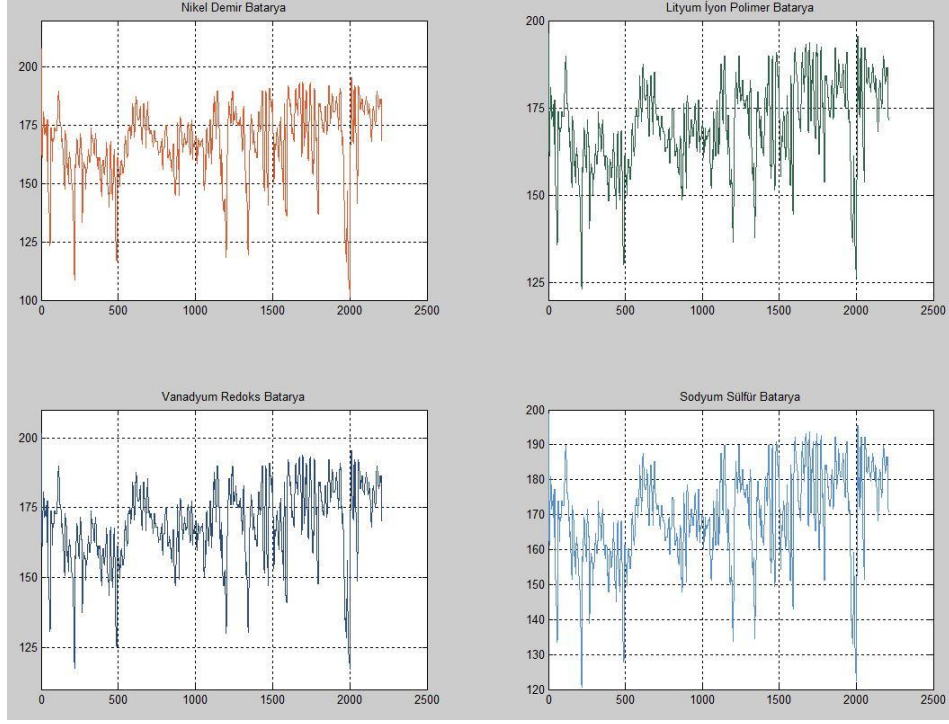


Şekil 6.35 Kış, 2x6 kW rüzgar türbini, 12 V, 200 Ah 2. batarya grubu

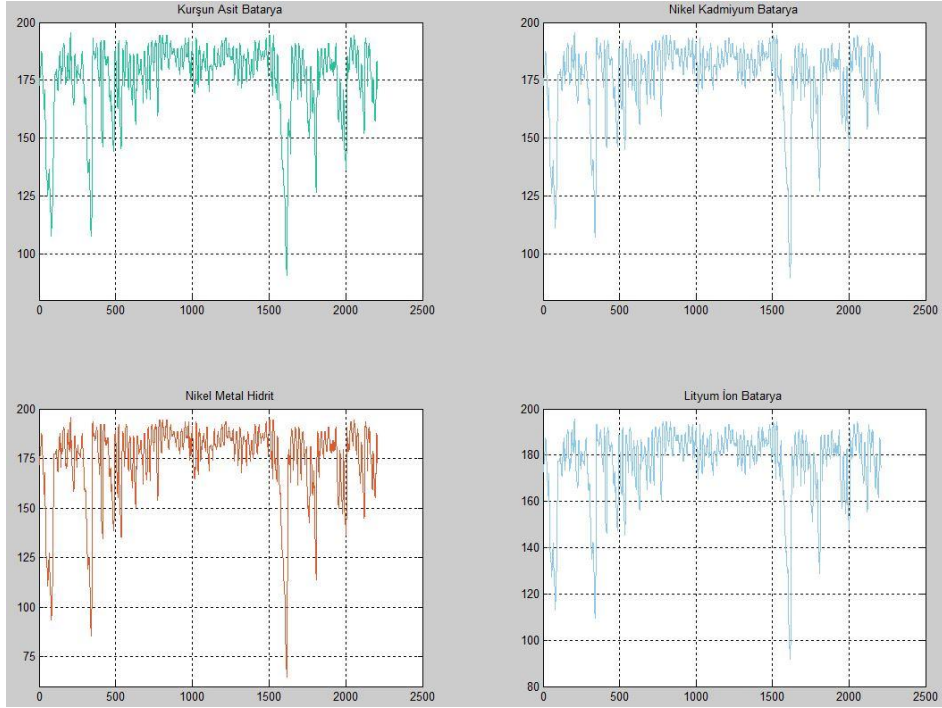


Şekil 6.36 İlkbahar, 2x6 kW rüzgar türbini, 12 V, 200 Ah 1. batarya grubu

Şekil 6.36 ve 6.37’de ilkbahar mevsimine uygulanan simülasyonlar bulunmaktadır. Şebekeden bağımsız olarak çalışan sistem dizel jeneratöre ihtiyaç duymadan ilkbahar mevsiminde kullanılabilmektedir.

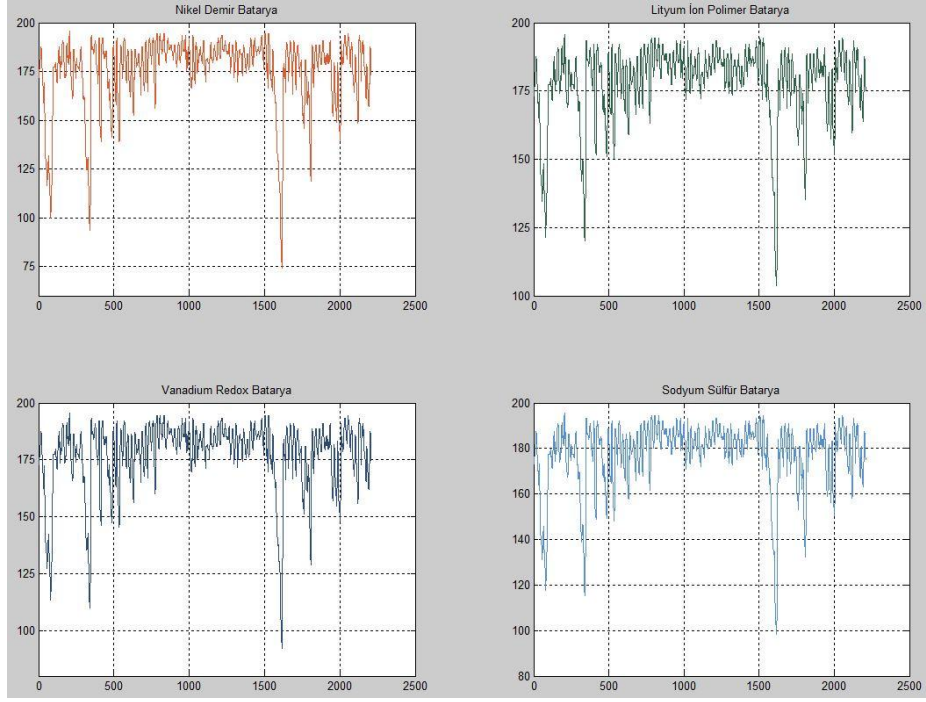


Şekil 6.37 İlkbahar, 2x6 kW rüzgar türbini, 12 V, 200 Ah 2. batarya grubu

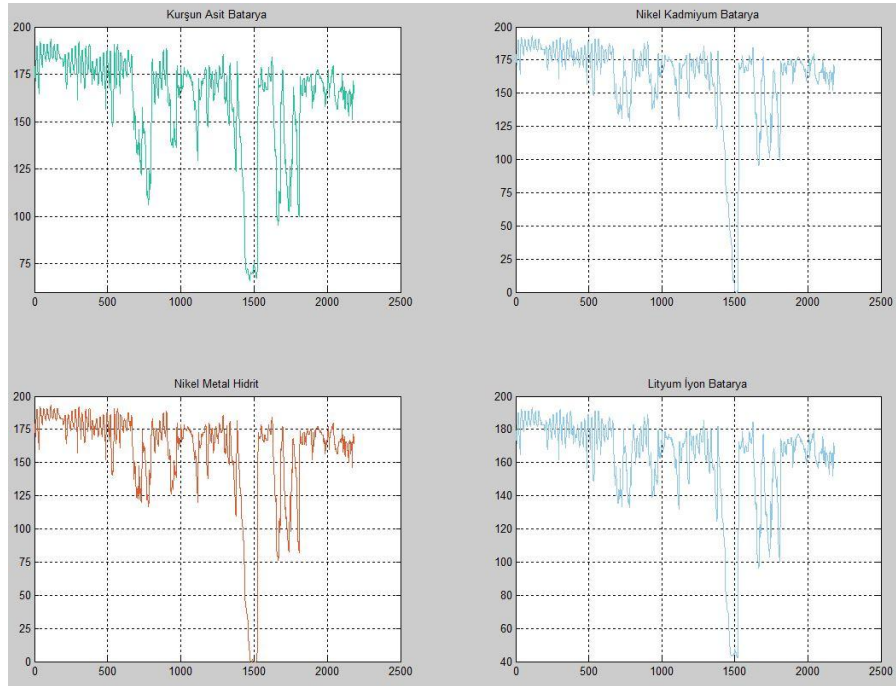


Şekil 6.38 Yaz, 2x6 kW rüzgar türbini, 12 V, 200 Ah 1. batarya grubu

Şekil 6.38 ve 6.39’da yaz mevsimi senaryoları bulunmaktadır. Yaz mevsiminde de kış ve ilbaharda olduğu gibi dizel jeneratörsüz rüzgar türbinleri ve batarya grubuyla çalışabilmektedir.

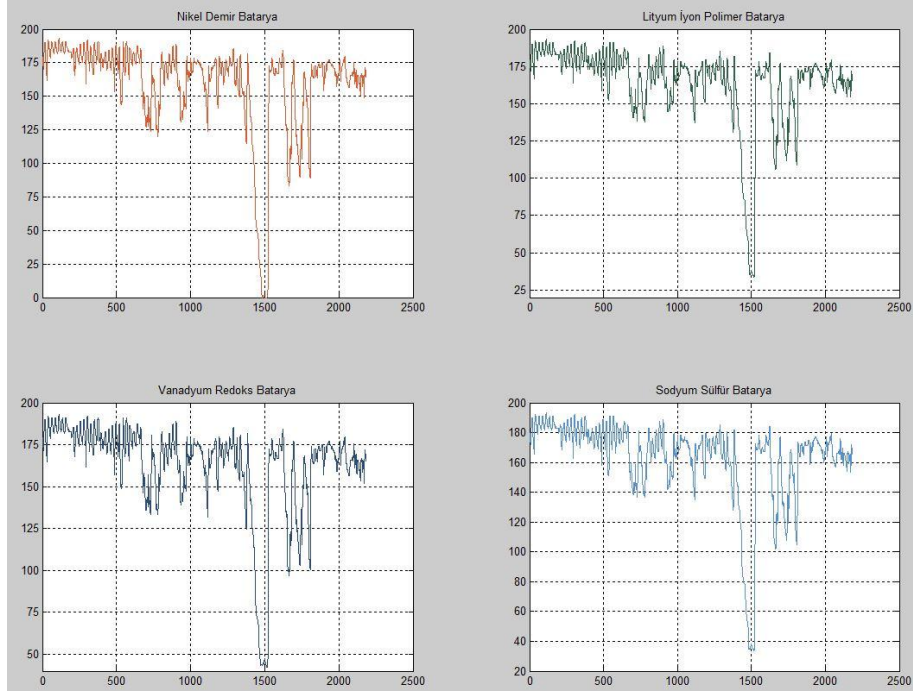


Şekil 6.39 Yaz, 2x6 kW rüzgar türbini, 12 V, 200 Ah 2. batarya grubu



Şekil 6.40 Sonbahar, 2x6 kW rüzgar türbini, 12 V, 200 Ah 1. batarya grubu

Şekil 6.40 ve 6.41’de sonbahar senaryosu bulunmakta olup sistem uzun bir dönem enerjisiz kalmış tek mevsimlik kullanım tercihine uymamaktadır. Diğer mevsimlerle karşılaştırıldığında dizel jeneratör olmadan kullanılması durumunda uzun süre enerjisiz dönem görülmektedir.



Şekil 6.41 Sonbahar, 2x6 kW rüzgar türbini, 12 V, 200 Ah 2. batarya grubu

Çizelge 6.14 ve 6.15’de, Şekil 6.34, 6.35, 6.36, 6.37, 6.38, 6.39, 6.40 ve 6.41’de gösterilen grafiklerin sayısal verileri bulunmaktadır.

Çizelge 6.14 Mevsimlere göre 1. Grup batarya karşılaştırması

Batarya Kapasitesi (Ah)	Kurşun Asit / Mevsimler				Nikel Kadmiyum /Mevsimler			
	Kış	İlk.	Yaz	Sonb.	Kış	İlk.	Yaz	Sonb.
Minimum	59.97	108.84	90.66	65.90	64.67	114.58	89.54	0
Maksimum	178.43	195.53	195.53	193.25	178.43	201.57	195.53	193.25
Ortalama	148.93	168.56	175.72	161.47	149.86	169.08	176.61	161.11
	Nikel Metal Hidrit / Mevsimler				Lityum İyon / Mevsimler			
	Kış	İlk.	Yaz	Sonb.	Kış	İlk.	Yaz	Sonb.
Minimum	40.11	93.89	64.92	0	66.47	116.92	91.75	42.33
Maksimum	178.43	211.84	195.53	193.25	178.43	201.60	195.53	193.25
Ortalama	147.22	167.53	174.35	157.99	150.10	169.26	176.92	162.40

Çizelge 6.15 Mevsimlere göre 2. Grup batarya karşılaştırması

Batarya Kapasitesi (Ah)	Nikel Demir / Mevsimler				Lityum İyon Polimer / Mevsimler			
	Kış	İlk.	Yaz	Sonb.	Kış	İlk.	Yaz	Sonb.
Minimum	49.42	101.49	74.14	0	78.50	123.29	103.68	33.86
Maksimum	178.43	207.71	195.53	193.25	178.43	196.30	195.53	193.25
Ortalama	148.21	168.10	175.16	159.07	151.38	170.00	177.98	163.65
	Vanadyum Redoks / Mevsimler				Sodyum Sülfür / Mevsimler			
	Kış	İlk.	Yaz	Sonb.	Kış	İlk.	Yaz	Sonb.
Minimum	66.77	117.31	92.12	42.33	73.10	120.61	98.43	33.86
Maksimum	178.43	201.61	195.53	193.25	178.43	198.89	195.53	193.25
Ortalama	150.14	169.29	176.97	162.46	150.82	169.68	177.54	163.04

6.4 Ekonomik Analiz Sonuçları

Çizelge 6.16'da yer alan veriler TL/W cinsinden olup sırasıyla kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar dönemlerindeki rüzgar hızına ve batarya devrine göre hesaplanmıştır. Proje kullanım süresi 20 yıl kabul edilmiştir. Dinamik matlab formülleri ile hesaplanan yıllık devir sayıları ekonomik analizde kullanılmıştır. Bu şekilde 20 yıl boyunca bataryaların kaç kez değiştirileceği hesaplanmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda bütün mevsimler için en uygun çözüm vanadyum redoks batarya olmuştur. Kış ayı için lityum-iyon ve kurşun asit batarya aynı maliyette ve ikinci sıradadır. İlkbahar ve yaz için kurşun asit, lityum-iyona göre daha uygun sonbaharda yine kış mevsiminde olduğu gibi eşitlik söz konusudur.

Çizelge 6.16 Mevsimlere göre bataryaların ekonomik analizi

Mevsimler	Kurşun Asit (TL/W)	Sodyum Sülfür (TL/W)	Vanadyum Redoks (TL/W)	Lityum İyon (TL/W)	Lityum İyon Polimer (TL/W)
İlkbahar	0.0186	0.0786	0.0122	0.0185	0.0210
Yaz	0.0226	0.0786	0.0122	0.0394	0.0210
Sonbahar	0.0267	0.0786	0.0122	0.0441	0.0210
Kış	0.0186	0.0786	0.0122	0.0185	0.0210

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

Fosil yakıtların tükenme eğiliminde olması ve fosil yakıtlara karşı oluşan tepkiler önümüzdeki yıllarda enerji sektörünün yenilenebilir enerji kaynaklarına daha fazla yönelmesi kaçınılmaz olacaktır. Her ne kadar yenilenebilir enerji kaynaklarından güvenilir bir enerji elde edilemese de küçük çaplı enerji ihtiyaçlarını giderebilmektedirler.

Yenilebilir enerji türlerinden, rüzgar enerji sistemi tamamıyla rüzgara bağımlı olması sebebiyle enerji depolama birimleri ile beraber kullanılması sistemin kesintisiz çalışabilmesi için gereklidir. Bu nedenle rüzgar türbinlerinin bataryalarla beraber kullanıldığı birçok uygulama bulunmaktadır.

Yapılan bu çalışmada öncelikle enerjisi sağlanacak bir ev belirlenmiştir. Bu evin bir yıl boyunca ihtiyaç duyduğu güç saatlik olarak MATLAB programına aktarılmıştır. Rüzgar türbininden elde edilen gücü hesaplayabilmek için 2004 yılı Çanakkale saatlik rüzgar hızı kullanılmıştır. 3 farklı rüzgar türbini karşılaştırılmış sisteme en uygun olan türbin seçilmiştir.

Sistemde sadece rüzgar türbini evin yükünü karşılayamadığı için türbinler rüzgar hızı yüksekken bataryaları da şarj etmekte ve türbinlerin çalışmadığı periyotlarda evi beslemektedir. Farklı tipte birçok batarya olması sebebiyle 8 farklı tip batarya simülasyonlarda kullanılmış özgül kayıpları ve şarj/deşarj verimlerine göre karşılaştırılmıştır.

Sistem güvenilirliğini artırmak ve enerji kesintisinin önüne geçmek için dizel jeneratör kullanılması öngörülmüştür. Bir yıldaki toplam kesinti süresine göre dizel jeneratörün deposunun kaç litre olması gerektiği bilgisine ulaşılmıştır.

Yapılan bu çalışmada sonuç olarak:

- MATLAB programı yardımıyla yapılan m-file'da 3 adet rüzgar türbini 6 farklı senaryo ile ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Bu senaryolar sonucunda 2 adet 6 kW rüzgar türbini sistemin optimum çözümü olmuştur.
- Program 8 farklı batarya için çalışmakta ve bu bataryalar; kurşun asit, nikel kadmiyum, nikel metal hidrit, nikel demir, lityum iyon, lityum iyon polimer, sodyum sülfür ve vanadyum redokstur. Nikel bataryalarda hafıza etkisi, sodyum sülfür bataryada ise sıcaklığa karşı duyarlılık gözardı edilmiştir. Bu varsayımlar ile program çalıştırılmıştır.
- Hangi bataryanın kullanılacağı sorusuna ekonomik açıdan cevap vermek gerekmektedir. Her ne kadar kurşun asit bataryanın kurulum maliyeti diğer bataryalara nazaran düşük olsa da, sistem ömrünü 20 yıl belirlediğimizden ötürü ve kurşun asit bataryaların devir sayılarının düşük olması ekonomik açıdan devir sayıları yüksek olan vanadyum redoks bataryayı ön plana çıkarmaktadır.
- Sistemde kullanılan ev sadece mevsimsel olarak kullanılması durumunda yıllık rüzgar verilerine göre, dizel jeneratöre ihtiyaç duymadan kış mevsimi hariç diğer üç mevsimde kullanılabilir. Kış, ilkbahar, sonbahar ve yaz mevsimlerinde en uygun batarya teknik açıdan lityum iyon polimer bulunmuştur. 4 mevsim kendi aralarında karşılaştırıldığında en uygun mevsim yaz olarak karşımıza çıkmaktadır.
- Sistem yıllık olarak kullanılması durumunda enerji kesintisi olacağı öngörülmüş ve dizel jeneratör kullanılması sonucuna varılmıştır. Bu sebeple 6 kVA ve 130 litre depoya sahip bir elektrojen sistemi enerjisiz bırakmayacaktır.
- MATLAB'de hazırlanan m-file dosyasına keşfedilecek her batarya eklenebilmektedir. Sodyum sülfür bataryaların sıcaklık sorunu giderildiğinde ve fiyatının düşmesi durumunda kurşun asit ve vanadyum redoks batarya ile kısa ve uzun vadede yarışabilir konuma gelecektir.
- Önümüzdeki yıllarda yapılması gereken çalışmalar şehir merkezine uzak olan bölgelerin enerji ihtiyacının yenilebilir enerji kaynakları ve depolama sistemleri ile giderilmeye çalışılması yönünde olmalıdır.
- Bu tezi geliştirmek maksadıyla MATLAB programının Simülink arayüzü ile gerçek zamanlı bir simülasyon yapılabilir. Simulinkteki hazır bulunan 4 adet

bataryaya diğ er bataryaların adaptasyonu sağ lanmalı ve rüz gar türbinin girişine saatlik değ iş en rüz gar hızları aktarılabildiğ i takdirde simülasyon gerçekleştirilecektir.

KAYNAKLAR

-
- [1] Sahay, K. ve Dwivedi, B., (2009). "Energy Storage Technology for Performance Enhancement of Power Systems", Electrical Power Quality & Utilization Magazine, Volume 4, Issue 1: 2-6.
 - [2] Nandi, S. K. ve Ghosh, H. R., (2009). "A wind-PV-battery hybrid power system at Sitakunda in Bangladesh", Energy Policy, 37:1.
 - [3] Elhadidy, M. A. ve Shaahid, S. M., (1999). "Optimal sizing of battery storage for hybrid wind diesel power systems", Renewable Energy, 18:1.
 - [4] Breban, S., Nasser, M., Vergnol, A., Robyns, B. ve Radulescu, M. M., (2008). "Hybrid wind/microhydro power system associated with a supercapacitor energy storage device – Experimental results", 2008 International Conference on Electrical Machines, 1266:1.
 - [5] Liu, X., (2006). "Wind-Diesel-Battery Hybrid Generation System Reliability Analysis On Site And Size Factors", 4th International Conference on Electrical and Computer Engineering.
 - [6] Hakimi, S. M., Tafreshi, S. M. M. ve Rajati, M. M., (2007). "Unit Sizing of a Stand-alone Hybrid Power System Using Model-Free Optimization", 2007 IEEE International Conference on Granular Computing.
 - [7] Physics at Oregon State University, Modern Flywheel Technology, <http://www.physics.oregonstate.edu>, 19 Mayıs 2010.
 - [8] Salt Cavern Information Center, CAES in Salt Caverns, <http://web.ead.anl.gov/saltcaverns/uses/compair/index.htm>, 23 Mayıs 2010.
 - [9] Perkins, R.R., Renewable Tech: Hydropower, richard-rowland-perkins.com/professional/renewable-tech-hydropower, 28 Mayıs 2010.
 - [10] Diytrade, Super Capacitor 5.5V DC, 1.0F with Nominal Capacity of 1.00F, http://www.diytrade.com/china/4/products/5269213/Super_Capacitor_5_5V_DC_1_0F_with_Nominal_Capacity_of_1_00F.html, 04 Haziran 2010.
 - [11] Forum sitesi, Güneş Enerjisi ve GAP, <http://www.forumsitesi.net>, 17 Haziran 2011.
 - [12] Elektronik Magazin, Güneş Enerjisi, <http://www.elektronikmagazin.com>, 14 Haziran 2010.
 - [13] Unienerji, Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörleri, <http://www.unienerji.com>, 14 Haziran 2010.
 - [14] Stenkjaer, N., Solar Thermal Collectors, <http://www.folkecenter.net/gb/rd/solar->

energy/solar_collectors, 03 Temmuz 2010.

- [15] Bilgiustam, Güneş Enerjisi Nedir ?, <http://www.bilgiustam.com>, 21 Haziran 2011.
- [16] DOKAR İnşaat-Enerji-Danışmanlık, Güneş Enerjisi, <http://www.dokar.com.tr/>, 22 Haziran 2011.
- [17] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, EİE Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası, <http://www.eie.gov.tr>, 23 Haziran 2011.
- [18] Chahwan, J.A., (2007). “Vanadium-Redox Flow and Lithium-Ion Battery Modelling and Performance In Wind Energy Applications”, Master of Degree, Department of Electrical and Computer Engineering, McGill University, Quebec, Montreal, Canada.
- [19] Kekezoğlu, B., (2007). Şebekeden Bağımsız Çalışan Hibrik Enerji Sistemlerinde Risk Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [20] Extraloob, Yel Değirmeni Tarihçesi, <http://www.extraloob.com/forums/viewtopic.php?f=667&t=78751&start=11>, 22 Haziran 2011.
- [21] DatçaDetay, Datça Yeldeğirmenleri, <http://www.datcadetay.com/tarihieserler/yeldegirmenleri.html>, 22 Haziran 2011.
- [22] Peyzaj, Yeldeğirmenleri: Bodrum’un Sonu Yaklaşan Süsleri, <http://peyzaj.org/yeldegirmenleri-bodrumun-sonu-yaklasan-susleri>, 22 Haziran 2011.
- [23] TürkçeBilgi, Amsterdam hakkında ansiklopedik bilgi, <http://www.turkcebilgi.com/amsterdam/ansiklopedi>, 22 Haziran 2011.
- [24] Vatanenerji, Rüzgar Enerjisinin Tarihte İlk Kullanımı, <http://www.vatanenerji.com/enerji/yazdir.asp?ID=10>, 22 Haziran 2011.
- [25] Forumkapsam, Rüzgar Türbini, <http://www.forumkapsam.com>, 23 Haziran 2011.
- [26] Birsorusur, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, <http://birsorusor.org>, 23 Haziran 2011.
- [27] BelesEnerji, Rüzgar Türbini, <http://belesenerji.com>, 23 Haziran 2011.
- [28] Acilforum, Rüzgar Enerjisi Nasıl ve Nereelerde Kullanılır, <http://www.acilforum.com>, 23 Haziran 2011.
- [29] Yenilenebilir Yaşam, Rüzgar Türbinleri ve Yapısı, <http://www.yenilenebiliryasam.com>, 23 Haziran 2011.
- [30] Armagh Observatory, Cup Anemometer by Munro 1870, <http://www.arm.ac.uk/history/instruments/Robinson-cup-anemometer.html>, 24 Haziran 2011.
- [31] Oakes, M. J., A Brief History of Batteries and Stored Energy, NetaWorld, Summer 2006.
- [32] College of Humanities and Social Sciences, Early Batteries: The Voltaic Cell, <http://chss.montclair.edu>, 17 Mayıs 2011.
- [33] Linden, D. ve Reddy, T.B., (2001). “Handbook of Batteries”, Third Edition, McGraw-Hill Handbooks, New York.

- [34] Department of Environmental Protection, Moshannon District Office Wind Turbine, <http://www.dep.state.pa.us>, 11 Nisan 2011.
- [35] Electropaedia, Battery and Energy Technologies, <http://www.mpoweruk.com>, 05 Mayıs 2011.
- [36] Molecular Expressions, Lead Acid Batteries, <http://micro.magnet.fsu.edu>, 08 Mayıs 2011.
- [37] Colorado College, Batteries, http://www.coloradocollege.edu/dept/ev/courses/EV212/Block5_2002/Battery.html, 08 Mayıs 2011.
- [38] Gm-volt, Lithium-ion Battery Separator, <http://gm-volt.com>, 08 Mayıs 2011.
- [39] The Energy Blog, Vanadium Redox Flow Batteries, http://thefraserdomain.typepad.com/energy/2006/01/vandium_reflux.html, 12 Mayıs 2011.
- [40] Gizmag, Vanadium Redox Energy Storage System, <http://www.gizmag.com>, 12 Mayıs 2011.
- [41] Wikipedia, Sodium Sulfur Battery, http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium-sulfur_battery, 16 Mayıs 2011.
- [42] Zhou, W., Yang, H. ve Fang, Z., (2007). “Battery behavior prediction and battery working states analysis of a hybrid solar–wind power generation system”, Renewable Energy, 33.
- [43] Wikipedia, Cost of Electricity by Source, http://en.wikipedia.org/wiki/Cost_of_electricity_by_source, 16 Mayıs 2011.
- [44] Diaf, S., Belhamel, M., Haddadi, M. ve Louche, A., (2007). “Technical and economic assessment of hybrid photovoltaic/wind system with battery storage in Corsica island”, Energy Policy, 36.

MATLAB KODLARI

A-1 Yıllık hesap

```

clear all,clc
load year.txt ;
load year_heat.txt;
k=xlsread('rcanakkale_2004.xls');
Pload=year(:,1);
% 8760 adet saatlik yük
nar=1:8760;
Kel=year_heat(nar);
% 8760 adet sıcaklık
nrec=0.95;
ninv=0.92;
Cbat0=200;
nb=30;
ncbat=1;
vb=12;
Soc=0.95;
Cbat=Soc*Cbat0*(1+0.006*(Kel-298.15));
m=1:8760;
mb=k(m);
for ru=1:8760
if mb(ru)>2.5
pw(ru)=0.5*1.226*pi*2.75^2*mb(ru)^3;
else pw(ru)=0;
end
if pw(ru)>6000;
pw(ru)=6000;
end
end

%-----
%1.Lead Acid Battery
vl=zeros(1,8760);
lbat1=zeros(1,8760);
for n=1
lbat1(n)=(pw(n)*0.95-Pload(n)*0.92)/(vb*nb);

```

```

if Ibat1(n)>0;
vl(n)=ncbat*Cbat(n)+Ibat1(n)*0.85-(Cbat(n)*0.165)/2400;
else
vl(n)=ncbat*Cbat(n)+Ibat1(n)/0.85-(Cbat(n)*0.165)/2400;
end
end
for n=2:8760
Ibat1(n)=(pw(n)*0.95-Pload(n)*0.92)/(vb*nb);
if Ibat1(n)>20;
Ibat1(n)=20;
end
if Ibat1(n)<-20;
Ibat1(n)=-20;
end
if Ibat1(n)>0;
vl(n)=(ncbat*Cbat(n)*vl(n-1))/Cbat(n-1)+Ibat1(n)*0.85-(Cbat(n)*0.165)/2400;
else
vl(n)=(ncbat*Cbat(n)*vl(n-1))/Cbat(n-1)+Ibat1(n)/0.85-(Cbat(n)*0.165)/2400;
end
set(gca,'YTick',[0:25:250])
if vl(n)>Cbat(n)*ncbat;
vl(n)=Cbat(n)*ncbat;
elseif vl(n)<Cbat(n)*0.40;
vl(n)=Cbat(n)*0.40;
end
subplot(2,2,1);plot(vl,'Color',[0.15 0.76 0.605])
title('Kurşun Asit Batarya')
grid on
end

%-----
%2.Nickel Cadmium
v2=zeros(1,8760);
Ibat2=zeros(1,8760);
for n=1
Ibat2(n)=(pw(n)*0.95-Pload(n)*0.92)/(vb*nb);
if Ibat2>0
v2(n)=ncbat*Cbat(n)+Ibat2(n)*0.85-(Cbat(n)*0.58)/2400;
else
v2(n)=ncbat*Cbat(n)+Ibat2(n)/0.85-(Cbat(n)*0.58)/2400;
end
end
for n=2:8760
Ibat2(n)=(pw(n)*0.95-Pload(n)*0.92)/(vb*nb);
if Ibat2(n)>20;
Ibat2(n)=20;
end
if Ibat2(n)<-20;
Ibat2(n)=-20;
end
if Ibat2>0;
v2(n)=(ncbat*Cbat(n)*v2(n-1))/Cbat(n-1)+Ibat2(n)*0.85-(Cbat(n)*0.58)/2400;
else
v2(n)=(ncbat*Cbat(n)*v2(n-1))/Cbat(n-1)+Ibat2(n)/0.85-(Cbat(n)*0.58)/2400;
end
set(gca,'YTick',[0:25:250])
if v2(n)>Cbat(n)*ncbat;
v2(n)=Cbat(n)*ncbat;

```

```

elseif v2(n)<0;
    v2(n)=0;
end
subplot(2,2,2);plot(v2,'Color',[0.565 0.786 0.915])
title('Nikel Kadmiyum Batarya')
grid on
end

%-----
%3.Nickel Metal Hydride
v3=zeros(1,8760);
Ibat3=zeros(1,8760);
for n=1
    Ibat3(n)=(pw(n)*0.95-Pload(n)*0.92)/(vb*nb);
    if Ibat3>0
        v3(n)=ncbat*Cbat(n)+Ibat3(n)*0.66-(Cbat(n)*0.75)/2400;
    else
        v3(n)=ncbat*Cbat(n)+Ibat3(n)/0.66-(Cbat(n)*0.75)/2400;
    end
end
for n=2:8760
    Ibat3(n)=(pw(n)*0.95-Pload(n)*0.92)/(vb*nb);
    if Ibat3(n)>20;
        Ibat3(n)=20;
    end
    if Ibat3(n)<-20;
        Ibat3(n)=-20;
    end
    if Ibat3>0;
        v3(n)=(ncbat*Cbat(n)*v3(n-1))/Cbat(n-1)+Ibat3(n)*0.66-(Cbat(n)*0.75)/2400;
    else
        v3(n)=(ncbat*Cbat(n)*v3(n-1))/Cbat(n-1)+Ibat3(n)/0.66-(Cbat(n)*0.75)/2400;
    end
end
set(gca,'YTick',[0:25:250])
if v3(n)>Cbat(n)*ncbat;
    v3(n)=Cbat(n)*ncbat;
elseif v3(n)<0;
    v3(n)=0;
end
subplot(2,2,3);plot(v3,'Color',[0.85 0.36 0.195])
title('Nikel Metal Hidrit')
grid on
end

%-----
%4.Lithium Ion
v4=zeros(1,8760);
Ibat4=zeros(1,8760);
for n=1
    Ibat4(n)=(pw(n)*0.95-Pload(n)*0.92)/(vb*nb);
    if Ibat4>0
        v4(n)=ncbat*Cbat(n)+Ibat4(n)*0.85-(Cbat(n)*0.083)/2400;
    else
        v4(n)=ncbat*Cbat(n)+Ibat4(n)/0.85-(Cbat(n)*0.083)/2400;
    end
end
for n=2:8760
    Ibat4(n)=(pw(n)*0.95-Pload(n)*0.92)/(vb*nb);

```

```

if Ibat4(n)>20;
    Ibat4(n)=20;
end
if Ibat4(n)<-20;
    Ibat4(n)=-20;
end
if Ibat4>0
v4(n)=(ncbat*Cbat(n)*v4(n-1))/Cbat(n-1)+Ibat4(n)*0.85-(Cbat(n)*0.083)/2400;
else
v4(n)=(ncbat*Cbat(n)*v4(n-1))/Cbat(n-1)+Ibat4(n)/0.85-(Cbat(n)*0.083)/2400;
end
set(gca,'YTick',[0:25:250])
if v4(n)>Cbat(n)*ncbat;
    v4(n)=Cbat(n)*ncbat;
elseif v4(n)<Cbat(n)*0.25;
    v4(n)=Cbat(n)*0.25;
end
subplot(2,2,4);plot(v4,'Color',[0.565 0.786 0.915])
title('Lityum İyon Batarya')
grid on
end

%-----
f=figure;
%5.Nickel İron
v5=zeros(1,8760);
Ibat5=zeros(1,8760);
for n=1
Ibat5(n)=(pw(n)*0.95-Pload(n)*0.92)/(vb*nb);
if Ibat5>0
v5(n)=ncbat*Cbat(n)+Ibat5(n)*0.725-(Cbat(n)*0.83)/2400;
else
v5(n)=ncbat*Cbat(n)+Ibat5(n)/0.725-(Cbat(n)*0.83)/2400;
end
end
for n=2:8760
Ibat5(n)=(pw(n)*0.95-Pload(n)*0.92)/(vb*nb);
if Ibat5(n)>20;
    Ibat5(n)=20;
end
if Ibat5(n)<-20;
    Ibat5(n)=-20;
end
if Ibat5>0
v5(n)=(ncbat*Cbat(n)*v5(n-1))/Cbat(n-1)+Ibat5(n)*0.725-(Cbat(n)*0.83)/2400;
else
v5(n)=(ncbat*Cbat(n)*v5(n-1))/Cbat(n-1)+Ibat5(n)/0.725-(Cbat(n)*0.83)/2400;
end
set(gca,'YTick',[0:25:250])
if v5(n)>Cbat(n)*ncbat;
    v5(n)=Cbat(n)*ncbat;
elseif v5(n)<0;
    v5(n)=0;
end
subplot(2,2,1);plot(v5,'Color',[0.85 0.36 0.195])
title('Nikel Demir Batarya')
grid on
end

```

```

%-----
%6.Lithium ion polymer
v6=zeros(1,8760);
Ibat6=zeros(1,8760);
for n=1
Ibat6(n)=(pw(n)*0.95-Pload(n)*0.92)/(vb*nb);
if Ibat6>0
v6(n)=ncbat*Cbat(n)+Ibat6(n)*0.998-(Cbat(n)*0.166)/2400;
else
v6(n)=ncbat*Cbat(n)+Ibat6(n)/0.998-(Cbat(n)*0.166)/2400;
end
end
for n=2:8760
Ibat6(n)=(pw(n)*0.95-Pload(n)*0.92)/(vb*nb);
if Ibat6(n)>20;
Ibat6(n)=20;
end
if Ibat6(n)<-20;
Ibat6(n)=-20;
end
if Ibat6>0
v6(n)=(ncbat*Cbat(n)*v6(n-1))/Cbat(n-1)+Ibat6(n)*0.998-(Cbat(n)*0.166)/2400;
else
v6(n)=(ncbat*Cbat(n)*v6(n-1))/Cbat(n-1)+Ibat6(n)/0.998-(Cbat(n)*0.166)/2400;
end
set(gca,'YTick',[0:25:250])
if v6(n)>Cbat(n)*ncbat;
v6(n)=Cbat(n)*ncbat;
elseif v6(n)<Cbat(n)*0.20;
v6(n)=Cbat(n)*0.20;
end
subplot(2,2,2);plot(v6,'Color',[0.185 0.386 0.287])
title('Lityum İyon Polimer Batarya')
grid on
end
%-----
%7.Vanadium Redox
v7=zeros(1,8760);
Ibat7=zeros(1,8760);
for n=1
Ibat7(n)=(pw(n)*0.95-Pload(n)*0.92)/(vb*nb);
if Ibat7>0
v7(n)=ncbat*Cbat(n)+Ibat7(n)*0.85;
else
v7(n)=ncbat*Cbat(n)+Ibat7(n)/0.85;
end
end
for n=2:8760
Ibat7(n)=(pw(n)*0.95-Pload(n)*0.92)/(vb*nb);
if Ibat7(n)>20;
Ibat7(n)=20;
end
if Ibat7(n)<-20;
Ibat7(n)=-20;
end
if Ibat7>0
v7(n)=(ncbat*Cbat(n)*v7(n-1))/Cbat(n-1)+Ibat7(n)*0.85;

```

```

else
v7(n)=(ncbat*Cbat(n)*v7(n-1))/Cbat(n-1)+Ibat7(n)/0.85;
end
set(gca,'YTick',[0:25:250])
if v7(n)>Cbat(n)*ncbat;
    v7(n)=Cbat(n)*ncbat;
elseif v7(n)<Cbat(n)*0.25;
    v7(n)=Cbat(n)*0.25;
end
subplot(2,2,3);plot(v7,'Color',[0.18055 0.2956 0.4625])
title('Vanadyum Redoks Batarya')
grid on
end
%-----
%8.Sodium Sulfur Battery
v8=zeros(1,8760);
Ibat8=zeros(1,8760);
for n=1
Ibat8(n)=(pw(n)*0.95-Pload(n)*0.92)/(vb*nb);
if Ibat8>0
v8(n)=ncbat*Cbat(n)+Ibat8(n)*0.92;
else
v8(n)=ncbat*Cbat(n)+Ibat8(n)/0.92;
end
end
for n=2:8760
Ibat8(n)=(pw(n)*0.95-Pload(n)*0.92)/(vb*nb);
if Ibat8(n)>20;
    Ibat8(n)=20;
end
if Ibat8(n)<-20;
    Ibat8(n)=-20;
end
if Ibat8>0
v8(n)=(ncbat*Cbat(n)*v8(n-1))/Cbat(n-1)+Ibat8(n)*0.92;
else
v8(n)=(ncbat*Cbat(n)*v8(n-1))/Cbat(n-1)+Ibat8(n)/0.92;
end
set(gca,'YTick',[0:25:250])
if v8(n)>Cbat(n)*ncbat;
    v8(n)=Cbat(n)*ncbat;
elseif v8(n)<Cbat(n)*0.20;
    v8(n)=Cbat(n)*0.20;
end
subplot(2,2,4);plot(v8,'Color',[0.35 0.56 0.805])
title('Sodyum Sülfür Batarya')
grid on
end
f=figure;
plot(Ibat1)
Xlabel('Yük Akımı')
bz=8760*[min(v1)/8760 min(v2)/8760 min(v3)/8760 min(v4)/8760 min(v5)/8760 min(v6)/8760
min(v7)/8760 min(v8)/8760 ]
cz=8760*[max(v1)/8760 max(v2)/8760 max(v3)/8760 max(v4)/8760 max(v5)/8760 max(v6)/8760
max(v7)/8760 max(v8)/8760 ]
az=[sum(v1)/8760 sum(v2)/8760 sum(v3)/8760 sum(v4)/8760 sum(v5)/8760 sum(v6)/8760 sum(v7)/8760
sum(v8)/8760 ]
% dz=

```

A-2 Ekonomik Analiz Kodu

```
clear,clc
%1. Lead Acid
%cycle 300
d=0.02;      % indirim oranı
g=0.064;     % enflasyon oranı
for iz=1:4
Ti=[300/30 300/40 300/50 300/30];
% batarya ömrü Lead Acid için
T=20;        % sistem süresi
ic=168*60;    % 60 adet bataryanın fiyatı (30x200=60x100)
cm=0;         % bakım maliyeti sıfır'dır
Uc=168/1200;  % batarya birim maliyeti
Cn=1200;
Etot=1.05*10^5;
crf=(d*(1+d)^T)/(((1+d)^T)-1);

for Nrem=1:60
x=(1+g)/(1+d);
xi=x^(Ti(iz)/Nrem+1);
y(Nrem)=xi;
z=sum(y);
end
rc=(T/Ti(iz))*Uc*Cn*z;

pvc=ic+cm+rc;
lce(iz)=(pvc* crf)/Etot;
end

set(gca,'XTick',[1:1:4])
season = ['Kış';
'İbh';
'Yaz';
'Sbh'];
set(gca,'XTickLabel',season)
bar(lce)

%2. Sodium Sulfur
%cycle 4500
for iz=1:4
Ti=[4500/30 4500/40 4500/50 4500/30];
d=0.02;      % indirim oranı
g=0.064;     % enflasyon oranı
% Ti=20;      % batarya ömrü Sodium Sulfur için
T=20;        % sistem süresi
ic=2250*60;   % 60 adet bataryanın fiyatı (30x200=60x100)
cm=0;         % bakım maliyeti sıfır'dır
Uc=2250/1200; % batarya birim maliyeti
Cn=1200;
Etot=1.05*10^5;
crf=(d*(1+d)^T)/(((1+d)^T)-1);
for Nrem=1:60
x=(1+g)/(1+d);
xi=x^(Ti(iz)/Nrem+1);
y(Nrem)=xi;
z=sum(y);
```

```

end
if T>=Ti(iz)
rc=(T/Ti(iz))*Uc*Cn*z;
else
rc=0;
end
pvc2=ic+cm+rc;
lce2=(pvc2* crf)/Etot;
end
f=figure
set(gca,'XTick',[1:4])
season = ['Kıs';
'İbh';
'Yaz';
'Sbh'];
set(gca,'XTickLabel',season)
bar(lce2)

%3. Vanadium Redox
%cycle 10000
for iz=1:4
Ti=[10000/30 10000/40 10000/50 10000/30];
d=0.02; % indirim oranı
g=0.064; % enflasyon oranı
% Ti=20; % batarya ömrü Vanadium Redox için
T=20; % sistem süresi
ic=350*60; % 60 adet bataryanın fiyatı (30x200=60x100)
cm=0; % bakım maliyeti sıfır'dır
Uc=350/1200; % batarya birim maliyeti
Cn=1200;
Etot=1.05*10^5;
crf=(d*(1+d)^T)/(((1+d)^T)-1);
for Nrem=1:60
x=(1+g)/(1+d);
xi=x^(Ti(iz)/Nrem+1);
y(Nrem)=xi;
z=sum(y);
end
if T>=Ti(iz)
rc=(T/Ti(iz))*Uc*Cn*z;
else
rc=0;
end
pvc3=ic+cm+rc;
lce3=(pvc3* crf)/Etot;
end
f=figure;
set(gca,'XTick',[1:4])
season = ['Kıs';
'İbh';
'Yaz';
'Sbh'];
set(gca,'XTickLabel',season)
bar(lce3)

%4. Lithium Ion
%cycle 800
for iz=1:4

```

```

Ti=[800/30 800/40 800/50 800/30];
d=0.02;      % indirim oranı
g=0.064;     % enflasyon oranı
% Ti=8;      % batarya ömrü Lithium Ion için
T=20;        % sistem süresi
ic=530*60;   % 60 adet bataryanın fiyatı (30x200=60x100)
cm=0;        % bakım maliyeti sıfır'dır
Uc=530/1200; % batarya birim maliyeti
Cn=1200;
Etot=1.05*10^5;
crf=(d*(1+d)^T)/(((1+d)^T)-1);

```

```

for Nrem=1:60
x=(1+g)/(1+d);
xi=x^(Ti(iz)/Nrem+1);
y(Nrem)=xi;
z=sum(y);
end
if T>=Ti(iz)
rc(iz)=(T/Ti(iz))*Uc*Cn*z;
else
rc(iz)=0;
end
pvc4(iz)=ic+cm+rc(iz);
lce4(iz)=(pvc4(iz)* crf)/Etot;
end
f=figure;
set(gca,'XTick',[1:4])
season = ['Kış';
'Ibh';
'Yaz';
'Sbh'];
set(gca,'XTickLabel',season)
bar(lce4)

```

%5. Lithium Ion Polymer

```

%cycle 1000
for iz=1:4
Ti=[1000/30 1000/40 1000/50 1000/30];
d=0.02;      % indirim oranı
g=0.064;     % enflasyon oranı
% Ti=1000/150; % batarya ömrü Lithium Ion Polymer için
T=20;        % sistem süresi
ic=600*60;   % 60 adet bataryanın fiyatı (30x200=60x100)
cm=0;        % bakım maliyeti sıfır'dır
Uc=600/1200; % batarya birim maliyeti
Cn=1200;
Etot=1.05*10^5;
crf=(d*(1+d)^T)/(((1+d)^T)-1);
for Nrem=1:60
x=(1+g)/(1+d);
xi=x^(Ti(iz)/Nrem+1);
y(Nrem)=xi;
z=sum(y);
end
if T>=Ti(iz)
rc=(T/Ti(iz))*Uc*Cn*z;
else

```

```

rc=0;
end
pvc5=ic+cm+rc;
lce5=(pvc5* crf)/Etot;
end
f=figure;
set(gca,'XTick',[1:4])
season = ['Kış';
'İbh';
'Yaz';
'Sbah'];
set(gca,'XTickLabel',season)
bar(lce5)
f = figure;
Dat(:,1)=lce;
Dat(:,2)=lce2;
Dat(:,3)=lce3;
Dat(:,4)=lce4;
Dat(:,5)=lce5;
colnames = {'Kursun Asit', 'Sodyum Sülfür', 'Vanadyum Redoks', 'Lityum İyon', 'Lityum İyon Polimer'};
t = uitable(f, 'Data', Dat, 'ColumnName', colnames , 'Position',[50 400 478 300]);

```

A-3 Weibull kodları

```
clear all clc
close all
k=xlsread('rcanakkale_2004.xls')
a1=k(1:744); %ocak
a2=k(745:744+672); %şubat
a3=k(1417:1416+744); %mart
a4=k(2161:2160+720); %nisan
a5=k(2881:2880+744); %mayıs
a6=k(3625:3624+720); %haziran
a7=k(4345:4344+744); %temmuz
a8=k(5089:5088+744); %agustos
a9=k(5833:5832+720); %eylül
a10=k(6553:6552+744); %ekim
a11=k(7297:7296+720); %kasım
a12=k(8017:8016+744); %aralık
mean(k)
%*****
parametre=wblfit(a1);
[M,V]=wblstat(parametre(1),parametre(2)); %M= Weibull dağılım ortalaması V= Weibull varyansı
Guc_yog(1)=(1/2)*1.226*M^3;
x(1)=parametre(1);
y(1)=parametre(2);
hiz(1)=M;
c(1)=mean(a1);
%*****
parametre=wblfit(a2);
[M,V]=wblstat(parametre(1),parametre(2)); %M= Weibull dağılım ortalaması V= Weibull varyansı
Guc_yog(2)=(1/2)*1.226*M^3;
x(2)=parametre(1);
y(2)=parametre(2);
hiz(2)=M;
c(2)=mean(a2);
%*****
parametre=wblfit(a3);
[M,V]=wblstat(parametre(1),parametre(2)); %M= Weibull dağılım ortalaması V= Weibull varyansı
Guc_yog(3)=(1/2)*1.226*M^3;
x(3)=parametre(1);
y(3)=parametre(2);
hiz(3)=M;
c(3)=mean(a3);
%*****
parametre=wblfit(a4);
[M,V]=wblstat(parametre(1),parametre(2)); %M= Weibull dağılım ortalaması V= Weibull varyansı
Guc_yog(4)=(1/2)*1.226*M^3;
x(4)=parametre(1);
y(4)=parametre(2);
hiz(4)=M;
c(4)=mean(a4);
%*****
parametre=wblfit(a5);
[M,V]=wblstat(parametre(1),parametre(2)); %M= Weibull dağılım ortalaması V= Weibull varyansı
Guc_yog(5)=(1/2)*1.226*M^3;
x(5)=parametre(1);
y(5)=parametre(2);
hiz(5)=M;
```

```

c(5)=mean(a5);
%*****
parametre=wblfit(a6);
[M,V]=wblstat(parametre(1),parametre(2)); %M= Weibull dağılım ortalaması V= Weibull varyansı
Guc_yog(6)=(1/2)*1.226*M^3;
x(6)=parametre(1);
y(6)=parametre(2);
hiz(6)=M;
c(6)=mean(a6);
%*****
parametre=wblfit(a7);
[M,V]=wblstat(parametre(1),parametre(2)); %M= Weibull dağılım ortalaması V= Weibull varyansı
Guc_yog(7)=(1/2)*1.226*M^3;
x(7)=parametre(1);
y(7)=parametre(2);
hiz(7)=M;
c(7)=mean(a7);
%*****
parametre=wblfit(a8);
[M,V]=wblstat(parametre(1),parametre(2)); %M= Weibull dağılım ortalaması V= Weibull varyansı
Guc_yog(8)=(1/2)*1.226*M^3;
x(8)=parametre(1);
y(8)=parametre(2);
hiz(8)=M;
c(8)=mean(a8);
%*****
parametre=wblfit(a9);
[M,V]=wblstat(parametre(1),parametre(2)); %M= Weibull dağılım ortalaması V= Weibull varyansı
Guc_yog(9)=(1/2)*1.226*M^3;
x(9)=parametre(1);
y(9)=parametre(2);
hiz(9)=M;
c(9)=mean(a9);
%*****
parametre=wblfit(a10);
[M,V]=wblstat(parametre(1),parametre(2)); %M= Weibull dağılım ortalaması V= Weibull varyansı
Guc_yog(10)=(1/2)*1.226*M^3;
x(10)=parametre(1);
y(10)=parametre(2);
hiz(10)=M;
c(10)=mean(a10);
%*****
parametre=wblfit(a11);
[M,V]=wblstat(parametre(1),parametre(2)); %M= Weibull dağılım ortalaması V= Weibull varyansı
Guc_yog(11)=(1/2)*1.226*M^3;
x(11)=parametre(1);
y(11)=parametre(2);
hiz(11)=M;
c(11)=mean(a11);
%*****
parametre=wblfit(a12);
[M,V]=wblstat(parametre(1),parametre(2)); %M= Weibull dağılım ortalaması V= Weibull varyansı
Guc_yog(12)=(1/2)*1.226*M^3;
x(12)=parametre(1);
y(12)=parametre(2);
hiz(12)=M;
c(12)=mean(a12);
%*****

```

'Bir Yıllık Rüzgar Verisi Ortalaması ve Güç Yoğunluğu'

```
parametre=wblfit(k)
[M,V]=wblstat(parametre(1),parametre(2)) %M= Weibull dağılım ortalaması V= Weibull varyansı
x(13)=parametre(1);
y(13)=parametre(2);
c(13)=mean(k);
Guc_yog(13)=(1/2)*1.226*M^3
UretilenGuc=pi*2^2*Guc_yog
format long g
%*****
plot(hiz,'r'), hold on
plot(x(1:12),'b')
legend('rüzgar verisi','weibull dağılımı')
set(gca,'YTick',[2:0.2:8])
set(gca,'XTick',[1:12])
months = ['Oca';
'Sub';
'Mar';
'Nis';
'May';
'Haz';
'Tem';
'Ağu';
'Eyl';
'Eki';
'Kas';
'Ara'];
set(gca,'XTickLabel',months)
xlabel('2004 Yılı Aylar')
```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Batuhan YAVUZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 10/11/1985- KADIKÖY/İSTANBUL
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : batuhan.yavuz@ibb.gov.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektrik Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2008
Lise	Matematik/Fen	Kadir Has Anadolu Lisesi	2003

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2009-	İstanbul Büyükşehir Belediyesi Projeler Müdürlüğü	Proje Kontrol Mühendisi