



**T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RÜZGÂR ENERJİSİ- POMPAJ DEPOLAMALI
HİDROLİK HİBRİT GÜÇ SİSTEMİNİN
TASARIMI VE OPTİMİZASYONU**

Mehmet Numan KAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Aralık-2012
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet Numan Kaya tarafından hazırlanan “RÜZGÂR ENERJİSİ- POMPAJ DEPOLAMALI HİDROLİK HİBRİT GÜÇ SİSTEMİNİN TASARIMI VE OPTİMİZASYONU” adlı tez çalışması 24/12/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Gamze GENÇ

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Faruk KÖSE

Üye

Doç. Dr. Muammer ÖZGÖREN

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Aşır GENÇ
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi B.A.P. Koordinatörlüğü tarafından 12201085 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Mehmet Numan KAYA

Tarih: 02.01.2012

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

RÜZGÂR ENERJİSİ- POMPAJ DEPOLAMALI HİDROLİK HİBRİT GÜÇ SİSTEMİNİN TASARIMI VE OPTİMİZASYONU

Mehmet Numan KAYA

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Faruk KÖSE

2012, 126 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Gamze GENÇ
Doç. Dr. Muammer ÖZGÖREN
Yrd. Doç. Dr. Faruk KÖSE**

Günümüzde, fosil yakıtlarının günden günde tükenmesi ve hava kirliliğine sebep olan gaz emisyon artışlarının neden olduğu iklim sorunlarının artması nedeni ile yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmıştır. Ancak, yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretiminin hava şartlarına bağlı olması depolama ihtiyacına neden olmuştur. Yığın enerji depolama alanında üç önemli sistem bulunmaktadır. Bunlar Pompaj depolamalı hidroelektrik santraller (PHES), hava sıkıştırılmalı enerji depolama santralleri ve batarya depolama sistemleridir. PHES’ler yüksek verimlilikleri ve yüksek depolama kapasiteleri nedeniyle ön plana çıkmaktadırlar.

Bu çalışmada örnek uygulama bölgesi olarak, Konya, Çumra’da bulunan Alibeyhüyükü Sulama Kooperatifine bağlı sulama pompalarının enerjisini karşılamak amaçlanmıştır. Bunun için rüzgâr enerjisi- Pompaj depolamalı hidroelektrik hibrit güç sistemi tasarımı ve analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışmada, öncelikle Alibeyhüyükü Sulama Kooperatifinden sağlanan son yıllarda ölçümü yapılmış rüzgâr verilerinden yararlanılarak, değişik türbinlere göre WAsP ve ALWIN programlarıyla elektrik enerjisi üretim analizleri yapılmıştır. Eksik olan rüzgâr verilerinin MATLAB programı yardımıyla yapay sinir ağları ile tahmini yapılmıştır. TRNSYS programı ile seçilen rüzgâr türbini için saatlik bazda elektrik üretim sonuçları alınmıştır. Daha sonra PHES tasarımına geçilmiş, rüzgâr türbinlerinin yakınında yer seçimi yapılarak tasarlanmış sistem ve optimum parametreler belirlenerek tasarlanmış sistem olarak iki adet PHES sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan Rüzgâr enerjisi- PHES entegre sistemlerinin çalışması için günlük olarak en fazla getiriye sağlayabilecek algoritma çizilmiş ve buna uygun olarak Delphi 7 ile bir simülasyon programı yazılmıştır. Optimum parametrelere sahip sistemin tasarımında, yapılan programlamaya göre minimum geri ödeme süresini veren parametrelerin bulunmasına çalışılmıştır. Optimum parametrelerin belirlenmesi için de PHES parametrelerini otomatik olarak değiştiren ve sistem için yapılan programlamaya uyarlayıp sonuçları gösteren bir program yazılmıştır. Her iki sisteminde simülasyonu yapılmış, son bölümde ise ekonomik analiz yapılmıştır. Buna göre, hibrit sistem ile önemli ölçüde yıllık getiri sağlanabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: enerji depolama, hibrit enerji sistemi, hidrolik enerji, pompalama sistemleri, pompaj depolamalı HES, rüzgâr enerjisi,

ABSTRACT

MS THESIS

Design and Optimization of a Wind-Pumped Hydro Hybrid Power System

Mehmet Numan KAYA

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Assist. Prof. Dr. Faruk KÖSE

2012, 126 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Gamze GENÇ
Assoc. Prof. Dr. Mumammer ÖZGÖREN
Assist. Prof. Dr. Faruk KÖSE**

Renewable energy sources are popular in nowadays because of the limitation of fossil fuels and the effects of air pollutants on the climate. However, the dependency of renewable energy sources to the weather conditions caused to requirement of energy storage systems. Pumped-hydro, compressed air and battery energy storage systems are the bulk energy storage systems to store renewable energy. Pumped-hydro energy storage (PHES) systems are a step ahead among other bulk energy storage methods because they are more efficient and they have higher storage capacities.

In this study, wind-pumped hydro hybrid power system is designed and analyzed to meet the energy demand of the irrigation water pumps of Alibeyhüyüğü Irrigation Cooperation, which is located in in Çumra, Konya. Initially, annual energy production amounts of five different wind turbines have been analyzed with WaSP and ALWIN programs by using wind speed data measured before. Missing wind speed data have been forecasted with MATLAB with artificial neural network (ANN). Hourly energy production data of the selected wind turbine has been obtained by means of TRNSYS program. After that two different Pumped storage hydroelectric plant (PSHP) systems, which are near wind turbines site selected system and optimum parameters determined system, have been designed. An operation algorithm that ensures maximum daily income is developed and a simulation program is written with Delphi 7 program in order to simulate systems. Another program that changes the PSHP parameters automatically and shows the results is written in order to obtain optimum PSHP parameters, which are PSHP hydro pump power, PSHP hydro turbine and PSHP upper storage capacity. Both systems are simulated and economic analysis was performed in the final section.

Keywords: energy storage, hybrid, hydraulic energy, wind energy, pumped hydro energy storage, pumping systems

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yenilenebilir enerji kaynakları, enerji üretimi için doğal dengelerin korunması adına iyi bir alternatif olmuştur. Daha önceki yıllarda ek tedarikçi olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları, günümüzde belirgin şekilde ortaya çıkan fosil yakıtlarının sebep olduğu sorunlar ve teknoloji gelişimiyle birlikte yenilenebilir enerji sistemlerinin ucuzlaması nedeniyle artık enerji tedarikinde ön plana çıkmaktadırlar. Ancak yenilenebilir enerji tüketimindeki dalgalanmalar nedeni ile depolama sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle rüzgâr enerjisi ile enerji üretiminin enerji kullanımının az olduğu gece vakitlerinde de devam etmesi, depolamaya olan ihtiyacı gündeme getirmektedir. Bu çalışmada yüksek enerji tüketimine sahip Konya, Çumra, Alibeyhüyüğü kasabası sulama pompalarının enerji tüketiminin Rüzgâr enerjisi-Pompaj Depolamalı Hidrolik hibrit sistem ile karşılanması için sistem tasarlanmış ve simülasyon ve analizleri yapılmıştır.

Tez çalışmam sırasında ve tezimin hazırlanmasında bana her alanda destek olan ve her konuda beni yönlendiren danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Faruk KÖSE' ye saygı ve şükranlarımı sunarım. Tez çalışmasında beni yönlendiren ve destekleyen değerli hocam Doç. Dr. Muammer ÖZGÖREN'e teşekkür ederim. Tez çalışmam için verileri sağlayan Alibeyhüyüğü Sulama Kooperatifine teşekkür ederim. Programlama konusunda büyük yardımları dokunan değerli arkadaşım Arş. Gör. BİLAL ERVURAL'a ve her konuda desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme çok teşekkür ederim.

Mehmet Numan KAYA
KONYA-2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	8
3.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Türkiye	8
3.2. Yenilenebilir Enerjinin Depolanması	13
3.2.1. Pompaj Depolamalı Sistemler	15
3.2.2. Hava Sıkıştırılmalı depolama sistemleri	20
3.2.3. Bataryalar	23
3.3. Rüzgâr Enerjisi	27
3.3.1. Rüzgâr türbinleri	28
3.3.2. Rüzgâr türbini çeşitleri.....	29
3.3.3. Rüzgâr enerjisi Formulasyonu	31
3.4. Pompaj Depolamalı Hidroelektrik santraller ve elemanları	34
3.4.1. Hidrolik Pompalar.....	35
3.4.2. Hidrolik Türbinler	35
3.4.3. Pompaj depolamalı HES tasarımında kullanılan formüller	39
3.5. Rüzgâr enerjisi-Pompaj Depolamalı Hidrolik Hibrit Güç Sisteminin Tasarım Yeri	41
3.6. Elektrik tüketimi yapan sulama pompaları grubu.....	42
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	44
4.1. Pompa grubunun Enerji Tüketimi.....	44
4.2. Rüzgâr hızı ölçüm değerleri.....	45
4.3. Rüzgâr hızının dağılımı	48
4.4. Yüksekliğe göre rüzgâr hızı değişimi	49
4.5. Eksik rüzgâr hızı verilerinin yapay sinir ağları kullanılarak tahmini	50
4.6. Rüzgâr Türbini Seçimi ve Rüzgâr türbinleri ile yapılabilecek senelik yaklaşık üretim miktarlarının hesaplanması.....	51
4.7. Seçilen Rüzgâr Türbinleri İçin Birim Enerji Hesabı	60
4.8. Rüzgâr Parkından yapılabilecek enerji üretim miktarının analizi	62
4.9. Rüzgâr türbinleri için yer seçimi	64
4.10. Rüzgâr santrali ve PHES hybrit sistemi için çalışma stratejisinin belirlenmesi	66
4.11. PHES yeri ve elemanlarının seçimi	71
4.11.1. Pratikte uygulanabilecek bir yer için PHES elemanlarının seçimi	71
4.11.1.1. Pompa ve Türbin Seçimi.....	72

4.11.2. Uygulanan çalışma stratejisi için optimum PHES parametrelerini araştırılması.....	74
4.12.Simülasyon sonuçları.....	77
4.12.1. Pratikte uygulanabilecek yer seçimi yapılmış sistem için sonuçlar.....	77
4.12.2. Optimum parametreleri tespit edilmiş sistem için sonuçlar.....	82
4.13. Ekonomik analiz	88
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	92
5.1 Sonuçlar	92
5.2 Öneriler	93
KAYNAKLAR	94
EKLER	102
EK-A Simülasyon programı Delphi 7 kodları	102
EK-B Simülasyon programı tam sayfa arayüzü	113
EK-C Optimizasyon programı tam sayfa arayüzü	114
ÖZGEÇMİŞ	115

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

$S_{de}(t)$	: Depodaki enerji miktarı (kWh)
S_{full}	: Depodaki maksimum enerji miktarı (kWh)
H	: Düşü (mSS)
h_f	: Düşü kaybı (m)
ζ	: Enerji dönüşüm katsayısı (%)
P	: Hava yoğunluğu (kg/m^3)
r	: İskonto (%)
$P_{türbin}$	: PHES hidrolik türbininin gücü (kW)
P_{pompa}	: PHES pompasının gücü (kW)
η_p	: Pompa verimi (%)
$P_p(t)$	: Pompanın t anındaki pompalama gücü (W)
E_p	: Potansiyel Enerji (J)
n	: Projenin yıl cinsinden ömrü (yıl)
P_m	: Rotor gücü (W)
V_0	: Rotor kanatlarına giren alt akıntı rüzgâr hızını (m/s)
P_R	: Rüzgâr gücü (W)
v_r	: Rüzgâr hızı (m/s)
A_{RT}	: Rüzgâr türbini kanatlarının süpürme alanı (m^2)
C_p	: Rüzgâr türbini verim katsayısı
$P_r(t)$	: Rüzgâr türbinleri tarafından üretilen enerji miktarı (kWh)
SG	: Senelik net getiri (TL)
$P_s(t)$	: Sulama pompaları tarafından tüketilen enerji mik. (kWh)
m_w	: Suyun kütlesi (kg),
$P_{sa}(t)$	: Şebekeden alınan saatlik enerji miktarı (kWh)
$Q(t)$	: t anındaki debi (m^3/s)
c_{ti}	: t anındaki şebekeden enerji temin fiyatı (TL/kWh)
η_t	: Türbin verimi (%)
$P_t(t)$	: Türbinden t anında üretilen güç (W)
V^g	: Üretim modunda ki hacimsel debi (m^3/s)
C	: Yatırım maliyeti (TL)
G	: Yer çekimi ivmesi ($9,81 m/s^2$)
t	: Zaman (saat)

Kısaltmalar

REN21	:21. Yüzyıl için yenilenebilir enerji planlama ağı
ABH	:Alibeyhüyükü
ABD	:Amerika Birleşik Devletleri
AB	:Avrupa Birliği
EWEA	:Avrupa Rüzgâr Enerjisi Birliği
BGÖ	:Basit geri ödeme süresi (yıl)
DMİ	:Devlet Meteoroloji İşleri
DERT	:Dikey eksenli rüzgâr türbini
OECD	:Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
EIEİ	:Elektrik İşleri Etüt İdaresi
ETKB	:Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
PV	:Fotovoltaik
GW	:Gigavat
GWh	:Gigavat saat
GEPA	:Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
IKO	:İç karlılık oranı (%)
KDV	:Katma değer vergisi
km	:kilometre
kWh	:Kilovat saat
MW	:Megavat
MWh	:Megavat saat
m	:metre
m ²	:metre kare
m ³	:metre küp
Mtep	:Milyon ton eşdeğer petrol
NBD	:Net bugünkü değer (TL)
PHES	:Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santral
REPA	:Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası
RT	:Rüzgâr Türbini
TEP	:Ton eşdeğer petrol
GWEC	:Uluslararası Rüzgâr Enerjisi Konseyi
IEA	:Uluslararası Enerji Ajansı
YERT	:Yatay eksenli rüzgâr türbini

1. GİRİŞ

Enerji ülkelerin gelişmişlik durumlarını gösteren önemli faktörlerden biridir. Enerji üretiminde büyük oranda fosil yakıtların kullanılması, bu yakıtların hızla tükenmesine neden olmaktadır. Ayrıca konvansiyonel kaynaklara (kömür, petrol ve yan ürünleri) sahip olmayan ülkeler için fosil yakıtlar dışa bağımlılığı arttırmaktadır. Konvansiyonel yakıtların kullanılması ile ortaya çıkan zararlı gazlar ve nükleer enerjiye karşı gösterilen tepkiler bilim insanlarını, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarını değerlendirmeye yöneltmiştir. Türkiye tükettiği enerjinin yaklaşık %70.3'lük kısmını dışarıdan ithal etmektedir (Köse ve Kaya, 2012, Anonim, 2012a). Bu nedenle yenilenebilir enerji teknolojileri Türkiye için ayrı bir öneme sahiptir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından hidrolik enerji dünya enerji üretiminde önemli yer tutmaktadır. 2010 yılı itibariyle dünyada toplam 1010 GW kapasiteli hidroelektrik santral bulunduğu tespit edilmiştir. Küresel elektrik enerjisinin %16'sı yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmakta olup, enerji temininde hidrolik enerji yenilenebilir enerji kaynakları arasında %21, tüm enerji kaynakları için %3,3 lük bir dilime sahiptir (Anonymous, 2011d). Türkiye'de işletmede olan 213 adet hidroelektrik santralin kurulu gücü 14.300 MW ve ortalama yıllık üretimi 50.000 GW'tır (toplam potansiyelin %35,70'si). Toplam 7286 MW Kurulu güce ve ortalama 23.770 GW (toplam potansiyelin %16,98'i) yıllık üretim kapasitesine sahip, 145 adet hidroelektrik santral halen inşa halinde bulunmaktadır. Ülkemizde halen elektrik üretiminin %18,5'lük miktarı hidrolik enerjiden yapılmaktadır (Anonim, 2010b). Ancak, ülkemizde halen kullanılabilecek büyük bir hidrolik enerji potansiyeli mevcuttur.

Yenilenebilir enerji teknolojilerinde yaşanan gelişmeler rüzgâr enerjisi ile enerji üretiminin de önemini arttırmıştır. 2010 yılı itibariyle dünyadaki toplam rüzgâr güç üreticilerinin kapasitesi 197 GW, elektrik üretimi ise 430 TWh olmuştur. Buda dünya elektrik tüketiminin %2.5'lük dilimine dek gelmektedir. Bazı ülkeler elektrik enerjisi üretiminde rüzgâr enerjisinin kullanımı bakımından yüksek oranlara ulaşmışlardır. Danimarka toplam elektrik üretiminin %21 ini, Portekiz %18 ini, İrlanda %14 ünü, Almanya ise %9 unun rüzgâr enerjisinden sağlamaktadır. Dünyada rüzgâr enerjisini ticari anlamda kullanan ülkelerin sayısı 83'e yükselmiştir (Anonymous, 2011c, Anonymous, 2011d, Anonymous, 2011e, Anonymous, 2012c). Türkiye'de 2012 yılı Temmuz ayının sonunda toplam rüzgâr güç üreticilerinin kapasitesi son yıllarda ki büyük artışa rağmen 2063 MW olmuştur ve halen gelişmiş ülkelerin çok gerisindedir

(Köse ve Kaya, 2012, Anonim, 2012b). Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından yapılan potansiyel belirleme çalışmasına göre yeryüzünden 50 m yükseklikteki rüzgâr hızı 7 m/s nin üzerinde olan alanlarda Türkiye'nin 48,000 MW'lık RES potansiyeline karşılık yaklaşık 130 Milyar kWh elektrik üretilebilir (Anonim, 2010a). Konya bölgesi, bazı yerlerinde 50m yükseklikte ortalama 7 m/s'lik hızla, rüzgâr enerjisi yönünden orta seviyededir (Anonim, 2010a).

Son yıllarda kullanımına ağırlık verilen yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretiminin büyük ölçüde hava koşullarına bağlı olması depolama sistemlerinin önemini arttırmıştır. Hidrolik enerji havanın yağmurlu, rüzgâr enerjisi havanın rüzgârlı, güneş enerjisi ise havanın güneşli olup olmamasına bağlıdır. Bu yüzden yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji temininde güvenilirlik konusunda çekinceler vardır. Bu çekincelerin giderilmesinde depolama sistemlerinin kullanılması planlanmıştır. Günümüzde enerjinin depolanmasında değişik metotlar kullanılmaktadır. Büyük çapta enerji depolamada kullanılan en önemli sistemler pompaj depolamalı ve hava sıkıştırmalı sistemlerdir. Küçük çapta olan sistemlerde ise genellikle akümülatör kullanılır. Özellikle gece tüketim az olduğundan, üretilen rüzgâr enerjisinin depolanması gerekmektedir. Ayrıca bu sistemler enerjinin ucuz olduğu zamanlarda alınıp buna göre nispeten daha pahalı zamanlarda satılmasında ve ticari kar elde edilmesinde kullanılırlar.

Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller (PHES) yığın depolama çeşitleri arasında en çok tercih edilendir. Bu sistemlerde üst ve alt olmak üzere iki adet rezervuar bulunmakta, enerji fazlalığı olan zamanlarda su alt rezervuardan üst rezervuara pompa ile pompalanmakta, enerji ihtiyacının fazla olduğu zamanlarda ise üst rezervuardan alt rezervuara indirilerek enerji üretilmektedir. PHES'lerin birçok avantajı vardır. Yüksek kapasiteli enerji depolama sistemleri arasından pompaj depolamalı sistemler en çok verime sahiptirler. Modern pompaj depolamalı sistemler %85 gibi yüksek bir verime sahiptirler (Anonymous, 2011a). Ayrıca bu sistemler uzun depolama sürelerine ve enerji talebindeki ani değişimlere cevap verme kabiliyetlerine sahiptirler. İşletme masrafları düşük, doğaya bulundukları etki de çok düşük seviyededir. Her hangi bir atıkları ve kirlilik etkeni maddeleri yoktur. Dünya'da 2008 yılı itibariyle toplam kapasitesi yaklaşık 104 GW olan ve küresel üretim kapasitesinin yaklaşık %3.5'lük kısmını oluşturan PHES bulunmaktadır. Avrupa 38.3 GW net kapasiteye yani küresel pompaj depolamalı HES kapasitesinin %36.8 ine sahiptir. Bu rakam Avrupa net elektriksel

kapasitenin %5 ini temsil etmektedir. Japonya pompaj depolama sistemini en etkin şekilde kullanan ülkelerden olup toplam 25.5 GW net kapasiteye sahiptir (Anonymous, 2011b). Maalesef Türkiye’de herhangi bir PHES bulunmamaktadır.

Bu tez çalışmasında, Çumra, Alibeyhüyüğü sulama pompalarının enerji ihtiyacının karşılanması için rüzgâr ve pompaj depolamalı HES ten oluşan bir sistem tasarlanmış ve optimizasyonu yapılmıştır. Birinci bölüm olan Giriş bölümünde genel bilgiler verilmiş, ikinci bölümde kaynak araştırması yapılmıştır. Üçüncü bölümde yenilenebilir enerjinin Türkiye ve Dünya’da ki durumu, enerji depolama sistemleri ve rüzgâr enerjisi hakkında genel bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölüm olan araştırma sonuçları bölümünde, tasarlanmış sistemler ile ilgili bilgiler, simülasyon sonuçları, ekonomik analiz sonuçları detaylı bir şekilde verilmiştir. Son bölümde ise sonuçlar ve öneriler ele alınmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu çalışma için yapılan kaynak araştırmasında genellikle rüzgâr ve hidrolik enerjinin birbirini tamamlaması ile ilgili kaynaklara rastlanmıştır. PHES ve rüzgâr parkı ile kurulabilecek entegre sistemler üzerine araştırmalar yapılmıştır.

Dursun ve ark. (2011), “Marmara bölgesinin elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması için ideal bir rüzgâr-hidrolik enerji sisteminin kurulması” konusu üstüne çalışmışlardır. Bu çalışmada Marmara bölgesinin enerji ihtiyacının rüzgâr-hidrolik hibrit güç sistemi ile düşük enerji maliyeti ile etkin bir şekilde karşılanabileceği belirtilmiştir.

Aksoy (2011), yüksek lisans tez çalışmasında güneş ve rüzgâr enerjisi ile çalışan su pompalama sistemini deneysel olarak incelemiştir. Yaptığı tez çalışmasında Aksoy, Selçuk Üniversitesi Konya Teknokent bahçesine kurulan 1500 W kapasiteli rüzgâr türbini ve toplam 480 W kapasiteli 4 adet fotovoltaik panelden üretilen elektrik enerjisi ile sulanabilecek tarımsal alan miktarını hesaplamış ve sistemin sulama için uygun olup olmadığını incelemiştir. Kullanılan hibrit sistem ile pompalanan su miktarının doğal sulamaya ek olarak damla sulama yöntemi ile 12.4 da (dekar) şeker pancarı, 13.0 da patates, 13.6 da mısır, 31.4 da kavun tarlası için yetebilecek miktarda olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Vieira ve Ramos (2009), “Rüzgâr-hidrolik hibrit su temini sisteminin işletme planının optimizasyonu” üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu sistemde şehir şebekesine dağıtım için alt ana rezervuar ve üst ana rezervuar bulunmaktadır. Alt ana rezervuarda basınç düşürme vanası yerine küçük bir hidrolik türbin yerleştirilerek enerji eldesi düşünülmüştür ve üst ana rezervuara suyun pompalanması için gerekli olan enerjinin kurulacak rüzgâr türbinlerinden elde edilmesi planlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre optimize edilmiş yeni sistem ile normal sisteme göre enerji masraflarından %47 oranında kar edileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Castronuovo ve Lopes (2004), Rüzgâr-Hidrolik bir güç santralinin ideal çalışması ve boyutlandırması” konusunda bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada şebekeye bağlı olan bir rüzgâr-hidrolik güç sistemini maksimum kar elde edilmesi amacıyla tasarlanmış ve bu sistem ile enerjinin ucuz zamanda alınıp diğer zamanlarda satılması ile yıllık %11.92 kar elde edilebileceği ortaya konmuştur.

Hesami ve Bowly (2011), “Portland Rüzgâr Çiftliği için bir enerji depolama sisteminin Ekonomik fizibilitesinin hesaplanması ve optimizasyonu” konusu üzerine

çalışmışlardır. Bu çalışmada şebekeye bağlı olarak çalışan bir PHES, hava sıkıştırımlı depolama sistemi ve termal enerji depolama sistemi modellenmiş ve maliyet analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuca göre hava sıkıştırımlı sistemler %15.4 karlılık oranı ile en çok kar edilebilen depolama şekli olmuştur. Ayrıca yapılacak bir PHES'in %9.6, termal enerji depolama sisteminin ise %8 karlılık oranına sahip olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Kaya (2009), yüksek lisans tez çalışmasında; rüzgâr enerjisinin sulama amaçlı kullanılabilirliği ile ilgili deneysel bir rüzgâr türbini ve değişken stroklu pistonlu pompa tasarım ve imalatını yapmıştır. Kurulan deney düzeneği ile doğal şartlarda suyun düşük kotlu bir ortamdan daha yüksekteki bir depoya pompalanması sağlanarak, sistemin performansı araştırılmıştır. Sistem veriminin piston strokuna ve rüzgâr hızına bağlı olarak % 4 - % 13 arasında değiştiği bulunmuştur.

Denault ve ark. (2009), “Rüzgâr ve hidrolik enerjinin birbirini tamamlaması: Enerji girişinin risk profilinin geliştirilmesi” konusu üzerine çalışmışlardır. Elde edilen sonuca göre rüzgâr enerji sistemleri hidrolik sistemlere entegre olarak kurulduklarında %30 a kadar kesintili enerji üretim riskini azaltmaktadır.

Dursun ve Alboyaci (2010), “PHES lerin Türkiye’nin Enerji Üretimine Katkısı” konusunda çalışmışlardır. Elde edilen sonuca göre PHES’ler konveksiyonel enerji üretim sistemlerinin kullanımını ve dolayısıyla enerji konusunda dışa bağımlılığın azalabileceği belirtilmiştir.

Duque ve arkadaşları (2011), “Rüzgâr enerjisinin dengesizliğinin giderilmesinde kullanılan rüzgâr-pompaj depolamalı hibrit güç sistemin çalışmasının optimizasyonu” üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma bir rüzgâr hızı tahmin metodu kullanılarak yapılabilecek enerji üretimi öngörülme çalışılmış ve bu tür bir sistemden mali bir kâr elde edilebileceği belirtilmiştir.

Jaramillo ve ark. (2004), “Rüzgâr enerjisine tamamlayıcı olarak hidrolik gücün kullanılması: Sürekli güç sağlanması için kurulabilir bir hibrit sistem” konusunu ele almışlar ve kurdukları sistemden 20 MW sürekli güç elde edilebileceğini ortaya koymuşlardır

Temiz (2010), yüksek lisans tez çalışmasında “rüzgâr enerji sistemlerinde optimizasyon” üzerine çalışmış ve sonuç olarak türbinin kullanılacağı rüzgâr koşullarının ve saha özelliklerinin iyi seçilmesinin en az türbin performansı kadar önemli olduğu belirtilmiştir.

Velosco ve arkadaşları (2005) yapmış oldukları çalışmada, rüzgâr enerjisi ile elektrik elde edilerek su pompalamanın teorisini incelemişlerdir. Rüzgâr türbinin mekanik ve elektriksel davranışlarını irdelemişler ve karşılaştırmışlardır.

Glasnovic ve Margeta, (2007), güneş enerjisi ile çalışan bir sulama sistemi optimizasyonu için bir matematiksel model oluşturmuşlar ve Hırvatistan’da iki farklı bölge için ışıınım değeri, iklim koşulları, sulama yöntemleri, ekilen bitkileri de dikkate alarak boyutlandırmışlardır. Osijak bölgesi için kritik sulama zamanı ağustos ayının ikinci yarısında ortalama günlük sulama ihtiyacı $15.6 \text{ m}^3/\text{h}$, Split bölgesinde kritik sulama zamanı temmuz ayının son on gününde sulama ihtiyacı $26.3 \text{ m}^3/\text{h}$ olarak bulunmuştur. Çalışma neticesinde güneş enerjisinin sulama için kullanılabileceği fakat güneşlenme süresinin değişkenliği nedeni ile yalnız başına optimum bir çözüm olmadığını ortaya koymuşlardır.

Bueno ve Carta (2006), Kanarya adalarında çalışmak üzere tasarladıkları Rüzgâr enerjisi destekli PHES ler ile yenilenebilir enerjinin etkisini arttırmak’’ üzerine çalışma yapmışlar ve optimum bir şekilde kurulmuş bir sistemin yenilenebilir enerjinin etkisinin %1,93 oranında arttıracağını ortaya koymuşlardır.

Varkani ve ark. (2011), ‘‘Enerji marketinde rüzgâr ve pompaj depolamalı entegre sistemlerin çalışmasına dair yeni bir kendi kendine çalışma stratejisi’’ geliştirmişlerdir. Çalışmada, bir gün önceden İspanya enerji marketinin talebi ele alınmış, sinir ağları vasıtasıyla bir gün önceden rüzgâr enerjisi ile üretilebilecek enerji miktarı tahmin edilmiş ve bir satış planı oluşturulmuştur. Rüzgâr ve pompaj depolamalı sistemlerin entegre çalışmasının kar oranını önemli bir şekilde arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Ngoc ve ark. (2009), ‘‘Yardımcı servislere rüzgâr ve pompaj depolamalı entegre sistemlerin dahil olması için en uygun çalışma planları’’ konusu üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada lineer programlama yöntemi kullanarak optimizasyon yapılmış ve uygun bir çalışma planı elde edilmiştir. Sonuç olarak hidrolik depolamanın rüzgâr gücünün değerini arttırdığı ve enerji depolama sistemlerinin rüzgâr enerjisi üretimindeki dalgalanmaları azaltmada kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Banos ve ark. (2011), ‘‘Yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji için uygulanmış optimizasyon metotları’’ konusunda bir inceleme çalışması yapmıştır. Bu çalışmada yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji alanında ki yapılmış çalışmalarda kullanılmış optimizasyon metotlarına değinilmiştir. Elde edilen sonuca göre, özellikle rüzgâr ve

güneş enerjisi alanlarında olmak üzere yenilenebilir enerji konusunda optimizasyon üzerine yapılan çalışmaların arttığı gözlemlenmiştir.

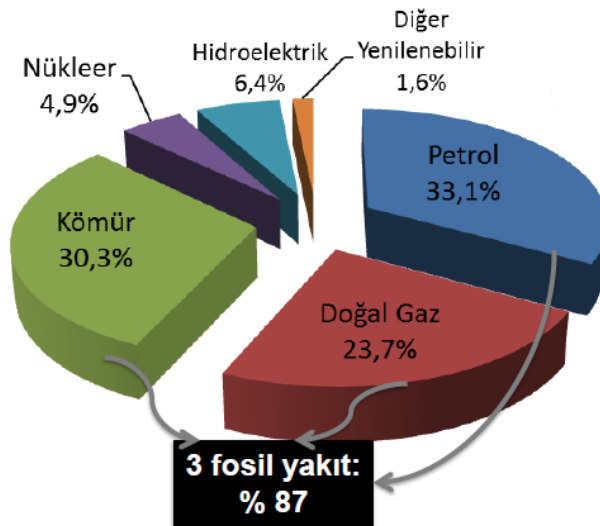
Anagnostopoulos ve ark. (2007), ‘’ PHES ler için pompa istasyonu tasarımı’’ konusu üstüne bir çalışma yapmışlar. Çalışmada üç ayrı pompa tipi arasından, gücü ayarlanabilir pompanın kullanımın diğerlerine göre daha avantajlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yapılacak olan tez çalışmasında diğer çalışmalardan farklı olarak rüzgâr-pompaj depolamalı hidrolik hibrit güç sistemi ile elde edilecek enerjinin sulama amaçlı kullanımı ve maksimum kar getirecek şekilde (enerji alış, satış ve kullanımı) çalışma ve optimizasyonu ele alınacaktır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Türkiye

Fosil yakıtlara alternatif olarak gösterilen yenilenebilir enerji kaynakları yaşanan teknolojik gelişmeler ile günlük yaşamda kullanılabilir hale gelmişlerdir. Son yıllarda, Kyoto Protokolünün de imzalanması ile birlikte anlaşmada belirtilen maksimum karbondioksit emisyon miktarının altında kalmayı hedefleyen ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarına büyük yatırımlar yapmışlardır ve yapmaya devam etmektedirler. Dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji temininde kullanımı halen çok düşük seviyededir. Şekil 3.1’de dünyada enerji temininde kullanılan kaynakların kullanım oranları gösterilmiştir (Anonymous, 2012b, Anonim 2012a).

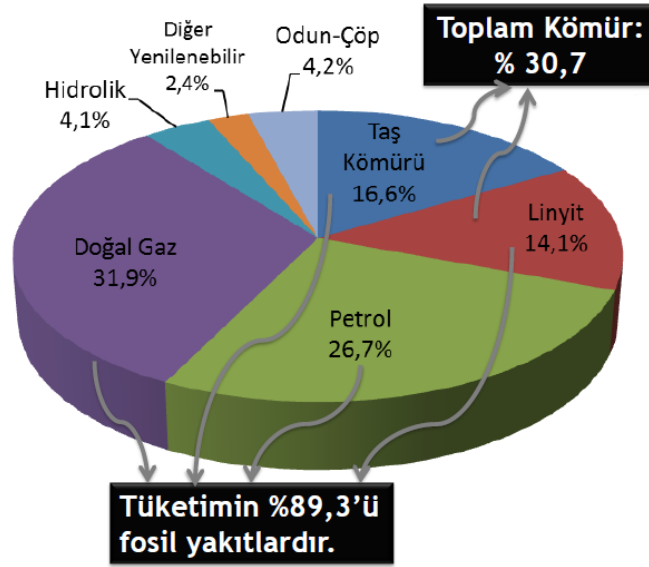


Şekil 3.1. 2011 sonu itibariyle dünyada enerji temininde kullanılan kaynaklar ve tedarik oranları (Anonymous, 2012b, Anonim 2012a)

Avrupa birliği ülkelerinde 2009 yılı itibariyle toplam enerji tüketiminin yaklaşık %9 lik kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından, %14’ü nükleer enerjiden, %16’sı kömürden, %37’si petrolden, % 24’ü doğal gazdan sağlanmaktadır. Avrupa Birliğinin hedefi 2020 yılında toplam enerji tüketiminin %20’sini yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlamaktadır (Anonymous, 2011a).

Türkiye’de ise toplam enerji tüketiminin % 31.9’u doğal gazdan, % 26.7’si fuel oil den, % 30.7’si kömürden, % 4.2’si yanıcı yenilenebilir kaynaklar ve atıklardan (odun, çöp), % 4.1’i hidrolik enerjiden, % 2,4’ü diğer yenilenebilir enerji

kaynaklarından sağlanmaktadır (Anonim, 2011d, Anonim 2012a). Şekil 3.2’de görüldüğü gibi enerji tedarikinde fosil yakıtlardan yararlanma oranı Türkiye için yüksektir. Ülkemizde kısıtlı miktarlarda bulunan fosil yakıtlar çoğunlukla ithal edilmektedir.



Şekil 3.2. 2010 yılında Türkiye’de enerji temininde kullanılan kaynaklar ve tedarik oranları (Anonim, 2011d, Anonim 2012a)

Buda dışa bağımlılığı arttırmakta ve önemli bir risk teşkil etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma oranı ise Türkiye’de ki yenilenebilir enerji potansiyeline nazaran düşüktür. Ancak son yıllarda yaşanan gelişmeler yenilenebilir enerji kaynaklarının gelecekte kullanımı konusunda beklentileri arttırmıştır.

Güneş enerjisi günden güne daha popüler hale gelen bir kaynaktır. 2010 yılı itibariyle Dünya’da toplam kurulu solar PV kapasitesi 2009 yılına göre %72 artarak 40 GW olmuştur. Avrupa’da ki toplam kurulu PV panel kapasitesi (yaklaşık 32 GW) 2010 yılında eklenen toplam 13,2 GW ile dünya toplam kurulu PV panel kapasitesinin %80 ini oluşturmaktadır. Almanya yaklaşık 17,3 GW toplam kurulu kapasite ile 1. sırada olup senelik yaklaşık 2,75 TWh elektrik üretmektedir. Japonya 1 GW, Amerika 0,9 GW, Çin 0,6 GW kurulu FV panel kapasitesine sahiptir (Anonymous, 2011s). Türkiye’de ise Fotovoltaik güneş enerjisi kullanım miktarı 2009 verilerine göre 4 MW değerine ulaşmış bulunmaktadır (Anonymous, 2011ş). Ülkemiz güneş enerjisi konusunda biraz şanslıdır. Elektrik İşleri Etüt İdaresinin yaptığı çalışmaya göre

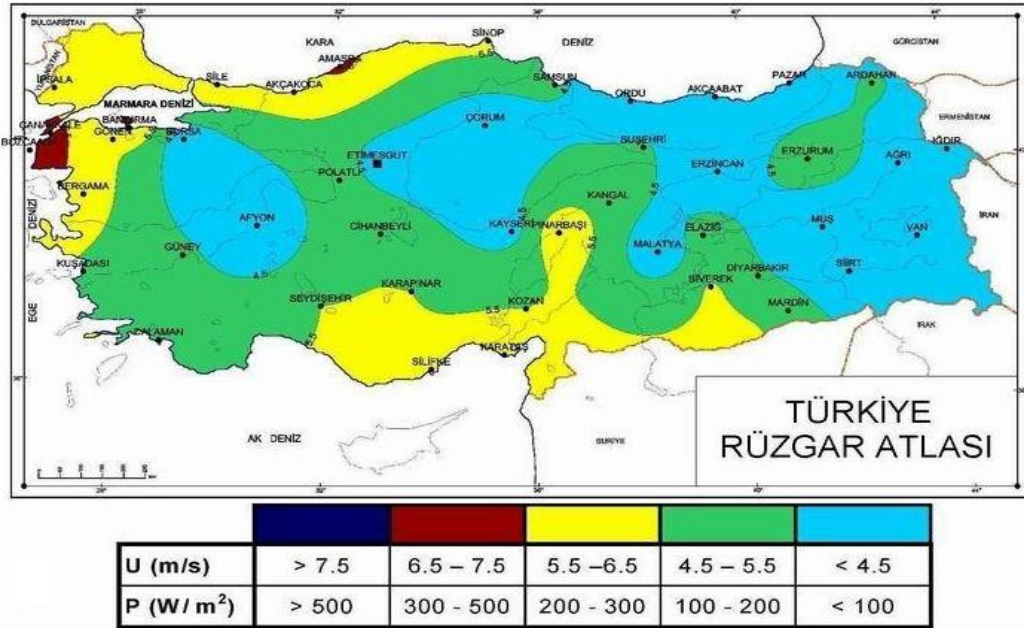
Türkiye'nin günlük ortalama güneşlenme süresi 7.2 saat ve günlük ortalama ışıyım şiddeti ise 3.6 kW'tır. Güney Doğu Anadolu bölgesi ve Akdeniz Bölgesi en yüksek güneş radyasyonuna sahip bölgelerimizdir. Ülkemiz güneş enerjisi kullanımı konusunda kötü bir durumda değildir. Özellikle güneş enerjisi ile su ısıtılması ülkemizde oldukça yaygındır. Güneş kolektörlerinin ürettiği ısı enerjinin birincil enerji tüketimimize katkısı 2001 yılında 290 TEP olmuştur (Anonim, 2006a). Bu rakamın 2011 yılı için 500 TEP in üstünde olduğu tahmin edilmektedir. Güneş enerjisi ile elektrik üretim sistemleri sorunsuz, temiz olmaları ve işletmelerinin kolay olması nedeniyle günden güne daha çok tercih edilir hale gelmektedirler. Ancak, güneş enerjisi ile elektrik üretimi halen gelişim aşamasındadır. Bunda güneş teknolojilerinin halen çok pahalı olmaları etkili olmuştur.

Rüzgâr enerjisi rüzgâr türbinlerin son yıllarda ki hızlı gelişimi neticesinde günümüzde önemli bir kaynak haline gelmiştir. 2010 yılı itibariyle dünyadaki toplam rüzgâr güç üreticilerinin kapasitesi 197 GW, elektrik üretimi ise 430 TWh olmuştur. Buda dünya elektrik tüketiminin %2.5'luk dilimine dek gelmektedir. Bazı ülkeler elektrik enerji üretiminde rüzgâr enerjisinin kullanımı bakımından yüksek oranlara ulaşmışlardır. Danimarka toplam elektrik üretiminin %21'ini, Portekiz %18'ini, İrlanda %14'ünü, Almanya ise %9'unun rüzgâr enerjisinden sağlamaktadır. Dünyada rüzgâr enerjisini ticari anlamda kullanan ülkelerin sayısı 83'e yükselmiştir (Anonymous, 2010a 2011b, 2011c, 2011d). Avrupa 2009 yılında toplam elektrik üretiminin %4.8'ini rüzgâr enerjisinden sağlamıştır. Hedef 2020 yılında Avrupa'nın elektriğinin %14-17'sini, 2030 yılında %26-35'ini rüzgâr enerjisinden üretmektir (Anonymous, 2011e).

Türkiye'de toplam kurulu güç son yıllardaki büyük artışa rağmen 2000 MW'yı yeni aşmıştır (Anonim, 2012b). Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından yapılan potansiyel belirleme çalışmasına göre yeryüzünden 50 m yükseklikteki rüzgâr hızı 7 m/s'nin üzerinde olan alanlarda Türkiye'nin 48,000 MW'lık RES potansiyeline karşılık üretilebilecek elektrik enerjisi miktarı yaklaşık 130 Milyar kWh'dır. Buda gösteriyor ki ülkemizde halen rüzgâr enerjisi potansiyelinin çok küçük bir kısmı kullanılmaktadır. Ayrıca, rüzgâr enerjisinin ülkemizde sulama amaçlı kullanılabileceği de son yıllarda yapılan çalışmalar ile ortaya konmuştur.

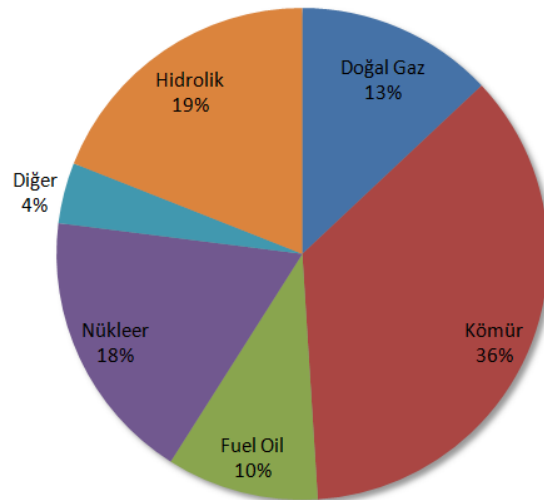
Hidrolik enerji denince akla gelen ilk sıvı olan su enerji üretimi amacı ile de dünyada etkin bir şekilde kullanılmaktadır. 2010 yılında dünyada hidroelektrik

kullanımı 3427 TWh'i bulmuştur (Anonymous, 2012c). Şekil 3.4'de dünyada elektrik üretiminde kullanılan kaynakların oranları gösterilmektedir (Anonymous, 2010b).



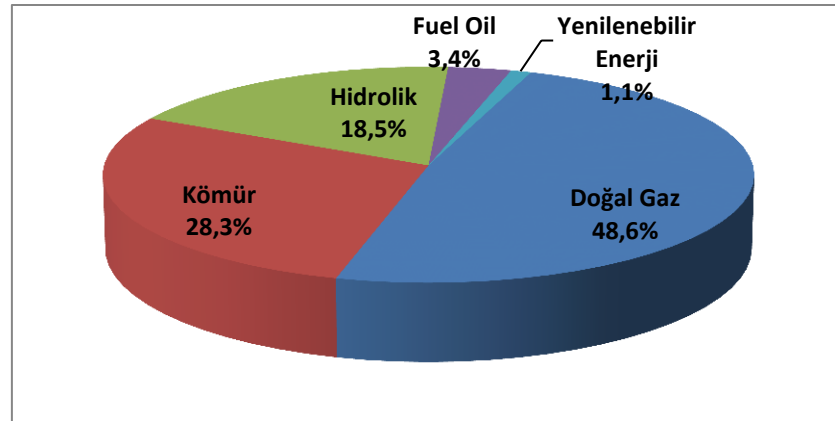
Şekil 3.3. 50m yükseklikte Türkiye ortalama Rüzgâr hızları (Anonim, 2011a)

Brezilya, Kanada, Yeni Zelanda, Norveç, Paraguay, İsviçre ve Venezüella elektrik ihtiyacının çoğunu hidroelektrik enerji santrallerinden karşılayan ülkelerdir. Paraguay elektrik ihtiyacının tamamını hidroelektrik santrallerden karşılamakta ve üretiminin %90'ını Brezilya ve Arjantin'e ihraç etmektedir (Anonymous, 2011f). Norveç için bu oran %98-99 civarındadır (Anonymous, 2009a).



Şekil 3.4. Dünyada elektrik üretiminde kullanılan kaynakların oranları (Anonymous, 2010b)

Türkiye’de teorik hidroelektrik potansiyel 433 milyar kW, teknik olarak değerlendirilebilir potansiyel 216 milyar kW olup, teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilir potansiyel ise 140 milyar kW olarak hesaplanmıştır. Türkiye’de işletmede olan 213 adet hidroelektrik santralin kurulu gücü 14,300 MW ve ortalama yıllık üretimi 50,000 GW’tır (toplam potansiyelin %35.70’si). Toplam 7286 MW Kurulu güce ve ortalama 23,770 GW (toplam potansiyelin %16.98’i) yıllık üretim kapasitesine sahip, 145 adet hidroelektrik santral halen inşa halinde bulunmaktadır. Ülkemizde halen elektrik üretiminin %18.5’luk miktarı hidrolik enerjiden yapılmaktadır (Anonymous, 2009a). Yeni yapılan hidroelektrik santrallerin bitmesi ile birlikte bu oranın %20’nin üzerinde olacağı öngörülmektedir. Şekil 3.5’de Türkiye’de elektrik üretiminde kullanılan kaynakların oranları gösterilmiştir (Anonim 2009a). Ancak Türkiye halen hidrolik potansiyelinin küçük bir bölümünü kullanmaktadır. Bu alanda yapılacak yatırımlar ülke menfaatine olacaktır.



Şekil 3.5. Türkiye’de elektrik üretiminde kullanılan kaynakların oranları (Anonim 2009a)

Jeotermal enerji kullanımı diğer yenilenebilir enerji türlerinde olduğu gibi dünyada hızla artmaktadır. Dünyada 70 ülkede jeotermal ısıtmadan 24 ülkede ise jeotermal enerji ile elektrik üretiminden faydalanılmaktadır (Holm ve ark., 2010, Fridleifsson ve ark., 2008). 2010 yılı itibariyle dünyadaki toplam jeotermal elektrik üretim tesisi kapasitesi 10,715 MW olmuştur ve bu tesislerden toplam 67,246 GWh elektrik üretilmiştir. Bu rakamlar 2005 ile 2010 yılı arasında jeotermal elektrik üretiminin %20 arttığını göstermektedir. 2015 yılında gelişen teknoloji ile birlikte

toplam kapasitenin 18,500 MW'a çıkması beklenmektedir. Avrupa'da ise jeotermal güç üretim tesislerinin kapasitesi 1060 MW civarındadır (Antics Sanner, 2007). Avrupa jeotermal enerji konseyi 2020 yılı için 5,000 MW, 2030 yılı için 15,000 MW toplam jeotermal güç üretim kapasitesi hedefi koymuştur (Anonymous, 2011e). Önemli bir jeotermal enerji potansiyele sahip olan Türkiye, 31,500 MW jeotermal enerji potansiyeli ile dünyada 5. Sırada Avrupa'da ise 1. sıradadır. 2010 itibariyle Türkiye'de ki toplam jeotermal elektrik üretim tesislerinin fiili kurulu gücü 92 MW_e olmuştur (Anonim, 2012a). 2013 yılında Türkiye'nin hedefi toplam 550 MW kapasiteye sahip jeotermal enerji üretim tesisine sahip olmaktır (Holm ve ark., 2010). Son yıllarda jeotermal enerjiye yapılan yatırımlar ve koyulan hedefler halen kullanılabilecek büyük bir jeotermal enerji potansiyeline sahip olan ülkemiz için umut kaynağı olmuştur.

Biyokütle enerjisinin değeri son yıllarda anlaşılmıştır. Dünyada 2010 yılı itibariyle toplam biyoenerji elektrik üretim tesisi kapasitesi 35 GW'tır. Bunun 7 GW'lık kısmı Amerika Birleşik Devletlerinde bulunmaktadır (Urban ve Mitchell, 2011). Avrupa'da 2008 yılında enerji tüketiminin 150 Mtoe'si (milyon ton eşdeğer petrol) yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmış ve bunun %70 lik kısmı (105 Mtoe) biyoenerji tarafından sağlanmıştır. 2020 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarından %20 enerji temini hedefi koyan Avrupa Birliği, bu oranın yarısından fazlasını biyoenerjiden elde etmeyi planlamaktadır. Avrupa birliğinin diğer bir hedefi ise 2020 yılında ulaşım sektöründe kullanılan yakıtların %10'luk kısmını biyoyakıttan karşılamaktır (Anonymous, 2010c). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, odun ile hayvan ve bitki atıklarını kullanan klasik biyokütle enerji üretiminin 2020 yılında 7530 Btep olmasını planlamıştır. Bu rakam 2000 yılı için 17 Btep olmuştur. Ülkemizde olabilecek en üst düzeydeki yetiştiriciliğe göre teknik potansiyel 40 Mtep/yıl düzeyinde bulunmaktadır. Ekonomik sınırlamalarla 25 Mtep/yıl değeri, Türkiye'nin ekonomik biyokütle enerji potansiyeli alınabilir (Ültanır,1998).

3.2. Yenilenebilir Enerjinin Depolanması

Bilim adamlarınca enerjinin teknik olarak depolanması çağımızın sorunu olarak görülmektedir. Son yıllarda kullanımına ağırlık verilen yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretiminin büyük ölçüde hava koşullarına bağlı olması enerji depolama sistemlerinin önemini arttırmıştır. Hidrolik enerji havanın yağmurlu, rüzgâr

enerjisi havanın rüzgârlı, güneş enerjisi ise havanın güneşli olup olmamasına bağlıdır. Bu yüzden yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji temininde güvenilirlik konusunda çekinceler vardır. Bu çekincelerin giderilmesinde depolama sistemlerinin kullanılması planlanmıştır. Günümüzde enerjinin depolanmasında değişik metotlar kullanılmaktadır. Büyük çapta enerji depolamada kullanılan en önemli sistemler pompaj depolamalı ve hava sıkıştırılmalı sistemlerdir. Küçük çapta olan sistemlerde ise genellikle akümülatörler kullanılır. Ancak, halen kimyasal aküler çok pahalı oldukları için yeni teknolojiler arayışına yönelinmiştir. Enerji depolama sistemlerinde yüksek depolama kapasitesi, uzun ömür, düşük fiyat, yüksek verim, enerji yoğunluğunun fazla olması (düşük hacimde yüksek depolama) gibi özellikler aranır.

Neden enerjiyi depolamak gereklidir:

- **Verimlilik:** Her güç santralinin belli bir maksimum verim ve minimum maliyet ile çalışma noktası vardır. Eğer güç santrali bu noktanın altında veya üstünde çalıştırılırsa verim dikkate şayan bir şekilde düşer (Harrack, 2010).
- **Dalgalanmaları Önleme:** Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin hava koşullarına bağlı olması nedeniyle, şebeke kararlılığının sağlanması için depolama gereklidir. Örneğin gece üretilen ve kullanılmayan rüzgâr enerjisi depolanmadığı takdirde boşa gitmektedir (Harrack, 2010).
- **Talep Dengesi:** Enerji talebinin fazla olduğu zamanlarda depolanan enerji şebekeye verilir, az olduğu zamanlarda ise şebekedeki enerji kullanılarak enerji depolanır (Harrack, 2010).
- **Tepki Süreleri:** Volan, PHES ve hava sıkıştırılmalı depolama sistemleri klasik güç santrallerine göre çok daha hızlı tepki sürelerine sahiptirler. Bu yüzden ani talep artmalarına hızlı tepki verebilmektedirler (Harrack, 2010).
- **Enerji ithalatındaki azalma:** Etkili enerji depolama sistemlerinin kurulmasıyla öz kaynaklar daha etkili bir şekilde kullanılacak ve enerji ithalatında azalma olacaktır.
- **Finansal getiri:** Türkiye’de gece vakitlerinde elektrik talebinin az olduğu zamanlarda, talebin fazla olduğu zaman aralığına göre elektrik üç kat daha ucuzdur. Enerji ucuz zamanda alınıp depolanıp pahalı zamanda satılabilir.

3.2.1. Pompaj Depolamalı Sistemler

Pompaj depolamalı sistemlerin temel mantığı enerjinin potansiyel enerjisi olarak depolanması ve gerektiğinde kullanmasıdır. Bu sistemler birbiriyle bağlı farklı yüksekliklere sahip iki adet su rezervuarından oluşmaktadırlar. Şekil 3.6’da görüldüğü gibi enerjiye ihtiyaç olmadığı zaman su yüksekte olan rezervuara pompalanır ve enerjiye ihtiyaç duyulduğu zaman su tekrar aşağıya indirilerek türbinlerden geçirilir ve bu sırada enerji elde edilir (Anonymous, 2011g).

PHES’ler de depolama kapasitesi iki faktöre bağlıdır. Bunlar su rezervuarları arası yükseklik yani maksimum su yüksekliği ve rezervuar kapasiteleridir. Yüksek su yüksekliğine sahip sistemler gerekli enerji ihtiyacının karşılanması için kolayca ayarlanabilirken, düşük su yüksekliğine sahip sistemlerde aynı enerjiyi elde etmek güçtür (Kenny ve ark., 2003). PHES’ler gerekli jeolojik şartları sağlayan akarsular üzerine yapılabildikleri gibi deniz kıyılarındaki yapılabilmektedirler. Şekil 3.7’de Japonya’nın Okinawa kentinde deniz kıyısına kurulmuş düşük kapasiteli pompaj depolaması HES görülmektedir (Anonymous, 1999).

PHES’lerin birçok avantajı vardır. Yüksek enerji depolama sistemleri arasından pompaj depolamalı sistemler en çok verime sahiptirler. Modern pompaj depolamalı sistemler %85 gibi yüksek bir verime sahiptirler (Anonymous, 2009b).



Şekil 3.6. Reoon dağı Pompaj depolamalı Hidroelektrik santrali - TVA Pompaj-depolama tesisi diagramı (Anonymous, 2011g)

Ayrıca, bu sistemler uzun depolama sürelerine ve enerji talebinde ki ani değişimlere cevap verme kabiliyetlerine sahiptirler. İşletme masrafları düşük, doğaya bulundukları etki çok düşük seviyededir. Her hangi bir atıkları ve kirlilik etkeni maddeleri yoktur. Pompaj depolamalı sistemlerin bazı dezavantajları da vardır.



Şekil 3.7. Japanyo- Okinawa Düşük kapasiteli Pompaj Depolamalı HES (Anonymous, 1999)

En önemli dezavantajları jeolojik konuma bağlı olmalarıdır. PHES'lerin kurulabilmesi için iki adet yüksek kapasiteli su rezervuarı ve bunlar arasında gerekli yükseklik bulunmalıdır. İkinci bir dezavantaj ise bu sistemlerin yapım masraflarının çok yüksek olmasıdır. Ayrıca, su akıntı rejimde meydana getirdiği dalgalanmalar doğal yaşamı etkilemektedir.

PHES'lerde pompa ve türbin ayrı olabildiği gibi bunların bir arada kombine biçimde olduğu sistemlerde mevcuttur. Eski sistemlerde pompa ve türbinin ayrı olması ek boru masrafı ve diğer masraflar nedeniyle pahalı olmaktaydı. Yeni sistemlerde ters yönde çalışabilen jeneratörlerin kullanılması ile kurulum maliyeti belli bir ölçüde düşürüldü.

3.2.1.1. Pompaj Depolamalı HES çeşitleri

Genel olarak dünyada üç çeşit PHES kullanılmaktadır.

1- En basit olanı ayarlanamayan olanıdır. Bu tip Pompaj Depolamalı HES'ler ya tam kapasitede çalışırlar yada hiç çalışmazlar. Bunların bazıları pompa – türbin

kombine sistemi kullanırken bazıları ayrı ayrı pompa ve türbin kullanırlar (Anonymous, 2010d).

2- İkinci çeşit sistem ise hidrolik kısa devre özelliğini kullanan ve daha esnek çalışan bir sistemdir. Bu sistemler pompa ve türbini aynı anda çalıştırabilirler. Pompa sadece tam kapasitede çalışabilir ancak şebekede düşük miktarda fazla elektrik olduğu zaman pompa ve türbin aynı anda çalıştırılır, türbin ile enerji üretim miktarı ayarlanarak denge sağlanır (Anonymous, 2010d).

3- Üçüncü tip Pompaj depolamalı HES çeşidi ise değişken hız pompasına sahip, pompa güç tüketiminin operatör tarafından ayarlanabildiği sistemlerdir. Bu tip Pompaj depolamalı HES den Avrupa'da sadece Almanya Thuringia'da vardır (Anonymous, 2010d).

3.2.1.2. Dünyada Pompaj-Depolamalı HES kullanımı ve Türkiye'nin durumu

Dünya'da 2008 yılı itibarıyla toplam kapasitesi yaklaşık 104 GW olan ve küresel üretim kapasitesinin yaklaşık %3.5 lük kısmını oluşturan Pompaj depolamalı HES bulunmaktadır (Anonymous, 2011i). Avrupa 38.3 GW net kapasiteye yani küresel pompaj depolamalı HES kapasitesinin %36.8 ine sahiptir. Bu rakam Avrupa net elektriksel kapasitenin %5 ini temsil etmektedir. Japonya pompaj depolama sistemini en etkin şekilde kullanan ülkelerden olup toplam 25.5 GW net kapasiteye sahiptir (Anonymous, 2011i). Amerika ise yaklaşık 25 GW kapasiteye sahip olup bu rakam üretim kapasitesinin yaklaşık %2.5 luk kısmını temsil etmektedir (Miller, 2009).

Maalesef dünyada gelişmiş ülkelerde çok etkin bir şekilde kullanılan pompaj depolamalı sistemler hakkında ülkemizde son yıllara kadar ciddi bir çalışma yapılmamıştır. Son birkaç yıldır elektrik işleri etüt idaresi bu sistemlerin Türkiye'de kurulumu konusunda önemli çalışmalara imza atmıştır. EİEİ tarafından yapılan çalışmada ülkemizde ileri vadede kurulması planlanan 16 adet PHES in etüt ve proje çalışmaları yapılmaktadır. Bu PHES'lerin listesi Çizelge 3.1'de verilmiştir (Anonim, 2008). Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretiminin ülkemizde de yaygınlaşması ile birlikte harekete geçen Enerji Bakanlığı Japon bir şirket ile anlaşarak aralarında Isparta, Kayseri, Bursa, Antalya, Denizli ve Samsun'unda bulunduğu 10 ilde PHES kururma kararı almıştır. Bu PHES'lerin 2022 yılında bitirilmesi planlanmaktadır.

Enerji Bakanlığı ve Japon yetkililerin yanı sıra Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Türkiye Elektrik İletim AŞ (TEİAŞ), Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) gibi bakanlık birimleri projenin 2025 yılından önce tamamlanabilmesi için mutabakat sağlamıştır. Projenin tamamlanmasıyla Türkiye'nin toplam PHES kurulu gücü 1800 MW olacaktır (Altınsoy, 2011).

Çizelge 3.1. İlk etüt seviyesinde çalışılan PHES projeleri (Anonim, 2008)

Proje Adı	Yeri	Kurulu Güç (MW)	Proje debisi (m ³ /s)	Düşü (m)
Kargı PHES	Ankara	1000	238	496
Sarıyar PHES	Ankara	1000	270	434
Gökçekaya PHES	Eskişehir	1600	193	962
İznik-I PHES	Bursa	1500	687	255
İznik-II PHES	Bursa	500	221	263
Yalova PHES	Yalova	500	147	400
Demir köprü PHES	Manisa	300	166	213
Adı güzel PHES	Denizli	1000	484	242
Burdur Gölü PHES	Burdur	1000	316	370
Eğridir Gölü PHES	Isparta	1000	175	672
Karacaören-II	Burdur	1000	190	615
Oymapınar PHES	Antalya	500	156	372
Aslantaş PHES	Osmaniye	500	379	154
Bayram hacılı	Kayseri	1000	720	161
Yamula PHES	Kayseri	500	228	260
Hasan Uğurlu	Samsun	1000	204	570

Son on yıldır geliştirilmekte olan ve “Yer altı PHES” olarak adlandırılan yeni bir sistem vardır. Bu sistemde etrafı sert taşlar ile çevrilmiş olan ve yer altının birkaç yüz metre derinliklerine kazım yapılarak kurulan alt rezervuar ve yer seviyesinde bulunan üst rezervuar arası su transferi ile elektrik üretimi planlanmıştır (Shoppe, 2010).

3.2.1.3. Finansal Veriler

Pompaj-depolamalı HES ler ilk yatırım maliyetleri yüksek, işletme ve bakım masrafları düşük olan sistemlerdir. Örnek olarak Almanya’da en son teknoloji ile kurulmuş olan Goldhstal PHES ini inceleyebiliriz. Bu PHES de elektrik enerjisi talebinin az olduğu zamanlarda elektrik 20 €/MWh’ tan (46 TL/MWh) alınabilir ve elektrik ihtiyacının fazla olduğu zamanlarda 50 €/MWh’a (115 TL/MWh) satılabilir (Kampke, 2007). Tabi bu veriler Almanya için geçerli verilerdir. Ülkemizde elektrik enerjisi satışında üç ayrı zaman dilimi bulunmaktadır. T1 zaman dilimi 06:00- 17:00

arası olup bu zaman diliminde elektrik fiyatı yaklaşık 16 kr/kWh, T2 zaman dilimi 17:00-22:00 arası olup bu zaman diliminde elektrik fiyatı yaklaşık 28 kr/ kWh, T3 zaman dilimi 22:00- 06:00 arası olup bu zaman diliminde elektrik fiyatı yaklaşık 8 kr/kW'dır (Anonim, 2011b). PHES kurulum masrafı ise 2700 -3300 \$/kW ve geliştirme masrafı ise yaklaşık 600 \$/kW'dır. Çizelge 3.2'de PHES verileri özet olarak sunulmuştur (Klaimaier, 2009).

Çizelge 3.2. PHES verileri özeti (Klaimaier, 2009)

Tanım	Değer
Verim	65-80%
Enerji tedarik süresi	Saatler, günler süresince
Kapasite	10 MW – 1 GW
Toplam kurulum masrafı	2,700 – 3,300 USD/kW (Geliştirme 600 USD/kW)
En büyük dezavantaj	Kurulabilecek yerlerin kısıtlılığı

3.2.1.4. Formülasyon

Pompaj depolamalı sistem demek suyun potansiyel enerji olarak depolanması demektir.

$$Potansiyel\ Enerji = E_p = m_w \cdot g \cdot H \quad (J) \quad (3.1)$$

Burada m_w suyun kütlesi (kg), g yer çekimi ivmesi ($9,81\ m/s^2$), H ise rezervuarlar da ki suyun en üst noktaları arası yüksekliktir (m) (Khartchenko, 1998).

Su üst rezervuardan alt rezervuara transfer edilirken, yani enerji üretilirken, bir saatte üretilen enerji aşağıda ki formül ile tanımlanabilir.

$$E_g = \rho \cdot g \cdot H \cdot V^g \cdot \zeta^g \quad (W) \quad (3.2)$$

Burada ρ suyun yoğunluğu (kg/m^3), g yer çekimi ivmesi ($9,81\ m/s^2$), H rezervuarlar da ki suyun en üst noktaları arası yükseklik (m), V^g üretim modunda ki hacimsel debi (m^3/s), ζ^g ise enerji dönüşüm katsayısı yani türbin verimi olarak tanımlanabilir (Khartchenko, 1998).

PHES sistemi suyu alt rezervuardan üst rezervuara pompalarken, pompanın harcadığı enerji Denklem (3.3) ile tanımlanabilir.

$$E_g = \rho \cdot g \cdot H \cdot V^p / \zeta^p \quad (W) \quad (3.3)$$

Burada ρ , g ve H Denklem (3.2) ile aynı parametreler, V^p pompalama sırasında ki hacimsel debi, ξ^p ise pompalama enerji dönüşüm katsayısı yani pompa verimidir (Khartchenko, 1998).

3.2.2. Hava Sıkıştırılmalı depolama sistemleri

Hava sıkıştırılmalı depolamada elektrik enerjisi, enerji üretiminin ihtiyaçtan fazla olduğu zamanlarda bir kompresöre verilerek sıkıştırılır. Hava sıkıştırıldıktan sonra daha yüksek depolama kapasitesine erişmek için soğutulur ve hava kaçırmayan yer altı boşluklarına pompalanır. Burada hava yüksek basınçla depolanır. Elektrik enerjisine ihtiyaç olduğu zaman ise sıkıştırılmış hava ısıtılarak yavaş yavaş serbest bırakılır, türbinin dönmesi sağlanarak elektrik enerjisi tekrar elde edilmiş olur. Genellikle sıkıştırılmış hava doğal gaz ile karıştırılarak bir gaz türbini enerji elde edilir ve direk olarak doğal gazdan enerji üretilmesine göre yaklaşık %60 daha az doğal gaz kullanılarak aynı enerji elde edilmiş olur (Naish ve ark., 2003).

Hava sıkıştırılmalı depolama sistemleri çok yüksek kapasitelere sahip olabilirler. Genel olarak sıkıştırılmış hava depolama sistemlerinin kapasiteleri 50-300 MW arası değişir. Ayrıca depolama süresi diğer depolama metodlarına göre en uzundur. Bu sistemler enerjiyi bir seneden fazla depolayabilirler. Enerji üretimine başlama süresi bu sistemlerin diğer bir avantajıdır. Hava sıkıştırılmalı depolama sistemleri acil başlangıçlarda 9 dakikada, normal başlangıçta ise 12 dakikada faaliyete geçebilirler. Eğer doğal bir jeolojik oyuk veya yapı kullanılırsa bu sistemlerin yatırım masrafları çok yüksek olmayacaktır. Hava sıkıştırılmalı depolama sistemlerinin en önemli dezavantajı jeolojik yapıya bağlı olmalarıdır. Bu sistemlerin kurulması için hava sızdırmayan yer altı mağara veya oyuklarına ihtiyaç vardır (Kenny ve ark., 2003).

Hava sıkıştırılmalı depolama sistemleri 5 önemli bileşenden oluşmaktadırlar. Bunlardan ilki olan motor/jeneratör bölümünden olan motor kompresöre hareketini verir, jeneratör türbinden aldığı hareketi elektrik enerjisine çevirir. Kompresörün görevi ise havayı sıkıştırmaktır, hava sıkıştırılmadan önce bir veya daha fazla ara soğutucu ve son soğutucudan geçirilerek daha ekonomik bir depolama ve nemin azaltılması sağlanır. Isı değiştiricisi, yüksek ve alçak basınç türbinleri ise diğer bir bölümü oluşturmaktadırlar. Tüm bu bileşenleri kontrol etme görevi ise donanım kontrol merkezinindir.



Şekil 3.8. Hava sıkıştırma depolama sistemlerinin elemanları (Kenny ve ark., 2003)

Ayrıca, yakıt depolama görevine ve çeşitli ısı değiştirici sistemlerini destekleyen elektrik ve mekanik sistemlere sahip olan yardımcı ekipman ise sistemin son önemli bileşenidir. Şekil 3.8’de genel bir hava sıkıştırma depolama sisteminin elemanları gösterilmektedir (Kenny ve ark., 2003).

3.2.2.1. Hava sıkıştırma depolama santrali çeşitleri

Hava sıkıştırıldığı zaman ısınır. Havanın sıkıştırılmasıyla açığa çıkan ısı havanın salınmasında tekrar kullanılırsa sistem verimi daha yüksek olur. Hava sıkıştırma depolama santralleri ısıyı üç şekilde depolayabilir; Adiyabatik, diyabatik ve izotermal. Adiyabatik depolamada sıkıştırma işlemi sırasında elde edilen ısı muhafaza edilir ve havanın enerji üretmek için salınımında tekrar havanın ısıtılmasında kullanılır. Böyle bir sistemin şu an için uygulanmış hali yoktur. Bu sistemlerin veriminin 70% civarında olması beklenmektedir. Diyabatik depolamada hava ara soğutucularla soğutularak fazla ısı atmosfere atılır. Bu sistemde hava salınımından önce doğal gaz ile ısıtılır. Kayıp ısı sisteminin verimini düşürmektedir ancak bu sistem ticari olarak kullanılan tek sistemdir. Amerika’da ki McIntoch Alabama Hava sıkıştırma depolama sistemi %53 verim ile çalışmakta olup bu sistemi kullanmaktadır. İzotermal sıkıştırma ve genişleme ise operasyon sıcaklığının sabit tutulmasının sağlanması için çevre ile ısı değişimi sabit yapılması prensibine dayanır. Pratikte sadece çok düşük güçlerde kullanılabilirler. Teorik olarak izotermal enerji depolamanın verimi %100’dür ancak ısı kayıplarının

önlenemez olması nedeniyle pratikte kullanılabilirmeleri mümkün değildir (Anonymous, 2011j).

3.2.2.2. Dünyada hava sıkıştırırmalı depolama santrali kullanımı

Dünyada hava sıkıştırırmalı depolama santrali iki adet bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi Almanya'da bulunan Huntorf santrali, diğeri ise Amerika MacIntosh Alabama'da bulunan MacIntosh santralidir.

Dünyanın ilk hava sıkıştırırmalı depolama santrali 1978 yılında faaliyete geçmiş olan 290 MW kapasiteli Huntorf hava sıkıştırırmalı depolama santralidir. Santral biri 140,000 m³ diğeri ise 170,000 m³ olmak üzere toplam 310,000 m³ hacme sahip olan iki adet yer altı mağarasına sahiptir. Bu mağaralarda hava 50 ile 70 bar arası basınçlarda depolanmaktadır. Bu mağaralar yerin 650 ve 800 metre altında bulunmakta olup çözünmüş tuz domlarından oluşmuşlardır. 60 MW kompresör ile depolama hacmi en az 8 saatte doldurulmakta ve iki saatlik süre için 300 MW güç sağlanabilmektedir. Santralde türbin 417 kg/s debi ile hava çalışabilmekte kompresör ise 108 kg/s debi ile hava sıkıştırması yapabilmektedir. Santralin verimi %42 dir. Günümüzde santral enerji deposu ve tüketimin yoğun olduğu saatlerde takviye enerji santrali olarak kullanılmaktadır (Anonymous, 2010d, Crotogino ve ark., 2001).

Dünyanın ikinci hava sıkıştırırmalı depolama santrali 1991 yılında faaliyete geçmiş MacIntosh, Alabama'da bulunan 110 MW kapasiteli MacIntosh hava sıkıştırırmalı depolama santralidir. Bu santralde yakıt tüketimini %25 azaltan ısı geri kazanımı sistemi de dahil olmak üzere Huntorf santraline nazaran birkaç geliştirme yapılmıştır. Santral 45 ile 75 bar arası basınçta hava depolayabilen 538.000 m³ hacimli bir yer altı mağarasına sahiptir. Mağaralar yerin 450-750 metre altında bulunmaktadır. Santral yer altı depoları tamamen dolu iken 26 saat süreyle enerji sağlayabilmektedir. Santralin çalışma süresi 9-13 dakika olup, %54 verim ile çalışmaktadır (Anonymous, 2010d, 2011k).

RWE Power, *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt* (kısmen devlete bağlı araştırma kuruluşu) AA-Hava sıkıştırırmalı depolama santrali yapımı için gerekli teknolojiyi üretebilmek adına Adele adlı projeyi yürütmektedir. Geliştirdikleri sistemden %70 verim eldesi beklenmektedir (Anonymous, 2010d, 2011k).

3.2.2.3. Finans Veriler

Hava sıkıştırılmalı depolama santralleri, PHES'ler ayrı tutulduğunda günümüz şartlarında makul fiyatlara işletilebilecek tek büyük kapasiteli depolama sistemleridir. On beş dakika gibi kısa bir sürede tam kapasitede çalışmaya başlayabilmeleri ve PHES'ler gibi yükselti farkına ihtiyaç duymamaları büyük bir avantajdır. Bu santrallerin PHES'lere göre biri düşük verimleri ikincisi ise yüksek işletme maliyetleri olmak üzere iki dezavantajları vardır. PHES'lerin işletme maliyetleri 25 €/kW'nın altındayken bu rakam Hava sıkıştırılmalı depolama santraller için 20-50 €/kW'dır (DeCorso ve Davis, 2006). Yatırım maliyetlerine bakacak olursak örnek olarak Albama hava sıkıştırılmalı depolama santralinin maliyeti 65 milyon dolar olmuştur (Anonymous, 2009c). Bu santrallerin kurulum masrafları yaklaşık 400-550 \$/kW'dır. Buda oldukça makul bir rakamdır. Çizelge 3.3'de hava sıkıştırılmalı depolama santralleri verileri özet olarak sunulmuştur (Kleimaier, 2009).

Çizelge 3.3. Hava sıkıştırılmalı depolama santralleri verileri özeti (Kleimaier, 2009)

Tanım	Değer
Verim	Maksimum %70
Enerji tedarik süresi	Saatler, günler süresince
Kapasite	100 MW – 1 GW
Toplam kurulum masrafı	400-550 \$/kW
En büyük dezavantaj	Kurulabilecek yerlerin kısıtlılığı

3.2.3. Bataryalar

Bataryalar küçük çaplı denilebilecek kapasitede olan depolama cihazlarıdır. En önemli avantajları mobil uygulamalarda kullanılabilmeleridir. Genelde elektronik aletlerde kullanılırlar. Büyük çaplı enerji depolamada ve ani talep dengesinde de bataryalar kullanılır. Ancak yüksek maliyetleri nedeniyle büyük çaplı depolamada fazla kullanılmamaktadırlar.

2.2.3.1. Batarya Çeşitleri

Piyasada en çok kullanılan batarya tipleri; Kurşun-Asit bataryalar, Nikel-Kadmium (NiCd) bataryalar, Sodyum-Sülfür bataryalar, Lityum-İyon bataryalar ve Sodyum Nikel Klorid bataryalardır.

Kurşun-Asit Bataryalar çok uzun süredir kullanılmaktadırlar. Düşük enerji yoğunluğu, düşük fiyat ve yüksek dayanıklılığa sahiptirler. Genellikle araçlarda başlangıç (starter) bataryası, alarm sistemlerinde veya acil durum ışıklandırmalarından kullanılırlar. Ayrıca bu bataryalar şebeke akımının stabilizasyonunda kullanılırlar (Anonymous, 2010d). 10 MW kapasiteli ve 4 saat depolama süresine sahip Kurşun-asit depolama tesisinin yaklaşık yatırım maliyeti 1700 EUR/kW'dır (Anonymous, 2009d).

Nikel-Kadmiyum Bataryalar Kurşun-asit bataryalara göre daha hafiftirler ve enerji verimlilikleri ve dayanımları kurşun-asit bataryalarla aşağı yukarı aynıdır. Enerji yoğunlukları kurşun-asit bataryalara nazaran yüksek olmasına rağmen (50 W/kg-kurşun-asit, 5 W/kg NiCd) diğer batarya çeşitlerine göre düşüktür (Anonymous, 2010d). Yeni teknolojilerde kadmiyum kullanımı çevresel etkilerden dolayı Avrupa birliği tarafından 2006 yılında yasaklanmıştır (Hannig ve ark., 2009).

Sodyum-Sülfür Bataryalar yüksek enerji yoğunluğuna, yüksek şarj/deşarj verimine, uzun çevrim ömrüne ve düşük maliyetli montaj parçalarına sahiptirler. En büyük dezavantajları çalışmaları için 300 ° C sıcaklığa ihtiyaç duymalarıdır. Bu yüzden yüksek kapasiteli enerji depolama için daha uygundur. Dünyada bu bataryaları üreten tek üreten kuruluş Japon NGK Insulators şirkettir (Anonymous, 2011L). Japonya'da toplam 270 MW kapasiteye ve 6 saat takviye enerji sağlama kapasitesine sahip NAS depolama tesisleri bulunmaktadır. En büyük NAS batarya enerji depolama merkezi Japonya'nın kuzeyinde rüzgâr enerjisini dengelemek amaçlı kullanılan 34 MW kapasiteli tesistir (Anonymous, 2011m). Japan Wind Development (JWD-Japonya rüzgâr geliştirme) şirketi toplam 51 MW kapasiteye sahip rüzgâr çiftliği ile 34 MW depolama kapasitesine sahip Sodyum-Sülfür enerji depolama tesisini entegre bir şekilde Mayıs 2008'de faaliyete almıştır (Yomogita, 2008). Presido, Texas'ta dünyanın en büyük sodyum sülfür enerji depolama tesisi Amerikan elektrik şebekesine bağlı şehrin elektrik hattında sorun olursa devreye alınmak üzere kurulmuştur (Hsu, 2010).

Lityum-İyon Bataryalar bir çeşit yeniden doldurulabilir pil çeşididir ve elektronik araçlarda (cep telefonu, laptop, kamera vb.) kullanılırlar. Ağırlıklarına-büyükliklerine oranla verebildikleri yüksek enerji ile en iyi pil çeşitlerinden biridir ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Uygunsuz kullanılmaları halinde tehlikeli olabilirler. Li-Ion piller diğer şarj edilebilir pillere oranla daha güçlüdürler. Şarj edildikten sonra enerjiyi daha uzun süre saklayabilirler ve ağırlıkları da daha azdır. Bu pillerin diğer bir avantajı da kullanılmadan boşalma hızının yavaş olmasıdır. Li-Ion piller ayda %5

oranında boşalırken, NiMH ve NiCd piller %20-30 oranında boşalır. Li-Ion piller kullanılmadıkları zaman serin bir ortamda, yarı dolu olarak saklanmalıdırlar. Tam şarjlı olarak beklerse Li-Ion piller her yıl kapasitelerinin %20'sini kaybederler, bu kayıp %40 dolu olarak bekletilirse yılda %4'e düşer (Anonim, 2011c).

Sodyum Nikel Klorid Bataryalar yüksek enerji yoğunluğuna sahiptirler. Kendi kendilerine deşarj olmazlar ancak çalışmaları için 250 °C gibi yüksek bir sıcaklığa ihtiyaç duyarlar. Genellikle elektrikli araçlarda ve askeri uygulamalarda kullanılırlar (Anonymous, 2010d).

3.2.3.2. Bataryalı depolama sistemlerinin karşılaştırılması

Bataryalar kg başına depolayabildikleri enerji miktarına yani enerji yoğunluklarına göre, çevrim miktarlarına yani şarj/deşarj miktarlarına göre, şarj/deşarj verimlerine göre ve kendi kendilerine deşarj miktarlarına göre birbirlerinden ayrılırlar. Çizelge 3.4'de çeşitli batarya enerji depolama sistemlerinin karşılaştırılması gösterilmiştir (Anonymous, 2001).

Çizelge 3.4. Çeşitli batarya enerji depolama sistemlerinin karşılaştırılması (Anonymous, 2001)

Batarya tipi	Kurşun – Asit	Nikel-Kadmiyum	Sodyum-Sülfür	Lityum-İyon	Sodyum Nikel-Kl.
Ulaşılabilmiş depolama miktarları	onlarca MW ın katları düzeyinde	Onlarca MW	MW düzeyinde	Onlarca kW düzeyinde	onlarca ve yüzlerce kW düzeyinde
Enerji Yoğunluğu(Wh/kg)	35-50	75	150-240	150-200	125
Güç Yoğunluğu(Wh/kg)	75-300	150-300	90-230	200-315	130-160
Çevrim Miktarı (çevrim)	500-1500	2500	2500	1000-10000+	2500+
Şarj/deşarj verimi (%)	~80	~70	>90	~95	~90
Kendi kendine deşarj	Aylık % 2-5 arası	Aylık % 5-20 arası	yok ^a	Aylık %1	yok ^a

Not: ^a Bu tür bataryalarda herhangi bir deşarj reaksiyonu olmamasına rağmen, sıcaklığın yüksek tutulması gerekliliği nedeniyle bazı kayıplar söz konusudur.

Klasik batarya tiplerinden farklı olarak bir de redoks bataryalar mevcuttur. Bu bataryalar enerji ayrı tanklarda depo edebilirler. Buda batarya boyutlarının ayarlanmasına olanak sağlar. Bu yüzden redoks bataryalar yakıt hücresi gibi de düşünülebilirler. Yüksek enerji verimliliğine (%80-90) ve uzun ömre sahiptirler (Skyllass, 2011).

2.2.3.3. Dünyadaki Batarya Depolama Santralleri ve finansal veriler

Bu sistemler genellikle yüksek kapasitede depolama yerine elektrik şebekelerine kısa zamanlı destek enerji santralleri olarak kullanılırlar. Bu sistemlere başarılı bir örnek olarak Fairbanks, Alaska 'da bulunan ve Golden Valley Electric Association tarafından işletilen 27 MW kapasiteli Nikel-Kadmiyum Batarya depolama tesisidir. Tesis toplam ağırlığı 1,5 ton olan 13.760 NiCd hücreden oluşmaktadır. Tesis ihtiyaç olduğunda 15 dakikalığına 27 MW güç üretebilmektedir. Tesis sayesinde depolama ve taşıma sırasında ziyan olan enerji %60 azaltılmıştır. Proje 35 milyon dolara mal olmuştur (Anonymous, 2011n). Dünyada kullanılan seçilmiş batarya depolama santralleri Çizelge 3.5'de verilmiştir (Collinson, 2000).

Çizelge 3.5. Dünyada kullanılan bazı batarya depolama santralleri (Collinson, 2000)

Yer	Batarya Tipi	Kapasite	Sağlanabilecek maksimum güç miktarı
Puerto Rico Electric Power Company (PREPA)	Kurşun-Asit	20 MW	14 MWh
Golden Valley Electric Association, Alaska	Kurşun-Asit	40 MW	14MWh
Ohito Substation, Japonya	Sodyum Sülfür	6 MW	48MWh
Tsunashima Substation, Japonya	Sodyum Sülfür	6 MW	48MWh
Vernon, California, Amerika	Kurşun-Asit	5 MW	5MWh
Metlakatla, Alaska	Kurşun-Asit	4 MW	2.5MWh
ESCAR, San Augustin del Guadalix, İspanya	Kurşun-Asit	2 MW	4 MWh

Yüksek fiyatları bataryalar için bir dezavantajdır. Ancak, mobil uygulamalar için vazgeçilmezlerdir. Vanadium redoks bataryalar için yatırım maliyeti yaklaşık 7,000 – 8,200 USD/kW dır. Lityum-İyon Batarların ise fiyatlarının 4000-5000 USD/kW olarak tahmin edilmekle birlikte bu bataryaların gelecekte de büyük çaplı enerji depolama

yerine mobil uygulamalarda yaygın olarak kullanılacağı ön görülmektedir (Anonymous, 2009e). Kurşun-Asit bataryaların fiyatları ise 400-900 \$/kW arası iken soydum-sülfür bataryaların fiyatı 1,800 \$/kW civarındadır (Wicker, 2005).

3.3. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi hem karada, hem denizde önemli bir enerji kaynağı olarak tarihsel süreçte kullanılmıştır. 5000 yıl önce eski Mısırlıların rüzgâr gücüne dayalı deniz nakliyatı yaptıkları hiyeroglif şekillerde, diğer bir deyimle resim yazısı, kayıtlarında bulunmuştur. Rüzgâr enerjisine dayalı deniz nakliyatı 19. asırda en üst düzeye çıkmıştır. 19. asırda buharlı gemilerin buluşu ile nakliyatın önemi azalmış ve bugün salt bir eğlence aracı olma durumuna kadar düşmüştür. Karada görülen yel değirmenleri tarihin en eski buluşlarından. Tarihten elde edilen kaynaklara göre ilk yel değirmenlerinin izlerine İran bölgesinde rastlanmıştır. Arkeologlar İran'da yaptıkları araştırmalarda beşinci asra kadar geriye giden ve sulama amaçlarına hasredilen yel değirmeni ile çalışan mekanik su pompaları bulmuşlardır. O devirdeki yel değirmenlerinin kanatları bezden olup dikey konumunda bulunmaktaydı. Bu tür olmasının nedenleri rüzgâr yönünün denetimi gerekmesinden ötürüydü. Yel değirmenleri daha sonraları dünyanın diğer ülkelerinde de görülmeye başlandı. Bunların örnekleri Avrupa'da on dördüncü yüzyılda, Amerika da ise yirminci yüzyılda mevcuttur (Haktanır,2001).

İlk rüzgâr elektriği, Danimarkalı Profesör Paul La Cour tarafından 1891 yılında üretildi. Doğru akım elde eden Paul La Cour, elektroliz yoluyla hidrojen gazı elde etti ve bu şekilde rüzgâr enerjisini depolamış oldu. 1918 yılı sonrasında büyük şehirler elektriğe kavuşmuş ve dizel yakıtların ucuzluğu nedeniyle rüzgâr enerjisini değerlendirme çabaları, bir kenara bırakılmıştır. Rüzgâr enerjisinin bu bir kenara itilmişliği, enerji sıkıntısı nedeniyle 2. Dünya Savaşı'na kadar sürmüştür. Rüzgâr enerjisi kullanımının tarihsel gelişimine; 1942 yılında üretilen 17.5 m pervane çaplı ve 50 kW nominal güçlü Smidth rüzgâr türbini ve 1957 yılında üretilen 24 m pervane çaplı ve 200 kW nominal güçlü Gedser rüzgâr türbini verilebilir (Hau, 1996). 1990 yılından sonra başta Almanya olmak üzere Avrupa'da rüzgâr türbini teknolojisi hızla gelişmiştir. Rotor çapı 25-35 m olan 150-300 kW güce sahip rüzgâr türbinleri imal edilmiş ve bu türbinler birkaç seneliğine piyasaya hakim olmuşlardır. 1992 yılında Tacke-Windtechnik adlı firma ilk 500 kW güce sahip rüzgâr türbinini üretmiştir. Bunu ENERCON adlı firmanın yaptığı üretimler izlemiş, 1996 yılında ENERCON 66 m rotor çapına sahip ilk 1,5 MW

gücündeki rüzgâr türbinini üretmiştir. Günümüzde artık 100 m rotor çapına ve 2 MW üzeri bir güce sahip rüzgâr türbinleri kullanılır hale gelmiştir (Nurbay ve Çınar, 2005).

3.3.1. Rüzgâr türbinleri

Rüzgâr türbinleri rüzgâr enerjisini mekanik enerjiye ve daha sonrada elektrik enerjisine çeviren cihazlar olarak tanımlanabilirler. Bir rüzgâr türbini genel olarak kule, jeneratör, hız dönüştürücüleri (dişli kutusu), elektrik-elektronik elemanlar ve pervaneden oluşur. Şekil 3.9'da rüzgâr türbini elemanları gösterilmiştir. Rüzgârın kinetik enerjisi rotorda mekanik enerjiye çevrilir. Rotor milinin devir hareketi hızlandırılarak gövdedeki jeneratöre aktarılır. Jeneratörden elde edilen elektrik aküler vasıtasıyla depolanarak veya doğrudan alıcılara ulaştırılır (Anonymous, 2011t).



Şekil 3.9. Rüzgâr Türbin Elemanları (Anonim, 2006a)

Kanatlar esen rüzgârın etkisiyle dönerek mekanik enerji elde edilmesine yararlar. Günümüzde 100 metre rotor çapına sahip rüzgâr türbinleri bulunmaktadır. Bu yüzden çok büyük kanatların taşınması sorun olabilmektedir. Modern kanatların çoğu güçlendirilmiş fiber glass malzemeden yapılır. Epoxsy ve güçlendirilmiş fiber polyester buna örnek verilebilir. Karbon fiber kullanımı da diğer bir seçenektir. Ancak bu malzemeler türbin kanadı için ekonomik bir seçenek değildir. **YAW mekanizması** türbinlerde rüzgârın sürekli rotora doğru yönelmesini sağlayan sistemdir (Sülün, 2007).

Kule rüzgâr türbinini taşıyan ana gövdedir. **Rotor**, Kanatlar ve kanatları birleştiren merkez, rotor olarak adlandırılır. **Fren**, Acil durumlarda rotoru durdurmaya yarar. **Pitch** açısı sayesinde, rüzgâr hızının elektrik üretmek için çok düşük veya çok yüksek olduğu zamanlarda veya rüzgâr hızı değiştiğinde, rotorun dönmesini engellemek için, rotor kanatlarının rüzgâra karşı gelen açıları değiştirilerek rüzgârın oluşturduğu kaldırma kuvvetinin değiştirilmesiyle bir hız kontrolü yapılmış olur (Ergür, 2006).

3.3.2. Rüzgâr türbini çeşitleri

Rüzgâr türbinleri eksensel olarak yatay, dikey ve eğik eksenli olarak ayrılabilirler.

3.3.2.1. Yatay eksenli rüzgâr türbinleri

Bu türbinlerde; dönme eksenini rüzgâr yönüne paralel, kanatlar rüzgâr yönüne diktir. Bu türbinlerde rotor kanatların sayısı azaldıkça rotor daha hızlı dönmektedir. Bu türbinlerin verimi yaklaşık % 45'dir (Nurbay ve Çınar, 2005).

Tek Kanatlı Rüzgâr türbinlerinde, kanat sayısına göre dönme hızı yüksek ve bu sayede makine kütlesi ve rotorun döndürme momenti azdır. **Çift Kanatlı Rüzgâr Türbinleri**, Üç kanatlı türbinlere göre maliyeti daha az türbinlerin eldesi için çift kanatlı rüzgâr türbinleri tasarlanmıştır. İki kanatlı rotorun balansı, bir kanatlı rotora göre daha düzgündür. Ancak iki kanatlı rotorun sebep olduğu dinamik hareketleri önlemek için ilave teknik güç, maliyetin daha fazla artmasına sebep olmaktadır. Üç kanatlı rotorla karşılaştırıldığında en büyük avantajı; kanat uç hızlarının yüksek olmasıdır. Bu RT'nin gürültü seviyesinin yüksek olması ve düşük rüzgâr hızlarında (3m/sn) çalıştırılması dezavantajıdır. **Çok kanatlı Rüzgâr Türbinleri** düşük hızda çalışırlar.

Türbin kanatlarının genişlikleri, pervane göbeğinden uçlara gidildikçe artış gösterir (Nurbay ve Çınar, 2005).

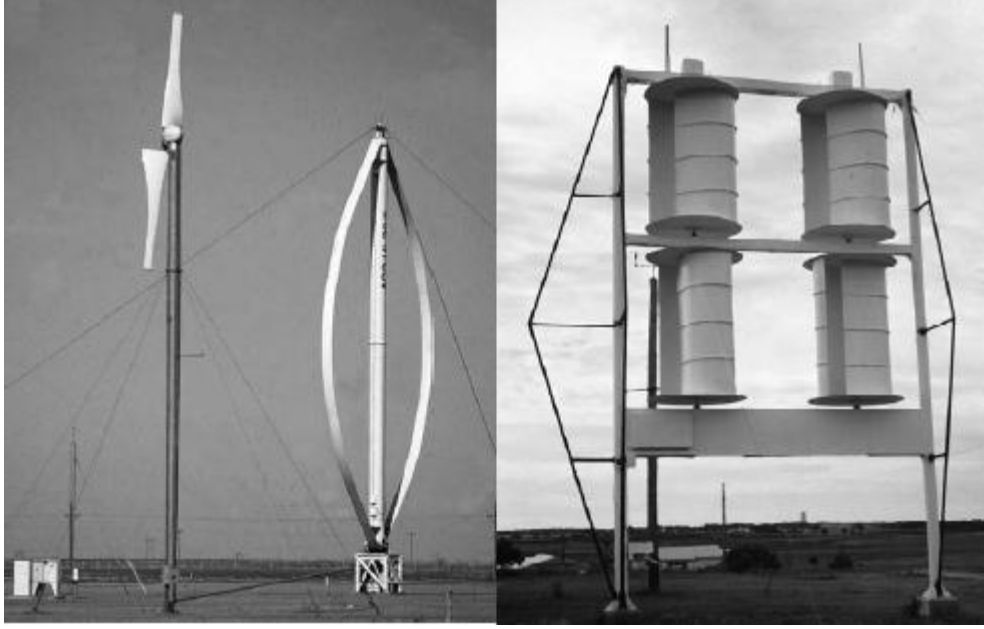
3.3.2.2. Düşey eksenli rüzgâr türbinleri

Türbin mili düşeydir ve rüzgârın geliş yönüne diktir. Savonius tipi, Darrieus tipi gibi çeşitleri vardır. Bu türbinler daha çok araştırma amaçlı üretilmiş olup ticari kullanımları çok azdır. Avantajları; kule masrafının az olması, rüzgâr yönüne çevirici ihtiyaçlarının olmaması, bakım ve onarımlarının kolay olması, elde edilen gücün toprak seviyesine yakın olması nedeniyle nakledilmesinin kolay olması olarak sıralanabilir. Dezavantajları ise; yere yakın oldukları için rüzgâr hızlarının düşük olması, verimlerinin düşük olması, ilk hareket motoruna ihtiyaç duymaları olarak sıralanabilir (Anonymous, 2011t).

Savonius tipi Rüzgâr Türbinleri, Finlandiya’lı mühendis Sigurd J. Savonius tarafından keşfedilmiştir. İki yatay disk arasına yerleştirilmiş ve merkezleri birbirine göre simetrik olarak kaydırılmış, “kanat” adı verilen iki yarım silindirden oluşmaktadır. Belirli bir hızla gelen rüzgârın etkisiyle, çarkı oluşturan silindirin iç kısmında pozitif ve dış kısmında negatif bir momentin olmaktadır. Pozitif moment, negatif momentten daha büyük olduğundan, dönme hareketi pozitif moment yönünde sağlanır (USHIYAMA ve NAGAI, 1988). Diğer DERT’lere göre; düşük rüzgâr hızlarında iyi başlangıç karakteristiklerine sahip olması, yapımının kolay ve ucuz olması, rüzgârın yönünden bağımsız olması ve kendi kendine ilk harekete başlaması gibi birçok üstünlüklere sahip olan Savonius RT’lerinin, aerodinamik performansı düşük olduğu için ilk uygulama alanları; havalandırma, su pompalama gibi kısıtlı alanlar olmuştur. Savonius RT’nin birçok üstünlüğü bulunmasına rağmen, aerodinamik performanslarının düşüklüğü nedeniyle kullanılmamaktadır. Son yıllarda yapılan Savonius RT çalışmaları, aerodinamik performansın geliştirmesi yönünde olmuştur (Modi ve ark. 1989, Newman, 1974).

Darrieus tipi düşey eksenli rüzgâr türbininde, düşey şekilde yerleştirilmiş iki veya üç tane kanat vardır. Kanatlar, yaklaşık olarak türbin mili uzun eksenli olan bir elips oluşturacak biçimde yerleştirilmiştir. Kanatların içbükey ve dışbükey yüzeyleri arasındaki çekme kuvveti farkı nedeniyle dönme hareketi oluşur. Yapısı gereği Darrieus tipi rüzgâr türbinlerinde, devir başına iki kere en yüksek tork elde edilir. Rüzgârın tek yönden estiği düşünülürse; türbinin verdiği güç, sinüs şeklinde bir eğri oluşturur

(Anonymous, 2011t). Şekil 3.10’da Bushland, Teksas’da kurulu olan Darrieus tipi (sol) ve Kansas State Üniversitesinde kurulmuş Savanious tipi (sağ) rüzgâr türbinleri verilmiştir (Nelson, 2009).



Şekil 3.10. Darrieus ve Savanious tipi rüzgâr türbinlerine iki örnek (Nelson, 2009)

3.3.2.3. Eğik Eksenli Türbinleri

Dönme eksenleri dikeyle rüzgâr yönünde bir açı yapan rüzgâr türbinleridir. Bu tip türbinlerin kanatları ile dönme eksenleri arasında belirli bir açı bulunmaktadır (Nurbay ve Çınar, 2005).

3.3.3. Rüzgâr enerjisi Formulasyonu

Rüzgâr enerji sistemlerinde hava akımından dolayı elde edilen rüzgâr gücü rotorlar yardımıyla mekanik enerjiye, mekanik enerji ise jeneratörler yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu sistemlerde rüzgâr hızı ve diğer değişkenler arasındaki ilişkileri gösteren bağıntılar aşağıda ki gibidir (Patel, 1999, Aksoy, 2011). Kinetik enerjinin formülü aşağıda ki bağıntı ile tanımlanabilir.

$$KE = \frac{1}{2} \times m \times V^2 \quad (3.8)$$

Burada; m havanın kütleli debisi, V ise havanın hızıdır. Bağıntının sonucu ise joule (J) cinsindendir. Hareket eden hava akışındaki mekanik güç aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir

$$P_R = \frac{1}{2} (\rho \times A_{RT} \times V) V^2 \quad (3.9)$$

Rüzgâr gücünün (P_R) sonuç olarak elde edildiği bu denklemde, (W), ρ hava yoğunluğu (kg/m^3) A_{RT} rüzgâr türbini kanatlarının süpürme alanı (m^2) V rüzgârın hızı (m/s) olarak tanımlanmaktadır. Gerçek güç P_m (W), önu ve arkasındaki fark olup aşağıda ki formül ile ifade edilmektedir.

$$P_m = \frac{1}{2} \times (hava \text{ kütlesi akış oranı}) \times (V^2 - V_0^2) \quad (3.10)$$

Bu denklemde görüldüğü üzere iki adet hız bulunmaktadır. V , rotor kanatlarına giren rüzgâr hızı (m/s), V_0 , rotor kanatlarına geçen rüzgâr hızını (m/s), belirtmektedir. Hava kütlesi akış oranı ise hava yoğunluğu, rüzgâr türbini süpürme alanı ve ortalama rüzgâr hızının çarpımına eşittir.

$$havanın \text{ kütlesel debisi} = \rho \times A_{RT} \times \left(\frac{V + V_0}{2} \right) \quad (3.11)$$

Rüzgâr türbini tarafından elde edilen mekanik güç Denklem (3.10) ve (3.11)'in birleştirilmesi ile elde edilir.

$$P_m = \frac{1}{2} \left[\rho \times A_{RT} \times \left(\frac{V + V_0}{2} \right) \times (V^2 - V_0^2) \right] \quad (3.12)$$

$$P_m = \frac{1}{2} \rho \times A_{RT} \times V^3 \left[\frac{\left(\frac{1 + V_0}{V} \right) \left(1 - \left(\frac{V_0}{V} \right)^2 \right)}{2} \right] \quad (3.13)$$

Denklem (3.6) da ki köşeli parantez içindeki rüzgâr hızı ve üst akıntı hızından oluşan bağıntıya C_p kapasite faktörü veya güç faktörü denir. Rüzgâr türbini verim katsayısı (C_p) iki kanatlı yüksek hızlı türbinler için 0,4 ile 0,5 arasında, iki den fazla kanatlı, düşük hızlı rüzgâr türbinlerinde verim katsayısı 0,2 ile 0,4 arasında değişmektedir (Patel, 1999).

Rüzgâr türbininden elde edilebilecek elektrik gücü (P_{RT}) ise mekanik gücün elektrik enerjisine dönüşürken oluşan kayıplardan artı kalan güçtür.

$$P_{RT} = \frac{1}{2} \rho \times A_{RT} \times V^3 \times C_p \times \eta_d \quad (3.14)$$

Burada η_d mekanik enerjiden elektrik enerjisine dönüşümde meydana gelen jeneratör iletim vb. kayıp katsayılarıdır. Rüzgâr türbini sisteminin toplam verimi ise C_p ve η_d değerlerinin çarpımıdır.

Farklı yüksekliklerde rüzgâr hızı tahmini içinde formüller geliştirilmiştir. Bunlardan ilki aşağıdaki gibidir.

$$V = V_o \times \left(\frac{H}{H_o}\right)^\alpha \quad (3.15)$$

Burada V_o ölçülmüş rüzgâr hızı, H_o ölçülmüş hızın yüksekliği, H yükseklik, V ise hız, α ise pürüzlülük faktörüdür. Bu katsayı dengeli atmosfer durumu için 0.14 civarındadır (Nelson, 2009). Tez çalışmasında yüksekliğe bağlı hız değişimlerinin hesaplanmasında Denklem (3.15) kullanılmıştır.

Yüksekliğe bağlı olarak rüzgâr hızı hesaplamak için diğer bir formül ise şöyledir.

$$V = V_o \times \left(\frac{\ln \frac{H}{z_o}}{\ln \frac{H_o}{z_o}}\right) \quad (3.16)$$

Burada z_o yüzeyin pürüzlülük uzunluğudur (Nelson, 2009). Çizelge 3.6'da pürüzlülük sınıfları ve uzunlukları verilmiştir.

Çizelge 3.6. Pürüzlülük sınıfları ve uzunlukları (Öger, 2006)

Pürüzlülük sınıfı	Pürüzlülük uzunluğu	Enerji indeksi (%)	Arazi tanımı
0	0,0002	100	Su yüzeyi
0,5	0,0024	73	Tamamen açık alan, düzgün bir yüzey, hava alanlarındaki beton yollar, çayır ekili alanlar v.b.
1	0,03	52	Açık tarım alanı, dağınık binalar, sadece yumuşak düzgün tepeler.

1,5	0,055	45	Birkaç binanın bulunduğu tarım alanı, 8 m uzunluktaki çitlerin yaklaşık 1250 m aralıklarla bulunduğu alan.
2	0,1	39	Birkaç binanın bulunduğu tarım alanı, 8 m çitlerin yaklaşık 500 m aralıklarla bulunduğu alan.
2,5	0,2	31	Çok sayıda ev, çalılık ve örtünün, 8 m uzunluktaki çitlerin yaklaşık 250 m aralıklarla bulunduğu alan.
3	0,4	24	Köyler, küçük kasabalar, çok sayıda uzun çitlerin bulunduğu tarım alanı, orman, çok pürüzlü ve düz olmayan alan.
3,5	0,8	18	3,5 0,8 18 Büyük şehirler, yüksek binalar
4	1,6	13	Çok büyük şehirler, gökdelenler

Rüzgâr enerjisi üretiminde Weibull ve Rayleigh dağılımları kullanılmaktadır. Bunlar belirli bir zaman ve yerde ölçülmüş olan rüzgâr hızı olasılık dağılımlarını modellemek için kullanılırlar. İki parametrelili Weibull olasılık dağılım yoğunluk fonksiyonu şu denklem ile verilir (Öger, 2006).

$$f_w(v) = (k/c) (v/c)^{k-1} \exp [-(v/c)^k] \quad (3.17)$$

Burada v rüzgâr hızı (m/s), c ölçek değişkeni (m/s), k şekil değişkeni, V ortalama rüzgâr hızıdır. Weibull fonksiyonunda şekil parametresi (k) 2 yapılırsa Rayleigh fonksiyonu elde edilir (Öger, 2006).

$$f_w(v) = \pi/2 \times (v/\tilde{V})^2 \exp [-\pi/4 \times (v/\tilde{V})^2] \quad (3.18)$$

3.4. Pompaj Depolamalı Hidroelektrik santraller ve elemanları

Pompaj depolamalı hidroelektrik santraller (PHES) daha öncede bahsedildiği gibi yüksek depolama kapasitesine ve verime sahip depolama sistemleridir. Alt ve üst olmak üzere iki depolama rezervuarından oluşan santrallerde enerji ihtiyacının olmadığı zamanlarda su alt rezervuardan üst rezervuara pompalanır ve enerjinin potansiyel enerji olarak depolanması sağlanır. Enerji talebinin fazla olduğu zamanlarda ise su üst rezervuardan alt rezervuara indirilir, bir su türbininden geçirilir ve böylece tekrar enerji üretilmiş olur. PHES'ler ile ilgili daha detaylı açıklama bölüm 3.2.1. de verilmiştir. PHES'ler alt rezervuar, üst rezervuar, hidrolik pompa ve türbin olmak üzere dört temel kısımdan oluşurlar.

Üst rezervuar, PHES yapımının istendiği bölgede alt rezervuarla arasından belli bir kot farkı olan yüksek bir yerin üzerine yapılır. Genellikle Şekil 3.11'de verildiği gibi

üç şekilde inşa edilirler (Mosonyi, 1963). Bunlardan ilkinde belli bir oyuk tipi yatak ucuna bir set yapılarak hazne oluşturulur. İkincisinde belli bir tepe üzerinde bulunan çukur bir bölgenin etrafına set çekilerek gerekli derinlikte hazne oluşturulur. Setler genelde betonarme inşa edilir. Üçüncüsünde ise bir dağ veya tepe üzerinde gerekli hacim elde edilecek şekilde hafriyat yapılır. Bunlardan farklı olarak üst hazne yapay bir şekilde de yapılabilir. Ancak yapay haznelerde genelde su sızdırma problemi olmaktadır (Karaçay, 2010).



Şekil 3.11. Üst rezervuar inşa tipleri

Alt rezervuar olarak genellikle bölgede bulunan bir akarsu, göl veya deniz seçilir.

3.4.1. Hidrolik Pompalar

Pompalar, mekanik enerjiyi hidrolik enerjiye dönüştürerek her hangi bir depoda bulunan akışkanı istenilen bir basınç veya debide sisteme kazandıran cihazlardır. Pompaların kullanım alanlarına göre değişik tipleri vardır. En çok kullanılan pompa çeşidi santrifüj pompadır. Pompalar eğer düşük basma yüksekliğinde fazla debi talep ediliyorsa paralel, düşük basma debisinde fazla basma yüksekliği isteniyorsa seri bağlanabilirler (Anonim, 2007).

3.4.2. Hidrolik Türbinler

Hidrolik türbinlerin türbin çıkış güçlerine göre sınıflandırılması; yüksek güçlü hidrolik türbinler (> 100 MW) - Orta güçlü hidrolik türbinler (20 – 100 MW arası) - Küçük güçlü hidrolik türbinler (1 – 20 MW arası) - Mini Hidrolik türbinler (100 kW – 1 MW arası) - Mikro hidrolik türbinler (5 kW – 100 kW arası) - Piko hidrolik türbinler (< 5 kW) olarak yapılabilir. Ayrıca hidrolik türbinler suyun etki şekline göre aksiyon ve reaksiyon türbinleri olarak ikiye ayrılabilir. Aksiyon türbinleri, Pelton, Turgo ve Banki

türbinleri, reaksiyon türbinleri ise Francis ve Kaplan türbinleridir (Köse, 2009, Anonim, 2010c).

3.4.2.1. Aksiyon Türbinleri

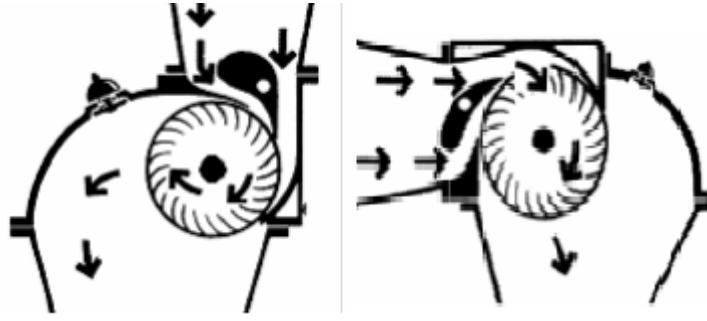
Pelton türbinleri aksiyon türbinlerinin en çok kullanılanlarından biridir. Bu türbinlerde suyun enerjisi önce, uygun şekle sahip bir borudan geçirilip, çıkış ağzında su jeti haline getirilerek, kinetik enerjiye dönüştürülür. Daha sonra bu jet, kap şeklindeki rotor kanatlarına püskürtülür. Güç artıkcı bu tip türbinlerin çarkının çapı büyür ve türbin yavaş döner. Bu türbinler 150 metrenin üstünde brüt düşüye sahip büyük hidroelektrik santrallerde kullanılabildikleri gibi, çarkın çapı ve düşük hızın problem edilmediği durumlarda alçak düşüler dede çalışabilirler. Şekil 3.12’de Pelton türbini resimleri verilmiştir (Köse, 2009, Anonim, 2010c).



Şekil 3.12. Pelton türbini resimleri

Turgo türbinleri çalışma prensipleri bakımından pelton türbinleriyle benzer özellik göstermekle birlikte farklı kepçe yapısına sahiptirler. Ayrıca daha hızlı devir sayısına ve daha ucuz maliyete sahip olmaları yönleriyle pelton türbinlerine üstünlük sağlamaktadırlar (Köse, 2009, Anonim, 2010c).

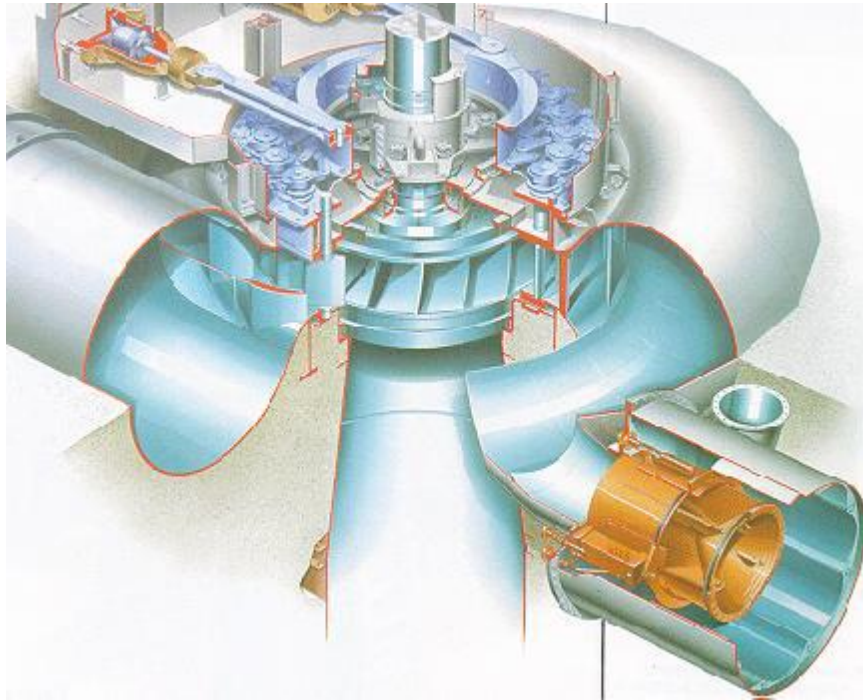
Banki türbinleri genellikle küçük ve orta su kuvvetlerinde kullanılırlar. 20 lt/s ila 9 m³/s debiler için 1 m ila 200 m düşülerde 1000 kW güce kadar çıkabilirler. Verimleri genel olarak %80 civarındır. Konstrüksiyonları diğer türbin çeşitlerine göre basittir ve ucuz olarak küçük atölyelerde üretilebilirler. Şekil 3.13’de yatay ve dikey Banki türbinlerinin şematik çizimleri verilmiştir (Köse, 2009, Anonim, 2010c).



Şekil 3.13. Dikey ve yatay Banki türbini

3.4.2.1. Reaksiyon Türbinleri

Francis türbini türbin çeşitleri arasında en fazla uygulama alanına sahip türbin çeşididir. 40 ila 600 metre arasında ki düşüler de genellikle en verimli çalışma özelliği gösterirler. Francis türbinler çok dayanıklıdır ve yüksek düşülerde çalışmalarından dolayı oluşan yüksek gerilmelere direnç gösterebilirler (Anonymous, 2012a). Francis türbinlerinde su, yöneltici çarktan dönel çarka dıştan girip, çark kanatları boyunca aşağıya doğru giderek çarkı terk eder. Şekil 3.14’de dikey eksenli bir Francis türbini gösterilmiştir (Anonim, 2010c).



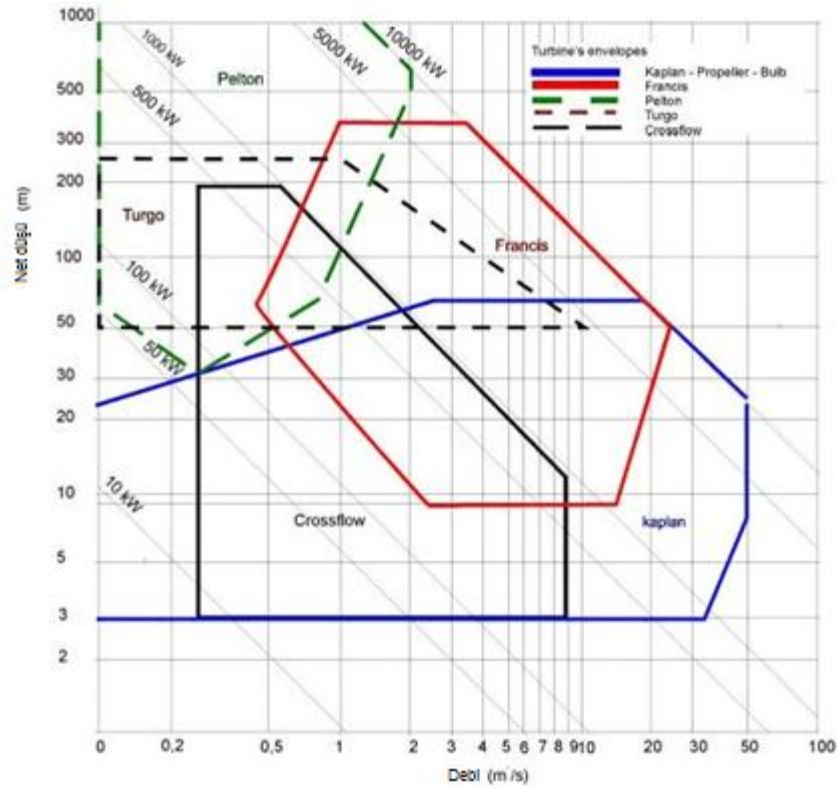
Şekil 3.8. Dikey eksenli Francis türbini

Kaplan türbini bilinen ilk ayarlanabilen kanat tasarımına sahip türbindir. 1913 yılında Avusturyalı Profesör Victor Kaplan tarafından geliştirilmiştir. Çalışma düşüsü 10 – 70 metre arasında ve çıkış güçleri ise 5 – 120 MW arasında değişmektedir. Çoğunlukla düşü ve yüksek debiye sahip uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Birghentha, 1980, Smith, 1930).

Çizelge 3.7. Özgül hızı göre türbin tipi seçimi

Türbin	Özgül hız, n_q
Pelton türbini	0-13
Francis türbini	20-140
Kaplan türbini	100-300
Bulp türbini	140-400

Hidrolik türbin seçiminde Şekil 3.15’de verilen düşü-debi diyagramı kullanılabilir (Layman, 1998). Diğer bir yöntem olarak özgül hızı göre türbin seçimi yapılabilir. Çizelge 3.7’de özgül hızlara göre seçilebilecek türbin çeşitleri verilmiştir.



Şekil 3.9. Türbin seçimi (Layman, 1998)

Özgül hız, Denklem (3.19) ile hesaplanabilir.

$$\text{Özgül hız: } n_q = n \cdot Q^{0.5} \cdot H^{-0.75} \quad (3.19)$$

Bu denklemde (Q) debiyi (m^3/s), (H) net düşüyü (m) ve (n) *türbin* devrini (rpm) gösterir.

3.4.3. Pompaj depolamalı HES tasarımında kullanılan formüller

Pompa gücü (P_p) ve türbin gücü (P_t) hesaplamasında Denklem (3.20) ve (3.21) kullanılır.

$$P_p(t) = \rho \cdot g \cdot Q(t) \cdot (H + h_f) / (\eta_p \cdot \eta_e) \quad (3.20)$$

$$P_t(t) = \rho \cdot g \cdot Q(t) \cdot (H - h_f) \cdot (\eta_t \cdot \eta_e) \quad (3.21)$$

Burada $P_p(t)$ pompanın t anındaki pompalama gücü, $P_t(t)$ türbinden t anında üretilen güç, ρ yoğunluk, g yer çekimi ivmmesi, $Q(t)$ t anındaki debi, H yükseklik, h_f düşü kaybı, η_t türbin verimi, η_p ise pompa verimidir (Dinglin ve ark.,2012).

Küçük hidrolik santraller için boru çapının hesaplanmasında Gordon ve Penman (1984) eşitliği kullanılabilir.

$$D = 0.72 \cdot Q^{0.5} \quad (3.22)$$

Borularda hidrolik akışlarda toplam düşü kaybı (h_k) genel olarak, sürtünme kayıpları (h_f), dirsek kayıpları (h_d), vana kayıpları (h_v) ve ayrılma kayıplarının (h_a) toplamına eşittir.

$$h_k = h_f + h_v + h_d + h_a \quad (3.23)$$

Düşü kaybının hesabında Darcy – Weisbach formülü kullanılabilir. Bu formül Denklem (3.24)'de verilmiştir.

$$h_f = LV^2f / 2 Dg \quad (3.24)$$

Burada L uzunluk, V borudaki akışkan hızı, D boru çapı, f ise sürtünme faktörüdür.

$$Q = V\pi(D/2)^2 \quad (3.25)$$

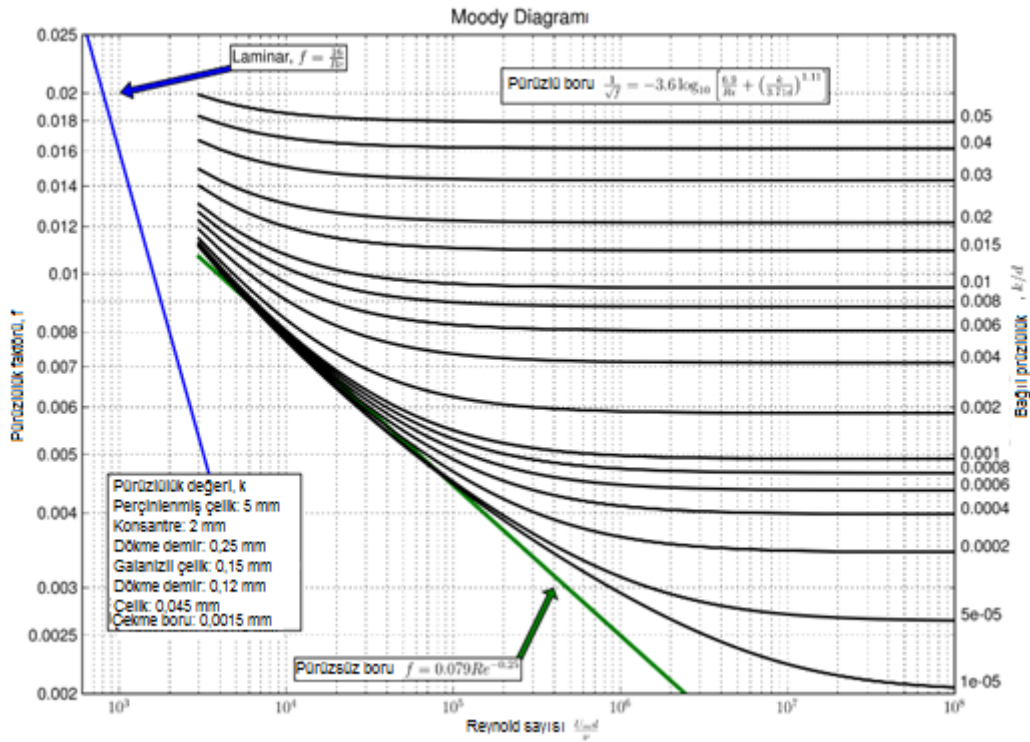
Yukarıdaki formüller birleştirilirse aşağıdaki kayıp formülü elde edilir:

$$h_f = 8f L Q^2 / g \pi^2 D^5 \quad (3.26)$$

Yukarıdaki formüldeki f sürtünme faktörü ortalama bir sonuç elde etmek için 0.02 alınabilir veya Şekil 3.16'da verilen Moody diyagramı yardımıyla belirlenir.

Moody diyagramının kullanımı için Reynold sayısı gereklidir ve bu sayı Denklem (3.27) ile hesaplanabilir.

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (3.27)$$



Şekil 3.10. Moody diyagramı

Moody diyagramının kullanımı için gerekli bağlı pürüzlülük ise Denklem (3.28) ile hesaplanabilir. Bu denklemde k_s boru pürüzlülüğü (m), D ise boru çapıdır (m).

$$B. \text{Pürüzlülük} = k_s/D \quad (3.28)$$

3.5. Rüzgâr enerjisi-Pompaj Depolamalı Hidrolik Hibrit Güç Sisteminin Tasarım Yeri

Tez çalışmasında sistem tasarımı yapılan Alibeyhüyüğü, Çumra ilçesine bağlı bir kasabadır. Kasaba Çumra ilçesine 9, Konya şehir merkezine ise 41 km uzaktadır. Nüfusu 2000 yılı nüfus sayımına göre 5,859 olan kasabanın genel geçim kaynağı tarıma dayanmaktadır. Rüzgâr enerjisi tasarlanan bölge için ulaşım ve haberleşme problemi yoktur.

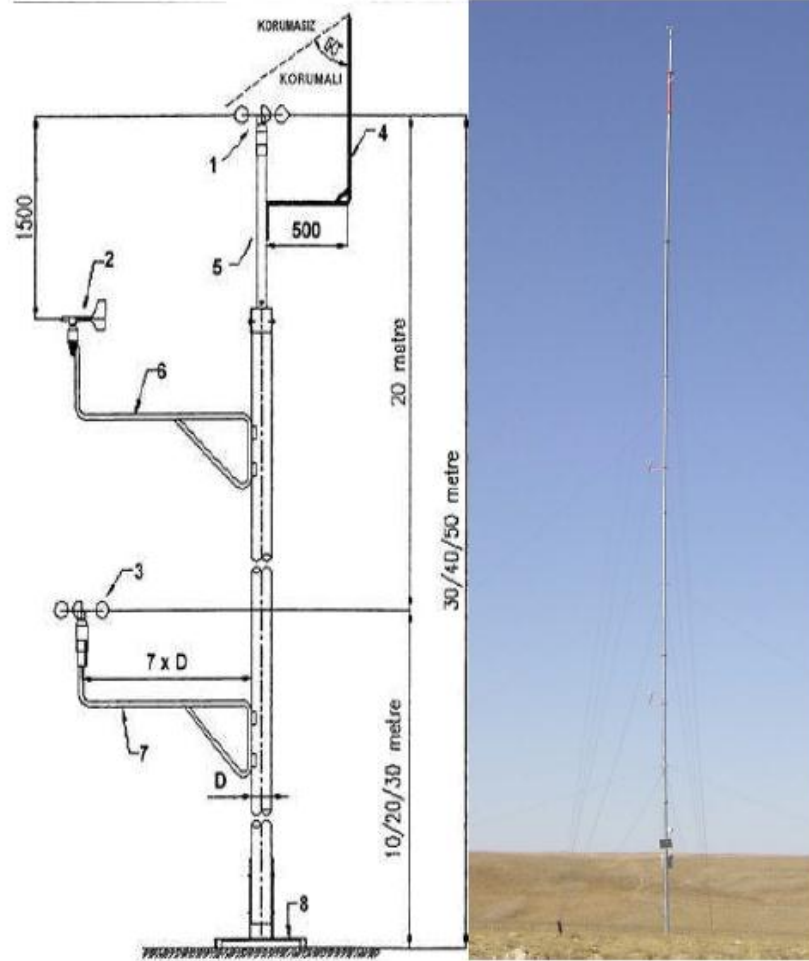
Bölgenin ekonomisi tarım ve hayvancılığa dayanır. En çok tahıl ekimi yapılır. Sulanabilir arazilerde seker pancarı ve sebze türleri ekimi yapılır. Hayvancılık da önemli bir geçim kaynağıdır. Tarım arazilerinin sulanmasının düzenli, ekonomik ve organize bir şekilde yapılması için kasabada çiftçilerin ortak olduğu Alibeyhüyüğü Sulama Kooperatifi adında bir sulama kooperatifi kurulmuştur. Alibeyhüyüğü sulama kooperatifi 100 ün üzerinde derin kuyu pompasına sahiptir. Şekil 3.17’de Alibeyhüyüğü kasabasının harita üzerinde ki konumu gösterilmektedir.



Şekil 3.11. Çumra, Alibeyhüyüğü kasabası Google maps görüntüsü

Alibeyhüyüğü Kasabası bölgesinde rüzgâr türbinli elektrik santrali tasarlanabilecek yer olarak kasabaya yaklaşık 8-9 km mesafede 1160 m rakımlı taşlık bir bölge belirlenmiştir. Bu bölgede rüzgâr enerjisi potansiyelinin ölçülmesi amacıyla 35 m yükseklikte bir rüzgâr enerjisi ölçme direği 2005 yılında dikilmiştir. Aynı yıl rüzgâr elektrik santrali kurulumu işlemlerinin yapılması için ABH elektrik üretim

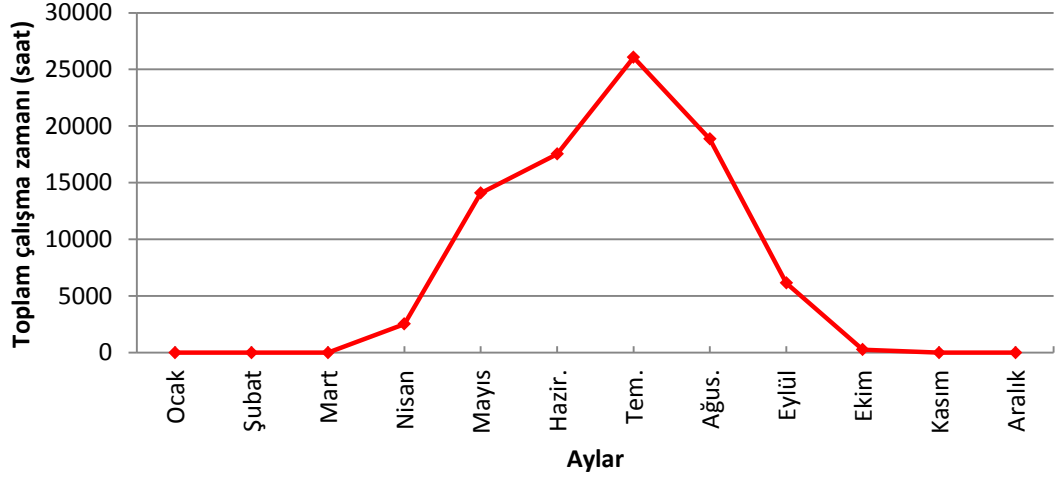
anonim şirketi kurulmuştur. Kurulan rüzgâr enerjisi ölçme direğine üç adet hız ölçme (35. 20. ve 10. m), bir yön ölçme (35. m) cihazları yerleştirilerek ölçülen değerler data logger'a kaydedilmiştir. Şekil 3.18'de rüzgâr enerjisi ölçme sistemi ve şekli gösterilmiştir.



Şekil 3.12. ABH-Enerji rüzgâr enerjisi ölçüm sistemi sekli ve fotoğrafı

3.6. Elektrik tüketimi yapan sulama pompaları grubu

Çumra, Alibeyhüyüğü kasabasında, Alibeyhüyüğü Sulama Kooperatifine bağlı su pompalamaya hazır 117 kuyu bulunmaktadır. Bu kuyular tarımsal arazilerin sulanması amacıyla kullanılmaktadır. Köylüler tarafından kullanılan su miktarı faturalandırılmakta ve bedelleri Alibeyhüyüğü sulama kooperatifi tarafından tahsil edilmektedir. Sulama pompaları yılın sadece 7 aylık döneminde çalışmaktadırlar. Şekil 3.19'da 2012 yılına ait sulama pompalarının aylık toplam çalışma saatleri verilmiştir.



Şekil 3.13. 2012 yılı sulama pompalarının aylık toplam çalışma saatleri

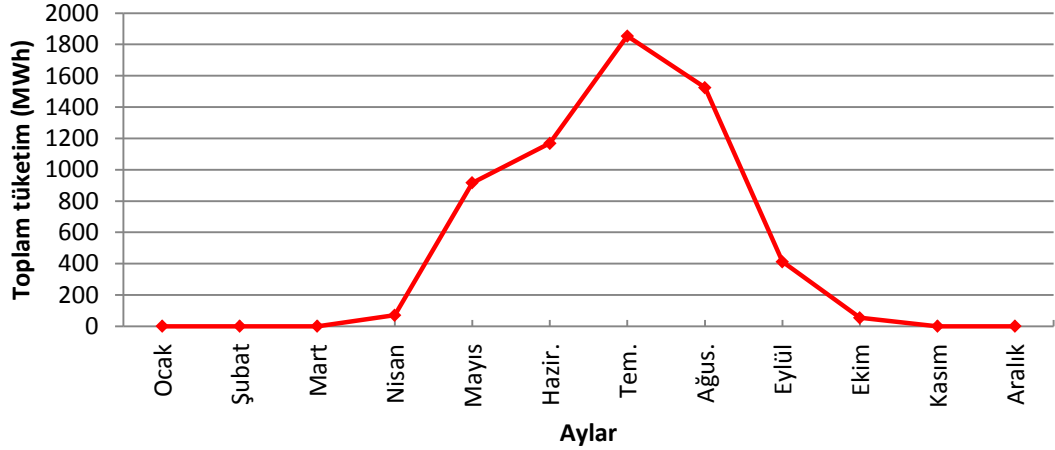
Sulama pompaları Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında yoğun olarak çalışırlar. Sulama mevsiminin başladığı Nisan ayında ve sulama mevsiminin bittiği Ekim aylarında ise en az yoğunlukta çalışırlar. Sulama güçleri 45 ile 110 kW arası değişen ve birçoğu 45 ve 70 kW güce sahip olan derin kuyu pompaları vasıtasıyla gerçekleşir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Pompa grubunun Enerji Tüketimi

Alibeyhüyüğü kooperatifi 117 adet derin kuyu pompasına sahiptir. Alibeyhüyüğü kasabasında sulama, güçleri 45 ile 110 kW arası değişen ve birçoğu 45 ve 70 kW güce sahip olan derin kuyu pompaları vasıtasıyla gerçekleşir.

Sulama pompa grubu tüketimi yıllık 5-6 milyon kWh arasında değişmektedir. Tez çalışmasında son 8 yıla ait (2004-2012) tüketim verileri analiz edilerek yaklaşık tüketim verileri elde edilmiştir. Son 8 yıla ait ortalama tüketim yaklaşık 5.7 kWh olmasına rağmen bazı yıllarda tüketimin fazla olması nedeniyle ortalama tüketim 6 milyon kWh alınmıştır.



Şekil 4.1. Sulama pompaları grubu yıllık ortalama tüketimi

Şekil 4.1’de sulama pompalarının aylara göre harcadıkları enerji miktarları MWh cinsinden gösterilmiştir. Sulama pompaları yılın 7 ayında kullanılmaktadırlar. Maksimum enerji tüketimleri Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında sırasıyla 1168.18, 1853.84, 1523.89 MWh ile gerçekleşmiştir. Minimum enerji tüketimi ise 5005 kWh ile Ekim ayında gerçekleşmiştir.

Sulama pompaları havanın sıcak olduğu vakitlerde sulamanın verimi düşeceği için daha az çalışmakta, gece saat 02.00 ile 06.00 arasında hiç çalıştırılmamakta, geriye kalan saatlerde ise normal bir şekilde çalıştırılmaktadırlar. Çizelge 4.1’de sulama pompalarının aylara ve saatlere göre tüketim miktarları kWh cinsinden verilmiştir.

Çizelge 4.1. Sulama pompalarının aylara ve saatlere göre tüketimi

Saatler	Tüketim (kWh)						
	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
00.00-01.00	132.45	1662.60	2190.34	3363.83	2765.13	773.31	99.31
01.00-02.00	132.45	1662.60	2190.34	3363.83	2765.13	773.31	99.31
02.00-03.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
03.00-04.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
04.00-05.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
05.00-06.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
06.00-07.00	132.45	1662.60	2190.34	3363.83	2765.13	773.31	99.31
07.00-08.00	132.45	1662.60	2190.34	3363.83	2765.13	773.31	99.31
08.00-09.00	132.45	1662.60	2190.34	3363.83	2765.13	773.31	99.31
09.00-10.00	132.45	1662.60	2190.34	3363.83	2765.13	773.31	99.31
10.00-11.00	132.45	1662.60	2190.34	3363.83	2765.13	773.31	99.31
11.00-12.00	58.87	738.93	973.48	1495.04	1228.95	343.69	44.14
12.00-13.00	58.87	738.93	973.48	1495.04	1228.95	343.69	44.14
13.00-14.00	58.87	738.93	973.48	1495.04	1228.95	343.69	44.14
14.00-15.00	58.87	738.93	973.48	1495.04	1228.95	343.69	44.14
15.00-16.00	132.45	1662.60	2190.34	3363.83	2765.13	773.31	99.31
16.00-17.00	132.45	1662.60	2190.34	3363.83	2765.13	773.31	99.31
17.00-18.00	132.45	1662.60	2190.34	3363.83	2765.13	773.31	99.31
18.00-19.00	132.45	1662.60	2190.34	3363.83	2765.13	773.31	99.31
19.00-20.00	132.45	1662.60	2190.34	3363.83	2765.13	773.31	99.31
20.00-21.00	132.45	1662.60	2190.34	3363.83	2765.13	773.31	99.31
21.00-22.00	132.45	1662.60	2190.34	3363.83	2765.13	773.31	99.31
22.00-23.00	132.45	1662.60	2190.34	3363.83	2765.13	773.31	99.31
23.00-24.00	132.45	1662.60	2190.34	3363.83	2765.13	773.31	99.31

4.2. Rüzgâr hızı ölçüm değerleri

Çumra, Alibeyhüyüğü kasabasında rüzgâr enerjisi ölçümleri 35 metre yükseklikteki rüzgâr enerjisi ölçüm direği vasıtasıyla yapılmıştır. ABH enerji rüzgâr enerjisi ölçme direğinde üç adet hız ölçme ve birer yön, sıcaklık, basınç ve nem ölçme cihazları bulunmaktadır. Hız ölçme cihazları 10, 20 ve 35 metre yüksekliklerde, yön ölçme cihazı 35 metre, diğer ölçme cihazları ise 3 metre yükseklikte bulunmaktadır. Buradan elde edilen veriler bir data logger vasıtasıyla onar dakikalık ortalamalar halinde kayıt edilmiştir.

Elde edilen değerlere göre Nisan ve sonraki yılın Mart ayları arası değerlerin ortalaması alınmıştır. Buna göre Nisan 2006- Mart 2007 arası ortalama rüzgâr hızı değeri 5.075 m/s, Nisan 2007- Mart 2008 arası ortalama rüzgâr hızı 5.22 m/s, Nisan

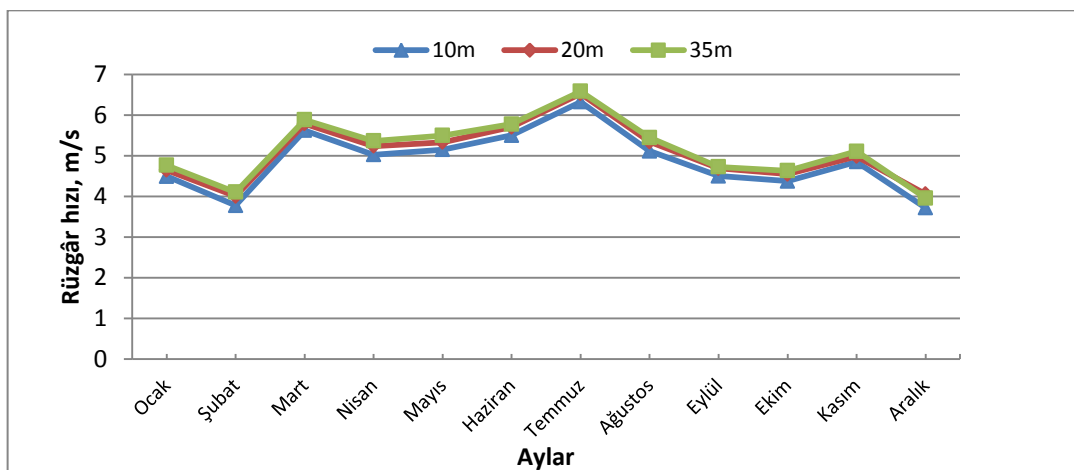
2008- Mart 2009 arası ortalama rüzgâr hızı 5.24 m/s olmuştur. Çizelge 4.2’de 35 metre yükseklikte ABH-Enerji ölçüm istasyonu aylık ortalama ölçüm değerleri ve türbülans yoğunluğu ortalamaları, Çizelge 4.2’de ise 2006-2009 yılları ABH-Enerji Rüzgâr ölçüm istasyonu yıllık ortalama verileri verilmiştir. a

Çizelge 4.2. ABH-Enerji ölçüm istasyonu aylık ortalama karakteristik verileri

Aylar	Ortalama Rüzgâr hızı, 35 m, (m/s)	Standart Sapma, s (m/s)	Türbülans Yoğunluğu, I	Ortalama Yön, (o)	Yön Standart Sapması, (o)
Nis,2006-Mart,2007	5.08	0.594	0.116	153.117	10.791
Nis,2007-Mart,2008	5.21	0.61	0.12	160.58	10.33
Nis,2008-Mart,2009	5.24	0.60	0.12	165.4	10.4

Çizelge 4.3. 2006-2009 yılları ABH-Enerji Rüzgâr ölçüm istasyonu yıllık ortalama verileri

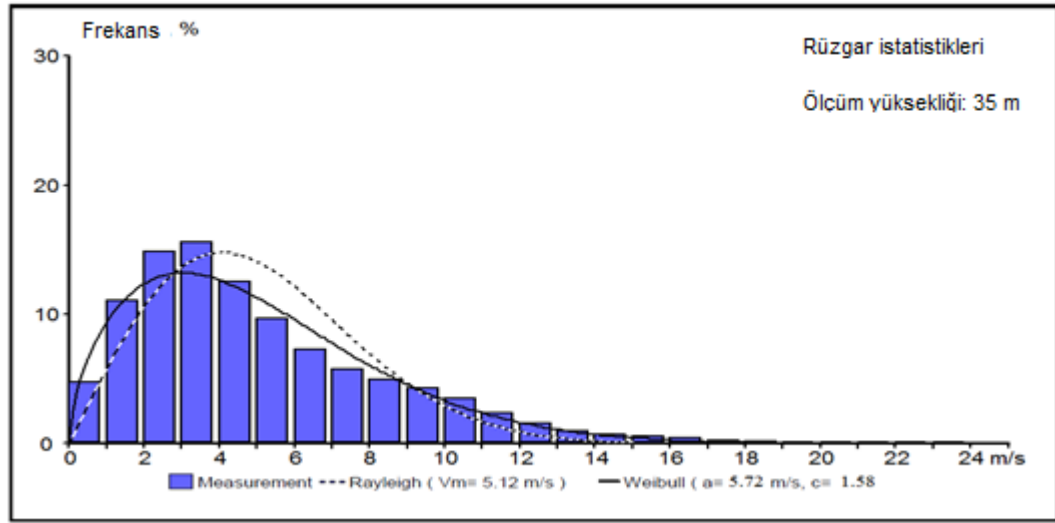
Aylar	Ortalama Rüzgâr hızı,35 m, (m/s)	Ortalama Rüzgâr hızı,20 m, (m/s)	Ortalama Rüzgâr hızı,10 m, (m/s)	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama Nem (%)	Ortalama Basınc (mbar)
Nis,2006-Mart,2007	5.08	4.99	4.80	11.58	42.59	878.7
Nis,2007-Mart,2008	5.21	5.13	4.76	11.63	41.64	877.5
Nis,2008-Mart,2009	5.24	5.10	-	12.17	41.44	877.07



Şekil 4.2. 2007 yılına ait aylara göre rüzgâr hızları ortalama değerleri

Yapılan tez çalışmasında en fazla ve en hatasız verilerin 2007 yılında elde edilmesi nedeniyle, 2007 yılı verilerinin kullanılmasına karar verilmiştir. 2007 yılında

10'ar dakikalık ortalamalarla 10 m, 20 m ve 35 m yüksekliklerin her biri için 47666 adet veri elde edilmiştir. Elde edilen bu verilere göre 2007 yılında ortalama rüzgâr



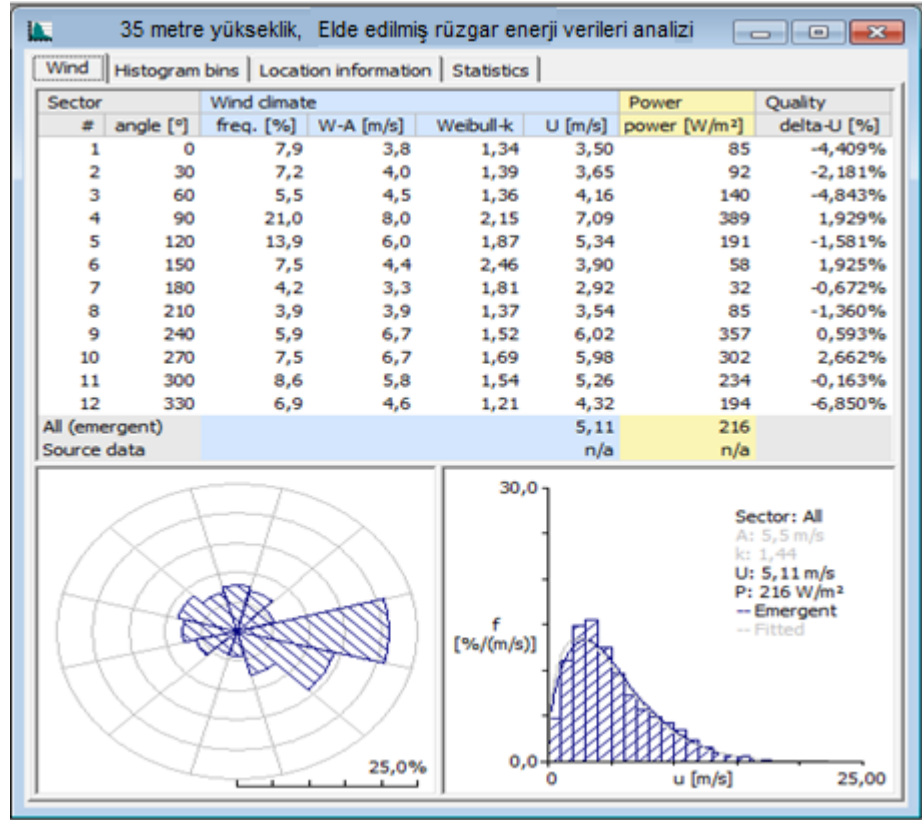
Şekil 4.3. ALWIN Programı ile çizdirilmiş rüzgâr hızı frekansları, Weibull ve Rayleigh eğrileri

hızları 10 metre yükseklikte 4.84 m/s, 20 metre yükseklikte 5.04 m/s, 35 metre yükseklikte 5.12 m/sn olmuştur. Ortalama sıcaklık 11.81° C, ortalama yön değeri 163.48 derece, ortalama basınç değeri 877.33 bar, ortalama nem değeri ise %41.81 olmuştur. Şekil 4.2’de 2007 yılına ait aylara göre rüzgâr hızları ortalama değerleri verilmiştir. Şekil 4.3’te ise rüzgâr hızı frekansları Weibull ve Rayleigh eğrileri verilmiştir. Şekil 4.4’ de ise WaSP programı ile yapılmış rüzgâr hızı ve yönü analizi verilmiştir.

Literatürde kullanılan diğer bir rüzgâr hızı ortalama bulma yöntemi ise anlık rüzgâr hızlarının küpün alınıp toplanması ve toplam değerin küp kökünün alınmasıdır. Denklem (4.1)’de bu yöntemin formüle edilmiş halini göstermektedir.

$$V_m = \sqrt[3]{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^3} \quad (4.1)$$

Burada, V_m ortalama rüzgâr hızı, n rüzgâr hızı değer sayısı, i rüzgâr hızının ölçüm yapıldığı zamandır. Bu yöntem ile belirlenen ortalama rüzgâr hız değerleri 10,20 ve 35 metre yükseklik için sırasıyla 6,76, 6,91, 7,07 m/s’dir. Burada farklı sonuçların çıkmasının nedeni her bir rüzgâr hızı değerinin Denklem (4.1)’de bireysel olarak hesaba katılmasıdır. Ortalama rüzgâr hızı ile yapılan hesaplamalarda bu denklemin kullanımı önerilmektedir (Dursun, 2010).



Şekil 4.4. WaSP Programı ile rüzgâr hızı ve yönü analizi

4.3. Rüzgâr hızının dağılımı

Daha önce de değinildiği gibi bölgede yapılan rüzgâr hızı ölçümlerinin ortalamaları 10 ar dakikalık periyotlarda hesaplanmış ve kayıt edilmiştir. Bir yıllık süreçte (2007 için) kayıt edilmiş veri sayısı 47666'dır. Çizelge 4.4'de 10 metre ve 35 metre yükseklikte ölçülmüş rüzgâr hızı değerlerinin frekans dağılımları verilmiştir.

Çizelge 4.4. 10 metre ve 35 metre yükseklikte ölçülmüş ortalama rüzgâr hızı değerlerinin frekans dağılımları

Rüzgâr hız aralığı (m/s)	10 metre yükseklik		35 metre yükseklik	
	Belirlenen aralığa denk gelen hız sayısı	Frekans (%)	Belirlenen aralığa denk gelen hız sayısı	Frekans (%)
0..1	2853	5.99	2236	4.69
1..2	5291	11.1	5259	11.03
2..3	7709	16.17	7054	14.8
3..4	7757	16.28	7403	15.53
4..5	5930	12.44	5935	12.45
5..6	4367	9.16	4563	9.57
6..7	3228	6.77	3425	7.19
7..8	2584	5.42	2702	5.67
8..9	2164	4.54	2326	4.88

9..10	1794	3.76	2005	4.21
10..11	1428	3	1622	3.4
11..12	916	1.92	1102	2.31
12..13	539	1.13	717	1.5
13..14	383	0.8	421	0.88
14..15	262	0.55	308	0.65
15..16	197	0.41	243	0.51
16..17	125	0.26	160	0.34
17..18	57	0.12	81	0.17
18..19	29	0.06	35	0.07
19..20	14	0.03	17	0.04
20..21	15	0.03	24	0.05
21..22	4	0.01	9	0.02
22..23	7	0.01	9	0.02
23..24	7	0.01	5	0.01
24..25	1	0	0	0
Ortalama hız	4.84		5.12	

Çizelge 4.4 incelendiğinde en büyük frekans değerinin 10 metre yükseklik için %16.28 oranı ve 35 metre yükseklik için %15.53 oranı ile 3-4 m/s aralığında olduğu görülmektedir.

4.4. Yüksekliğe göre rüzgâr hızı değişimi

Bilindiği üzere rüzgâr hızı yüksekliğe bağlı olarak değişmektedir. Anormal bir durum olmadığı takdirde rüzgâr hızı yükseklik arttıkça artmakta, yükseklik azaldıkça azalmaktadır. Rüzgâr hızının yüksekliğe bağlı değişimini incelemek için Denklem (3.15) kullanılmıştır. Denklem (3.15) ile 10 metre ve 35 metredeki ortalama rüzgâr hızları kullanılarak yapılan çözümlemede pürüzlülük faktörü (α) değeri 0,044991 bulunmuştur. Pürüzlülük faktörünün düşük olmasının nedeni bölgenin nispeten düz olması ve etrafından rüzgârı engelleyecek önemli bir oluşumun bulunmamasıdır.

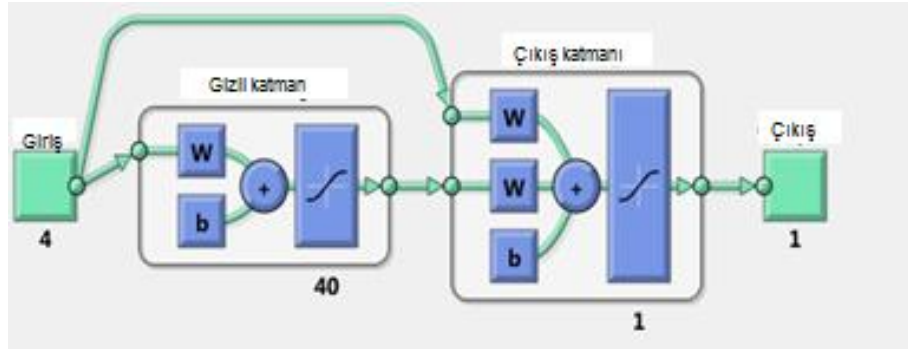
Çizelge 4.5. Hesaplanmış pürüzlülük faktörüne göre hesaplanan ortalama rüzgâr hızları

Yükseklik (m)	10	20	30	40	50
Ortalama rüzgâr hızı (m/s)	4.84	4.99	5.09	5.15	5.20
Yükseklik (m)	60	70	80	90	100
Ortalama rüzgâr hızı (m/s)	5.25	5.28	5.32	5.34	5.37

Çizelge 4.5’de bölgedeki ölçülmüş ortalama rüzgâr hızının yüksekliğe göre değişimi verilmiştir. Burada görüleceği gibi pürüzlülük faktörü değerinin düşük olması nedeniyle yüksekliğin artmasıyla hız artışı düşük seviyede olmuştur.

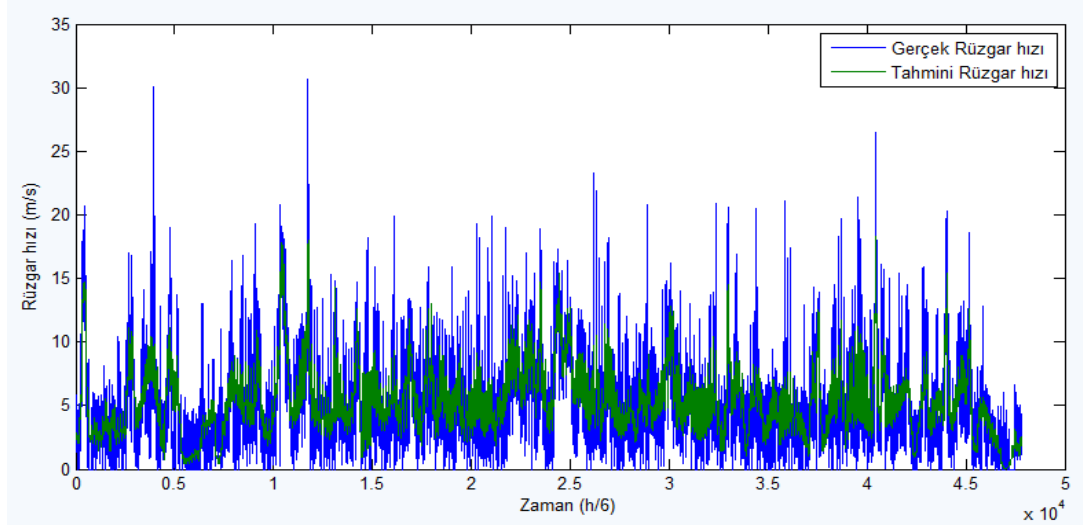
4.5. Eksik rüzgâr hızı verilerinin yapay sinir ağları kullanılarak tahmini

Daha öncede belirtildiği gibi tez çalışmasına 2007 yılına ait gerçek ölçüm verileri kullanılmıştır. Ancak bazı teknik arazılar nedeniyle, üç dönemde rüzgâr hızı ölçümü yapılamamıştır. Bu dönemler, Nisan ayında 17 gün, Haziran ayının sonu ve Temmuz ayının başı olmak üzere toplam 8 gün, Ekim ayında 6 gündür. Bu günlerde ki eksik rüzgâr hızlarının tahmini için Yapay Sinir Ağları metodu istatistiki olarak kullanılmıştır. Bu metot ile tahmin yapılırken değişken olarak, mevsim, ay, gün, saat verileri kullanılmıştır. Rüzgâr hızı verilerinin girilmesi ile MATLAB programı kullanılarak, Şekil 4.5’de ki yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur.



Şekil 4.5. Matlab programı ile oluşturulmuş Yapay Sinir Ağı modeli

Görüldüğü gibi model iki adet katman, bir gizli katmandan ve 40 ağıdan oluşmaktadır. Ağ tipi olarak ‘‘cascade- forward backprop’’ yani ‘‘kademeli-ileriye yönelik geri besleme’’ kullanılmıştır. Şekil 4.6’da MATLAB programı tahmin edilmiş rüzgâr hızının değişimini ve ölçülmüş rüzgâr hızının değişimini bir arada gösteren grafik verilmiştir. Yapılan tahmin sonucu rüzgâr hızı ortalamasının üstünde rüzgâr hızlarına sahip olan ilk 24 saate ait gerçek ve tahmini hızlar Çizelge 4.6’da verilmiştir. Daha fazla veri ve değişken ile rüzgâr hızı tahminleri daha doğru bir şekilde yapılabilir.



Şekil 4.6. MATLAB programı ile tahmini yapılmış rüzgâr hızı eğrisi ve gerçek rüzgâr hızı değişimi

Çizelge 4.6. İlk 24 saate ait tahmini ve gerçek rüzgâr hızları

Saat	Ölçülmüş (gerçek) rüzgâr Hızı (m/s)	Tahmin edilmiş rüzgâr hızı (m/s)	Bağlı hata oranı (%)	Saat	Ölçülmüş (gerçek) rüzgâr Hızı (m/s)	Tahmin edilmiş rüzgâr hızı (m/s)	Bağlı hata oranı (%)
1	12.86	14.58	13.37	13	12.67	12.58	0.71
2	11.81	14.32	21.25	14	12.77	11.73	8.14
3	14.23	14.07	1.12	15	12.14	10.83	10.79
4	15.15	13.84	8.65	16	7.84	9.94	26.79
5	16.53	13.64	17.48	17	6.73	9.13	35.66
6	19.94	13.46	32.50	18	6.07	8.40	38.39
7	16.29	13.37	17.93	19	7.04	7.75	10.09
8	15.51	13.49	13.02	20	6.23	7.17	15.09
9	14.09	13.72	2.63	21	4.52	6.67	47.57
10	14.20	13.86	2.39	22	5.54	6.22	12.27
11	13.18	13.73	4.17	23	6.62	5.82	12.08
12	12.67	13.29	4.89	24	4.32	5.46	26.39

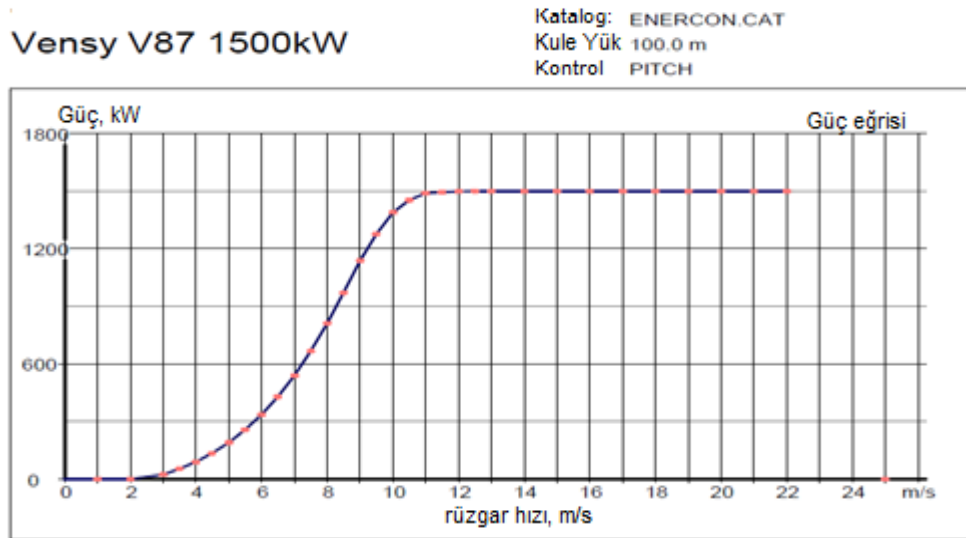
4.6. Rüzgâr Türbini Seçimi ve Rüzgâr türbinleri ile yapılabilecek senelik yaklaşık üretim miktarlarının hesaplanması

Rüzgâr türbini seçimi için çeşitli rüzgâr türbinlerinin katalog değerleri kullanılarak ALWIN programıyla analizleri yapılacaktır. Buna göre en uygun rüzgâr türbini seçilecektir. Orta ve düşük rüzgâr hızlı bölgelerde daha yüksek kapasite faktörü sağlayabilecek büyük rotor çaplı rüzgâr türbinlerin değerleri kullanılarak analizler yapılacaktır. Çizelge 4.7’de senelik üretim analizleri yapılacak seçilmiş 5 rüzgar türbinine ait karakteristik özellikler verilmiştir.

Çizelge 4.7. Seçilmiş rüzgâr türbinlerine ait karakteristik özellikler

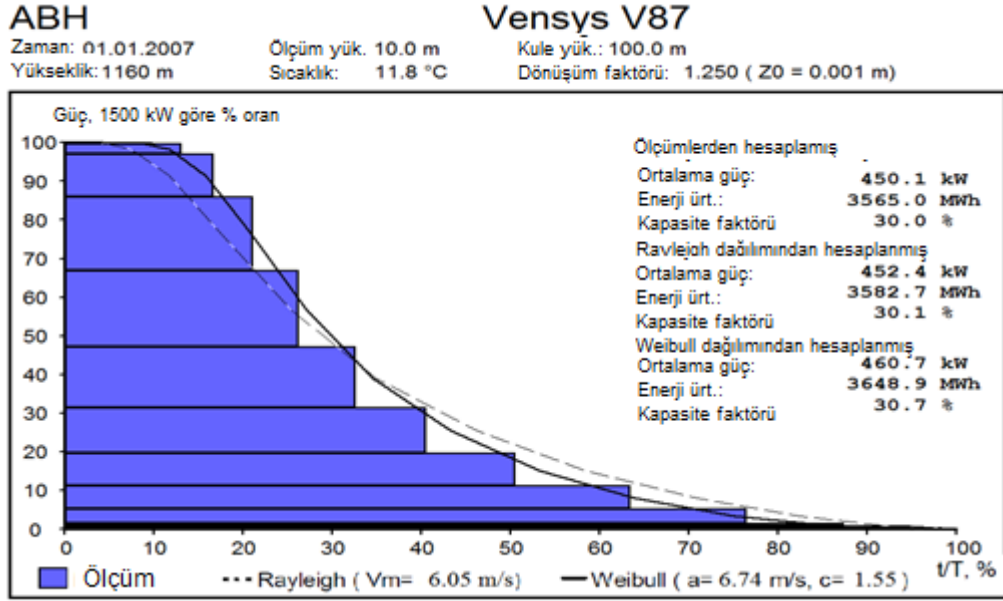
Rüzgâr Türbini	Devreye giriş hızı, V_c (m/s)	Devreden çıkış hızı, V_F (m/s)	Anma rüzgâr hızı V_R (m/s)	Çıkış gücü, P_{eR} (kW)	Kule yüksekliği (m)	Rotor çapı(m)
Vensys V87	3	22	12	1500	100	87
Vensys V82	3	22	12.5	1500	100	82
Nordex S-77	4	25	13	1500	85	77
Acciona AW-82	3	25	12	1500	80	82
Enercon E-101	3	25	12	300	100	101

İlk olarak Vensys V87 1500 kW kapasiteli rüzgâr türbini incelenecektir. Türbin 100 m kule yüksekliğine ve 87 m rotor çapına sahiptir. Türbinin enerji üretimini başlama hızı 3 m/s enerji üretimini kestiği rüzgâr hızı ise 22 m/s dir. Şekil 4.7’de Vensys V87 – 1500 kW rüzgâr türbinine ait performans eğrisi bulunmaktadır. Eğri ALWIN programı yardımıyla çizdirilmiştir.



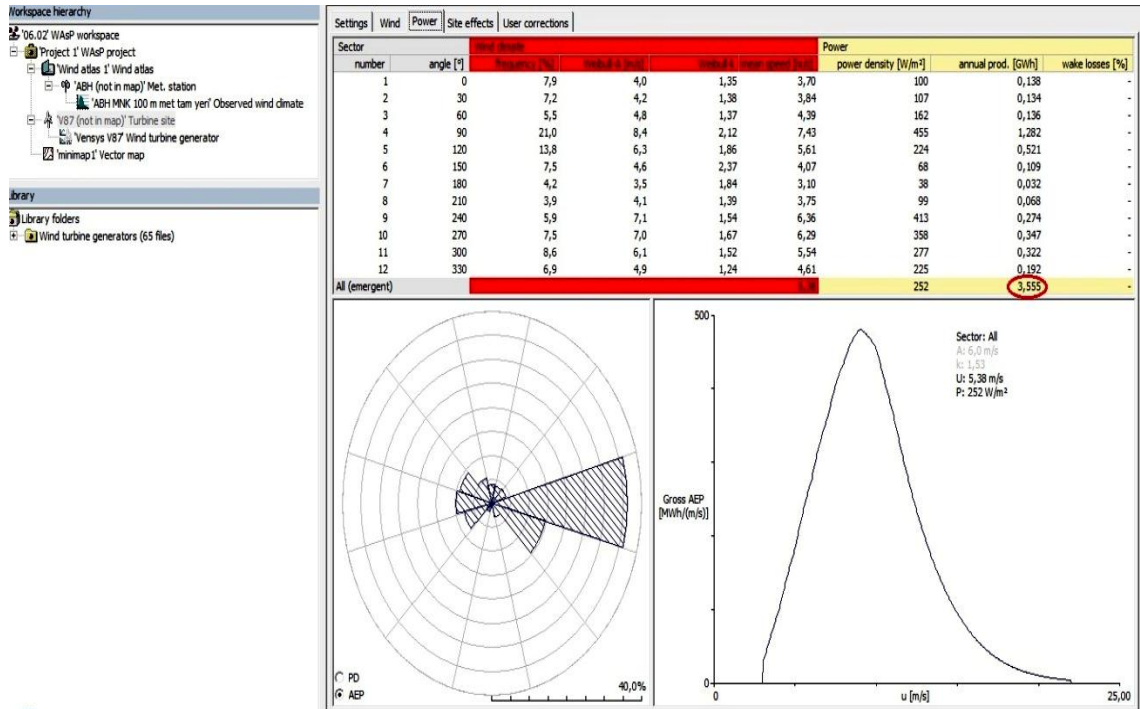
Şekil 4.7. Vensys V87 – 1500 kW rüzgâr türbinine ait performans eğrisi

Şekil 4.8’de Vensys V87 1500 kW rüzgâr türbini ile bölgede yapılabilecek enerji üretim miktarları ALWIN Programı ile hesaplanmış ve ortalama olarak verilmiştir. Buna göre gerçek ölçüm sonuçlarına göre türbin için kapasite faktörü %30, saatlik ortalama güç ise 450 kW çıkmaktadır. Rayleigh dağılımına göre bu değerler 452.4 kW ve %30.1 çıkmakta, Weibull dağılımına göre ise 460.7 kW ve %30.7 çıkmaktadır ve aynı türbin için senelik üretim değeri ise yaklaşık 3565 MWh’dır. Buna göre günlük üretim miktarı yaklaşık 9770 kWh, aylık üretim miktarı 297,080 kWh’dır. Bu türbin için satış fiyatı Mersin limanına kadar nakliye ve 100 m kule dâhil yaklaşık 1.98 milyon Euro’dur.



Şekil 4.8. Vnsys V87 1500 kW rüzgâr türbini enerji üretim tahmini

Aynı rüzgâr türbini için WaSP programı ile bölgede rüzgâr enerjisi üretim hesaplaması yaptırılmıştır ve sonuçlar Şekil 4.9'da verilmiştir. Buna göre yapılabilecek senelik enerji üretim değeri 3555 MWh olarak hesaplanmıştır. Hesaplama yapılırken rüzgâr türbininin yeri harita üzerinde tam olarak tanımlanmıştır.

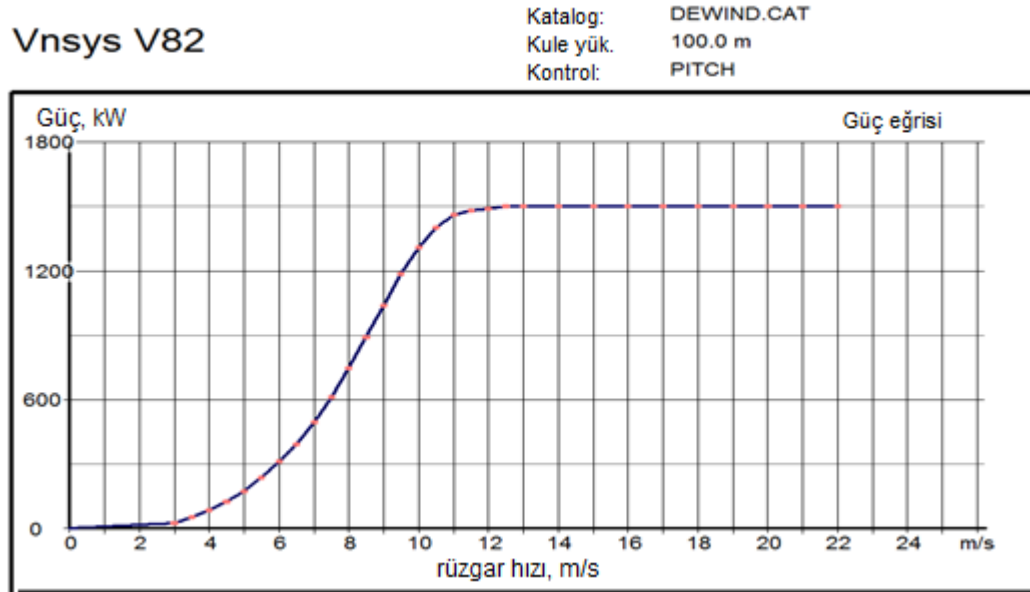


Şekil 4.9. WaSP programı yardımıyla yapılan Vensys V87 1500 kW rüzgâr türbini enerji üretim tahmini

Ancak, yüzey pürüzlülüğü haritasının olmaması nedeniyle kule yüksekliğindeki rüzgâr hızı Denklem (3.15) yardımıyla hesaplanmış ve programa girilmiştir.

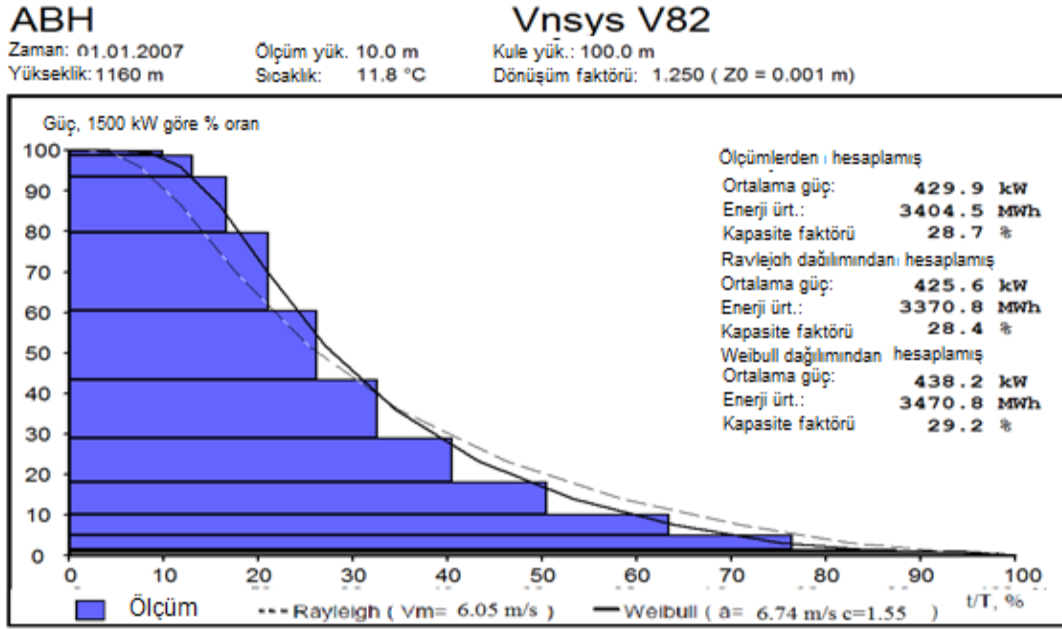
İkinci olacak inceleyeceğimiz rüzgâr türbini Vensys V82 1500 kW modelidir. Vensys V87 den farklı olarak bu türbin 82 metre rotor çapına sahiptir. Türbinin enerji üretimine başlama hızı 3 m/s enerji üretimini kestiği rüzgâr hızı ise 22 m/s dir. Şekil 4.10'da ALWIN programı yardımıyla çizdirilmiş Vensys V82 – 1500 kW rüzgâr türbinine ait performans eğrisi bulunmaktadır.

Şekil 4.11'de ALWIN programı yardımıyla hesaplanmış Vensys V82 rüzgâr türbini ile yapılabilecek tahmini üretim değerleri verilmiştir. Buna göre gerçek ölçüm sonuçlarına göre türbin için kapasite faktörü %28.7 saatlik ortalama güç ise 429.9 kW çıkmaktadır. Rayleigh dağılımına göre bu değerler 425.6 kW ve %28.4 çıkmakta, Weibull dağılımına göre ise 438.2 kW ve %29.2 çıkmaktadır ve aynı türbin için senelik üretim değeri ise yaklaşık 3404.5 MWh'dır. Buna göre günlük üretim miktarı yaklaşık 9325 kWh, aylık üretim miktarı 283,700 kWh'dır. Bu türbin için satış fiyatı Mersin limanına kadar nakliye ve 100 m kule dâhil 1.93 milyon Euro'dur.

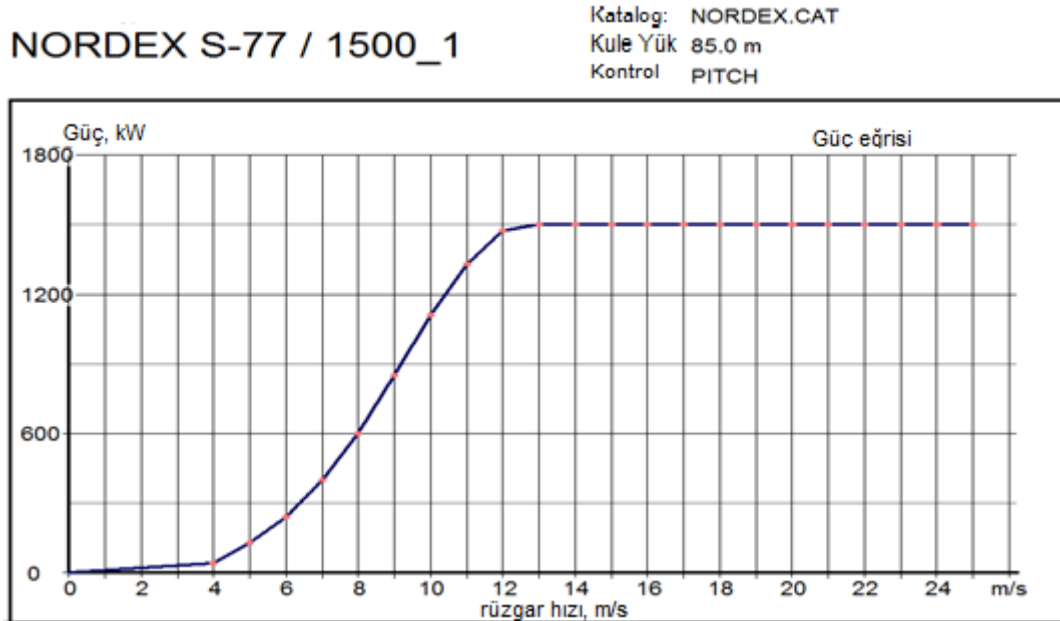


Şekil 4.10. Vensys V82 – 1500 kW rüzgâr türbinine ait performans eğrisi

Üçüncü olarak inceleyeceğimiz rüzgâr türbini ise Nordex S-77 1500 kW dir. Türbinin enerji üretimine başlama hızı 4 m/s ve maksimum enerji üretme hızı ise 25 m/s dir. Ayrıca türbin 77 m rotor çapına ve 85 m kule yüksekliğine sahiptir. Şekil 4.12'de bu türbine ait performans eğrisi görülmektedir.



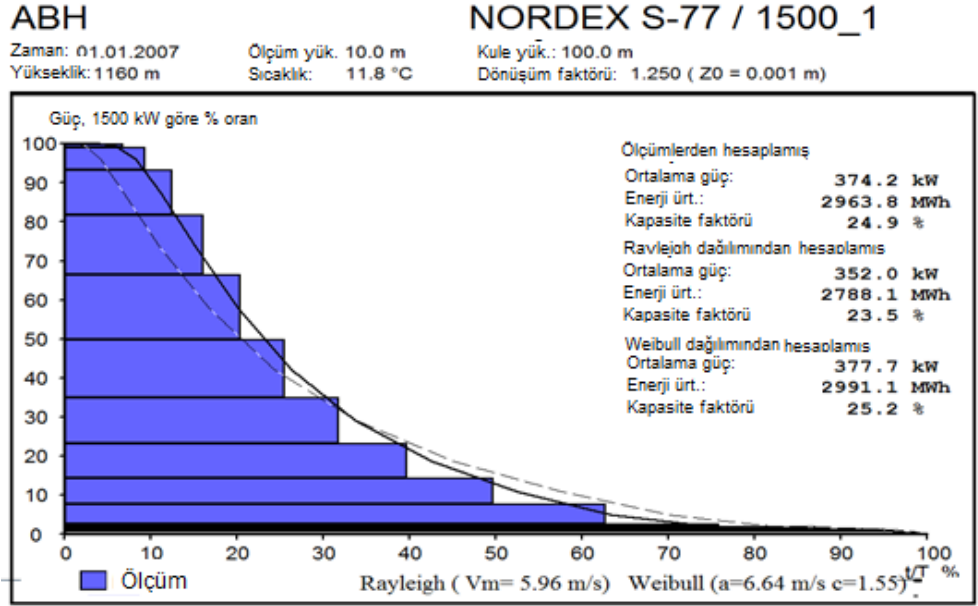
Şekil 4.11. Vnsys V82 1500 kW rüzgâr türbini enerji üretim tahmini



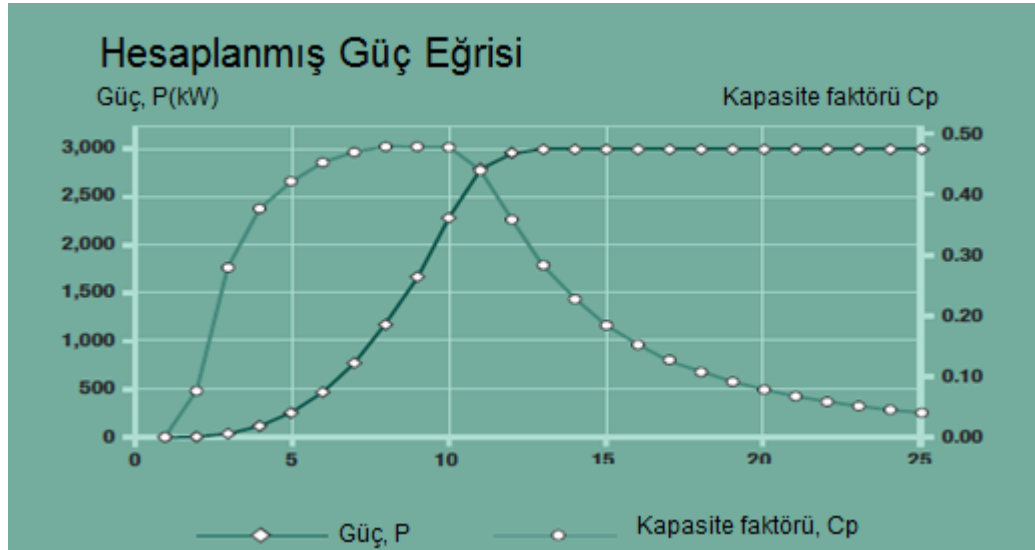
Şekil 4.12. Nordex S-77 1500 kW Rüzgâr Türbinine ait güç eğrisi

Şekil 4.13’de ALWIN programı yardımıyla hesaplanmış Nordex S-77 rüzgâr türbini ile yapılabilecek tahmini üretim değerleri verilmiştir. Buna göre gerçek ölçüm sonuçlarına göre türbin için kapasite faktörü %24.9 saatlik ortalama güç ise 374.2 kW çıkmaktadır. Rayleigh dağılımına göre bu değerler 352 kW ve %23.5 çıkmakta, Weibull

dağılımına göre ise 377.7 kW ve %25.2 çıkmaktadır. Bu türbin için tahmini yıllık üretim değeri 2963.8 MWh'dır. Buna göre aylık yaklaşık üretim 246,980 kWh, günlük ortalama üretim ise 8120 kWh'dır. Bu türbinin toplam maliyeti fiyatı yaklaşık 1.75 milyon Euro'dur.



Şekil 4.13. Nordex N77 1500 kW rüzgâr türbini enerji üretim tahmini

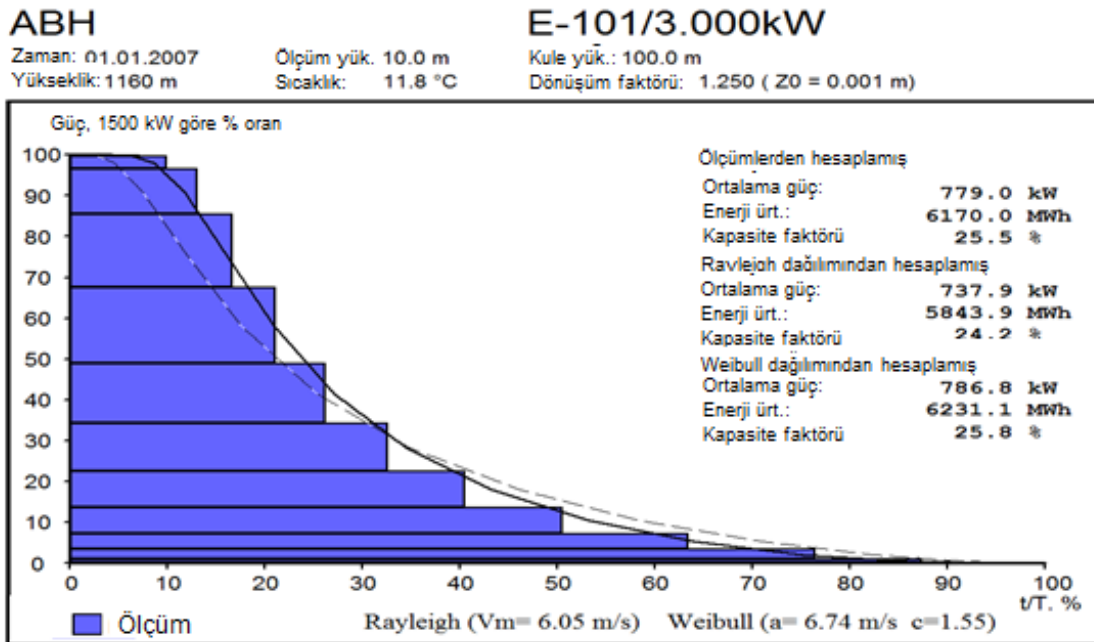


Şekil 4.14. Enercon E/101 performans eğrisi ve kapasite faktörü

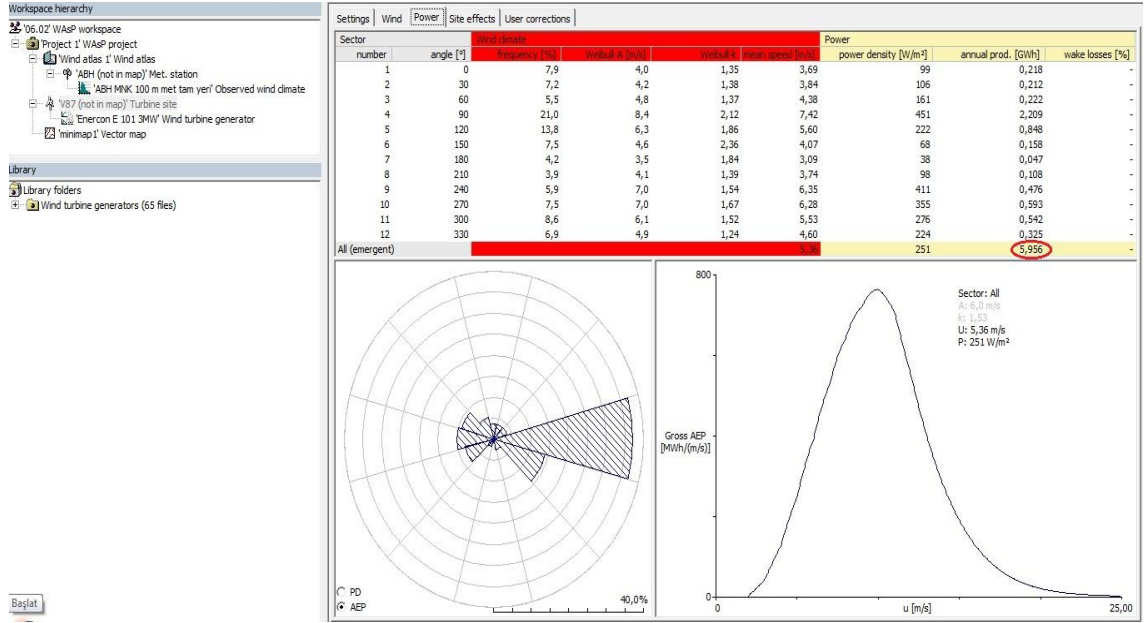
Bir sonraki inceleyeceğimiz rüzgâr türbini Enercon E/101-3000 kW'dir. Türbin 101 metre rotor çapına 100 metre kule yüksekliğine sahiptir. Üç kanada sahip olan

türbin 3 m/s rüzgâr hızında enerji üretimine başlamakta ve maksimum 25 m/s hızda enerji üretimi yapmaktadır. Şekil 4.14'de Enercon firmasının kataloğundan alınmış Enercon E/101 türbini için performans eğrisi ve kapasite faktörü değişimin gösteren bir grafik bulunmaktadır. Şekil 4.14'de görüldüğü gibi türbin maksimum kapasite faktörü ile yaklaşık 8 m/s hızda çalışmaktadır. Türbin 12 m/s hızdan sonra maksimum kapasite ile üretim yapmaktadır.

Şekil 4.15'de ALWIN programı yardımıyla hesaplanmış Enercon E-101 3000 kW rüzgâr türbini ile yapılabilecek tahmini üretim değerleri verilmiştir. Buna göre gerçek ölçüm sonuçlarına göre türbin için kapasite faktörü %25.5 saatlik ortalama güç ise 779 kW çıkmaktadır. Rayleigh dağılımına göre bu değerler 739.9 kW ve %24.2 çıkmakta, Weibull dağılımına göre ise 786.8 kW ve %25.8 çıkmaktadır. Bu türbin için tahmini senelik ortalama üretim değeri yaklaşık 6.1 milyon kWh'dır. Günlük üretim miktarı yaklaşık 16,900 kWh, haftalık 114,259 kWh, aylık üretim miktarı 514,116 kWh'dır. Bu rüzgâr türbini için WaSP programı ile bölgede rüzgâr enerjisi üretim hesaplaması yaptırılmış ve Şekil 4.16'da verilmiştir. Buna göre yapılabilecek senelik enerji üretim değeri 5956 MWh olarak hesaplanmıştır. Hesaplama, haritada yer tanımlanmasına karşın yüzey pürüzlülüğü haritasının olmaması nedeniyle kule yüksekliğindeki rüzgâr hızı Denklem (3.15) yardımıyla hesaplanarak programa girilmiştir. Bu türbinin toplam maliyeti fiyatı yaklaşık 3.8 milyon Euro'dur.

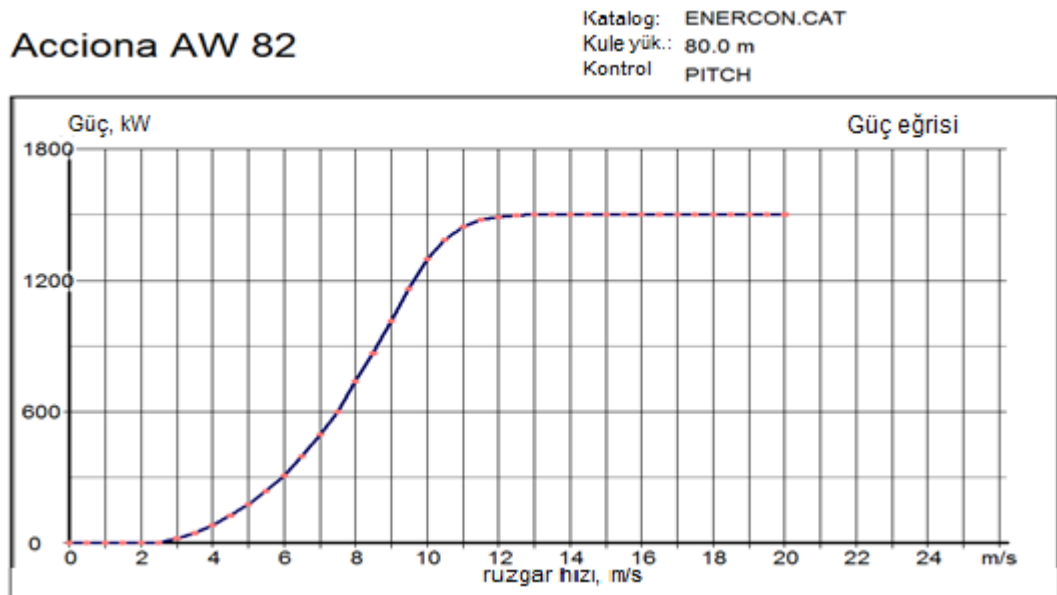


Şekil 4.15. Enercon E-101 3000 kW rüzgâr türbini enerji üretim tahmini



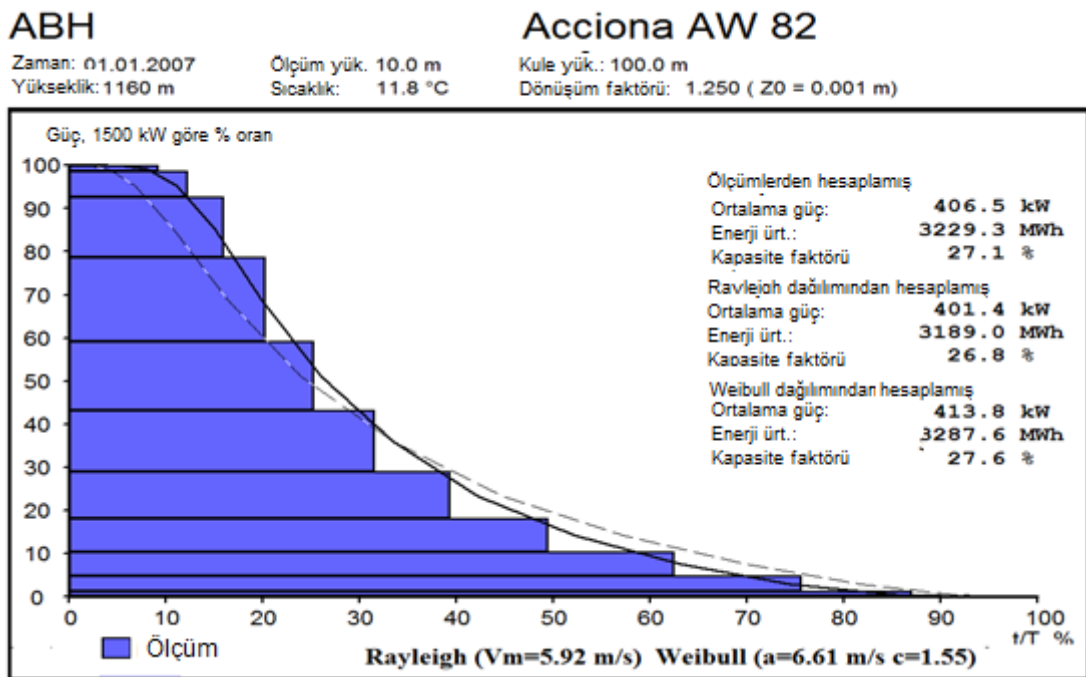
Şekil 4.16. WaSP programı yardımıyla yapılan Enercon E1011500 kW rüzgâr türbini enerji üretim tahmini

Son olarak inceleyeceğimiz türbin Acciona AW 82 1500 kW'dır. Türbin 80 metre kule yüksekliğine 82 metre rotor çapına sahiptir. Türbinin enerji üretimine başlama hızı 3 m/s olmakla birlikte türbin maksimum 25 m/s hızında enerji üretebilmektedir. Şekil 4.17'de Acciona AW 82 1500 kW Rüzgâr Türbinine ait güç eğrisi verilmektedir.



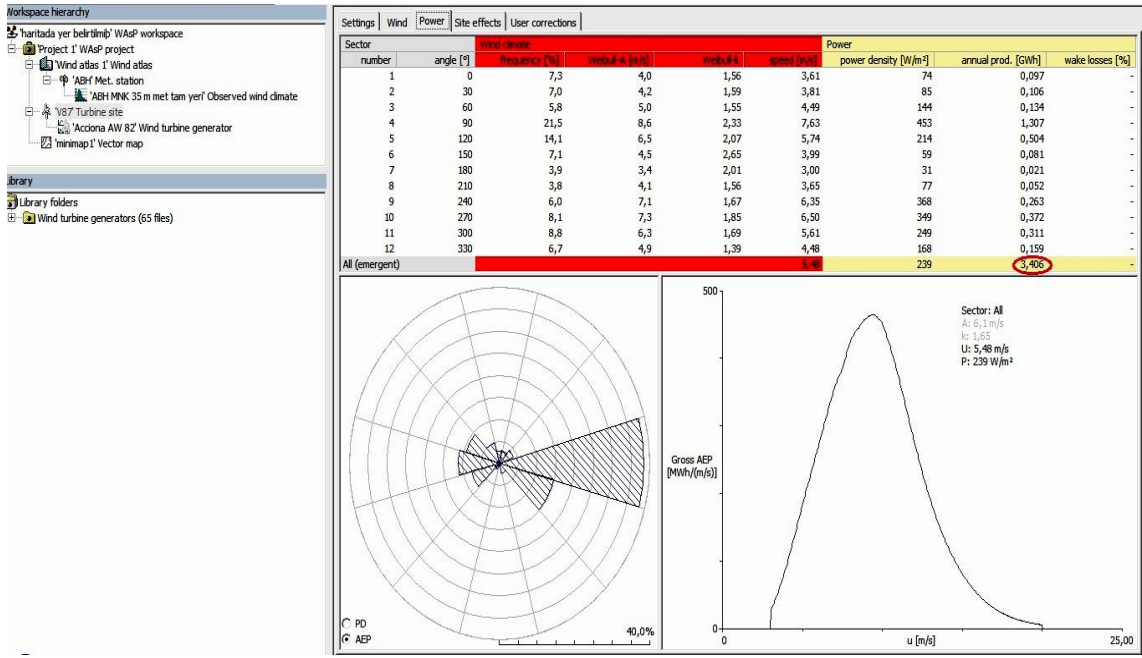
Şekil 4.17. Acciona AW 82 1500 kW Rüzgâr Türbinine ait güç eğrisi

Şekil 4.18’de ALWIN programı yardımıyla hesaplanmış Acciona AW 82 1500 kW rüzgâr türbini ile yapılabilecek tahmini üretim değerleri verilmiştir. Buna göre gerçek ölçüm sonuçlarına göre türbin için kapasite faktörü %27.5 saatlik ortalama güç ise 412,5 kW çıkmaktadır. Rayleigh dağılımına göre bu değerler 401.6 kW ve %26.8 çıkmakta, Weibull dağılımına göre ise 419 kW ve %27.9 çıkmaktadır. Bu türbin için tahmini senelik ortalama üretim değeri yaklaşık 3.2 milyon kWh’dır. Günlük üretim miktarı yaklaşık 8847 kWh, haftalık 59,800 kWh, aylık üretim miktarı 269,108 kWh’dır. Türbin fiyatı nakliye ve 2 sene garanti dâhil yaklaşık 1.59 milyon Euro’dur.



Şekil 4.18. Acciona AW 82 1500 kW rüzgâr türbini enerji üretim tahmini

Acciona AW 82 rüzgâr türbini için enerji üretim tahminleri WaSP programıyla hesaplanmış ve Şekil 4.19’da gösterilmiştir. WaSP programı ile yapılan hesaplamada türbin yeri haritada tam olarak belirtilmiş, ölçüm direği yeri olarak ise harita içinde gösterilemediği için aynı yükseklikte bir yer seçilmiştir. Enerji üretim tahmini yapılırken 35 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı verileri kullanılmıştır. Buna göre senelik üretim 3406 MWh olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.19. WaSP programı yardımıyla yapılan Acciona AW 82 rüzgâr türbini enerji üretim tahmini

Çizelge 4.8. Üretim tahminleri sonuçları

Rüzgâr Türbini	VENSYS V87	VENSYS V82	Nordex S77	Acciona V82	Enercon E101
Kapasite faktörü (%)	30	28.7	24.9	27.1	25.5
Tahmini üretim (MWh/year)	3565	3404.5	2963.8	3229.3	6170

Çizelge 4.8’de üretim tahmini sonuçları özetlenmiştir. Tüm bu türbinler incelendiğinde kapasite faktörü ve fiyat olarak en uygununun Vensys V87 1500 kW olduğu sonucuna varılmıştır. Türbinin 3 m /s rüzgâr hızında enerji üretimine başlaması ve senelik rüzgâr verilerinin %14 ünün 3 ila 4 m/s arasında olması nedeniyle önemli bir seçim faktörü olmuştur. Son yıllarda Alibeyhüyüğü Sulama Kooperatifi sulama pompaları tüketimi senelik yaklaşık 5-6 milyon kWh’dır. Ayrıca üretilen enerjinin kısmen devlete satılması ile belli bir gelir elde edileceği düşünülmektedir. Bu yüzden iki adet Vensys V87 1500 kW rüzgâr türbinin uygun olduğu öngörülmüştür.

4.7. Seçilen Rüzgâr Türbinleri İçin Birim Enerji Hesabı

Her hangi bir alanda rüzgâr enerjisi güç üretim santrali kurulmasın da göz önüne alınması gereken üç önemli unsur vardır. Bunlar rüzgâr türbini maliyeti, kurulum

maliyeti ve bakım onarım maliyetidir. Türbin maliyetinin %35-40'ını kurulum maliyeti, türbin maliyeti ve kurulum maliyeti toplamının %12-15 ini ise 20 senelik bakım ve onarım maliyeti teşkil etmektedir (Ozdamar,2001, Dursun,2010). Türbin kurulumu için temel maliyetinin ve iletim hatları maliyetinin hazırda iletim hattı olduğu için toplamda yaklaşık 200,000 € civarında olacağı tahmin edilmektedir. Çizelge 4.9'da seçilen rüzgâr türbinleri için birim enerji maliyetleri verilmiştir.

Çizelge 4.9. Seçilen rüzgâr türbinleri için birim enerji maliyetleri

Türbin türü	Vensys V87	Vensys V82	Nordex S77	Enercon E101	Acciona V82
Türbin maliyeti* (€)	1.980.000	1.930.000	1.750.000	3.800.000	1.590.000
Temel maliyeti, İletim hattı maliyeti ve diğer maliyetler (€)	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000
20 senelik Bakım ve onarım maliyeti(€)	260.000	253.500	227.500	494.000	193.700
Toplam maliyet	2.440.000	2.383.500	2.177.500	4.494.000	2.183.052
Kapasite Faktörü	30	28,7	24,9	25,5	27,1
20 senelik peryotta üretilen toplam enerji miktarı(kWh)	71.300.000	68.090.000	59.276.000	123.400.000	64.586.000
Enerjinin birim maliyeti (€/kWh)	0,0342	0,035	0,0367	0.0364	0,0338

*Türbin maliyeti kurulum maliyetini de içermektedir.

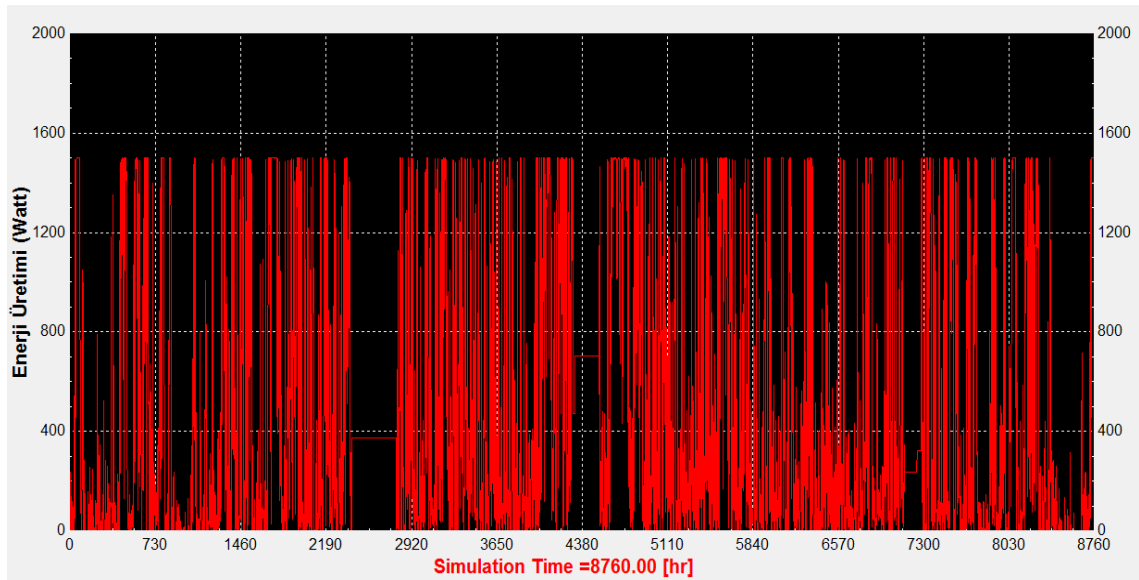
Birim enerji maliyeti hesaplamasında rüzgâr üretim istasyonu kurulumu için gerekli maliyetler (türbin, temel, iletim hattı) ve 20 senelik bakım maliyeti toplamı, 20 senelik üretim miktarına bölünmüş ve birim enerji maliyeti elde edilmiştir. Daha öncede belirtildiği gibi birim enerji maliyeti Acciona V82 rüzgâr türbininden az bir oranda fazla olmasına rağmen, yüksek kapasite faktörü ve üretim miktarı nedeniyle Vensys V87 rüzgâr türbinin daha uygun olduğu düşünülmüştür.

4.8. Rüzgâr Parkından yapılabilecek enerji üretim miktarının analizi

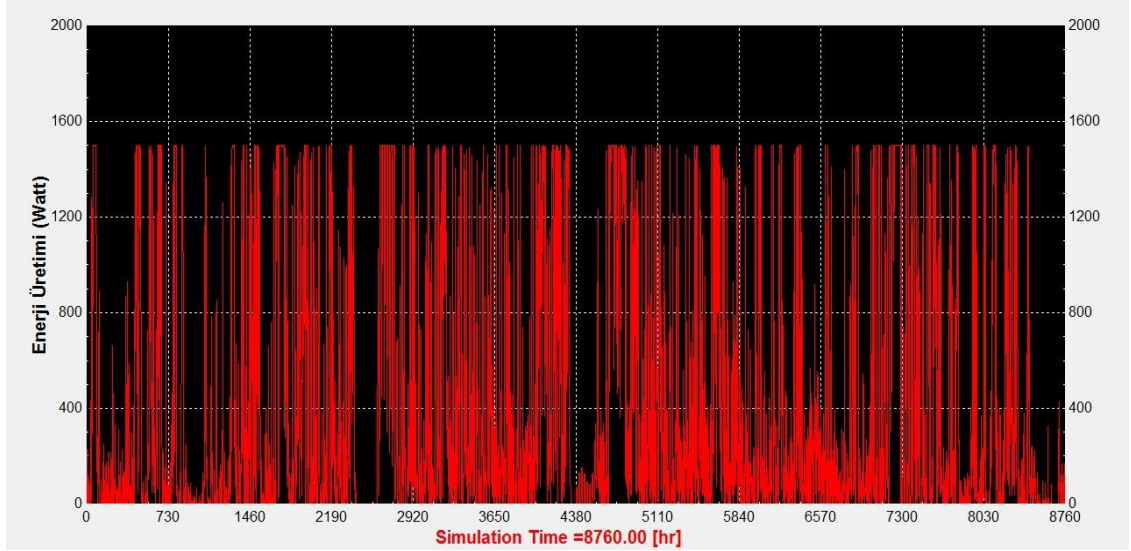
Seçilen Vensys V87 türbini ile yapılabilecek saatlik, günlük, aylık ve yıllık üretim tahminleri için TRNSYS programı kullanılmıştır.

Şekil 4.20’de rüzgâr türbinin kurulması planlanan bölgede 35 m yükseklikte ölçülmüş rüzgâr hızı verileri kullanılarak TRNSYS programında yapılmış enerji üretim simülasyonu verilmiştir. Bu simülasyonunda, Vensys V87 rüzgâr türbini kule yüksekliği 100 metre verilmesine rağmen, bu yükseklikteki rüzgâr hızlarının program tarafından hesaplanması sağlanmıştır. Buna göre yıllık üretim miktarı 4,068,848 kWh, saatlik ortalama üretim miktarı ise 464.48 kWh olmuştur.

Ancak, rüzgâr enerjisi üretim tahmini yapan programlarda yüksekliğe bağlı hız değişiminde belli bir değer girilmediği takdirde standart pürüzlülük faktörü değerleri kullanılmaktadır. Bu nedenle kurulacak türbinin kule yüksekliğinde ki rüzgâr hızlarının hesaplanarak programa verilmesi daha doğru sonuç verecektir. Şekil 4.21’de verilen simülasyondan 100 metre yükseklikteki rüzgâr hızları Denklem (3.15) yardımıyla hesaplanmış ve programa verilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre bir adet Vensys V87 – 1500 kW rüzgâr türbini ile senelik toplam 3,479,382 kWh, günlük ortalama 9532.55 kWh, saatlik ortalama 397.19 kWh elektrik enerjisi üretilebilmektedir.

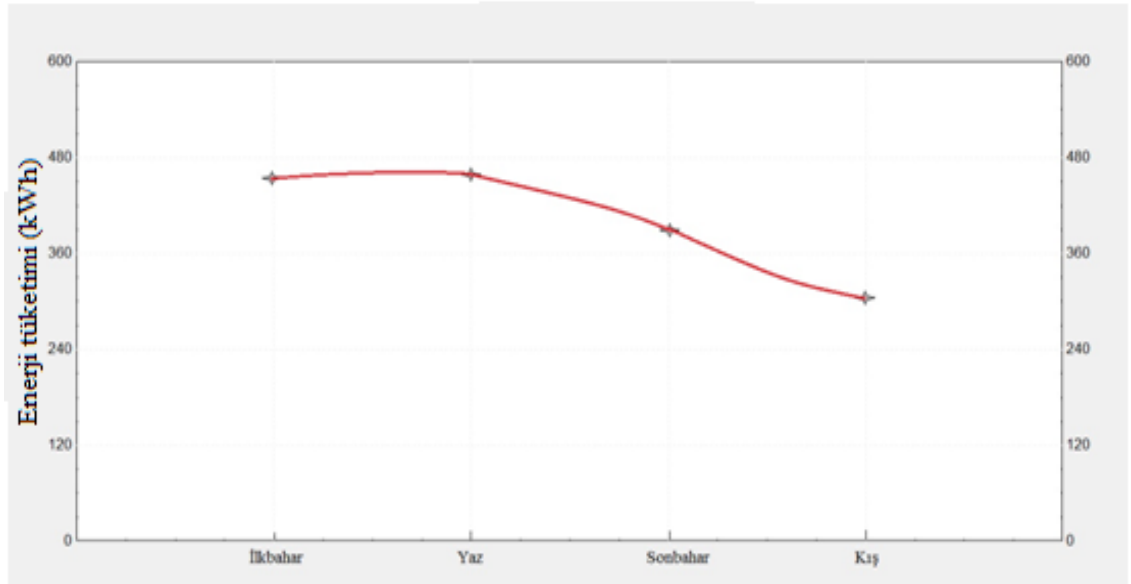


Şekil 4.20. TRNSYS programı ile yapılmış Vensys V87 rüzgâr türbini enerji üretimi simülasyonu (100 metre yükseklikte ki hızlar programa hesaplatılarak)

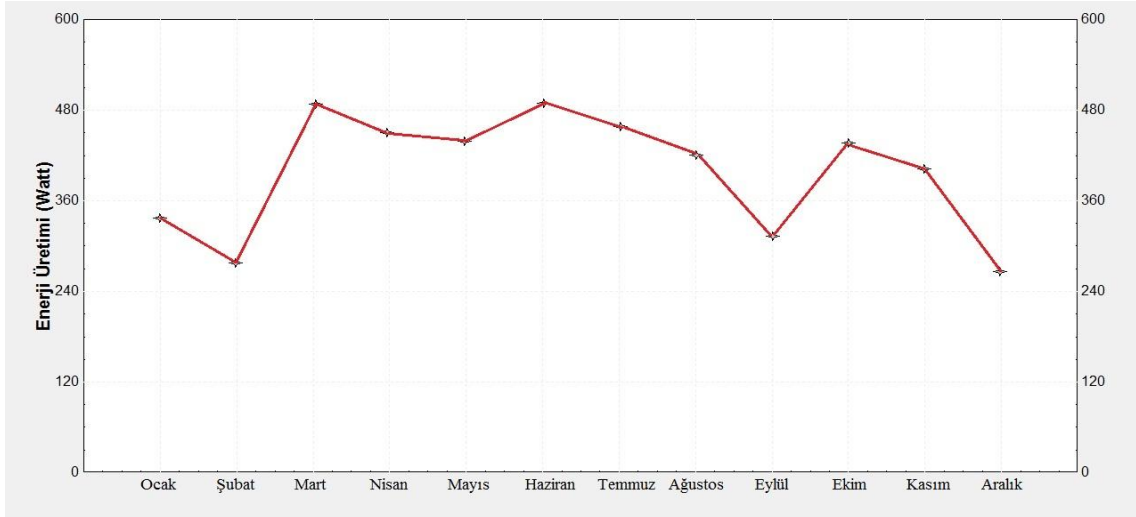


Şekil 4.21. TRNSYS programı ile yapılmış Vensys V87 rüzgâr türbini enerji üretimi simülasyonu (100 metre yükseklikteki hesaplanmış rüzgâr hızları kullanılarak)

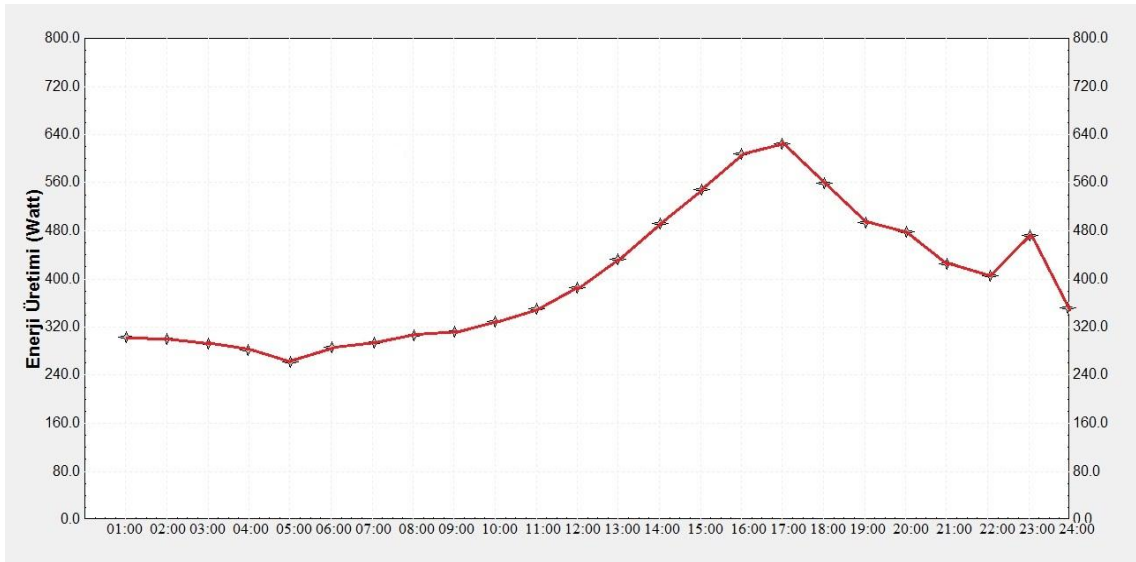
TRNSYS programı ile elde edilmiş üretim tahmin verileri kullanılarak elde edilen mevsimlik ortalama üretim grafiği Şekil 4.22’de, aylık ortalama üretim grafiği Şekil 4.23’de ve saatlik ortalama üretim grafiği ise Şekil 4.24’de verilmiştir.



Şekil 4.22. VENSYS V87 türbini ile mevsimlere göre ortalama üretim



Şekil 4.23. VENSYS V87 türbini ile aylara göre ortalama üretim

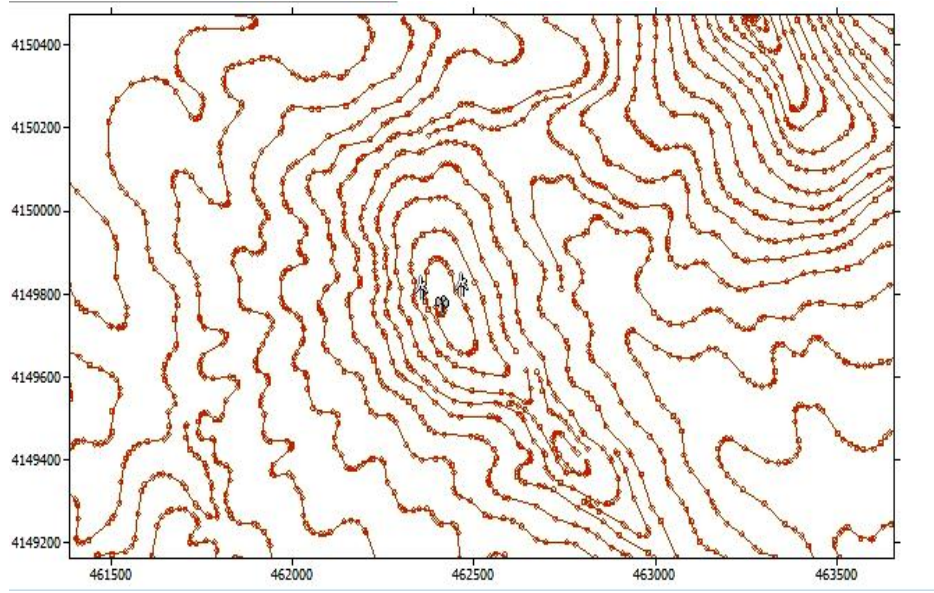


Şekil 4.24. VENSYS V87 türbini ile saatlere göre ortalama üretim

4.9. Rüzgâr türbinleri için yer seçimi

Rüzgâr türbinleri için yer seçiminde dikkat edilmesi gereken husus, seçilen yerde rüzgâr akımını engelleyen her hangi bir oluşum veya yapının olmaması, rüzgâr hızının ve yoğunluğunun uygun olması ve yakınlarında çıkan gürültüden rahatsız olabilecek yerleşimin olmamasıdır. Bunlar dikkate alınarak rüzgâr hızının ölçüldüğü tepenin rüzgâr türbinleri içinde uygun olduğu saptanmıştır. Rüzgâr türbinleri için seçilmiş yerin WaSP programı vasıtasıyla gösterilmiş sayısal haritası Şekil 4.25’de,

Google maps'ten alınmış ekran görüntüsü ise Şekil 4.26'da verilmiştir. Bu yer Alibeyhöyüğü'nde bulunan bir tepedir.



Şekil 4.25. WaSP programı vasıtasıyla rüzgâr türbinleri yerlerinin bölgenin sayısal haritası üzerinde gösterimi



Şekil 4.26. Rüzgâr türbinleri ve rüzgâr ölçüm direğinin yerinin WaSP yardımıyla google maps'te gösterimi

4.10. Rüzgâr santrali ve PHES hybrit sistemi için çalışma stratejisinin belirlenmesi

Sistem çalışma stratejisi olarak günlük maksimum kar yapılması planlanmıştır ($Maks. \sum [P_{ss} * c_{ss}(t) - P_{sa} * c_{sa}(t)]$, c_{sa} şebekeden alış fiyatı, c_{ss} şebekeye satış fiyatı). Bu yapılırken günlük olarak deponun tamamen doldurulması planlanmıştır. Günlük maksimum getiri için belirlenen prensipler aşağıda ki gibidir:

- 1- Enerji fiyatlarının orta seviyede olduğu periyotta (06:00-17:00) enerji ihtiyacının, rüzgâr santralinden üretilen enerjiden fazla olması durumunda, depodan enerji kullanılmadan önce enerji fiyatlarının en pahalı olduğu periyotta depoda bulunan enerji miktarının ne kadarının kullanılacağını hesaplanması, geri kalanın ise gerektiğinde kullanılması. Eğer gerekirse (depodaki enerjide yetmez ise) arta kalan enerjinin şebekeden sağlanması. Üretilmiş fazla enerjinin depolanmış enerji miktarının arttırılmasında kullanılması, eğer depo dolu ise şebekeye satılması.
- 2- Enerji fiyatlarının pahalı olduğu periyotta (17:00 – 22:00) enerji talebinin enerji üretiminden fazla olması durumunda depodan eksik kalan enerjinin sağlanması, eğer yine yetmiyor ise geriye kalan enerjinin şebekeden sağlanması. Üretilmiş fazla enerjinin depolanmış enerji miktarının arttırılmasında kullanılması, eğer depo dolu ise şebekeye satılması.
- 3- Enerji fiyatlarının en ucuz olduğu periyotta (22:00 – 06:00) rüzgâr enerjisi ile üretilen tüm elektriğin şebekeye satılması, deponun bu periyotta şebekeden sağlanan enerji ile tamamen doldurulması. Eğer tüketim miktarı üretim miktarından fazla ise arta kalan enerjinin şebekeden temin edilmesi.

Bu bilgiler Çizelge 4.10’da özetlenmiştir. Ayrıca, bu bilgiler ışığında bir algoritma hazırlanmış ve bu algorithmada Şekil 4.27’de verilmiştir. Algoritma’da ki değişkenler şunlardır:

t = zaman (saat)

$P_r(t)$ = Rüzgâr türbinleri tarafından üretilen saatlik enerji miktarı (kWh)

$P_s(t)$ = Sulama pompaları tarafından tüketilen saatlik enerji miktarı (kWh)

$S_{de}(t)$ = Depodaki enerji miktarı (kWh)

S_{full} = Depodaki maksimum enerji miktarı (kWh)

$P_{sa}(t)$ =Şebekeden alınan saatlik enerji miktarı (kWh)

$P_{ss}(t)$ = Şebekeye satılan saatlik enerji miktarı (kWh)

P_{pompa} = PHES pompasının gücü (kW)

$P_{türbin}$ = PHES hidrolik türbininin gücü (kW)

P_{ge} = Günün enerji kullanımı en pahalı saati için (17:00-22:00) depodan kullanılması gereken (ucuz periyotlarda kullanılmamak üzere ayrılması gereken) enerji

n_p = PHES pompası verimi

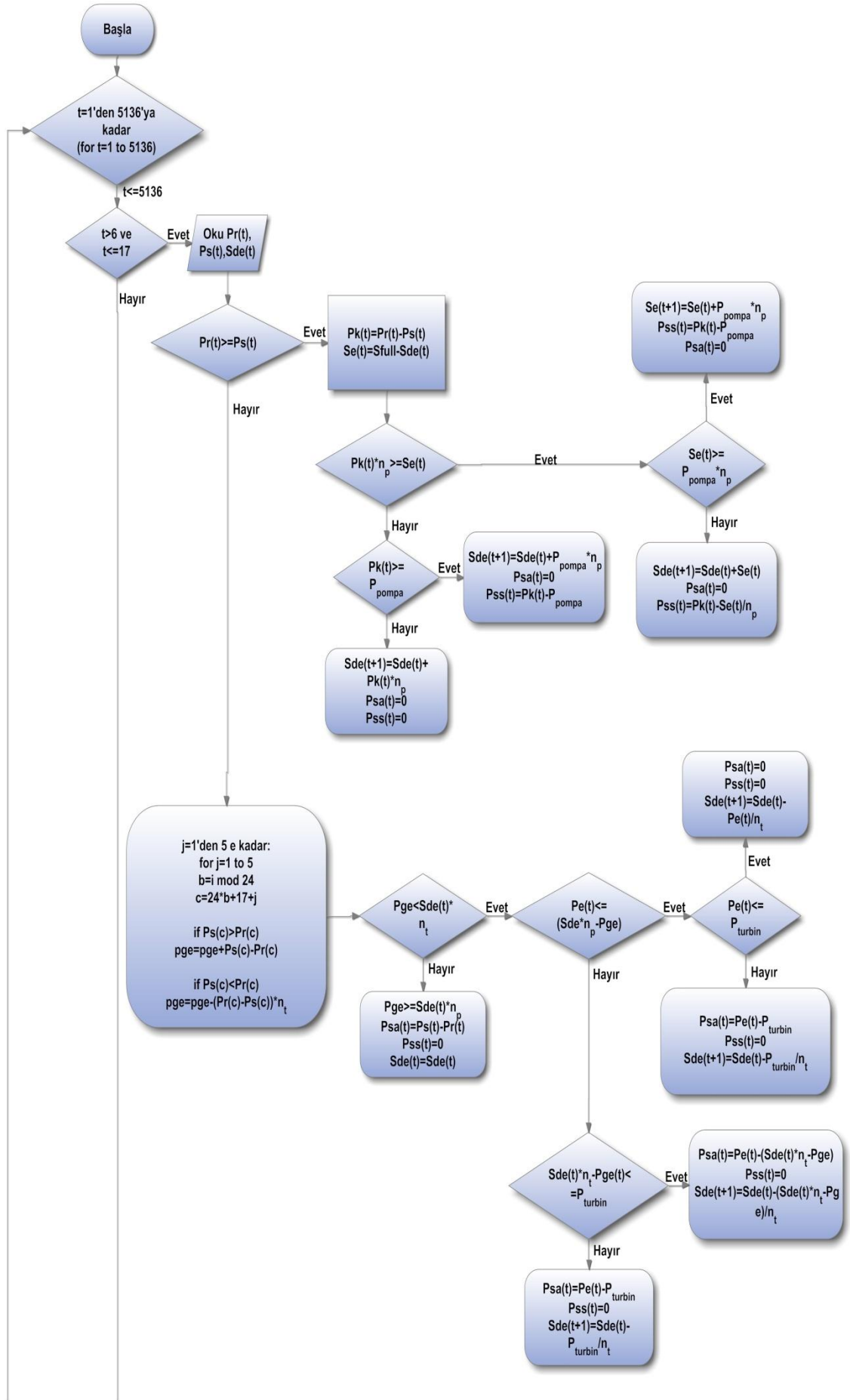
n_t = PHES türbini verimi

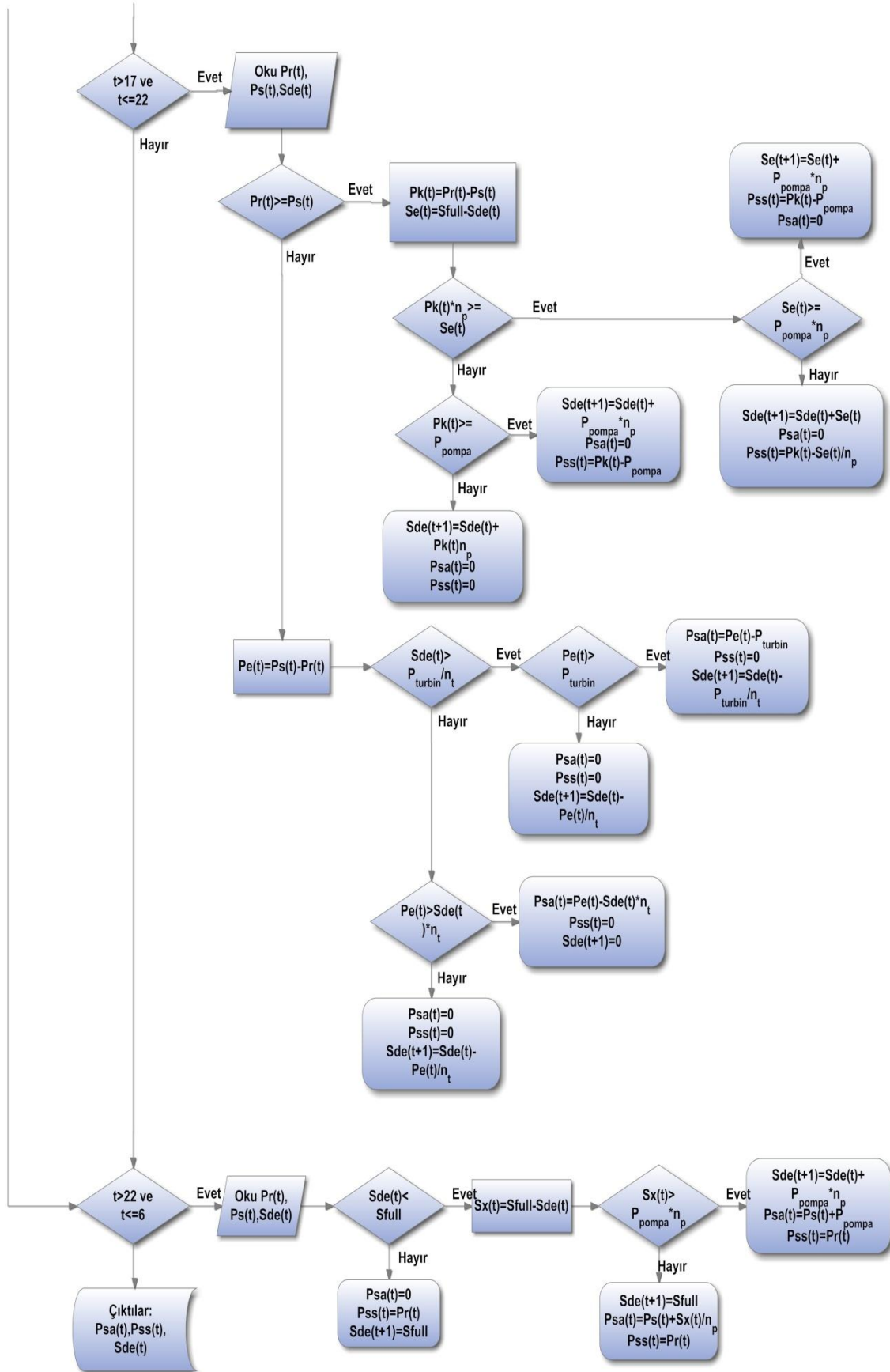
Depodaki enerji miktarı $S_{de}(t)$ Denklem (4.2) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$S_{de}(t) = S_{de}(t-1) + P_{pompa} \cdot n_p - P_{türbin} / n_t \quad (4.2)$$

Çizelge 4.10. Sistem çalışma planı

Zaman aralığı	Yapılacak
06:00 – 17:00	$P_{üretilen} > P_{tüketilen} \rightarrow$ Tüketilen kısım üretilenden kullanılır, geriye kalan depoya verilir, depo dolu ise şebekeye satılır.
	$P_{üretilen} < P_{tüketilen} \rightarrow$ Önce enerji fiyatlarının en pahalı olduğu periyotta (17:00-22:00) depodan ne kadar enerji kullanılacağıın hesaplanması, bu miktarın depoda tutulması, geriye kalan miktarın depodan kullanılması. Eğer buda yetmez ise eksik kalan enerji miktarının şebekeden karşılanması.
17:00 - 22:00	$P_{üretilen} > P_{tüketilen} \rightarrow$ Tüketilen kısım üretilenden kullanılır, geriye kalan depoya verilir, depo dolu ise şebekeye satılır.
	$P_{üretilen} < P_{tüketilen} \rightarrow$ Eksik kalan miktarın depodan karşılanması, oda yetmiyor ise şebekeden karşılanması.
22:00 – 06:00	$P_{üretilen} \rightarrow$ Şebekeye satılır (0,13 kr/kWh)
	$P_{tüketilen} \rightarrow$ Şebekeden alınır (0,116 kr/kWh)
	Depo boş ise doldurulur.





Şekil 4.27. Genel sistem çalışma algoritması

Şebeken alınan enerji fiyatları Eylül 2012 tarihinde EPDK'dan alınmıştır ve aşağıda verilmiştir. Şebekeye elektrik satış fiyatı ise (c_{ts})13 kr/kW (7,3 dolarcent) dir.

c_{ti} = t anındaki şebekeden enerji temin fiyatı

c_{t1} = 0,1960 kr/kWh (06:00-17:00 saatleri arası)

c_{t2} = 0,3070 kr/kWh (17:00-22:00 saatleri arası)

c_{t3} = 0,116 kr/kWh(22:00-06:00 saatleri arası)

Şekil 4.27'de ki algoritmaya göre Delphi 7 programında kullanışlı bir program yazılmıştır ve bu programın kodları EK-A'da verilmiştir. Şekil 4.28'de bu programın ara yüzü bulunmaktadır. Program'da değiştirilebilir özellikler aşağıdaki gibidir:

- PHES pompa gücü ve verimi
- PHES türbin gücü ve verimi
- Başlangıç depo enerjisi
- Depo büyüklüğü (depolanabilecek maksimum enerji miktarı)
- Üç periyotluk zaman diliminde şebekeden enerji alımı fiyatları
- Tek zamanlı zaman dilimi için şebekeden enerji alım fiyatı
- Enerji satış fiyatı
- Saatlik üretim ve tüketim verileri (Program vasıtasıyla Excel dosyasından alınır)
- Kaç saat için algoritmanın çalıştırılacağıdır.

Şekil 4.28. Delphi 7 programı ile algoritmanın çalıştırılması için yazılmış programın arayüzü

4.11. PHES yeri ve elemanlarının seçimi

PHES elemanları seçimi için iki farklı yol izlenmiştir. Birincisi PHES için kurulması düşünülen rüzgâr santraline yakın olan ve entegre çalışma kolaylığı sağlayan, pratikte uygulanabilecek bir yer seçilmesi, ikincisi ise belirlenen sistem için optimum parametrelerin seçimidir.

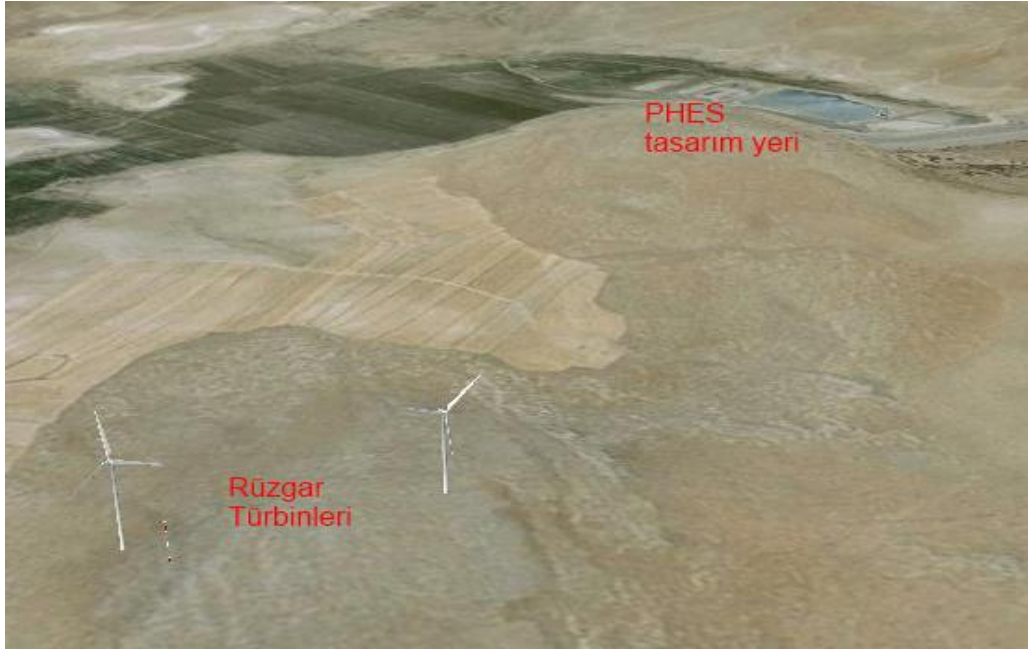
4.11.1. Pratikte uygulanabilecek bir yer için PHES elemanlarının seçimi

Pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerinin en önemli dezavantajı yapılacak yerlerin kısıtlı olmasıdır. PHES' ler için yapım yeri olarak genellikle yakınında bir dağ veya tepe bulunan akarsu veya herhangi bir su havzası eteği seçilir. Mevcut çalışmada uygun yer tespiti için uygun alt rezervuarın bulunduğu ve üst rezervuar yapılabilecek bir tepe veya dağ rüzgâr türbinlerinin kurulacağı Çakıl tepe civarında araştırılmıştır.



Şekil 4.29. PHES tasarım yeri

Uygun tasarım yeri olarak Şekil 4.29'da verilen May barajı eteği ve yanında bulunan tepe belirlenmiştir. Şekil 4.30'de ise rüzgâr türbinleri ve PHES'in tasarım yeri aynı karede verilmiştir.



Şekil 4.30. Rüzgâr türbinleri ve PHES tasarım yeri

4.11.1.1. Pompa ve Türbin Seçimi

Daha öncede belirtildiği gibi ABH sulama kooperatifinin senelik enerji tüketimi yaklaşık 6 milyon kWh'tır. Sulama pompaları tarafından yılın 7 ayında yoğun olarak tüketim olmakta diğer aylarda ise tüketim olmaktadır. Sulama pompalarının saatlik tüketimi yaklaşık 1.2 MW 'tır. Pik enerji tüketimi bazen 2 MWh'ı geçmektedir ancak arazi koşullarına bağlı olarak saatte yaklaşık 1-1.5 MW güç sağlayabilecek bir PHES tasarımı yapılacaktır. PHES'ler genellikle 4-8 saat arası enerji sağlayan sistemlerdir.

PHES tasarımı için uygun bulunmuş yer May barajı eteğinde bulunmaktadır ve 55 m kot farkına sahiptir. Üst rezervuar yüzey alanı arazi yapısına göre maksimum olarak yaklaşık 25,000 m² alınabilir. Yaklaşık derinlik 2.5 metre alınırsa hacim 62500 m³ olacaktır. Eğer debi 3 m³ / s alınırsa saatlik 10800 m³ su akışı sağlanır ve yaklaşık 5.78 saat süre için enerji sağlanabilir. Depodaki su miktarının depo hacminin %10'un altına inmesi güvenli bir çalışma için engellenecektir.

Bölüm 3.4.3. de verilmiş olan Denklem (3.20), (3.21), (3.22), (3.23) ve (3.24) kullanılarak hidrolik türbin gücü ve pompa gücü hesaplanabilir. Yapılan hesaplamalara göre uygun boru çapı (D) 1.25 metre, toplam düşü kaybı (h_f) ise 2.5 m olarak hesaplanmıştır. Buna göre türbin gücü yaklaşık 1.25 MW, aynı debide pompa gücü ise yaklaşık 2 MW olarak hesaplanır. Eğer istenilen debi miktarı değişirse pompa gücü ve

türbin gücü ona göre değişecektir. Sonuç olarak türbin seçimi için belirlenmiş kriterler aşağıdaki gibidir:

→Türbin seçimi: H: 52.5 m, Q: 3 m³/s

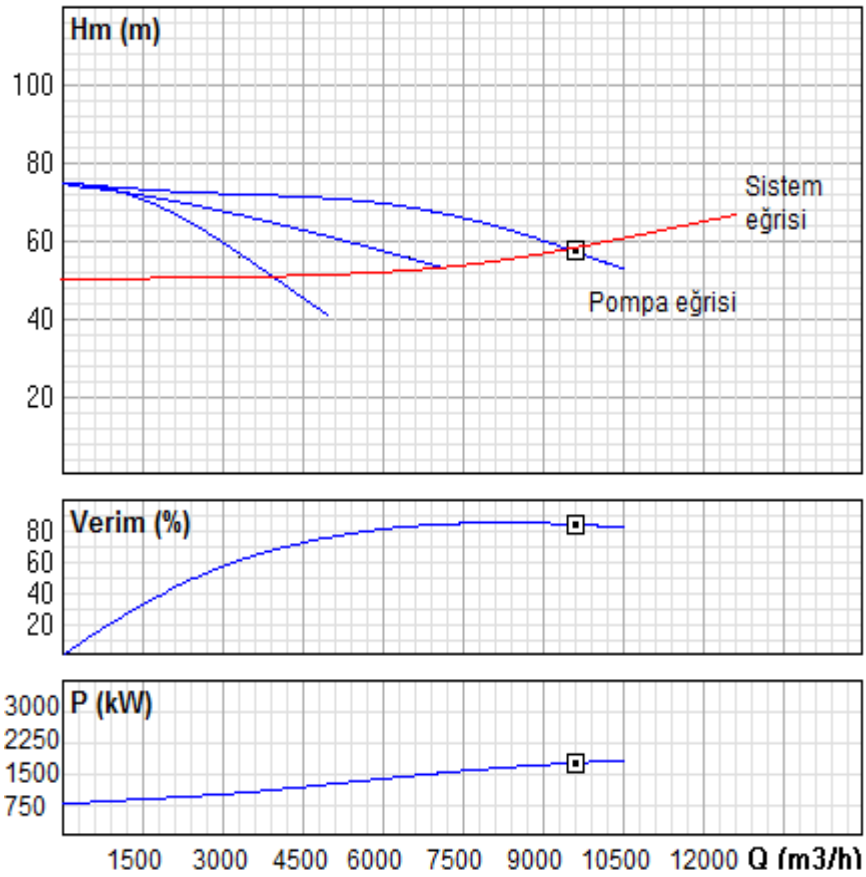
Uygun türbin tipinin belirlenmesi için özgül hızın hesaplanması gerekir. Bölüm 3.4.2.'de verilmiş Denklem (3.19) ile yapılmış özgül hız hesabına göre en uygun türbin tipi olarak Francis türbini belirlenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucu TEMSAN firmasından yukarıdaki özelliklerdeki bir türbin üretimi için 850,000 TL (yatay Francis türbini), bir Çin firmasından ise 250,000 dolarlık (KDV ve kargo hariç) tahmini fiyat teklifi alınmıştır. Ancak, TEMSAN firmasından alınan teklif güvenilirlik nedeniyle daha uygun bulunmuştur.

Pompa seçimi için kullanılacak değerler ise aşağıdaki gibidir:

→ H: 57.5m, Q: 2-3m³/s

Pompa seçimi için standart pompa seçim programı kullanılmıştır (Anonim, 2009b). Bu program ile yapılan seçim ile en uygun pompanın SDS 400-800 (1000) çift emişli santrifüj pompası olduğu belirlenmiştir. Pompa 630 kW motor gücüne, 0.917 m³/s (3300 m³/h) debiyle çalışma kapasitesine sahiptir. Seçilen pompadan 3 adet kullanılmasıyla toplam pompa gücü 1890 kW, toplam debi ise 2.75 m³/s olacaktır. Üç adet pompanın firmadan alınan toplam tahmini fiyatı 500,000 TL + KDV'dir. Şekil 4.31'de bu pompaya ait karakteristik eğrisi ve çalışma noktası verilmiştir.

Sonuç olarak seçilen hidrolik türbin gücü 1250 kW, debisi 3 m³/s, hidrolik pompa gücü toplam 1890 kW, debisi 2.75 m³/s'dir. Pompaların boş depoyu doldurma süresi yaklaşık 6.31 saat, tam dolu bir depodan hidrolik türbin vasıtasıyla enerji sağlanabilme süresi ise yaklaşık 5.7 saattir. Buna göre depoda depolanabilecek maksimum enerji miktarı yaklaşık 8800 kWh'dır. Ancak güvenli bir çalışma için bunun yaklaşık %10'u sürekli dolu tutulacak ve 8000 kWh'lık (56,250 m³) kısmı kullanılacaktır. Çizelge 4.11'de seçilen hidrolik pompa ve türbin ile ilgili bilgiler verilmiştir.



Şekil 4.31. SDS 400-800 pompa karakteristik ve sistem eğrisi

Çizelge 4.11. Seçilen hidrolik pompa ve türbin parametreleri

	Adet	Güç (kW)	Debi (m³/sn)	Düşü (m)	Verim(%)*	Fiyat (TL)
Hidrolik türbin	1	1250	3	52.5	82	850,000 +KDV
Hidrolik Pompa	3	630*3 = 1890 kW	0.917 m³/s * 3 = 2.75 m³/s	57.5	74	500,000** +KDV

*Elektrik verimleri de dahildir.

**KDV ve diğer masraflar ile yapılan fiyat tahmini

4.11.2. Uygulanan çalışma stratejisi için optimum PHES parametrelerini araştırılması

Sistem çalışma stratejisine uygun optimum PHES parametrelerini belirlemek için PHES pompa ve türbin kapasitesi ve üst rezervuar hacmi değişimine göre, programlanması yapılan sistem için, **yatırım / yıllık net getiri** oranı en düşük olan yani minimum basit geri ödeme süresine (BGÖ) sahip olan sistem aranarak yerel minimum noktasının bulunmasına çalışılmıştır. Buna göre, sistemin basit geri ödeme süresi ise

Denklem (4.3) ve (4.4) ile hesaplanmıştır. Bunlar yapılırken genel olarak jeneratör ve motor verimleri de dâhil olarak türbin verimi %85 pompa verimi ise %80 olarak kabul edilmiştir (diğer verimlerde dahil). Depo kapasitesinin %10'luk kısmının güvenli bir çalışma için sürekli dolu tutulacağı dikkate alınmıştır. Böylelikle optimum PHES parametreleri aranmıştır.

$$\text{Optimum sistem} = \text{minimum BGÖ'lü sistem} = \text{minimum} \frac{\text{Yatırım}}{\text{yıllık net getiri}} \quad (4.3)$$

$$\text{BGÖ} = \frac{\text{Ers} + ((\text{P}_{\text{pompa}} * \text{c}_{\text{pompa}}) + (\text{P}_{\text{turbın}} * \text{c}_{\text{turbın}}) + (\text{V}_{\text{üst}} * \text{c}_{\text{üst}}) + (\text{L}_{\text{boru}} * \text{c}_{\text{boru}})) * \text{Edm}}{\text{Essg}} \quad (4.4)$$

Burada,

E_{rs} , rüzgâr santralının yatırım maliyetini (TL),

P_{pompa} hidrolik pompa gücü (kW)

c_{pompa} hidrolik pompanın yaklaşık kW başına alım maliyeti (TL/kW)

$P_{\text{turbın}}$ türbin gücü (kW)

$c_{\text{turbın}}$ hidrolik pompanın yaklaşık kW başına alım maliyeti (TL/kW)

$V_{\text{üst}}$ üst rezervuar hacmi (m^3)

$c_{\text{üst}}$ birim hacim başına üst rezervuar yaklaşık maliyeti (TL/ m^3)

L_{boru} toplam boru uzunluğu (m)

c_{boru} boru maliyeti (TL/m)

E_{dm} diğer masrafların eklenmesi için uygulanan katsayı (ek masraflar=%10=1,1)

E_{ssg} rüzgâr-PHES hibrit enerji sisteminin senelik net getirisini (TL) temsil

etmektedir. E_{sg} Denklem (4.5) ile hesaplanmıştır.

$$E_{\text{ssg}} = E_{\text{sgi}} + \left(\sum_{t=1}^{t=8160} P_{\text{ss}}(t) * c_s(t) - \sum_{t=1}^{t=8160} P_{\text{sa}}(t) * c_a(t) \right) - E_{\text{bm}} \quad (4.5)$$

Burada E_{sgi} normalde rüzgâr-PHES entegre güç sistemi kurulmadan enerji alımına ödenen miktar (TL), $P_{\text{ss}}(t)$ şebekeye t anında enerji satış miktarı (kWh), $c_s(t)$ t anında enerji satış fiyatı (TL/kWh), $P_{\text{sa}}(t)$ şebekeden t anında enerji alış miktarı (kWh), $c_s(t)$ t anında enerji satış fiyatı (TL/kWh), E_{bm} ise yıllık işletme ve bakım masraflarıdır.

Daha önce de belirtildiği gibi sisteme en uygun PHES parametrelerini belirlemek için değişen PHES parametrelerine bağlı olarak minimum sistem basit geri ödeme süresi aranmıştır. Bunun için depo kapasitesi 5000 kWh-15000 kWh arası 50’şer kW, Pompa gücü ve türbin gücü ise 1000-3000 kW arasında 10’ar kW aralıklarla değiştirilmiştir ve toplamda 8 milyon iterasyon yapılmış yani sistem 9261 kez çalıştırılmıştır. Bunu basite indirmek için küçük bir optimizasyon programı yazılmış ve bu programın arayüzü Şekil 4.32’de verilmiştir.

Şekil 4.32. Optimum sistem parametrelerinin aranması için yazılmış programın arayüzü

Bu program, yukarıda belirtildiği gibi, üst rezervuar kapasitesini 5000 kWh’den başlayarak 50’er kW arttırarak pompa ve türbin gücünü 1000 kW’dan başlayarak 10’ar kW arttırarak optimum sistem parametrelerinin bulunması için kullanılmıştır. Çizelge 4.12’de kısaca optimizasyon değişkenlerinin değişiminin özeti verilmiştir. Buna göre elde edilen optimum sonuç Çizelge 4.13’da verilmiştir. Birim fiyat değerleri ekonomik analiz bölümünde Çizelge 4.16’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Optimazsyon değişkenlerinin değişiminin özeti

	Minimum	Artış miktarı	Maksimum	$\frac{\text{maks.} - \text{min.}}{\text{artış miktarı}}$
Depo kapasitesi	5000 kWh	50 kWh	15000 kWh	200
Hidrolik türbin gücü	1000 kW	10 kW	3000 kW	200
Hidrolik pompa	1000 kW	10 kW	3000 kW	200
Toplam iterasyon sayısı				$200^3 = 8$ milyon

Çizelge 4.13. Elde edilen optimum PHES parametreleri

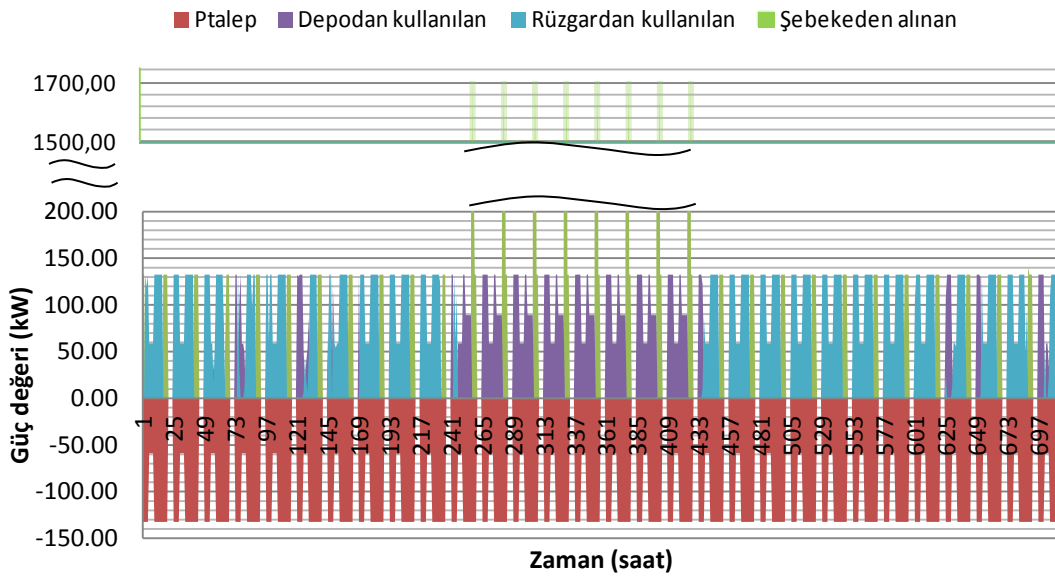
Optimum Depo kapasitesi	6550 kWh ($\approx 48,000 \text{ m}^3$)
Optimum Pompa gücü	1000 kW
Optimum Türbin gücü	1000 kW
Sistem BGÖ	10.24 yıl

4.12. Simülasyon sonuçları

Daha öncede belirtildiği gibi simülasyon sonuçları pratikte PHES'in uygulanabileceği bir yer için ve optimum sistem parametreleri tespit edilmiş sistem için ayrı ayrı ele alınmıştır.

4.12.1. Pratikte uygulanabilecek yer seçimi yapılmış sistem için sonuçlar

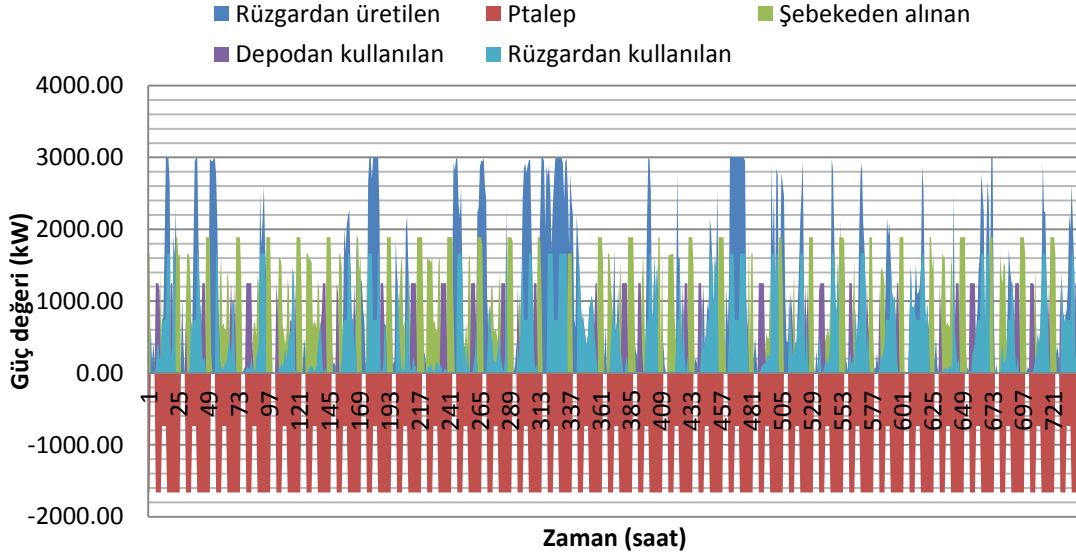
Daha önce de belirtildiği gibi pratikte uygulanabilecek yer seçimi yapılmış sistem elemanları PHES pompası (1890 kW, $2.75 \text{ m}^3/\text{s}$), PHES türbini (1250 kW, $3 \text{ m}^3/\text{sn}$) ve üst rezervuar hacmidir ($62,500 \text{ m}^3$, 8800 kWh). Rezervuar hacminin %10'u güvenli bir çalışma için hep depoda tutulacaktır. Şekil 4.33 ile 4.44 arasında simülasyon sonuçları verilmiştir.



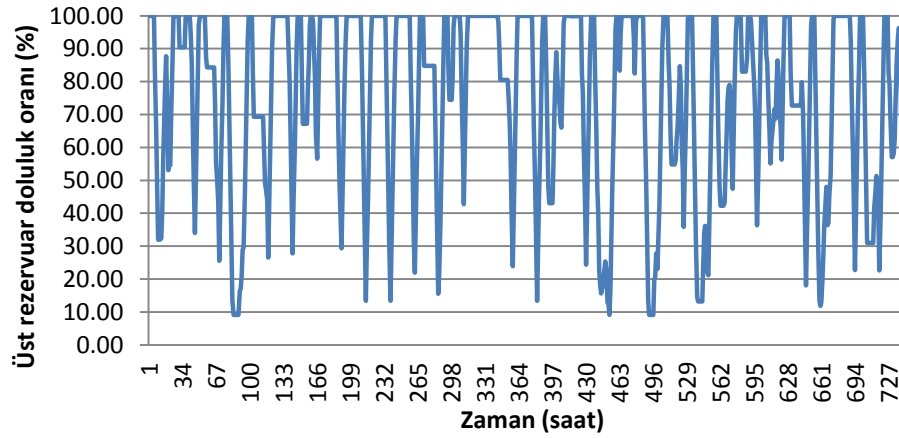
Şekil 4.33. Nisan ayında PHES, rüzgâr türbinleri ve şebekenin talebi karşılamada ki payları

Nisan ayında toplam enerji talebi 70,640 kWh'tır ve bu talebin yaklaşık %49.9'u (35,265 kWh) rüzgâr enerjisinden, %24.6'sı (17,408 kWh) PHES'ten, %25.4'ü (17,967 kWh) ise şebekeden karşılanmıştır.

Mayıs ayında toplam enerji talebi 916,277 kWh'tır ve bu talebin %35.9'u (328,736 kWh) rüzgâr enerjisinden, %19.7'si (180,646 kWh) PHES'ten, %44.4'u (406,894 kWh) ise şebekeden karşılanmıştır.



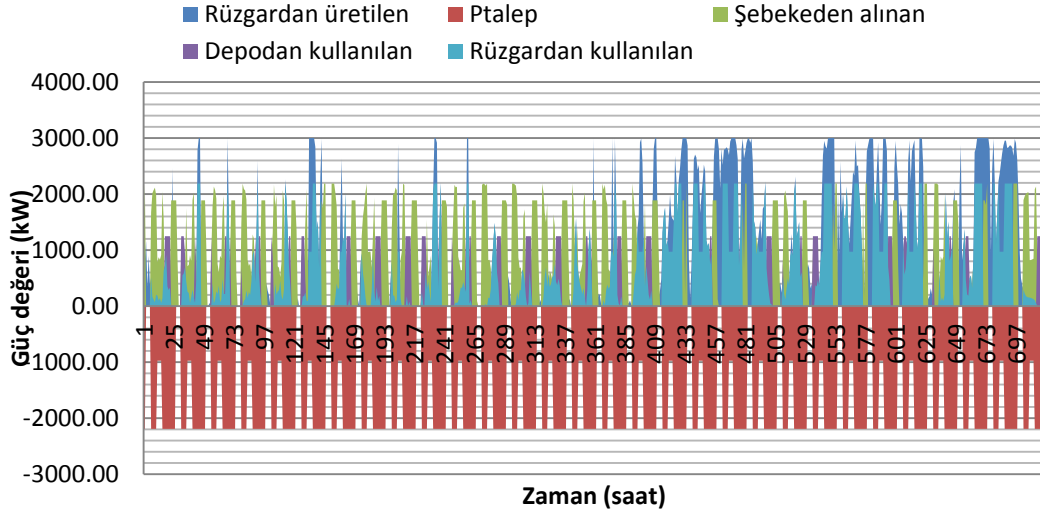
Şekil 4.34. Mayıs ayında PHES, rüzgâr türbinleri ve şebekenin talebi karşılamada ki payları



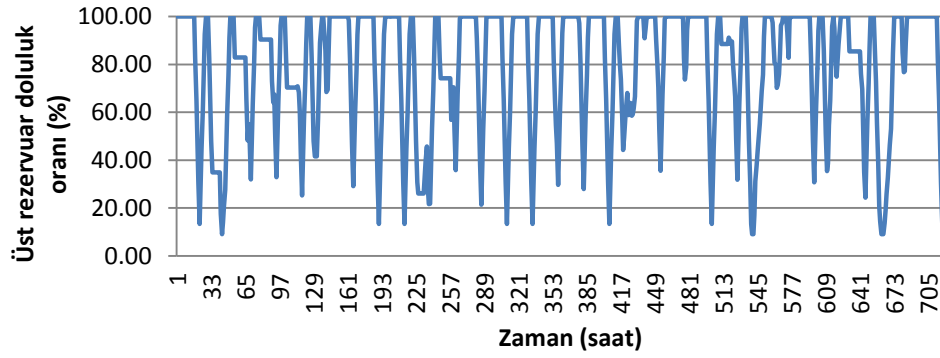
Şekil 4.35. Mayıs ayında üst rezervuar doluluk oranının değişimi

Haziran ayında toplam enerji talebi 1,168,181 kWh'tır ve bu talebin %33.8'i (395,208 kWh) rüzgâr enerjisinden, %14.2'si (165,316 kWh) PHES'ten, %52'si (607,657 kWh) ise şebekeden karşılanmıştır.

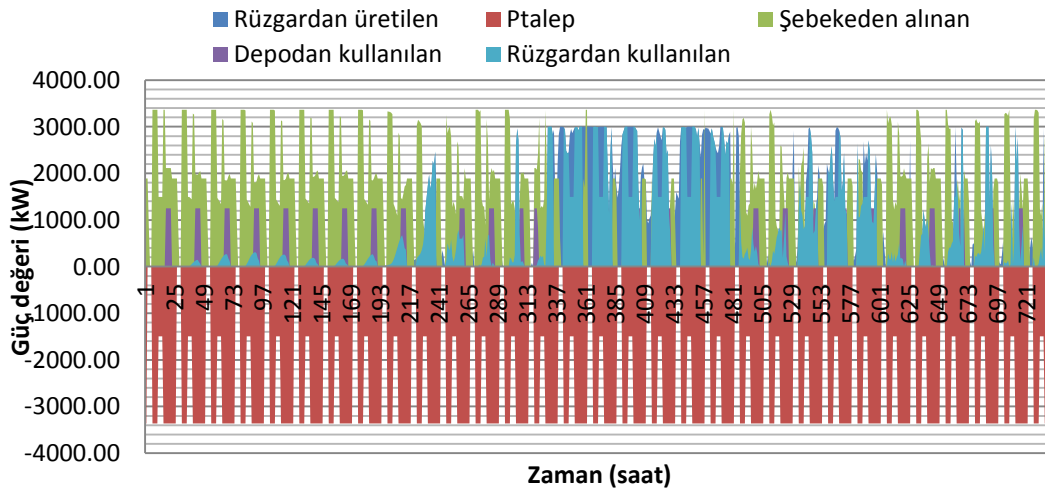
Temmuz ayında toplam enerji talebi 1,853,845 kWh'tır ve bu talebin %24.9'u (462,098 kWh) rüzgâr enerjisinden, %9.6'sı (177,049 kWh) PHES'ten, %65.5'i (1,214,698 kWh) ise şebekeden karşılanmıştır.



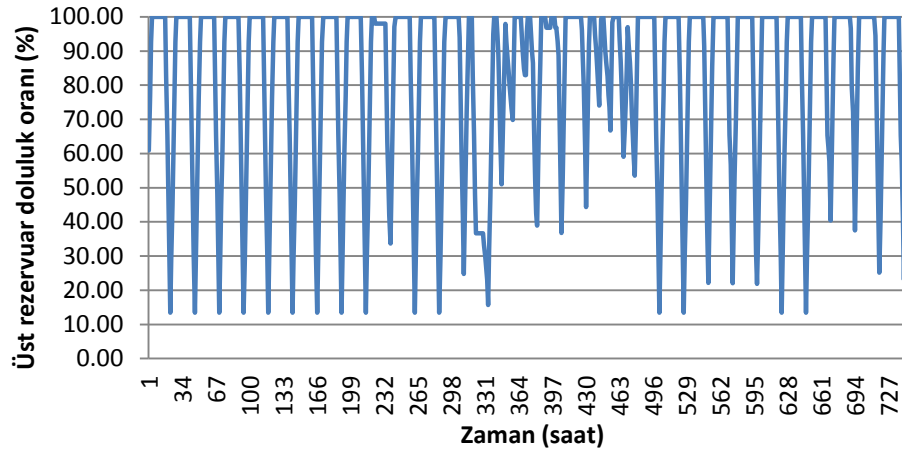
Şekil 4.36. Haziran ayında PHES, rüzgâr türbinleri ve şebekenin talebi karşılamada ki payları



Şekil 4.37. Haziran ayında üst rezervuar doluluk oranının değişimi

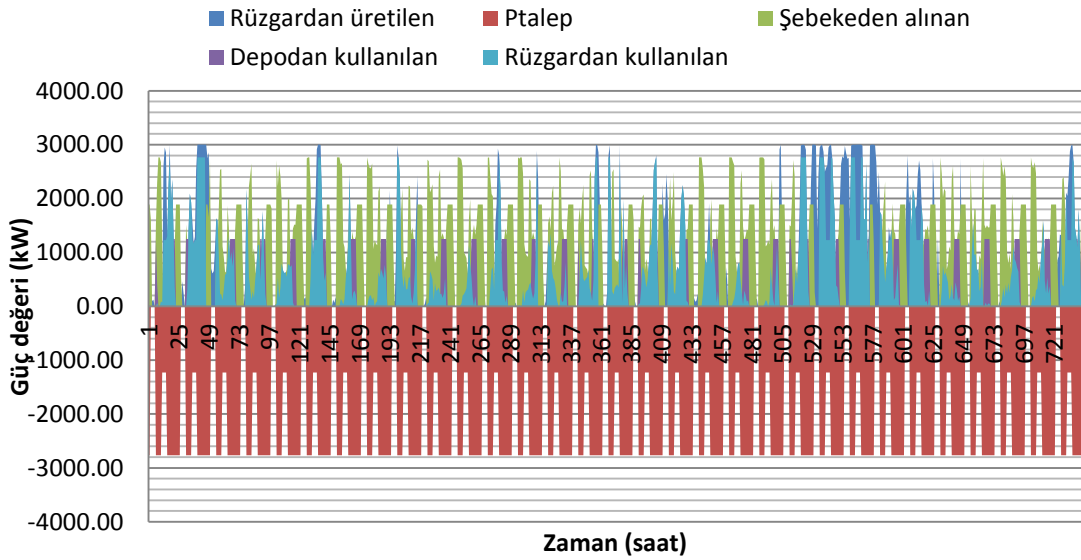


Şekil 4.38. Temmuz ayında PHES, rüzgâr türbinleri ve şebekenin talebi karşılamada ki payları



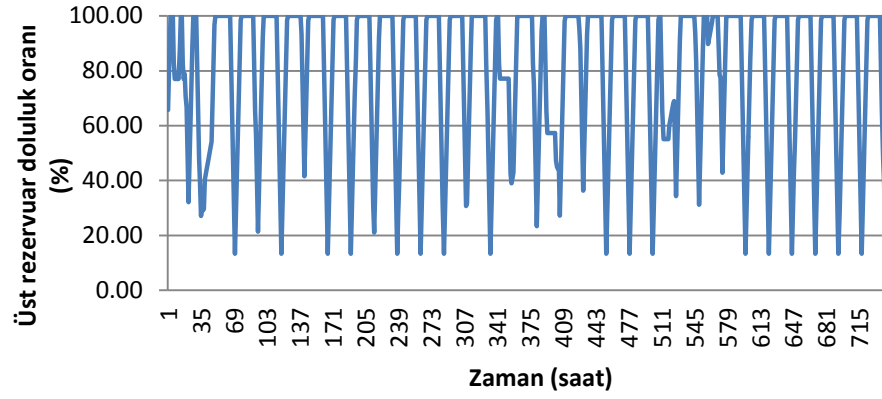
Şekil 4.39. Temmuz ayında üst rezervuar doluluk oranının değişimi

Ağustos ayında toplam enerji talebi 1,523,894 kWh'tır ve bu talebin %26.5'i (403,287 kWh) rüzgâr enerjisinden, %11.8'i, (179,869 kWh) PHES'ten, %61.7'si (940,738 kWh) ise şebekeden karşılanmıştır.



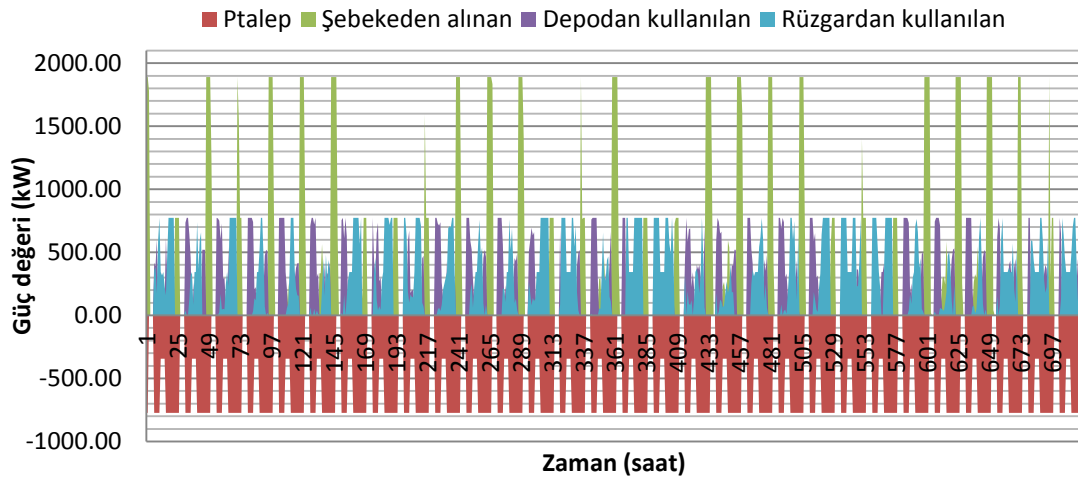
Şekil 4.40. Ağustos ayında PHES, rüzgâr türbinleri ve şebekenin talebi karşılamada ki payları

Eylül ayında toplam enerji talebi 412,432 kWh'tır ve bu talebin %40.1'i (165,554 kWh) rüzgâr enerjisinden, %31.9'u (131,400 kWh) PHES'ten, %28'i (115,477 kWh) ise şebekeden karşılanmıştır.

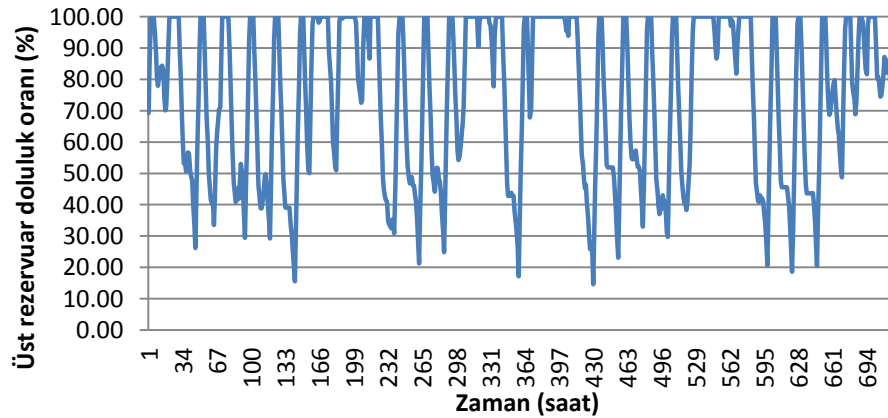


Şekil 4.41. Ağustos ayında üst rezervuar doluluk oranının değişimi

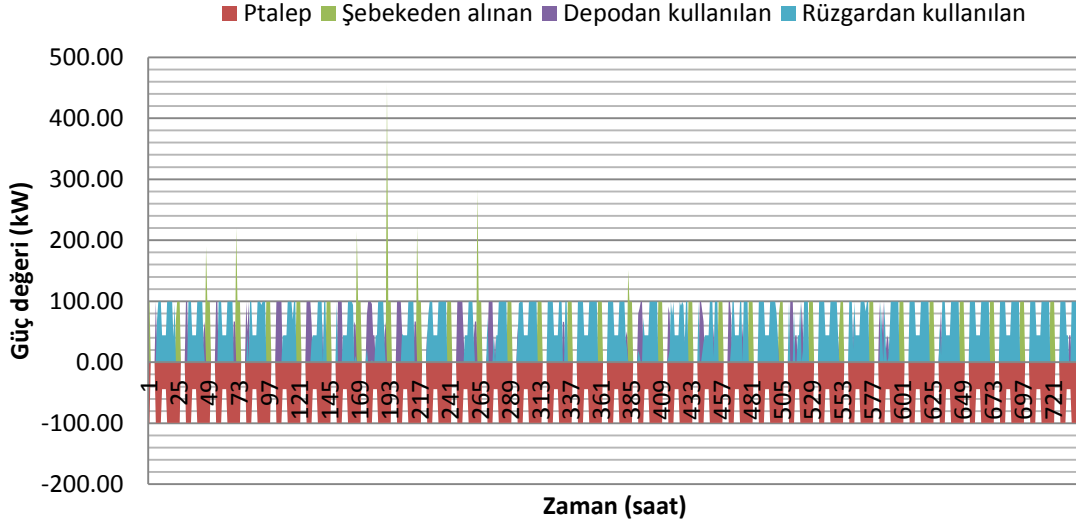
Ekim ayında toplam enerji talebi 54,731 kWh'tır ve bu talebin %61.4'ü (33,595 kWh) rüzgâr enerjisinden, %14.8'i (8102 kWh) PHES'ten, %23.8'i (13,034 kWh) ise şebekeden karşılanmıştır.



Şekil 4.42. Eylül ayında PHES, rüzgâr türbinleri ve şebekenin talebi karşılamada ki payları



Şekil 4.43. Eylül ayında üst rezervuar doluluk oranının değişimi



Şekil 4.44. Ekim ayında PHES, rüzgâr türbinleri ve şebekenin talebi karşılamada ki payları

Genel olarak bakıldığında sulama pompalarının kullanıldığı 7 aylık dönemde, toplam tüketimin (6 milyon kWh), %30.4'ü (1,823,743 kWh) rüzgâr enerjisinden, %14.3'ü (859,790 kWh) PHES'den, %55.3'ü ise (3,316,466 kWh) şebekeden karşılanmış, 7 aylık dönemde toplam 2,353,680 kWh ise şebekeye satılmıştır. Çizelge 4.14'de yer seçimi yapılmış sistem simülasyonunun özeti verilmiştir.

Çizelge 4.14. Yer seçimi yapılmış 1. Sistemin simülasyon özeti

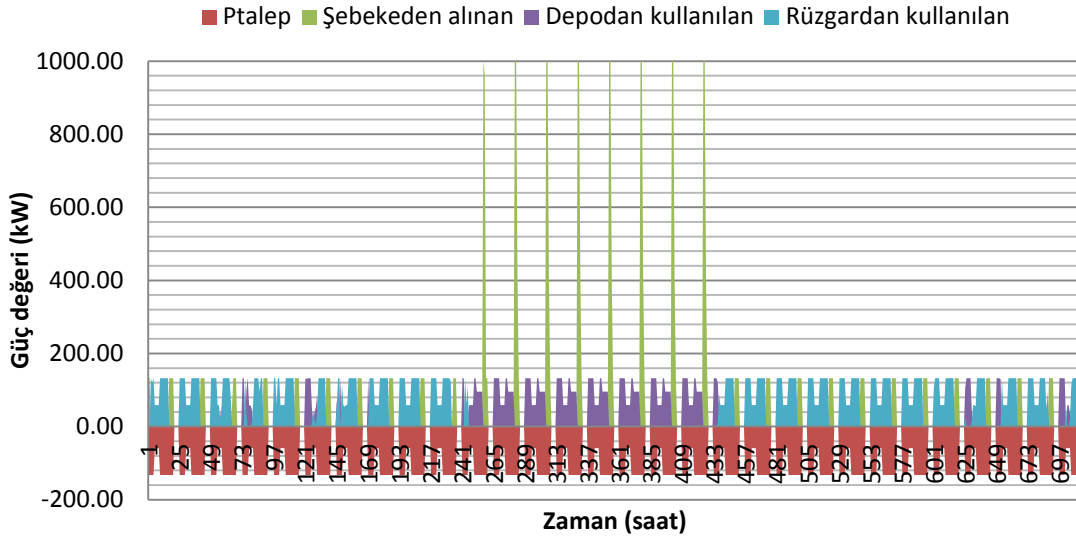
	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Genel
Toplam talep (MWh)	70.64	916.28	1168.18	1853.85	1523.89	412.43	54.73	6000
Rüzgârdan Kullanılan (%)	49.9	35.9	33.8	24.9	26.5	40.1	61.4	30.4
PHES'den kullanılan (%)	24.6	19.7	14.2	9.6	11.8	31.9	14.8	14.3
Şebekeden kullanılan (%)	25.4	44.4	52	65.5	61.7	28	23.8	55.3

4.12.2. Optimum parametreleri tespit edilmiş sistem için sonuçlar

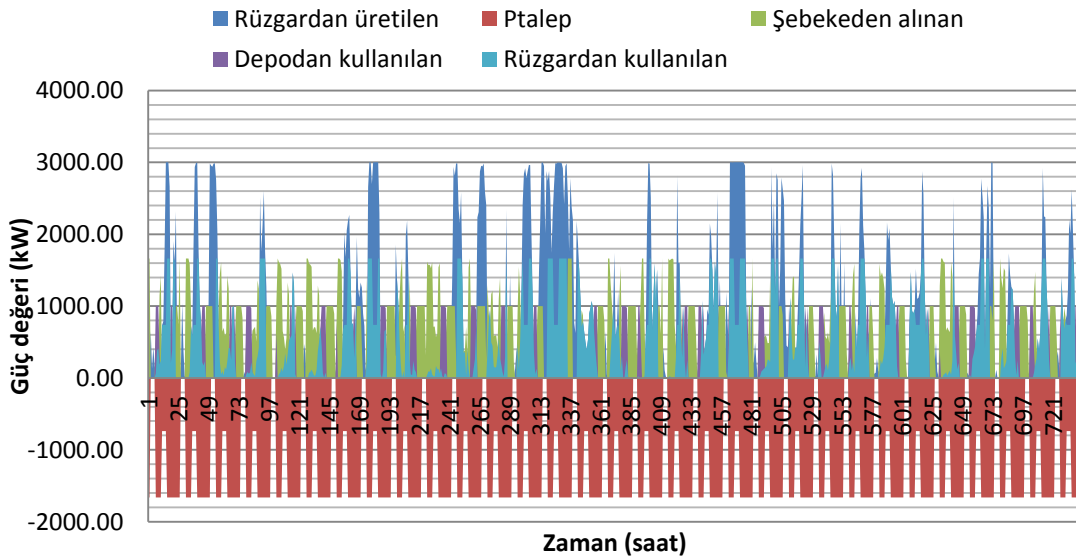
Daha önce de belirtildiği gibi optimum sistem için parametreler PHES pompası 1000 kW, PHES türbini 1000 kW, üst rezervuar maksimum depolama miktarı 6550

kWh olarak tespit edilmiştir. Rezervuar hacminin %10 unu güvenli bir çalışma için hep depoda tutulacaktır. Şekil 4.45 ile 4.56 arasında optimum parametreleri belirlenmiş sistem için simülasyon sonuçları verilmiştir.

Nisan ayında toplam enerji talebi 70,640 kWh'tır ve bu talebin yaklaşık %49.9'u (335,265 kWh) rüzgâr enerjisinden, %25'i (17,684 kWh) PHES'ten, %25'i (17,691 kWh) ise şebekeden karşılanmıştır.

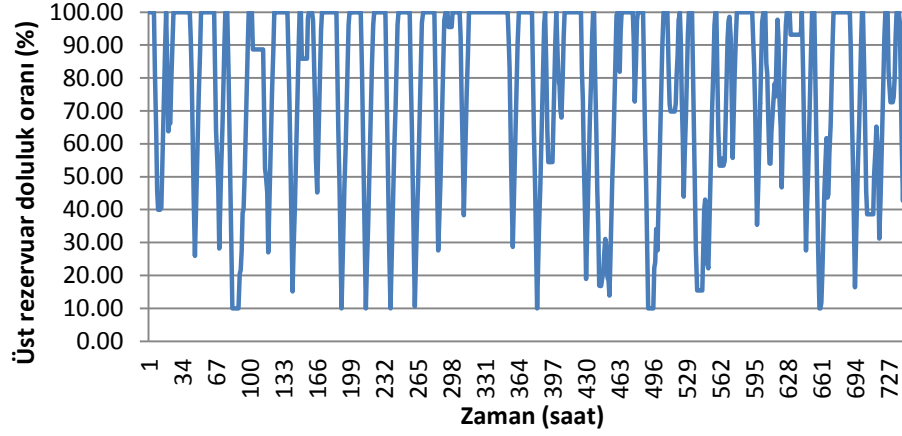


Şekil 4.45. Optimum sistem için Nisan ayında PHES, rüzgâr türbinleri ve şebekenin talebi karşılamada ki payları



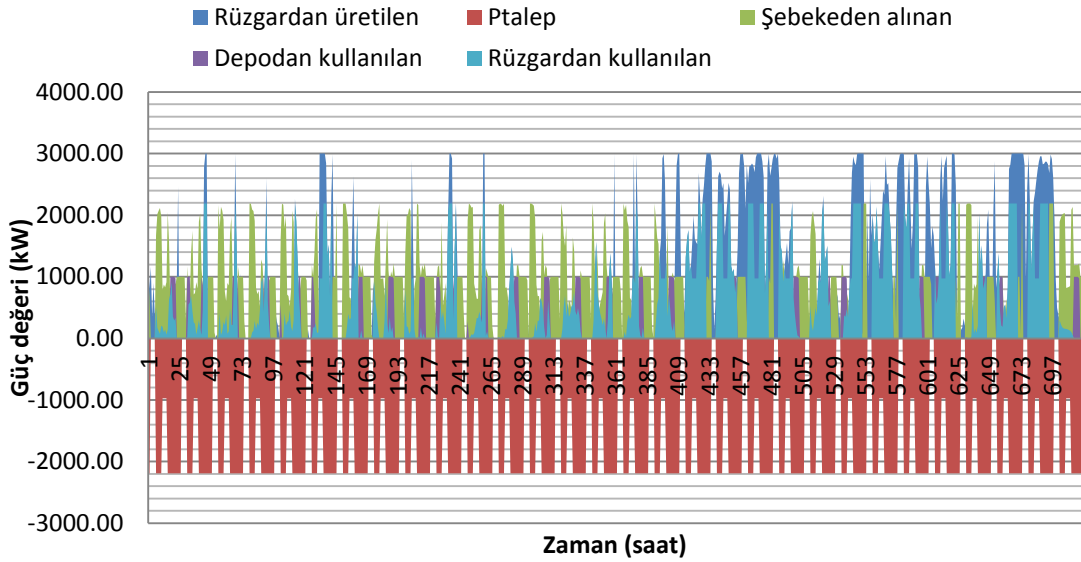
Şekil 4.46. Optimum sistem için Mayıs ayında PHES, rüzgâr türbinleri ve şebekenin talebi karşılamada ki payları

Mayıs ayında toplam enerji talebi 916,277 kWh'tır ve bu talebin %35.9'u (328,736 kWh) rüzgâr enerjisinden, %15.2'si (139,390 kWh) PHES'ten, %48.9'u (448,150 kWh) ise şebekeden karşılanmıştır.

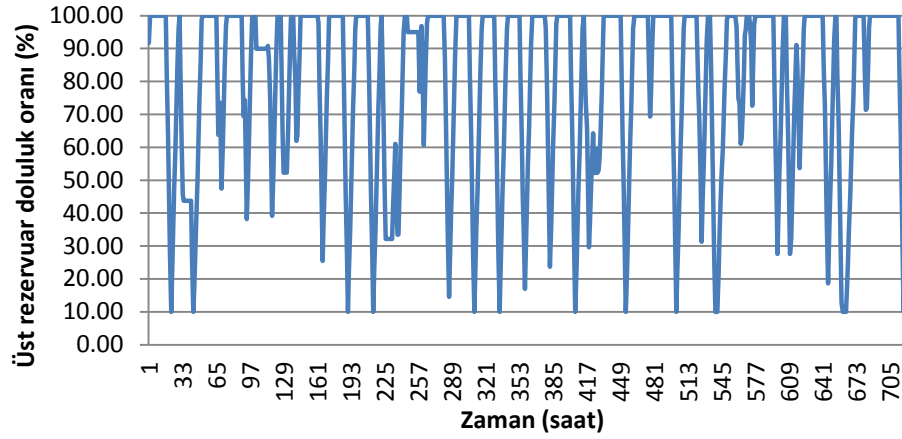


Şekil 4.47. Optimum sistem için Mayıs ayında üst rezervuar doluluk oranının değişimi

Haziran ayında toplam enerji talebi 1,168,181 kWh'tır ve bu talebin %33.8'i (395,208 kWh) rüzgâr enerjisinden, %11.2'si (131,932 kWh) PHES'ten, %54.9'u (641,041 kWh) ise şebekeden karşılanmıştır.



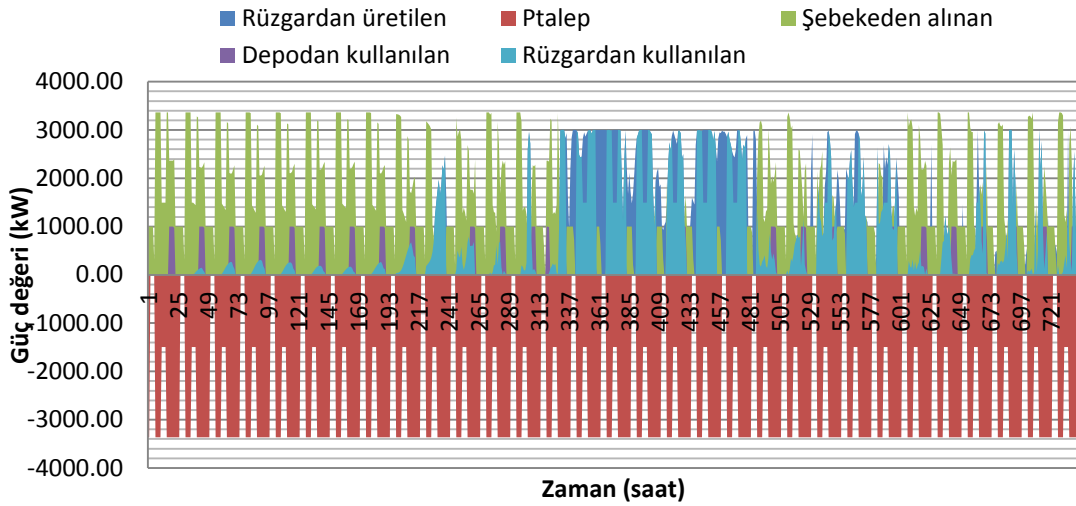
Şekil 4.48. Optimum sistem için Haziran ayında PHES, rüzgâr türbinleri ve şebekenin talebi karşılamada ki payları



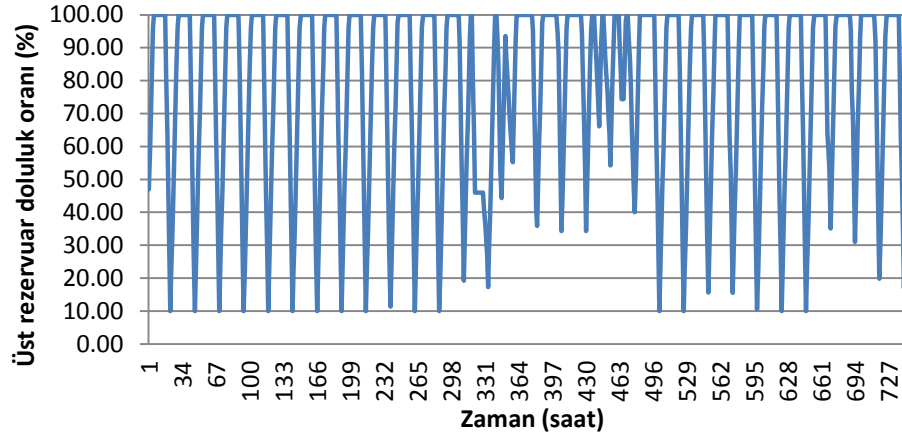
Şekil 4.49. Optimum sistem için Haziran ayında üst rezervuar doluluk oranının değişimi

Temmuz ayında toplam enerji talebi 1,853,845 kWh'tır ve bu talebin %24.9'u (462,098 kWh) rüzgâr enerjisinden, %7.8'i (144,349) PHES'ten, %67.3'i (1,247,398 kWh) ise şebekeden karşılanmıştır.

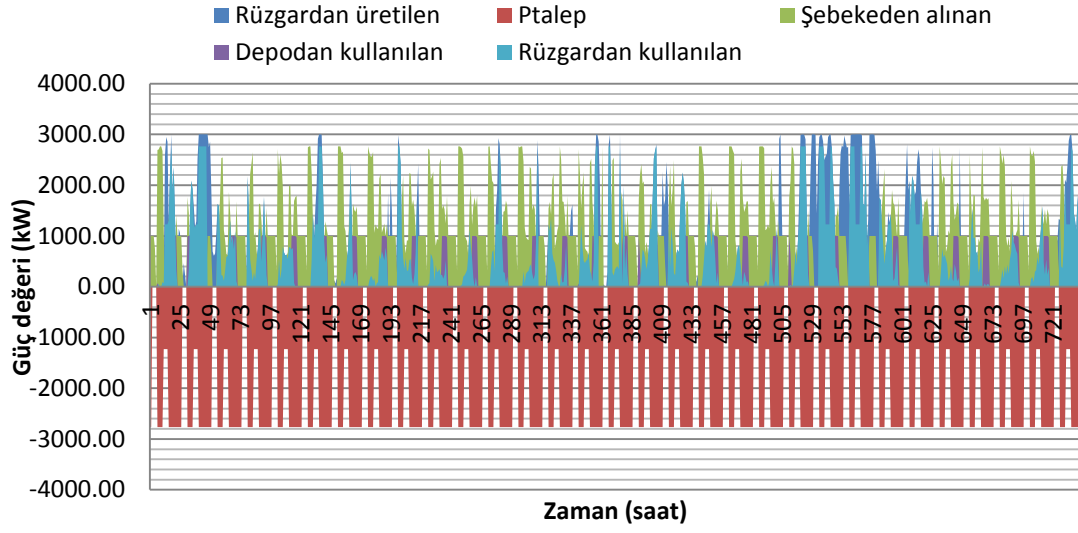
Ağustos ayında toplam enerji talebi 1,523,894 kWh'tır ve bu talebin %26.5'i (403,287 kWh) rüzgâr enerjisinden, %9.3'ü (141,809 kWh) PHES'ten, %64.2'si (978,798 kWh) ise şebekeden karşılanmıştır.



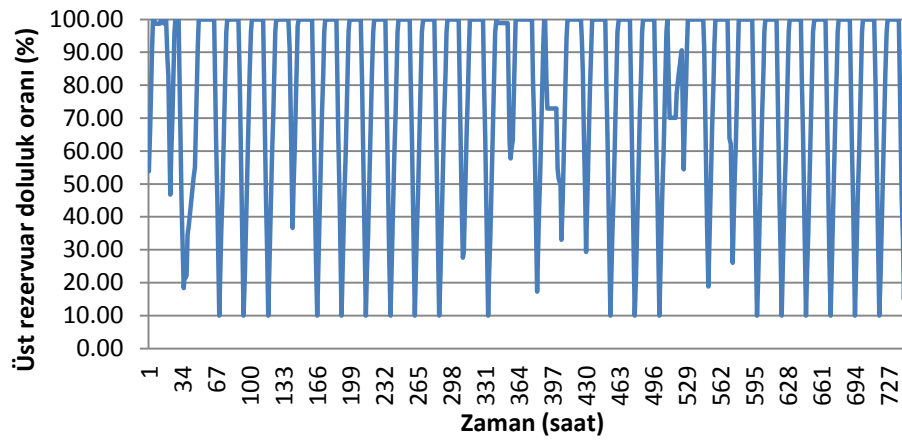
Şekil 4.50. Optimum sistem için Temmuz ayında PHES, rüzgâr türbinleri ve şebekenin talebi karşılamadaki payları



Şekil 4.51. Optimum sistem için Temmuz ayında üst rezervuar doluluk oranının değişimi

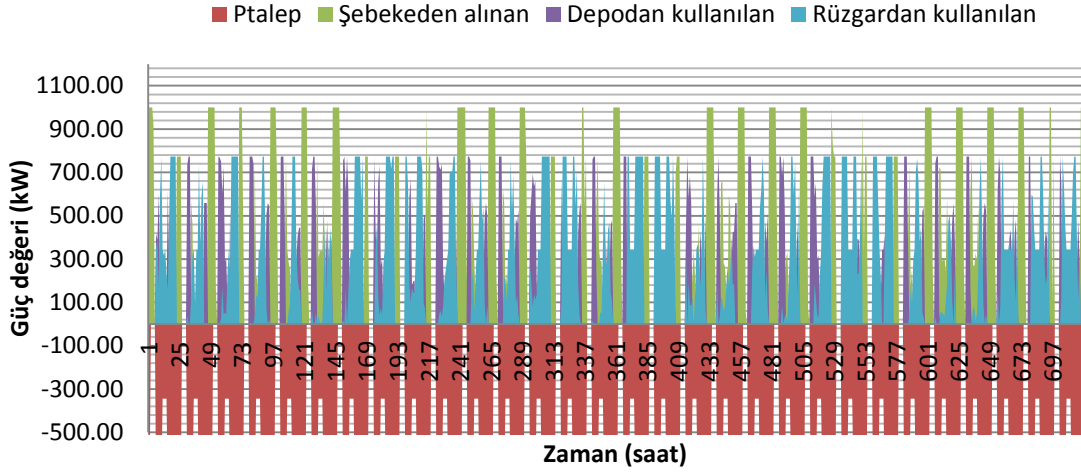


Şekil 4.52. Optimum sistem için Ağustos ayında PHES, rüzgâr türbinleri ve şebekenin talebi karşılamada ki payları

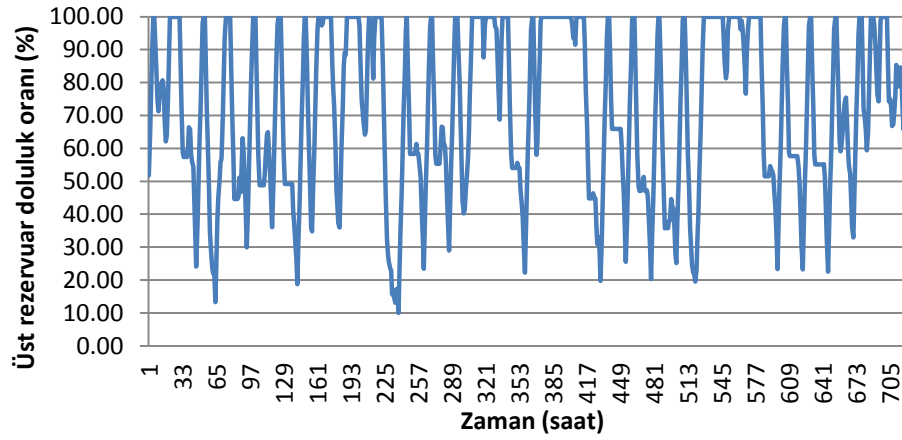


Şekil 4.53. Optimum sistem için Ağustos ayında üst rezervuar doluluk oranının değişimi

Eylül ayında toplam enerji talebi 412,432 kWh'tır ve bu talebin %40.1'i (165,554 kWh) rüzgâr enerjisinden, %27.6'sı (113,804 kWh) PHES'ten, %32.3'ü (133,074 kWh) ise şebekeden karşılanmıştır.

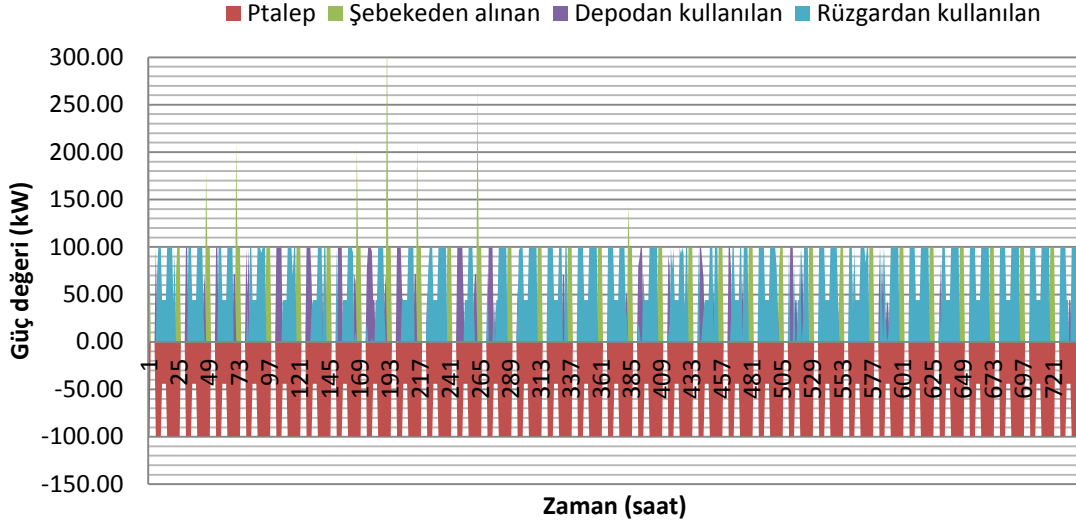


Şekil 4.54. Optimum sistem için Eylül ayında PHES, rüzgâr türbinleri ve şebekenin talebi karşılamada ki payları



Şekil 4.55. Optimum sistem için Eylül ayında üst rezervuar doluluk oranının değişimi

Ekim ayında toplam enerji talebi 54,731 kWh'tır ve bu talebin %61.4'ü (33,595 kWh) rüzgâr enerjisinden, %15'i (8212 kWh) PHES'ten, %23.6'sı (12,924 kWh) ise şebekeden karşılanmıştır.



Şekil 4.56. Optimum sistem için Ekim ayında PHES, rüzgâr türbinleri ve şebekenin talebi karşılamada ki payları

Genel olarak bakıldığında sulama pompalarının kullanıldığı 7 aylık dönemde, toplam tüketimin (6 milyon kWh), %30.4'ü (1,823,743 kWh) rüzgâr enerjisinden, %11.6'sı (697,180 kWh) PHES'den, %58'i ise (3,479,076 kWh) şebekeden karşılanmış, 7 aylık dönemde toplam 2,404,876 kWh ise şebekeye satılmıştır. 4.15'de optimum parametreleri belirlenmiş sistemin simülasyonunun özeti verilmiştir.

Çizelge 4.15. Optimum parametreleri belirlenmiş 2. sistemin simülasyon özeti

	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Genel
Toplam talep (MWh)	70.64	916.28	1168.18	1853.85	1523.89	412.43	54.73	6000
Rüzgârdan kullanılan (%)	49.9	35.9	33.8	24.9	26.5	40.1	61.4	30.4
PHES'den kullanılan (%)	25	15.2	11.2	7.8	9.3	27.5	15	11.6
Şebekeden kullanılan (%)	25	48.9	54.9	67.3	64.3	32.4	23.6	58

4.13. Ekonomik analiz

Bu bölümde simülasyonu uygulanmış her iki sisteminde ekonomik analizi yapılacak, basit geri ödeme süreleri (BGÖ) temel olarak enklem (4.5) ile, net bugünkü

değerleri (NBD) Denklem (4.6) ile ve iç karlılık oranları (IKO) ise Denklem (4.7) ile hesaplanmıştır (Ozerdem ve ark., 2006).

$$BGÖ=(C/SG) \quad (4.5)$$

Burada C yatırım maliyeti (TL), SG ise senelik net getiridir (TL).

$$NBD=\sum[(F-M)/(1+r)^n] \quad (4.6)$$

Burada F fayda, M maliyet, r iskonto, n ise projenin yıl cinsinden ömrüdür ve Bu çalışmada n 25 yıl, r ise %7 alınmıştır.

$$\sum[F/(1+r)^n]=\sum[M/(1+r)^n] \quad (4.7)$$

IKO'yu bulmak için gerekli değişkenler BGÖ ve NBD denklemlerinde ki değişkenler ile aynıdır. Yer seçimi yapılmış 1. sistemde optimum parametrelili 2. sistemden farklı olarak PHES pompası ve türbini fiyatlar özel şirketlerden alınmış olup sırasıyla 850.000 TL +KDV ve 500.000 TL + KDV'dir. Çizelge 4.16'de sistem elemanlarının birim maliyetleri verilmiş olup, PHES pompası, PHES türbini TL/kW fiyatları ve PHES üst rezervuarı için belirlenmiş olan TL/m³ fiyatları piyasa araştırması sonucu yapılmış fiyat tahminlerdir. PHES maliyeti hesaplanırken, sistem elemanlarının ve yapım masraflarının toplam maliyetlerinin %10 kadarı, diğer maliyetler olarak eklenmiştir.

Çizelge 4.16. Sistem elemanlarının birim maliyetleri

Sistem elemanı	Maliyet
Rüzgâr enerji santrali maliyeti	2,180,000 €/adet RT
PHES pompası	400 TL /kW
PHES türbini	800 TL /kW
PHES üst rezervuar	5 TL / m ³
PHES iletim hattı	957.6 TL/m (532 \$ / m)

Çizelge 4.17'da yer seçimi yapılmış 1. Sistem ve optimum parametrelili 2. Sistem için ekonomik parametreler verilmiştir.

Çizelge 4.17. Ekonomik parametreler

	Yer seçimi yapılmış sistem			Optimum parametreleri belirlenmiş sistem		
Toplam yatırım maliyeti (TL)	Rüz. T.	PHES	Toplam	Rüz. T.	PHES	Toplam
	10,028,000	2,833,402	12,861,402	10,028,000	2,313,211	12,341,211
Yıllık toplam şebekeden alınan (kWh)	3,316,466			3,481,066		
Yıllık toplam şebekeye satılan (kWh)	4,906,126			4,957,322		
Yıllık herhangi bir sistem kurulmadan enerji alınma ödenen miktar (TL)	1,224,306			1,224,306		
Yıllık toplam şebekeye satışlardan elde edilen gelir (TL)	637,804			644,364		
Yıllık toplam şebekeden alımlara verilen gider (TL)	573,542			575,212		
İşletme ve bakım masrafları (TL)	66,854			66,334		
Senelik entegre sistemden elde edilen net getiri (TL)	1,221,714			1,227,124		

İşletme bakım masrafları rüzgâr türbinleri için Avrupa Rüzgâr Enerjisi Birliği (EWEA) tarafından ilk iki sene için 0.3-0.4 c€/kWh ve altı yıldan sonrası için 0.6-0.7 c€/kWh verilmiştir (Anonymous, 2011t). Hidroelektrik santraller için ise işletme ve bakım masrafları 0.203 c€/kWh olarak tahmin edilmiştir (Oguz , 2008). Hesaplamalarda rüzgâr türbinleri için yeni teknoloji olmasından dolayı yıllık işletme ve bakım masrafı 0,4 c€/kWh kullanılmış ve PHES için ise 0.203 c€/kWh değerinin PHES yatırım maliyetinin yaklaşık %0.1'i olduğu kabul edilmiş ve bu değer kullanılmıştır. Çizelge 4.18'de her iki sistem için de ekonomik analiz sonuçları verilmiştir.

Ekonomik analiz yapılırken PHES'in sulama pompalarının kullanılmadığı 5 aylık periyotta çalıştırılmadığı kabul edilmiştir. Eğer bu dönemde devlet ile bir anlaşma yapıp, PHES gece enerji ucuz iken enerji satın alıp, gündüz 3 kr/kWh kar ile satılır ise BGÖ, yer seçimi yapılmış birinci sistem için 10.23 yıla, optimum parametreleri belirlenmiş sistem için 9.84 yıla düşecektir. Ayrıca gelişmiş ülkelerde uygulanan karbondioksit pazarı uygulaması Türkiye'de de uygulanırsa BGÖ daha da aşağı düşecektir.

Çizelge 4.18. Her iki sistem için de ekonomik analiz sonuçları

	Yer seçimi yapılmış sistem	Optimum parametreleri belirlenmiş sistem
Toplam yatırım maliyeti (TL)	12,861,402	12,341,211
Yıllık herhangi bir sistem kurulmadan enerji alımına ödenen miktar (TL)	1,224,306	1,224,306
Yıllık toplam şebekeye satışlardan elde edilen gelir (TL)	637,804	644,364
Yıllık toplam şebekeden alımlara verilen gider (TL)	573,542	575,212
Yıllık getiri (TL)	1,288,568	1,293,458
İşletme ve bakım masrafları (TL)	66,854	66,334
Senelik entegre sistemden elde edilen net getiri (TL)	1,221,714	1,227,124
Net bugünkü değer (NBD)	1,375,943.72 TL	1,959,180.60 TL
Basit geri ödeme süresi (BGÖ)	10.53 yıl	10.06 yıl
İç karlılık Oranı (İKO)	%8.16	%8.71

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada Alibeyhüğü sulama pompalarının enerji tüketimlerinin rüzgâr enerjisi-pompaj depolamalı hibrit güç sistemi ile karışlanması üzerine analizler yapılmıştır. Tez çalışması sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- Bölgede enerji üretimi için, seçilen 5 rüzgâr türbininden en uygunu Vensys V87'dir ve bu rüzgar türbini ile yaklaşık %30 kapasite faktörü ile yıllık yaklaşık 7 milyon kWh enerji üretilebilir. Üretilecek enerjinin birim maliyeti yaklaşık 0.0342 €/kWh'tır
- Tez çalışması yapılan bölge gibi düşük/orta seviyede rüzgâr enerjisi üretim potansiyeline sahip bölgelerde yüksek rotor çapına sahip rüzgâr türbinleri kullanılarak ortalama/iyi bir kapasite faktörü elde edilebilir.
- Yaklaşık yıllık üretim miktarı baz alındığında, Türkiye'de 2009 yılı için geçerli olan 1 kWh elektrik enerjisi üretmek için ortalama 0.5 kg CO₂ salınımının yapıldığı dikkate alınırsa, yıllık yaklaşık 3500 ton CO₂ salınımdan, kurulacak 3 MW kapasiteli rüzgâr santrali ile tasarruf edilebilir (Anonymous, 2011ü).
- May barajı eteğinde 1.25 MW kapasiteli bir PHES kurulabilir ve depolama tesisi olarak kullanılabilir.
- Tasarlanan Rüzgâr enerji istasyonu (3 MW) ve May barajı eteğine kurulan sistem ile (yer seçimi yapılmış sistem) sulama pompalarının enerji ihtiyacının %30.4'ü rüzgâr türbinlerinden, %14.3'ü PHES 'den, %55.3'ü şebekeden karşılanabilir.
- Uygulanan algoritma için optimum PHES parametreleri 1000 kW hidrolik pompa, 1000 kW hidrolik türbin, 6550 kWh depo kapasitesidir.
- Tasarlanan Rüzgâr istasyonu ve Optimum parametrelili PHES ile sulama pompalarının enerji ihtiyacının %30.4'ü rüzgâr türbinlerinden, %11.6'sı PHES'den, %58'i şebekeden karşılanabilir.
- Yer seçimi yapılmış PHES'e sahip 1. sistem ile yıllık 1,221,714 TL, optimum parametreleri belirlenmiş PHES'e sahip 2. sistem ile yıllık 1,227,124 TL gelir elde edilebilir ve bu sistemlerin basit geri ödeme süreleri sırasıyla 1. ve 2. sistem için 10.53 ve 10.06 yıldır. BGÖ'ler enerjinin gece vakitlerinde ucuz iken alınıp,

daha sonra satılıp kâr yapılmasıyla veya ülkemizin karbon piyasası gibi bir oluşum içine girmesiyle düşürülebilir.

- PHES’lerin rüzgâr enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji üretim sistemlerindeki üretim dalgalanmalarını önlemek için çok uygun olduğu ve etkin bir şekilde kullanılabilecekleri sonucuna varılmıştır.

5.2 Öneriler

Tez çalışması sonucunda yapılabilecek öneriler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yenilenebilir enerji sistemlerinin kurulması aynı zamanda depolama sistemlerinin kurulmasını gerektirir, depolama sistemlerinin kurulması ile enerji üretiminde ki dalgalanmaların etkisi en aza indirilebilir.
- Depolama sistemlerin kurulması ile iletim kayıpları azaltılabilir, enerji daha verimli kullanılabilir. Depolama sistemlerinin sağladığı verimlilik artışı ile ilgili çalışmalar yapılabilir.
- Pompaj depolamalı sistemler, diğer yığın depolama sistemlerine göre daha eski ve sağlam bir alt yapıya sahiptirler. Bu sistemler yıllardan beri gelişmiş ülkelerde kullanılmaktadır. Verimlilikleri ve kapasiteleri diğer önemli yığın depolama sistemleri olan hava sıkıştırmalı depolama sistemleri ve bataryalı depolama sistemlerine göre daha iyidir. Bu yüzden, eğer ülkemizde bir depolama sistemi kurulması isteniyorsa, hidrolik enerji konusunda da tecrübeli olan ülkemiz için en doğru tercih pompaj depolamalı hidroelektrik santraller olacaktır.
- Yenilenebilir Enerji sistemlerinde üretim dalgalanmalarının etkisinin azaltılması için hibrit sistemler iyi bir çözümdür. Örneğin, güneş enerjisi sistemleri öğleden sonraki ve ikindiden önceki vakitlerde, rüzgâr enerjisi sistemleri ise tez çalışmasından elde edilen ortalama saatlik üretim grafiğinden (Şekil 4.24) elde edilen sonuca göre ikindi ve ikindi sonraki vakitlerde daha etkin çalışırlar. Burdan bu iki sistemin hibrit olarak kullanılmasının uygun olduğu sonucuna varılabilir.
- Ülkemizde depolama sistemleri üzerine daha ciddi çalışmalar yapılmalıdır. Özellikle PHES’lerin kurulması üzerine araştırmalar arttırılmalıdır.
- Ülkemizde enerji depolama üzerine yapılan çalışmaların sayısı artmalıdır.

KAYNAKLAR

- Aksoy M. H., Güneş ve rüzgâr enerjisi ile çalışan su pompalama sisteminin deneysel olarak incelenmesi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- Altunsoy, İ., 2011, Zaman Gazetesi, Rüzgâr gülüne takviye için 10 barajın suyu dağa çıkarılacak, 26.06.2011, Ankara.
- Anagnostopoulos J. S., Papantonis D. E., 2007, Pumping station design for a pumped-storage wind-hydro power plant, Energy Conversion and Management, 48, 3009–3017
- Anonim, 2005, Hidrolik Sistemler, Meslekî Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi (Megep), Ankara.
- Anonim, 2006a, Elektrik işleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Resmi internet sayfası, [aaaaawww.eie.gov.tr](http://www.eie.gov.tr), [ziyaret tarihi: 19 Ağustos 2011].
- Anonim, 2006b, U.S Energy Information Administration, Energy Information Administration international statistics database, www.eia.gov [ziyaret tarihi: 11Eylül 2011].
- Anonim, 2007, Hidrolik Pompalar, Meslekî Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi (Megep), Ankara.
- Anonim, 2008, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Mudurluğu, PHES İlk Etüt Raporları.
- Anonim, 2009a, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, FR (Faaliyet Raporu), Ankara.
- Anonim, 2009b, standart pompa ve mak. san. tic.aş., pompa seçim programı (SPS 3.12), http://www.standartpompa.com/sps/spsinstall_light.exe.
- Anonim, 2010a, Electrical Power Resources and Development Administration (EIEI), Wind Power Potential Analysis, Ankara, Turkey.
- Anonim, 2010b, DSI, Turkish State Hydraulic Works. 2010. Activity Report (AR), Ankara, Turkey. http://www2.dsi.gov.tr/faaliyet_raporlari/2010_faaliyet_raporu.pdf [ziyaret tarihi: 10.10.2012].
- Anonim, 2010c, Hidrolik enerji ve türbinler, Tekno Tasarım Mühendislik, Bursa.
- Anonim, 2011a, Devlet Meteoroloji Enstitüsü, DMİ, Türkiye Rüzgâr Atlası, Ankara.
- Anonim, 2011b, TEDAS Temmuz 2011 Elektrik Tarifesi, www.tedas.gov.tr, [ziyaret tarihi: 20 Eylül 2011].

- Anonim, 2011c, Türkçe Bilgi, Lityum iyon pil [online], http://www.turkcebilgi.com/lityum_ion_pil/ansiklopedi, [ziyaret tarihi: 03 Ekim 2011].
- Anonim, 2011d, Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), www.enerji.gov.tr
- Anonim, 2012a, Makine Mühendisleri Odası (MMO), Türkiye'nin Enerji Görünümü (Energy Outlook of Turkey).
- Anonim 2012b, Enerji Piyasası düzenleme kurumu web sitesi. www.epdk.gov.tr, [ziyaret tarihi: 10 Temmuz 2012].
- Anonymous, 1999, IEA-Hydro, www.ieahydro.org [online], [ziyaret tarihi: 16 Eylül 2011].
- Anonymous, 2001, E. A. Technologies. "Review of electrical energy storage technologies and systems and of their potential for the UK," vol.89, no.12, pp.1744-1756
- Anonymous, 2006a, Renewables Global Status Report 2006 Update (*REN21*).
- Anonymous, 2008a, International Energy Agency (IEA), Energy statics, Key Stats.
- Anonymous, 2008b, International Energy Agency (IEA), Energy statics, Share of Energy supply in 2008 in Turkey.
- Anonymous, 2009a, *The Economist*, "Binge and purge", http://www.economist.com/node/12970769?story_id=12970769, [ziyaret tarihi: 12 Eylül 2011]
- Anonymous, 2009b, European Commision (EC), Strategic Energy Technology Plan [online], setis.ec.europa.eu, [ziyaret tarihi: 17 Eylül 2011].
- Anonymous, 2009c, Full charge ahead [online], kn.theiet.org/magazine/issues/0906/full-charge-0906.cfm, [ziyaret tarihi: 06 Nisan 2009].
- Anonymous, 2009d, European Commision (EC), Technology Map of the European Strategic Energy Technology Plan, Petten, Hollanda.
- Anonymous, 2010a, , Wind Power Increase in 2008 Exceeds 10-year Average Growth Rate[online],<http://www.worldwatch.org/node/6102?emc=el&m=239273&l=5&v=ca5d0bd2df> [ziyaret tarihi: 08 Eylül 2011].
- Anonymous, 2010b, IEA Hydropower, Hydropower - A Key To Prosperity in The Growing World.
- Anonymous, 2010c European Biomass Association (AEBIOM), Annual Report, Brussels, Belçika.

Anonymous, 2011a, Council of the European Union, 2011, Key Figures, Market Observatory for Energy

Anonymous, 2011b, Rüzgâr Gücü, http://tr.wikipedia.org/wiki/R%C3%BCzg%C3%A2r_g%C3%BCc%C3%BC [online], [ziyaret tarihi: 9 Eylül 2011].

Anonymous, 2011c, World Wind Energy Association, World Wind Energy Report 2010.

Anonymous, 2011d, Renewables 2011 (REN21), Global Status Report, Paris, Fransa.

Anonymous, 2011e, European Wind Energy Association (EWEA), Statics and targets.

Anonymous, 2011f, Hydroelectricity [online], www.wikipedia.org/hydroelectricity, [ziyaret tarihi: 12 Eylül 2011].

Anonymous, 2011g, Tennessee Valley Authority (TVA), Diagram of the TVA pumped storage facility at Raccoon Mountain Pumped-Storage Plant [online] <http://www.tva.gov/power/pumpstorart.htm> [ziyaret tarihi: 14 Eylül 2011].

Anonymous, 2011i, U.S Energy Information Administration, 2011, International Energy Statics, Washington, ABD.

Anonymous, 2011j, Wikipedia, Compressed air energy storage (CAES) [online], http://en.wikipedia.org/wiki/Compressed_air_energy_storage, [ziyaret tarihi: 24 Eylül 2011].

Anonymous, 2011k, Dresser-Rand, Compressed Air Energy Storage (CAES) [online], www.dresser-rand.com, [ziyaret tarihi: 24 Eylül 2011].

Anonymous, 2011L, Wikipedia, Sodium-Sulphur Batteries [online], http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium%E2%80%93sulfur_battery, 2011, _____ [ziyaret tarihi: 26 Eylül 2011].

Anonymous, 2011m, Electricity Storage Association (ESA), Sodium-Sulphur Batteries [online], www.Electricitystorage.org, [ziyaret tarihi: 26 Eylül 2011].

Anonymous, 2011n, Golden Valley Electric Association, Battery Energy Storage System [online], www.gvea.com/about/bess/, [ziyaret tarihi: 04 Ekim 2011].
Collinson, A., 2000, EA Technology Ltd., Energy storage, İngiltere.

Anonymous, 2011r, Wikipedia, Superconducting magnetic energy storage [online], http://en.wikipedia.org/wiki/Superconducting_magnetic_energy_storage, [ziyaret tarihi: 08 Ekim 2011].

Anonymous, 2011s, Renewable energy policy network (REN 21), Global Status Report.

- Anonymous, 2011ş, Wikipedia, Güneş enerjisi [online], http://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%BCne%C5%9F_enerjisi, [ziyaret tarihi: 12 Ekim 2011].
- Anonymous, 2011t, Rüzgâr Türbini, http://tr.wikipedia.org/wiki/R%C3%BCzg%C3%A2r_t%C3%BCrbini#Yatay_eksenli [online], [ziyaret tarihi: 30 Aralık 2011].
- Anyonymous, 2011u, The European Wind Energy Assosiation (EWEA), Wind energy Volume 2 – Costs & Prices.
- Anyonymous, 2011ü, European Union- Country reports | Trends in global energy efficiency 2011.
- Anonymous, 2012a, Alstom Group, Francis hydro turbines [online], <http://www.alstom.com/power/renewables/hydro/hydro-turbines/francis-turbines/> [ziyaret tarihi: 16 Mart 2012].
- Anonymous, 2012b, BP Statistical Review of World Energy June 2012.
- Anonymous, 2012c, World Watch Instute, www.worlwatch.org.
- Antics M., Sanner B., 2007, Proceedings European Geothermal Congress Status of Geothermal Energy Use and Resources in Europe,2007 Unterhaching, Germany
- Banos R., Manzano-Agugliaro F., , Montoya F.G., Gil C., Alcayde A., Gomez J., 2011, Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 1753–1766.
- Birghentha J., 1980, National Historic Mechanical Engineering Landmark, Kaplan Turbine, Hydroelectric Station,York Haven, Pennsylvania
- Bueno C., Carta J.A., 2006, Wind powered pumped hydro storage systems,a means of increasing the penetration of renewable energy in the Canary Islands, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 10, 312–340
- Castronuovo D.E., Lopes J.o, 2004, Optimal operation and hydro storage sizing of a wind–hydro power plant, Electrical Power and Energy Systems, 26,771–778.
- Crotogino F, Mohmeyer K., Scharf R., 2001, Huntorf CAES:More than 20 Years of Successful Operation Orlando, Florida, Amerika.
- DeCorso, R., Davis L., 2006, Parametric Study Of Payoff In Applications Of Air Energy Storage (Caes) Plants - An Economic Model For Future Applications, Power Gen International, Las Vegas.
- Demirbas, A., 2008. Importance of biomass energy sources for Turkey. Energy Policy 36, 834–842.

- Denault M., Debbie D., Couture S., 2009, Complementarity of hydro and wind power: Improving the risk profile of energy inflows, *Energy Policy*, 37, 5376–5384.
- Dinglin L., Yingjie C., Kun Z, Ming Z., 2012, Economic evaluation of wind-powered pumped storage system, *The 2nd International Conference on Complexity Science & Information Engineering, Systems Engineering Procedia* 4, 107 – 115.
- Dursun, B., 2010, Türkiye’de Hazneli Pompalı Rüzgâr-Hidrosantrallerinin Uygulanabilirliğinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Dursun B., Alboyaci B., Gokcol C., 2011, Optimal wind-hydro solution for the Marmara region of Turkey to meet electricity demand, *Energy*, 36,864-872 .
- Dursun B., Alboyaci B., 2010, The contribution of wind-hydro pumped storage systems in meeting Turkey’s electric energy demand, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 ,1979–1988.
- Duque A.J., Castronuovo E. D., Sánchez I., Usaola J., 2011, Optimal operation of a pumped-storage hydro plant that compensates the imbalances of a wind power producer, *Electric Power Systems Research* 81,1767– 1777
- Ergür Ö., 2006, ‘ ‘ Rüzgâr Türbinleri ile elektrik üretimi’ ’, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
- Fridleifsson, Ingvar B., Bertani, Ruggero, Huenges, Ernst; Lund, John W., Ragnarsson, Arni, Rybach, Ladislaus 2008, O. Hohmeyer and T. Trittin, ed. (pdf), *The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change*, Luebeck, Germany, 59–80
- Glasnovic Z., Margeta J., 2007, “A model for optimal sizing of photovoltaic irrigation water pumping systems” *Solar Energy*, 81, 904–916.
- Haktanır, D., 2001, ‘ ‘Rüzgâr Enerjisi Geleceğin Enerji Kaynağı Olabilir mi?’ ’, Kıbrıs
- Hannig, F., Smolink T., Bretschneider P., Nicolai S., Krüger S., Meißner F., Voigt M., 2009, BMWI, —Stand und Entwicklungspotenzial der Speichertechniken für Elektroenergie – Ableitung von Anforderungen an und Auswirkungen auf die Investitionsgüterindustrie.
- Harrack, B., 2010, Vision of Earth, Why energy storage is usefull [online], <http://www.visionofearth.org/industry/renewable-energy/renewable-energy-review/why-electrical-energy-storage-is-useful/>, [ziyaret tarihi: 19 Ekim 2011].
- Hau, E. 1996. Windkraftanlagen, Springer Verlag, Berlin.
- Hesami M.A., Bowly D. R., 2011, Economic feasibility and optimisation of an energy storage system for Portland Wind Farm (Victoria, Australia) , *Applied Energy*, 88, 2755–2763.
- Holm, A., Blodgett L., Jennejohn D., Hoolm, K.G, 2010, Geothermal Energy Association. Geothermal Energy: International Market Update, Washington, 4-7.

- Hsu, J., 2010, Texas Town Installs a Monster Battery for Backup Power [online], <http://www.popsci.com/technology/article/2010-04/texas-town-turns-monster-battery-backup-power>, [ziyaret tarihi: 05 Ekim 2011].
- Kampke, A., 2007, Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Stromspeicher Teil 1 [on], www.ipp.mpg.de/ippcms/ep/ausgaben/ep200703/0307_pumpspeicher.html, [ziyaret tarihi: 18 Eylül 2011].
- Karaçay, P., 2010, Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller ve Türkiye’deki Durum, İstanbul Teknik Üniversitesi · Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Kaya H., “Rüzgâr Türbini Tahrikli Değişken Stoklu Pistonlu Pompa Sistemi Tasarımı Ve Çalışma Karakteristiklerinin Deneysel İncelenmesi”, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- Kenny, Y. C. Cheung, Simon T. H., Cheung, R. G., De Silva, N., Matti, P. T., Singh, J. R., Woo, J. J., 2003, Large-Scale Energy Storage Systems, , Imperial College London,
- Khartchenko, N., 1998, Advanced Energy Systems. Washington DC: Taylor & Francis.
- Kleimaier, M., 2009, Energietechnische Gesellschaft im VDE, Speichertechnologien, Hannover, Almanya.
- Köse Ö. O., 2009, ‘Hidroelektrik Güç Sistemleri ve Hidrolik Türbinler’ Küçük Türbin Generatör ve Tesisler İşletme Müdürlüğü Ankara.
- Kose F., Kaya M. N., 2012, The Importance of Renewable Energy Sources for Sustainable Development in Turkey, 1th International Conference Sustainable Business and Transitions for Sustainable Development, Konya.
- Layman, 1998, Layman's Handbook On How To Develop A Small Hydro Site, Brüksel, Belçika.
- Miller, K. R., 2009, Utility Energy Storage. Atalanta: RKMA
- Modi, V.J., Fernando, M.S.U.K., 1989, “On The Performance of The Savonius Wind Turbine”, Journal of Solar Energy Engineering, Vol.111, 71-81.
- Masonryi, E., 1966. Hydroelectric Power Plants, Düsseldorf.
- Naish C., McCubin I., Edberg O., Harfoot M., 2007, European Parliament, Policy Department Economic and Scientific Policy, , Outlook of energy Storage Technologies, Brussels.
- Nelson, W. 2009, Wind Energy-Renewable Energy and the Environment, Taylor & Francis Group, LLC

- NEWMAN, B.G., 1974, "Measurements on Savonius Rotor with Variable Gap, Proceedings of the University of Sherbrooke Conference on Wind Energy", Sherbrooke, Quebec, 116s, Canada.
- Ngoc P.D.N, Pham T.T.H.,Bacha S, Roye D.,2009, Optimal operation for a wind-hydro power plant to participate to ancillary services, ICIT '09 Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Industrial Technology
- Nurbay N., Çınar A., 2005, Rüzgâr Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle Karşılaştırılması, Kocaeli, Türkiye.
- Öger, Ö. G., 2006, Pelton Tipi Rüzgâr Türbini Kullanarak Elektrik Enerjisi Üretme Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara
- Oguz S., 2008, Renewable energy and small hydroelectric plants, VII. National Clean Energy Conference, Istanbul, Turkey, 17-19 December.
- Ozdamar, A., Yildiz, H., Sar, O., "Wind energy utilization in a house in Izmir, Turkey", *International Journal of Energy Research*, vol:25, no:3, 253-261, (2001).
- Ozerdem, B., Ozer, S. and Tosun, M., Feasibility study of wind farms: A case study for Izmir, Turkey. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 94 (2006), pp. 725–743.
- Patel, M.R., 1999, Wind and Solar Power Systems, Second Edition, CRC Press,Taylor&Francis Group.
- Shoppe, C., 2010, Wind and Pumped-Hydro Power Storage: Determining Optimal Commitment Policies with Knowledge Gradient Non-Parametric Estimation, Princeton University, New Jersey, Amerika.
- Skyllass, M., 2011, An Historical Overview of the Vanadium Redox Flow Battery Development at the University of New South Wales, Australia, <http://www.vrb.unsw.edu.au/about-us/history-of-vanadium-redox-battery.html>, [ziyaret tarihi: 04 Ekim 2011].
- Smith, B. E., The Metropolitan Edison Company, 1930, "The Kaplan Adjustable Blade Turbine", B.E. Smith, Secretary, S. Morgan Smith Company; Transactions, paper # HYD-52-8.
- Şen, Z., 2002, "Temiz Enerji Kaynakları", Su vakfı yayınları, İstanbul.
- Sülün M., 2007, " Rüzgâr Enerjisi", Bitirme Projesi, İzmir
- Temiz İ., "Rüzgâr enerji sistemlerinde optimizasyon", İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı, Yüksek lisans tezi, 2010

- Urban F., Mitchell T., 2011, Climate change, disasters and electricity generation, London: Overseas Development Institute and Institute for Development Studies, Londra, İngiltere.
- USHIYAMA,I. ve NAGAI,H., 1988, “Optimum Design Configurations and Performance of Savonius Rotors” Wind Engineering Vol. 12 (1), 59-75.
- Ültanır, M.Ö., 1998, 21. Yüzyıla Girerken Türkiye’ nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi, TÜSİAD-Türk Sanayicileri ve iş adamları Derneği, yayın no. TÜSİAD T/ 98-12/239, İstanbul.
- Yomogita, H., 2008, Can Batteries Save Embattled Wind Power? [online], <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/HONSHI/20080924/158411/?P=3>, [ziyaret tarihi: 29 Eylül 2011].
- Varkani A.K., Daraeepour A., Monsef H., 2011, A new self-scheduling strategy for integrated operation of wind and pumped-storage power plants in power markets, Applied Energy, 88,5002–5012
- Velosco M., Probst O., Avecedo S., 2005, Theory of Wind-Electric Water Pumping, Renewable Energy.
- Jaramillo O.A., Borja M.A., Huacuz J.M., 2004, Using hydropower to complement wind energy: a hybrid system to provide firm power, Renewable Energy, 29, 1887–1909
- Vieira F., Ramos H. M., 2009, Optimization of operational planning for wind/hydro hybrid water supply systems, Renewable Energy, 34, 928–936
- Yörükoğlu, A., bilinmeyen tarih, MTA Genel Müdürlüğü, Türkiye Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Çevre, Ankara.
- Wicker, K., 2005, Big Batteries Blooming [online], http://www.powermag.com/renewables/waste_to_energy/Big-batteries-blooming_1042_p2.html, [ziyaret tarihi: 05 Ekim 2011].

EKLER

EK-A Simülasyon programı Delphi 7 kodları

```

unit Unit1;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, Grids, Math, Buttons, ClipBrd, ExtCtrls, jpeg, ComObj;
type
  TForm1 = class(TForm)
    BitBtn1: TBitBtn;
    Edit1: TEdit;
    Label1: TLabel;
    Edit2: TEdit;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Edit3: TEdit;
    Label4: TLabel;
    Edit4: TEdit;
    Button3: TButton;
    StringGrid1: TStringGrid;
    Edit5: TEdit;
    Pturbin: TLabel;
    Ppompa: TLabel;
    edit6: TEdit;
    Edit7: TEdit;
    Memo1: TMemo;
    Memo2: TMemo;
    Memo3: TMemo;
    Memo4: TMemo;
    Label5: TLabel;
    Label6: TLabel;
    Label7: TLabel;
    Label8: TLabel;
    Edit8: TEdit;
    Edit9: TEdit;
    Edit10: TEdit;
    Edit11: TEdit;
    Label9: TLabel;
    Label10: TLabel;
    Label11: TLabel;
    Label12: TLabel;
    Edit12: TEdit;
    Edit13: TEdit;
    Label13: TLabel;
    Label14: TLabel;
    Edit14: TEdit;
    Edit15: TEdit;
    Label15: TLabel;
    Label16: TLabel;
    Button1: TButton;
    Label19: TLabel;
    Edit16: TEdit;
    Edit17: TEdit;
    Label21: TLabel;
    lbl1: TLabel;
    lbl2: TLabel;
    Label22: TLabel;
    lbl3: TLabel;
    Label23: TLabel;
    Label24: TLabel;
    Label25: TLabel;
    Label27: TLabel;
    Label28: TLabel;
    Label30: TLabel;
    lbl4: TLabel;
    Label32: TLabel;
    Label33: TLabel;
    lbl5: TLabel;
    lbl6: TLabel;
    lbl7: TLabel;
    Label34: TLabel;
    Label35: TLabel;
    Label37: TLabel;
  end;

```



```

Label38: TLabel;
Label36: TLabel;
Label39: TLabel;
lbl8: TLabel;
Label40: TLabel;
Label41: TLabel;
Label42: TLabel;
Label118: TLabel;
Label26: TLabel;
Label43: TLabel;
Edit18: TEdit;
Label45: TLabel;
Edit19: TEdit;
Label46: TLabel;
Label117: TLabel;
Label49: TLabel;
Label20: TLabel;
Label29: TLabel;
Edit20: TEdit;
Label31: TLabel;
Label44: TLabel;
Edit21: TEdit;
Label47: TLabel;
Label48: TLabel;
Memo5: TMemo;
Label50: TLabel;
Label51: TLabel;
Label53: TLabel;
Edit25: TEdit;
Label54: TLabel;
Label55: TLabel;
Edit22: TEdit;
Panel1: TPanel;
Edit26: TEdit;
Label57: TLabel;
Label58: TLabel;
Button2: TButton;
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure Memo4KeyDown(Sender: TObject; var Key: Word;
  Shift: TShiftState);
procedure Memo3KeyDown(Sender: TObject; var Key: Word;
  Shift: TShiftState);
procedure Memo1KeyDown(Sender: TObject; var Key: Word;
  Shift: TShiftState);
procedure Memo2KeyDown(Sender: TObject; var Key: Word;
  Shift: TShiftState);
procedure Button1Click(Sender: TObject);

procedure Button2Click(Sender: TObject);

private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Form1: TForm1;

implementation

{$R *.dfm}

function Xls_To_StringGrid(AGrid: TStringGrid; AXLSFile: string): Boolean;
const
  xlCellTypeLastCell = $0000000B;
var
  XLApp, Sheet: OLEVariant;
  RangeMatrix: Variant;
  x, y, k, r: Integer;
begin
  Result := False;
  // Create Excel-OLE Object
  XLApp := CreateOleObject('Excel.Application');
  try

```

```

// Hide Excel
XLApp.Visible := False;

// Open the Workbook
XLApp.Workbooks.Open(AXLSFile);

// Sheet := XLApp.Workbooks[1].WorkSheets[1];
Sheet := XLApp.Workbooks[ExtractFileName(AXLSFile)].WorkSheets[1];

// In order to know the dimension of the WorkSheet, i.e the number of rows
// and the number of columns, we activate the last non-empty cell of it

Sheet.Cells.SpecialCells(xlCellTypeLastCell, EmptyParam).Activate;
// Get the value of the last row
x := XLApp.ActiveCell.Row;
// Get the value of the last column
y := XLApp.ActiveCell.Column;

// Set Stringgrid's row &col dimensions.

AGrid.RowCount := x;
AGrid.ColCount := y;

// Assign the Variant associated with the WorkSheet to the Delphi Variant

RangeMatrix := XLApp.Range['A1', XLApp.Cells.Item[X, Y]].Value;
// Define the loop for filling in the TStringGrid
k := 1;
repeat
  for r := 1 to y do
    AGrid.Cells[(r - 1), (k - 1)] := RangeMatrix[K, R];
    Inc(k, 1);
    AGrid.RowCount := k + 1;
  until k > x;
  // Unassign the Delphi Variant Matrix
  RangeMatrix := Unassigned;

finally
  // Quit Excel
  if not VarIsEmpty(XLApp) then
  begin
    // XLApp.DisplayAlerts := False;
    XLApp.Quit;
    XLAPP := Unassigned;
    Sheet := Unassigned;
    Result := True;
  end;
end;
end;

procedure TForm1.BitBtn1Click(Sender: TObject);
var
  uretilen, tuketilen: array of real;
  i, j, a, b, c, ak, ak2: integer;
  pk, pe: real;
  sde: real;
  se: real;
  p_verim: real;
  t_verim: real;
  psa: real;
  pss: real;
  sfull: real;
  pge: real;
  p_pompa: Real;
  p_turbin: Real;
  al, r_kul: Real;
  toplam: Real;
  rta, rts, rdsiz, cz, p1, p2, p3, rlidsiz: Real;
begin
  setlength(uretilen, strtoint(edit5.text)-1);
  setlength(tuketilen, strtoint(edit5.text)-1);
  sde:=strtofloat(edit3.text);
  sfull:=strtofloat(edit4.text);
  p_verim:=STRTOFLOAT(edit2.Text);
  t_verim:=strtofloat(edit1.text);
  p_pompa:=STRTOFLOAT(edit7.Text);

```

```

p_turbin:=STRTOFLOAT(edit6.Text);
psa:=0;
pss:=0;
pge:=0;
toplam:=0;
rta:=0;
rts:=0;

for i:=0 to strtoint(edit5.text)-1 do begin
uretilen[i]:=strtfloat(stringgrid1.Cells[2,i]);
tuketilen[i]:=strtfloat(stringgrid1.Cells[1,i]); end;

for i:=0 to strtoint(edit5.text)-1 do begin
a:=i mod 24;

if a<11 then begin

if uretilen[i]>=tuketilen[i] then
begin
pk:=uretilen[i]-tuketilen[i];
se:=sfull-sde;
if pk*p_verim>=se then
begin
if se>=p_pompa*p_verim then begin;
sde:=sde+p_pompa*p_verim;
pss:=pss+pk-p_pompa;
psa:=psa+0;
al:=0;
r_kul:=tuketilen[i];
end else begin
pss:=pss+pk-se/p_verim;
psa:=psa+0;
al:=0;
sde:=sde+se;
r_kul:=tuketilen[i];
end;
end else begin
if pk>=p_pompa then begin
sde:=sde+p_pompa*p_verim;
pss:=pss+pk-p_pompa;
psa:=psa+0;
al:=0;
r_kul:=tuketilen[i];
end else begin
sde:=sde+pk*p_verim;
pss:=pss+0;
psa:=psa+0;
al:=0;
r_kul:=tuketilen[i];
end;
end;

end else ;
begin
pge:=0;
for j:=1 to 5 do begin
b:= i div 24;
c:=24*b+10+j;
if tuketilen[c]-uretilen[c]>=0 then
pge:=pge+tuketilen[c]-uretilen[c] else
pge:= pge-(uretilen[c]-tuketilen[c])*0.9 ;
end;
if pge<0 then pge:=0;
if pge<sde*t_verim then
begin // showmessage('pge<sde*t_verim'); //a
if (tuketilen[i]-uretilen[i]) <= (Sde*t_verim)-pge then
begin //showmessage('tuketilen[i]-uretilen[i] <= (Sde*t_verim)-pge');
if tuketilen[i]-uretilen[i]<=p_turbin then
begin
psa:=psa+0;
al:=0;
pss:=pss+0;
sde:=sde-(tuketilen[i]-uretilen[i])/t_verim;
r_kul:=uretilen[i];
end else //3a
begin //showmessage('tuketilen[i]-uretilen[i]>p_turbin'); //3b

```

```

        psa:=psa+(tuketilen[i]-uretilen[i])-p_turbin;
        al:=(tuketilen[i]-uretilen[i])-p_turbin;
        pss:=pss+0;
        sde:=sde-p_turbin/t_verim;
        r_kul:=uretilen[i];
    end; ///3b
end else /// 2a
begin //showmessage('tuketilen[i]-uretilen[i]) > (Sde*t_verim)-pge');// 2b
    if sde*t_verim-pge>p_turbin then
    begin //showmessage('sde*t_verim-pge>p_turbin');
        psa:=psa+(tuketilen[i]-uretilen[i])-p_turbin ;
        al:=(tuketilen[i]-uretilen[i])-p_turbin ;
        pss:=pss+0 ;
        sde:=sde-p_turbin/t_verim ;
        r_kul:=uretilen[i];
    end else begin //showmessage('sde*t_verim-pge<p_turbin');
        psa:=psa+(tuketilen[i]-uretilen[i])-(sde*t_verim-pge);
        al:=(tuketilen[i]-uretilen[i])-(sde*t_verim-pge);
        pss:=pss+0;
        sde:=sde-(sde*t_verim-pge)/t_verim;
        r_kul:=uretilen[i];
    end;
end; // 2b
end else ///1a
begin //showmessage('pge>sde*t_verim'); ///1b
    psa:=psa+tuketilen[i]-uretilen[i];
    al:=tuketilen[i]-uretilen[i];
    pss:=pss+0;
    sde:=sde+0;
    r_kul:=uretilen[i];
end;
end;
toplam:=toplam+al*strtfloat(Edit9.Text) end;

if (a>=11) and (a<16) then begin
if uretilen[i]>=tuketilen[i] then
begin // showmessage('uretilen[i]>=tuketilen[i] ');
    pk:=uretilen[i]-tuketilen[i];
    se:=sfull-sde;
    if pk*p_verim>=se then begin
        if se>=p_pompa*p_verim then
        begin
            sde:=sde+p_verim*p_pompa ;
            psa:=psa+0;
            al:=0;
            r_kul:=tuketilen[i];
            pss:=pss+pk-p_pompa end else
            begin
                pss:=pss+pk-(se/p_verim) ;
                psa:=psa+0;
                al:=0;
                sde:=sde+se;
                r_kul:=tuketilen[i];
            end;
        end else
        begin
            if pk>=p_pompa then begin
                sde:=sde+p_pompa*p_verim;
                pss:=pss+pk-p_pompa;
                psa:=psa+0 ;
                al:=0;
                r_kul:=tuketilen[i];
            end else
            begin
                sde:=sde+pk*p_verim;
                psa:=psa+0;
                al:=0;
                pss:=pss+0;
                r_kul:=tuketilen[i];
            end;
        end;
    end;
end else
begin
    begin //showmessage('uretilen[i]<tuketilen[i] ');
        pe:= tuketilen[i]-uretilen[i];
        if sde>p_turbin/t_verim then begin //showmessage('sde>p_turbin/t_verim ');

```

```

if pe>p_turbin then
begin //showmessage('pe>p_turbin');
  psa:=psa+pe-p_turbin;
  al:= pe-p_turbin;
  pss:=pss+0;
  r_kul:=uretilen[i];
  sde:=sde-(p_turbin/t_verim) end else

begin // showmessage('pe<p_turbin');
  psa:=psa+0;
  al:=0;
  pss:=pss+0;
  r_kul:=uretilen[i];
  sde:=sde-pe*t_verim end; end else
begin //showmessage('sde<p_turbin/t_verim ');
  if pe>sde*t_verim then begin // showmessage('pe>sde*t_verim ');
  psa:=psa+pe-sde*t_verim ;
  al:=pe-sde*t_verim ;
  pss:=pss+0;
  r_kul:=uretilen[i];
  sde:=0; end else
begin //showmessage('pe<sde*t_verim ');
  psa:=psa+0;
  al:=0;
  pss:=pss+0 ;
  sde:=sde-pe/t_verim;
  r_kul:=uretilen[i];
end
end;

end;

end; toplam:=toplam+al*strtofloat(Edit10.Text)
end;
if (a>=16) and (a<24) then begin
if sde<sfull then begin
se:=sfull-sde;
if se>p_pompa*p_verim then begin
sde:=sde+p_pompa*p_verim;
psa:=psa+p_pompa;
al:=p_pompa ;
r_kul:=0;
pss:=pss+uretilen[i] end else
begin
sde:=sfull;
psa:=psa+se/p_verim;
al:= se/p_verim;
pss:=pss+uretilen[i];
r_kul:=0;
end; end else
begin
psa:=psa+tuketilen[i];
al:= tuketilen[i];
r_kul:=0;
pss:=pss+uretilen[i]; end;
toplam:=toplam+al*strtofloat(Edit8.Text)
end;

memo1.Lines.add(inttostr(i)+' '+floattostr(roundto(psa,-2)));
memo2.Lines.add(inttostr(i)+' '+floattostr(roundto(pss,-2)));
memo3.Lines.add(floattostr(roundto(sde,-2)));
memo4.Lines.add(floattostr(roundto(al,-2)));
memo5.Lines.add(floattostr(roundto(r_kul,-2))); end;
Edit12.Text:=FloatToStr(toplam);
Edit13.Text:=FloatToStr(pss*strtofloat(Edit11.Text));

for i:=0 to StrToInt(Edit5.Text)-1 do
if uretilen[i]>tuketilen[i] then rts:=rts+(uretilen[i]-tuketilen[i]) else
rta:=rta+(tuketilen[i]-uretilen[i]);
Edit14.Text:=FloatToStr(rta*strtofloat(edit17.text));
Edit15.Text:=FloatToStr(rts*strtofloat(edit11.text));

rdsiz:=0;
for i:=0 to StrToInt(Edit5.Text)-1 do
rdsiz:=rdsiz+tuketilen[i];
Edit16.Text:=FloatToStr(rdsiz*strtofloat(edit11.text)) ;end;

```

```

procedure TForm1.Button3Click(Sender: TObject);
begin
if Xls_To_StringGrid(StringGrid1, 'C:\Users\Kmu-Bim-1\Desktop\rüzgârSON
Desktop\veriler2.xls') then
ShowMessage('Table has been imported!');
end;
procedure TForm1.Memo4KeyDown(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
begin
if (Key=Ord('A')) and (ssCTRL in Shift) then begin
TMemo(Sender).SelectAll;
Key:=0;

end;
end;

procedure TForm1.Memo3KeyDown(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
begin
if (Key=Ord('A')) and (ssCTRL in Shift) then begin
TMemo(Sender).SelectAll;
Key:=0;

end;
end;

procedure TForm1.Memo1KeyDown(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
begin
if (Key=Ord('A')) and (ssCTRL in Shift) then begin
TMemo(Sender).SelectAll;
Key:=0;

end;
end;

procedure TForm1.Memo2KeyDown(Sender: TObject; var Key: Word;
Shift: TShiftState);
begin
if (Key=Ord('A')) and (ssCTRL in Shift) then begin
TMemo(Sender).SelectAll;
Key:=0;

end;
end;

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
var
uretilen,tuketilen:array of real;
i,j,a,b,c,ak,ak2:integer;
pk, pe:real;
sde:real;
se:real;
p_verim:real;
t_verim:real;
psa:real;
pss:real;
sfull:real;
pge:real;
p_pompa:Real;
p_turbin:Real;
al:Real;
toplam:Real;
rta,rts,rdsiz,cz,p1,p2,p3,rldsiz:Real;
begin
setlength(uretilen,strtoint(edit5.text)-1);
setlength(tuketilen,strtoint(edit5.text)-1);
sde:=strtofloat(edit3.text);
sfull:=strtofloat(edit4.text);
p_verim:=STRTOFLOAT(edit2.Text);
t_verim:=strtofloat(edit1.text);
p_pompa:=STRTOFLOAT(edit7.Text);
p_turbin:=STRTOFLOAT(edit6.Text);
psa:=0;
pss:=0;
pge:=0;

```

```

toplam:=0;
rta:=0;
rts:=0;

for i:=0 to strtoint(edit5.text)-1 do begin
uretilen[i]:=strtfloat(stringgrid1.Cells[2,i]);
tuketilen[i]:=strtfloat(stringgrid1.Cells[1,i]); end;
for i:=0 to strtoint(edit5.text)-1 do begin
a:=i mod 24;

if a<11 then begin

if uretilen[i]>=tuketilen[i] then
begin
pk:=uretilen[i]-tuketilen[i];
se:=sfull-sde;
if pk*p_verim>=se then
begin
if se>=p_pompa*p_verim then begin
sde:=sde+p_pompa*p_verim;
pss:=pss+pk-p_pompa;
psa:=psa+0;
al:=0;
end else begin
pss:=pss+pk-se/p_verim;
psa:=psa+0;
al:=0;
sde:=sde+se;
end;

end else begin
if pk>=p_pompa then begin
sde:=sde+p_pompa*p_verim;
pss:=pss+pk-p_pompa;
psa:=psa+0;
al:=0;
end else begin
sde:=sde+pk*p_verim;
pss:=pss+0;
psa:=psa+0;
al:=0;
end;
end;

end else
begin
pge:=0;
for j:=1 to 5 do begin
b:= i div 24;
c:=24*b+10+j;
if tuketilen[c]-uretilen[c]>=0 then
pge:=pge+tuketilen[c]-uretilen[c] else
pge:= pge-(uretilen[c]-tuketilen[c])*0.9 ;

end;

if pge<0 then pge:=0;

if pge<sde*t_verim then
begin
if (tuketilen[i]-uretilen[i]) <= (Sde*t_verim)-pge then
begin
if tuketilen[i]-uretilen[i]<=p_turbin then
begin // showmessage('tuketilen[i]-uretilen[i]<=p_turbin');
psa:=psa+0;
al:=0;
pss:=pss+0;
sde:=sde-(tuketilen[i]-uretilen[i])/t_verim
end else
begin
psa:=psa+(tuketilen[i]-uretilen[i])-p_turbin;
al:=(tuketilen[i]-uretilen[i])-p_turbin;
pss:=pss+0;
sde:=sde-p_turbin/t_verim
end;
end;

```

```

end else
begin //showmessage('tuketilen[i]-uretilen[i]) > (Sde*t_verim)-pge');
if sde*t_verim-pge>p_turbin then
begin //showmessage('sde*t_verim-pge>p_turbin');
psa:=psa+(tuketilen[i]-uretilen[i])-p_turbin ;
al:=(tuketilen[i]-uretilen[i])-p_turbin ;
pss:=pss+0 ;
sde:=sde-p_turbin/t_verim ;
end else begin
psa:=psa+(tuketilen[i]-uretilen[i])-(sde*t_verim-pge);
al:=(tuketilen[i]-uretilen[i])-(sde*t_verim-pge);
pss:=pss+0;
sde:=sde-(sde*t_verim-pge)/t_verim;
end;
end;
end else
begin //showmessage('pge>sde*t_verim');
psa:=psa+tuketilen[i]-uretilen[i];
al:=tuketilen[i]-uretilen[i];
pss:=pss+0;
sde:=sde+0;
end;

end;
toplam:=toplam+al*strtofloat(Edit9.Text) end;
if (a>=11) and (a<16) then begin
if uretilen[i]>=tuketilen[i] then
begin
pk:=uretilen[i]-tuketilen[i];
se:=sfull-sde;
if pk*p_verim>=se then begin
if se>=p_pompa*p_verim then
begin
sde:=sde+p_verim*p_pompa ;
psa:=psa+0;
al:=0;
pss:=pss+pk-p_pompa end else
begin
pss:=pss+pk-(se/p_verim) ;
psa:=psa+0;
al:=0;
sde:=sde+se;
end;
end else
begin // showmessage('pk*p_verim<se ');
if pk>=p_pompa then begin // showmessage('pk>=p_pompa ');
sde:=sde+p_pompa*p_verim;
pss:=pss+pk-p_pompa;
psa:=psa+0 ;
al:=0;
end else
begin // showmessage('pk<p_pompa ');
sde:=sde+pk*p_verim;
psa:=psa+0;
al:=0;
pss:=pss+0;
end;
end;
end else
begin //showmessage('uretilen[i]<tuketilen[i] ');
pe:= tuketilen[i]-uretilen[i];
if sde>p_turbin/t_verim then begin //showmessage('sde>p_turbin/t_verim ');
if pe>p_turbin then
begin //showmessage('pe>p_turbin');
psa:=psa+pe-p_turbin;
al:= pe-p_turbin;
pss:=pss+0;
sde:=sde-(p_turbin/t_verim) end else
begin // showmessage('pe<p_turbin');
psa:=psa+0;
al:=0;
pss:=pss+0;
sde:=sde-pe*t_verim end; end else
begin //showmessage('sde<p_turbin/t_verim ');
if pe>sde*t_verim then begin // showmessage('pe>sde*t_verim ');

```



```

        psa:=psa+pe-sde*t_verim ;
        al:=pe-sde*t_verim ;
        pss:=pss+0;
        sde:=0;      end else
        begin          //showmessage('pe<sde*t_verim ');
        psa:=psa+0;
        al:=0;
        pss:=pss+0      ;
        sde:=sde-pe/t_verim;
end
end;

        end; toplam:=toplam+al*strtofloat(Edit10.Text) ;
        end;
if (a>=16) and (a<24) then begin
if sde<sfull then begin
se:=sfull-sde;
if se>p_pompa*p_verim then begin
sde:=sde+p_pompa*p_verim;
psa:=psa+p_pompa;
al:=p_pompa ;
pss:=pss+uretilen[i] end else
begin
sde:=sfull;
psa:=psa+se/p_verim;
al:= se/p_verim;
pss:=pss+uretilen[i];
end;      end else
begin
psa:=psa+tuketilen[i];
al:= tuketilen[i];
pss:=pss+uretilen[i]; end;
toplam:=toplam+al*strtofloat(Edit8.Text);
end; end;
Edit12.Text:=FloatToStr(roundto(toplam,-2));
Edit13.Text:=FloatToStr(roundto(pss*strtofloat(Edit11.Text),-2));

for i:=0 to StrToInt(Edit5.Text)-1 do begin
if uretilen[i]>tuketilen[i] then begin rts:=rts+(uretilen[i]-tuketilen[i])end else
rta:=rta+(tuketilen[i]-uretilen[i]);
end;

Edit14.Text:=FloatToStr(roundto(rta*strtofloat(edit17.text),-2));
Edit15.Text:=FloatToStr(roundto(rts*strtofloat(edit11.text),-2));

rdsiz:=0;
for i:=0 to StrToInt(Edit5.Text)-1 do
rdsiz:=rdsiz+tuketilen[i];
Edit16.Text:=FloatToStr(roundto(rdsiz*strtofloat(edit17.text),-2)) ;
//showmessage(floattostr(rta));
//showmessage(floattostr(rdsiz));

cz:=0;
p1:=0;
p2:=0;
p3:=0;
for i:=0 to StrToInt(Edit5.Text)-1 do begin
ak:=i mod 24;
if ak<11 then begin
cz:=cz+tuketilen[i]* strtofloat(edit9.text);
p1:=p1+tuketilen[i];
end;
if (ak>=11) and (ak<16) then begin
cz:=cz+tuketilen[i]* strtofloat(edit10.text);
p2:=p2+tuketilen[i];
end;
if (ak>=16) and (ak<24) then begin
cz:=cz+tuketilen[i]* strtofloat(edit8.text);
p3:=p3+tuketilen[i];
end;

end;
Edit18.Text:=FloatToStr(roundto(cz,-2)) ;
//showmessage(floattostr(p1));
//showmessage(floattostr(p2));

```

```

//showmessage(floattostr(p3));

rlidsiz:=0;
for i:=0 to StrToInt(Edit5.Text)-1 do begin
    ak2:=i mod 24;
    if ak2<11 then begin
        if tuketilen[i]>uretilen[i] then begin
            rlidsiz:=rlidsiz+(tuketilen[i]-uretilen[i])* strtoint(edit9.text);
        end else
            rlidsiz:=rlidsiz+0;
        end;

    if (ak2>=11) and (ak2<16) then begin
        if tuketilen[i]>uretilen[i] then begin
            rlidsiz:=rlidsiz+(tuketilen[i]-uretilen[i])* strtoint(edit10.text);
        end else
            rlidsiz:=rlidsiz+0;
        end;

    if (ak2>=16) and (ak2<24) then begin
        if tuketilen[i]>uretilen[i] then begin
            rlidsiz:=rlidsiz+(tuketilen[i]-uretilen[i])* strtoint(edit8.text);
        end else
            rlidsiz:=rlidsiz+0;
        end;

    end;

    Edit19.Text:=FloatToStr(roundto(rlidsiz,-2)) ;
    Edit20.Text:=FloatToStr(RoundTo(rdsiz*strtoint(edit17.text)-
toplampss*strtoint(Edit11.Text),-2)) ;
    Edit21.Text:=FloatToStr(RoundTo((rdsiz*strtoint(edit17.text)-(toplamp-
pss*strtoint(Edit11.Text)))-(rdsiz*strtoint(edit17.text)-
(rta*strtoint(edit17.text)-rts*strtoint(edit11.text))),-2));
    Edit22.Text:=FloatToStr(RoundTo(rdsiz*strtoint(edit17.text)-
toplampss*strtoint(Edit11.Text)+2552445.77*strtoint(Edit11.Text),-2)) ;

Edit25.Text:=FloatToStr(roundto(((800*strtoint(edit6.text)+600*strtoint(edit7.text)+
1300*957.6+5*strtoint(edit4.text)/0.9*62500/8800)*1.1)/(strtoint(edit21.text)-
((800*strtoint(edit6.text)+600*strtoint(edit7.text)+1300*957.6+5*strtoint(edit4.te
xt)/0.9*62500/8800)*1.1)*0.001),-2)) ;

Edit26.Text:=FloatToStr(roundto(((800*strtoint(edit6.text)+600*strtoint(edit7.text)+
1300*957.6+5*strtoint(edit4.text)/0.9*62500/8800)*1.1+2200000*2.3*2)/(strtoint(edit2
2.text)-
((800*strtoint(edit6.text)+600*strtoint(edit7.text)+1300*957.6+5*strtoint(edit4.t
ext)/0.9*62500/8800)*1.1)*0.001)-0.004*2.3*6958766),-2)) ;

end;

procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
begin
    Edit1.Text:=floattostr(0.85);
    Edit2.Text:=FloatToStr(0.80);
    Edit8.Text:=FloatToStr(0.116);
    Edit9.Text:=FloatToStr(0.19604);
    Edit10.Text:=FloatToStr(0.30704);
    Edit11.Text:=FloatToStr(0.13);
    Edit17.Text:=FloatToStr(0.20406);
end;

end.

```

EK-B Simülasyon programı tam sayfa arayüzü

Form1

başla

Tür. verimi 0,85

Pom.verimi 0,80

Depo Bas. 0 kw

Depo Full 5850 kw

PTürbin 1000 kw

Ppompa 1000 kw

22-06 0,116 TL/kwh

06-17 0,1960 TL/kwh

17-22 0,3070 TL/kwh

satış 0,13 TL/kwh

tek zamanlı 0,2040 TL/kwh

hızlı başlat

Rüzgar türbinli ve depolamalı

alış 578002,53478314 TL

satış 312633,857755173 TL

Rüzgar türbinli ve depolamasız

alış 768017,3353 TL

satış 282134,9928724 TL

Rüzgar türbinsiz ve depolamasız

alış 779965,5317 TL

satış 1255467,72 TL

Sadece PHES getiri PHES BGÖ

222513,67 TL 11,51 Yıl

7 aylık dönem getiri Yıllık toplam getiri

960337,22 TL 1232755,17 TL

Sistem BGÖ 10,24 Yıl

Saatlik Rüzgardan kul.

Saatlik Seb. AL

Depodaki Enerji Mik.

Toplam Şebekeden AL(Psa)

Toplam Şebekeye Sat.(Pss)

Tüketilen Üretilen

Saat	Pst(t)	Pr(t)	Toplam	Şebekeye Sat.(Pss)	Şebekeden AL(Psa)	Depodaki Enerji Mik.	Saatlik Seb. AL	Saatlik Rüzgardan kul.
0	132,45	0	5091	2309431,12	5091	3052489,14	1653,31	99,31
1	132,45	0	5092	2312333,96	5092	3052489,14	1616,36	27,96
2	132,45	314,821989	5093	2315291,98	5093	3052489,14	1000	0
3	132,45	118,805883	5094	2318249,99	5094	3052489,14	1000	0
4	132,45	1308,68105	5095	2321208	5095	3052489,14	1000	0
5	58,87	2443,29004	5096	2324166,02	5096	3052489,14	1000	0
6	58,87	2991,21497	5097	2327168,86	5097	3052489,14	1000	0
7	58,87	2387,59978	5098	2330171,7	5098	3052489,14	1000	0
8	58,87	1962,95356	5099	2332874,55	5099	3052489,14	1000	0
9	132,45	2387,59978	5100	2335777,39	5100	3052489,14	312,5	0
10	132,45	2851,86130	5101	2338680,23	5101	3052489,14	2603,98	0
11	132,45	2415,44491	5102	2341583,07	5102	3052489,14	1755,02	0
12	132,45	2404,30686	5103	2344485,92	5103	3052489,14	1227,49	0
13	132,45	2994,06749	5104	2347388,77	5104	3052489,14	1812,12	99,31
14	132,45	3002,15298	5105	2350291,62	5105	3052489,14	1794,95	99,31
15	132,45	2989,19059	5106	2353194,47	5106	3052489,14	574,94	99,31
16	132,45	2568,11303	5107	2356097,32	5107	3052489,14	533,82	44,14
17	132,45	2281,78829	5108	2359000,17	5108	3052489,14	948,63	44,14
18	132,45	1293,46225	5109	2361902,99	5109	3052489,14	868,84	44,14
19	132,45	820,271091	5110	2364805,81	5110	3052489,14	1878,01	44,14
20	0	424,174131	5111	2367708,63	5111	3052489,14	2749,7	99,31
21	0	49,4091010	5112	2370611,45	5112	3052489,14	1765,13	99,31
22	0	0	5113	2373514,27	5113	3052489,14	1697,72	99,31
23	0	0,96417759	5114	2376417,09	5114	3052489,14	1754,52	99,31
24	0	0	5115	2379320,91	5115	3052489,14	1744,42	0
25	0	0	5116	2382223,73	5116	3052489,14	1000	0
26	0	0	5117	2385126,55	5117	3052489,14	1000	0
27	0	0	5118	2388029,37	5118	3052489,14	1000	0
28	0	0	5119	2390932,19	5119	3052489,14	1000	0
29	0	0	5120	2393835,01	5120	3052489,14	1000	0
30	0	0	5121	2396737,83	5121	3052489,14	1000	0
31	0	0	5122	2399640,65	5122	3052489,14	1000	0
32	0	0	5123	2402543,47	5123	3052489,14	312,5	0
33	0	0	5124	2405446,29	5124	3052489,14	2765,13	0
34	0	0	5125	2408349,11	5125	3052489,14	2628,18	0
35	0	0	5126	2411251,93	5126	3052489,14	2422,27	49,41
36	0	0	5127	2414154,75	5127	3052489,14	2605,49	0
37	0	0	5128	2417057,57	5128	3052489,14	2362,21	99,31
38	0	0	5129	2419960,39	5129	3052489,14	987,51	99,31

EK-C Optimizasyon programı tam sayfa arayüzü

Form1

Özet Bilgiler

Run

Tür. verimi 0,85

Pom. verimi 0,80

22-06 0,116 TL/kwh

06-17 0,1960 TL/kwh

17-22 0,3070 TL/kwh

satış 0,13 TL/kwh

tek zamanlı alışı 0,2040 TL/kwh

Sdepo baş. 5000

Ppompa baş. 1000

Pturbın baş. 1000

İterasyon sayısı 3

8

5130

import

Saat	Tüketilen Ps(t)	Üretilen Pr(t)	Depo kapasitesi	Turbın gücü	Pompa gücü	Alışı (TL)	Satış (TL)	Toplam Psa	Toplam Pss	Sistem getiri	PHES BĞÖ	Sistem BĞÖ
0	132,45	0	7500	1300	1100	547105,41	309481,19	3074975,01	2380624,52	1313366,92	14,87	10,98
1	132,45	0	7500	1300	1200	548181,94	309879,56	3085703,7	2383688,93	1313992,61	15,11	11,03
2	132,45	314,821989	7500	1300	1300	548467,75	309498,68	3104654,74	2380759,08	1312573,41	15,48	11,1
3	132,45	118,805883	7500	1300	1400	56906,38	309347,61	3106027,85	2379596,97	1312263,05	15,78	11,16
4	132,45	1308,68105	7500	1300	1500	569687,99	309230,61	3111944,44	2378896,97	1311459,73	16,11	11,22
5	132,45	1308,68105	7500	1300	1600	571061,5	309141,96	3122017,73	2378015,05	1310202,58	16,48	11,28
6	132,45	2443,29004	7500	1400	1700	571877,05	309063,96	3130297,1	2377415,05	1309164,17	16,84	11,34
7	58,87	2991,21497	7500	1400	1800	572071,13	308174,77	3130478,76	2370575,14	1313519,85	14,95	11
8	58,87	1962,95356	7500	1400	1900	573239,19	309364,11	3073629,93	2379723,93	1315963,8	15,08	11,03
9	58,87	2387,99978	7500	1400	2000	573649,5	309879,56	3095092,36	2380688,93	1317086,27	15,28	11,08
10	132,45	2851,86130	7500	1400	2100	574676,58	309498,68	3104043,39	2380759,08	1315667,07	15,65	11,14
11	132,45	2415,44491	7500	1400	2200	582332,7	309347,61	3107606,85	2379596,97	131502,63	15,96	11,2
12	132,45	2404,30686	7500	1400	2300	582988,3	309230,61	3112995,7	2378896,97	1314360,52	16,29	11,26
13	132,45	2994,06749	7500	1400	2400	584031,45	30913,61	3123938,72	2377796,97	1312974,13	16,67	11,33
14	132,45	3002,15298	7500	1500	2500	585075,23	309025,72	3133244,58	2377120,93	1311806,77	17,03	11,39
15	132,45	2415,44491	7500	1500	2600	58517,96	307880,61	3033757,79	2368311,65	1316799,06	15,12	11,04
16	132,45	2404,30686	7500	1500	2700	585985,01	309107,63	3062128,07	2377751	1319251,86	15,24	11,08
17	132,45	2994,06749	7500	1500	2800	587501,41	309879,56	3088066,05	2383688,93	1320438,2	15,44	11,12
18	132,45	3002,15298	7500	1500	2900	58856,74	309498,68	3086286,95	2380759,08	1319103,69	15,79	11,18
19	132,45	2989,19059	7500	1600	3000	588671,92	309347,61	3089187,8	2379596,97	1318732,12	16,09	11,24
20	132,45	2404,30686	7500	1600	3100	587226,24	309230,61	3105766,99	2378896,97	1317735,94	16,43	11,3
21	132,45	2994,06749	7500	1600	3200	588130,68	309113,61	3114519,67	237796,97	1316803,62	16,79	11,37
22	132,45	3002,15298	7500	1600	3300	58860,84	308996,61	3122499,04	2378896,97	1315561,02	17,14	11,43
23	132,45	2989,19059	7500	1600	3400	58881,34	307794,5	3025673,32	2367649,98	1322127,77	15,42	11,12
24	132,45	2989,19059	7500	1600	3500	58951,82	308955,44	3052732,94	2376580,28	1321949,21	15,32	11,09
25	132,45	2568,11303	7500	1600	3600	58901,93	309879,56	3081693,54	2383688,93	132326,36	15,62	11,16
26	132,45	2381,78829	7500	1600	3700	582116,41	309498,68	3090116,63	2380759,08	1321968,38	15,97	11,23
27	132,45	1293,46225	7500	1600	3800	58351,77	309347,61	3089827,35	2379596,97	1321850,88	16,25	11,28
28	132,45	820,271091	7500	1600	3900	582238,11	309230,61	3097406,54	2378896,97	1320854,7	16,59	11,34
29	132,45	424,174131	7500	1700	4000	582010,8	309113,61	3108349,56	237796,97	1319468,31	16,95	11,41
30	0	49,4051010	7500	1700	4100	583208,4	308996,61	3116328,93	2378896,97	1318425,7	17,3	11,47
31	0	0	7500	1700	4200	583894,72	309024,3	3014404,42	2367909,97	1322412,6	15,49	11,14
32	0	0	7500	1700	4300	585063,22	309879,56	3069376,14	237710	1325087,24	15,6	11,17
33	0	0	7500	1700	4400	585023,63	309498,68	3089376,14	2383688,93	1326043,75	15,8	11,21
34	0	0	7500	1700	4500	585078,77	309347,61	3077599,43	2380759,08	1324685,77	16,16	11,27
35	0	0	7500	1700	4600	580776,77	309498,68	3077509,95	2379596,97	1324568,28	16,43	11,33
36	0	0,96417759	7500	1700	4700	549524,16	309230,61	3085089,14	2378896,97	1323572,09	16,76	11,39
37	0	0,96417759	7500	1700	4800	548917,14	309113,61	3086032,16	237796,97	1322185,7	17,13	11,46
38	0	0,96417759	7500	1700	4900	549955,46	308996,61	3104071,53	2378896,97	1321143,1	17,47	11,52

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet Numan KAYA
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya, 01.10.1987
Telefon : 0338 226 20 00- 2532
Faks : 0 338 226 20 23
e-mail : mnumankaya@kmu.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Dolapoğlu Anadolu Lisesi, Selçuklu, Konya	2006
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2010
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	-
Doktora	: -	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2010-..	Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Yenilebilir Enerji Sistemleri, Enerji Depolama

YABANCI DİLLER

İngilizce (Çok iyi)
 Almanca (Çok iyi)
 Lehçe (başlangıç seviyesi)

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

A- Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

Faruk Köse, **M.Numan Kaya**, 2013, Analysis on meeting the electric energy demand of an active plant with a wind-hydro hybrid power station in Konya, Turkey: Konya water treatment plant, Renewable Energy.

B- Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Yayımlanan Bildiriler

Faruk Köse, **M.Numan Kaya**, Adnan Berber, The Importance of Renewable Energy Sources for Sustainable Development in Turkey, 1th International Conference Sustainable Business and Transitions for Sustainable Development, 11-13 Ekim 2013, Konya.

Faruk Köse, **M.Numan Kaya** Complementarity of Wind Power and Pumped Hydro Energy Storage Systems – A Case study: Meeting Electrical Energy Demand of Rural Irrigation Pumps of Cumra, Alibeyhuyugu, 6th International Ege Energy Symposium & Exhibition June 28-30, 2012 Izmir, Turkey

M.Numan Kaya, M.Emin Tolu, Solar Trackers and Feasibility Analysis of Usage of Solar Trackers in Electricity Production in Konya,Turkey. 5th international mechanical engineering forum 2012, 20-22 June 2012, Prague, Czech Republic.

Faruk Köse, **M.Numan Kaya**, Muharrem Hilmi Aksoy, Engineering And Automatic Machines (Automats) In The Period Of Seljukians, The Second International Seljukid Culture And Civilisation Symposium-Science And Thought in Seljukids Era **20-22 October 2011.**