

46567

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Y.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

RÜZGAR ENERJİSİ VE
SAVONIUS RÜZGAR TÜRBİNİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Ali Fuat KOLAÇAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26 Mayıs 1995

Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Haziran 1995

Tez Danışmanı : Y. Doç. Dr. Korhan BİNARK

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Kemal YILLIKÇI

Doç. Dr. Cem PARMAKSIZOĞLU

HAZİRAN 1995

ÖNSÖZ

Çağımız bir teknoloji savaşı çağıdır. Bu savaştan galip çıkacak ülkeler 21. ve daha sonraki çağlara damgalarını vuracaklardır. Teknolojinin gıdası enerjidir. Bunun bilincinde olan gelişmiş devletler tükenmekte olan fosil kaynaklı enerjinin yerine yeni enerji kaynakları bulmaya yönelmişlerdir.

Bu kaynaklar arasında, üzerinde en çok durulanlardan birisi de rüzgar enerjisidir.

Ülkemizde rüzgar enerjisi kullanımı hemen hemen yoktur ve hatta, rüzgar enerjisi üzerinde yapılan çalışmalar da oldukça azdır. Biz de bunun bilincinde olarak, düşük rüzgar hızlarında çalışabilen kompakt bir Savonius rüzgar türbini imal ettik.

Kısıtlı imkanlarla yaptığımız bu çalışmanın diğer çalışmalara örnek olmasını ve yeni enerji kaynakları üzerinde yapılan çalışmaların yoğunlaşarak, Türkiye'nin bu alanda 21. yüzyıla damga vuran ülkelerden birisi olmasını dilerim.

Beni bu çalışmaya yönlendiren danışman hocam Y. Doç. Dr. A. Korhan BİNARK'a, kompozit malzemeden yapılan kanatların imalatı sırasında yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Kemal YILLIKÇI'ya ve tüm okul hayatım boyunca beni destekleyen aileme ve arkadaşlarıma teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

HAZİRAN - 1995
İSTANBUL

Ali Fuat KOLAÇAN

İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
SUMMARY	vi
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. RÜZGAR ENERJİSİ VE KAYNAKLARI	3
2.1. Rüzgar Enerjisi Kaynakları	3
2.2. Rüzgar Özellikleri	5
2.3. Rüzgar Enerjisi ve Gücü	6
BÖLÜM 3. DÜNYADA RÜZGAR ENERJİSİ	7
BÖLÜM 4. TÜRKİYE'DE RÜZGAR ENERJİSİ	9
BÖLÜM 5. RÜZGAR MAKİNALARI	12
5.1. Yatay Eksenli Rüzgar Makinaları	12
5.2. Düşey Eksenli Rüzgar Makinaları	14
BÖLÜM 6. RÜZGAR ENERJİSİNİN DEPOLANMASI	15
6.1. Mekanik Enerji Depolama	15
6.2. Kimyasal Enerji Depolama	15
6.3. Elektrik veya Manyetik Enerji Depolama	19
6.4. Isıl Enerji Depolama	19
6.5. Depolama Yöntemlerinin Karşılaştırılması	19
BÖLÜM 7. SAVONIUS RÜZGAR TÜRBİNİ	22
7.1. Savonius Rotorun Aerodinamiği	22
7.2. Savonius Rüzgar Türbininin Özellikleri	26
7.3. Savonius Rüzgar Türbini Uygulamalarından Örnekler	29
BÖLÜM 8. DEĞİŞTİRİLMİŞ SAVONIUS RÜZGAR TÜRBİNLERİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA	40
8.1. Türbinin Geometrik Karakteristikleri	40
8.2. Yapılan Deneyler ve Sonuçları	42
8.2.1. Otomobil Alternatörü ile Güç Eldesi	42
8.2.2. Bisiklet Dinamosu ile Güç Eldesi	44
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	48
KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ	51

NOTASYON LİSTESİ

V :	(m/s)	Rüzgar Hızı
ρ :	(kg/m ³)	Hava Yoğunluğu
A :	(m ²)	Rüzgar Akımına Dik Alan
t :	(s)	Zaman
P :	(W)	Rüzgar Gücü
α :	(Derece)	Hücum Açısı
β :	(Derece)	Kanat Profil Burulma Açısı
ϕ :	(Derece)	Dönme Düzlemi ile Bağlı Hız Arasındaki Açı
W :	(m/s)	Bağlı Hız
L :	(N)	Kaldırma Kuvveti
D :	(N)	Sürüklemeye Kuvveti
a :		Eksenel İndüksiyon Katsayısı
a' :		Radyal İndüksiyon Katsayısı
r :	(m)	Kanat Yarıçapı
G :		Kaydırma Oranı
X :		Uç-Hız Oranı
d :	(m)	Rotor Çapı
C_p :		Güç Katsayısı

ÖZET

Fosil kaynaklı yakıtların kaynağının azalmakta olması üzerine alternatif enerjiler üzerinde yapılan çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalardan en büyük payı ise rüzgar enerjisi almaktadır.

Rüzgar enerjisi kullanımının birçok çekici özellikleri vardır. Mekanik enerjiye kolayca çevrilebilmesi, kaynağının sonsuz olması, çevreye zarar vermemesi bunlardan birkaçıdır. Bunun yanında rüzgarın düzenli yoğunlukta olmaması başlıca dezavantajıdır. Bundan dolayı enerji depolama yoluna gidilmektedir. Rüzgar enerjisi; mekanik, kimyasal, ısı ve elektriksel yöntemlerle depolanabilmektedir.

Rüzgar türbinleri, yatay eksenli ve dikey eksenli olmak üzere iki çeşittir. Yatay eksenli türbinler genellikle büyük uygulamalarda kullanılırken, dikey eksenli türbinler (Darrieus, Filipinni, Savonius) daha düşük güç gerektiren , genellikle kırsal uygulamalarda kullanılırlar.

Savonius türbini ucuz ve basit konstrüksiyonu, rüzgarı her yönden alabilmesi, yüksek başlama torku ve düşük devir sayısı ile küçük uygulamalarda kullanılan bir türbindir.

Bu çalışmada, İ.T.Ü. Makina Fakültesi'nde bir Savonius türbini imal edilmiş ve gerekli testler yapılmıştır. Bu türbinin en büyük özelliği kompozit malzemeden imal edilmiş olmasıdır.

SUMMARY

Wind Energy and Savonius Wind Turbines

With increased consciousness about the limited character of the fossil fuel supply, considerable attention has been focused on utilization of wind energy (beside other sources). A wind generator with simple design features and low maintenance is an economic alternative to the high initial investment cost of making electrical energy available at rural regions.

Wind energy use has several attractive features. Typically, high wind regimes occur in areas with low priority land use classification. The energy in the wind can be easily converted to rotary mechanical energy by aeroturbines and to electrical energy by coupling generators. The collection area is perpendicular to the ground surface and except for the small area occupied by the base of the tower and the support structure, the surrounding land can be used for other purposes as long as proper precautions are taken not to interfere with the operations of the aeroturbines. Wind energy is a nonpolluting and abundant renewable resource.

Before 1970, when conventional fuel prices (hydrocarbons, mainly) were low enough. Electric power production by wind energy conversion was not efficient from the economic stand point.

As a result of the oil price high increase in 1970, wind energy was reconsidered as being one of the alternative energies; vast research programs started being organized with in this field.

Even though the oil price decreased temporarily in further periods, the research in this field went on, since the process of wind energy conversion into electric power was not polluting. Meanwhile, the ecological problems have become a priority.

The use of wind energy to produce electric power has also other advantages versus the use of conventional fuels

for the same purpose. Therefore, heat is not discharged from wind energy conversion and cooling water is no longer necessary; also, wind energy can be converted in the place and moment when it manifests itself, making unnecessary fuel transportation, as in the thermopower stations case or the accumulation of water supply, as in the hydropower stations case.

Wind energy conversion to electric power has disadvantages, too. Such as:

- Technical impossibility to carry out high power units, under competitive conditions from the economic viewpoint.

- Very severe dependence of the produced electric power on the wind energy natural variations.

- Large expenses to build wind energy units versus their power and, therefore, a relative high price of the delivered electric power.

Since wind energy availability is very dependent on wind velocity, the collection and representation of wind data has been the subject of extensive research. The data are generally taken at some suitable location and height over one or more years, with the velocity measurement averaged over a short period and recorded at least once each hour. This information may be condensed into an average annual velocity, average velocities for each month of the year, or ensemble averaged hourly winds for a typical day. It may also be expressed either as a probability distribution of the hourly velocity for the year or for each month, or as a wind duration curve, which is an integrated or cumulative probability curve. One finds that the use of time-series data gives the most reliable results, the use of probability distributions the next best, and the use of averages and ensemble averages the worst. The velocity levels must also be adjusted if the wind turbine will not be located at the same height or at the exact same spot at which the anemometer data were taken.

Since the power density in moving air (wind) varies as the cube of the wind speed, the power output of a wind energy system will have wide variations in the wind speed. Therefore, to provide a reliable supply (electrical, mechanical or thermal) to consumers, one has to employ some type of energy storage and reconversion system to smooth out the variations and supply energy during calm periods.

Energy can be stored in mechanical, chemical, thermal, or electrical (electromagnetic) form.

-Mechanical energy storage

- a- As potential energy,
 - in conjunction with hydroelectric systems (hydrofiring)
 - pneumatic storage
 - compressed air storage
- b- As kinetic energy in flywheels

-Chemical energy storage

- a- Hydrogen storage
- b- Synthetic fuels and fertilizer
- c- Secondary batteries (electrochemical)
- d- Regenerative systems

-Thermal energy storage

- a- As sensible heat
 - in solid media
 - in liquid media
 - dual (solid and liquid) media
- b- As latent heat
 - heat of fusion of salt hydrates
 - heat of solid-solid transitions in crystalline structures
- c- Combined sensible and latent heat storage
- d- Thermochemical storage in reversible chemical reactions

-Electric or magnetic energy storage

- a- In high-intensity electric fields
- b- In high-intensity (superconducting magnets) magnetic fields

Once reliable cost-effective wind energy systems are developed and tested, the economics of their application within an electrical system is a complex issue. Suppose that we wish to determine the dollar value to a utility of a cluster of wind turbines. The process can be subdivided into the following four steps:

-A representation of the wind at the installation site

-A performance model for the wind energy conversion system, computes the expected power output from the wind velocity

-A representation of the load on the system

-A system model that simulated the technical and economic performance of the system together with the wind power input

There two kinds of wind turbines. These are:

-Horizontal axis wind turbines

-Vertical axis wind turbines

Horizontal axis wind turbines have two or three blades. Shaft of turbine is parallel to the ground. It is used for high energy producing (wind farms)

Vertical axis wind turbines are used for small project. Darrieus, Filipinni and Savonius rotors are popular rotors of vertical axis wind turbines.

The Savonius rotor concept never become popular until recently, probably because of its low efficiency. However, it has the following advantages over the other conventional wind turbines:

-Simple and cheap construction

-Acceptance of wind from any direction thus eliminating the need for reorientation

-High starting torque

-Relatively low operating speed (r.p.m.)

This advantages may outweigh its low efficiency and make it an ideal economical source to meet small scale power requirements, especially in the rural parts of developing countries.

Savonius used a rotor which was formed by cutting the Flettner cylinder into two halves along the central plane and then moving the two semicylindrical surfaces sideways along the cutting plane sothat the cross section resembled the letter 'S'. According to Savonius the best

of his rotors had a maximum efficiency of 31%. Savonius wind generator is especially considered useful for providing the energy demands of small scale agricultural fields for water pumping purposes.

The aerodynamic efficiency of the Savonius rotor is poorer than that of other types of wind turbines. However, it is simple in structure, and has a good starting torque performance with the operating characteristics independent of wind direction. Hence, studies of the Savonius rotor are popular, and some efforts have been made to improve the aerodynamic performance without unduly affecting these characteristic features.

In the past, the performance of the Savonius rotor has been examined by measuring the global characteristics such as the torque and the power performance in order to optimize the geometrical configuration of the rotor for practical design. However, flow visualization experiments have been performed to investigate the flow mechanism around the rotors. Smoke-wire visualization pictures show clear indications of the lift force contributions to the torque mechanism of a rotating rotor, which is different from that of a still rotor.

Further quantitative discussion of the torque mechanism has been conducted by measuring the pressure distributions on the blade surfaces of the rotor with and without rotation. (It is worth mentioning that the torque coefficient obtained from the integration of the pressure distributions on both sides of the blades are in close agreement with the direct torque measurement by a torque detector.) These experimental investigations explain the mechanism of the torque and the power production of the Savonius rotor angles and tip-speed ratios. However, the experiments are limited to a rotor with fixed overlap ratios.

In this study; by considering the low average of the wind speed in our country (2.5 m/s), the literature research about wind turbines was made in the beginning. Carrying on the work; a home kind, changed-Savonius wind turbine whose first motion can be easy in low speed was designed. Manufactured in three-store from composite material in I.T.U. Mechanical Engineering Faculty, Thermodynamics and Heat Transfer Laboratories and then tested with different air conditions and wind speeds opening to the atmosphere on the experiment platform of the roof of I.T.U. Mechanical Engineering Faculty in Istanbul.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Yeni bir yüzyıla merhaba demenin heyecanını duyduğumuz şu günlerde, enerji tüketiminin çok büyük boyutlara ulaşması, insanları alternatif enerjiler üzerinde yoğunlaşmaya zorlamaktadır.

Yaygın olarak kullanılan enerji kaynaklarının çoğu fosil kaynaklı olup, rezervleri gün geçtikçe azalmaktadır. Bu kaynaklar gelecek için ölü enerji kaynaklarıdır. Bu nedenle mevcut kaynakların ekonomik bir şekilde kullanılmasının yanında, yeni enerji kaynaklarının da bulunması gerekmektedir.

Alternatif enerjiler olarak; güneş enerjisi, küçük hidrolik enerji, jeotermal enerji, rüzgar enerjisi, deniz dalga enerjisi ve biomas enerji sayılabilir.

Bu yeni enerji kaynaklarının araştırılmasında, aslında pek yeni olmamakla beraber, yüzyıllardır kullanılan rüzgar enerjisinin önemli bir yeri vardır. Rüzgar enerjisinin üstünlüğü yaygın ve tükenmez oluşundan kaynaklanmaktadır. Rüzgar enerjisi diğer enerji biçimlerine çevrilirken kirlenmeye yol açmaz. Ancak rüzgarın düzensiz ve yoğunluğunun küçük oluşu dezavantajlarıdır.

Rüzgar enerjisinden istenilen düzeyde yararlanmak için; uygun dizayn, inşaa usülleri ve tesis yeri seçimi gibi içiçe olan ögelerden meydana gelen meseleye, üç ana aşamada yaklaşmak gerekmektedir.

-Tesisin kurulacağı yörede rüzgar ölçümleri yapılarak rüzgar karakteristiklerinin tayini ve yer seçimi.

-Amaçlara ve rüzgar karakteristiklerine uygun rüzgar tahrikli makinaların dizaynı ve geliştirilmesi.

-Sistemin enerji depolamasına ihtiyaç göstermeden, verimli olarak çalışmasının temini.

Bu çalışmada, kaynak yayınlardan yararlanarak rüzgar enerjisi, dünyada ve Türkiye'de rüzgar enerjisinin önemi, rüzgar enerjisini depolama yöntemleri ve rüzgar türbinleri üzerinde durulmuştur. Yine bu çalışma dahilinde, değiştirilmiş kanatlı Savonius türbini dizayn edilmiş ve İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakülte'sinde imalatı yapılarak gerekli ölçümler yapılmıştır.

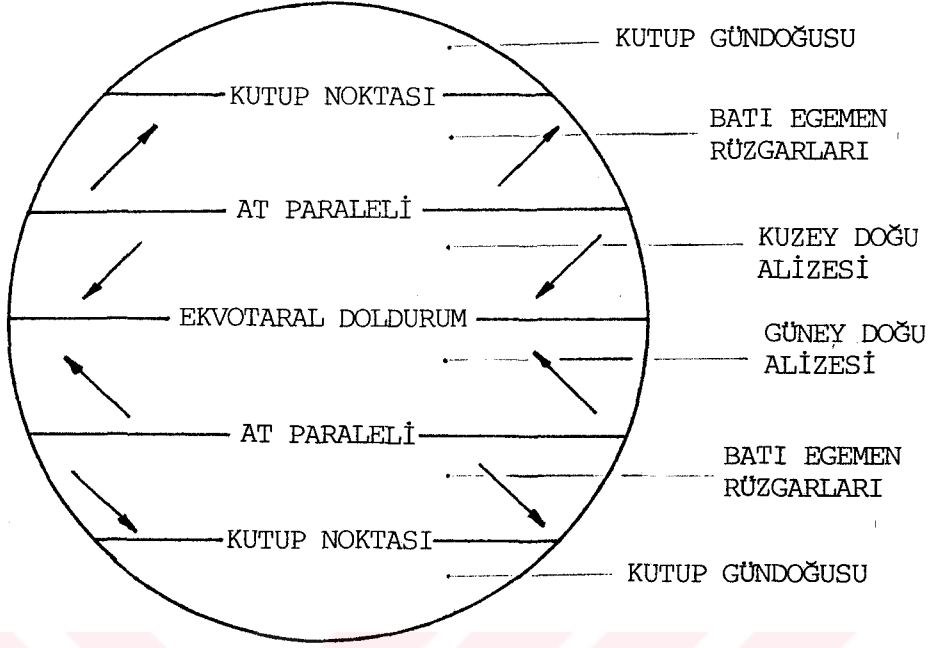


BÖLÜM 2. RÜZGAR ENERJİSİ VE KAYNAKLARI

2.1. Rüzgar Enerjisi Kaynakları

Rüzgar enerjisi güneş enerjisinin bir şeklidir. Rüzgarlar, yeryüzündeki farklı güneş ısı dağılımının neden olduğu basınç ve sıcaklık farklarının dengelenmesiyle oluşan hava akımlarıdır. Dünyanın bir kısmında hava, kara ve deniz ısınırken, diğer yüzeyinde soğuma görülür. Dünyanın günlük dönüş hareketi nedeni ile bu ısınma ve soğuma periyodik bir şekilde devam eder. Dünyanın güneşe bağlı ekseninin eğiminin mevsimlere göre değişmesi, ısı enerjisinin günlük dağılımının mevsimden mevsime farklılık göstermesine neden olur.

Güneş enerjisinin absorbesi, ekvator yakınlarında kutuplardakine nazaran daha farklıdır. Daha hafif ve sıcak olan hava, ekvator'dan yükselerek kutuplara doğru akar. Bu havanın yerini, kutuplardan dönen soğuk ve ağır hava alır. Dünyanın batıdan doğuya dönüşü nedeni ile, kuzeye akan hava doğuya, güneye akan hava da batıya sapar. Kuzeye akan hava 30° kuzey paraleline geldiğinde tamamen doğuya dönmüş olur. Bu hava akımlarına 'Batı Egemen Rüzgarları' adı verilir. 30° kuzey paralelindeki sıcak iklim ve yüksek basınç nedeniyle hava bu paralelde birikmek ister. Bir kısım hava, yine bu yüksek basıncın etkisiyle güneye akar. Bu da dünyanın dönüşü ile batıya saparak 'Alize Rüzgarları'nı oluştururlar. 50° kuzey paralelinin üstünde 'Kutup Gündoğusu Rüzgarları'nın oluşumunda da aynı etki vardır. Ekvatorun güneyinde de aynı sebeplerle çeşitli hava akımları oluşur. Yerel rüzgar sirkülasyonunun şematik gösterilişi Şekil 2.1'de verilmiştir. [1]



Şekil 2.1 Yerel Rüzgar Sirkülasyonu

Dünyanın bütün yüzeyi güneş ısısına aynı şekilde tepki göstermez. Örneğin bir okyanus, yüksek ısı kapasitesi nedeni ile bitişik bulunduğu karadan daha yavaş ısınır ve aynı şekilde karadan daha yavaş soğur. Bu farklı ısınma ve soğuma hızları, okyanus dibi veya kara parçalarının nem karakteristikleri ve sıcaklıklarıyla beslenmiş büyük hava kitleleri oluşturur. Bu hava kitleleri dünya yüzeyi boyunca rüzgar sirkülasyonu modeline uyarak yayılırlar. Sıcak hava kitleleriyle soğuk hava kitlelerinin karşılaşmaları, enerji kaynağı olarak kullanılan yerel rüzgarların oluşmasına neden olur.

Düşük ısı kapasitesi nedeni ile, kara parçasının sıcaklığı güneşin etkisiyle artar veya azalır. Gece olduğu zaman radyasyon denizdekine nazaran daha hızlı olur. Bu yüzden sahile nazaran deniz suyu gündüz daha soğuk, gece daha sıcaktır. Bu sıcaklık farkı nedeniyle oluşan

rüzgarlara 'Deniz-Kara Meltemleri' adı verilir. Gündüz özellikle öğleden sonra sıcak hava kara üzerinde yükselir ve yerini deniz üzerindeki soğuk hava alır. Böylece kara-ya doğru 'Deniz Meltemleri' adı verilen rüzgarlar eser. Gece olunca ise, karadan denize doğru, 'Kara Meltemleri' adı verilen rüzgarlar oluşur. Deniz meltemleri daha güçlü olduğundan (3-8 m/s) rüzgar enerjisi kaynağı olarak kullanılabilirler. Gece meltemleri ise daha düşük hızlıdır- lar. (2-4 m/s)

Sahillerde oluşan rüzgarlara benzer şekilde, dağlık yörelerde de 'Dağ-Vadi Meltemleri' adı verilen sıcaklık kökenli rüzgarlar oluşur. Serin hava dağ yüzeyi boyunca yükseldikçe, sabah güneşinin etkisiyle artan sıcaklık ve nemin etkisine maruz kalarak ısınır. Böylece, dağ yüzeyinin eğimine bağlı olarak yükselen bir hava kütlesi oluşur. Böylece vadideki hava kütlesi dağa doğru yükselir. Gece bu olay ters olarak hüküm sürer. Bu rüzgarlar enerji kaynağı olarak yetersizdirler. Ancak bazı bölgelerde faydalı olabilirler.

2.2. Rüzgar Özellikleri

Rüzgar etrafına yaptığı etki ile farkedilebilir. Rüzgar, tesirleri bakımından üç özelliği bulunan bir iklim elemanıdır.

- Rüzgarın hızı
- Rüzgarın yönü
- Rüzgarın frekansı

Rüzgar hızını etkileyen faktörler ise sırası ile şunlardır.

- Coğrafi konum
- Yerel yüzey yapısı
- Yeryüzünden olan yükseklik

2.3. Rüzgar Enerjisi ve Gücü

Hareket halindeki herşey bir kinetik enerjiye sahiptir. Rüzgar, hareket halindeki havadır. Belirli bir yöredeki rüzgar enerjisi de kinetik enerjisi formülü ile belirlenebilir.

$$KE=0.5MV^2 \quad (2.1)$$

$$RE=0.5MV^2 \quad (2.2)$$

$$\text{Hava Kütlesi } M=\rho V \quad (2.3)$$

$$\text{Hava Hacmi } V=VA t \quad \text{ise;} \quad (2.4)$$

$$RE=0.5\rho AV^3 t \quad (2.5)$$

Birim zamandaki rüzgar enerjisi ise; ($t=1$ için)

$$P=0.5\rho AV^3 \quad (2.6)$$

Olur.

Bu güç herhangi bir andaki güçtür. Farklı rüzgar hızları, farklı yörelerin rüzgar güçlerini karşılaştırma olanağı sağladığından, birim alan başına güç, yani güç yoğunluğu tanımı yaygın olarak kullanılmaktadır.

$$P/A=0.5\rho V^3 \quad (2.7)$$

Buradan çıkarılacak en önemli sonuç, rüzgar gücünün rüzgar hızının kübüyle orantılı olarak değişmesidir.

BÖLÜM 3. DÜNYADA RÜZGAR ENERJİSİ

Rüzgar enerjisi, dünyanın en ucuz ve bol elektrik kaynağı olmaya aday olan alternatif enerjilerin başında gelmektedir. Gelecek yüzyıllarda rüzgar gücünün, dünya elektriğinin %10'unu karşılaması beklenmektedir. Rüzgar 1990'ların sonunda en ucuz enerji kaynağı olacaktır. Çünkü maliyetler hızla düşmektedir. Bunu rakamlarla anlatmak gerekirse, 1980'de yeni bir termik santralde bir KW/saat enerjinin maliyeti 7 cent'ti. Aynı miktar rüzgar enerjisi o yıllarda 30 cent'e maloluyordu. 1991'de yeni bir termik santralden elde edilen bir KW/saat enerji 10 cent'e malolurken, rüzgardan elde edilen enerjinin maliyeti sadece 6.5 cent'ti. Bu maliyetin gelecek yıllarda daha da düşmesi beklenmektedir.

Avrupa Birliği 2000 yılına kadar Avrupa'da enerjinin 4,000 MW'lık kısmının, 2030 yılına kadar ise 100,000 MW'lık kısmının rüzgardan elde edilmesini planlamaktadır. Bu ise, yedi yıllık dönem içinde rüzgar enerjisi alanında 3.1 milyar dolarlık bir yatırım pazarı anlamına gelmektedir.

Rüzgar enerjisi potansiyeli olan uluslarla, olmayanlar arasında yeni bir rekabet alanı doğması beklenmektedir. Avrupa Birliği ülkeleri arasında en çok İngiltere'nin bu enerjiyi kullanma imkanı olmakla beraber, bu kapasiteyi kullanmakta yavaş davranmaktadır. Meksika, Çin ve Hindistan'ın da bu alanda önemli bir potansiyeli vardır. Hindistan 20,000 MW'lık potansiyeline 500 MW daha eklemeyi düşünmektedir.

Gelişmekte olan ülkelerin elektriğe olan gereksinimleri yılda %7 oranında artarken, bu oran gelişmiş ülkeler

için %2'dir.

Meksika'da rüzgar enerjisinden elektrik elde edilmesi ile ilgilenen New World Entec firması, Meksika hükümetine ücra bölgelerdeki çiftliklere küçük üretim istasyonları kurulması için yardım etmektedir. Böylece, Bu ücra bölgelerin merkezi sisteme bağlanması için milyarlar harcamaya gerek kalmayacaktır. Gerçekten de Meksika'nın 5,000 MW'lık potansiyeli kırsal alana elektrik götürme planı rüzgar enerjisine dayandırılmaktadır.

Yetkililere göre, Rüzgar enerjisinin maliyetindeki düşüş, rüzgar türbini teknolojisinin geliştirilmesi, kurulması ve işletilmesi ile ilgili yöntemlerden kaynaklanmıştır. 1980'lerde türbin araştırması herbiri 5 MW üretebilen büyük cihazlar üzerinde yoğunlaştırılmıştı. Bu cihazlar ise ekonomik değildi. Küçük rüzgar makinalarının da güvenilir olduğu ancak zamanla anlaşılmıştır. 100 KW'lık türbinler dünya çapında, uzak güç sistemleri için kullanılırken, 150-500 KW'lık olan cihazlar rüzgar santrallerinde kullanılmaktadır. [2]

BÖLÜM 4. TÜRKİYE'DE RÜZGAR ENERJİSİ

Türkiye'de yerden 10 m yükseklikte yapılan rüzgar ölçümlerine göre yıllık ortalama rüzgar hızı 2.54 m/s ve rüzgar gücü yoğunluğu 24 W/m²'dir. Rüzgar enerjisi açısından en zengin bölge, yıllık 3.29 m/s hız ve 51.91 W/m² güç yoğunluğu ile Marmara Bölgesi, en fakir bölge de 2.12 m/s hız ve 13.19 W/m² güç yoğunluğu ile Doğu Anadolu Bölgesidir.

E.İ.E.İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından 1984 yılında yapılan araştırmaların sonucunda, bölgelere göre ortalama rüzgar gücü yoğunlukları Tablo 4.1'de verilmiştir [1]

Tablo 4.1 Bölgelere Göre Ortalama Rüzgar Gücü Yoğunlukları

BÖLGE ADI	ORTALAMA RÜZGAR GÜCÜ YOĞUNLUĞU W/m ²
AKDENİZ BÖLGESİ	21.36
İÇ ANADOLU BÖLGESİ	20.14
EGE BÖLGESİ	23.47
KARADENİZ BÖLGESİ	21.31
DOĞU ANADOLU BÖLGESİ	13.19
GÜNEY DOĞU ANADOLU BÖLGESİ	29.33
MARMARA BÖLGESİ	51.91

Alansal olarak Türkiye'nin %89.3'ünde yıllık ortalama rüzgar gücü yoğunluğunun 40 W/m² düzeyinin altında kalırken, %10.7'sinde 40 W/m² düzeyinin üzerine çıkmakta, %0.8'inde ise 100 W/m²'yi aşmaktadır. Bu değer 294.1 W/m²'ye ulaştığı yerler vardır. Özellikle 8 kent için rüzgar enerjisi verilerinin yüksek olduğu saptanmıştır.

Türkiye'nin rüzgar enerjisi brüt potansiyeli 400 TWh/yıl (brüt hidrolik potansiyelin %92'si) ve teknik potansiyeli 120 TWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Kullanılabilir minimum potansiyel ise 12 TWh/yıl kadardır. [3]

Resmi istatistiklere göre, Türkiye'de rüzgar gücünden enerji üretimi gözükmemekte ise de, 1993'te mekanik ve elektrik uygulamalar ile 0.002 TWh üretim yapılmıştır. Kalkınma planında rüzgar enerjisi çevrim sistemleri ile Türkiye'de kurulu rüzgar gücünün 1995'de 1 MW, 2000'de 10 MW, 2005'de 20 MW, 2010'da 50 MW olması planlanmıştır. Böylece rüzgardan elde edilecek elektrik 1995'de 3.7 GWh, 2000'de 36.7 GWh, 2005'de 73.3 GWh, 2010'da 183.3 GWh'dır.

Rüzgar enerjisi kırsal kesimde kullanıma uygun bir kaynaktır. Kırsal kesimde kullanılabilecek rüzgar potansiyeli 10 TWh/yıl düzeyindedir. Bunun 8 TWh'ının 2050 yılında değerlendirilmesi gerektiğini enerji modeli bulguları göstermektedir. Söz konusu üretim için 3500 MW (mekanik + Elektrik) kurulu güce ihtiyaç vardır.

Tablo 4.2'de rüzgar enerjisi açısından zengin sayılabilecek yörelerdeki, rüzgar hızlarının aylık ve uzun yıllar bazında ortalama değerleri gösterilmektedir. [1]

Tablo 4.2 Aylık Bazda, Uzun yıllar Ortalama Rüzgar Hızları

İSTASYON	ÖLÇÜM ARALIĞI	YÜKS.m	ALET	ocak	şub.	mart	nis.	may.	haz.	tem.	ağu.	eyl.	ekim	kas.	ara.	yıllık
Çiğli	1968-82	10		4.4	4.5	4.1	4.1	3.6	3.9	4.2	4.1	3.9	3.7	4.0	4.4	4.1
Çorlu	1969-82	10		4.9	5.0	4.4	3.4	3.2	3.7	4.1	4.1	4.1	4.4	3.8	4.2	4.0
Bodrum	1966-82	10		4.4	4.2	4.1	3.7	3.9	3.5	4.1	3.9	3.2	3.1	3.5	4.5	3.8
Bandırma	1966-82	10		5.6	5.6	5.4	4.3	4.3	4.5	5.7	6.1	5.7	5.5	4.5	5.1	5.2
Bozcaada	1973-82	10		7.8	7.8	6.5	5.4	5.0	4.7	5.9	6.3	5.9	6.5	6.3	7.5	6.3
Antakya	1967-82	10		3.3	3.4	3.4	4.2	4.8	6.4	7.6	7.3	5.0	3.1	2.6	2.9	4.5
Sinop	1960-82	10		4.3	5.0	5.0	4.7	3.9	3.9	4.1	4.0	3.8	3.9	4.1	4.6	4.3
Ç.Kale	1964-82	10		4.6	4.7	4.3	3.9	3.5	3.4	3.9	3.5	3.8	4.0	4.1	4.7	4.0
Ayvalık	1968-82	10		3.0	3.3	2.8	2.8	2.5	2.9	3.9	3.9	3.3	2.8	2.6	2.7	3.0
İmroz	1968-82	10		5.1	5.1	4.5	3.7	3.0	2.8	3.5	3.8	3.8	4.1	4.1	4.7	4.0
Kuşadası	1967-82	10		3.6	3.6	3.2	2.9	2.5	2.5	2.7	2.7	2.5	2.5	3.0	3.6	2.9
Uludağ (Zirve)	1973-82	10		3.2	3.0	2.9	2.8	2.5	2.7	2.7	2.7	2.6	2.6	3.0	3.2	2.8

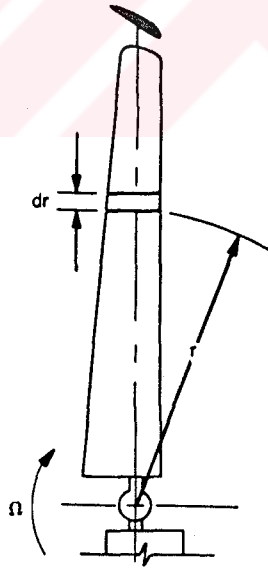
BÖLÜM 5. RÜZGAR MAKİNALARI

Rüzgar makinalarını rotor ekseninin yeryüzüne göre konumunu dikkate alarak iki grupta sınıflandırabiliriz.

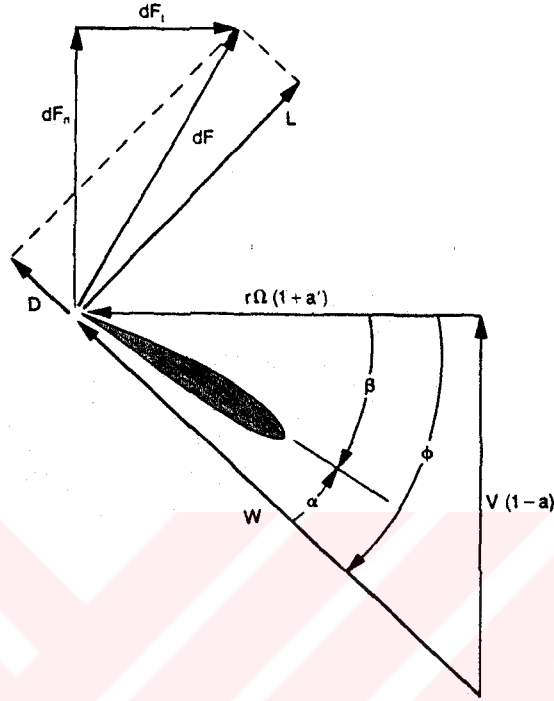
- Yatay eksenli rüzgar makinaları (YERM)
- Düşey eksenli rüzgar makinaları (DERM)

5.1. Yatay Eksenli Rüzgar Makinaları

Şekil 5.1'de YERM türbin kanadının önden görünüşü, Şekil 5.2'de ise kanat profilinin kuvvet dağılımı gösterilmiştir. [4]



Şekil 5.1 YERM Türbin Kanadının Önden Görünüşü



Şekil 5.2 YERM Türbin Kanat Kesitine Etki Eden Kuvvet ve Hızlar

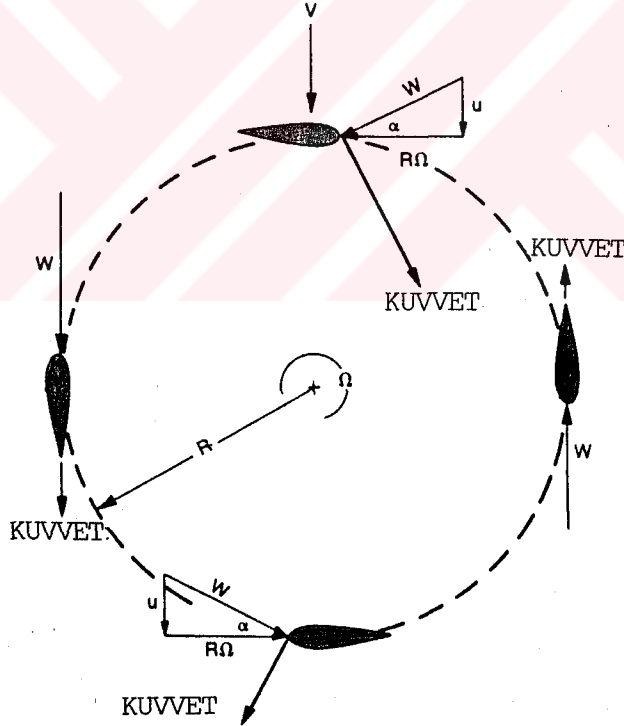
Bu tip makinaların rotorları maksimum enerjiyi tutabilmek için rüzgar akışına dik olarak durmalıdırlar. Rüzgarı önden alan sistemlerde kılavuz kuyruk vasıtasıyla rotor rüzgara karşı yönlendirilir. Kanatlardaki kaldırma kuvvetleri rotorun dönmesini sağlar.

Yatay eksenli rotorların kanatlarındaki L/D oranı verim açısından büyük bir önem taşır. Bu oranın yüksek olması istenir. Bu ise, kaldırma kuvvetinin büyük, sürüklenmenin az olması ile mümkündür. [1]

5.2. Düşey Eksenli Rüzgar Makinaları

Başlıcaları; Darrieus, Savonius ve Filipinni tipleridir. Yatay eksenli rüzgar makinalarına nazaran daha düşük güçlü makinalardır. En büyük avantajları rüzgarı her yönden kabul edebilmeleridir. Ayrıca makina aksamı da toprak seviyesine kurulabilir.

Şekil 5.3'te düşey eksenli bir rotora etki eden hız ve kuvvetler gösterilmiştir. Kanatlar bir devir yaptığında hem pozitif hem de negatif kuvvetler oluşmaktadır. [4]



Şekil 5.3 DERM Kanadındaki Hız ve Kuvvet Diyagramı

BÖLÜM 6. RÜZGAR ENERJİSİNİN DEPOLANMASI

Rüzgardaki enerji kolayca, hava türbinleriyle mekanik dönme enerjisine ve jeneratörler yardımıyla elektrik enerjisine çevrilebilir.

Rüzgarın gücü, rüzgar hızının kübüyle doğru orantılı olduğu için, rüzgar hızındaki küçük bir değişiklik, üretilen gücün büyük oranda değişmesine neden olur. Bu sebeple, tüketiciye güvenli bir arz sağlamak için enerjinin depolanması gerekmektedir.

Enerji; mekanik, kimyasal, elektrik ve ısı yöntemleriyle depolanabilir.

6.1. Mekanik Enerji Depolama

-Potansiyel enerji olarak

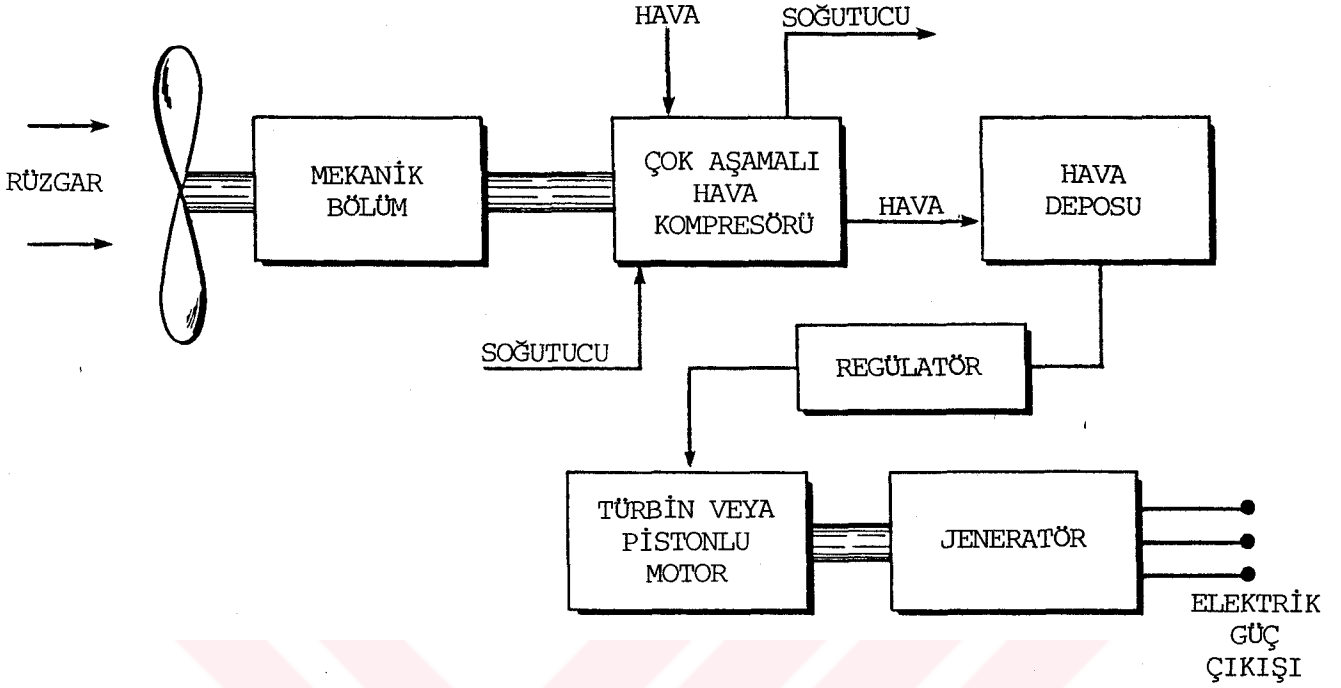
- Hidroelektrik sistemlerle bağlantılı
- Pnömatik depolama (yerüstü veya yeraltı sıkıştırılmış hava depolaması -petrol yardımı olmadan-)
- Sıkıştırılmış hava depolaması (yerüstü veya yeraltı -petrol yardımı ile-)

-Kinetik enerji olarak

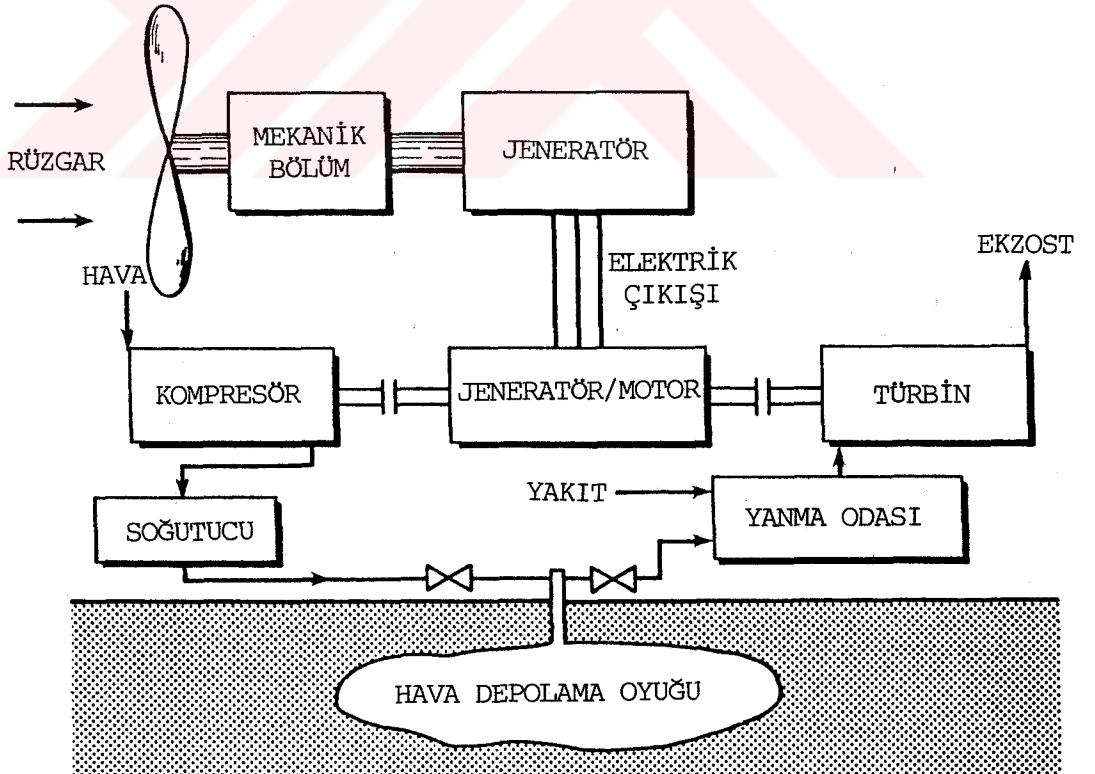
Şekil 6.1'de rüzgar enerjisinin pnömatik depolanmasının; Şekil 6.2'de ise sıkıştırılmış hava depolanmasının safhaları şematik olarak gösterilmiştir. [5]

6.2. Kimyasal Enerji Depolama

-Hidrojen depolama (sıkıştırılmış gaz içinde, soğutulmuş sıvı veya hidrid formda)



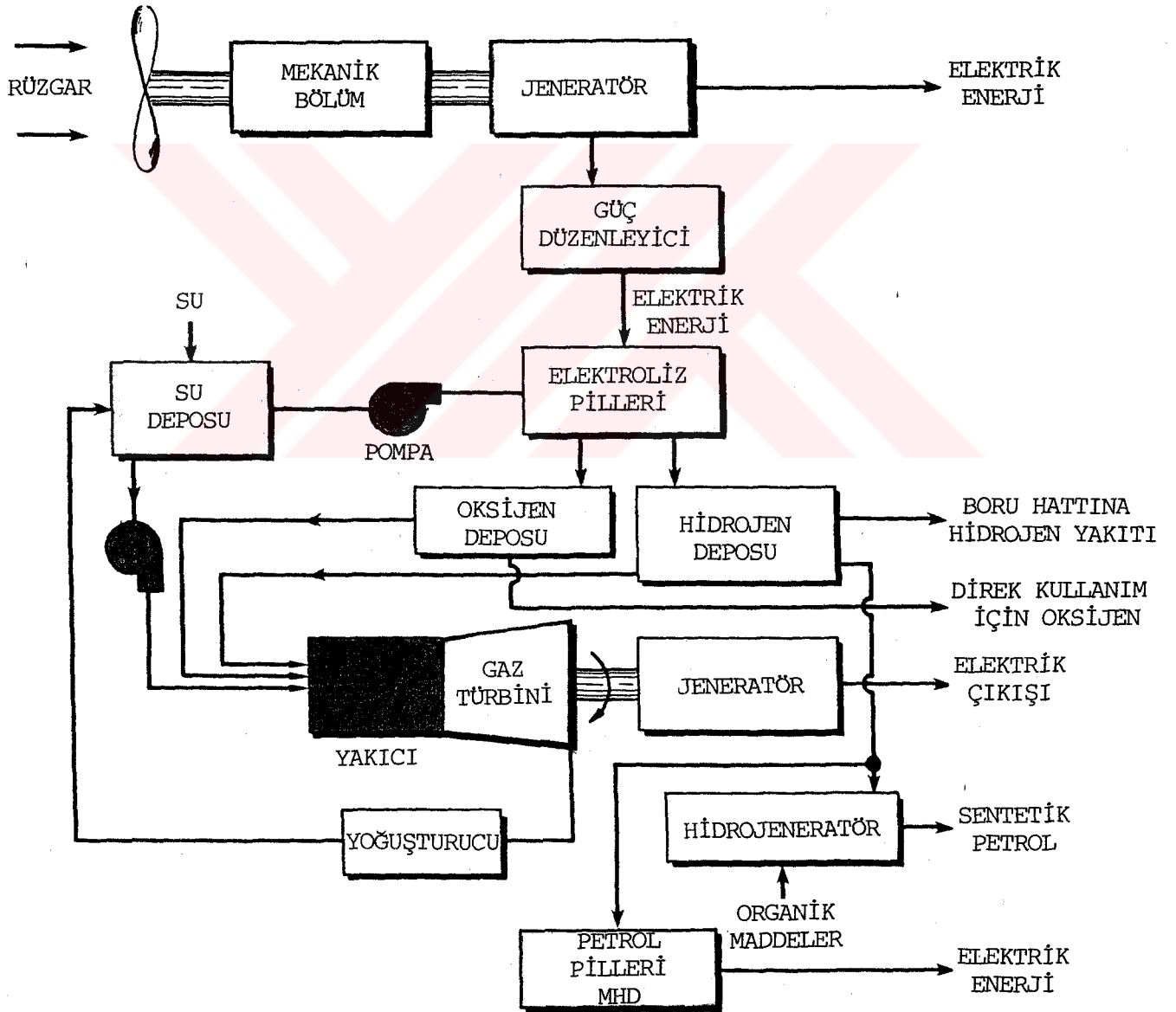
Şekil 6.1 Rüzgar Enerjisinin Pnömatik Depolanması



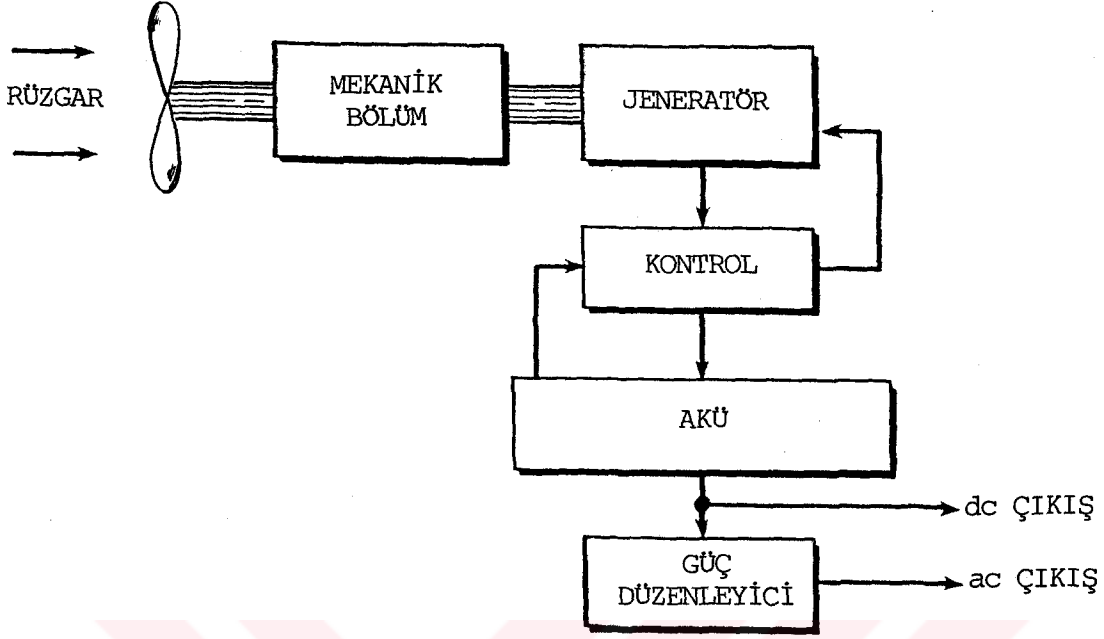
Şekil 6.2 Rüzgar Enerjisinin Sıkıştırılmış Hava Depolanması

- Sentetik petrol ve gübre (Nitrojen tespitiyle)
- Sekondari pillerle (Elektrokimyasal)
- Rejeneratif sistemler

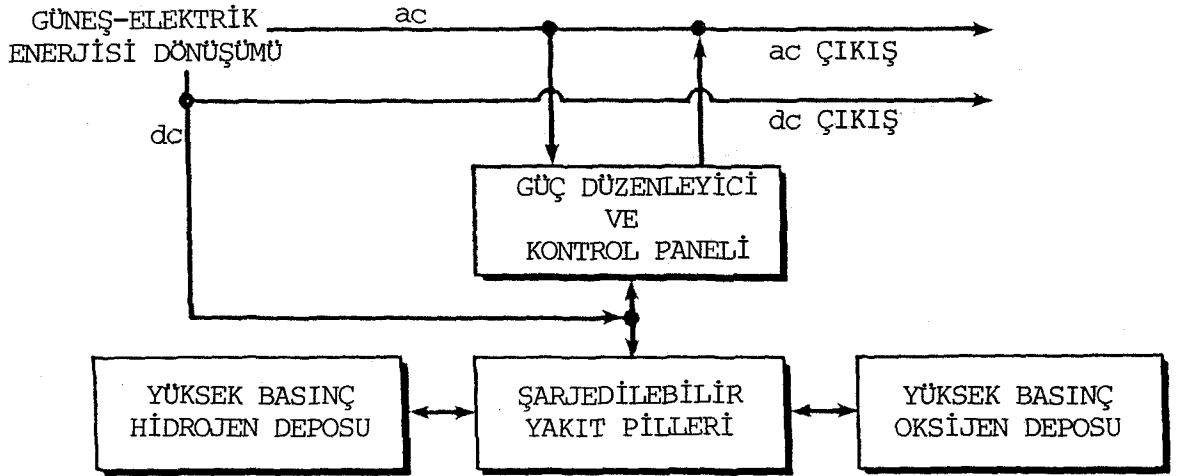
Şekil 6.3'de hidrojen depolamanın, Şekil 6.4'te elektrokimyasal depolamanın, Şekil 6.5'te ise rejeneratif sisteme örnek olarak, şarjedilebilir petrol pilleri ile enerji depolanmasının şematik gösterilişleri gösterilmiştir. [5]



Şekil 6.3 Hidrojen Kullanımı İle Enerji Depolama



Şekil 6.4 Elektrokimyasal Depolama



Şekil 6.5 Şarjedilebilir Petrol Pilleri ile Enerji Depolama

6.3. Elektrik veya Manyetik Enerji Depolama

- Yüksek-güç elektrik alan içinde
- Yüksek-güç manyetik alan içinde (Süperiletken mık-natıslarla)

6.4. Isıl Enerji Depolama

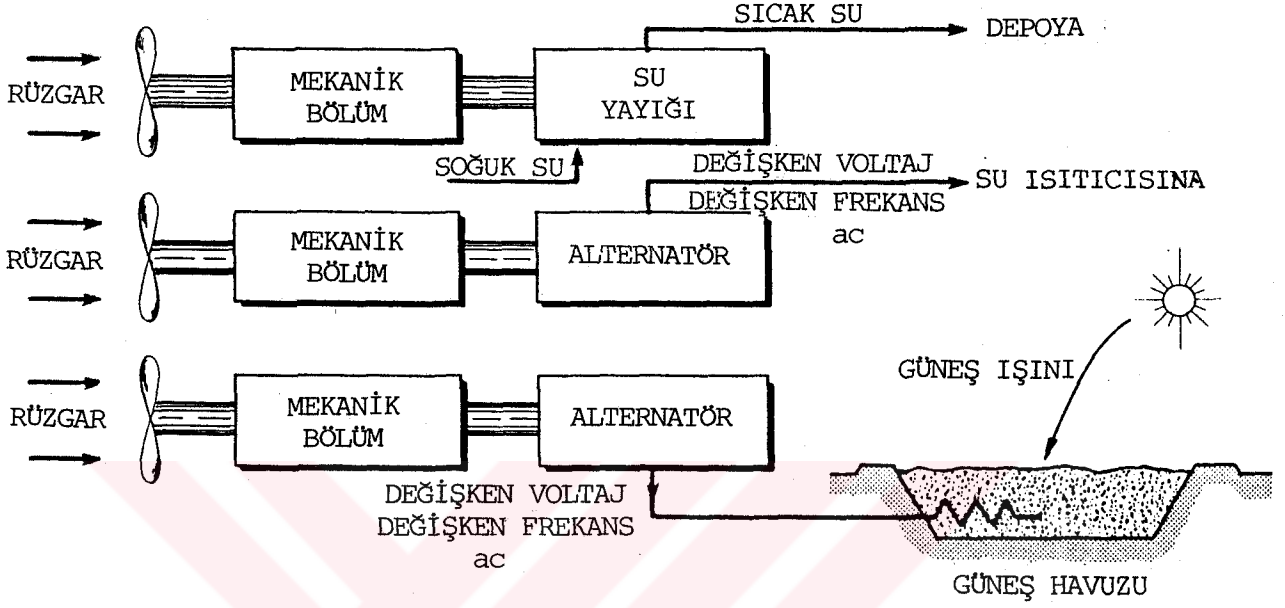
- Duyulur ısı olarak
 - Katı içinde (Sıcak taşlar, kum, boşluklu çelik kütle, beton içine yerleştirilmiş borular)
 - Sıvı içinde (tanklarda veya güneş havuzlarında depolanmış sıcak su, yağlar ve erimiş tuzlar)
 - Her iki ortam içinde
- Gizli ısı olarak
 - Tuzlu suyun erime ısısı
 - Sıvıların buharlaşma ısısı
 - Kristal yapı içinde katı-katı hal değişim ısısı
- Duyulur ve gizli ısı kombinasyonu ile depolama
- Tersinir kimyasal reaksiyonlar içinde termokimyasal depolama

Rüzgar enerjisinin ısııl enerjiye dönüştürülmesi ve depolanmasının çeşitli yolları Şekil 6.6'da gösterilmiştir.

6.5. Depolama Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Yukarki bölümlerde rüzgar enerjisi sistemleri kullanımı ile birçok enerji depolama yöntemi gösterilmiştir. Günümüzde hidrojen depolama, bu yöntemler arasında en çekici olanıdır.

Hidroelektrik sistemlerle depolama; özel bir bölge, kullanılabilir su, havuz ve su devir kapasitesi gerektirir.



Şekil 6.6 Rüzgar Enerjisinin Isıl Formda Depolama Yöntemleri

Pnömatik ve sıkıştırılmış hava depolama teknolojisi azçok iyi gelişmiştir ve birçok konvensiyonel sistemde kullanılmaktadır.

Enerji depolamak için çekici ve çok yönlü yöntemlerden biri de hidrojen ile depolamadır. Hidrojen ile depolama yöntemi pratikte kullanılmadan önce nitrojenli gübre nin sentezi, son ürünün depolanmasının kolay olmasından dolayı daha çekici görünürdü.

Sekondari akülerin geliştirilmeleri, araçlarda ve enerji depolamak için kullanılmaları açısından faydalı olmuştur. Önümüzdeki beş-on yıl içinde akülerde çekici gelişmeler olması beklenmektedir. Kurşun-asit aküler

günümüzde rüzgar enerjisi depolama işleminde kullanılan akülerin en ekonomik ve kullanışlı olanıdır. Rejeneratif elektrokimyasal sistemlerin pratikte kullanım imkanı bulabilmeleri için birçok araştırma ve geliştirme çalışmasının yapılması gerekmektedir.

Rüzgar enerjisinin depolanmasında ısı depolama büyük bir yer tutar. Oda ısıtması veya zerre kurutması gibi az miktar ısı gerektiren benzer işlemlerde veya güneş enerjisi-ısı sistemlerle kombine olarak kullanılması dışında kalan durumlarda diğer depolama yöntemlerinin kullanılması, ikinci yasa limitlerinden dolayı, ısı depolamaya göre daha iyidir.

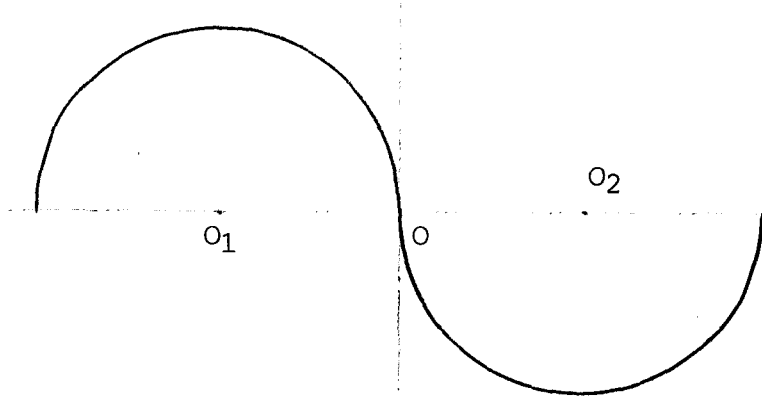
Yüksek-güç elektrik veya manyetik alan içinde depolama yöntemlerinin, günümüzde rüzgar enerjisi sistemlerinde kullanılmaları uygulanabilir görünmemektedir.

BÖLÜM 7. SAVONIUS RÜZGAR TÜRBİNİ

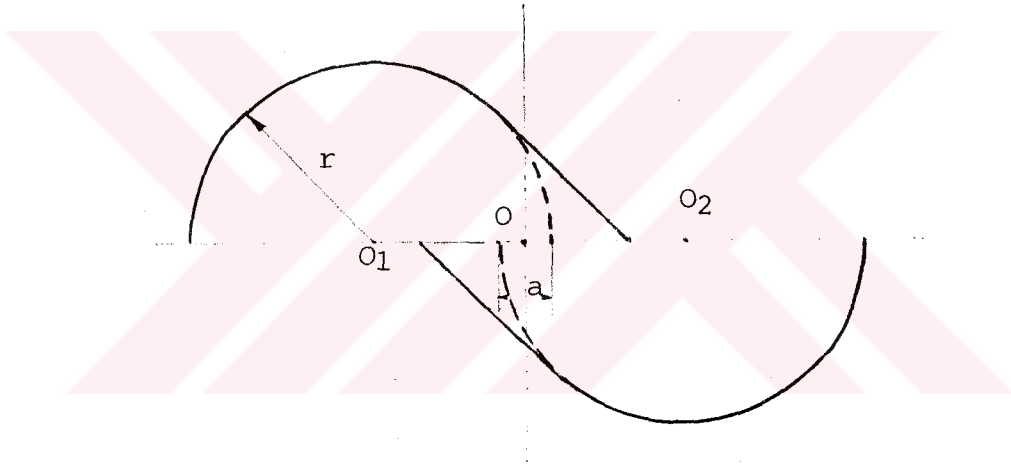
Savonius rüzgar türbini adını keşfeden kişi olan Sigurd Savonius'tan almaktadır. İki yatay disk arasına yerleştirilmiş, kanat adı verilen iki yarım silindirik yüzeyden oluşur. Savonius rotor tek veya çok katlı olabilir. Çok katlı türbinlerde, her kattaki kanatlar bir diğer katta göre kaydırılır. İki katlı türbinlerde bir kattaki kanatlar diğer katta göre 90° ; üç katlı türbinlerde 60° ar derece kaydırılır. [6]

7.1. Savonius Rotorun Aerodinamiği

Savonius rotorun aerodinamik verimi pervane ve Darrieus rotorlara göre daha düşüktür, ancak yapımı daha kolaydır ve başlama tork performansı daha iyidir. Bu yüzden Savonius rotor çalışmaları oldukça popülerdir ve aerodinamik performansını geliştirmek için birçok çalışma yapılmıştır. Şekil 7.1'de klasik Savonius rotoru görülmektedir. Klasik Savonius rotorunun 'O' noktası civarında oluşan girdaplar, rotorun rüzgar enerjisini faydalı enerjiye çevirmesinde negatif etki yaratır. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için, ya silindirik kanat merkezleri birbirinden uzaklaştırılır, ya da merkezler birbirlerine yaklaştırılır. Merkezlerin birbirlerinden uzaklaştırıldığı durumda, bir kanadın dış yüzeyinden gelen akım ile diğer kanadın iç yüzeyinden gelen akım, diğer girdapların yok edilmesine rağmen, sorun yaratır. Girdapların yok edilmesi amacıyla kullanılan en iyi yöntem, merkezlerin birbirine yaklaştırılması ve kanatların 'O' noktası civarındaki yüzeylerinin doğrusallaştırılması olarak bilinir. Birçok pratik uygulamada Savonius türbin kanatları Şekil 7.2'de görüldüğü gibi dizayn edilir.

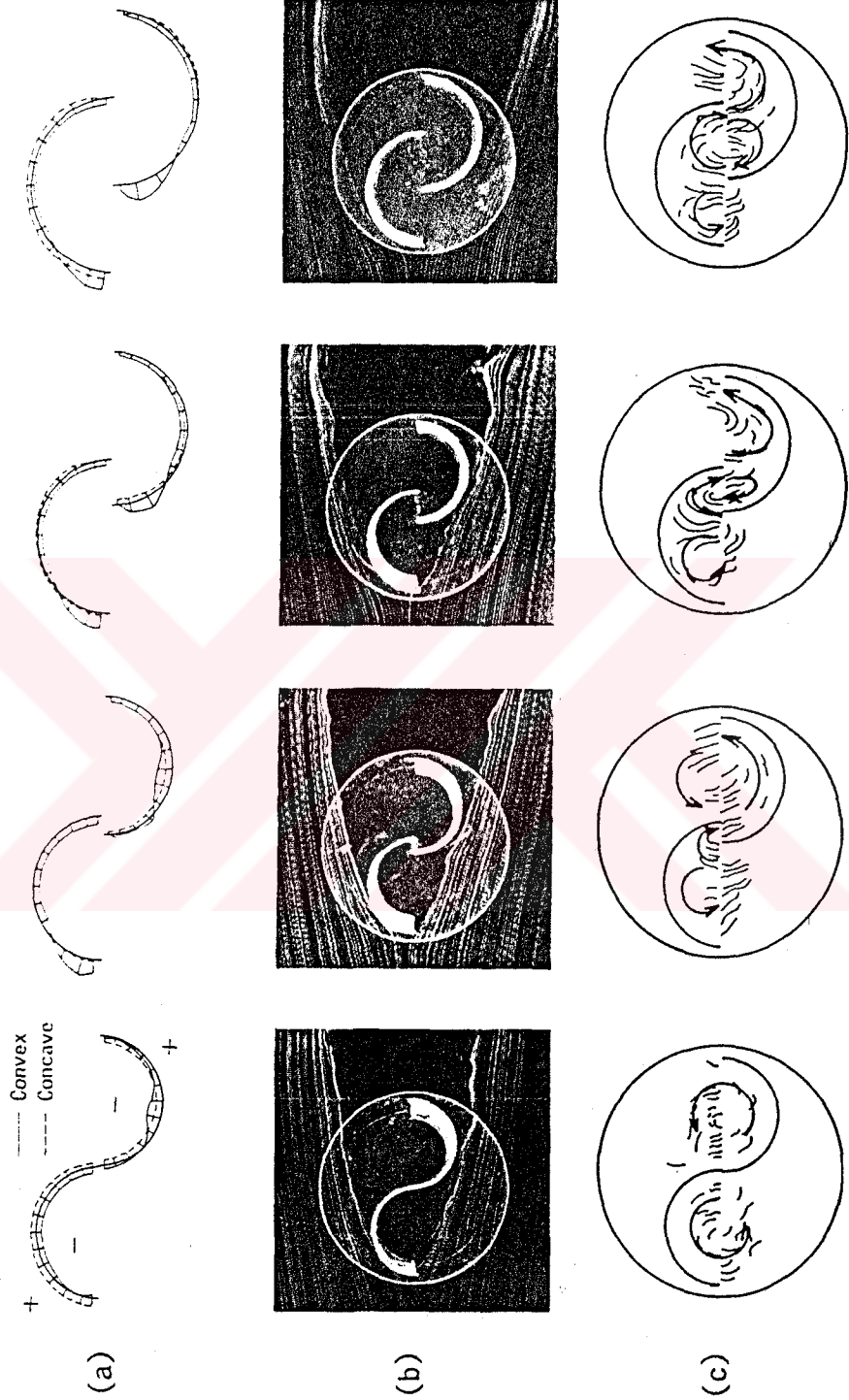


Şekil 7.1 Klasik Savonius Rotor Kesiti



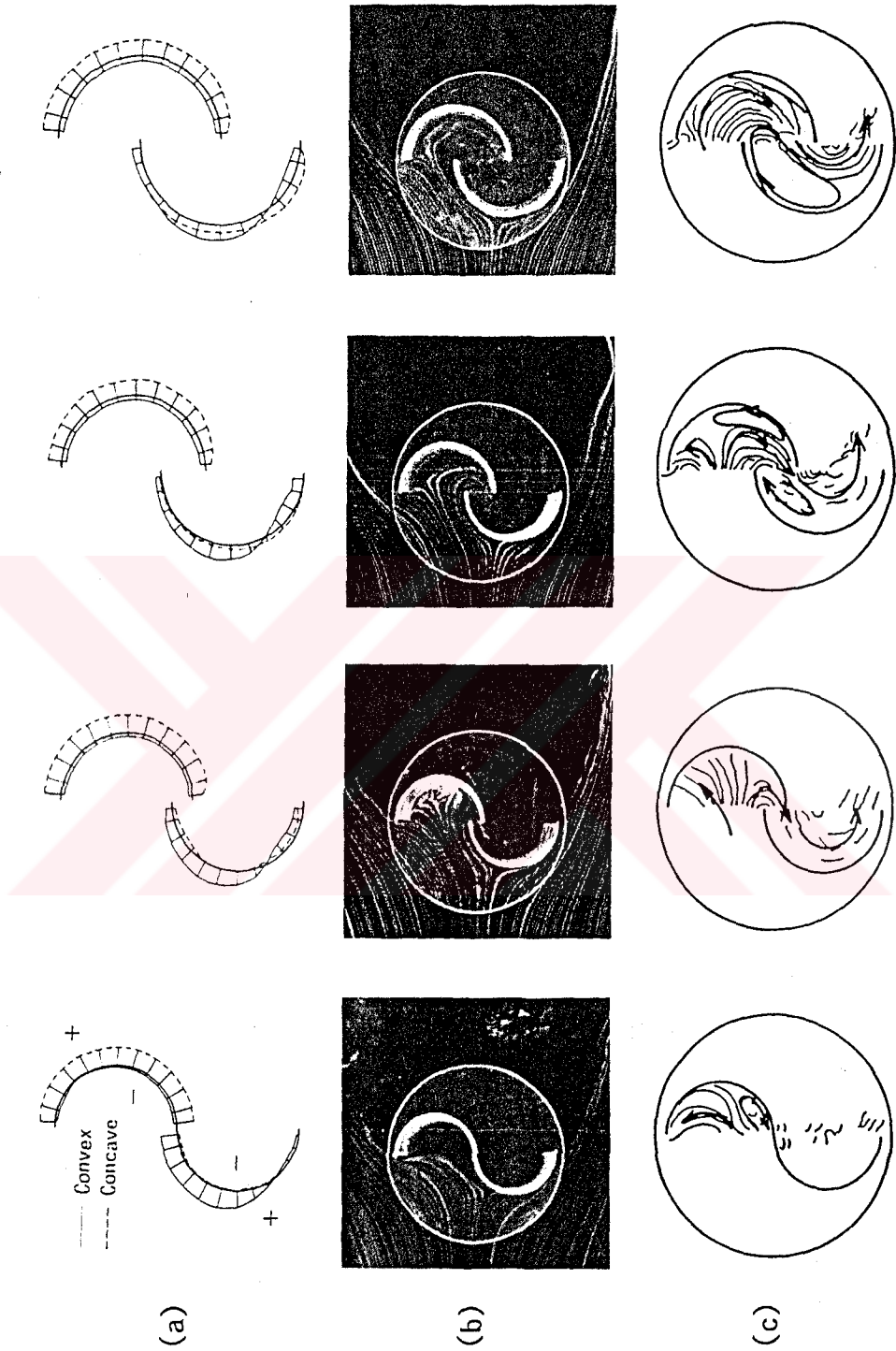
Şekil 7.2 Pratikte En Çok Kullanılan Savonius Rotor Kesiti

Kanatların birbirlerine ne kadar yaklaştırılmaları gerektiğini saptamak için birçok çalışma yapılmıştır. Kaydırma oranı $G (=a/(2r))$ 'nın optimum değeri saptanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla duman-tel metodu ile duran Savonius rotorunun etrafındaki akış, farklı kaydırma oranları için ve farklı konumlarda saptanmıştır. Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'te bu resimler görülmektedir. [7]



Şekil 7.3 Duran Savonius Rotorunun Basınç Dağılımı
ve Akış Alanı ($\beta=0^\circ$, $X=0$)

(a) basınç dağılımı (b) dış akışın filmi (c) rotor içi akış



Şekil 7.4 Duran Savonius Rotorunun Basınç Dağılımı
ve Akış Alanı ($\beta=90^\circ$, $x=0$)
(a) basınç dağılımı (b) dış akışın filmi (c) rotor içi akış

Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'te kaydırma oranları aşağıdan yukarıya doğru; 0, 0.15, 0.3, 0.5'tir. Her iki Şekilde de uç-hız oranı $X (=0.5dW/V)$ sıfır olarak alınmıştır.

Şekil 7.5 ve Şekil 7.6'da ise uç-hız oranı $X=0.9$ için deneyler yapılmıştır. Tüm bu araştırmalar neticesinde şu sonuçlar elde edilmiştir. [7]

-Rotorun statik tork performansı merkezlerin kaydırılması sonucu geliştirilebilir.

-Aerodinamik performansın en iyi olduğu kaydırma oranı 0.15'tir.

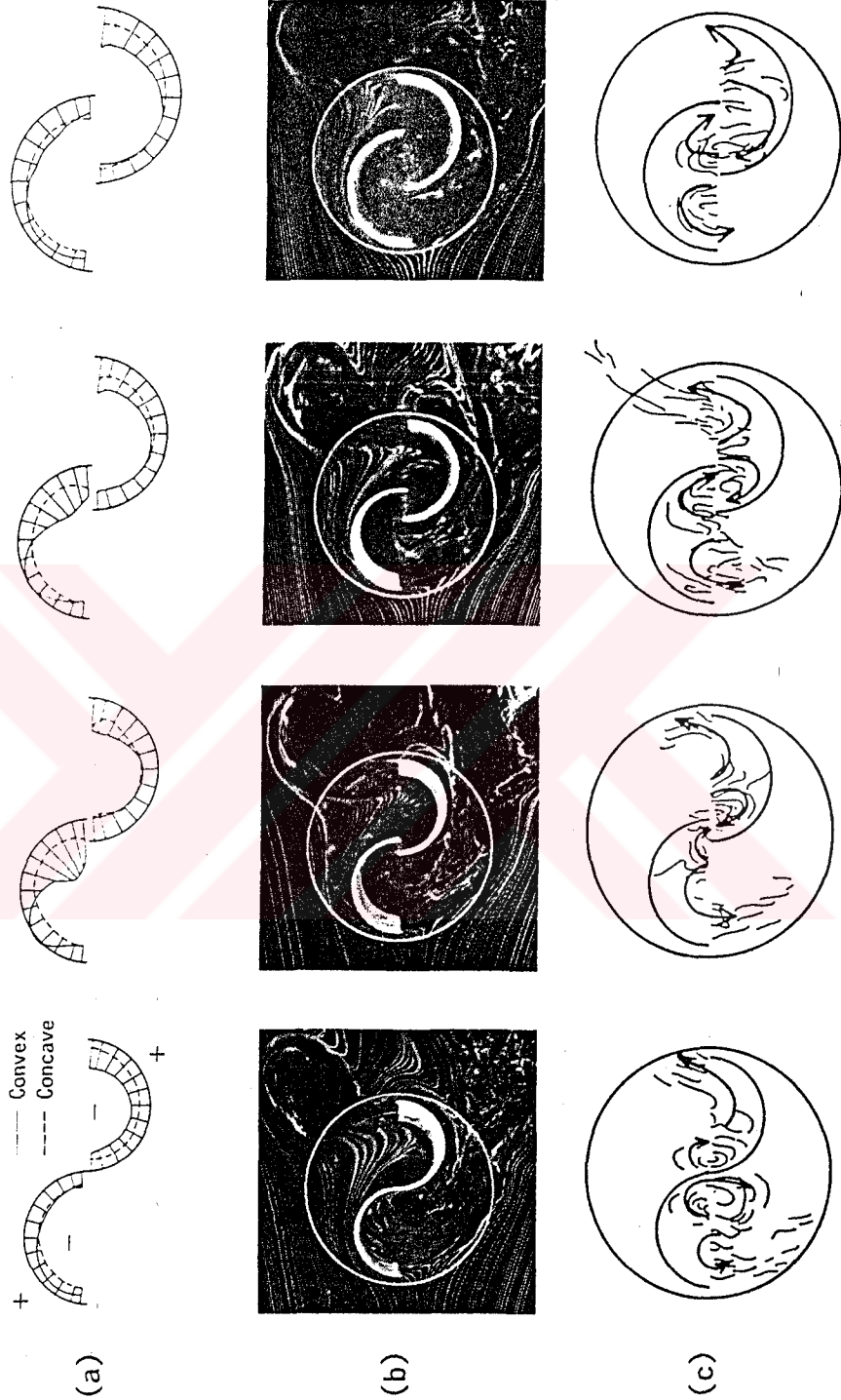
7.2. Savonius Rüzgar Türbininin Özellikleri

Savonius rotor yakın zamana kadar düşük veriminden dolayı popüler olamamıştır. Ancak, diğer türbinlere göre aşağıdaki avantajlara sahiptir. [8]

- Basit ve ucuz konstrüksiyon
- Her yönden rüzgarı kabul edebilme
- Yüksek başlama torku
- Düşük devir sayısı

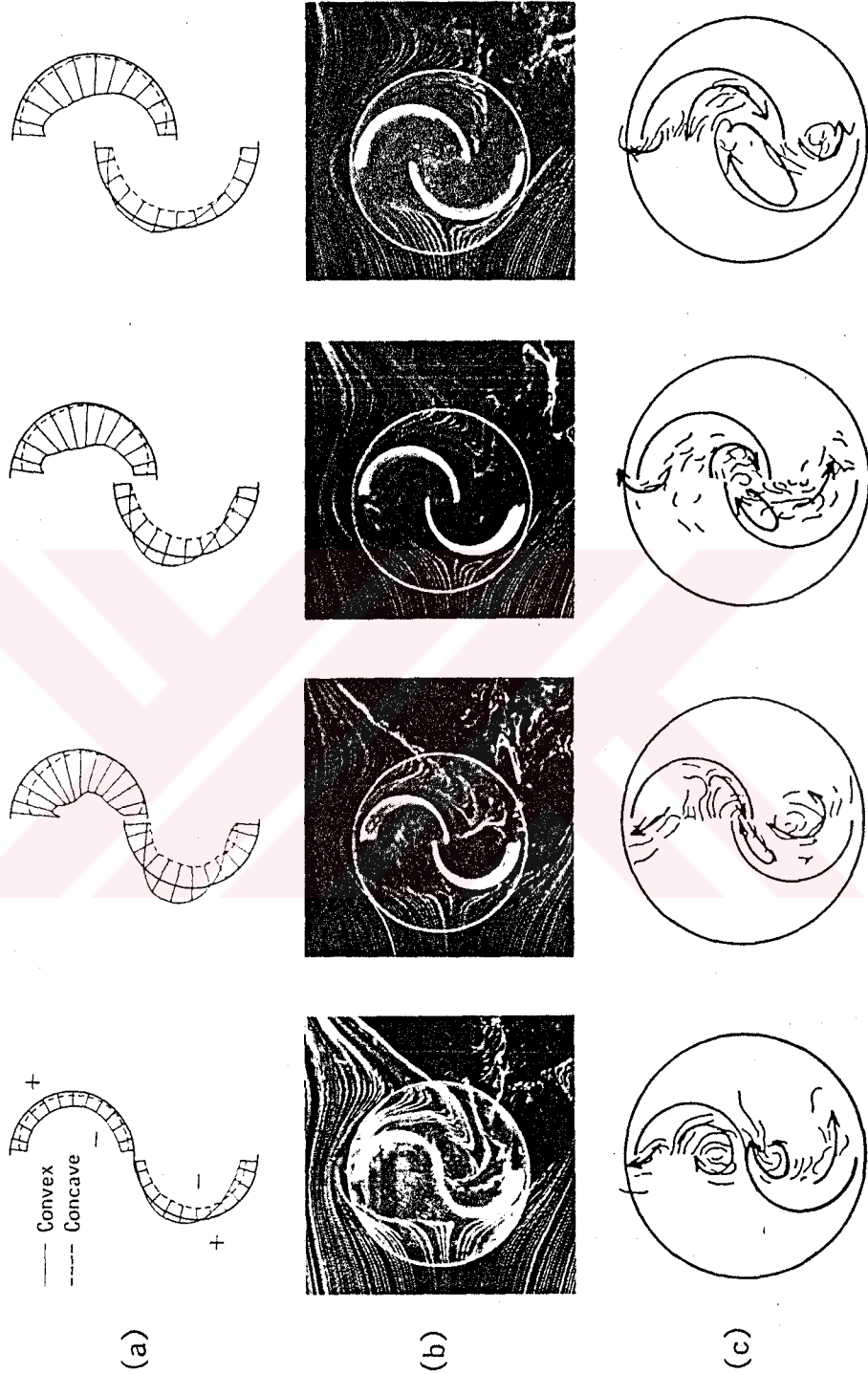
Yukarıdaki avantajlar, küçük güç gereksinimi duyulan bazı uygulamalarda düşük verim dezavantajının üstesinden gelebilir. Özellikle kırsal alanlardaki bazı uygulamalarda Savonius rotor oldukça kullanılmaktadır.

Yurdumuzun düşük rüzgar hızı ortalaması (2.54 m/s) gözönüne alındığında, kırsal kesimlerde, küçük çiftlik ve bahçe sulaması işlemlerinde enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla Savonius rüzgar türbini kullanımı uygun görülmektedir.



Şekil 7.5 Dönen Savonius Rotorun Basınç Dağılımı
ve Akış Alanı ($\beta=0^\circ$, $X=0.9$)

(a) basınç dağılımı (b) dış akışın filmi (c) rotor içi akış



Şekil 7.6 Dönen Savonius Rotorun Basınç Dağılımı
ve Akış Alanı ($\beta=90^\circ$, $X=0.9$)

(a) basınç dağılımı (b) dış akışın filmi (c) rotor içi akış

7.3. Savonius Rüzgar Türbini Uygulamalarından Örnekler

Avustralya'da J.P.Baird tarafından yapılan çalışmada, su pompalama amaçlı bir Savonius rotor imal edilmiştir. Şekil 7.7'de şematik olarak görülen rotorun süpürme alanı 4.6 m^2 , kanat yarıçapı 1 m 'dir. Rotorun üzerinde bulunduğu iskelenin yüksekliği 10 m 'dir. [9]

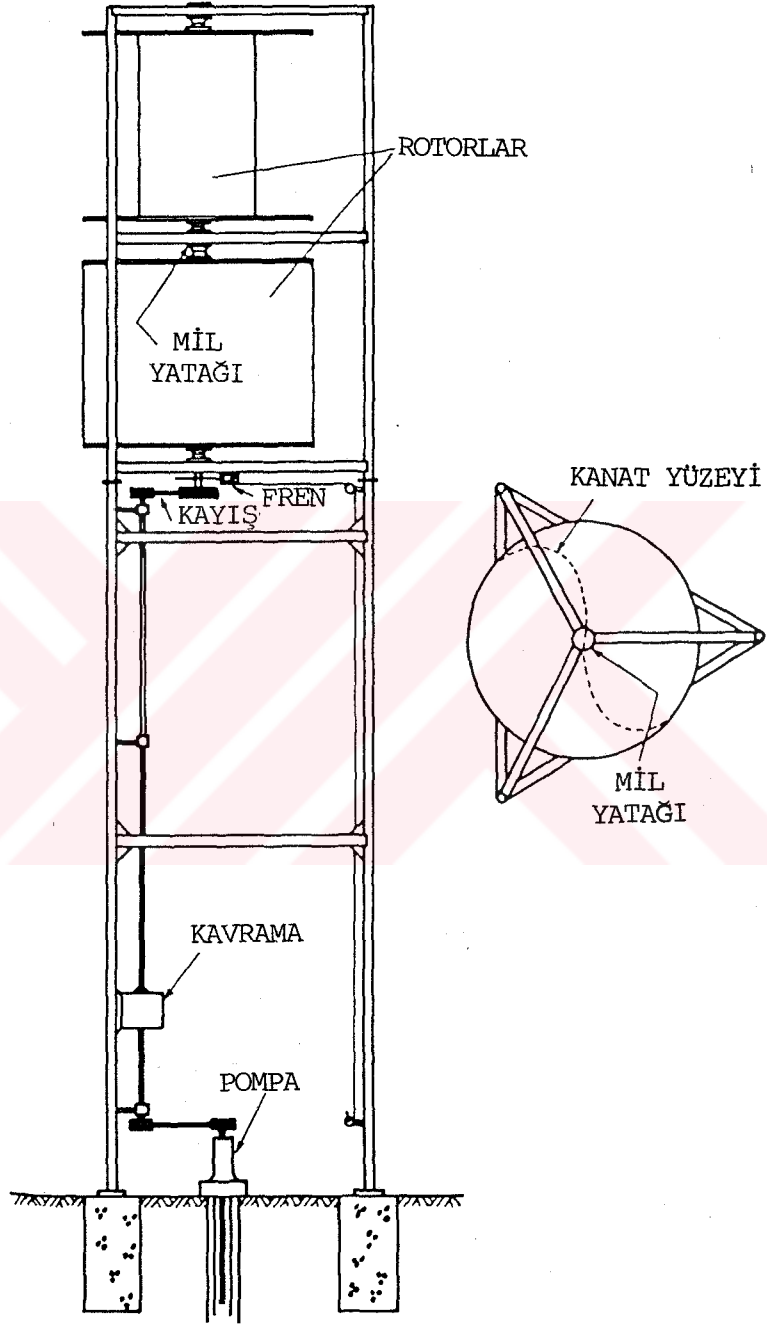
2 ile 5 m/s rüzgar hızlarında su, aralıklı olarak pompalanmaktadır. 5 m/s rüzgar hızına ulaşıldıktan sonra düzenli olarak su pompalanabilmektedir.

Bu araştırmanın sonucunda bu türbinin; klasik rüzgar millerine göre 3 veya 4 defa daha fazla su pompaladığı, çok az bakıma ihtiyaç duyduğu, çok az yardımcı güce ihtiyaç duyduğu, ilk maliyetinin düşük olduğu ve konstrüksiyonunun ilerde çeşitli türbinlerin eklenmesine müsait olduğu görülmüştür.

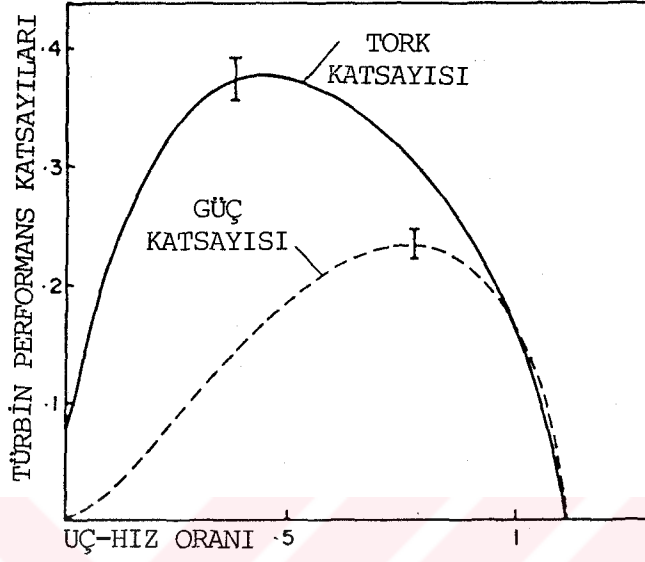
Şekil 7.8'de bu türbinin performans verimleri görülmektedir. Maksimum güç katsayısı, 0.8 uç-hız oranı dolaylarında, 0.23 olarak elde edilmiştir. Şekil 7.9'da ise rüzgar hızı ile verimin değişimi görülmektedir. Maksimum verim 6 m/s rüzgar hızında elde edilmektedir.

Kanada'da çalışmalarını sürdüren V.J.Modi, Savonius türbinlerin kanatlarında değişiklikler yaparak verimi arttırmaya çalışmıştır. Bu amaçla kanatların merkezleri birbirine yaklaştırılmış ve kanatların merkeze yakın olan bölümleri uzatılarak verimin arttırılmasına çalışılmıştır. Bu şekildeki bir rotor kesiti Şekil 7.10'da görülmektedir.

Bu çalışmada iki model test edilmiştir. Bunlardan küçük olanının süpürme alanı 0.1 m^2 ve tek katlıdır. Bu türbin model amaçlı imal edilmiştir. Kanat malzemesi olarak alüminyum kullanılmıştır. [10]



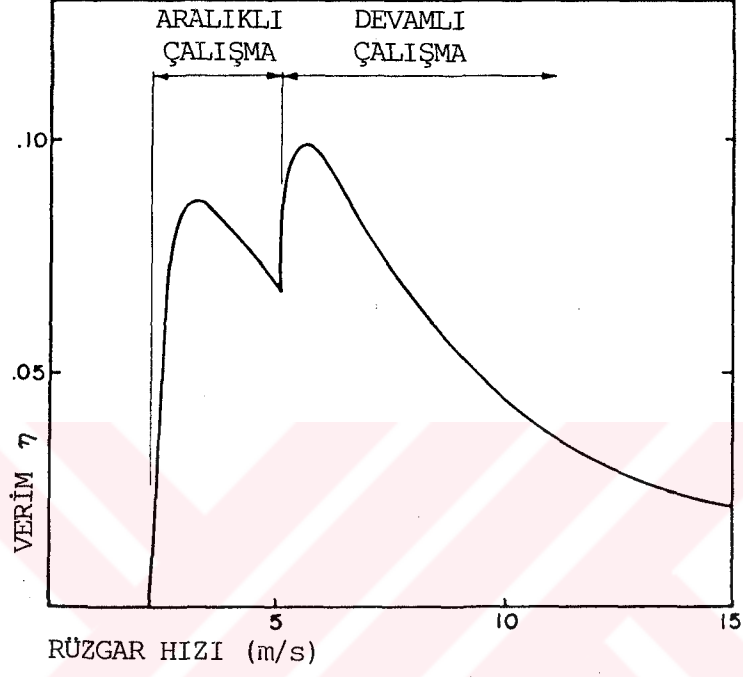
Şekil 7.7 Çift Katlı S Rotorun Yan ve Üst Görünüşü



Şekil 7.8 S Rotorun Rüzgar Tünelinde Yapılan Testler Sonucunda Elde Edilen Performans Katsayısı
 $Re=1.4 \times 10^5$

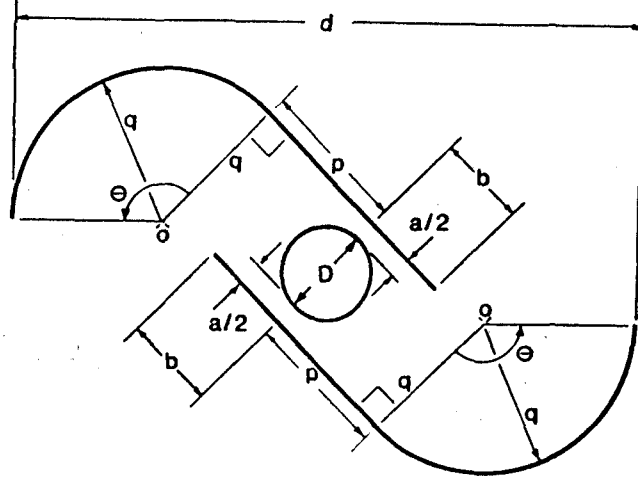
$$\text{Tork Katsayısı} = \frac{\text{tork}}{1/2 \rho V^2 A r}$$

$$\text{Güç Katsayısı} = \frac{\text{güç}}{1/2 \rho V^3 A}$$



Şekil 7.9 Hesaplanmış Verim

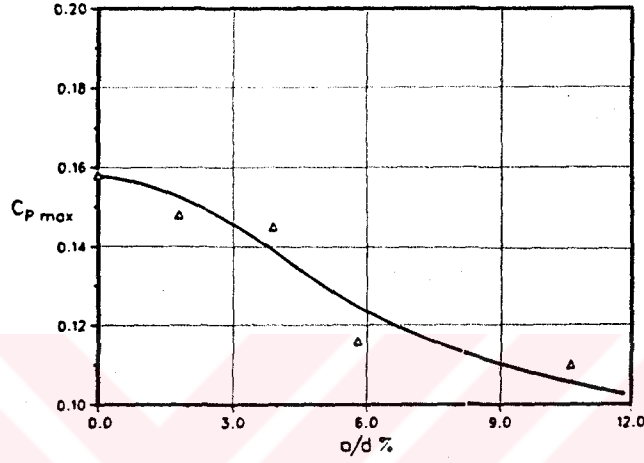
$$\eta = \frac{\text{DebixBasınç}}{1/2 \rho v^3 A}$$



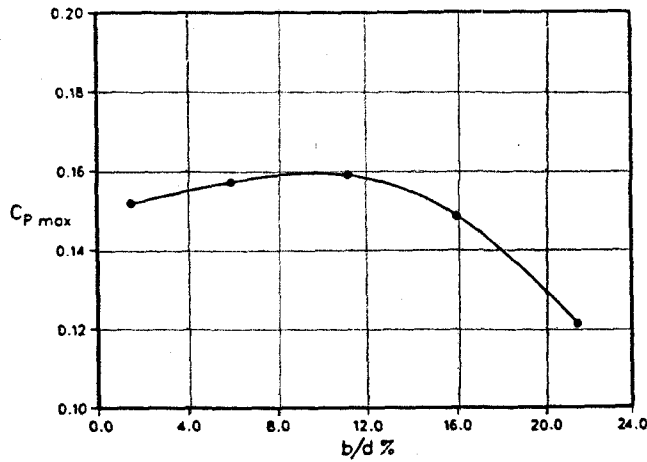
Şekil 7.10 Kanat Geometrisi ve Parametreler

- a :Kanatlar arası boşluk
- b :Kanat fazlalığı
- D :Mil çapı
- d :Rotor çapı
- $p+b$:Kanattaki doğru bölüm uzunluğu
- q :Kanattaki eğri bölümün yarıçapı
- θ :Kanattaki eğri bölümün yay açısı
- h :Kanat yüksekliği

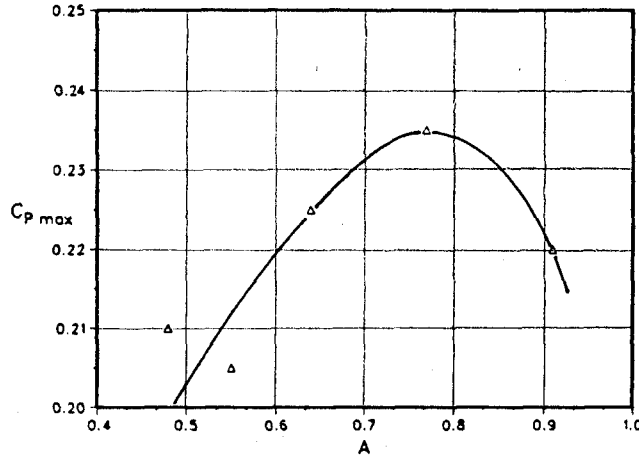
İlk deneyde $p/q=1.9$ ve $\theta=112^\circ$ olarak sabit alınmıştır. Yapılan ölçümler sonucu Şekil 7.11 ve Şekil 7.12'den de görüleceği gibi kanatlar arası boşluk sıfır iken maksimum güç katsayısı elde edilmektedir. Optimum b/d ise %10 civarlarındadır. Şekil 7.13'de ise h/d oranının optimum değerinin 0.77 olduğu görülmektedir.



Şekil 7.11 Kanatlar Arası Boşluğun Güç Katsayısına Etkisi



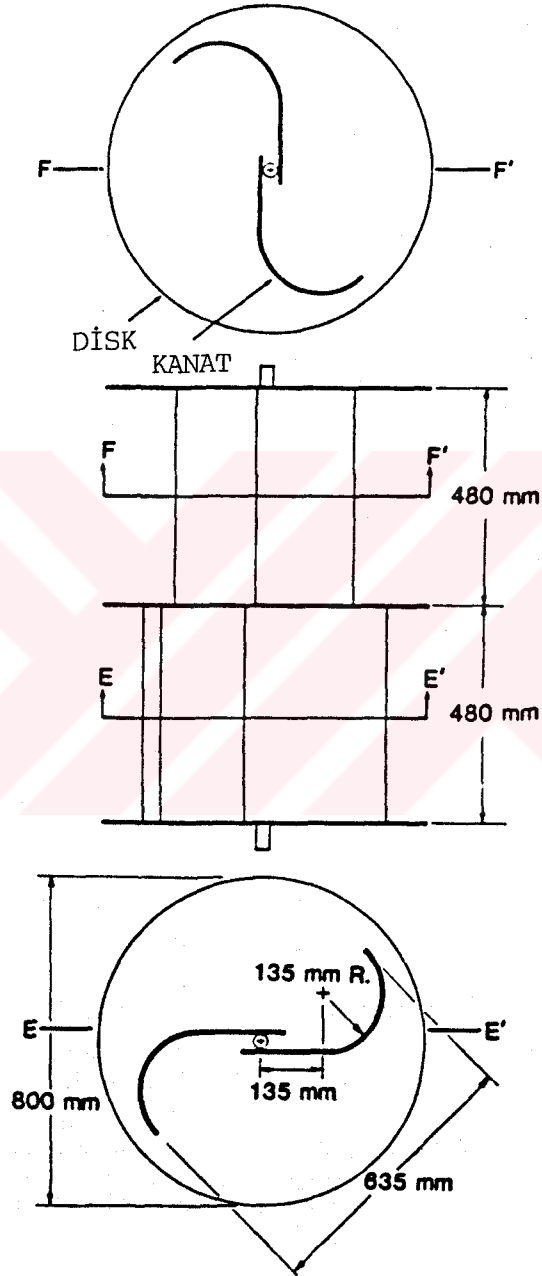
Şekil 7.12 Kanat Fazlalığının Güç Katsayısına Etkisi



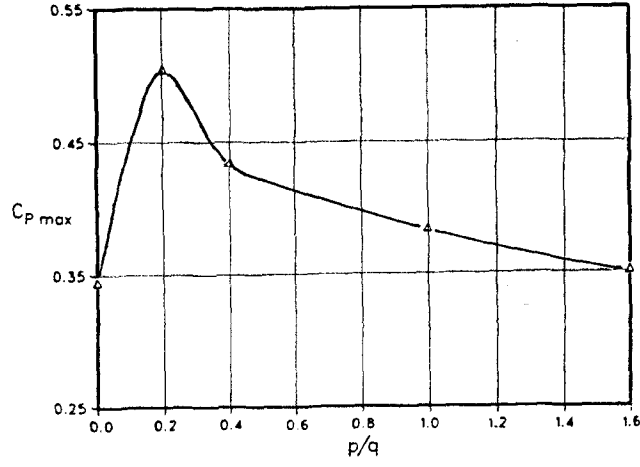
Şekil 7.13 Kanat Yüksekliğinin Güç Katsayısına Etkisi

Şekil 7.14'te görülen iki katlı 0.6 m^2 süpürme alanına sahip olan alüminyumdan yapılmış Savonius türbininin p/q oranı değiştirilerek deneyler yapılmıştır. İmalatında kolaylık sağlaması açısından kanattaki eğri bölümün yay açısı $\theta=135^\circ$ alınmıştır. p/q oranı; 0, 0.2, 0.4, 1.0 ve 1.6 olan türbinlerle ölçümler yapılmış ve Şekil 7.15'de görüleceği gibi 0.2 değeri için maksimum güç katsayısına ulaşılmıştır. [10]

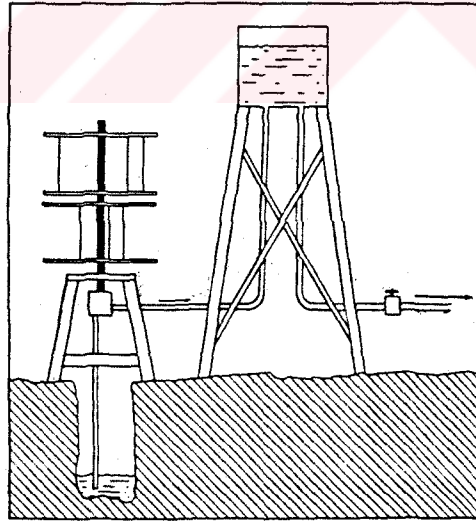
Bir başka çalışmada da Endonezya'da küçük bir çiftlikte kullanılmak üzere tasarlanmış iki katlı Savonius rotor imal edilmiştir. Rotor pompaya bağlanarak, sulama amaçlı kullanılacaktır. Kanatların geometrisini belirlemek için tek katlı birçok Savonius rotor imal edilip rüzgar türbininde denenmiş ve en iyi verimi veren kanat geometrisi belirlenmiştir. Bu araştırmaların sonucunda, 1.12 m^2 süpürme alanına sahip, iki katlı, 250 Lt/saat suyu 4.5 m/s rüzgar hızında 4 m yüksekliğe pompalayacak Savonius türbin imal edilmiştir. Sistemin şematik diyagramı Şekil 7.16'da görülmektedir. [11]



Şekil 7.14 İki Katlı Tipik Savonius Türbini

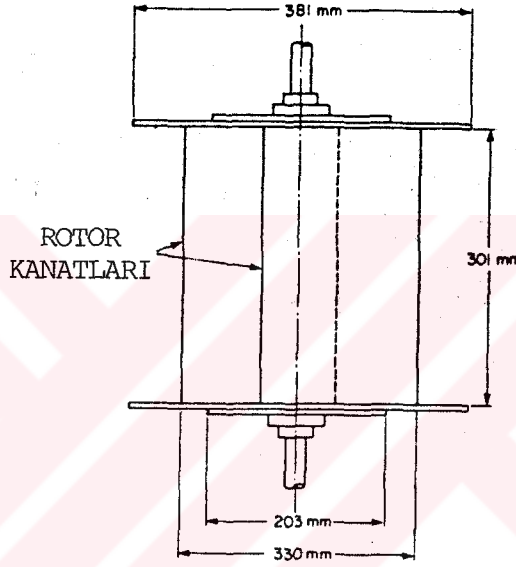


Şekil 7.15 p/q Oranının Güç Katsayısına Etkisi



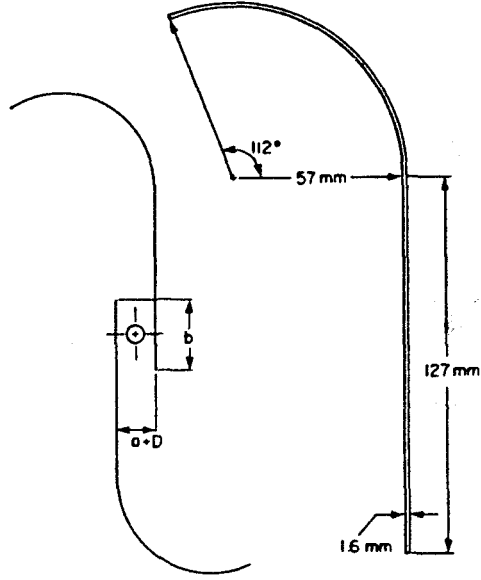
Şekil 7.16 Endonezya'da Savonius Rotorlu Su Pompalama Sisteminin Şematik Diyagramı

Bu çalışmada Şekil 7.17'de görülen tek katlı Savonius türbin, optimum geometriyi belirlemek için imal edilmiştir. Alt ve üst plakalar pleksiglastan imal edilmiştir. Plakaların rijitliğini arttırmak için alüminyum diskler kullanılmıştır. Ortada 25.4 mm çapında mil bulunmaktadır. 1600 devir/dakika'da bile titreşim problemi olmamaktadır. İlk deneyler için bu boyutlarda dört ayrı geometride rotor imal edilmiştir. Bunlardan biri Şekil 7.18'de görülmektedir. (Khan tarafından önerilen geometri [12])



Şekil 7.17 Tek Katlı Savonius Rotor

Model türbin, düşük rüzgar hızında rüzgar tüneline test edilmiştir. Her kanat seti için tork değerleri ölçülmüştür. Tüm bu deneylerden sonra en iyi kanat geometrisi belirlenmiş ve 1.12 m² süpürme alanına sahip türbin imal edilmiştir. Bu türbinin rotor çapı 1.09 m, bir kanatın yüksekliği 0.5 m'dir. Alt ve üst plakalar kontraplaktan imal edilmiş ve alüminyum disklerle desteklenmiştir. ortadaki mil 38 mm çapındadır.



Şekil 7.18 Test Edilen Kanat Geometrisi

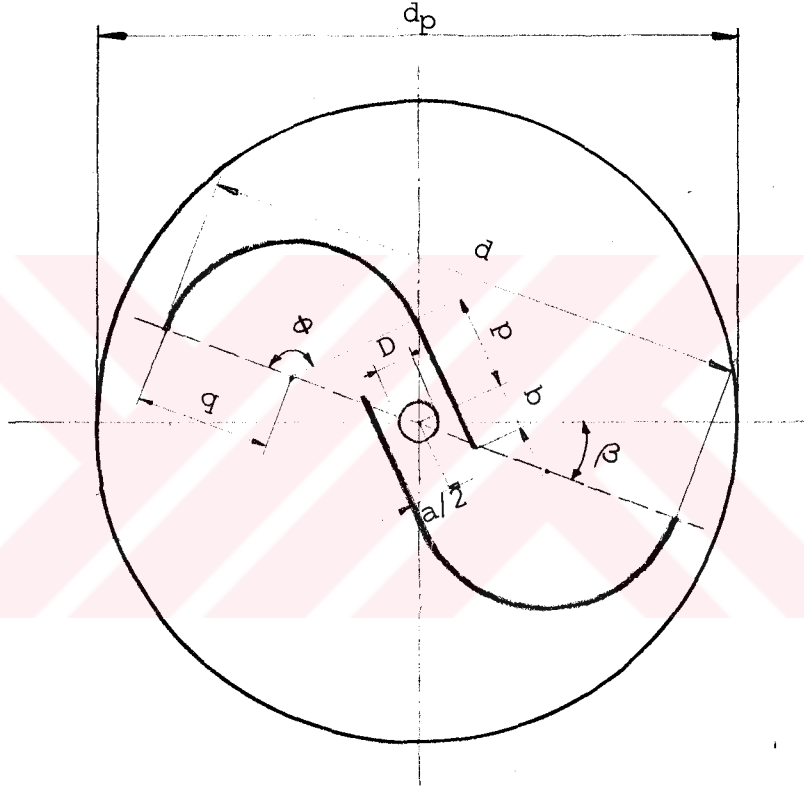
BÖLÜM 8. DEĞİŞTİRİLMİŞ SAVONIUS RÜZGAR TÜRBİNLERİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA

Yurdumuzun düşük rüzgar hızı ortalaması (2.54 m/s) gözönüne alındığında, bazı bölgeler hariç, yüksek kapasiteli türbinlerin yapılmasının iyi bir çözüm olamayacağı görülmektedir. Ancak, bu Türkiye'nin rüzgar enerjisinden yararlanamayacağı anlamına gelmemektedir. İ.T.Ü. Makina Fakültesi, Isı Transferi Laboratuvarında imalatı yapılan, üç katlı Savonius rotor Türkiye'nin şartlarında küçük uygulamalarda kullanılabilecek bir rotordur. Bu rotorun en büyük özelliği ve diğerlerinden farklılığı, çok hafif ve dayanıklı olan kompozit malzemeden yapılmış olmasıdır. Bu malzemenin her türlü hava koşulunda sağlamlığını koruduğu görülmüştür. Rotorunun çok hafif olmasından dolayı düşük rüzgar hızlarında (0.3 m/s) güç üretmeksizin (boşta) dönmeye kolayca başladığı ve çok yüksek devirlere titreşim problemi olmaksızın çıkabildiği görülmüştür. Bu türbin dizayn edilirken güneşten faydalanma sistemleriyle kombine olarak çalıştırılması düşünülmüştür. Bu amaçla Türkiye'nin birçok bölgesinde kullanılabilir. Aynı zamanda, otoyollar da orta boşluğa konulacak seri bağlanmış birçok bu tip türbin, otoyol aydınlatılması sorununu arabaların sürüklediği rüzgarla çözebilecektir. Yine bu tip fakat biraz daha büyük bir türbinle kuraklık çekilen ve elektrik enerjisinin ulaşamadığı bölgelerde kuyudan suyun çekilmesi işlemi bedava yapılabilir. Tüm bu avantajlar gözönüne alındığında, bu konu üzerinde çalışılmasının gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

8.1. Türbinin Geometrik Karakteristikleri

Yapılan Literatür taramasında çeşitli rotor şekillerine rastlanmıştır. Ancak bunların büyük bölümünde iki

kanat merkezi birbirine yaklaştırılmış ve merkeze yakın olan kanat uçları doğrusallaştırılarak uzatılmıştır. Tüm bu araştırmalar sonucunda şekil 8.1'de kesit resmi görölen rotorun imaline karar verilmiştir. Rotorun toplam süpürme alanı 0.3 m^2 'dir.



şekil 8.1 Rotor Bölme Ölçüleri ve Kanat Yerleřimi

$$d_p = 400 \text{ mm}$$

$$D = 22 \text{ mm}$$

$$\theta = 135^\circ$$

$$\beta = 20^\circ$$

$$p/q = 64/90 = 0.71$$

$$a/d = 52/363 = 0.14$$

$$b/d = 25/363 = 0.07$$

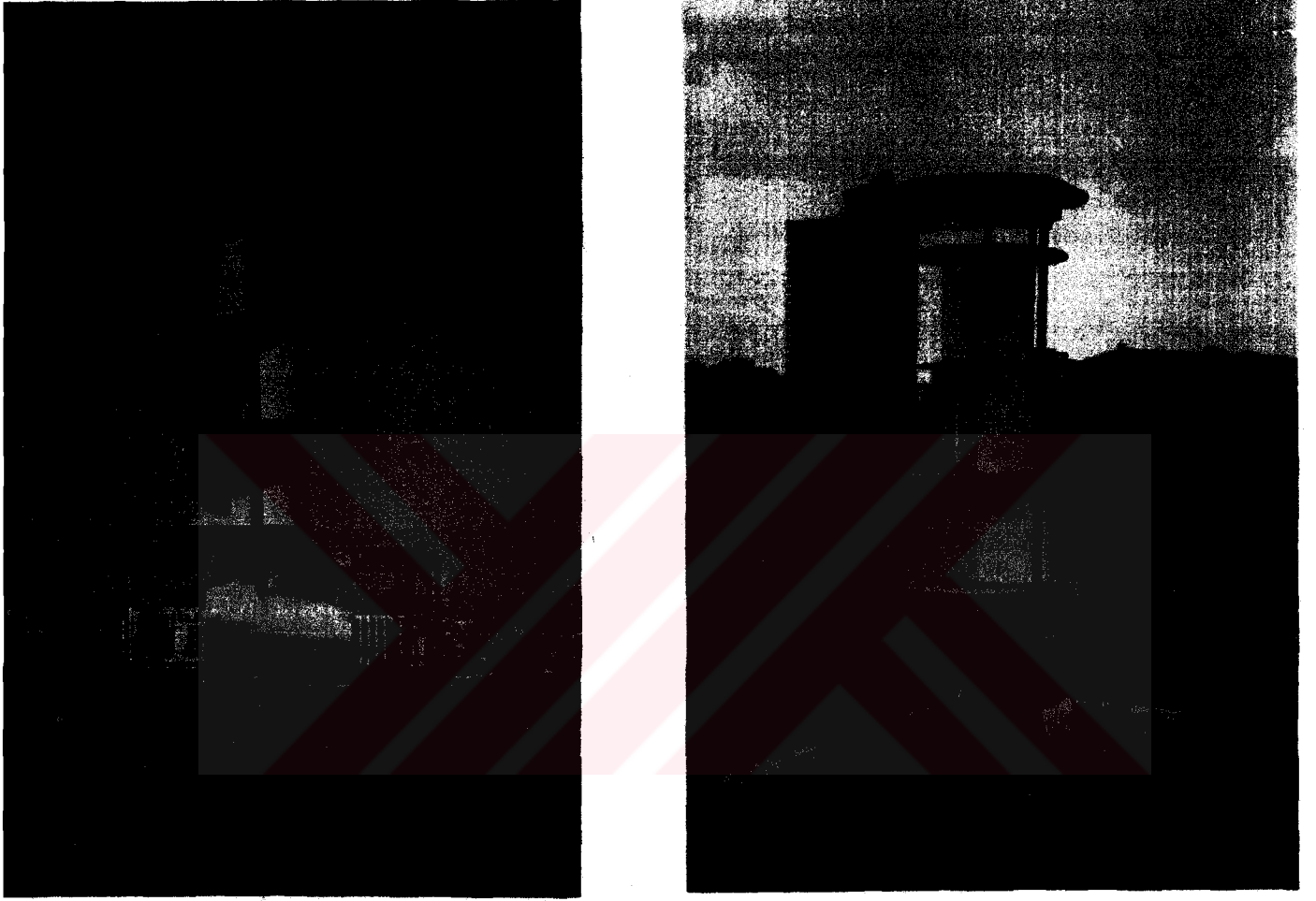
$$h = 280 \text{ mm}$$

Türbin 3 katlı dizayn edilmiştir. Her kanatta eksen bir önceki kanada göre 60° kaydırılmıştır. Bu, rüzgarı daha homojen alabilmesi ve ilk harekete kolay geçebilmesi için yapılmıştır. Kanatlar sert köpükten yapılmış kalıp üzerine dökülen cam elyafı ve reçineden (epoksi) oluşan kompozit malzemeden yapılmıştır. Kalınlığı 1 mm'dir. Ara plakalar altına ve üstüne kompozit malzeme dökülen 2 mm kalınlığındaki mukavvadan oluşmuştur. Ara plakalar ve kanatlar birbirlerine yapıştırılmıştır. Ortadan 22 mm çapında, 1 mm et kalınlığında alüminyum boru geçmektedir. Borunun her iki ucuna sıkı geçme ve perçinle saptanmış alüminyum miller monte edilmiş ve rulmanlar bu millere geçirilmiştir. Rotorun içine yerleştirildiği iskele, rüzgarı kesmeyecek şekilde dizayn edilmiştir. Milin alt ucuna kasnak bağlanmış ve kayış aracılığı ile 12 V'luk otomobil alternatörüne bağlanmıştır. Sistemin resimleri çeşitli açılardan Şekil 8.2'de görülmektedir.

8.2. Yapılan Deneyler ve Sonuçları

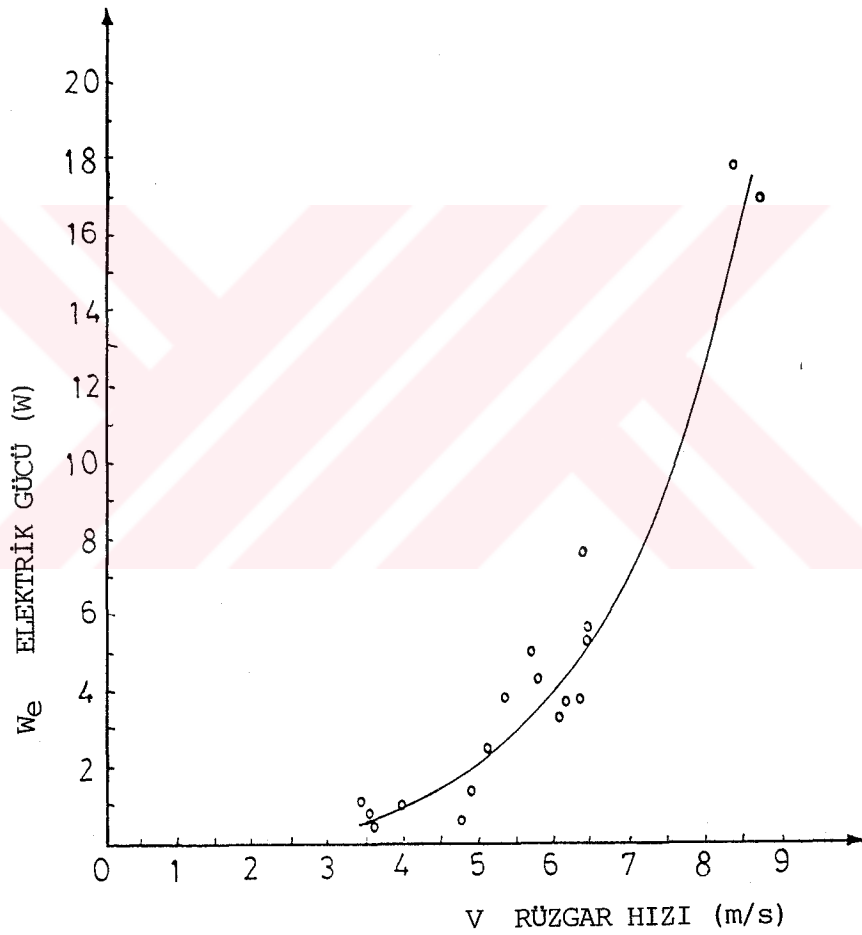
8.2.1. Otomobil Alternatörü ile Güç Eldesi

Şekil 8.3'te görülen deney tesisatı hazırlanmıştır. Burada, ampermetre (0-5 A), voltmetre (0-30 V), 12 V'luk otomobil alternatörü, akü (12 V, 65 Ah) ve lamba (12 V, 55 W) kullanılmıştır. Rüzgar gülü, sıcak tel anemometresi ve airflow-meter ile ayrı ayrı rüzgar hızı ölçülmüştür. Türbinin yüklü durumda (akü bağlı iken) 2 m/s rüzgar hızı dolaylarında dönmeye başladığı ve alternatörün 3.5 m/s rüzgar hızında elde edilen devirde elektrik üretimine başladığı görülmüştür. Deney sırasında maksimum 8.8 m/s rüzgar hızında voltmetre 5.5 V değerini göstermiştir. 12 V'luk akünün bu rüzgar hızında doldurulamayacağı görülmüştür. Şekil 8.4'te elektrik gücü-rüzgar hızı değişimi verilmiştir. Ölçüm sonucu elde edilen güçlerin elektrik gücü olduğu ve alternatörün ve kayış kasnak mekanizmasının kayıpları gözönüne alındığında türbinin mil gücünün daha fazla olacağı dikkate alınmalıdır.

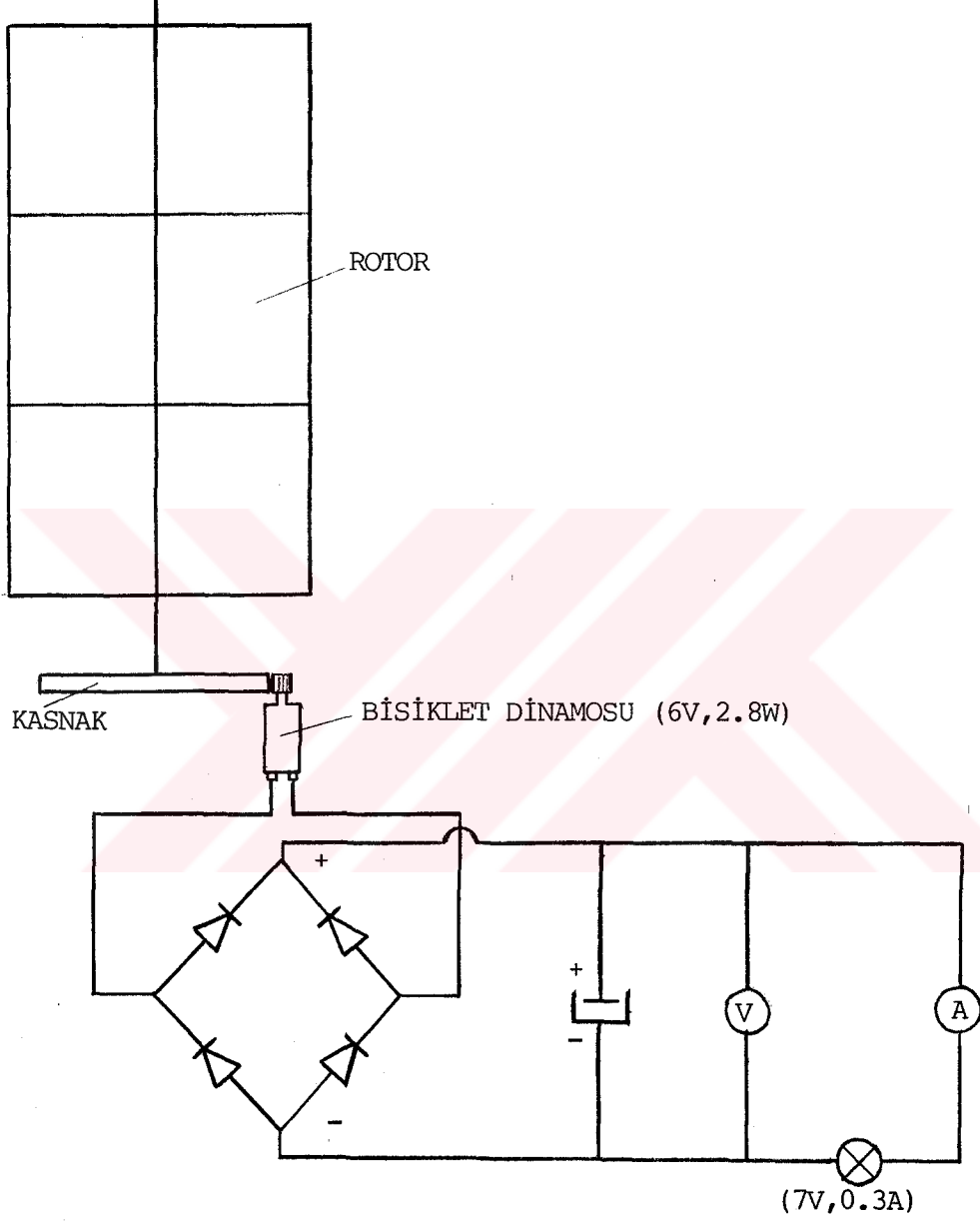


Şekil 8.2 Savonius Türbinin Resimleri

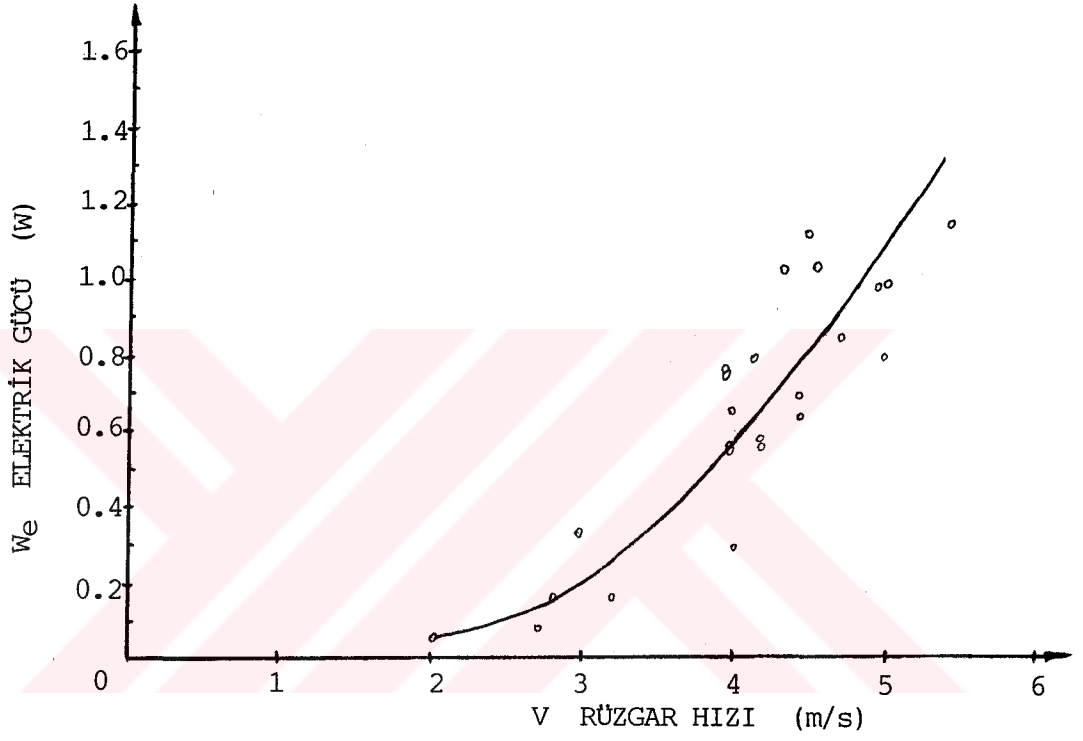
olduğundan elde edilen güçler çok düşük çıkmıştır. Deney tesisatı ve alternatif akımı doğru akıma çeviren elektronik düzenek Şekil 8.5'te, elektrik gücü-rüzgar hızı değişimi Şekil 8.6'da görülmektedir.



Şekil 8.4 Alternatörlü Sistem İçin Elektrik Gücü
Rüzgar Hızı Değişimi



Şekil 8.5 Dinamolu Deney Tesisatının Bağlantı Şeması



Şekil 8.6 Bisiklet Dinamolu Sistem İçin Elektrik Gücü- Rüzgar Hızı Değişimi

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemizde, rüzgar enerjisinden nasıl yararlanılabileceğini saptamak için öncelikle, uluslararası standartlara uygun ve doğru ölçümler yapılarak güvenilir rüzgar atlasları oluşturulmalıdır.

Bu güne kadar yapılan çalışmalar sonucu, rüzgar potansiyeli, rüzgar enerjisi sistemlerini uygulamaya yeterli olan yörelerde, bölge şartlarına uygun projeler gerçekleştirilmelidir.

Özellikle tarım yapılan ve su sıkıntısı çekilen yörelerde kuyular açılarak, Savonius türbinler vasıtasıyla sulama yapılması; hem ilk, hem de işletme maliyeti açısından köylünün bütçesini sarsmayacak yararlı bir uygulama olacaktır.

Rüzgar enerjisi alanında üniversitelerde yapılacak araştırma geliştirme çalışmaları ile ilerlemiş ülkelerin seviyesine gelinmesi ve böylece gelecekteki muhtemel elektrik darboğazından kurtulunması en ucuz çözüm olacaktır. Bu amaçla yapılacak en değerli şey, Devletin üniversitelerde araştırma ve geliştirme çalışmalarının yapılabilmesi ortamını yaratmasıdır.

KAYNAKLAR

- [1] DİRİCAN, B., Rüzgar Enerjisi, Prof. Dr. Kaan EDİS Yönetiminde Y. Lisans Bitirme Tezi, İ.T.Ü. Makina Fakültesi, İstanbul, Haziran 1987
- [2] ORALALP, F., Rüzgarın Gücü, Bilim ve Teknik Dergisi, Şubat 1994
- [3] ÜLTANIR, M.Ö., Türkiye Kırsal Kesiminin Alternatif Enerji Potansiyeli ve Uzun Dönemli Kırsal Enerji Planlaması, Termodinamik, Sayı 22, 50-53, Haziran 1994
- [4] WILSON, R.E., Electrical Energy from the Wind, Mechanical Engineering, 60-69, January 1984
- [5] RAMAKUMAR, R., Storage Options for Harnessing Wind Energy, Mechanical Engineering, 74-83, November 1983
- [6] KAYANSAYAN, N., Savonius Rüzgar Jeneratörü ve Performans Deneyleri, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt 15, Sayı 1, 21-26, Mart 1992
- [7] FUJISAWA, N., On the Torque Mechanism of Savonius Rotors, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 40 (1992), 277-292
- [8] FERNANDO, M.S.U.K. and MODI, V.J., A Numerical Analysis of the Unsteady Flow Past a Savonius Wind Turbine, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 32 (1989), 303-327
- [9] BAIRD, J.P., Design Characteristics of the Mono Wind Turbine, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 15 (1983), 305-315
- [10] MODI, V.J., and FERNANDO, M.S.U.K., On the Performance of the Savonius Wind Turbine, Journal of Solar Energy Engineering, Vol.111, 71-81, February 1989
- [11] MODI, V.J., ROTH, N.J. and PITTALWALA, A., Blade Configurations and Performance of the Savonius Rotor with Application to an Irrigation System in Indonesia, Transactions of the ASME, Vol.105, 294-299, August 1983

- [12] KHAN, H.M., Model and Prototype Performance
Characteristics of Savonius Rotor Windmill,
Wind Engineering, Vol.2, No.2, 1978, 75-85



ÖZGEÇMİŞ

1970'te Bakırköy'de doğdu. 1981'de Ahmet Hamdi Tanpınar İlkokulu, 1984'te İncirlik Ortaokulu, 1987'de Ataköy Lisesi'nden mezun oldu. Aynı yıl, İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü'nde okumaya hak kazandı. 1992 kış yarıyılında birincilikle mezun oldu. Halen İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.

