

Bilecik İli Pazaryeri İlçesi Karaköy Mevkiinde Rüzgar Enerjisi Uygulaması

Kadir Fikri Arsoy

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat – 2011

The Application Of Wind Power At Bilecik - Pazaryeri - Karaköy District

Kadir Fikri Arsoy

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Mechanical Engineering

Feb 2011

Bilecik İli Pazaryeri İlçesi Karaköy Mevkiinde Rüzgar Enerjisi Uygulaması

Kadir Fikri Arsoy

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Yaşar Pancar

Şubat 2011

ONAY

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Kadir Fikri Arsoy'un YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Bilecik İli Pazaryeri İlçesi Karaköy Mevkiinde Rüzgar Enerjisi Uygulaması" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Yaşar Pancar

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. Yaşar Pancar

Üye : Prof. Dr. Kemal Taner

Üye : Doç. Dr. Necati Mahir

Üye : Yrd. Doç. Dr. İrfan Üreyen

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mesut Tekkalmaz

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu çalışma ile sulama alanında çalışanların rüzgar enerjisi ile pompalama konusunda bilgi sahibi olmaları amaçlanmıştır. Rüzgar enerjisi ile pompalamanın belirlenen alanda uygulanabilirliği ve ihtiyacın karşılanması için gerekli rüzgar türbini, rüzgar enerjili pompa, su tesisatı, tank seçimi konularına değinilip örnekler ve hesaplamalar ile anlatılmıştır.

Diğer su pompalama yöntemlerinin maliyetleri, yatırım giderleri, tükettikleri enerji ve bastıkları su rüzgar enerjisi ile su pompalama sisteminin maliyeti ile karşılaştırılmıştır. İşletme ve bakım giderleri bakımından rüzgar enerjisi ile pompalama sistemlerinin önemli boyuttaki avantajı mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar Enerjisi, Su Pompası, Rüzgar Enerjisi Tespiti, Rüzgar Türbini Hesapları.

SUMMARY

The aim of this study is to provide information on wind energy pumping systems. In this thesis the application of wind pumping system, wind türbine, pumps and water pumping system in Bilecik-Pazaryeri-Karaköy district were worked out and necessary calculations were done.

Wind energy water pumping system's investments costs, energy requirements and water quantities were compared with other pumping systems. The advantage of wind pumping systems must be taken into account from operation and maintenance of view when designing such systems.

Keywords: Wind Energy, Water Pump, Wind Energy Determination, Wind Turbine Calculations.

TEŞEKKÜR

Ölçüm çalıőmalarım, derslerim ve tez çalıőmalarımda, bana danıőmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danıőmanım Prof. Dr. Yaşar Pancar'a ve babam Mahir Fikri Arsoy'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Rüzgar Enerjisi	2
2. RÜZGAR ENERJİSİNİN SU POMPALANMASINDA	
UYGULANABİLİRLİĞİ	4
2.1. Rüzgar Türbinli Pompaların Kısa Geçmişi	4
2.2. Debi ve Enerji İhtiyacı	6
2.3. Rüzgar Enerjisi Temin Edilecek Alanın Seçimi	9
2.3.1. Rüzgar gücünün hesabı	11
2.3.2. Su pompalamak için gerekli rüzgar gücü	11
2.4. Tipik Su Pompalama Uygulamaları	12
2.4.1. Ev kullanımı	13
2.4.2. Sulama	13
2.5. Rüzgar Türbininde Oluşan Arızaların Sisteme Etkisi	14
2.6. Rüzgar Türbinli Pompaların Uygulanabilirliği	14
3. RÜZGAR ENERJİLİ POMPA TEKNOLOJİSİ	16
3.1. Rüzgar Enerjili Pompa Tipleri	18

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.2. Rüzgar Türbini Bileşenleri.....	19
3.2.1. Rotor.....	20
3.2.2. Aktarma.....	21
3.2.3. Güvenlik sistemi.....	22
3.2.4. Kule.....	23
3.3. Rüzgar Türbini Karakteristikleri.....	23
3.4. Pistonlu Pompa.....	24
3.4.1. Tanım.....	24
3.4.2. Pistonlu pompa karakteristiği.....	26
3.5. Rüzgar Türbini Kapasitesiyle Su Pompası Kapasitesinin Uyumu.....	28
3.6. Rüzgar Enerjili Su Pompalarının Performansı.....	31
3.7. Depolama Ve Dağıtım.....	33
3.7.1. Suyun depolanması.....	33
3.7.1.1. Ev kullanımı tankı.....	33
3.7.1.2. Sulama tankı.....	34
3.7.2. Dağıtım.....	35
3.7.2.1. Ev kullanımı dağıtım.....	35
3.7.2.2. Sulama dağıtım.....	35
3.8. Hangi Rüzgar Türbinini Seçmeliyiz?.....	36
4. RÜZGAR TÜRBİNLİ SİSTEMLER İÇİN POMPA SEÇİMİ.....	37
4.1. Su İhtiyacının Tespit Edilmesi.....	39
4.1.1. Sulama için su ihtiyacı.....	39
4.1.2. Ev kullanımı için su ihtiyacı.....	40
4.2. Hidrolik Güç İhtiyacının Belirlenmesi.....	41

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.3. Rüzgar Gücü Yeterliliğinin Belirlenmesi.....	42
4.4. Kritik Ayın Belirlenmesi.....	44
4.5. Rüzgar Enerjili Pompa Seçiminde Göz Önünde Bulundurulması Gereken Faktörler.....	46
4.5.1. Rüzgar enerjili pompa seçiminde göz önünde bulundurulması gereken konular.....	46
4.5.2. Yüksek debi ve sağlanabilirliği.....	48
4.5.2.1. Kule yüksekliği.....	48
4.5.2.2. Rotor çapı.....	49
4.5.2.3. Pompa boyutu.....	51
4.5.2.4. Tank.....	54
4.5.2.5. Tesisat.....	56
4.6. Sistemin Satın Alınması Durumunda Gerekli Bilgiler.....	58
5. SONUÇLAR.....	60
6. KAYNAKLAR DİZİNİ.....	61

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Rüzgar enerjisinin doğal enerji çevrimi içerisinde gösterimi [2].....	3
2.1 Hollanda’da deniz seviyesinin altında ekime elverişli toprak elde etmek için rüzgar enerjisinden faydalanılması [3].....	5
2.2 İdeal ve efektif debi [4].....	6
2.3 Rüzgar enerjisi ile pompalama sistemleri: a) Musluklara su aktarılan sistemin şematik gösterimi, b) Sulama kanalına su aktarılan sistemin şematik gösterimi [4].....	7
2.4 Kayıplar, basma yüksekliği, statik ve dinamik su seviyelerinin gösterimi [4].....	9
2.5 Pazaryeri rüzgar ölçümlerinde kullanılan anemometre ve yardımcı ekipmanlar.....	10
2.6 Arızaların sistem bileşenlerine göre yüzde olarak dağılımı [6].....	14
3.1 Rüzgar enerjili pompa ile ev kullanımı ve çiftlik hayvanları için gerekli suyun kullanımının şematik gösterimi [4].....	17
3.2 Aktarma sistemine göre rüzgar enerjili pompa çeşitleri [4].....	19
3.3 PVC borudan imal edilmiş kanat örnekleri.....	20
3.4 Büyük bir dişli çarkın içinde dönen küçük dişli ve iki paralel şafttan oluşan geniş rüzgar türbinleri için standart dişli kutusu [3].....	21
3.5 Güvenlik sistemleri. a) Menteşeli sistem, b) Yaylı sistem [4].....	22
3.6 Rotordaki kanat sayısının güç katsayısı ve uygun kanat ucu hız oranına etkisi [3].....	24

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.7 Pistonlu pompaların çalışma prensibi ve çeşitleri [4].....	25
3.8 Kullanılan enerji türüne göre pompa tiplerinin uygulama alanlarına kabaca bir yaklaşım [4].....	28
3.9 Rüzgar türbini ve pistonlu pompa kapasite uyumu. a) Güç-hız eğrileri, b) İlk ve son hız değişimleri [4].....	29
3.10 Yapı özelliklerine göre tanklar [4].....	34
4.1 Su pompalama uygulaması dizaynında izlenmesi gereken adımlar.....	38
4.2 Rüzgarlı enerjili pompalardaki rotor ölçüsünün hesabında kullanılan nomogram [4].....	50
4.3 Pistonlu pompanın strok ve çap değerlerinin seçildiği nomogram [4].....	52
4.4 Rüzgar enerjili pompa sistemindeki pompanın ölçülerinin hesabında kullanılan nomogram [4].....	53
4.5 Farklı iç çaplardaki düz borular için yükseklik kayıpları [4].....	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Alternatif enerji türleri ve kaynakları [1].....	1
2.1 Farklı çaplardaki rüzgar türbinlerinin hidrolik güçlerinin ortalama hıza göre değişimi [5].....	12
3.1 Rüzgar enerjili sistemlerde kullanıma uygun pompalar. [4].....	28
3.2 Rüzgar enerjili pompalama sistemlerinde elde edilen tasarı ve performans karakteristikleri [4].....	32
3.3 İkincil sulama sistemlerinde rüzgar enerjili pompa uygulanabilirliği [4].....	35
4.1 Uygulama alanın özellikleri.....	37
4.2 Pazaryeri, Karaköy sulama suyu ihtiyaçları.....	40
4.3 Çiftlik hayvanlarının genel günlük su ihtiyacı [4].....	40
4.4 Pazaryeri, Karaköy’de şerbetçiotu üretimi için aylık hidrolik güç ihtiyacı tespiti.....	42
4.5 Pazaryeri, Karaköy rüzgar gücü araştırmaları.....	43
4.6 Pazaryeri, Karaköy’de kritik ayın belirlenmesi.....	46
4.7 Pazaryeri, Karaköy’de yapılacak rüzgar enerjili sistemin ölçülendirmesi.....	57
4.8 Pazaryeri, Karaköy’de yapılacak rüzgar enerjili sistemin son özellikleri.....	58

SİMGELER DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
E	Gerekli hidrolik enerji (J)
ρ	Suyun yoğunluğu (kg/m^3)
g	Yer çekimi kuvveti (9.8 m/s^2)
H	Basma yüksekliği (m)
Q	Hacim (m^3)
P_h	Hidrolik güç (W)
N_E	Gerekli hidrolik güç (kW)
q	Debi ($\text{m}^3/\text{gün}$)
$P_{\text{rüzgar}}$	Rüzgar gücü (W/m^2)
V	Hız (m/s)
A	Alan (m^2)
λ	Kanat ucu hız oranı
C_p	Güç katsayısı
C_E	Enerji üretim katsayısı
\bar{P}_h	Ortalama hidrolik güç (W/m^2)
\bar{V}	Ortalama hız (m/s)
V_d	Dizayn hızı
$(C_p\eta)_{\text{max}}$	En yüksek güç katsayısı
V_r	Pompa ve sistemin dayanabileceği en yüksek rüzgar hızı
V_{out}	Devreden çıkma rüzgar hızı

SİMGELER DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
A_{ref}	Referans alan (m ²)
V_{stroke}	Geometrik strok hacmi
λ_d	Dizayn kanat ucu hız oranı
i	Aktarma oranı
V_{ilk}	Çalışmaya başlama hızı
V_{son}	Durma hızı
T	Zaman
\bar{P}	Ortalama güç (W)

1. GİRİŞ

Enerji iş yapabilme kabiliyeti olarak tanımlanır. Temel enerji tüketimi elektrik enerjisidir. Geçmişten günümüze hidrolik santrallerde üretilmektedir. Ancak arazi yapısı ve nehir potansiyeli uygun olmayan ülkeler ise termik santrallerde enerji ihtiyacını karşılamışlardır.

Dünyadaki enerji ihtiyacı her yıl yaklaşık yüzde 4-5 oranında artar. Buna karşılık, fosil-yakıt rezervi ise, çok daha hızlı bir şekilde azalmaktadır. Dolayısıyla hidrolik santraller, termik santraller, kömür ve petrol vasıtasıyla yakıt talebinin karşılanamaz hale gelmesi kaçınılmazdır. 2030 - 2050 yılları arasında petrol rezervlerinin büyük ölçüde tükeneceği ve ihtiyacı karşılayamayacağı düşünülmektedir. Kömür ve doğal gaz için de benzer bir durum söz konusudur. Bu sebeplerle, kendini sınırsız tekrarlayan yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgar, su ve biokütle gibi) önem kazanmıştır.

Çizelge 1.1. Alternatif enerji türleri ve kaynakları [1]

	Alternatif Enerji Türü	Kaynak
1.	Nükleer Enerji	Uranyum gibi ağır elementler
2.	Güneş Enerjisi	Güneş
3.	Rüzgar Enerjisi	Atmosferin hareketi
4.	Dalga Enerjisi	Okyanus ve denizler
5.	Doğal Gaz Enerjisi	Yer altı kaynakları
6.	Geo-termal Enerji	Enerji Yer altı suları
7.	Hidrolik Potansiyel Enerji	Nehirler
8.	Hidrojen Enerjisi	Su ve hidroksitler
9.	Bio-kütle	Biyolojik artıklar, yağlar

Çizelge 1.1’de verilen ve kaynak itibariyle yaşamı sonsuz sayılacak kadar çok olan enerjiler yenilenebilir enerji olarak isimlendirilir.

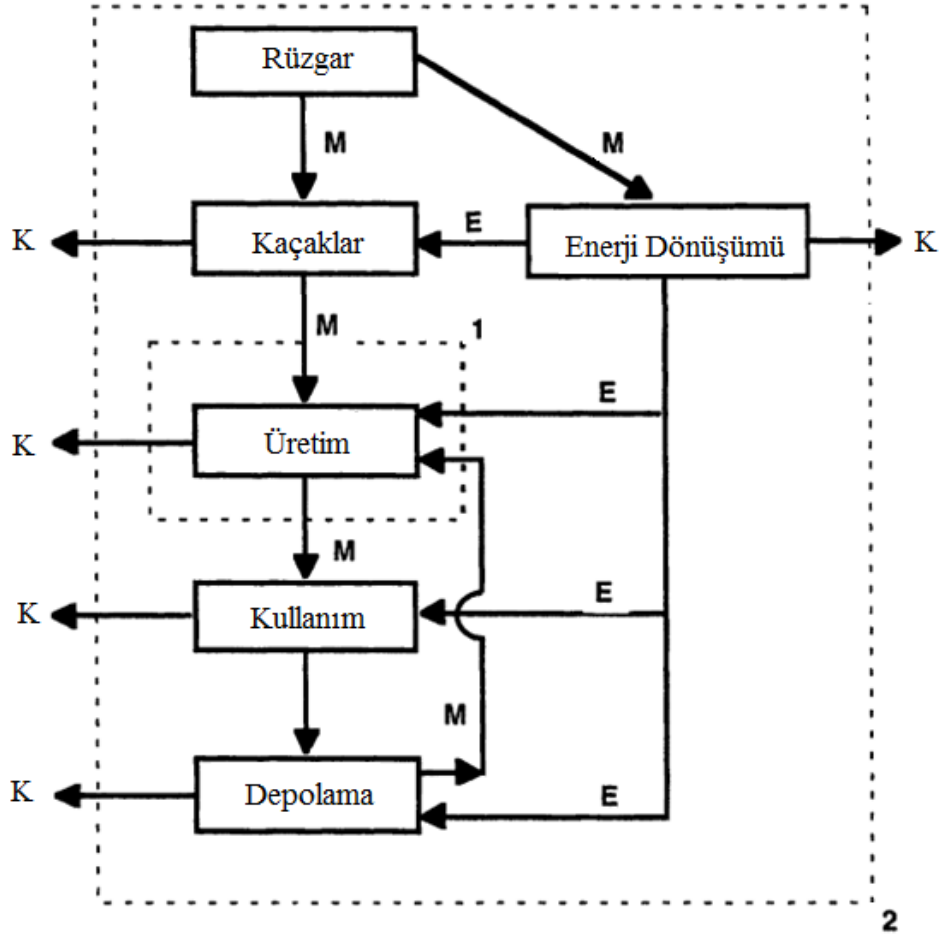
Türkiye, güneş ve rüzgar bakımından oldukça zengin bir ülkedir. Şimdiye kadar güneş enerjisi yalnızca güney yörelerimizde çok düşük verim ile su ısıtma amaçlı kullanılmıştır. Türkiye için tükenmeyen kaynaklar olan rüzgar ve güneş, önümüzdeki yılların ana enerji ve elektrik kaynağı olmaya adaydır.

İlk yatırım maliyetinden sonra, bakım ihtiyacı sifıra yakın olan sistemlerin birim fiyatları dünya genelinde düşmeye başlamıştır. Bunun sonucunda, çok yakın bir gelecekte hem verim hem de maliyet olarak alternatif enerji kaynakları sistemleri, diğer enerji üretim sistemleri ile aynı maliyete ulaşacaktır.

1.1. Rüzgar Enerjisi

Yenilenebilir bir enerji türü olan rüzgar, eski çağlardan beri kullanılmaktadır. Rüzgar enerjisi, hareketli havanın sahip olduğu kinetik enerjinin bir eksen etrafında dönen kanatlar vasıtasıyla mekanik enerjiye dönüştürülmesi ile kullanılabilir. Temiz olması ve diğer enerji türlerine kolayca çevrilebilmesi rüzgar enerjisinin yararlarındanıdır.

Rüzgarın sahip olduğu kinetik enerji mil üzerine yerleştirilmiş kanatlar vasıtasıyla dönel harekete çevrilir. Mil basit pistonlu bir pompayı tahrik eder. Pompa da kaynaktaki suyu daha yüksek bir depoya iletir. Böylece rüzgar enerjisi depoda suyun potansiyel enerjisine çevrilmiş olur. Sulama veya ev kullanımı amaçlı bir sistem pompa veya kompresör gücünden tasarruf edilmesini sağlar. Diğer bir kullanım şekli de dönen milin ucuna jeneratör bağlayarak doğrudan AC veya DC formunda elektrik üretmektir. Üretilen elektrik bir akünün şarj işlemi için kullanılarak depolanabilir. Aküde depolanan elektrik sulama ve aydınlanma için elektrik kaynağı olacaktır. Eğer dönen mil ucuna bir kompresör bağlanırsa bir tanka hava sıkıştırılabilir. Böylece enerji tankın içindeki havanın basınç potansiyeli şeklinde depolanmış olur. Şekil 1.1'de rüzgar enerjisinin dönüşümü ve doğal çevrim içerisindeki yerini belirten şema verilmiştir. Bu şemada dönüşüm esnasında, kullanım ve depolamada oluşan kayıplar ve kaçaklar ayrı ayrı gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Rüzgar enerjisinin doğal enerji çevrimi içerisinde gösterimi [2]

Türkiye’de özellikle Marmara ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yüksek bir rüzgar potansiyeli vardır. Buradaki ortalama rüzgar hızları 3 m/s’nin üzerindedir. Diğer bölgelerde daha çok yerel potansiyel mevcuttur. Bireysel kullanım için yerel potansiyeller araştırılmalıdır.

2. RÜZGAR ENERJİSİNİN SU POMPALANMASINDA UYGULANABİLİRLİĞİ

Bu bölümde rüzgar enerjisi ile çalışan pompaların sulamada kullanılmasının diğer alternatiflere göre daha uygun olduğuna karar verebilmek için yapılması gereken hesaplamalar ve ölçütler incelenecektir. Bölüm 2.1’de rüzgar türbinlerinin kısa geçmişi verilip, maliyetlerin düşürülmesi için önerilerde bulunulacaktır. Bölüm 2.2’de debi ve bunun için gerekli enerji ihtiyacı değerlendirilecektir. Bölüm 2.3’te rüzgar enerjisi temin edilecek sahanın seçimi, oluşturulması ve su pompalayabilmek için gerekli enerjinin hesaplanması ile ilgili bilgi verilecektir. Bölüm 2.4’te kırsal kesimde kullanılacak tipik pompalama uygulamaları tanıtılıp, her biri için uygun pompalama sistemleri belirtilecektir. Bölüm 2.5’te oluşabilecek arızaların kısa bir değerlendirmesi verilecektir. Bölüm 2.6’da ise rüzgar türbinli pompaların uygulanabilirliği hususunda karar vermek için sağlanması gereken şartlar verilecektir.

Bölüm 2’nin sonunda ulaşılmak istenen hedef, ihtiyaçlar ışığında ve var olan koşullar altında, rüzgar enerjisi ile su pompalamanın uğraşmaya, harcama yapmaya değer olup olmadığını belirleyecek düzeyde karar verebilmektir.

2.1. Rüzgar Türbinli Pompaların Kısa Geçmişi

Su, insanların ev kullanımında, çiftlik hayvanlarının bakımında, sulamada gereksinim duyduğu temel bir ihtiyaçtır. Dünyada pek çok kırsal alanda su nehirlerden veya kuyulardan çeşitli pompalama yöntemleri ile taşınmak zorundadır.

Avrupa’da birkaç yüzyıl ve ABD’de 19.yüzyıl boyunca rüzgar enerjisi su pompalamada çok kullanıldı. Avrupa’da yatay eksenli rüzgar değirmenlerinin en eski kaydı 12.yüzyıl İngiltere’sindedir. Bu teknoloji sonraki yıllarda bütün Avrupa’ya yayılmıştır.

Hollanda’da 15.yüzyıldan bu yana rüzgar değirmenleri bataklıkların, göllerin suyunu çekmek ve yeni araziler oluşturmak için kullanılmaktadır (Şekil 2.1). Rüzgar enerjisinden suyu belirli bir alandan pompalamak için yararlanılır. Tarıma elverişli

toprakların rüzgar değirmenleri ile yaratılması Hollanda'nın ekonomik gelişmesine etkisi büyük olmuştur. 19.yüzyılın başlarında ülkede 10000 adet 28 metre çapına ulaşan büyüklükte kanatları bulunan rüzgar değirmenleri kullanılmıyordu. Avrupa'nın kalanında da on binlerce rüzgar değirmeni çeşitli amaçlar için kullanılmıştır.



Şekil 2.1. Hollanda'da deniz seviyesinin altında ekime elverişli toprak elde etmek için rüzgar enerjisinden faydalanılması [3]

Rüzgar değirmenleri buharlı motorla tanışıldığı dönemde göz ardı edildi. Ancak; rüzgar değirmenleri Avrupa'da kaybolmaya başladığında ABD'de geniş kullanım alanı olan başka bir tip rüzgar değirmeni geliştirildi. Bu tip değirmende kanatların yakaladığı rüzgar enerjisini, bir aktarma sistemi pistonlu bir pompaya iletmekte ve pompa suyu gerekli noktalara iletmekteydi. Milyonlarca insan bu sistemi ev ve çiftlik hayvanları için kullanmıştır. Bu değirmenlere klasik çok kanatlı rüzgar değirmeni adı verilir. Bu değirmenler benzinli ve elektrikli pompaların üretimine kadar yaygın kullanılmıştır.

1920-1940 yılları arasında klasik çok kanatlı rüzgar değirmenleri yaygın olarak kullanılmış, 1950lerde petrolden üretilen yakıtların ucuz ve kolay bulunabilir olması ile petrol türevi yakıtla çalışan pompalar kullanılmaya başlanmıştır. 1970'lerin başlarında

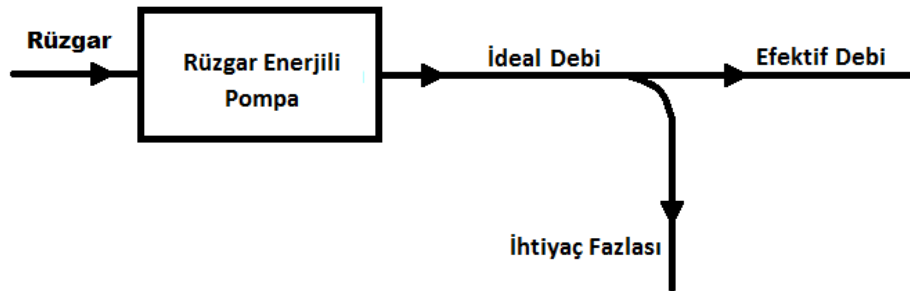
petrol fiyatlarının artışı ile değirmenlere olan ilgi geri gelmiştir. Ancak klasik çok kanatlı rüzgar değirmenlerinin malzemelerinin ve kurulumunun pahalılaşması bu durumu olumsuz etkilemiştir. 1974'ten sonra bir grup kuruluş suyu daha ucuza aktarmaya yarayan yeni bir değirmenin tasarımı için çalışmaya başladı. Daha yeni ve etkili rüzgar değirmenlerinin keşfi ve yerel üretim malzemelerin kullanılması fikrinin ortaya çıkışı ile rüzgar değirmenlerinin maliyetinde düşüş sağlandı.

2.2. Debi ve Enerji İhtiyacı

Su pompalama sistemi kurulması istendiğinde yapılması gereken ilk şey ne kadar su ihtiyacı olduğunun hesaplanmasıdır, bunun ardından bu miktarı karşılayacak ve bütçeye uygun sistemin seçilmesi gerekir.

Rüzgar enerjisi ile pompalama durumunda göz önünde bulundurulması gereken başka etkenler de vardır. Rüzgar çok değişkendir. Başlatmak, durdurmak veya yeterince güce sahip olması bizim elimizde değildir. Güçlü bir rüzgar tankı doldurmakta veya sulama yapmakta yeterli olabilir, zayıf bir rüzgar da gerekli suyu sağlayamayabilir. Suyun nerede kullanılacağı da önemli bir faktördür.

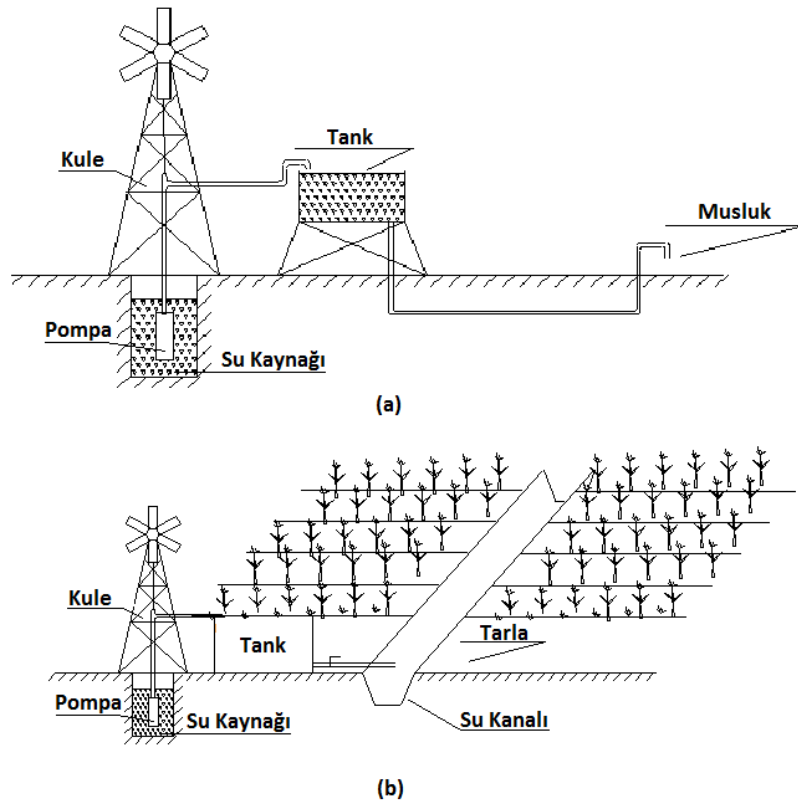
Rüzgar gücü potansiyeli biliniyorsa verilen ölçülerde bir rüzgar enerjili pompanın ideal debisi hesaplanabilir. Efektif debi kullanıcı ihtiyaçlarına bağlıdır. Örnek olarak bir çiftçi hasat süresince rüzgar, su pompalamaya yeterli olsa bile suya ihtiyaç duymaz. İdeal ve efektif debi Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. İdeal ve efektif debi [4]

Rüzgar enerjili pompanın efektif debisi ihtiyaçlara ve pompanın kullanılacağı uygulamaya çok bağlıdır. Şekil 2.3’de iki adet tipik rüzgar enerjili pompalama sisteminin gösterimi verilmiştir. Sistemde rüzgar enerjili pompanın yanında kuyu veya su kaynağı, emme ve basma boruları, tank, dağıtım sistemi, tarla uygulamaları (sulamada) bulunmaktadır.

Rüzgar enerjili pompalama sistemlerinde gerekli su miktarı tam olarak belirlenmelidir. Bir rüzgar enerjili pompalama sisteminin yatırım maliyeti ve toplam enerji üretimi rotor alanı ile doğrudan orantılıdır. Bu nedenle gerekli su miktarı maliyeti de etkileyecek olan rotor alanını belirlemede etkilidir. Tankın maliyeti de sistemin maliyetine dahil edilmelidir çünkü rüzgar enerjili sistemler diğer sistemlerden farklı olarak ihtiyaç olduğunda çalıştırılıp durdurulabilecek türden değildir.



Şekil 2.3. Rüzgar enerjisi ile pompalama sistemleri: a) Musluklara su aktarılan sistemin şematik gösterimi, b) Sulama kanalına su aktarılan sistemin şematik gösterimi

Sağlanan efektif debinin, kullanıcının ihtiyaç duyduğu su miktarının ve bu hacimdeki suyu pompalamak için gerekli olan enerjinin hesaplanması gerekmektedir. Belirli bir miktar (Q) suyu bir H basma yüksekliğine taşımak için gerekli hidrolik güç:

$$N_E = \frac{\gamma Q H_m}{102 \eta_q} \quad (\text{kW}) \quad (1)$$

Su miktarını ikiye katlamak enerji ihtiyacını da ikiye katlar, basma yüksekliğinin iki katına çıkarılması durumunda da aynı şekilde enerji ihtiyacı ikiye katlanır.

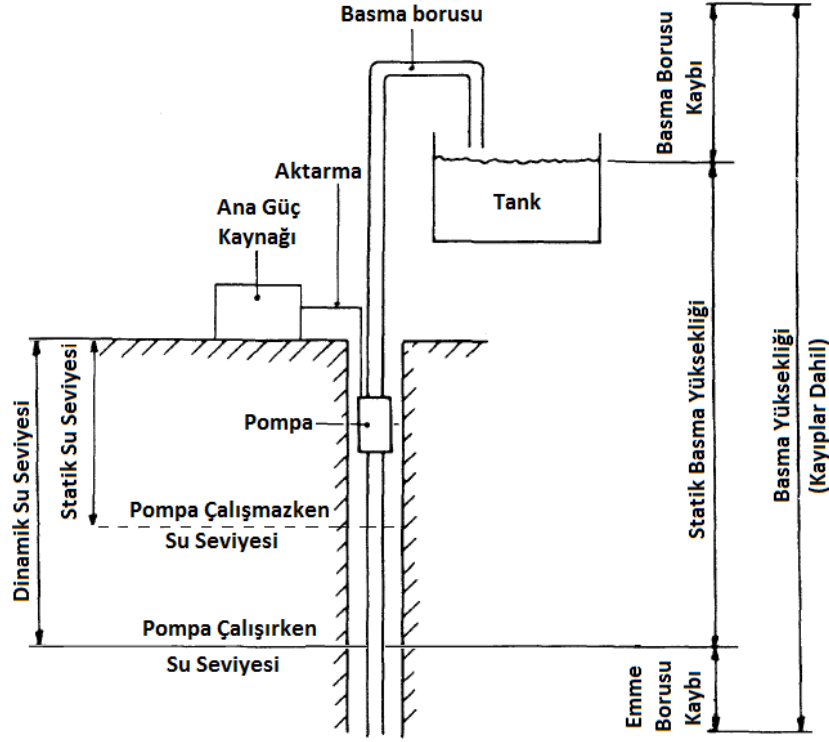
Hesaplamalarda kolaylık sağlaması için enerji birimi olarak kilovat saat (kWh) yerine megajul de (MJ) kullanılabilir. Özellikle hidrolik enerjiden bahsediliyorsa yükseklik kadar su hacmi yani m^4 olarak da verebiliriz.

Suyun depoya ulaştırılmasına kadar oluşan enerji dönüşüm kayıplarına ilave olarak basma borusu kayıpları da vardır. Bu durum toplam pompalama enerjisinin maliyetini arttırır.

Güç, birim zamanda harcanan enerjiye denir. Başka bir deyişle güç enerji verebilme yeterliliğidir.

Pompalama sistemlerinin tasarımında enerji ve güç önemli ölçütlerdir. Enerji ihtiyaç duyulan su miktarının belirtilen basma yüksekliğine çıkarılması için gerekli olan, yakıt veya insan gücü olarak miktarını belirler. Güç ise kullanılan enerjinin miktarını belirler. Güç belirlenen bir diliminde, gerekli enerjinin miktarını belirlemekte başvurulan bir kıstastır.

Basma yüksekliğinin gördüğümüz gibi güç gereksinimine ve suyun maliyetine doğru orantılı bir etkisi vardır. Basma yüksekliği, statik basma yüksekliği ve borulardaki sürtünmelerden kaynaklanan kayıpların toplamıdır (Şekil 2.4). Statik basma yüksekliği basitçe suyun çıkartılması gereken fiziksel yüksekliktir. Buna, suyun pompalanacağı derinlikle basılacağı yükseklik arasındaki kot farkı da denir. Kayıplar boruların içerisindeki akış esnasında emme ve basma borularındaki basınç kayıplarıdır. Uygun hesaplamalar ile elde edilen boru çapları sayesinde bu kayıplar düşük seviyede tutulabilir.



Şekil 2.4. Kayıplar, basma yüksekliği, statik ve dinamik su seviyelerinin gösterimi [4]

2.3. Rüzgar Enerjisi Temin Edilecek Alanın Seçimi

Rüzgar enerjili bir pompa için en uygun alan rüzgarın rahatça esebileceği açıklık bir alandır. Kapalı bölgeler (orman içi ya da vadiler gibi) genellikle kullanışsızdır.

Bir alandaki kullanılabilir rüzgarın miktarını hesaplamaktaki problem, var olan rüzgar hızı bilgilerinin genellikle güvenilmez olmasıdır. Temin edilebilecek meteoroloji istasyonu ölçümlerinden elde edilen uzun yıllar ortalama aylık rüzgar hızı değerleri veya anemometre ile yapılan ölçümler en güvenilir kaynaktır. Şekil 2.5'te Pazaryeri, Karaköy'deki ölçümlerde kullanılan anemometre, ölçüm direği ve rüzgar yönüne dönüşü sağlayan kuyruk mekanizması gösterilmiştir. Yapılan ölçümlerde toplam yüksekliği 10 m olan ve bir mesnet noktasından hareket ettirilebilen profilden imal edilmiş direktten faydalanılmıştır (Anemometreyi ölçüm noktasına taşımak ve yere indirip değerleri okuyabilmek için direk hareketli imal edilmiştir). Anemometre rüzgar yönüne kuyruk yardımı ile dönebilen hareketli bir sisteme yerleştirilmiştir. Rüzgar hızının ölçümü, rüzgar enerjisiyle su pompalamanın ekonomik olup olmadığını

belirlemek için gereklidir. Rüzgar enerjili pompa ile su aktarımının maliyeti aylık ortalama rüzgar hızına çok duyarlıdır. Bir alandaki kullanılabilir rüzgar miktarı alanı saran toprak parçasının genel topografisinden ve alanın açık veya kapalı (ağaçlık veya binaların bulunması) olmasından etkilenir.



Şekil 2.5. Pazaryeri rüzgar ölçümlerinde kullanılan anemometre ve yardımcı ekipmanlar

Güneş enerjisi ile karşılaştırıldığında rüzgar enerjisi alana ve zamana eşit olmayan bir biçimde yayılmıştır. Tropik alanlarda günlük güneş ışıması 1'e 3 oranında değişim göstermektedir. Çok güneş gören alanlarda günlük 24 MJ enerji varken az güneş gören alanlarda 8 MJ enerji bulunabilmektedir. Bir alanda günlük güneş enerjisi değişimi en fazla 1'e 4 oranında olur.

Rüzgar gücündeki değişim daha farklıdır. Çok rüzgarlı bölgelerin potansiyeli az rüzgarlı bölgelere göre 100 kat daha fazla olabilmektedir. Bir alanda günlük rüzgar potansiyeli 1'e 10 ile 1'e 100 oranları arasında (Fırtınalar göz önünde bulundurulursa daha da fazla) çeşitlilik gösterebilir.

Küresel rüzgar şablonları dünyayı sarmalayan hava kütesinin sıcaklık farkları sebebiyle farklı dağılımlarla yer değiştirmesinden oluşur. Ekvator çevresindeki ülkelerde net enerji kazanımı, kuzey ve güney kutup noktalarında da net enerji kaybı vardır. Eşitliği sağlamak için ısı ekvatordan kutup noktalarına doğru atmosferin farklı sirkülasyonlarıyla ve kısmen okyanuslarla aktarılır. Küresel rüzgar şablonları dünyanın dönüşünden ciddi derecede etkilenmektedir. Rüzgar şablonları çeşitli ve karışık olduğundan rüzgar potansiyeli tayin etmek de karışık bir iştir.

2.3.1. Rüzgar gücünün hesabı

Rüzgarın V hızında dik bir A alanına tesir eden rüzgar gücü şöyle hesaplanır:

$$P_{\text{rüzgar}} = \frac{1}{2} \rho A V^3 = \frac{1}{2} \rho Q V^2 = \frac{1}{2} \rho A V V^2 = \frac{1}{2} \rho V^3 A \quad (\text{W}) \quad (2)$$

Normalde rüzgar gücü potansiyeli birim alana düşen güç olarak verilir. Yani:

$$P_{\text{rüzgar}} = \frac{1}{2} \rho V^3 \quad (\text{W/m}^2) \quad (3)$$

Eğer bir rüzgar değirmeninin kurulduğu bölgede ağaçlık bir bölge veya bir yükselti varsa aktarabileceği enerji düşüş gösterir.

2.3.2. Su pompalamak için gerekli rüzgar gücü

Rüzgarın değişkenliği, alan tayini gibi zorluklara rağmen alandaki ortalama rüzgar hızını temel alarak suyu taşımak için ortalama güç verimliliğini tayin etmek mümkündür. Bir aylık veya yıllık ortalama rüzgar hızının bir alanda \bar{V} olduğunu varsayarsak aynı zaman dilimindeki kullanılabilir hidrolik enerji çıkışı \bar{P}_h şu şekilde tayin edilebilir:

$$\bar{P}_h = 0,1 \bar{V}^3 A \quad (\text{Watt}) \quad (4a)$$

Burada A rotor tarafından süpürülen alandır ve bu formül şu şekilde de ifade edilir:

$$\bar{P}_h = 0,1 \bar{V}^3 \quad (\text{W/m}^2) \quad (4b)$$

Ortalama rüzgar hızına bağlı değişim fark edilebilir durumdadır. Örnek olarak Çizelge 2.1’de farklı çaplardaki rüzgar türbinlerinin hidrolik güçlerinin ortalama hıza göre değişimi verilmiştir. Bu çizelge rüzgar türbiniyle ne kadar güç üretilebileceği hakkında bir fikir vermektedir. Çizelgede 2 m çapında bir rüzgar gülünden 6 m/s hızda 0,407 kW enerji üretilebileceği gösterilmiştir. Çizelgedeki değerlerin sabitliğine aldanılmaması gerekmektedir. Gerçekte elde edilecek güç katsayısına göre 0,3 ile 0,5 kW arasında bir üretim gerçekleşecektir.

(1) ve (4a) formüllerinin birleştirilmesi kullanılabilir ortalama çıkış gücü için gerekli ortalama hidrolik güç ihtiyacını ifade eder. Bununla beraber ortalama rüzgar hızı da biliniyorsa gerekli rotor çapı hesaplanabilir. 0,1 katsayısı ile verilen (4a) ve (4b) formülleri çok kaba bir tahmindir. Gerçekte bu katsayı rüzgar enerjili pompaya göre 0,05 ile 0,15 arasında uygulamaya göre değişir. Detaylı hesaplamalar ilerleyen bölümlerde anlatılacaktır. Ayrıca Çizelge 2.1 verilen değerler potansiyel sonuçlardır. Kayıplar göz önünde bulundurulmamıştır.

Çizelge 2.1. Farklı çaplardaki rüzgar türbinlerinin hidrolik güçlerinin ortalama hıza göre değişimi [5]

Üretilebilecek Güç (kW)									
Rotor Çapı (m)	Rüzgar Hızı (m/s)								
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5	6
1	0,00047	0,00159	0,00377	0,00736	0,01272	0,02019	0,03014	0,05888	0,10174
2	0,00188	0,00636	0,01507	0,02944	0,05087	0,08078	0,12058	0,23550	0,40694
3	0,00424	0,01431	0,03391	0,06623	0,11445	0,18175	0,27130	0,52988	0,91562
4	0,00754	0,02543	0,06029	0,11775	0,20347	0,32311	0,48230	0,94200	1,62778

2.4. Tipik Su Pompalama Uygulamaları

Rüzgar enerjili pompa çeşitli uygulamalar için kullanılır.

- Ev kullanımı
- Çiftlik hayvanlarının ihtiyaçları
- Sulama
- Kanalizasyon
- Tuz havuzları
- Balık çiftlikleri

Uygulama tipine göre değişik türde sistemler kullanılır. Pompa tipi seçimi çok çeşitlidir (pistonlu pompa, santrifüj pompa, vidalı pompa, deplasman veya hava pompası).

Mekanik rüzgar enerjili pompaların türbin çapı 1 ile 8 m arasında değişir. Pompalama yüksekliği ve ortalama rüzgar hızına göre ortalama çıkış gücü birkaç watt'tan 1 kW'a kadar değişir. Daha yüksek enerji ihtiyaçları için rüzgar elektrik pompalama sistemleri yani rüzgar enerjili pompa ile elektrikli pompanın beraber kullanıldığı sistem uygulanabilir. Bu sistemler gelişmekte olan ülkelerde nadiren kullanılmaktadır ve 10 kW'a kadar çıkış gücü sağlamaktadır. 10 kW ve üzerinde güç elde etmeyi sağlayacak, teknik ve mali yönden karşılanabilecek sistemlerin uygulanmaması için bir sebep yoktur. Bu çıkış gücü sağlandığında güç suyu pompalamaktan başka işlere de güç kaynağı olabilir.

2.4.1. Ev kullanımı

Çiftlik hayvanları ve ev kullanımı için gerekli su ihtiyacı yıl bazında sabit denilebilecek seviyededir. 500 kişinin yaşadığı bir köyün günlük su ihtiyacı yaklaşık 20 m³'tür. 20 metre basma yüksekliği varsa 400 m⁴'ten az fazla bir hidrolik enerji ihtiyacı vardır. Bu da 40 W'lık bir güç gereksinimi demektir. Ayrıca suyun basma yüksekliği genellikle 20 metreden fazladır (100 metreye kadar).

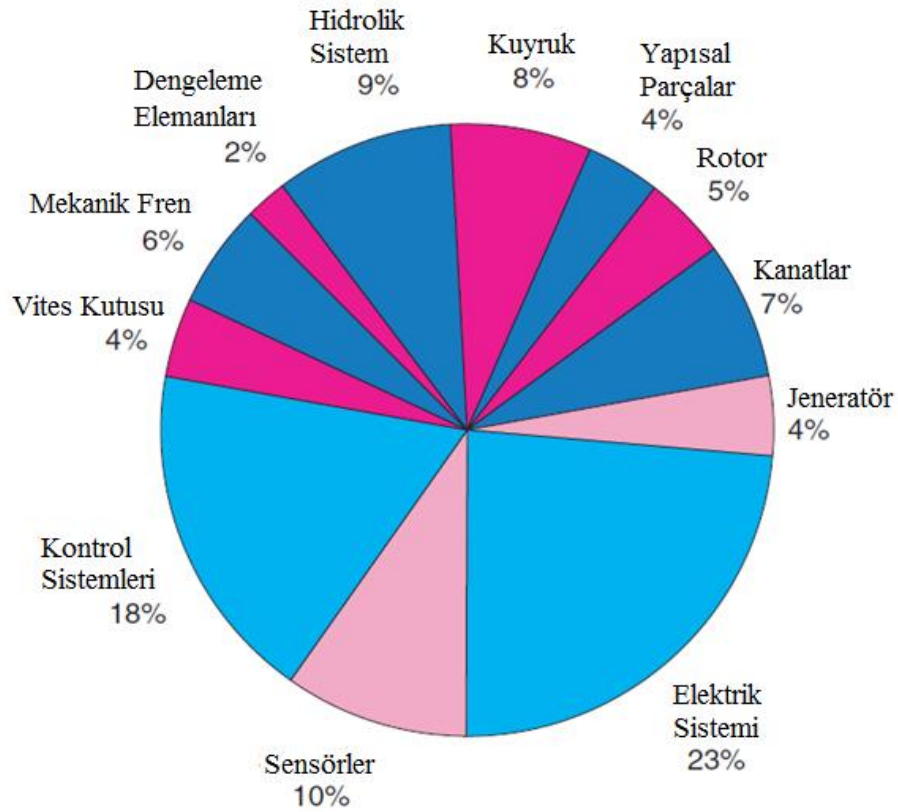
Tanklar, arıza çıkması veya yakıt bitmesi durumunda kullanmak için kırsal su dağıtım sistemlerinin hepsinde (el pompaları hariç) genellikle bulunmaktadır.

2.4.2. Sulama

Sulama suyu ihtiyacı sezonluktur. Kritik aydaki ortalama su ihtiyacı normalden 2 ile 5 kat daha fazla olabilir. 30 m'nin altındaki kuyulardan sulama yapmak küçük çaptaki işler için rüzgar enerjili sistemler genellikle uygun değildir. Rüzgar enerjili pompalar sulama için kullanıldığında bir depolama sistemi mutlaka eklenmelidir.

2.5. Rüzgar Türbininde Oluşan Arızaların Sisteme Etkisi

Rüzgar türbininde oluşan arızalar sonucu sistemin çalışmaz duruma gelmesi mümkündür. Bu arızaların bazıları kolay giderilebilirken bazılarının çözülmesi hem pahalı hem de uzun zaman isteyen bir iş olabilir. Arızaların olduğu kısımların yüzde olarak ifade edildiği bir grafik Şekil 2.6'da verilmiştir. Bu grafikteki yüzdeler toplamda 34582 arıza raporunun incelenmesi ile belirlenmiştir. En çok arıza elektrik, kontrol sistemleri ve sensörlerde oluşmaktadır. Temel yapı bileşenlerinde arızaların ortaya çıkması daha düşük bir ihtimaldir.



Şekil 2.6. Arızaların sistem bileşenlerine göre yüzde olarak dağılımı [6]

2.6. Rüzgar Türbinli Pompaların Uygulanabilirliği

Çeşitli su pompalama seçeneklerinin rüzgar enerjili pompa, güneş enerjili pompa, motorlu pompa, el pompası olduğunu kabul edersek, kullanılacak sistem suyu daha ucuza aktaracak olan sistemdir.

Rüzgar enerjisinin uygulanabilirliğini değerlendirebilmek için şu bilgilere sahip olmamız gereklidir:

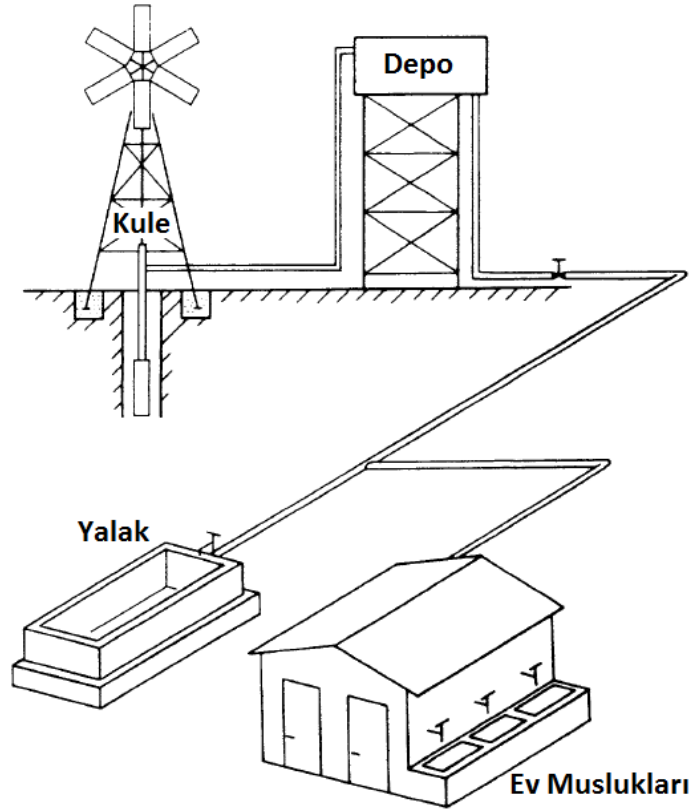
- Ortalama günlük hidrolik enerji gereksinimi, m^4 olarak gerekli su hacmi ve kayıplarda kabaca yüzde 20 kabul edilen basma yüksekliği
- Rüzgar hızı ölçümleri,
- Kritik ay, günlük hidrolik enerji gereksiniminin en yüksek olduğu ay veya sabit su ihtiyacının olduğu sistemlerde ortalama rüzgar hızının en düşük olduğu ay.

Satın alınabilecek en küçük dizel motorlu su pompası $2000 m^4/gün$ 'lük kapasitededir. Bu değer altında dizel motorlu su pompası seçeneği bu iş için iyi bir seçim değildir. Benzer olarak $500 m^4/gün$ 'lük kapasitedeki satın alınabilecek en küçük kerosen pompası $0,5 kW$ 'lıktır. $20 m^4/gün$ 'lük ihtiyacın altında el pompasının kullanılması muhtemelen en iyi çözümdür. $100000 m^4/gün$ 'den fazla ihtiyacın olduğu durumlarda sadece rüzgar enerjili su pompası kullanımı yetersiz olacaktır. Su ihtiyacının evsel kullanım ve sulama olarak ikiye ayrılmasının sebebi evlerin su ihtiyacının 1 yıl boyunca aşağı yukarı sabit olması, sulamanın ise sezonluk artıp azalmasıdır. Sulamada sulama sezonu haricinde rüzgar enerjili pompa kullanılmayabilir.

3. RÜZGAR ENERJİLİ POMPA TEKNOLOJİSİ

Bu bölümde rüzgar enerjili pompa sistemlerinin rüzgar türbini, aktarma, pompa, tank ve dağıtım hatları kısımları tanıtılacaktır. Terminolojide rüzgar enerjili pompa denilince akla ilk gelen yatay eksenli, mekanik aktarma sistemli, pistonlu pompa sistemleridir. Bu durum çok yaygın kullanılmakta olması ve oldukça önemli bir deneyim birikiminin olmasından kaynaklanmaktadır. Bu bölümde konuya önce beş farklı tip rüzgar türbinli su pompasının genel tanımı yapılacaktır.

Rüzgar enerjisi ile su pompalama istasyonu kurulması işinin bir bütün olduğu hiçbir zaman gözden uzak tutulmamalıdır. İstenilen miktarda suyu elde etmek için yapılan harcamaların tamamı, yatırımın uygulanabilirliği konusunda gerekli olan en önemli bilgidir. Öncelikli olarak göz önünde bulundurulması gereken konuların başında rotor alanı gelir. Rüzgar enerjili pompa sistemlerinin maliyeti rotor alanı ile orantılıdır. Sistemin üretebileceği toplam enerji miktarı da (veya belirli bir yüksekliğe basabileceği su miktarı) rotor alanı ile doğru orantılıdır. Yani bir rüzgar enerjili pompa sisteminin projelendirilmesinde elde edilmesi hedeflenen su miktarı bilgisi son derece önemlidir. Çünkü bu bilgi bizim rotor alanını belirlemek için yapacağımız hesaplamaların esas dayanağı olacaktır ki; bu alan hesabı sonucu da bize maliyet ile ilgili önemli bir dayanak noktası oluşturacaktır. Göz önünde bulundurulması gereken diğer bir önemli konu da depolama sistemidir. Diğer enerji kaynakları ile (Akaryakıt, elektrik) çalıştırılan pompalar için depolama konusu, su ihtiyacı olduğunda hemen çalıştırılabilme özellikleri nedeni ile pek önemli değildir. Ancak; rüzgar enerjili pompa sistemleri depolamayı gerektiren sistemlerdir. Rüzgar enerjili pompalar sadece rüzgar olduğunda su basabileceğinden, depolama imkanı yaratılarak rüzgarın ihtiyacın üzerinde estiği süre içerisinde elde edilen ihtiyaç fazlası su, rüzgarın az olduğu veya hiç olmadığı zamanlarda kullanılmak üzere depolanmalıdır. Şekil 3.1’de bir rüzgar enerjili pompa sistemi yerleşiminin bir örneği verilmiştir.



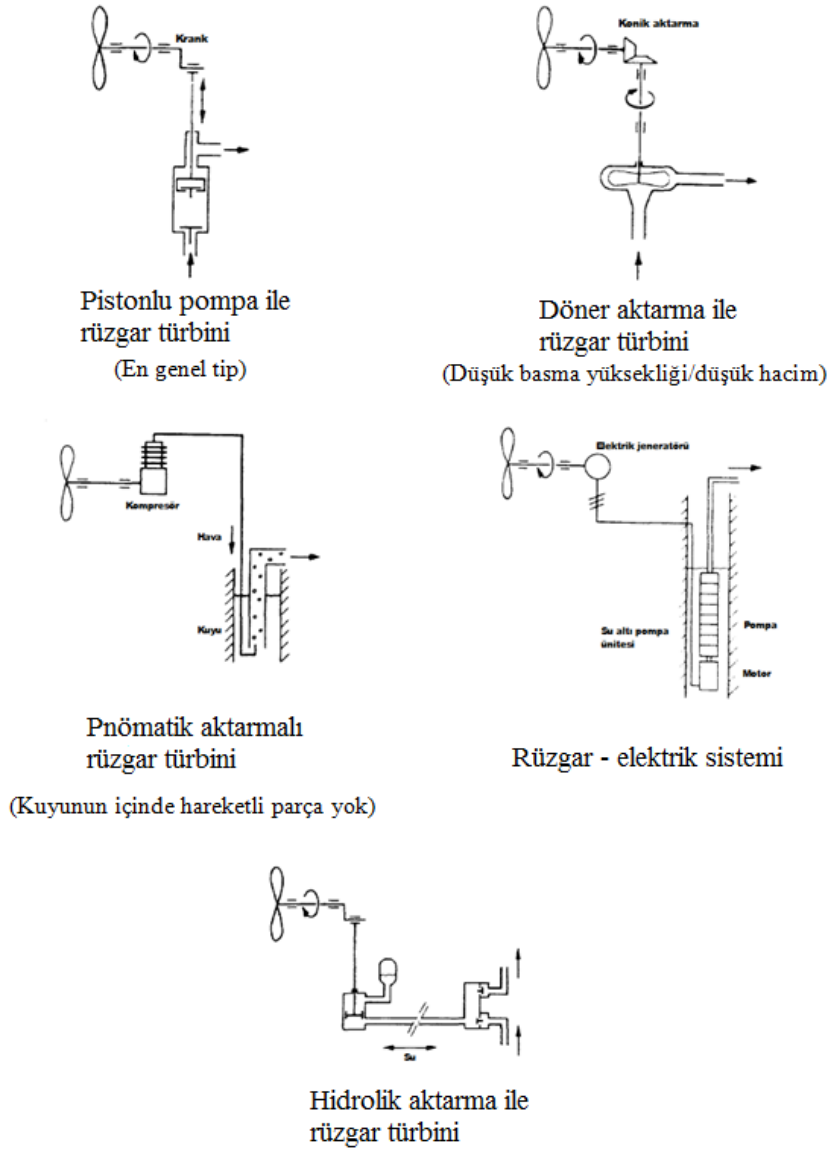
Şekil 3.1. Rüzgar enerjili pompa ile ev kullanımı ve çiftlik hayvanları için gerekli suyun kullanımının şematik gösterimi [4]

Rüzgar enerjisi ile pompanın uyumluluğu yeterli performansın sağlanabilmesi için en önemli konulardan birisidir. Rüzgar enerjisine göre daha fazla su basma kapasitesine sahip olarak seçilecek pompa daha fazla su verecekse rüzgar enerjisi tekrar değerlendirilmelidir. Çünkü bu durum rüzgar türbini ortalamanın üzerinde rüzgar aldığı anda biraz karlı gibi görünse de, pek çok zaman rüzgar türbininin ortalama rüzgar hızında bile start almasını engelleyip hiç su elde edilememesi sonucunu doğuracaktır. Küçük pompa seçmek ise pompanın düşük rüzgarlarda bile çalışmaya başlaması için avantajlı gibi görünse de rüzgarın ortalama hızda ve ortalama hızın üzerinde olduğu dönemlerde oldukça önemli verim kayıplarına neden olacaktır. Rotor alanına göre en uygun pompa seçimi rüzgar rejimine bağlıdır. Aynı rüzgar türbini için yüksek hızlarda daha büyük pompa seçilebilir.

3.1. Rüzgar Enerjili Pompa Tipleri

Su pompalamada rüzgarla çalışan pompalar yaygın olarak kullanılmaktadır. Türbin ve pompalama aleti arasındaki aktarma tipine göre sınıflandırılırlar. (Şekil 3.2).

- **Pistonlu bir pompayı hareket ettiren rüzgar türbini:** Rotor mekanik olarak (direk veya vites kutusu aracılığıyla) pistonlu pompaya bağlıdır. Bu en yaygın kullanım biçimidir.
- **Döner bir aktarma ile su basan rüzgar türbini:** Rotor enerjisini bir döner aktarma ile bir döner pompaya (santrifüj, vidalı pompa gibi) iletir. Bunlar daha çok düşük basma yüksekliği veya yüksek hacim gerektiren yerlerde kullanılırlar.
- **Pnömatik aktarma ile su basan rüzgar türbini:** Rüzgar türbini ile çalışan kompresörler ile basınçlı hava üretilerek, depolanmış olan basınçlı hava suyun basılması için, hava pompası (basitçe iki eş merkezli boru) veya deplasman pompası (basitçe birkaç valfli bir silindir) ile kullanılır. Bu aktarma yöntemi kuyudan uzakta bir rüzgar türbini kurulumuna elverişlidir. Başka avantajları da pompa kollarının yokluğu ve kuyunun içinde hareketli bir parçanın bulunmamasıdır.
- **Rüzgar enerjili, elektrikli pompalama sistemi:** Rüzgar enerjili elektrik jeneratörleri bazen elektrik pompalarını direk çalıştırır (elektrik şebekesine bağlanmadan). Bu sistemde de türbin ve kuyu uzak mesafelerde olabilir. Su altında çalışabilen dalgıç pompalar, dar kuyuların içine girip pistonlu pompalardan daha yüksek debide su çekebilirler.
- **Rüzgar türbini ve hidrolik aktarma ile pompalama:** Rüzgar türbini tarafından döndürülen bir hidrolik pompa ile yapılan sistemdir.



Şekil 3.2. Aktarma sistemine göre rüzgar enerjili pompa çeşitleri [4]

3.2. Rüzgar Türbini Bileşenleri

Genel bir rüzgar türbini şu parçalardan meydana gelmektedir:

- Rotor, rüzgar enerjisini yakalayıp mekanik enerjiye çevirir.
- Aktarma, enerjiyi rotordan pompaya iletir.
- Güvenlik sistemi, türbini ani rüzgar ve fırtınalardan korur.
- Kule, bütün sistemin üzerine monte edildiği yapıdır.

3.2.1. Rotor

Ana hareket kaynağındaki en temel parçalardandır ve rüzgarın sahip olduğu gücü kullanılabilir mekanik enerjiye çevirir. Kanatlar genellikle eğri form verilmiş çelik veya PVC parçalardan oluşur. PVC borudan imal edilen kanat örnekleri Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Bazen yelkene benzeyen yel değirmeni kanatları da kullanılır. Klasik rüzgar türbinlerinde 15 ile 36 adet arasında kanat bulunur. Yapısı genellikle destek çubukları ve kasnaklarla sağlamlaştırılır. Rotorlar en yüksek gücü kanat uçlarındaki çizgisel hızın rüzgar hızına eşit olduğu zaman iletirler. Önceki modellerde 4 ile 12 adet arasında yani daha az sayıda kanat bulunmaktaydı ve bunlar sadece çubuklarla destekleniyordu. Bu modeller daha yüksek kanat ucu hızlarında çalışıyorlardı. En yüksek güç aktarımı kanat ucu hızının rüzgar hızından 1,5-2 kat daha fazla olduğu anda olur. Günümüzde genellikle 3 adet kanat kullanılmaktadır.



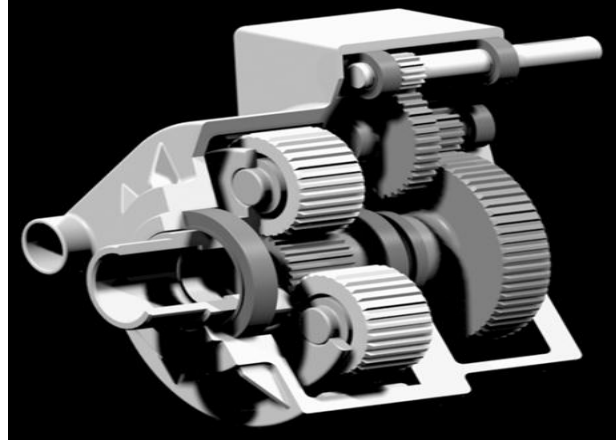
Şekil 3.3. PVC borudan imal edilmiş kanat örnekleri

Rotor çelik bir şafta sabitlenmiştir. Şaft, kızaklı mil yatakları, rulmanlar veya sert tahtadan kızaklı yataklar ile desteklenmiştir. Su pompalamak için gerekli rotor çapları 1,5 ile 8 metre arasındadır.

3 m/s'lik rüzgarda 2 m çapındaki bir rotor 51 W'lık mekanik güç üretebilir ve 6 metre çapa çıkartılarak 407 W'a kadar çıkartılabilir.

3.2.2. Aktarma

Rüzgar türbininde aktarma elemanı rotor tarafından sağlanan enerjiyi pompaya (piston koluna) iletir. Genelde bu elemanla bir dişli kutusu birleştirilir. Dişli kutuları pompanın rpm'ini (normalde 3'te 1 oranında) düşürür. Dişli kutuları normalde krank mekanizmasına binen dengesiz yükü önlemek için kullanılır, bir yağ haznesinde çalışır ve bu yağın senede bir kere değiştirilmesi gerekir. Bir dişli kutusu örneği Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Büyük bir dişli çarkın içinde dönen küçük dişli ve iki paralel şafttan oluşan geniş rüzgar türbinleri için standart dişli kutusu [3]

Rüzgar türbini aktarma elemanının başlıca parçası rotorun dönme hareketini piston kollarına ileten eksantriktir.

Çeşitli tipleri mevcuttur:

- İki yavaş dişli kutusuna bağlı ve sadece piston yollarında ileri geri hareketle sınırlı eksantrik hareket eden iki hareketli piston kolu ile
- Ana şaftta bulunan direk pompaya bağlı basit bir piston kolu ile
- Ana şaftta bulunup bir kılavuz aracılığı ile pompaya bağlı piston kolu ile
- Ana şafta bağlı bir manivela sistemi ile pompaya bağlı bir piston kolu ile

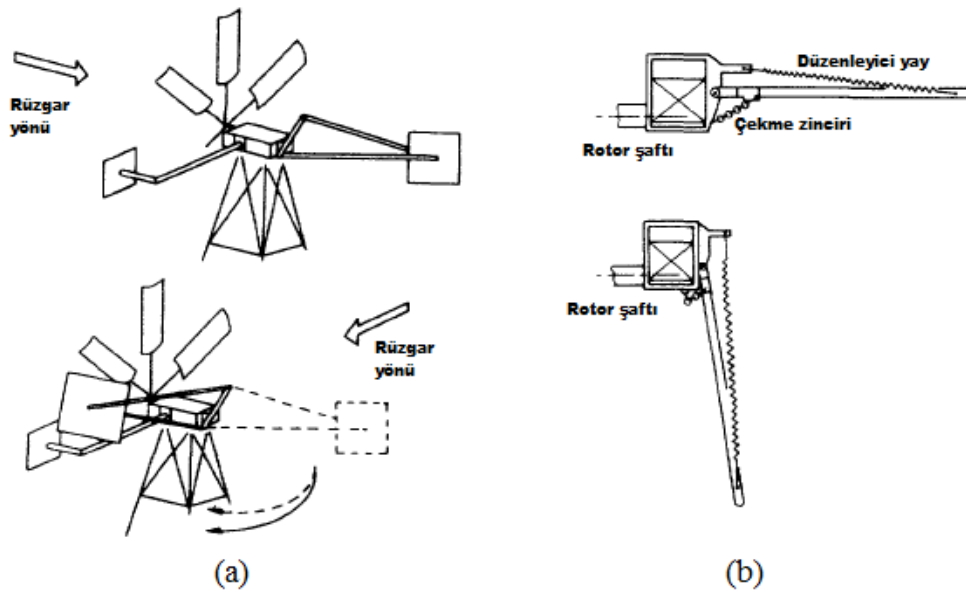
Piston kolu, gücü pompaya aktartır. Genellikle döner ek (mafsallı bağlantı) yerinden birleşmesi türbinin yüksek yapısının yön değiştiren rüzgar ile yalpalamasını engeller. Pompa kolu birkaç noktadan kulenin içine yataklanır. Bu eklem ve yatakların yaklaşık ayda bir yağlanması gerekir. Aktarma verimi yüzde 70-90 arasındadır.

3.2.3. Güvenlik sistemi

Fırtınalar ve ani rüzgarlardan otomatik olarak korunmayan bir rüzgar makinesi düşünülemez. Bütün fırtınalarda tam kapasite çalışabilen bir rüzgar türbini tasarımı mümkün olsaydı bile kullanışlı olmazdı. Manuel güvenlik yöntemleri de güvenilir değildir çünkü fırtınalar aniden ortaya çıkabilir.

Mekanik rüzgar türbinlerinin güvenlik sistemleri kuyruk ile birleşiktir. Bu güvenlik sistemleri ile düşük hızdaki rüzgarlarda türbin rüzgara yönlendirilir artan hız sistemin kaldırabileceği sınırı aştığında türbinin yönü değiştirilerek hız azaltılır.

Bu güvenlik sistemlerinin fonksiyonu aerodinamik eşitlikler ve aerodinamik kuvvetleri menteşeyle (Şekil 3.5 a)), diğer kuvvetleri de genelde bir yay veya ağırlık ile dengelemesidir (Şekil 3.5 b)). Otomatik güvenlik sistemleri türbini manuel olarak ta durdurabilir.



Şekil 3.5. Güvenlik sistemleri. a) Menteşeli sistem, b) Yaylı sistem [4]

Bazen mekanik bir fren rotor merkezi ile birleştirilir. Bu fren otomatik ve manuel sistemler tarafından ortak kullanılır. Ancak bu frenler bir fırtınada türbini tutamazlar sadece gerek duyulmadığında türbini durdurmak için bulunmaktadır.

Güvenlik sistemlerindeki iki önemli özellik:

- Pompa ve sistemin dayanabileceği en yüksek rüzgar hızına V_r denir ve güvenlik sistemi, bu hızın üstünde dönen türbinleri bu hıza yavaşlatır. V_r değeri genelde 6-8 m/s arasındadır.
- Devreden çıkma rüzgar hızı V_{out} olarak adlandırılır ve bu hızda rotor dönüşü tamamen kapatılır. V_{out} değeri genelde 10-20 m/s arasındadır.

3.2.4. Kule

Rotor, aktarma ve güvenlik sistemleri birlikte türbinin ana yapısını oluşturur. Bu yapı bir kule ile desteklenir ayrıca bu kule boruların bağlandığı bir taşıyıcı olarak da kullanılır. Kule yüksekliği en az 6m'dir ve genellikle 10 m yükseklikte 4 ayaklı olarak türbinin kullanılacağı alanda inşa edilir.

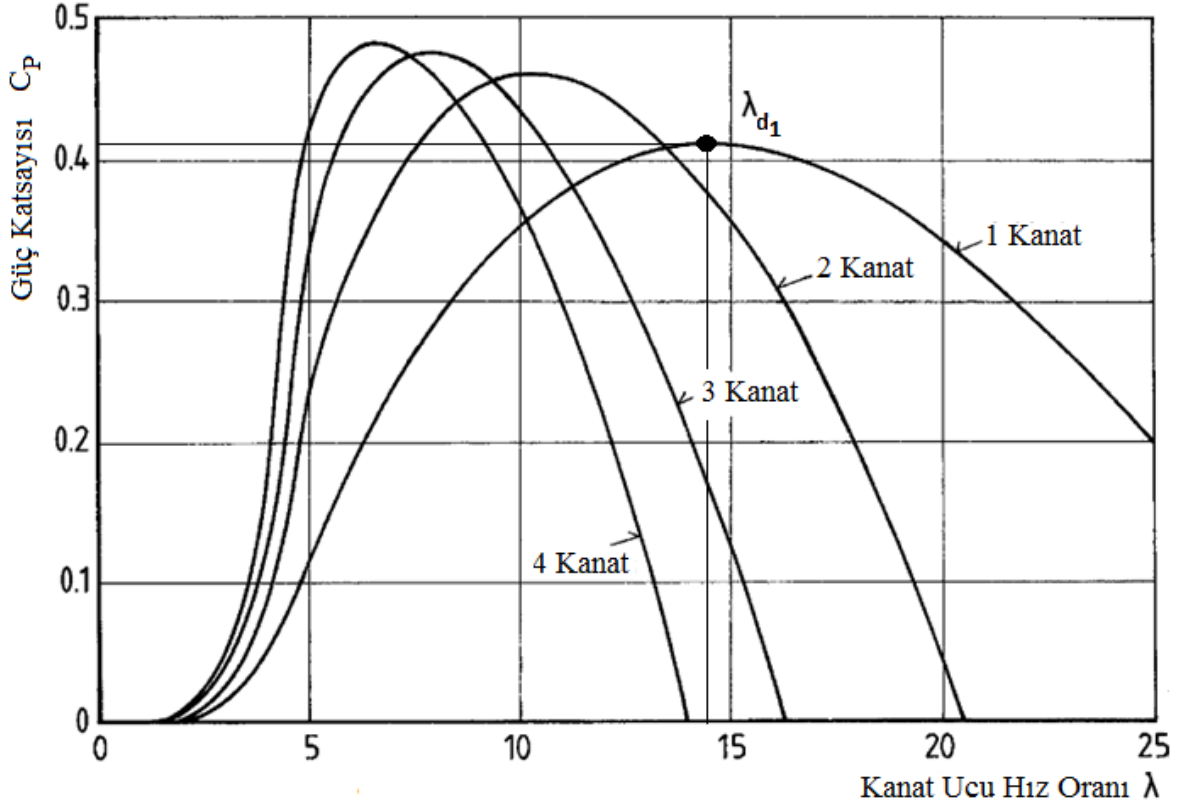
3.3. Rüzgar Türbini Karakteristikleri

Herhangi bir ana hareketlendirici için rotorun en önemli özellikleri güç, hız hesaplarıdır. Bu hesapların yapılabilmesi için üç etken gereklidir.

λ , Kanat ucu hız oranı, kanat ucu ve rüzgar hızı arasındaki orandır. Kanat ucu dizayn oranı λ_d aşağıda açıklanacak olan güç katsayısının maksimum olduğu yerde aldığı değerdir.

C_p , Güç katsayısı, rüzgar türbini tarafından aktarılan mekanik güç ile referans rüzgar gücünün (rotor olmasaydı o alandan geçecek olan rüzgarın gücü) oranıdır. Güç katsayısının en yüksek değeri $(C_p\eta)_{max}$ adını alır ve λ_d 'nin bulunmasında kullanılır. En yüksek güç katsayısı 0,3 ile 0,4 arasındadır. Kanat sayısı ile güç katsayısı arasındaki bağlantı Şekil 3.6'da verilmiştir.

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho A V^3} \quad (5)$$



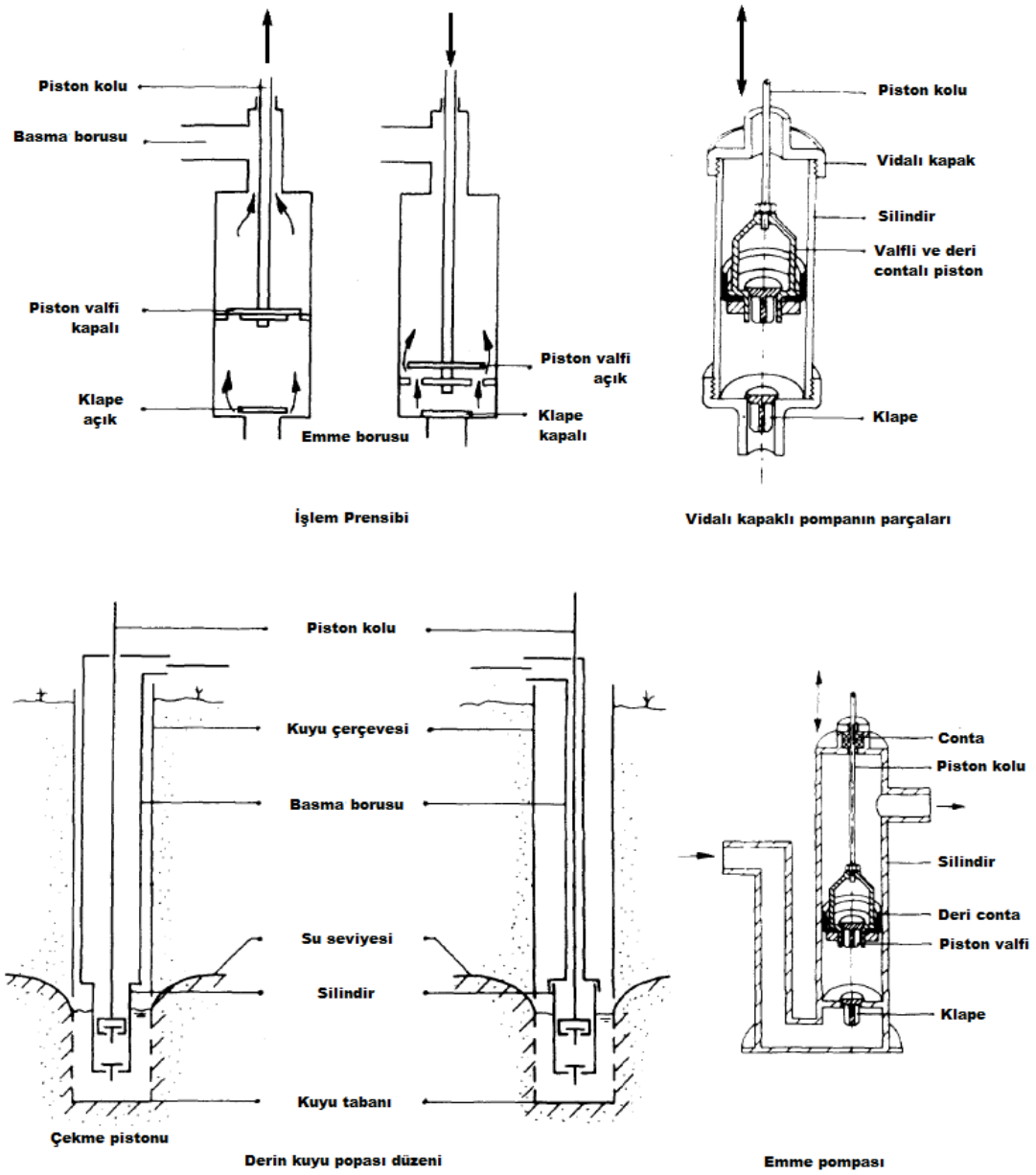
Şekil 3.6. Rotordaki kanat sayısının güç katsayısı ve uygun kanat ucu hız oranına etkisi [3]

3.4. Pistonlu Pompa

3.4.1. Tanım

Rüzgar enerjili pompa sistemlerinin büyük çoğunluğunda tek tesirli pistonlu pompalar kullanılır. Şekil 3.7’de bu işlemin prensibi gösterilmektedir. Piston aşağı hareket ettiğinde klape kapanır ve su açık olan piston valfinden geçer. Yukarı harekette piston valfi kapanır klape açılır ve su pistonu dolar.

Silindir için çeşitli malzemeler kullanılabilir: pirinç, paslanmaz çelik veya PVC boru. Piston ve silindir yüzeyi arasındaki conta ise genellikle deriden yapılır. Yüksek basınçlı pompalarda (büyük basma yüksekliklerinde) 2 veya 3 sıralı conta kullanılabilir. Suyun kalitesine bağlı olarak 6 ay ile 2 sene arasında değişen bir sürede contanın değiştirilmesi gerekir. Piston gövdesi ve valfleri çoğunlukla dökme demirden yapılır. Valfler daha iyi bir sızdırmazlık için genellikle bir lastikle kaplanır. Eğer basma



Şekil 3.7. Pistonlu pompaların çalışma prensibi ve çeşitleri [4]

yüksekliği piston kolunun basma borusundan ayrıldığı noktadan daha yüksekse bir piston kolu contası gereklidir.

Pompanın emme ve basma çıkışlarına (özellikle uzun boru hatlarında) hava odaları eklenir. Hava odaları hatlardaki akışı yumuşatırlar, başlangıçta pompa koluna binen kuvvetleri ve çekiç etkisini azaltırlar.

Farklı uygulamalar için (basma yüksekliğine bağlı olarak) değişik pompalar kullanılır (Şekil 3.7):

- Emme pompaları, en fazla 6 metreden (göller, kanallar veya yüzeysel kuyular) su çekebilen ve yüzeye kurulan pompalardır. Bazı modelleri kendinden başlatmalıdır. Bu pompalar 350 mm'ye kadar değişik çaplarda bulunabilir.
- Derin kuyu pompaları, yüzeyin altındaki açık veya boru döşenmiş kuyulara kurulur. Boru döşenmiş kuyuların içine girecek olan pompalarında çapı 100-200 mm arasındadır. Vidalı kapaklı pompalar bu uygulamada sık kullanılan modellerdir.
- Çok derin kuyulardaki (100-200 m arasında) uygulamalarda dalgıç pompalar kullanımı daha uygundur.

3.4.2. Pistonlu pompa karakteristiği

Pistonlu pompa pozitif yer değiştirmeli bir pompadır. Her bir strok'ta yükseklik veya işlem hızından bağımsız olarak aynı hacimde su yer değiştirir. Pistonlu pompayı periyodik olarak hareket ettirmek için belirli bir moment gereklidir. Yukarı hareket boyunca pistonlu pompa bütün suyun basıncına maruz kalır. Aşağı hareketlerde piston valfi açıldığı için moment neredeyse sıfırdır.

Rüzgar türbini çalışırken yüke sadece ortalama tork uygulanıyormuş gibi olur çünkü işlemler rotorun büyük ataleti sebebiyle yumuşamıştır. Ortalama tork genellikle sabit ve işlem hızından bağımsızdır. Bu yüzden pistonlu pompalardan sabit torklu pompa olarak bahsedilir. Pistonlu pompalarda iki önemli katsayı kullanılır:

η_{mek} : Mekanik verim, pompanın hidrolik çıkış gücü (bkz. Bölüm 2) ve pompaya verilen mekanik gücün oranıdır. Bu katsayı 1'den küçüktür çünkü boru ve valflerdeki akış direnci sebebiyle ve pompa içindeki fiziksel sürtünme sebebiyle enerji kaybı oluşur. Büyük basma yüksekliği olan pompalarda akış direncinin çok küçük olması sebebiyle verim yüksek olur. Düşük basma yüksekliklerinde verim çok daha düşüktür ve basınç kayıpları daha önemlidir. Pistonlu pompaların 3 metreden daha düşük basma yüksekliklerinde düşük mekanik verimden dolayı kullanılması uygun değildir.

Düşük mekanik verim büyük rotor ihtiyacı demektir. Rüzgar enerjili pompada rotor maliyete büyük etkide bulunduğu için mekanik verim maliyet için önemlidir.

η_{vol} : Volümetrik verim, efektif debi ile pompanın strok hacmi ve işlem hızı ile hesaplanan ideal debinin oranıdır. Düşük operasyon hızlarında piston veya valflerdeki su kaçakları ile valflerdeki kapanma gecikmesi sebebiyle volümetrik verim 1'den küçüktür. Yüksek hızlarda rotorun büyük ataleti sebebiyle volümetrik verim 1'e çok yaklaşır.

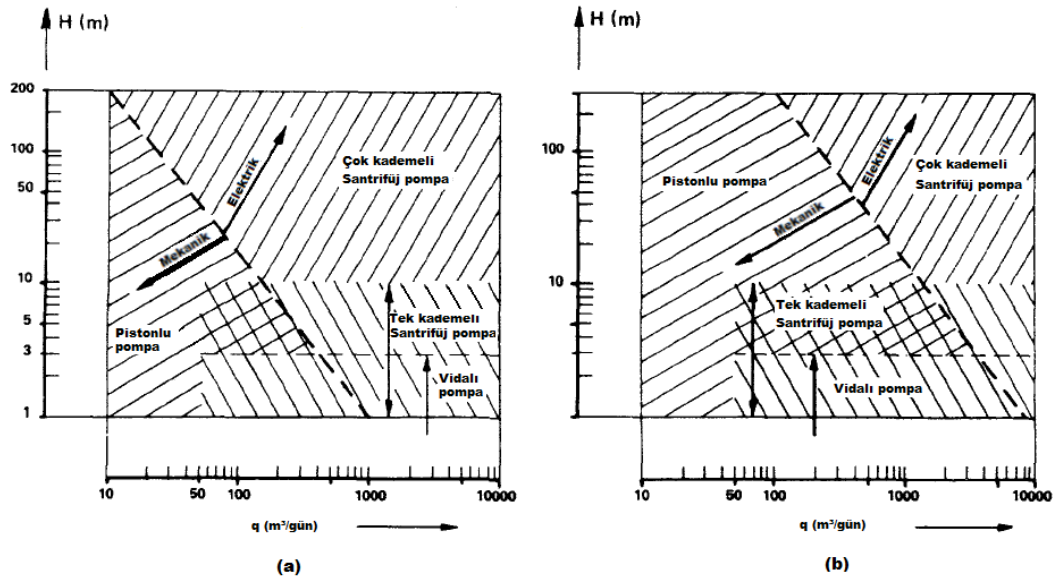
Tasarım yapılırken volümetrik verim 0,8-0,98 arasında alınır. Yüksek volümetrik verim tam olarak düşük mekanik verim manasına gelmez. Düşük basma yüksekliklerinde pistonlu pompaların verimi düşer bu sebeple daha dayanıksız olmaları ve aktarım kayıpları fazla olmasına rağmen döner pompalar düşünülmelidir. Pistonlu pompanın ana özellikleri Çizelge 3.1'de diğer rüzgar enerjili pompalarda de kullanılabilecek şekilde toparlanmıştır.

Şekil 3.8'de pistonlu pompa kullanımının uygulanabilirliğine kabaca bir yaklaşım basma yüksekliği ve debiye göre 2 farklı ortalama hız değeri için gösterilmiştir. Şekilde:

- Yüksek güç gereksinimleri (yüksek debi ve/veya büyük basma yüksekliği) rotor çapını uygulanamayacak derecede büyütür. Yüksek kapasiteli kuyularda pistonlu pompa kullanılamaz. Şekil 3.8'de kesikli çizginin solunda kalan kısım mekanik kuvvet ile çalışan pompaların kullanım alanını gösterir.
- Aynı çapta 6 m/s rüzgar hızına maruz kalan rotor, 3 m/s hıza maruz kalan rotordan daha fazla güç ürettiğinden Şekil 3.8 b)'de mekanik kuvvetli pompaların alanı daha büyüktür.

Çizelge 3.1. Rüzgar enerjili sistemlerde kullanıma uygun pompalar. [4]

Tip		Basma Yüksekliği (m)	En Yüksek Verim (%)	
			Pompa	Pompa + Aktarma
Pistonlu Pompa		> 20	> 90	80 - 90
		10	70 - 80	60 - 70
		3	50 - 60	40 - 50
		< 3	0'a yakın	
Santrifüj Pompa	Tek Kademeli	1 - 10	40 - 60	30 - 50
	Çok Kademeli	10 - 200	50 - 60	20 - 30
Vidalı Pompa		0 - 3	60 - 70	40 - 60
Hava Pompası		10 - 50	20 - 30	10
Deplasman Pompası		2 - 50	40 - 70	10 - 30



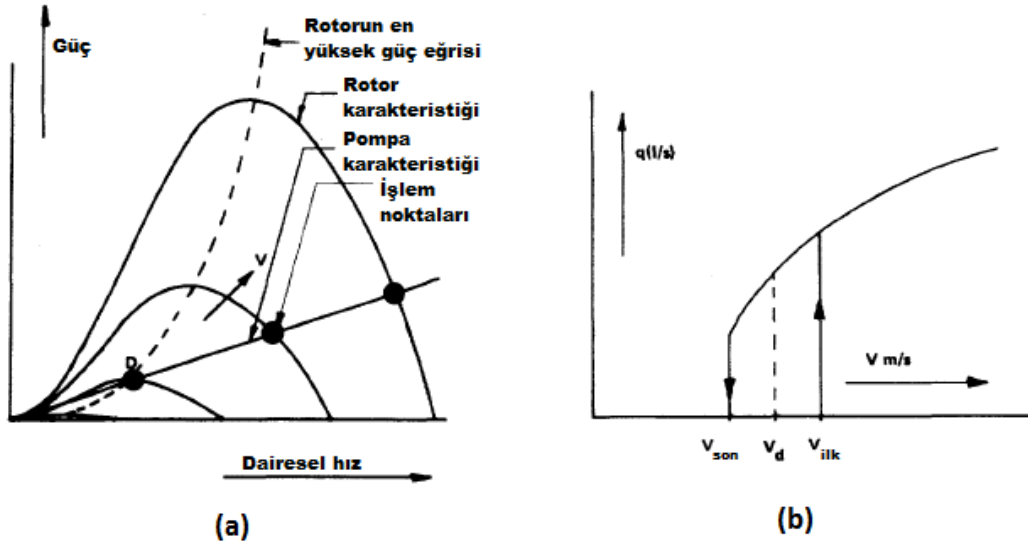
Şekil 3.8. Kullanılan enerji türüne göre pompa tiplerinin uygulama alanlarına kabaca bir yaklaşım [4]

3.5. Rüzgar Türbini Kapasitesiyle Su Pompası Kapasitesinin Uyumu

Rüzgar türbini ile pompanın kapasite olarak uyumunun önemi bu bölümün başlarında anlatılmıştır. Büyük pompa seçimi büyük debi sağlar ama düşük rüzgar hızlarında, türbin genellikle ilk hareketi veremez ve pompa, hareketsiz kalır veya düşük devir nedeni ile çok verimsiz çalışır. Küçük pompa seçimi ise kullanılabilirliği artırır, düşük rüzgar hızlarında bile çalışır ama debiyi azaltır. Rüzgar türbini ve pompa kapasitesinin ihtiyaca göre optimize edilmesi gerekir.

Rüzgar türbini ile pistonlu pompa arasındaki etkileşim Şekil 3.9 a)'da verilmiştir. Şekil 3.9 a)'daki 3. dereceden kesikli eğri rotorun en yüksek güç noktalarının bulunduğu yeri temsil etmektedir. Başlangıç bölümünde pompa karakteristik eğrisi ortalama değerin π katına çıkar. Çünkü türbin başlangıçta en yüksek torka sahiptir.

Özellikle yüksek hızlarda pistonlu pompa rüzgarın kullanılabilir gücünün büyük bir kısmını kullanmadan bırakır. Rüzgar türbininin en yüksek güç katsayısında çalıştığı sadece bir rüzgar hızı (V_d) vardır. Bu hız pompa karakteristiğinde D noktası adını alır. Şekil 3.9 b) Debi karakteristiği ve hız arasındaki bağlantıyı göstermektedir.



Şekil 3.9. Rüzgar türbini ve pistonlu pompa kapasite uyumu. a) Güç-hız eğrileri, b) İlk ve son hız değişimleri [4]

Kapsamlı güç katsayısı olarak adlandırılan En yüksek güç katsayısı rotordaki mekanik gücün hidrolik çıkış gücüne oranına eşit olan pompa verimini içerir. Bir rüzgar türbini ve pistonlu pompanın uyarlamasında en önemli değerler şunlardır:

V_d , Tasarı rüzgar hızı, hidrolik güç çıkışının kullanılabilir rüzgar gücünün en yüksek olduğu andaki hıza oranıdır. Bu hızda kapsamlı güç katsayısı en yüksek

değerindedir. Rüzgar türbininin verimini açıklamakta önemli yeri olan bu katsayının değeri ileride hesaplamalarda kullanılacaktır.

$(C_p\eta)_{\max}$, En yüksek güç katsayısıdır. Bu değere V_d tasarı rüzgar hızında ulaşılır. Bu bölüm pistonlu pompalar için anlatılmış olsa da eğriler döner pompalar içinde bir V_d hızında yaklaşık olarak aynı şekilde çizilebilir.

Rüzgar türbinine bağlanan bir pistonlu pompanın sahip olduğu problem çalışmaya başlamasıdır. Bir rüzgar türbininin çalışmaya başlaması için pompa torkunun en büyük değerini sağlayacak olan rüzgar hızına gereksinim vardır. Bu hız V_{ilk} olarak adlandırılır ve V_d hızından büyüktür. Bu sorun derin kuyularda pompa kolu ağırlığından dolayı daha da büyür. Rüzgar türbini çalışmaya başladığında rotor ataleti sayesinde sadece ortalama pompa torkunu hisseder. Rüzgarın azalması durumunda rüzgar hızı türbinin durma hızı olan V_{son} 'a düşene kadar çalışır (Şekil 3.9 b)). Bu hızlar elektrik motorlarında kullanılan devreden çıkarma ve çalıştırma hızı ile karıştırılmamalıdır. Türbindeki hızlar pompanın çalışabileceği hız aralıklarının alt ve üst sınırıdır.

Klasik rüzgar türbinleri diğerlerine nazaran daha düşük V_d hızına sahiptir. Bu daha iyi bir başlatma sağlar ama çıkış gücünden de fedakarlık yapılmış olur. Başlatma hareketini geliştirmenin ilk adımı piston kolu ağırlığını dengelemektir ki bu da bize daha büyük bir pompa kullanma şansı verir.

Sonraki adım bazı mekanizmalar eklemektir:

- Değişken strok mekanizması. Otomatik olarak strok ayarlayan bir mekanizma eklenir. Sistem küçük bir strokla veya hiç strok yapmadan başlatılabilir. Hız artınca tork ve su çıkışı ile beraber strok ta artar. Yüksek maliyetlidir.
- Başlangıç deliği açılmış piston. Düşük hızlarda piston içindeki bütün su boşalır, hız arttıkça basınç farkı oluşur ve pompa verimli pompalamaya başlar. Biraz su kaybı oluşabilir ancak pompanın büyütülebilmesine imkan verdiği için bu açık kapatılabilir.
- Ayarlanabilir valf. Düşük hızlarda pistondaki valf açık tutularak başlatılması kolaylaştırılır. Yüksek hızlarda kapalı olan valfle su pompalanır. Enerji kaybı pistonu delik açma yönteminden daha azdır.

3.6. Rüzgar Enerjili Su Pompalarının Performansı

Rüzgar enerjili su pompalarını ikiye ayırabiliriz:

- Klasik rüzgar enerjili pompalar ağır, çok kanatlı rotora ve düşük işlem hızına sahiptir. Küçük boyutlu olanlarda bir dişli kutusu bulunur. Basit ileri geri işleyen bir pistonlu pompaya sahiptirler. Bazı durumlarda piston kolu ağırlığı dengelenebilir.
- Modern rüzgar enerjili pompalar daha çeşitlidir, şu yeniliklerden biri veya birkaçına sahiptirler: Daha hafif yapı, yüksek işlem hızı, başlangıç piston deliği, dengelenmiş piston kolu, dişli kutusunun olmaması.

Bu bölümde performans bilgileri şu durumlar için verilecektir:

- Derin kuyu uygulamaları için klasik rüzgar enerjili pompalar
- Sığ kuyular veya dengelenmiş piston koluna sahip klasik rüzgar enerjili pompalar
- Başlangıç piston deliğine ve dengelenmiş piston koluna sahip modern rüzgar enerjili pompalar
- İdeal pompalar. Yani yüksek etkili rotor ve pompaya sahip, başlangıç enerji kayıpları olmayan, piston kolu dengelenmiş pompalar.

Pistonlu pompayı hareketlendiren rüzgar enerjili pompalama sistemleri dışında kalan sistemler (mekanik ve elektrikli aktarıma sahip döner pompalar) için yaklaşımlar da konu içerisinde verilecektir. Rüzgar türbini ve pompanın eşleşmesi sonucu oluşan rüzgar enerjili pompa performansı çıkış gücü ve kullanılabilirlikle ilişkili üç karakteristik değer ile açıklanabilir:

- **Enerji üretim katsayısı (C_E):** T periyodundaki gerçek hidrolik enerji üretiminin rüzgar türbininin aynı periyottaki ortalama hızına eşit alınan sabit bir hız ve maksimum güç katsayısı çarpımı ile hesaplanan bir referans enerjiye bölünmesi olarak tanımlanır. Bu katsayı en çok rüzgar enerjili pompanın tipi ve V_d seçimi ile değişir.

$$C_E = \frac{E}{\rho V^3 A (C_P \mu)_{\max} T} \quad (6)$$

- **Çıkış kullanılabilirliği:** Rüzgar enerjili pompa normal pompalama miktarının %10 üzerinde çalıştığı sürenin toplam süreye oranı şeklinde tanımlanır. Yine bu katsayı en çok rüzgar enerjili pompanın tipi ve V_d seçimi ile değişir.

Çizelge 3.2 de bu C_E ve çıkış kullanılabilirliğinin dizayn hızı, ortalama hız oranlarına göre uygulamada alacağı değerler verilmiştir. Enerji üretim katsayısının hesabında görüldüğü üzere en yüksek güç katsayısının da bilinmesi gerekmektedir.

Kalite faktörü: Çizelge 3.2’de farklı sistemler ve basma yüksekliklerindeki maksimum tam güç katsayısı değerleri de gösterilmiştir. Ayrıca hava yoğunluğunun da hesaplamalara etkisi vardır. Bu faktörlerin etkisi kalite faktörü β ile hesaplanır. (Çizelge 3.2’deki değerler $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ alınarak hesaplanmıştır)

$$\beta = \frac{\bar{P}}{A\bar{V}^3} = \frac{1}{2} \rho (C_P\eta)_{\max} C_E \quad (7)$$

Çizelge 3.2. Rüzgar enerjili pompalama sistemlerinde elde edilen tasarı ve performans karakteristikleri [4]

Rüzgar Enerjili Pompalar		V_d/\bar{V}	C_E	Çıkış Kullanılabilirliği (%)
Pistonlu Pompalar	Derin kuyu	0.6	0.40	60
	Sığ kuyu veya dengelenmiş piston kollu derin kuyu	0.7	0.55	60
	Başlatma delikli ve dengelenmiş piston kollu	1.0	0.90	50
	İdeal	1.3	1.20	50
Döner Pompalar		1.2	0.80	50

EN YÜKSEK KAPSAMLI GÜÇ KATSAYISI					
Basma yüksekliği H (m)		< 3	3	10	> 20
Pistonlu pompalar	Derin kuyu	0 - 0.15	0.15	0.20	0.30
	Başlatma nozüllü	0 - 0.13	0.13	0.18	0.27
Döner pompalar	Mekanik aktarmalı	0.15 - 0.25			
	Elektrik aktarmalı	0.05 - 0.10			

Kalite Faktörü	$\beta = P/A\bar{V}^3$	$\beta = \frac{1}{2} \rho (C_P\eta)_{\max} C_E$
Düşük	Orta	Yüksek
0.05	0.10	0.15

3.7. Depolama ve Dağıtım

Pompalama sistemlerinin önemli bir kısmı da suyun depolanması ve dağıtımıdır. Depolama ve dağıtımın verimliliği pompalama sistemin boyutlarına etkisi vardır. Verimli bir depolama ve dağıtım pompalama sisteminin boyutlarının küçülmesine izin verir.

Tankın yerden yüksekliği ve dağıtım sistemindeki basınç kayıpları kullanılacak pompayı belirler.

3.7.1. Suyun depolanması

Genel olarak tank ihtiyacı iki kriter ile açıklanabilir:

- Günlük basma kapasitesi ve su ihtiyacının uyumu. Gün içindeki kısa zaman aralıklarında çok miktarda suya ihtiyaç duyulan durumlarda rüzgar enerjili pompa gün boyunca düzensiz hızla ve az miktarda, ihtiyaç fazlası suyu depolar.
- Rüzgar hızının gerekli olandan yüksek olduğu zamanlarda ihtiyaç fazlası suyu depolar rüzgar hızının düşük olduğu zamanlarda fazladan depolanan su kullanılarak su ihtiyacı tamamlanır.

Rüzgar enerjili sistemlerde çeşitli tanklar kullanılmaktadır (Şekil 3.10). Tank seçimi uygulamaya ve yerel koşullara yönelik yapılır. Su geçirmez toprağa sahip yerlerde göletlerde su depolamak çok düşük maliyetli olur. Ancak; dağıtım sisteminde yüksek basınç gerekli ise yerden yüksek bir tank gereklidir. Şüphesiz bu durum maliyeti arttıracaktır.

Tankın en önemli karakteristiği kapasitesidir, m^3 veya gün cinsinden yeterlilik olarak ifade edilir. Yaygın kapasiteler 20-200 m^3 , 0,5-2 gün'dür.

3.7.1.1. Ev kullanımı tankı

Ev kullanımı için su tedarik sistemlerinde genellikle motorlu pompalarla birleştirilmiş tanklar kullanılmaktadır. Depolamada motorlu pompaların kullanılması sebebi kısa zamanda aktarılan çok miktardaki suyun uzun süre kullanılabilmesidir.

Rüzgar enerjili pompalarda normalde 1 veya 2 günlük su ihtiyacını karşılayacak kadar büyük kapasiteli tanklar tercih edilir. Genellikle dağıtımda basınç gerekli

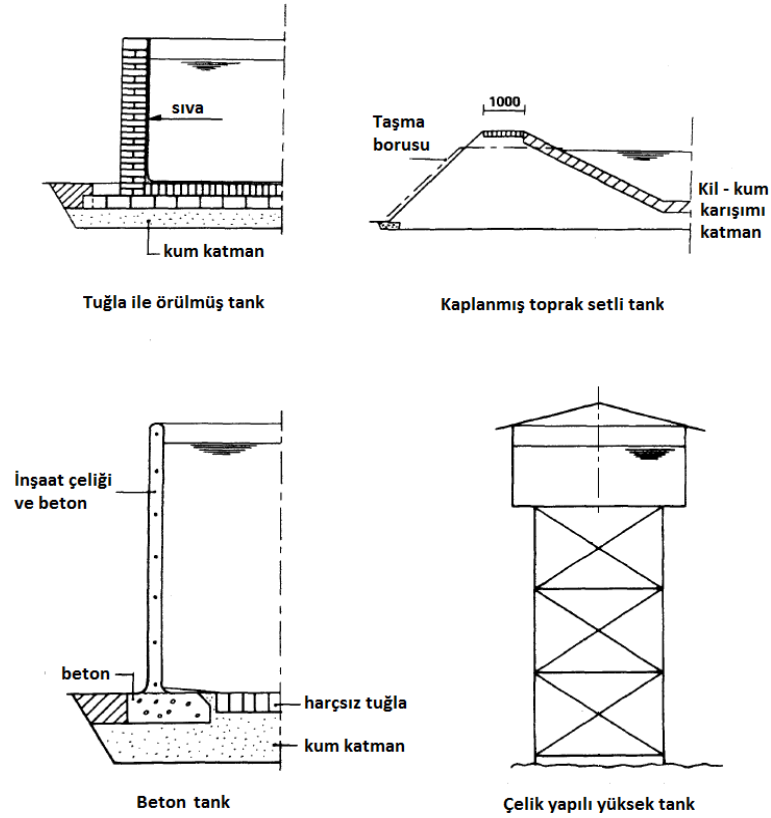
olduğundan yerden yüksek depolar kullanılmaktadır. Ev kullanımı için kullanılan tanklar mutlaka kirlenme, böcek, hayvan, alg üretmesi gibi istenmeyen durumlar için kapalı olmalı ve düzenli olarak kontrol edilmelidir.

3.7.1.2. Sulama tankı

Genellikle sulama tasarımları motorlu pompalar kullanılarak su tankı kullanmadan yapılır. Su direk sulama sistemine boru ve kanallar aracılığı ile aktarılır. Rüzgar enerjili sistemlerde ise aşağıdaki durumlar haricinde tank gerekli bir elemandır.

- Sahip olunan toprağın depolama alanı olarak kullanılabilmesi
- Motorlu bir pompanın yedek ihtiyaç halinde kullanılabilmesi

Rüzgar enerjisi ile sulamada tankın ana fonksiyonu su yönetiminin kontrolüdür. Belli periyotlarla (özellikle geceleri) aktarılan suyun kullanılmayan kısmı depolanır. Bu çiftçiye kısa süreli kullanım için yüksek miktarda su sağlar. Tankın maliyetinin olabildiğince az olması gerekmektedir. Yoksa sulama gideri çok artabilir. Genellikle tanklar 1/2 ile 2 günlük ihtiyaç kadar hesaplanır.



Şekil 3.10. Yapı özelliklerine göre tanklar [4]

3.7.2. Dağıtım

3.7.2.1. Ev kullanımı dağıtımı

En öncelikli bilinmesi gereken su ihtiyacı karşılanacak olan çiftlik hayvanlarının veya insanların sayısıdır. Dağıtım sistemi o bölgede yaşayan insanların ihtiyacını karşılayacak büyüklükte olmalıdır. Dağıtım sistemi tasarlanırken değişken su kullanım ihtiyaçları hesaba katılmalıdır. Kullanım noktalarının tanka olan uzaklıkları farklı olabilir bu sebeple aktarım süreleri değişebilir.

3.7.2.2. Sulama dağıtımı

Sulama işlerinde dağıtım sistemi pompadan veya tanktan gelen suyu ihtiyaç noktalarına ileten dağıtım sistemi ve sulamanın yapılacağı alanda suyun ürünlere dağıtılmasını sağlayan sistem olmak üzere iki bölümden oluşur. Çizelge 3.3'te 4 adet ürün sulama sistemi ve bunlarda rüzgar türbini kullanımının uygulanabilirliği gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. İkincil sulama sistemlerinde rüzgar enerjili pompa uygulanabilirliği [4]

Alana Uygulanacak Metot	Metodun Verimi	Yükseklik İhtiyacı	Rüzgar Enerjili Pompa Uygulanabilirliği
Arık Sulaması	50 - 60%	0,5 - 1 m	Uygun
Set Kanallı Sulama	60 - 80%	0,5 - 1 m	Uygun
Damlama Sulama	85%	5 - 10 m	Şüpheli
Yağmurlama Sulama	60 - 80%	5 - 50 m	Şüpheli

Arık sulaması: Bu sulama sisteminde sulama açık kanallar ile yapılır. Kayıpların çoğu buharlaşma ile olur (genellikle düşük yüzde 1 civarında). Sulama suyun kanallardan bitkiler tarafından suyun emilmesi ile olur. Depo yüksekliği kanal uzunluğuna göre değişir. Genellikle tarımda sulama işlemi bu yöntemle yapılır. Uygulama verimi genellikle yüzde 50-60 arasındadır. Rüzgar enerjili pompa ile kullanıma uygundur.

Set kanallı sulama: Bu sistemde dağıtım sistemi de açık kanallardadır. Sulama alanı 30-50 cm yüksekliğinde topraktan setler ile çevrilmiş küçük havuzlara bölünmüştür. Tanka ihtiyacın olmaması maliyeti düşük tutar. Verim artarak yüzde 60-80'e çıkar. Rüzgar enerjili pompa ile kullanıma uygundur.

Damlama sulama: Bu yöntemde su kapalı borularla taşınır ve damlama noktalarından belli miktarda sürekli ürünlere aktarılır. Bu yöntemle yüzde 85 gibi uygulama verimlerine ulaşılabilir. Borulardaki kayıplar debiye, boru çapına ve toplam boru uzunluğuna bağlıdır. Uygulamanın basıncının yüksek olması gerektiğinden rüzgar enerjisi ile uygulanması daha zordur.

Yağmurlama sulama: Uygulama verimi genellikle yüzde 60-80 arasındadır. Fıskiye ile alanın sulanması basınca dayalı bir işlemdir. 6-35 m arasında fıskiye uygulaması için 1-5 bar gibi bir basınç gerekmektedir. Bu basınç ihtiyacı da ancak 5-50 m fazladan yükseklik ile karşılanabilir. Bu yüksek basınç ihtiyacı fıskiye ile sulamanın rüzgar enerjisi ile kullanılmasını güçleştirmektedir.

3.8. Hangi Rüzgar Türbinini Seçmeliyiz?

Çeşitli rüzgar enerjisiyle pompalama sistemleri mevcuttur. Aralarındaki ana farklar rotor, aktarım elemanları, güvenlik sistemleri ve pompaların bağlantısıdır. Şekil 3.8'de gerekli ihtiyacı karşılayacak sistem seçimi için kabaca bir yaklaşım verilmiştir. Rüzgar enerjisi ile su pompalanmasında 8 m çapa kadar değişen rotorlar ile pistonlu pompa çalıştıran mekanik pompalar genellikle en uygun çözümdür.

Sistemin toplam verimi dizayna göre Çizelge 3.2'deki gibi değişir. Aynı çizelge yenilikçi dizaynların (başlangıç elemanlarının eklenmesi gibi) aynı su ihtiyacı için daha küçük çapta ve daha ucuz rüzgar enerjili pompalar yapmaya olanak vererek toplam verime büyük ölçüde katkısının olduğunu da göstermektedir. Modern rüzgar enerjili pompaların bu yüksek performanslarıyla beraber yapılarının daha hafif olmasına, üretiminin ve bakımının daha kolay olmasını sağlar.

4. RÜZGAR TÜRBİNLİ SİSTEMLER İÇİN POMPA SEÇİMİ

Bu bölümde Pazaryeri, Karaköy’de projelendirilecek, bir rüzgar enerjili su pompalama sistemi için en uygun pompanın seçiminde izlenecek yol anlatılmaktadır. Uygulama alanının özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Bu adımlar izlendiğinde hangi tip ve boyutta rüzgar enerjili pompa seçilerek kurulan sistemden beklenen performansın sağlanabilecek mi sorusuna cevap verilmiş olacaktır. Kullanılması gereken pompa tipi ve boyutları belirlendikten sonra, aynı miktarda su için gerekli alternatif pompaların (Akaryakıt, elektrik enerjisi ile çalışan) seçilmesi ve kullanılması durumunda oluşacak birim su maliyetleri hesaplanarak karşılaştırılabilir.

Çizelge 4.1. Uygulama alanın özellikleri

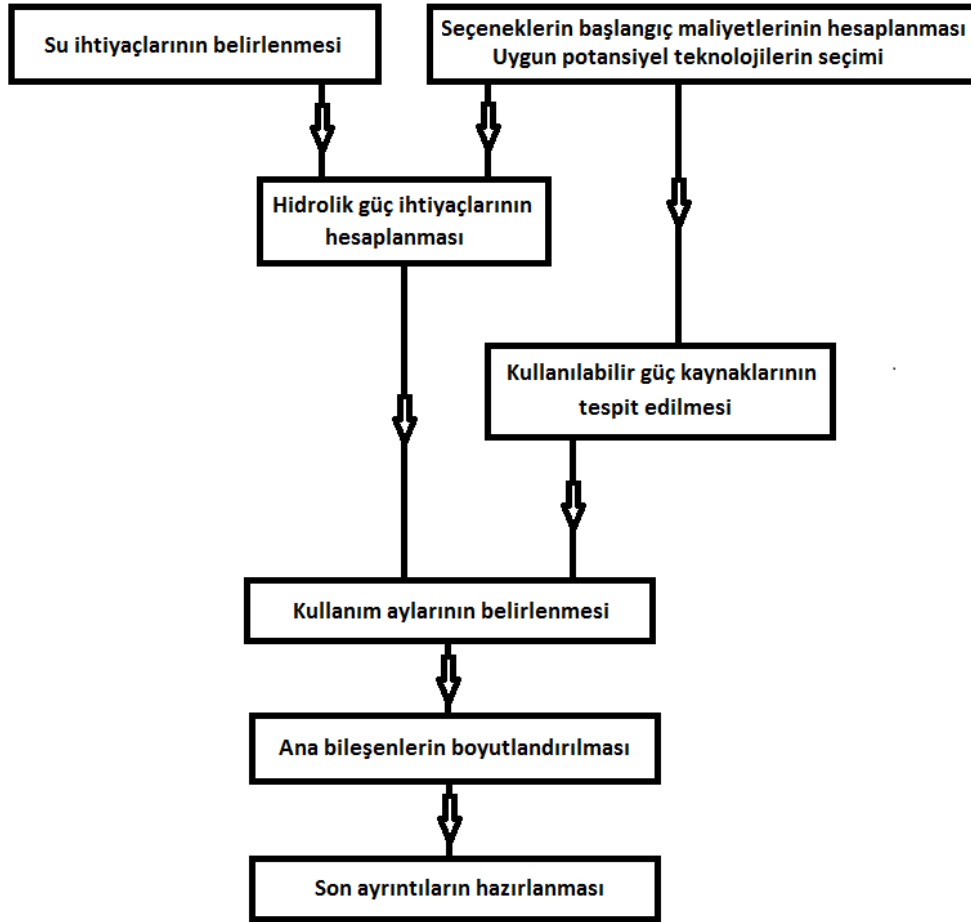
Alan	Pazaryeri, Karaköy
Uygulama	Suyun sulama noktalarına iletilmesi
Su ihtiyacı	Ortalama 9,5 m ³ /gün (detaylı olarak Çizelge 4.2’de verilmiştir)
Su kaynağı	20 m derinliğinde kuyu, Statik su seviyesi (Pompalama yapılmazken) Yüzeyden 11 m aşağıda, Dinamik su seviyesi (Pompalama esnasında) Yüzeyden yaklaşık 14 m aşağıda
Tank	Yerden 2 m yukarıda inşa edilecek
Statik basma yüksekliği	16 m (Kuyunun dinamik yüksekliği ile tank yüksekliği toplamı)
Alanın durumu	Yakınında binaların olmadığı açık bir alan

Rüzgar enerjisiyle çalışan sistem için en uygun pompanın seçiminde izlenmesi gereken adımlar:

- Su ihtiyacını belirlemek
- Hidrolik güç ihtiyacını belirlemek
- Sağlanabilecek rüzgar gücünü belirlemek

- Projenin verimli olacağı kritik ayı belirlemek
- Pompanın ana bileşenlerinin tip ve kapasitelerini belirlemek.

Bu adımlar Şekil 4.1'deki karar akış diyagramında belirtilen adımlardır. Bölüm 4.1'de su ihtiyacının belirlenmesi ele alınacaktır. Bölüm 4.2'de hidrolik güç ihtiyacının hesaplanması incelenecektir. Bölüm 4.3'te ise rüzgar kaynaklarının yeterliliğinin belirlenmesi konusu ele alınacaktır. Bölüm 4.4 Kritik ayın belirlenmesini anlatmıştır. Bölüm 4.5'te rüzgar enerjisiyle çalışacak pompanın seçiminde göz önünde bulundurulması gereken faktörler verilmiştir. Bölüm 4.6'da ise sistemin satın alınması durumunda, teknik anlamda sistem performansı belirlenip finansal analiz öncesi sistem performansı hesaplanması aşamasına gelinmiştir. Bölümün her alt bölümünde gerekli hesaplar yapılabilecek kadar detaylı bilgiler verilmiştir.



Şekil 4.1. Su pompalama uygulaması dizaynında izlenmesi gereken adımlar

Sistem tarafından pompalanacak su miktarı pompa boyutu seçiminde önemli bir kriterdir. Önceki bölümlerde pompalanacak su miktarı ile ilgili yaklaşım anlatılmıştı. Bu bölümde önceden anlatılan bu yaklaşıma göre pompa seçimi anlatılacaktır.

4.1. Su İhtiyacının Tespit Edilmesi

Hidrolik gücün belirlenmesi sırasında suyun hem sulama hem de genel kullanım için gerekli olduğu unutulmamalıdır. Bu iki ihtiyacın belirlenmesi ile toplam su ihtiyacı belirlenmiş olacaktır.

4.1.1. Sulama için su ihtiyacı

Belirli bir arazi için su ihtiyacının belirlenmesi pek çok faktöre bağlıdır. Bunlarda en önemlileri:

- Ürünün tabiatından kaynaklanan yapısı ve üretilme periyodu
- İklim koşulları
- Toprağın durumu ve tipi
- Arazinin topografik özellikleri
- Nakliye imkan ve koşullarının uygunluğu
- Tarım alanının kullanımı

Küçük rüzgar türbinli pompa sistemi kurulurken bütün bu faktörler birlikte dikkate alınmalıdır. Bu faktörlerden herhangi birisi gereksinim duyulan su miktarını önemli ölçüde değiştirebilir. Bazı faktörler mevsimlere göre değişkenlik gösterir, diğer taraftan gereksinim duyulan su miktarı da bir zaman dilim için değişken değerler alabilir. Pazaryeri Karaköy sulama suyu ihtiyaçlarının bölgedeki çiftçilerden alınan tahmini değerleri Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Pazaryeri, Karaköy sulama suyu ihtiyaçları

Aylar	Su ihtiyacı (günlük bir hektara gerekli m³ cinsinden)
Ocak	1
Şubat	7,5
Mart	15
Nisan	17,5
Mayıs	22,5
Haziran	17
Temmuz	17,5
Ağustos	15
Eylül	0
Ekim	0
Kasım	0
Aralık	5

4.1.2. Ev kullanımı için su ihtiyacı

İnsanların ve çiftlik hayvanlarının su ihtiyacının tahmini sulama suyu ihtiyacının belirlenmesinden daha kolaydır. Çünkü bir insanın ve çiftlik hayvanının ihtiyacını bulup toplam sayısı ile çarparak toplam ev kullanımı su ihtiyacı kolayca bulunabilir. Çiftlik hayvanlarının su ihtiyacı örnekleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Eve ait kişi başı su ihtiyacı önemli derecede değişebilir. Eğer evlere ait özel musluklar varsa tüketim, suyun umumi kullanım alanlarında olduğundan 5 kat veya daha fazla olabilir. Genellikle kişi başı su tüketimi 50-100 litre/gün arasında kabul edilir.

Çizelge 4.3. Çiftlik hayvanlarının genel günlük su ihtiyacı [4]

Türler	Su İhtiyacı (litre/gün)
Deve	40 - 90
At	30 - 40
Sığır	20 - 40
Süt ineği	70 - 100
Küçükbaş hayvan	1 - 5
Kümes hayvanı	0,2 - 0,3

4.2. Hidrolik Güç İhtiyacının Belirlenmesi

Su ihtiyacı belirlendikten sonra, hidrolik güç ihtiyacı (1) denklemi kullanılarak hesaplanabilir. Ortalama günlük 9,5 m³ debi için gerekli hidrolik güç:

$$N_E = \frac{10^3 \frac{9,5}{24 \cdot 3600} \cdot 18}{102 \cdot 0,70} = 0,0277 \text{ (kW)}$$

Basma yüksekliği hesabı için bilinmesi gereken değerler:

- Suyun yer altındaki statik düzeyinin yeryüzüne olan mesafesi (Statik su seviyesi), Suyun pompa çekişi sırasında düştüğü seviye (Dinamik su seviyesi)
- Suyun yeryüzüne çıkarıldıktan sonra kullanılabilmesi için yükseltilmesi gereken seviye
- Tesisattaki sürtünmelerden kaynaklanan basınç kayıplarına karşılık gelen seviye

Tesisattaki basınç kayıpları kullanılan borunun çapına, boyuna ve debiye bağlıdır (Şekil 4.5). Rüzgar enerjili pompalar için yapılan hesaplamalarda basınç kayıpları genellikle toplam yüksekliğin %5 ile %10'u arasında, küçük bir değer olarak kabul edilir. Tesisat hesaplanıp ölçülendirildikten sonra, özellikle düşük toplam yükseklik ve uzun tesisat gerekli olan durumlarda, bütün proje (1) eşitliğine uygunluk bakımından tekrar değerlendirilmelidir.

Çizelge 4.4'te Pazaryeri, Karaköy'de şerbetçiotu üretimi için ortalama hidrolik güç ihtiyacının hesaplanmasında kullanılan çizelge verilmiştir. Bu çizelgede değerler toplam yüksekliğin %10'u kadarlık bir hat kaybı göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır.

Ele alınan örnekte sadece işlemlerin kolaylaştırılması için statik su seviyesi yıl boyunca sabit kabul edilmiştir. Oysa bu değer yıl boyunca aylık değişiklikler gösterir.

Çizelge 4.4. Pazaryeri, Karaköy’de şerbetçiotu üretimi için aylık hidrolik güç ihtiyacı tespiti

HİDROLİK GÜÇ İHTİYACI					
İletim Borusu Kayıpları: 10% İletim Borusu Uzunluğu: 1000m Pompa Verimi: %70					
Aylar	Su ihtiyacı (m³/gün)	Pompalama yüksekliği (m)	Kayıplar (m)	Toplam yükseklik (m)	Ortalama hidrolik güç ihtiyacı (W)
Ocak	1	16	2	18	2,92
Şubat	7,5	16	2	18	21,88
Mart	15	16	2	18	43,77
Nisan	17,5	16	2	18	51,06
Mayıs	22,5	16	2	18	65,65
Haziran	17	16	2	18	49,60
Temmuz	17,5	16	2	18	51,06
Ağustos	15	16	2	18	43,77
Eylül	0	16	2	18	0,00
Ekim	0	16	2	18	0,00
Kasım	0	16	2	18	0,00
Aralık	5	16	2	18	14,59
Toplam Yıllık Su İhtiyacı (m³/yıl):			3540		

4.3. Rüzgar Gücü Yeterliliğinin Belirlenmesi

Rüzgar enerjili pompanın yerinin uygunluğunu tam olarak tespit edebilmek için aylık rüzgar bilgilerine ihtiyaç vardır. Yıllık rüzgar gücü toplamına göre yapılacak rüzgar enerjili pompa boyutlandırması sonucunda rüzgarın zayıf olduğu aylarda yeterli su sağlayamama durumunun ortaya çıkması kaçınılmaz olacaktır.

Rüzgar hızı değerleri sahada, doğru yükseklikte ölçülmüş ise ölçüm sonuçları Çizelge 4.5’te doğrudan girilebilir. Bu çok rastlanan bir durum değildir, genellikle yakın bir meteoroloji istasyonundan edinilen uzun yıllar aylık ortalama değerleri veya daha önce yapılmış araştırmalardan sağlanan bilgiler kullanılır. Ne yazık ki; aylık ortalama rüzgar hızı bilgisini tam olarak öngörebilmek mümkün değildir. O nedenle hesaplarda kullanılan verilerin önümüzdeki yıllarda da yaklaşık tekrarlanacağını ümit etmek zorunluluğu, rüzgar enerjili pompa projelendirmenin hesaplamalarla kesinleştirilemeyen aşamasıdır.

Çizelge 4.5. Pazaryeri, Karaköy rüzgar gücü araştırmaları

RÜZGAR GÜCÜ ARAŞTIRMALARI			
Deniz seviyesinden yükseklik: 100m			
Rüzgar türbini yüksekliği: 10m			
Türbin yüksekliği ve engebe düzeltme katsayısı: 0,98			
Aylar	10m'deki ortalama potansiyel rüzgar hızı (m/s)	Havanın Yoğunluğu (kg/m³)	Rüzgar Gücü (W/m²)
Ocak	2,8	1,2	13,17
Şubat	2,9	1,2	14,63
Mart	3,2	1,2	19,66
Nisan	3,0	1,2	16,20
Mayıs	2,8	1,2	13,17
Haziran	2,8	1,2	13,17
Temmuz	2,9	1,2	14,63
Ağustos	3,0	1,2	16,20
Eylül	2,6	1,2	10,55
Ekim	2,5	1,2	9,38
Kasım	2,3	1,2	7,30
Aralık	2,7	1,2	11,81

Rüzgar gücünün belirlenmesi, zamanla ve yerle büyük değişiklikler göstermesi nedeniyle, karmaşık ve sonuçları kesin olmayan bir işlemdir. Aynı zamanda yakın meteoroloji istasyonu verilerinin de uygulamanın yapılacağı alanda geçerli veriler haline dönüştürülmesi uzmanlık isteyen ve çok karmaşık bir iştir. Bunun için izlenmesi gereken adımlar şöylece özetlenebilir:

- Meteoroloji istasyonu kayıtlarında oluşan verilerin elde edilmesi
- Elde edilen verilerde sistemin kurulacağı yerin avantaj, dezavantajlarına göre, alanın yüksekliği, düzlüğü, açıklığı, yakındaki yükseltiler, tepelikler vb. göz önüne alınarak düzeltmeler yapılması
- Bu düzeltmelere göre projelendirilecek rüzgar enerjili pompa sisteminin rotor yüksekliğinin belirlenmesi
- Sistemin kurulacağı alanın rüzgar gücü kaynağının miktar ve proje ihtiyacına uygunluğunun değerlendirilmesi

Bu adımlardan oluşan iş akışı basitleştirilmiş halde Çizelge 4.5 te verilmiştir. Bu çizelgede yüzey pürüzlülüğü düzeltmesi doğrudan aylık ortalama rüzgar hızlarına uygulanmıştır. Gerçek bir uygulamada uygulamacı bunları günlük farklılıkları da içerecek bir çizelge yaparak kullanabilir. Hatta uygulamacılar günün belirli saatlerinde rüzgarın daha etkili olduğu yerlerde kuracakları sistemi sadece bu saatlerdeki çalışması ile günlük ihtiyacı karşılayacak şekilde dizayn etmeyi düşünüp bu düşünceyi bu çizelge ile birleştirebilirler.

Aylık ortalama rüzgar hızı belirlendikten sonra çalışmalara rüzgar gücü hesaplanarak devam edilir. Bunun için havanın yoğunluk bilgisine ihtiyaç vardır. Bu bilgi deniz seviyesinden yüksekliğe göre hava yoğunluğunu veren çizelgelerden bulunur. Deniz seviyesinde 1.2 kg/m^3 olan bu yoğunluk yükseklerde 0.7 kg/m^3 civarına kadar düşen, göz ardı edilemeyecek düzeyde önemli bir değişim gösterir. Bu hesaplamalarda kolaylık sağlanması için $1,2 \text{ kg/m}^3$ kabul edilmiştir.

Ortalama rüzgar hızı ve hava yoğunluğu bilgileri kullanılarak rüzgar gücü hesaplanır. Çizelge 4.5'teki form örnek sistem için elde edilen sonucu göstermektedir. Çizelge 4.5 bir yandan da rüzgar gücünün rüzgar hızı değişimine karşı ne kadar duyarlı olduğunu göstermektedir. Rüzgar enerjili pompanın projelendirilmesinde ve birim su maliyetinin hesaplanmasında kullanılan rüzgar hızı bilgisinin ne kadar önemli olduğu göz önünde bulundurularak eldeki rüzgar hızı bilgileri üzerinde bir şüphe varsa duyarlılık analizi yapılarak bu şüphe ortadan kaldırılmalıdır. Bu işlem Şekil 4.1 deki bilgilerin bir kez daha gözden geçirilmesi ve doğrulanması, gerekiyorsa düzeltmeler yapılması işlemidir. Bölüm 2'de de belirtildiği gibi rüzgar enerjisi rüzgar hızının küpü ile orantılıdır. O nedenle rüzgar hızında yapılacak küçük bir hata rüzgar enerjisi hesabında büyük hatalar ortaya çıkarmaktadır.

4.4. Kritik Ayın Belirlenmesi

Projelendirmeye devam edebilmek için aylık ortalama hidrolik güç ihtiyacının ve rüzgar gücünün bilinmesi gerekir.

Rüzgar enerjili pompa konusunda yapılan çalışmalarda iki seçenek arasında bir seçim yapılır. Birincisinde rüzgar enerjili pompa su ihtiyacının tamamını karşılayacak

şekilde ele alınır. İkinci seçenekte ise amaç tüm su ihtiyacını karşılamak değil sadece enerji tasarrufu sağlamaktır. İkinci seçenekte rüzgar enerjili pompa ortalama su ihtiyacını karşılamaktadır. Ancak; yüksek tüketim olduğu dönemlerde açık diğer pompalarla (Dizel, elektrikli vb.) kapatılmaktadır.

Bu çalışmada su ihtiyacının tamamını karşılamak üzere projelendirme çalışmalarını inceleyeceğiz. Ancak; bu çalışma sonucunda enerji tasarrufu amaçlı bir çalışmaya dönüşüm yapılmak istenirse ortalama su ihtiyacı kullanılabilir. Oldukça büyük rüzgar enerjili pompa seçimi bütün su ihtiyacını karşılayıp büyük enerji tasarrufu sağlayacaktır, ama bu genellikle ekonomik çözüm olmayacaktır. Bu durumda rüzgarın yüksek hızda estiği dönemlerde ihtiyaç fazlası su elde edilmiş olmasına rağmen bu su kullanılmayacağından bir enerji tasarrufuna karşılık da olmayacaktır. Küçük rüzgar enerjili pompa seçilmesi durumunda ise sistemden elde edilen suyun tamamı kullanılmış olacaktır, ancak enerji tasarrufu potansiyelinin tamamı kullanılmamış olacaktır.

Tüm su gereksinimini karşılamak üzere projelendirme yapılırken kritik ay veya dizayn ayı kavramları esas alınır. Bu ay rüzgar gücü kaynağına göre gereksinim duyulan su miktarının yüksek olduğu aydır ki; bu ay sistemin en fazla yüklendiği aydır. Bu kritik ay hidrolik güç ihtiyacının rüzgar gücüne oranlanması ile hesaplanır. Bu oranın maksimum olduğu ay kritik aydır. Bu oran referans alan olarak tanımlanır. Diğer bir değerlendirme ile bu değer yeterli rüzgar gücüne ulaşabilecek rotorun alanının hesaplanmasında esas alınacak değerdir. Rüzgar enerjili pompanın projelendirilmesinde elde edilen bu değer temel alınıp özel türbin hesabı parametreleri ile gerekli dönüşümler yapılarak kullanılması gereken rotorun alanı bulunacaktır. Kritik ayın tespit edilmesinde kullanılan form Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Hidrolik güç ihtiyacı ve rüzgar gücü bilgileri önceki örnek çizelgelerden alınmıştır. Örnekte kritik ay Mayıs olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.6. Pazaryeri, Karaköy’de kritik ayın belirlenmesi

KRİTİK AY					
Aylar	Ortalama hidrolik güç ihtiyacı (W)	Rotor yüksekliğindeki ortalama rüzgar hızı (m/s)	Rüzgar Gücü (W/m²)	Referans Alan (m²)	Kritik Ay
Ocak	2,92	2,8	13,17	0,22	
Şubat	21,88	2,9	14,63	1,50	
Mart	43,77	3,2	19,66	2,23	
Nisan	51,06	3,0	16,20	3,15	
Mayıs	65,65	2,8	13,17	4,98	←
Haziran	49,60	2,8	13,17	3,77	
Temmuz	51,06	2,9	14,63	3,49	
Ağustos	43,77	3,0	16,20	2,70	
Eylül	0,00	2,6	10,55	0,00	
Ekim	0,00	2,5	9,38	0,00	
Kasım	0,00	2,3	7,30	0,00	
Aralık	14,59	2,7	11,81	1,24	

4.5. Rüzgar Enerjili Pompa Seçiminde Göz Önünde Bulundurulması Gereken Faktörler

Rüzgar enerjili pompanın ölçülendirilmesine başlanmadan önce rüzgar enerjili pompanın hangi tip olacağına karar verilmiş olmalıdır.

4.5.1. Rüzgar enerjili pompa seçiminde göz önünde bulundurulması gereken konular

Rüzgar enerjisi talep eden kişinin isteklerinin tamamını karşılamak pek kolay bir iş değildir. Belirli bir ihtiyaç için hangi tip pompanın uygun olacağı Bölüm 3’te Çizelge 3.1 ve Şekil 3.8’de verilmişti. Bazı durumlarda verilen kriterlerin ötesinde başka konuları da göz önünde bulundurmak gerekebilir. Diğer bir önemli konu da tasarımın mevcut piyasa koşullarıyla uygulanabilirliğidir. Pistonlu pompa kullanılan rüzgar enerjili bir sistemin istenen koşulları sağlayan bir çözüm olarak ortaya çıktığını düşünelim.

Genel olarak -özellikle derin kuyu pompalamalarında- klasik çok kanatlı rüzgar enerjili pompalar, modern ve yeni geliştirilmekte olan pompalardan daha güvenilirdir. Klasik rüzgar enerjili pompalar ile sahada onlarca yıllık deneyimler elde edilmiş durumdadır. Buna karşılık ithal parçalar kullanmak söz konusu olduğunda klasik çok kanatlı rüzgar enerjili pompaların bakımı zor ve masraflı olabilir. Genel olarak modern rüzgar enerjili pompalarda daha fazla standart parça kullanıldığı söylenebilir. Bakım hizmetinin kolaylığı ve ekonomikliği de kullanılacak yedek parçaların kolay ve ucuz bulunabilirliğine bağlıdır.

Klasik rüzgar enerjili pompa veya modern rüzgar enerjili pompa için ortaya çıkabilecek bazı problemler ve bunlarla ilgili çözümler dikkate alınmadan başarılı bir tasarım yapmak mümkün değildir. Bunlardan başlıca gelenler:

- Yerli üretime geçmek için pazarlama potansiyeli yeterli mi? Yerel maliyetler (işgücü ve altyapı) yüksek olabilir çünkü uzman mühendislik gerektiren bir konu olup uzman mühendisler başka sektörlerde iş yaparak daha tatminkar ücret alıyor olabilirler.
- Yerli üretim ithal edip satmaktan daha ekonomik mi? Bu ücretlere daha pek çok faktöre bağlı bir durumdur.
- Klasik rüzgar enerjili pompalar ile karşılaştırıldığında modern rüzgar enerjili pompaların debisi gerçekten çok yüksek olabilir, bu durum özellikle sulamada daha fazla önem kazanmaktadır. Bu durumda kullanıcı birim su maliyetleri bakımından kendi çıkarı doğrultusunda karar vermek durumundadır.
- Eğer sulamada rüzgar enerjisi kullanımını ulusal bir politika olursa klasik rüzgar enerjili pompaların üretimi ile başlayıp uzun vadede modern rüzgar enerjili pompaların üretimine geçmek düşünülebilir.
- Rüzgar enerjili pompalar için mevcut bir Pazar varsa, modern rüzgar enerjili pompalar uzun vadede kullanıcı için ithal pompa kullanmaktan daha ekonomik ve avantajlı olabilir.

Bütün bunları göz önünde bulundurmak rüzgar enerjili pompa tipinin seçimindeki pek çok risk ve stresi ortadan kaldıracak ve avantajları daha çok, dezavantajları daha az bir seçim yapılmasını sağlayacaktır.

4.5.2. Yüksek debi ve sağlanabilirliği

Rüzgar enerjili pompa boyutlandırması bir biri ile çatışan şu iki kavramın uzlaştığı yerin bulunması çalışmasıdır:

- Yüksek debi, yani çok su pompalanması
- Yüksek debinin sağlanabilirliği, yani düzenli ve devamlı su kaynağının varlığı

Bu iki kavram Bölüm 3'te tanımlanmıştı. Büyük pompalı bir rüzgar enerjili pompa sistemi büyük miktarlarda su çekecektir ama çalışmaya başlaması için de aynı oranda fazla rüzgara ihtiyaç olacaktır. Bu yüzden de pek çok zaman çalışmaya başlayamadan bekleyecektir. Küçük pompalı bir sistem ise düşük rüzgar hızlarında bile kolayca çalışmaya başlayabilecek ancak normal hızları için mevcut kapasiteyi de kullanamamış olacaktır. Sonuç olarak da yüksek debi kapasitesine sahip olmasına rağmen yüksek debi sağlayamayacaktır. Bu durumda kabullenilebilir bir kapasite düzeyine karşılık gelen noktayı bulup çalışmalara buna göre devam etmek en doğru olanıdır. Çizelge 4.7; Çizelge 4.4, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'daki bilgileri de kullanarak oluşturulmuş olup kabullenilebilir kapasite belirlenmesinde yardımcı olabilecek bilgileri içermektedir.

Boyutlandırma işlemine devam edebilmek için şu bilgilere ihtiyaç vardır:

1. Kule yüksekliği
2. Rotor çapı
3. Pompa boyutları
4. Tank kapasitesi
5. Tesisat bilgileri

4.5.2.1. Kule yüksekliği

Her ne kadar rüzgar enerjili pompa sisteminin en önemli ölçüsü rotor çapı olsa da rotor şaftı seviyesindeki rüzgar hızını belirleyebilmek için kule yüksekliği de bilinmelidir. Sağlanabilecek rüzgar gücü kapasitesini hesaplayabilmek için aylık ortalama rüzgar hızı çizelgesinde rotor şaftı yüksekliğindeki rüzgar hızı esas alınmalıdır (Bölüm 4.2).

Kule yüksekliği kanatların üst seviyesinde rüzgarı engelleyecek hiçbir yapı veya ağaç veya tepe kalmayacak şekilde seçilmelidir. Ağaçlar, binalar gibi yükselteler varsa kule yüksekliği, rotorun alt ucu bu yükseltelerden bir rotor çapı kadar yüksek olacak gibi ayarlanmalıdır.

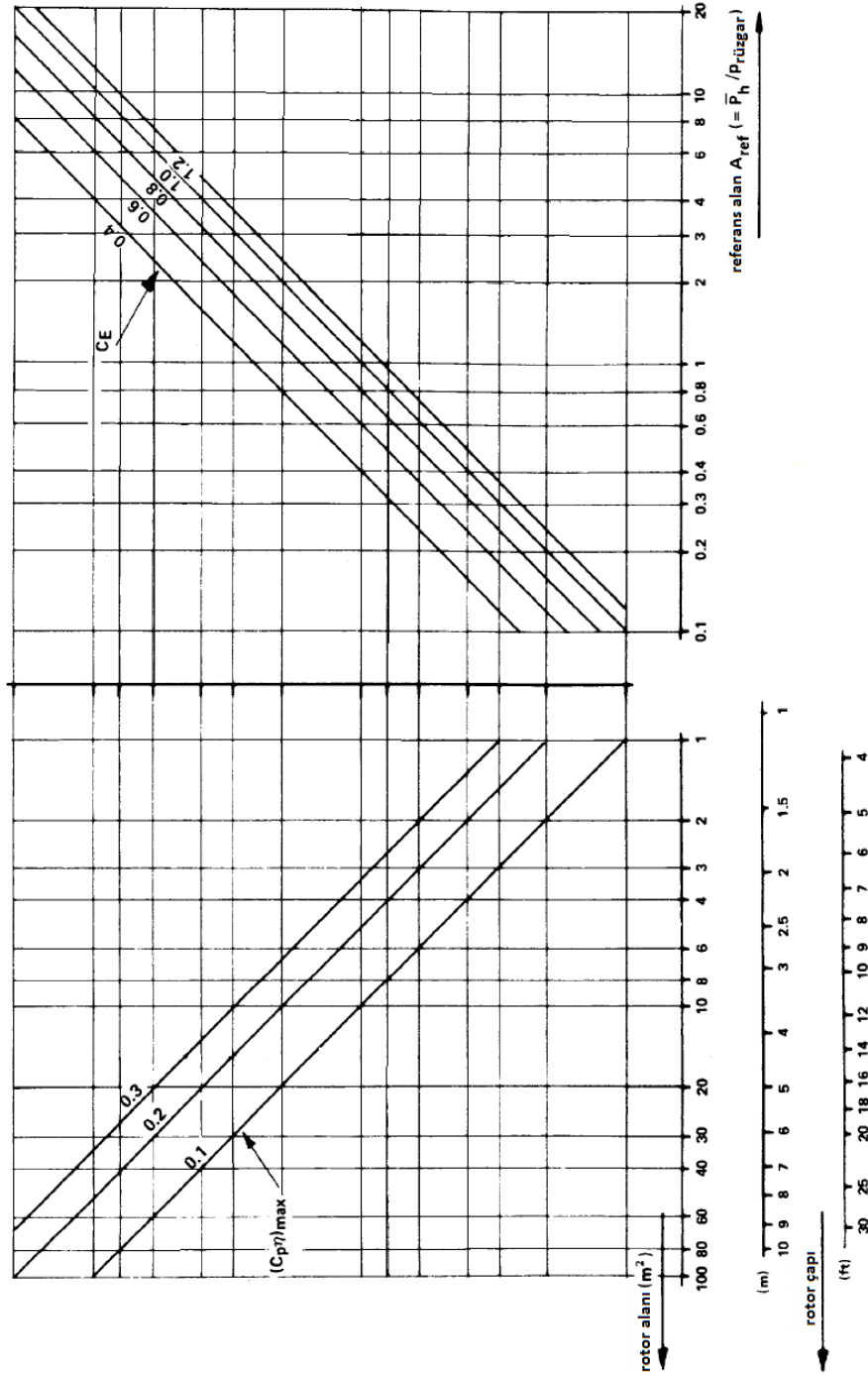
Kule yüksekliği seçimi kısıtlı bir seçimdir. Çünkü üreticiler genellikle 10 ile 15 metre arasında kule üretmektedir. Küçük rüzgar enerjili pompalar için 6 m yüksekliğinde olanlar bulunabilir, büyükler için de 24 m yüksekliğinde olanlar vardır. Bunların dışındaki ölçüler için özel imalat yapılması gerekebilir. Örneğimizde kule yüksekliği 10 m olarak seçilmiştir.

4.5.2.2. Rotor çapı

Rüzgar enerjili pompanın gücünü ve maliyetini belirleyen en önemli ölçü rotor çapıdır. Rotor çapını belirlemek için Şekil 4.2 deki grafik kullanılır. Grafiğin kullanımı:

- Başlama noktası referans alandır. Bu alan ortalama hidrolik güç ihtiyacı ve rüzgar gücünün oranıdır. Bu değer Çizelge 4.6 ile kritik ay hesaplanırken bulunan değerdir. Ele aldığımız örnekte bu bilgiler Mayıs ayı ve $4,98 \text{ m}^2$ olarak bulunmuştur.
- Grafiğin sağ tarafında ise enerji üretim katsayısı hesapları yer almaktadır, bu değerler pompa tipine doğrudan bağlıdır. Genel olarak kullanılan değerler Bölüm 3'te Çizelge 3.2'de verilmiştir. Örneğimizdeki bilgilerle devam edilerek dengelenmiş pompa kollu pompa için, su derinliğinin 14 m olduğu durumda $C_E = 0,55$ olarak bulunur.
- Grafiğin sol tarafında ise en yüksek güç katsayısı bilgileri vardır. Bu bilgi genellikle su pompalama yüksekliğine bağlı olup Bölüm 3 Çizelge 3.2'den bulunabilir. Örneğimiz için basma yüksekliği 18 m ve pompamız dengelenmiş pompa kollu olduğuna göre $(C_p \eta)_{\max} = 0,3$ olur.
- Bu aşamada rotor çapının seçimi yapılacaktır. Eğer rotor çapı standart rotor çaplarından birisine eşit çıkmazsa, genellikle böyle olur, tercihe göre en yakın alt veya üst yakın değer seçilir. Örneğimizde bu çap 6 m olarak bulunmuştur. Eğer rotor çapı, "Kule yüksekliği" bölümündeki kule yüksekliği ile sağlaması

gereken orantıyı sağlamıyorsa kule yüksekliğini yeniden ele alıp aynı işlemleri tekrar yapmak gerekecektir.



Şekil 4.2. Rüzgarlı enerjili pompalardaki rotor ölçüsünün hesabında kullanılan nomogram [4]

4.5.2.3. Pompa boyutu

Şekil 4.4'teki grafik pompa boyutlarını belirlemede kullanılır, strok hacmi ile değerlendirilir. Grafiğin kullanılışı:

- Başlangıç noktası sağdaki yatay ekseninde gösterilen rotor çapıdır. Bu örnek için değeri 6 m.
- Üst sağ çeyrekte dizayn rüzgar hızı hesaba katılmıştır. Çizelge 3.2'de dizayn rüzgar hızının ortalama rüzgar hızına uygun bir oranı bulunabilir. Eğer havanın yoğunluğu $1,2 \text{ kg/m}^3$ den ihmal edilemeyecek kadar farklı ise düzeltme faktörü uygulanmalıdır. Yani V_d yerine hava yoğunluğu $1,2 \text{ kg/m}^3$ 'ten farklı ise V_d yerine $V_d \times \sqrt{\frac{\rho}{1,2}}$ alınacak şekilde düzeltme yapılmalıdır.

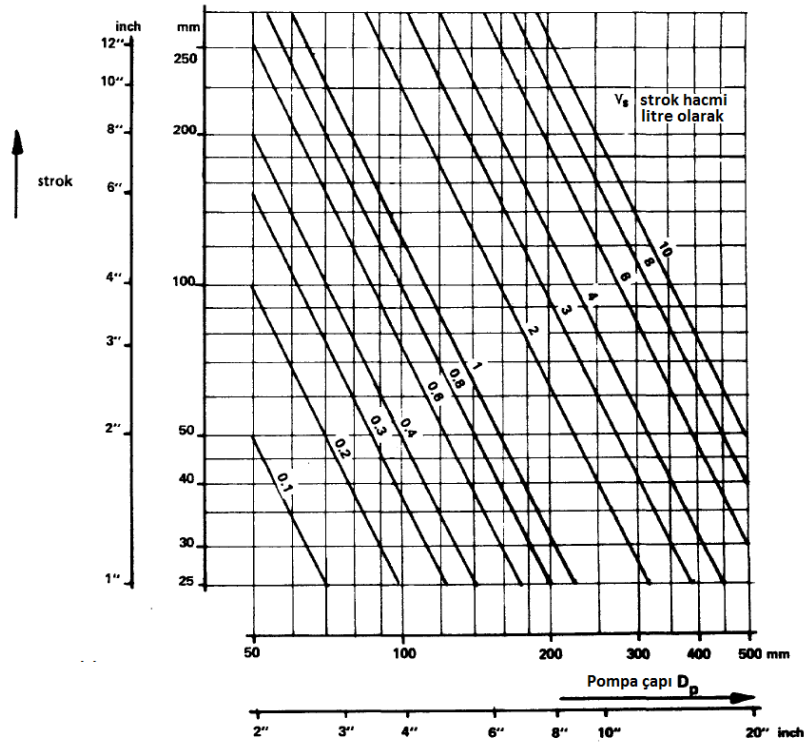
Örnek olarak, Dengelenmiş pompa kollu derin kuyu pompalı bir sistem için V_d/V_{ort} Çizelge 3.2'de 0,7 m/s olarak verilmiştir. Dizayn ayındaki 2,8 m/s ortalama rüzgar hızı değeri kullanılarak $V_d \cong 2 \text{ m/s}$ olarak bulunur. Havanın yoğunluğu $1,2 \text{ kg/m}^3$ kabul edildiğinden düzeltme faktörü kullanmaya ihtiyaç kalmamıştır.

- Çalışma hızı ise grafiğin üst sol kısmında gösterilmiştir. Dizayn hızı oranı λ_d çoğu klasik rüzgar enerjili pompa dizaynlarında 1, nadiren de 1,5 ile 2 arasında alınır. Doğrudan tahrik edilen rüzgar enerjili pompalarda aktarma oranı (i) 1, arkadan dişli kutulu (redüktörlü) rüzgar enerjili pompalarda ise 0,3 tür. Grafik 0,25 en yüksek güç katsayısına göre çizilmiştir. λ_d , i ve $\frac{0,25}{(C_P\eta)_{max}}$ ile çarpılarak bulunan değer grafikte kullanılmalıdır.

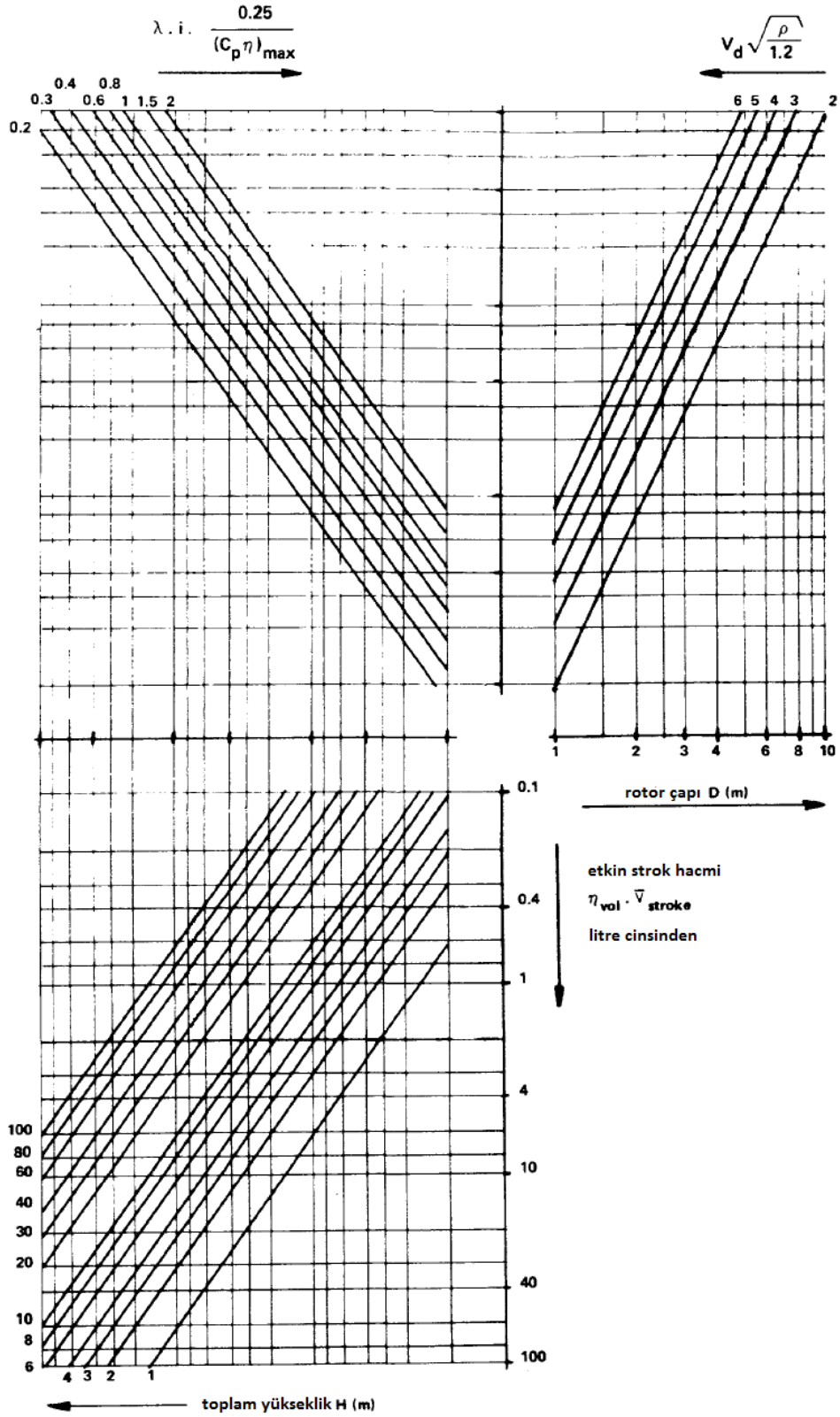
Örnek olarak ele alınan sistemde, arkadan dişli kutulu (redüktörlü) rüzgar enerjisi pompa için, $\lambda_d \times i = 0,3$ 'tür. Daha öncede belirtildiği gibi, güç katsayısının tepe değeri $(C_P\eta)_{max} = 0,3$ alınmıştır. Bu nedenle; düzeltme katsayısı uygulama işlemi ile $\frac{0,3 \times 0,25}{0,3} = 0,25$ olarak bulunmuş ve bu değer kullanılmıştır.

- Grafiğin sol alt kısmı toplam basma yüksekliği hesabı içindir. Örnekte $H = 18 \text{ m}$ alınmıştır.

- Düşey eksenin alt kısmından, etkin strok hacmi bulunur, bu her bir strokta pompalanacak su hacmine eşittir. Geometrik strok hacmi (V_{stroke}) strok başına pompalanmak istenen su hacminden biraz fazla olmalıdır. Bu iki değer arasındaki bağıntı η_{vol} olarak Bölüm 3'te belirtilmiştir. Düşük devirli klasik rüzgar enerjili pompalar için bu değer 0,9 ile 1 arasında değişir. Bazı uygulamalarda nadiren, bu değer 0,8'e kadar düşebilir. Ele alınan örnek sistemde etkin strok hacmi 7 litre, geometrik strok hacmi ise 0,9 hacimsel etkinlik değeriyle 7,78 litre olarak bulunur. Elde edilen strok hacmine bağlı olarak pompa çapı ve stroku seçilmelidir. Sistemde ayarlanabilecek strok sınırı, piyasada bulunabilecek pompa çapı bilgileri göz önünde bulundurulmak durumundadır. Bazen de pompa çapı seçimi için en önemli kısıt, pompanın içine yerleştirileceği sondaj borusunun çapıdır. Şekil 4.3 çap ve strok seçiminde yardımcı olabilir. Burada verilen çap pompanın iç çapıdır. Dış çapın sondaj borusuna sığacak kadar seçilmesi hususu gözden kaçırılmamalıdır. Örnek olarak ele alınan sistem için, maksimum uygulanabilecek stroku 250 mm alalım. 7.78 litre istenen strok başına hacim için pompa çapı yaklaşık 157 mm bulunur.



Şekil 4.3. Pistonlu pompanın strok ve çap değerlerinin seçildiği nomogram [4]



Şekil 4.4. Rüzgar enerjili pompa sistemindeki pompanın ölçülerinin hesabında kullanılan nomogram [4]

4.5.2.4. Tank

Bölüm 3'te anlatıldığı gibi, tank rüzgar enerjisi ile pompalama sistemlerinin mutlaka bulunması gereken parçasıdır. Tankın maliyeti de sistem maliyetine ilave edilir. Bu nedenle dizayn aşamasında tankın maliyeti de göz önünde bulundurulmalıdır.

Tank dizaynında, hacim ve yerden yüksekliğin belirlenmesi temel esaslardır. Boyutlandırma aşamasında ev kullanım suyu ile sulama suyu uygulamaları arasındaki farklılık göz önünde bulundurulmalıdır. (Bölüm 4.1)

Tankın evsel kullanım suyu kaynağı olarak ölçülendirilmesi: Evsel kullanımı için su sağlayan sistemlerde, suyun motor tahrikli pompa ile yüksek seviyeye basıldığı sistemler olmaları durumunda bile depolama ihtiyacı vardır. Pompalamanın rüzgar enerjili pompalarla yapıldığı sistemlerde ise motor tahrikli sistemlere göre daha büyük depolara ihtiyaç vardır.

Motor tahrikli pompalarda tanklar, tüketim düzeyi ile pompalama düzeyi arasındaki farkı kapatmaya yetecek büyüklükte seçilir. Günün su kullanımının yoğun olduğu saatlerinde tüketim pompalama kapasitesinden daha fazla olacaktır. Tank bu kullanımın en üst değere ulaştığı saatlerde tüketimi karşılayabilecek büyüklükte olmalıdır. Tank aynı zamanda olası pompa arızalarında arıza giderme süresince su ihtiyacını da karşılayabilecek büyüklükte olmalıdır.

Rüzgar enerjili pompalama sistemlerinde tank büyüklüğünün belirlenmesinde biraz daha değişik bir yaklaşım gereklidir. Tank, su ihtiyacının az olduğu saatlerde (genellikle gece saatlerinde) pompalama sisteminin pompaladığı suyun tamamını depolayacak kapasitede olmalıdır. Bu kapasitenin hesaplanmasında ortalama rüzgar hızından biraz daha yüksek rüzgar hızı olan süreçlerde göz önünde bulundurulmalıdır (Bu durumda, pompalama kapasitesi de ortalamanın biraz üzerinde olacaktır). Bu şekilde dizayn edilen bir tank, rüzgar hızının ortalamanın biraz altında olduğu günler için de su biriktirmiş olacaktır.

Buna ilave olarak rüzgarsız günlerin süresi de göz önünde bulundurulması gerekir. Tank bu rüzgarsız periyotlardaki susuzluk sorunu da çözecek büyüklükte olmalıdır. Bu durumda rüzgarsız günler boyunca tüketimi kabul edilebilir düzeyde düşürmek te bir çözüm yolu olarak düşünülebilir. Böyle bir tüketim kısıtlaması

uygulaması için yerel halkın ihtiyaç ve beklentileri, önceden dikkatle incelenmiş ve değerlendirilmiş olmalıdır.

Kapasite belirleme çalışması sonucunda tank büyüklüğü iki veya üç günlük su ihtiyacından büyük bulunursa, depo boyutlarını küçültmek, böyle bir yola gidilirken motor tahrikli bir pompayı takviye pompası olarak kullanmak daha ekonomik bir çözüme ulaşmak için doğru bir yaklaşım olacaktır. Tanklar genel olarak 1 ile 3 gün arasında bir süre için tüketimi karşılamaya yeterli boyutlarda dizayn edilir.

Tankın sulama suyu kaynağı olarak ölçülendirilmesi: Rüzgar enerjili su pompalama sistemleri sulama amaçlı kullanıldığında, tank yapmak kaçınılmaz bir zorunluluktur. Tank kapasitesi ise, en azından en yüksek sulama ihtiyacı olan dönemde yarım günlük su ihtiyacını karşılamaya yetecek kadar olmalıdır.

Ekonomik nedenlerle maksimum 1 veya 1,5 günlük depolama kapasitesi kullanılır. Bu üst sınır elbette tank maliyetine bağlıdır. Eğer depo maliyetinde bir ucuzlama sağlama imkanı doğarsa, bu imkan sınırları zorlanarak daha yüksek kapasite de kullanılabilir.

Kabul edilebilecek maksimum tank maliyeti aslında sulanacak ürünün sulama ihtiyacı ve elde edilecek ürünün maddi karşılığına sıkıca bağlıdır. Piyasa değeri yüksek ürünlerin sulaması için kurulacak sistemlerde, daha yüksek tank maliyetlerine katlanılabileceği tabiidir.

Tank kapasitesinin belirlenmesi için saatlik rüzgar verileri kullanılarak çok detaylı çalışmalar da yapılabilir. Bu çalışmalarda rüzgar enerjili pompanın, rüzgar bilgisine bağlı olarak, saatlik su kapasitesi hesaplanıp saatler bazında ihtiyaç fazlası ve zorunlu tüketim miktarı bilgileri ile birlikte işlenerek tankta biriktirebilecek su miktarı hesaplanıp yapılması gereken tankın kapasitesi hesaplanabilir.

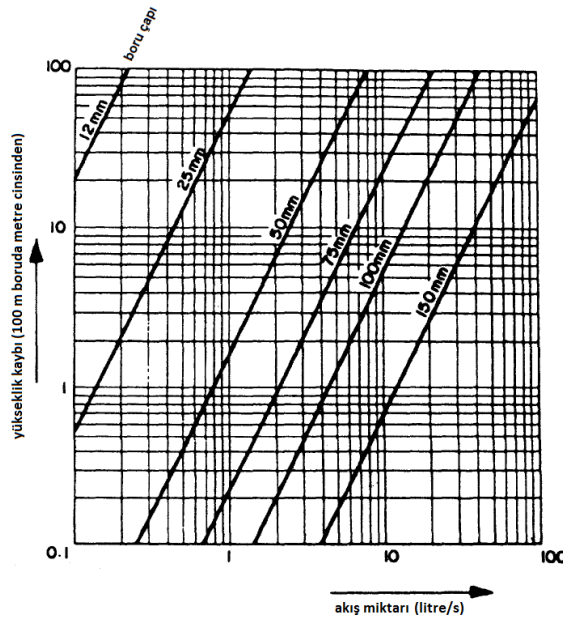
Bu çalışmayı yaparken asla; uzun susuzluk dönemlerindeki su ihtiyacını karşılamak hedeflenmemelidir. Bunun ekonomik olmayan bir sonuca götüreceği açıktır. Genel olarak kısıtlı sulama yapıp, bir miktar ürün kaybına da razı olmak, ilave takviye pompası (Dizel, elektrikli) düşünmek, ya da rüzgar enerjili pompa boyutlarını büyütme

seçenekleri birlikte işlenerek en ekonomik çözüme ulaşmak yaklaşımı tercih edilir. Örnek sistemde tank büyüklüğü 5 m³, 0,5 gün olarak seçilmiştir.

4.5.2.5. Tesisat

Elde edilen suyu tanka taşıyan tesisat, rüzgar enerjili su pompalama sisteminin olmazsa olmaz bir bileşenidir. Ancak; depodan sonraki tesisat, su kullanıcısının suyu başka kaynaktan elde etse de zaten sahip olması gereken kısım olması bakımından yatırım maliyetlerine katılmaz. Tesisat ile ilgili ölçülemelerin yapılabilmesi için elde olması gereken bilgi debi bilgisidir. Bu değeri yaklaşık olarak kritik aydaki ortalama debinin 3 ila 5 katı arasında alabiliriz.

Boru apı seçilirken, oluşan verim kaybı değerlerinin çok yükselmemesi de göz önünde bulundurulmalıdır (Şekil 4.5). Rüzgar enerjili pompa tesisatının kayıpları toplam basma yüksekliğinin 10%'undan daha düşük olmalıdır. Bu kayıplar tesisatta akış değışimlerine bağlı piston koluna etkiyen oldukça büyük kuvvetlere sebep olur ve bu durum piston kolunun kırılması ile sonuçlanabilir. Bu kuvvetleri sınırlandırmak için boru çapları geniş hesaplanmalıdır. Rüzgar enerjili pompa üreticileri bazen kullanılması gereken minimum pompa çapını belirtirler.



Şekil 4.5. Farklı iç çaplardaki düz borular için yükseklik kayıpları [4]

Sistemde vakumlu bir pompa kullanılıyorsa emme borusuna özellikle dikkat edilmesi gerekir. Toplam emme yüksekliği mutlaka kontrol edilmelidir. Yani emme yüksekliği ve emme hattındaki basınç kayıpları toplamı 6-7 m'yi geçmemelidir.

Örnek sistemde kritik aydaki ortalama pompalama miktarı 22,5 m³/gün veya 0,26 l/s'dir. Bu değerın 5 katına göre hesaplamalar yapılarak tesisat döşemesi 1,3 l/s'lik akış miktarına göre tasarlanmalıdır. Boru toplam uzunluğu 1000 m ve yükseklik kaybı 2 m'dir. Bu değerler 100 m'de 0,2 m'ye denk gelir. Şekil 4.5'ten boru çapı 80 mm olarak bulunur.

Çizelge 4.7. Pazaryeri, Karaköy'de yapılacak rüzgar enerjili sistemin ölçülendirmesi

RÜZGAR ENERJİLİ SİSTEMİN ÖLÇÜLENDİRMESİ	
Deniz seviyesinden yükseklik: 700	
Kritik ay: Mayıs	
Kritik ay su ihtiyaçları	
	Ortalama su ihtiyacı: 9,5 m³/gün
	Basma yüksekliği: 18 m
	Hidrolik güç ihtiyacı: 65,65 W
Kritik aydaki rüzgar gücü olanakları	
	Ortalama rüzgar hızı: 2,8 m/s
	Hava yoğunluğu: 1,2 kg/m³
	Rüzgar gücü: 13,17 W/m²
Kritik ay referans alanı: 3,94 m²	
Rüzgar enerjili pompa tipi	<input type="radio"/> Klasik rüzgar enerjili pompa ve derin kuyu <input checked="" type="radio"/> Klasik rüzgar enerjili pompa ve sığ kuyu veya dengelenmiş pompa kolu <input type="radio"/> Modern, başlangıç piston delikli, dengelenmiş pompa kolu
Adımlar	Hesaplamalar
1. Kule	Yükseklik: 10 m
2. Rotor	Enerji üretim katsayısı: 0,55
	En yüksek güç katsayısı: 0,3
	Çap: 6 m
3. Pompa	Dizayn rüzgar hızı: 2 m/s
	Kanat ucu hız oranı: 1
	Aktarma oranı: 0,3
	Strok hacmi: 7.78 litre
	Strok: 250 mm
	Çap: 157 mm
4. Tank	Hacim: 5 m³ veya 0,5 gün
	Yükseklik: 2 m
5. Tesisat	Çap: 80 mm
	Toplam uzunluk: 1000 m

4.6. Sistemin Satın Alınması Durumunda Gerekli Bilgiler

Uygun ve bulunabilecek pompa tipinin seçilmesi çok önemlidir. Ekonomik kısıtlamalar, teknolojik imkanlar ve doğal imkanlar birlikte değerlendirilerek pompa seçimi yapılmalıdır. İstenilen özellikler çizelgesinde bulunması gerekenlerin bir örneği Çizelge 4.8’de verilmiştir. İstenilen özellikler çizelgesini dolduran bir kullanıcı en az 1 ile 4 arasındaki basamakları doldurmalıdır. Tercihen 5. basamak ve 6. basamağın kule yüksekliği kısmı doldurulabilir. Kullanıcı bir satıcı ile görüşmeden önce kendi ekonomik değerlendirmesini yapmak istiyorsa Çizelge 4.8’deki alanların hepsini tamamlamalıdır. Bu bilgiler finansal değerlendirme işleminde gereklidir.

Çizelge 4.8. Pazaryeri, Karaköy’de yapılacak rüzgar enerjili sistemin son özellikleri

RÜZGAR ENERJİLİ SİSTEMİN ÖZELLİKLERİ													
Deniz seviyesinden yükseklik: 700 m													
1. Su kaynağı	Tipi: Derin Kuyu												
	Mesafe (Yüzey kaynağı için):												
	Çap: 220 mm												
	Dinamik su seviyesi: 14 m												
2. Dağıtım sistemi	Tipi: Boru												
	Uzunluğu: 1000 m												
	Boru çapı: 80 mm												
3. Depolama sistemi	Tipi: Yüksek tank												
	Hacim: 5 m ³ veya 0,5 gün												
	Yükseklik: 2 m												
4. Kritik ay bilgileri	Ay: Mayıs												
	Ortalama kullanılacak su ihtiyacı: 22,5 m ³ /gün												
	Ortalama debi ihtiyacı: 22,5 m ³ /gün												
	Hidrolik güç ihtiyacı: 65,65 W												
Rotor yüksekliğindeki ortalama rüzgar hızı: 2,8 m/s													
5. Rüzgar rejimi ve su ihtiyacı													
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	
Rotor yüksekliğindeki ortalama rüzgar hızı (m/s)	2,8	2,9	3,2	3	2,8	2,8	2,9	3	2,6	2,5	2,3	2,7	
Su ihtiyacı (m ³ /gün)	1	7,5	15	17,5	22,5	17	17,5	15	0	0	0	5	
6. Rüzgar enerjili pompa özellikleri	Kule yüksekliği: 10 m												
	Makine tipi: Klasik arkadan vitesli												
	Rotor çapı: 6 m												
	Strok: 250 mm												
	Pompa tipi: Dengelenmiş piston kollu												
Silindir çapı: 157 mm													

Rüzgar enerjili pompa üreticilerinin çoğu özellikle rüzgar enerji potansiyelini bilmedikleri bölgelerde ürünlerinin çıkış performansı hakkında yaklaşık bir değer verebilir. Bu sebepten sistemin kurulacağı bölgenin rüzgar ölçümleri projede en önemli basamaklardan biridir.

5. SONUÇLAR

Çizelge 2.1'den hidrolik güç ihtiyacının 0,0277 kW değerini 2 m çapında rotora sahip sistemin 2,5 m/s ortalama rüzgar hızı ve üzerinde 0,02944 değeri ile karşıladığı görülmektedir. Örnek alan olarak seçilen Pazaryeri, Karaköy'de kritik aydaki 2,8 m/s'lik ortalama rüzgar hızı ile rüzgar enerjili sistemin kullanılabileceği görülmüştür. Mesele eldeki imkanlarla yapılabilecek yatırım ve buna karşılık elde edilebilecek enerjinin bu yatırımı yapmaya değer olup olmadığının tespitidir. Çalışma sonucunda rüzgar enerjili sistemlerin mümkün olduğunca yerel imkanlarla imal edilmesinin maliyetleri düşük tuttuğu ve yatırımın fizibilitesinde pozitif yönlü bir etki yaptığı görülmüştür. Modern rüzgar enerjili pompalar (özellikle yerel imkanlarla yapılanlar), genel olarak çok kanatlı pompalardan daha düşük birim su maliyetlerine sahiptir. Deneysel amaçlı yapılan PVC kanatlı rotorun maliyeti en çok 10 m³ suyun bedeline eşittir. Diğer bileşenler içinde benzer yaklaşımlar maliyeti düşürmeye yönelik olumlu sonuçlar verecektir.

Ortalama gücün ortalama rüzgar hızının küpü ile orantılı olması nedeniyle, rüzgar hızı ile ilgili yapılacak hesaplamalarda yapılabilecek küçük bir hata, rüzgar enerjisi potansiyeli hesaplamalarında büyük hatalara neden olacaktır. Bu nedenle rüzgar hızının doğru hesaplanması çok önemlidir.

Potansiyel rüzgar enerjisi miktarı doğru belirlenmelidir. Gerekirse bir uzman desteği alınmalıdır. Bu aşamada yapılabilecek hatalar mevcut kaynağın israf edilmesi veya kaynak kapasitesinin üzerinde bir rüzgar türbinli pompa tesis edilerek hayal kırıklığı ile karşılaşılması sonucunu doğurabilecektir.

Kritik aylardaki 2 m/s rüzgar hızı değerleri için genel olarak rüzgar enerjili pompalar uygun çözüm değildir, 3,5 m/s hızının üzerinde rüzgar enerjili pompalar iyi bir seçenektir. Sulama sezonuna karşılık gelen ortalama 5m/s ve üzeri rüzgar hızlarında, rüzgar enerjili pompalar her durumda en iyi seçim olacaktır. Rüzgar enerjili pompalar düşük hidrolik güç ihtiyaçları için özellikle tercih edilir. 20 m⁴ altındaki çok düşük hidrolik güç ihtiyaçları için ise el tulumalarını kullanmak daha iyi bir çözümdür.

6. KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Prof. Dr. Sebahattin ÜNALAN, 2003, Alternatif Enerji Kaynakları (Ders Notları), <http://me.erciyes.edu.tr/sunalan/alt-ener-kay.pdf>
- [2] D. Dowson, C.M. Taylor, T.H.C. Childs, G. Dalmaz, Y. Berthier, L. Flamand, J.-M. Georges, A.A. Lubrecht, 1998, Tribology for Energy Conservation
- [3] Erich Hau, Wind Turbines - Fundamentals, Technologies, Application, Economics2E
- [4] Joop Van Meel, Paul Smulders, 1989, Wind Pumping: A Handbook
- [5] Hugh Piggott, Windpower Workshop
- [6] Joachim Peinke, Peter Schaumann, Stephan Barth, 2006, Wind Energy, Proceedings of the Euromech Colloquium
- [7] Prof. Dr. Yaşar Pancar, 2008, Hidrolik Tasarım (Ders Notları)
- [8] Eskişehir Meteoroloji İşleri Ofisi
- [9] RETS (Rüzgar Enerjisi Tahmin Sistemi), <http://www.dmi.gov.tr/tahmin/ruzgar-enerjisi-tahmini-tr.aspx?rS=a&rT=h&rY=010&rH=01>
- [10] Neden Alternatif Enerji, <http://www.yildiz.edu.tr/~kanat/temiz.htm>