

**"GELİBOLU MODELİ" RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE
VERİMLİLİK PARAMETRELERİNİN ARAŞTIRILMASI**

PROJE NO: MİSAG-7

YAVUZ ALİ ŞENER

**EYLÜL 1995
ANKARA**

ÖNSÖZ:

Projenin amacı, "Gelibolu Modeli" Rüzgar Türbinlerinin verimlilik parametrelerinin belirlenmesidir. Türbinin, gerekli modelleri yapılarak, üzerlerinde planlı test ve analizler uygulanmıştır. Türbinler, orijinal geometrik tasarımı, ek "**Güç Artırıcı-Yönlendirici Kanatlar**" (**GAYK**) taşımaktadır.

Türbin modelleri, boyutsuz parametreler dikkate alınarak üretilmiştir. Modeller üzerinde sistemli test ve analizler yapılarak, sonuçları, literatürde bulunabilen türbinlerle karşılaştırılmıştır.

Sonuçta, ek kanatların, üretilen enerjiyi artırma fonksiyonunun belirgin olduğu raporlarla kanıtlanmıştır. Proje, Üniversiteler ve kamu kuruluşlarınca da ilgi görerek, daha detaylı inceleme ve uygulamaya değer bulunmuştur.

Giderek hızlı gelişme gösteren rüzgar enerjisi teknolojisinin, daha verimli rüzgar türbinleri ile, milli gelir ve istihdam olanaklarımızın artırılmasında önemli bir yer tutabileceği düşünülmektedir.

Çalışmada öncü olan **TÜBİTAK** Başkanlığı ve destek olan **DPT** Müsteşarlığı, **ODTÜ** Rektörlüğü ile Havacılık Bölüm Başkanlığı, Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü, **Hacettepe** Üniversitesi Hidrojeoloji Enstitüsü Başkanı Sayın Prof.Dr. Gültekin **GÜNAY**, İ.T.Ü. Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi eski Dekanı Sayın Prof.Dr. Ahmet Nuri **YÜKSEL**, elektronik test-ölçüm cihazını imal eden Sayın Doç.Dr. Aydın **BERKİYE**, ilgili tüm Üniversite Öğretim Üyeleri ile ilgili Kuruluş Yetkililerine ve emekleri geçen tüm görevlilere, değerli katkıları için şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER:

	<u>Sayfa</u>
. BAŞLIK (KAPAK ALTI)	
. ÖNSÖZ:	I
. İÇİNDEKİLER:	II
. TABLO VE DİYAGRAMLAR LİSTESİ:	III
. KULLANILAN SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ:	IV
. ŞEKİLLER LİSTESİ:	V
. DİĞER EKLER:	VI
- REFERANSLAR:	VII
- ABSTRACT:	VIII
Ö Z:	IX
. İncelenen Verimlilik Parametreleri:	IX - 3
a) Zorunlu Parametreler:	IX - 3
b) Değiştirilebilen Parametreler:	IX - 3
Anahtar Kelimeler:	IX - 4

I - M E T İ N

A) Giriş:

1. Proje Konusu:	1
2. Proje Amacı:.....	1
3. Metod:.....	1
4. Literatür Bilgileri:.....	1
a. Yatay Mile sahip-pervaneli türbin tipleri:.....	2
b. Dikey Mile sahip rüzgar türbin tipleri:.....	2

5. Eksiklik gideren aerodinamik çözümler:.....	7
a. Güç artırıcı (augmented) kanatları bulunan türbinlerde:.....	7
b. Güç artırıcı kanatları bulunmayan (cyclogiro türü) türbinlerde:.....	7
c. Güç artırım etkisine sahip olamayan türbinlerde:.....	7
* Güç artırım kanatlarına sahip dik milli türbinlerde:	7
i) Kendiliğinden yönelme yapamayan güç artırımı	8
ii) Kendiliğinden yönelme de yapabilen güç artırımı	8
* İncelenen verimlilik parametreleri: (Özet)	10
a) Zorunlu parametreler (G.A.Y.K. ile ilgili):	11
b) Değiştirilebilen parametreler (Güç-üretim kanatları ile ilgili):.....	11
6. Ulusal rüzgar enerjisi potansiyelinin önemi ve projenin bu açıdan önemi:	11
7. Dünya uygulamaları açısından önemi.....	11
B) İncelenen Parametreler:	14
1. Genel:"Güç-Artırım-Yönelme Kanatlarının" (GAYK) etkilerinin incelenmesi ve bulgular:.....	14
a) Olumlu yönlendirilme:	14
b) Olumsuz güçlerin siperlenmesi:	14
c) Ek vakum (wake) gücü kazanma:	14
2. Güç-Artırma Kanatlarının sorunları:	15
a) Yönelmenin gerekliliği:	15
b) Konstrüksiyon güçlükleri:	15
c) Yönelmenin güçlükleri:	15
3. "Gelibolu Modeli" rüzgar türbinlerinde verimliliği etkileyen parametreler:	16

a) Genel: Sağladığı ek avantajlar:.....	16
i) Tam yönlenme:	16
ii) olumsuz güçlerden ek Drag (=Tepe) Etkisi:.....	16
iii) olumsuz güçlerden ek vakum (wake) etkisi:.....	16
b) “Güç-Artırım-Yönlendirme-Kanatlarında”	
Verimlilik Parametreleri:	16
i) Özel profil:	16
ii) 120 derecelik tam simetri:	16
c) Güç-Üretim Kanatlarında Verimlilik Parametreleri:	17
i) Kesit profil:	17
ii) Merkez açıları:	17
d) Parametrelerin irdelenmesinde izlenen yöntem:.....	17
i) GAYK Kanatlara ait parametreler:	17
ii) Güç kanatlarına ait parametreler:	17
II - GELİŞMELER:	18
A - ÇALIŞMAMIZIN DAYANDIĞI TEMEL BİLGİLER:	18
1. Türbinlerle İlgili Sınıflandırmalar: (Literatür):	18
A) Yatay mile sahip - pervaneli türbin tipleri:	18
a) Modern pervaneli (2 veya 3 kanatlı):	18
b) Amerikan - çiftlik tipi (çoklu kanatlı):	18
c) Hollanda tipi (4 kanatlı):	18
d) Diğer yatay milli türbinler:	18
B) Dikey mile sahip rüzgar türbin tipleri:	19
a) Klemin (1925) (Kepçe türü; özel-S kesitli):.....	19
b) Savonius (1931) (Kepçe türü, özel Kesik-S kesitli):	19
c) Darrieus (1931) (Uçak kanadı kesitli):	19

d) Darrieus-tipi elips veya dikey, NACA profilli kanatlar):	19
e) Giromill (=cyclogiro) tipi:	19
f) Güç-Artırıcı-Kanatları olan (augmented):	19
i) kendiliğinden yönelmesiz (AWT):	19
ii) kendiliğinden yönelmeli (Gelibolu):	19
* Rüzgara karşı yaptığı tarama özelliklerine göre:	
a) Yüzeysel Tarama Yapan Sistemler:	19
b) Hacimsel Tarama Yapan Sistemler:	20
2. Türbinlerin verimlilik sınırları:	20
3. Hacimsel Tarama Yapan Sistemlerin Durumu:	21
4. Özellik Gösteren Türbinler:	22
B - ARAŞTIRMANIN DAYANDIĞI VERİLER:	22
1. Tarihçe:	23
2. Türkiye 5. Enerji Kongresi:	23
3. Diğer Kaynaklar:	23
4. Teknik Bilgi ve veriler:	23
a) Rüzgar enerjisi formülleri (Kinetik enerji):	23
b) İşgören hava akımlarının olumlu etkileri:.....	24
i) iten güçler (=drag):	24
ii) çeken (kaldıran) güçler (=lift):	24
c) Yatay ve Dikey milli türbinlerin güç dengeleri:	25
i) Yatay milli türbinlerde:.....	25
ii) Dikey milli türbinlerde:	25

d) "Güç-artırım-kanatlarına" sahip dikey milli Türbinlerde:	
Güç-Denge Formülleri:.....	25
(Kuvvet toplamlarından oluşan döndürme kuvvetleri)	
* "Güç-artırım etkisi" nedenleri:	26
i) olumsuz güçlerin siperlenmesi:.....	26
ii) olumsuz güçlerin olumlu güce dönüşmesi:.....	27
e) "Kuvvet farkından" çalışan türbinlerle, "Kuvvetler toplamından"	
çalışan türbinlerin farkı:	27
f) Deneysel sonuçların öngörülenleri doğrulaması:	
(Örnek formül: üç katı etkin olabilirlik):	27
g) "Gelibolu Modeli"nin deneysel sonuçları:.....	28
(Sonuç: 4,9 katı etkinlik artışı):	28
h) Kanat-uç-hızı (TSR) oranlarının etkileri:.....	29
i) "Savonius" ve benzeri türbinlerde:.....	29
ii) "Darrieus" tipi türbinlerde:.....	29
iii) "Cyclogiro"(=Giromill) tipi türbinlerde:.....	29
iv) Modern pervaneli türbinlerde:.....	30
v) "Gelibolu Modeli" rüzgar türbininde:.....	30
i) Katı-ağırlık-oranı (Solidity):.....	30
j) Sürtünme Kayıpları ve etkileri:.....	31
5. Proje Kapsamında Gerçekleştirilen İşlemler:	31
a) Genel:	31
i) Türbin konstrüksiyonu (= Taşıma Ünitesi):	32
ii) Güç-artırıcı-yönlendirici (G.A.Y.K) kanatlar:	32
iii) Güç-Üretim kanatları:	32

b) "Güç-Artırım-Yöneltme-Kanatları":	32
i) iç radyus:.....	33
ii) dış radyuslar:.....	33
c) "Güç-Artırım-Yöneltme-Kanatlarının" aerodinamik fonksiyonları ve özellikleri:	33
i) Olumsuz bölgenin, olumsuz güçlere kapatılması (negatif drag ve lift):.....	34
ii) Olumsuz kuvvetlerin, olumlu lift gücüne dönüşmesi:	34
d) "Güç-Artırım-Yöneltme-Kanatlarının" (GAYK) Üretim aşaması:....	35
e) "Güç-üretim" kanatları:	35
i) "Savonius":.....	36
ii) "Darrieus (NACA 0021 profil):.....	36
iii) Prizmatik "Mercedes amblemi" kesitli özel:.....	36
Karşılaştırmalı test metodu:	
i) dışta GAYK kanatlar mevcut olmaksızın:	37
ii) dışta GAYK kanatlar mevcut (kombine) iken:	37
f) Türbin konstrüksiyonu (=taşıma ünitesi):.....	38
g) Güç-Ünitesi:	38
C - PROJE ÇALIŞMASINDAN SAĞLANAN BİLGİLER:.....	39
1. Genel olarak rüzgar enerjisi teknolojisi:	39
2. Aerodinamik geliştirme ihtiyacı:.....	39
a) Yatay Milli Türbinlerinde:.....	39
b) Dikey Milli Türbinlerde:.....	40
i) Klasik Dikey milli sistemlerde:.....	40
ii) "Güç-artırım" kanatlı türbinlerde:.....	40
iii) "Cyclogiro"(=giromill) türü türbinlerde:.....	41

iv) "Güç-artırıcı-yönlendirici" kanatlı	
"Gelibolu Modeli Rüzgar Türbini":	42
3. "Gelibolu Modeli Rüzgar Türbini" ile ilgili karşılaştırmalar:	43
a) Her türlü dikey mili türbinle beraber çalışması:.....	43
b) İlk hareket hızını "cut-in" düşürmesi:	43
c) Kesim hızını "cut-out" artırması, türbinin	
"Çalışma Aralığını", Kapasite Faktörünü artırması:	43
d) Türbin sistemine hacimsel konstrüksiyonu ile	
"dayanım gücü" kazandırması:	44
e) Karşılaştırmalı olarak, daha yüksek tur sayıları:	44
f) Karşılaştırmalı olarak, daha yüksek güç ve verim:	44
g) Uygun-kanat-uç-hızlarına, daha düşük rüzgar hızlarında	
erişilmesini sağlaması:	44
h) Üretim maliyetinde (\$/kwh; \$/KW olarak) etkin ve	
öncelikli bulunması:	44
i) İstenilen çap ve yükseklikte, her yörede, her güçte,	
sabit ve portatif olarak üretilebilmesi:	44
j) Tamamen yerli malzeme ile üretim olanağı sağlaması:	44
k) Sanayi alt yapımız ile elektrik üretimi, su çıkarma	
ve mekanik amaçlı olarak üretilebilmesi:	45
4. "Gelibolu Modeli" Rüzgar Türbini" ile ilgili Yorumlar:	45
a) Bu türbinlerin sosyo-ekonomik yararlar getirebilecek önemde	
olduğu konusunda öneri ve savunma:	45
(Milli gelir ve ihracat istihdam artışı)	45
Nedenleri	45
i) Beher ünite enerji ve tesise oranla efektif olması:	45

ii) Yerli yapım olanaklarının, maliyet performansını daha etkinleştirmesi:	45
iii) Türbin ihracatı ve türbin lisansı ihracatı potansiyeline sahip bulunması:	46
iv) Türbin üretimi, yerli istihdam olanaklarını olumlu etkileyebilir. Enerji arzını ve milli geliri artırabilir.	46
b) Türbinlerin, rüzgar enerjisi teknolojisinde getirdiği teknik yenilik ve teknik atılımlar:	46
i) Türbinin güç dengelerinin yapısal değişiklik ve avantaj kazanması:	46
ii) Türbinin, güç farklarından değil, kuvvetlerin toplamları ile çalışması özelliği:	46
iii) Yönlendirme zorunluluğu gerektirmemesi: "Kendiliğinden yönelme özelliği" ile, "Güç-Artırım-Kanatlı" türbinler arasında öncü:	47
III - SONUÇ:	48
A. PROJE SONUÇLARI:	48
<u>SONUÇ - 1: Belirlenen İki Grup Parametre:</u>	48
Verimliliği etkileyen iki grup parametrenin belirlenmiş olması:	48
a) "Güç-artırım-yönlendirme" kanatları ile ilgili parametreler (zorunlu parametreler):	48
i) Parametre:1) GAYK Kanatları oluşturan özel profil kesiti: ...	48
ii) Parametre:2) GAYK Kanatların , merkez etrafında 120 derecelik simetrik yerleşimi:	48

b) "Güç-Artırım-Yöneltme-Kanatları" ile ilgili parametreler:	48
i) Özel "Güç-üretim kanat profilleri":	48
ii) Güç-üretim kanatlarının "Merkez açıları":	48
<u>SONUÇ - 2: Zorunlu ve Değişen Parametreler:</u>	49
"Güç-Artırım-Yöneltme-Kanatlarında" son fonksiyonel şekil oluşmuş bulunmaktadır:	49
a) Özel profil kesitinin, beklenen fonksiyonlarına göre son şeklini almış bulunması:.....	49
i) Kanatların, "güç-artırım" fonksiyonlarını mükemmelen sağlaması:	49
ii) Kanatların, "Yönlendirme" fonksiyonlarını kesin ve kararlı olarak sağlaması:	49
b) Zorunlu parametrelerde yapılabilecek değişikliklerin, (GAYK) "Güç-Artırım-Yöneltme-Kanatlarının": fonksiyonlarını bozma olasılığı:	50
<u>SONUÇ - 3: Belirgin Güç Artışı:</u>	50
"Güç-Artırım-Yöneltme-Kanatlarının" eklenmesi, belirgin güç ve verim artışlarına yol açmaktadır:	50
a) "Güç-üretim" kanatlarının özel profil kesitleri:	50
i) "Savonius" profili:	51
ii) "Savonius-benzeri" profil:	51
iii) "Darrieus" profili:	51
b) Parametre Değişikliklerinde Uygulanan Metod:	51
i) "Güç-Artırım-Yöneltme-Kanatları" varken yapılan incelemeler:	51

ii) "Güç-artırım-yönlendirme" kanatları mevcut değilken yapılan incelemeler:	51
c) Türbin Merkezine karşı olan "Merkez Açılı" ile ilgili parametreler:	51
i) "Savonius" ve Savonius benzeri profile sahip:	51
ii) "Darrieus" profilli kanatlarda:	51
** "Savonius-benzeri" (çift-kepçeli) kanatlarda - istisnai olarak incelenen - kanat sayısı parametreleri:	52
i) Beş kanatlı çift kepçeli kanatlar:	52
Yorum: (72 derecelik kanat aralıkları)	
ii) Altı kanatlı çift kepçeli kanatlar:	53
Yorum: (60 derecelik kanat aralıkları)	
Darrieus profile sahip güç-üretim kanatları ile yapılan sistemli deney sonuçları:	53
a) Profil "chord-boyu" ile türbin çapı oranları:	54
b) Kanat hücum açılarının sabit tutulması	54
c) "Giromill" (=Cyclogiro) türbinlerle sadece teorik düzeyde karşılaştırma yapılması:	54
<u>SONUÇ - 4: "Darrieus" ve "Gelibolu" olumlu Kombinasyonu:</u>	55
"Gelibolu Modeli" ve "Darrieus" kombinasyonu, "Savonius" + "Gelibolu" kombinasyonundan daha iyi güç ve verim sonucu temin etmiştir:	55
** Karşılaştırmalar:	55
i) Giromill'de Kanatların hedef küçültmesi (= kam ile kanat hücum açılarının değiştirilmesi) bakımından:	55
(Gelibolu modelinde ise gerek bulunmaması)	

ii) Giromill'de kanatların hedef büyültmesi bakımından:.....	56
Olumlu ve olumsuz bölgelerde hedefleme):	56
"Gelibolu Modelinde", rüzgara karşı "hedefleme"	
(=yöneltme) gerekmemesi:	56
"Gelibolu Modelinde" ek olumlu güçler:.....	56
* "Tepe Etkisi":	56
* "Kabuk Etkisi":	56
* "Güç-artırım" Etkisi:	57
iii) "Giromill" türbininde "güç-artırım" etkisi bulunmaması:	57
"Gelibolu Modeli" türbinde "güç-artırım" etkisinin varlığı:	57
"Gelibolu Modeli" türbinde, "Etki Bölgesi":	58
<u>SONUÇ - 5: Karşılaştırmalı Ek Avantajları:</u>	58
"Giromill" türbinine nazaran, "Gelibolu"	
türbininin ek avantajları:	58
a) Mekanik Avantajlar:	58
b) Aerodinamik avantajlar:	58
<u>SONUÇ - 6: "Gelibolu Modeli", Yönelme de Yapabilen, ilk</u>	
<u>"Güç-artırım-kanatlı" Türbindir:</u>	59
"Güç-artırım-kanatlı" (=augmentation wings)	
türbinler içinde, kendiliğinden yönelebilen	
özellikinde olan ilk türbin olarak yer almaktadır:	59
a) Klasik Dikey Milli Türbinler:	60
b) "Güç-Artırım"kanatlı dikey milli türbinler:	60
i) "Yön-tayini" yapma özelliği olmayanlar:	60
Örnek: (AWT=Augmented Wind Turbine)	

ii) "Yön-tayini" yapabilen türbinler:.....	60
Örnek "Gelibolu Modeli"	
** Karşılaştırma: İngiliz, "Kingston Polytechnic'in, (AWT=Augmented Wind Turbine)" ile "Gelibolu" türbininin karşılaştırılması:	60
a) "Güç-artırım-etkisinin" oluşumu:	60
b) "Yatay ve düşey yoğunlaştırma" (=teksif) olanağı:	62
c) "Yönelme" bakımından karşılaştırma:	62
d) "Çok katlı" üretilebilme bakımından:	63
e) "Güç-kontrolü" bakımından:	63
Güç-kontrolü yöntemleri:	64
i) "AWT" Türbininde kanat - siper - merkez açılarının değiştirilmesi:	64
ii) Türbin mili freni ile, tur-güç stabilitesi:	64
"Gelibolu Modelinde", aerodinamik - yapısı gereği - regülasyon sistemi ile çözüm: Rüzgara karşı tam ve kesin yönelme: (Karşılaştırmalı sadelik):	64
f) Büyük güçlerde üretilebilme bakımından:	66
i) Yukarı-aşağı teksif: (AWT) Türbininin özellikleri "Gelibolu Modeli"nde de mevcut olması. (Dikey teksif özelliği kazandırılabilmesi):	67
ii) "Gelibolu Modeli" türbin çok katlı olarak üretilmeye uygunluğu:..	67
iii) Güçlerin artmasının "AWT"de konstrüksiyon problemleri oluşturabilme olasılığı:	67
* "Gelibolu Modelinde" ise:	67
- "Yönelme", katlar için tam otomatiktir:	67

- "Gelibolu Modelinde" rüzgar gücü, basit bir "servo kontrol sistemi" kullanılarak, "kısılabilir":	67
- Çok aşırı rüzgar hızlarında tam "aerodinamik frenleme" (hiç dönemez hale getirme) kolayca sağlanır:	67
SONUÇ - 7: Sosyo-Ekonomik Katkı Olasılıkları:	68
Rüzgar potansiyelinin, daha yüksek eşdeğer verim ve bedelle değerlendirilebilme imkanı:	68
a) Ülkemizin çok yüksek bir rüzgar enerjisi potansiyeli mevcuttur (yüzlerce milyar Kwh elektrik enerjisi eşdeğerinde):	68
Ülkemizin Rüzgar Enerjisi Ekonomik Potansiyeli, * Veriler, Varsayımlar, Parametreler (Özet:)	69
1994 fiyatları ile yüzlerce Trilyon TL. elektrik enerjisi eşdeğer potansiyelinin varlığı:	69
(Yüksek türbinlerle, 1.1 katrilyon TL. eşdeğer elektrik bedeli).....	69
* Parametreler :	70
i) "Arazi-Kullanım-Oranı":	70
ii) "Kurma-Sıklığı":	70
iii) "Kapasite Faktörü:	71
iv) "Türbin Tesis Yüksekliği":	71
v) Elektriksel Performans:	71
vi) Kurma Yerleri: (DMİ) ve (EİE)'ye göre öncelikli yörelerimizde tesislerin kurulması ile:	71
b) Beher kwh. elektrik enerjisinin makroekonomik katkı olasılığı:	71
* 1 kwh enerji, 1-1,5 \$.ek gelir sağlar:.....	72

* Beher 100 trilyon TL.'lık enerjinin, Milli Gelirdeki artış etkisi: 1-3 Katrilyon TL:	72
c) Rüzgar türbinlerinde teknik gelişmeler sonucunda;	
I) Beher puan (%1) teknik verim artışının gelir artış katkısı:	72
ii) Beher puan (%1) kapasite artışının gelir artış katkısı:	72
<u>SONUÇ-8: Kapasite Faktörü Artış Etkisi:</u>	73
Rüzgar türbinlerinde "Cut-in", "cut-out" rüzgar hızları (=türbin Çalışma Bölgesi) aralığının, "Gelibolu Modeli" ile artması, Kapasite Faktörlerinde önemli artış beklentisi sağlar:	73
Proje Sonuçları İle İlgili Karşılaştırmalar:	74
Projede "Güç-artırım-yönlendirme" kanatlarının proje amaçlarını sağlayacak şekilde, açık, belirgin, olumlu katkılar sağlaması:	74
i) "Güç-artırım-yönlendirme" kanatlarının beklenen fonksiyonları tam sağlaması:	75
ii) "Gelibolu Modeli" türbin kanatlarının, her türlü dikey milli türbin kanatları ile kombine olarak çalıştırılması açık, belirgin ek güç artışı sağlamaktadır:	75
iii) "Güç-üretim kanatlarının en ideal şekillerinin belirlenmesi ve üretimi projenin esas kısmını oluşturmuştur:	75
B - PROJE SONUÇLARININ SAĞLAYACAĞI KATKILAR:	76
1. Sonuçların Bilime Katkısı İmkani:	76
Bu projede önerilen araştırma konuları, henüz yeni sayılabilecek "güç-artırım-yönlendirme" kanatlarını kapsamakta olup, bu dalda "yönlendirme özelliğine" sahip ilk türbinin (= "Gelibolu Modeli")nin geliştirilmesinde bir yenilik teşkil etmiştir:	76

TÜBİTAK tarafından desteklenen projede, bu dalda ilk dünya uygulamasının testleri gerçekleştirilmiştir:	76
a) Proje sonuçları derinleştirilmelidir. Bulguların bilimsel alt yapıları (aerodinamik, mekanik, verim analizleri, ölçüm metodları etüdüleri daha detaylı yapılmalıdır:	77
b) Türbinlerle ilgili teknik ve sosyo-ekonomik (istihdam ve milli gelir artışına katkı olanakları, ihracat,lisans gelirleri vb.) konularda çalışma ve araştırmalar da sürdürülmelidir:	77
2. Sonuçların Uygulamalara Katkı Olanakları:	78
** Üretilen modeller:	78
** Buluş, prototip geliştirme konularında, Üniversite-Sanayi işbirliği ve buluş sahiplerinin "katalizörlük" görevi:	79
** Yeni iş alanları açma ve seri imalat olasılıkları:	80
C - İleriye Dönük Araştırma Gereklere:	80
1. Sonraki proje fazlarının gerçekleştirilmesi:	80
2. Uluslararası "Demonstrasyon Projesi" olarak, tam profesyonel bir türbin modelinin ve güç-üretim ile güç-ölçüm ünitelerinin imalatı:	81
3. "Enerji Ana Planımız" ile koordineli olarak bir (KOSGEB) "Prototip-Uygulama Projesinin" başlatılması:	81
4. "Pilot-Uygulama Projesinin" Başlatılması:	81
IV - PROJEYİ DESTEKLEYEN KURULUŞLAR:	81
* Sürdürülen İşbirliği:.....	81
a) ODTÜ ile ilişkiler:.....	82

b) Devlet Meteoroloji ve Elektrik İşleri Etüd Genel	
Müdürlüklerinin destekleri:	82
c) Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ilişkileri:	83
d) Hacettepe Üniversitesinin sağladığı destekler:	83
e) İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Dekanlığı'nın katkıları: ..	83
f) Milli Eğitim Bakanlığı ve DAYM destekleri:.....	84
g) Gazi Üniversitesi Öğretim Üyeleri destekleri:.....	84
h) İTÜ-KOSGEB prototip üretim proje hazırlıkları:	84
i) Devlet Planlama Teşkilatı ve Müsteşarlık Araştırma	
Grubu Başkanlığının destekleri:.....	85
V - SONUÇ RAPORU EK BİLGİLERİ:	85
1. Ek Öneriler:	85
a) Proje sonuçlarının Değerlendirilmesi Önerileri:	85
b) İlgili Uygulayıcı Kurum ve Kuruluşlar:	85
- DPT:.....	85
- TÜBİTAK:.....	85
- TEAŞ VE TEDAŞ:	85
- ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI (ETKB):	85
- ÇEVRE BAKANLIĞI:.....	85
- TARIM VE KÖYİŞLERİ İLE ORMAN BAKANLIKLARI	86
- ELEKTRİK İŞLERİ ETÜD İDARESİ GN.MD.	86
- DEVLET METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ:	86
- KAMU ORTAKLIĞI İDARESİ (KOİ):.....	86
- YÜKSEK ÖĞRETİM KURUMU:(YÖK) VE ÜNİVERSİTELER:..	86
c) Uygulayıcı Kuruluşlara İntikali Önerilen Hususlar:	86
(Örnek olay olarak :)	

- D.P.T.	86
- TÜBİTAK	88
2. Sonuçların Uygulamaya Dönüşmesi Aşamaları ve Gerekli	
Önlem ve Tedbirler İle Uygulama Özetleri:	88
TÜBİTAK tarafından sonuç raporunun ve sonraki proje	
aşamalarının ve önerilerin kabulü halinde:	88
i) Projenin Diğer Fazlarının tamamlanması:	88
ii) Uluslararası Demonstrasyon Projesi:	88
Tedbirler: EİE, TÜBİTAK, KOSGEB, DPT işbirliği	
gerekleri:	88
iii) Enerji Ana Planı ile koordineli olarak, TEK'in ihtiyacı için	
"Sabit Üretim Kapasiteli" asgari 110 KVA gücünde türbin	
prototipinin üretimi projesi:	89
iv) ETKB'nın "Rüzgar Türbini Çiftlikleri" tesisi amaçlı pilot	
proje uygulaması:	89

- - -

TABLO VE DİYAGRAMLAR:

TABLO:1 "DARRIEUS" TÜRÜ KANATLARLA, "GELİBOLU" KANATLARIN KOMBİNASYONLARI: 91 (TURIDAKİKA (=RPM) VE KANAT-UÇLARI-HIZI (TIP -SPEED- RATIO (=TSR) ORANLARI KARŞILAŞTIRMALARI: 91 DENEY SONUÇLARI: (TABLO:1 İLE İLGİLİ): 91 YORUM VE DEĞERLENDİRME: (TABLO:1): 92 KARŞILAŞTIRMALI SONUÇLAR: (TABLO:1): 92
TABLO:2 "GÜÇ-ÜRETİM-KANATLARININ" MUHTELİF GEOMETRİLERİNİN "GELİBOLU MODELİ" GÜÇ-ARTIRIM-YÖNLENDİRME" KANATLARI İLE KOMBİNASYONLARININ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI: 93
I - KANAT-TÜRÜ: ÜÇ KANATLI "SAVONIUS" BENZERİ KANATLAR:(ŞEKİL:3) (Serbest tur Ölçümleri): 93 SONUÇ: (TABLO:2, BÖLÜM:I): 93 YORUM VE DEĞERLENDİRME (TABLO:2, BÖLÜM:1): 94
II - KANAT-TÜRLERİ-KARŞILAŞTIRMALARI: 94 (İki Farklı Geometride Kanatların Karşılaştırılması) (Güç Üretim Şartlarında) (Şekil:5): 94 SONUÇ: (TABLO:2, BÖLÜM:II): 95 YORUM VE DEĞERLENDİRME: (TABLO:2, BÖLÜM: II): 95

III - KANAT-TÜRÜ: YEDİ (7) KANATLI	
"SAVONIUS-BENZERİ" (Şekil:5):	96
SONUÇ: (TABLO:2, BÖLÜM:3):	96
YORUM VE DEĞERLENDİRME: (TABLO:2, BÖLÜM:3):	96
IV - KANAT-TÜRÜ: BEŞ (5) KANATLI "SAVONIUS-BENZERİ"	
ÇİFT-KEPÇELİ KANATLAR + GELİBOLU	
KOMBİNASYONU İLE: (ŞEKİL:5):	98
SONUÇ: (TABLO:2, BÖLÜM:IV):	99
YORUM VE DEĞERLENDİRME: (TABLO:2, BÖLÜM:IV):	99

TABLO:3 "GELİBOLU MODELİ" RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE	
GÜÇ-ARTIRIM-YÖNLENDİRME" KANATLARININ,	
"SAVONIUS-BENZERİ", ALTILI (6'LI)	
KANATLAR ÜZERİNDEKİ OLUMLU KATKISI:	101
KARŞILAŞTIRMALI DURUM TESPİTİ SONUÇLARI:	101
TABLO:3 İLE İLGİLİ NOTLAR:	103
SONUÇ: (TABLO:3):	103
YORUM VE DEĞERLENDİRME: (TABLO:3):	104

TABLO:4 "GELİBOLU MODELİ" RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE	
"GÜÇ-ARTIRIM-YÖNELTME-KANATLARININ",	
"DARRIEUS TÜRÜ" KANATLAR ÜZERİNDEKİ	
OLUMLU KATKISI:	105
DENEY SONUÇLARI: (TABLO:4 İLE İLGİLİ):	106
KARŞILAŞTIRMALI SONUÇLAR: (TABLO:4):	106
YORUM VE DEĞERLENDİRME: (TABLO:4):	107

DİYAGRAMLAR:

DİYAGRAM: 1 (TABLO: 1 İLE İLGİLİ)	108
DİYAGRAM: 2 (TABLO: 2 ; BÖLÜM: 1,2,3,4)	109
DİYAGRAM: 4(TABLO: 3; GÜÇ EĞRİLERİ)	110
DİYAGRAM: 4 (TABLO: 4 İLE İLGİLİ)	111

KULLANILAN SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ:

Sembol-Kısaltma: Tanım ve Açıklamalar:

D	"DRAG" etkisi (süpürme, itme)
L	"LIFT" etkisi (çekme, kaldırma, emme)
p	pozitif güç (olumlu)
n	negatif güç (olumsuz)
α	(alfa açısı), "Merkez açısı"=merkeze yönelen açı
ρ	(ro), havanın özgül ağırlığı (=1,22 kg/m ³)
K	Kapasite faktörü (tanım metnin içinde)
v	rüzgar hızı
vo	açısal hız
m	havanın kütlesi
W	(Watt) (102,04 gr.kuvvet\msaniye) (=1 joule)
mlsn	metre\msaniye
km/s	kilometre\saat
Wm²	Watt\metrekare
HP	Horse power (Beygir gücü)(~ 770 W)
Dp	Olumlu süpüren (iten) etki
Lp	Olumlu çeken etki
Dn	Olumsuz süpüren (frenleten) etki
Ln	Olumsuz çeken (durduran) etki
AWT	Augmented Wind Turbines)(Güç-Artırım-Kanatlı)
Q	Türbin milini döndüren güç (Tork)
R	(Radius)(=Türbin tarama kesiti yarı-çapı)
T	Dönme momenti
na	Denenmedi; bilgi yok.

ABSTRACT:

This project involves the research on the efficiency of "Gelibolu Modeli", which is a new model of wind turbine and the parameters affecting this efficiency.

The main shaft in wind turbines with vertical shafts, rotates with the torque power (Q), which is the difference between the combination of positive (p) (=rotating) and negative (n) (=stopping), (Drag) (=D) and (Lift) (=L) powers:

$$(D_p+L_p)-(D_n+L_n)=Q_1 \quad (1)$$

But in "Gelibolu Modeli" wind turbines, negative powers are conveyed to the sides and back of the turbine by means of leading wings (=augmentation-direction wings).

This not only eliminates the stopping effects of the negative powers, but also adds to them by creating a vacuum behind the turbine which constitutes a lifting power.

In other words, the "Gelibolu Modeli" wind turbine gets rid of the functional and structural disadvantages of vertical shafted wind turbines by changing them into additional advantages:

$$((D_p+L_{p1})+(L_{p2}))-D_n=Q_2 \quad (2)$$

$$Q_2 > Q_1 \quad (3)$$

This power increasing feature of the new turbine has been attested by experiment and test reports: This means the "Gelibolu Modeli" wind turbines can be manufactured compact sizes still producing the same amount of power as the other much larger wind turbines.

Secondly, the new turbine automatically adjusts its direction to the wind by means of its "direction and augmentation wings", thus eliminating negative powers and increasing positive powers and resulting in approximately a three or four times more (RPM) and/or power.

The "Gelibolu Modeli" wind turbine has also been proven to produce a few times more power than the "Darrieus type" wind turbines, which we come across in literature and generally exist in application.

Research has shown that parameters that affect efficiency are of two kinds:

a) obligatory parameters (those of augmentation- direction wings)

b) modifiable parameters (those of power wings)

Throughout this report appropriate information has given about all these parameters.

ÖZ :

Proje, "Gelibolu Modeli" rüzgar türbinlerinin, verimliliğini etkileyen verimlilik parametrelerinin araştırılmasını kapsamaktadır.

"Gelibolu Modeli" rüzgar türbinlerinin üretilen fiziksel modelleri üzerinde, verimlilik parametrelerini belirleyecek test ve analizlerinin yapılması bu projede amaçlanmıştır.

Bu proje konusu rüzgar türbini tasarımı ile, verimde yüzde birkaç puanlık artış imkanı elde edilebilmesi dahi, dünyada rüzgar enerjisi teknolojisi için önemli bir adım sayılabilir.

Nitekim, bu tür projelerle sağlanması beklenen teknik gelişmeler, dünyada mevcut rüzgar türbin performanslarının artırılması ve türbin üretim teknolojisi açısından teknik önemler ve enerjinin sağlayacağı milli gelir ve istihdam olanakları açısından da ulusal ve uluslararası düzeyde ekonomik önemler taşımaktadır.

"Gelibolu Modeli", diğer dikey milli rüzgar türbinlerinde mevcut bir teknik eksikliği gidermektedir:

Dikey milli rüzgar türbinlerinde türbinin ana mili, türbin kanatlarını süpürerek iten (drag) ve vakumla çeken (lift) etkilerinin oluşturduğu, pozitif (döndüren) ve negatif (durduran) güçlerin birbirinden çıkarılması (farkı) ile oluşan ve bunların bileşkesi olan tork gücü ile dönmektedir. (Şekil:1) Bu denge basitçe aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$(D_p + L_p) - (D_n + L_n) = Q_1 \quad [1]$$

"Gelibolu Modeli" rüzgar türbinlerinde ise, "Güç-Artırım-Yöneltme-Kanatlarının" (GAYK) varlığı nedeni ile, (D_n) ve (L_n) olumsuz kuvvetleri türbinin güç kanatlarını frenletememekte, bu güçler türbinin arka ve yan tarafına aktarılmakta ve böylece olumsuz etkileri türbine girememektedir. Ayrıca, türbinin arka tarafındaki GAYK kanadın arkasında oluşan vakum etkisi, dolaylı olarak pozitif bölgenin arkasına intikal ederek bu bölgede olumlu ek bir çekme (lift) gücüne dönüşmekte, ana mile bağlı güç kanatlarının arkalarından çekilerek daha da güçlü dönmesini sağlamaktadır.

Özetle, "Gelibolu Modeli" rüzgar türbini, dikey milli rüzgar türbinlerinin fonksiyonel ve yapısal dezavantajlarını yok eden ve bu olumsuz kuvveti, pozitif kuvvetlere katan bu özelliği ile, güç denge formülünü aşağıdaki olumlu şekle dönüştürmektedir:

$$[(D_p + L_{p1}) + (L_{p2})] - D_n = Q_2 \quad [2]$$

$$Q_2 > Q_1 \quad [3]$$

Görüldüğü şekilde, önceki güç dengesi (Q_1), yeni oluşan güç dengesinden (Q_2), küçük kalmaktadır.

Bu güç artırma özelliği, yapılan deney ve testlerde belirgin olarak raporlarla tespit edilmiştir.

"Gelibolu Modeli Rüzgar Türbini", fonksiyonel açıdan "giromill, cyclogiro" türü rüzgar türbinlerinin (**Şekil:3**) mekanik yönlendirme problemlerini de ortadan kaldırmakta, böylece verim artma ve türbinin mekanik yapısında üretim kararlılığı sağlanmaktadır:

"Gelibolu Modeli Rüzgar Türbininin", "Güç-Artırım-Yönlendirme-Kanatları" (GAYK), herhangi bir yönlendirme mekanizmasına (örneğin kam miline) gerek kalmaksızın, rüzgara karşı yön tayinini, rüzgar gücü ile kendiliğinden yönelerek yapabilmektedir.

İncelenen Verimlilik Parametreleri: Proje kapsamı araştırmalar sonucu, verimliliği etkileyen parametreler iki gruba ayrılmış bulunmaktadır:

a) Zorunlu parametreler: ("Güç-Artırım-Yönlendirme-Kanatları" (GAYK) ile ilgili parametreler):

Bu parametreler, sezgisel yaklaşıma dayanan bir buluşla ve yıllar süren deneme-sınama-yanılma çalışmaları sonucunda oluşan son tasarımlarıyla projeye veri olarak katılmış bulunmaktadır. Bunların değiştirilmesi durumunda verimlilik olumsuz yönde etkilenebilmektedir.

b) Değiştirilebilen parametreler: (Güç kanatları ile ilgili parametreler):

Güç kanatlarının geometrik tasarımı, şekli, sayısı, merkez açıları, hücum açıları ile ilgili olan bu parametreler ve bunlarla ilgili detaylı açıklamalar, raporun "parametrelerle" ilgili ileri bölümlerinde verilmektedir.

Anahtar Kelimeler:

Dikey milli rüzgar türbinleri; "Güç-Artırım Kanatlı" Rüzgar Türbinleri; "Güç Artırım-Yöneltme-Kanatlı" (=GAYK) rüzgar türbinleri; rüzgar türbinlerinin verimlilik parametreleri; "Gelibolu Modeli" rüzgar türbini.

Vertical axis wind turbines; Augmented Wind Turbines (=AWT); "Augmentation-Directioning Wing" (=ADWT) wind turbines ; efficiency parameters in wind turbines; "Gelibolu Model" wind turbine.

I- METİN:

A. GİRİŞ:

1. Proje konusu, "Gelibolu Modeli" Rüzgar Türbinlerinin teknik verimlilik parametrelerinin araştırılmasıdır.

2. Projenin amacı: Projede, söz konusu rüzgar türbinlerinin, verimlilik parametrelerinin, türbinin teknik verimliliği üzerindeki etkilerinin, model, test ve analiz çalışmaları ile karşılaştırmalı olarak belirlenmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

3. Metod: "Gelibolu Modeli" Rüzgar Türbinlerinin proje kapsamında uygulama modellerinin üretilmesi gerekmiştir.

Bu modeller, küçültme faktörleri dikkate alınarak üretilmiştir. Modeller üzerinde verimlilik ile ilgili test ve analizler, öğretim üyelerince veya onların destek ve gözetimlerinde, sistematik şekilde yapılmıştır. Proje kapsamında, ayrıca, bulunan sonuçlar, literatürde bulunabilen diğer rüzgar türbin tipleri ile metodik olarak karşılaştırılmıştır.

4. Literatür Bilgileri: Rüzgar enerjisi ve rüzgar türbinleri ile ilgili literatür, tarihte yeralan eski uygulamaların yanında, ileri teknoloji ürünü rüzgar türbinlerini de kapsamaktadır. Ancak bu teknolojinin yine de henüz bakir bulunduğu, bu nedenle yeni gelişmelere açık olduğu söylenebilir.

Rüzgar enerjisinden yararlanarak enerji üreten güç makinaları olan rüzgar türbinlerinde, türbin kanatlarının ana milinin (rotor ekseninin) yeryüzüne karşı konumuna göre, belli başlı iki tür ile ilgili uygulamalar literatürde yer almaktadır:

a) Yatay milli rüzgar türbinleri.

b) Dikey milli rüzgar türbinleri.

Bu klasik sınıflandırma içerisinde yer alan türbinlerden, **yatay milli rüzgar türbinlerinin** başlıcaları şunlardır:

Modern pervaneli türbinler (2 veya 3 kanatlı), Çiftlik tipi (Çoklu kanatlı, tarımsal su çıkarma veya lokal elektrik üretimi amaçlı), Hollanda tipi (4 kanatlı) ve diğer tür yatay milli türbinler (tek kanatlı vs.) **(Şekil:8)**

Görüldüğü gibi, klasik sınıflandırmada yatay milli rüzgar türbinleri, bir kısmı iyice yaygınlaşmış olan, iyi bilinen birkaç türbin türü ile sınırlı bulunmaktadır. Modern pervaneli türbinler, bugün uygulamada en çok karşılaşılan ve halen en iyi geliştirilmiş bulunan türbinlerdir.

BETZ Limiti olarak bilinen, türbinlerin maksimum verimlilik sınırı (**% 59,26**) ile ilgili kuram da, bu tür yatay milli rüzgar türbinlerinin hava akımları karşısındaki teorik konumları örnek olarak verilerek öngörülmüş bulunmaktadır.

Dikey milli türbinler ise, ana rotor eksenini yeryüzüne dik olarak yataklanmış ve değişik türlerde güç kanatlarına sahip bulunan rüzgar türbinleridir: Bu türbinlerin bellibaşlı klasik türleri, 1929 -1931 yıllarında değişik patentleri alınan "**Savonius**" ve 1931 yılında patenti alınan "**Darrieus**" türbinleridir. **(Şekil:9)**

Bu iki tür türbinin zaman içinde muhtelif kombinasyonları ve geliştirme modelleri bulunmuş ve pratikte uygulanmıştır.

Bunlardan başka "**Giromill (=cyclogiro)**" adı verilen bir rüzgar türbini tipi de mevcuttur (**Şekil:3, 9**). Giromill türbini, görünüm olarak "Darrieus" tipi türbinlere benzemekle beraber, onun aksine bu türbinde kanat açıları da değiştirilebilmektedir.

Dikey milli rüzgar türbinleri arasında sayılabilecek olan diğer bir tür rüzgar türbini ise, "**Tornado**" adı verilen tipteki rüzgar türbinidir. Burada, özellikle "Gelibolu Modeli Rüzgar Türbinlerinde" oluşan ek vakum gücünün önemini belirten ve projemiz açısından, önemli bir örnek olması bakımından bu türbinin çalışma prensibi de açıklanmaya çalışılacaktır:

Tornado tipi türbin, dikey kule görünümünde silindirik ve sabit bir yapıya sahip olup, üzerinde çevresel olarak bazı hava kanalları ve hava kapakları yer almaktadır.

Bu kapaklar rüzgar yönlerine göre uygun şekilde açılarak veya kapatılarak, silindirik türbinin arka cephesinde ve üstünde bir vakum gücü oluşması sağlanmaktadır.

Bu emiş gücü ise, türbin içinde, türbinin dibindeki yarıklardan türbinin tepesine doğru kuvvetli bir hava akımı sağlamaktadır.

Bu yükselen hava akımının önüne yerleştirilen dik milli pervane kanatları hızla ve güçlü şekilde dönerek enerji üretmektedir.

Dikey milli rüzgar türbinleri değişik aerodinamik ve mekanik özelliklere sahip bulunmaları nedeniyle değişik şekillerde sınıflandırılabilirler. Bu şekilde birçok değişik tipte dik milli rüzgar türbin türlerinin mevcut olduğu görülmekte ve dik milli rüzgar türbinleri, yeni geliştirmelere de açık yapısal özellikler göstermektedirler.

Bu alanda da, yatay milli rüzgar türbinlerinde olduğu gibi, araştırma, buluş, geliştirme faaliyetlerinin artması ile zamanla daha yüksek verimli rüzgar türbinlerinin ortaya çıkabileceği öngörülmektedir.

Rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması ayrıca, türbin kanatlarının hava akımlarının güçleri karşısında etkilenme özellikleri açısından da verilmektedir: Bu etkiler başlıca, sürüklenme, (=süpürme), (=drag) etkisi ve kaldırma (=çekme, emme), (=lift) etkileri olarak tanımlanabilecek etkilerdir. (Uyar, 1985) (Şekil:1, 2)

Geniş yüzeyli kepçe kanatlı, süpürme (=sürüklenme), (=drag) etkisine sahip, (=Savonius ve Savonius benzeri) rüzgar türbin türlerinde, dönme momenti (T) (=kanatları döndüren itme kuvveti), "Darrieus" türü kanatlara oranla karşılaştırmalı olarak büyüktür. Buna rağmen, kanadın aerodinamik yapısının kısıtlılığı nedeniyle, kanadın açılma hızı (v_o) düşük kalmaktadır.

Bu nedenle de ana milli döndüren kuvvet (Q), sınırlı kalmaktadır:

$$Q = (v_o) \times T \quad [4]$$

Uygun aerodinamik kesitli (uçak kanadı kesitine benzer kesitli) kanatlara sahip olan (Darrieus; Giromill gibi) türbin tipleri ise, kaldırma (=çekme), (=lift) etkisi yüksek türbinlerdendir.

Bunlarda kanatların döndürme momenti (T), daha küçük olmakla beraber, kanatların aerodinamik yapısının uygunluğu nedeniyle, kanat uçları rüzgar hızından birçok kat daha yüksek hızda dönebilmektedir. Bu yüksek hız ise, kanat uçlarının yüksek açısal hıza (v_o) sahip olduğu anlamındadır.

Bu türbinler, süpürme (=sürüklenme), (=drag) etkili diğer türbinlere (yani döndürme momenti yüksek, fakat düşük turlu türbinlere) oranla eşdeğer veya daha yüksek tork güçlerine (Q) erişebilmektedir.

Bu durumu aşağıda bir tablo üzerinde karşılaştırmalı olarak gösterebilmek mümkündür:

Türbinin Özelliği	Dönme Gücü	Dönme Momenti	Açısal Hız:
DRAG etkili	Q=	T	v_o
LIFT etkili :	Q=	t	V_o

$$T > t \quad ; \quad V_o > v_o \quad [5]$$

$$Q = (T \times v_o) = (t \times V_o) \quad [6]$$

Uygulamada, genellikle "lift" (=çekme, kaldırma) etkili kanatlara sahip rüzgar türbinlerinde, "kanat-uçlarının-hızları" (=tip-speed-ratio, TSR) oranının, ilgili türbin geometrisinin optimum değerlerine kadar artırılabilmesi mümkün olabilmektedir. Bu nedenle, bu türbinlerin güçleri ve verimlilikleri, sürüklenme (=süpürme; drag) etkili kanatlara sahip türbinlere oranla daha yüksek değerlerde elde edilmektedir:

Bu durumda, örneğin, **Darrieus** tipi "lift" (=çekme, kaldırma) etkili türbinler, **Savonius** tipi "drag" (=süpürme, sürüklenme) etkili türbinlerden, karşılaştırılmalı olarak daha verimli olmaktadır.

Ancak, "lift" (=kaldırma) etkili bu türbinlerin önemli bir sakıncası, rüzgar karşısında kendiliklerinden, ilk-dönme (**cut-in**) hareketine geçememeleri veya çok zor harekete geçebilmeleridir.

Bu sorunun nedeni, türbinin her iki yanında olumlu ve olumsuz rüzgar bölgeleri arasında bulunan kanatlar üzerinde oluşan zıt kuvvet momentlerinin, birbirlerini kısmen gidermesi, toplam bileşke güçlerini azaltmasıdır. Böylece başlangıçta, ancak küçük bir kuvvet farkı olarak oluşan güç (t), türbinin ilk hareket atalet momentini (=türbin durgunluğunu) yenmeye, dolayısıyla kanatlara ilk hareketi (**cut-in**) vermeye yetmemektedir.

Bu sorunun önlenmesi için genellikle, bu türbinler, daha dar çaplı "sürüklenme" (=süpürme;drag) özelliğine sahip "Savonius" türü bir türbinle merkezde kombine edilirler. (**Şekil:8**)

Böylelikle oluşan komple "karma" türbin, düşük rüzgar hızlarında da ilk-harekete (**cut-in**) geçebilme özelliği kazanabilmektedir.

Ancak bu kanat katkısı sadece ilk hız kazandırmakta, türbinin genel veriminin artması açısından etkisi sınırlı kalmaktadır. Diğer bir ifade ile bu "karma" türbinin esas verimi, kepçe türü "Savonius" kanatlardan değil, yüksek kanat uç hızıyla dönebilen ve uçak kanadına benzer kesite sahip (genellikle NACA profil no.larına sahip) "Darrieus" tipi kanatlardan sağlanmaktadır. (**Şekil:7**)

5. Eksiklik gideren aerodinamik çözümler:

"Gelibolu Modeli" rüzgar türbinlerinde dikey milli rüzgar türbinlerinde mevcut bir teknik eksiklik giderilmiş olmaktadır: "Gelibolu Modeli" rüzgar türbinleri "güç-artırma-kanatlarına" sahip bulunması yanında, bu kanatlarla aynı zamanda yönelme de yapabilme özelliğinde olduğundan, türündeki dikey milli rüzgar türbinlerinin en önemli eksikliklerini gideren aerodinamik çözümler getirmektedir.

"Gelibolu Modeli" rüzgar türbinleri, bu yönden aşağıda belirtilen türbinlere oranla belirgin ek avantajlar sağlamaktadır:

Bu türbinler şunlardır:

- a) Güç artırıcı kanatları bulunan (**Augmented wind turbines**),(=AWT) dikey milli türbinler,
- b) Güç artırıcı kanatları bulunmayan, fakat kanat açıları yönlendirilebilen, (**Cyclogiro**) tipi dikey milli türbinler,
- c) Güç artırım etkisine sahip olamayan (**Darrieus**) tipi dikey milli türbinler.

Yukarıda öngörülen bilgilerin ışığında, dik milli türbinler arasında, belki yeni bir sınıflandırma olarak, "Güç-Artırım = augmentation" kanatlarının mevcut olup olmadığına göre bir sınıflandırma şekli aşağıdaki şekilde önerilebilir:

- * Güç artırım (augmentation) Kanatlarına sahip dik milli rüzgar türbinlerinde:

- i) Kendiliğinden yönelme yapamayan güç artırım kanatlı dik milli türbinler (Örnek: Kingston Polytechnic türbini, AWT) **(EK:3) (Şekil:9)**
- ii) Kendiliğinden yönelme de yapabilen güç artırım kanatlı dik milli türbinler (Örnek: Gelibolu Modeli Rüzgar Türbini),

olarak ikili bir sınıflandırma yapılabilir:(Şekil:4, 6, 9)

Eksiklik gideren özelliklerin diğer bir önemi ise, fonksiyonel açıdan "giromill, cyclogiro" türü rüzgar türbinlerinin, **(Şekil:3)** mekanik yöneltme probleminin tamamen ortadan kaldırılabilmesi, bununla birlikte verimde belirgin artmanın sağlanmasıdır:

"Gelibolu Modeli" rüzgar türbininde yer alan "Güç-Artırım- Yöneltme-Kanatları" (=GAYK), herhangi bir yöneltme mekanizmasına gerek kalmaksızın, yön tayinini rüzgara karşı kendiliğinden yapabilmektedir. Bu fonksiyon, GAYK kanatların sahip olduğu, özel geometrik tasarımın aerodinamik özelliği nedeniyle, kendiliğinden ve rüzgar tarafından gerçekleştirilmektedir.

Bu suretle, "Gelibolu Modeli" rüzgar türbinine rüzgarın sadece olumlu (döndüren) kuvvetleri kanalize edilmekte, durduran (olumsuz) kuvvetleri ise toplam gücü azaltacak yerde, GAYK kanatlarla kendiliğinden olumluya dönüştürülerek, olumlu tork gücüne eklenmekte ve türbinin tur sayılarını ve gücünü birkaç katına kadar artırabilmektedir.

Oysa, laboratuvar testlerinde dünyada en yüksek verimli olarak (%60), tespit edilmiş bulunan, "Cyclogiro, giromill" türü rüzgar türbinlerinde, doğrusal ve dik durumda bulunan "Darrieus tipi" kanatlar, ancak mekanik bir düzenleme ile ve

ana şafta bağlı bir "kam-mili" mekanizması ile, her turda rüzgara göre daima yön tayini yaptırılarak mekanik olarak yönlendirilmektedir:

Böylece "giromill" türü türbin kanatları olumlu bölgede iken (**Şekil:2**), yani kanatlar rüzgar tarafından doğru yönde itilerek döndürülürken, -bir anlamda- "hedef büyültmekte", fakat diğer olumsuz bölgede, yani kanatlar milin diğer tarafından ilerleyerek rüzgara karşı giderken, -bir anlamda- "hedef küçültmektedir". Bu mekanizma ise döndüren kuvvetleri artırarak verimi yükseltmektedir. (**Şekil:3**)
(**EK:4**)

"Giromill, =cyclogiro" türü rüzgar türbinlerinin verim yönünden bu üstün başarısına rağmen, söz konusu mekanik yöneltme gereğinin zorluğu ile, yol açtığı mekanik sorunlar ve imalat güçlükleri nedeniyle, ticari olarak seri üretime girildiği tespit edilememiştir. "Giromill, cyclogiro" türü rüzgar türbinlerinin, bu çok yüksek teknik verimliliğine (% 60) rağmen ekonomik kullanımdan uzak kalması, rüzgar enerjisi teknolojisi ve dünya ekonomisi için kayıptır: "Gelibolu Modeli" rüzgar türbini, "Giromill, cyclogiro" türü rüzgar türbinlerinin bu dezavantajını ortadan kaldırmaktadır. (Şekil:4)

"Gelibolu Modeli" rüzgar türbini, mekanik ayarlama ve yön tayini gerekmeksizin, "Darrieus türü" rüzgar türbinleri ile kombine edildiğinde, bu türbinleri -bir nevi- "giromill, cyclogiro" türü rüzgar türbinlerine dönüştürmekte, daha düşük "Uç hızı oranı = tip speed ratio" ile, daha yüksek tur sayılarına ve güç artışına erişmektedir. (**Şekil:9**)

"Gelibolu Modeli" rüzgar türbinlerinin, literatürde yeralan ve dünya tatbikatında rastlanan "Darrieus türü" rüzgar türbinlerinin ve "kepçe kesitli" kanatlara sahip "Savonius türü" rüzgar türbinlerinin, tur sayılarını ve güçlerini de "bir kaç katı"

oranında artırdığı, yapılan testler ve durum tespit raporları ile belirgin olarak ortaya koyulmuştur. (**Şekil:5, 9**) (**Tablo:1, 2**)

İncelenen Verimlilik Parametreleri (Özet)

"Gelibolu Modeli" rüzgar türbinleri, yaklaşık oniki yıldır üzerinde çalışılan buluş mahiyetinde orijinal bir geometrik tasarıma sahip bir rüzgar türbini türüdür. (**Şener, 1990**),

Bu tasarımın orijinalliğini, türbinin dışında yer alan "Yöneltme-Güç Artırma Kanatları" (=GAYK) oluşturmaktadır. (**Şekil:4**)

Dikey milli rüzgar türbin sistemleri yön tayini bakımından, herhangi bir tür yöneltme mekanizmasına genelde ihtiyaç göstermemektedirler. Bu klasik fakat önemli özellik, ilk bakışta, "Yöneltme ve güç artırma kanatlarının" gereksizliği veya önemsizliği yönünde peşin bir yanılığa düşme hatasını getirebilmektedir:

Bu nedenle burada, "Güç-Artırım-Yöneltme-Kanatlarının" fonksiyonlarının ve türbinin toplam verimine katkılarının çok iyi algılanması gerektiği önerilmektedir:

"Güç-Artırım-Yöneltme-Kanatları", hem olumlu (döndüren) rüzgar güçlerinin, kanatlarda dönme yönünde "pozitif bir dönme etkisi" oluşturmaya imkan vermektedir, hem de olumsuz (durduran) rüzgar güçlerinin, içteki güç kanatlarını frenletme, durdurma yönündeki "negatif etkilerine" karşı, bunları iten (drag) ve çeken (lift) olumsuz kuvvetlerinden korumaktadırlar. "GAYK-Kanatlarının" fonksiyonları sadece bu kadarla kalmamaktadır:

Bu kanatlar, aynı zamanda söz edilen olumsuz (durduran) kuvvetlerin, türbinin yanından geçip giderek, türbin arkasında vakum (wake) oluşturması ile, bu defa olumlu ek bir "çekme (lift), emiş gücüne" dönüşmesine yol açmaktadır. Bu ek olumlu kuvvet ise, döndüren kuvvetlere eklenerek, içte dönmekte olan güç kanatlarını, arka taraflarından da çekerek döndüren ek bir vakum gücü oluşturmaktadır. (**Şekil:10**)

Proje kapsamı araştırmalar sonucu, verimliliği etkileyen parametreler iki gruba ayrılmış bulunmaktadır:

a) Zorunlu parametreler (Güç-Artırım-Yönelme Kanatları (=GAYK) ile ilgili parametreler.)

Bu parametreler, başlangıçta sezgisel yaklaşımla bir buluşa dayanmakta, yıllar süren araştırmalar ve denemeler sonucunda geliştirilen "Güç-Artırım-Yönelme-Kanatları" GAYK özel tasarımı, projeye veri olarak katılmış bulunmaktadır.

Tasarımın değiştirilmesi halinde türbin verimi olumsuz yönde etkilenebilmektedir.

b) Değiştirilebilen parametreler : (Güç-üretim kanatları ile ilgili parametreler.)

Bu parametrelerle ilgili detaylı açıklamalar, raporun "parametrelerle" ilgili ileri bölümünde verilmektedir.

6. Ulusal rüzgar enerji potansiyeli ve projenin rüzgar enerji potansiyelinin değerlendirilmesi açısından önemi:

Ülkemizin yararları açısından, ulusal rüzgar enerjisi potansiyelimizin değerlendirilmesinin, sosyo-ekonomik ve stratejik önem ve öncelikler taşıdığı öngörülmektedir.

Proje bu açıdan da alternatif öneriler getirmesi bakımından önem taşımaktadır.

7. Dünya uygulamaları açısından önemi:

Dünyada rüzgar teknolojisinin gelişiminin ve bu daldaki uygulamaların, maalesef belki Türkiye hariç, emsal ülkelerde, hırslı ve dinamik bir yarış içerisinde, çarpıcı bir artış trendi gösterdiği, kurulan ticari rüzgar türbinlerinin, artık 1 - 2 MW'lık dev büyüklüklerde alınıp satılabildiği gözlenmektedir.

Özellikle yatay milli türbinlerde erişilebilen %37.7 gibi yüksek elektriksel performanslar ve bunun da üzerinde olan aerodinamik performans, "BETZ limiti" sınırlarına (%59.26) oldukça yaklaşmış, türbinler büyüdükçe tesis maliyetleri daha da düşmüş, (halen komple anahtar teslimi 1000 \$/KW'ın altında), bununla birlikte beher Kwh elektrik üretim maliyetleri 10 cent/Kwh'ın da altına inmiş olup, bu maliyet 3 -5 cent'lere doğru giderek düşmektedir.

Ülkeler son yıllarda binlerce MW toplam kapasitesinde rüzgar santralleri kurarak, bu alanda hem ulusal, hem de uluslararası düzeyde, ülkelerinin enerji ve sosyo-ekonomik sorunlarının çözümleri için, rüzgar enerjisinden cesur beklentilere girmişlerdir.

Örneğin; Avrupa Birliği, 2030 yılına kadar 100.000 MW rüzgar türbin kurulu gücü oluşturmayı planlamaktadır.(EWEA, 1991).

Ülkelerde son aylarda kurulan yüzlerce MW tutarında rüzgar santralleri bu büyük (Almanya 1994'te toplam 632 MW) projenin tatbik edilmekte olduğunu göstermektedir. Diğer yandan teknik düzeyde, rüzgar türbinlerinin tasarım gelişmeleri kıyasıya bir rekabet ve yoğun bir araştırma ortamı oluşturmaktadır.

Özellikle yatay türbinlerin verimliliklerinde, mevcut teknik verimlerin üzerinde sağlanabilecek yüzde bir kaç puanlık verim artışı başarısı uğrunda, ülkelerin, uluslararası enerji kuruluşlarının hatta firmaların, milyonlarca dolarlık araştırma bütçelerini rahatça harcadıkları, bunun yanında binlerce beyin gücü ve iş gücünü rüzgar türbin üretimlerine tahsis ettikleri gözlenmektedir.

Teknik yönden bu çabaların sonunda sağlanan ve halen daha da ilerisi beklenen başarılar ve çalışmalar, bu dalda dünya pazar payından bu ülkeler lehine, dış ticaret hacimlerinin şaşırtıcı şekilde genişlemesini sağlamış bulunmaktadır ve bu payları giderek artmaktadır. Danimarka bu örneği 1987'lerde yaşamıştır. Sıra şimdi ABD, Japonya, İngiltere, Almanya'da görünmektedir.

Yukarıdaki açıklamaların ışığında, "Gelibolu Modeli" rüzgar türbininin de, Türkiye için şanslı bir ihracat malı olarak geliştirilebileceği öngörülmektedir. Enerji ihtiyaçlarımızın artan trendi yanında, dış ticaret hacmimiz ve lisans gelirleri olanakları bakımından, ülkemiz bu tür fırsatlara sahip çıkmalıdır.

B- İNCELENEN PARAMETRELER:

1. Genel: Güç-Artırım-Yönelme-Kanatlarının (=GAYK) etkilerinin incelenmesi ve Bulgular:

Yukarı bölümlerde belirtildiği gibi, dikey mile sahip rüzgar türbinleri, genel olarak yön tayini gereği olmaksızın çalışmaktadırlar. Ancak kanatlar, daima, "döndüren" ve "frenleyen" kuvvetler arasında oluşan bileşke sonucu, "olumlu döndürme kuvveti" farkı sebebiyle dönerler.

Dikey milli türbinlerde, güç üreten normal kanatların dışına "güç artırma kanatlarının" eklenmesi (augmentation=güç artırımı özelliği kazandırılması) mümkündür. Bu durumda ise aşağıdaki yararlar sağlanır:

- a) **Olumlu yönlendirilme:** Döndüren yöndeki olumlu rüzgar gücü, türbinin güç kanatlarını döndürmek üzere doğrudan doğruya sistem içerisine kanalize edilmiş olur.
- b) **Olumsuz güçlerin siperlenmesi:** Durdurma yönündeki olumsuz rüzgar gücü türbin sisteminin dışına kanalize edilmiş olur. Bunun nedeni dıştaki kanatların, güç oluşturan kanatları siperlemesi ve frenleme etkisinin önemli kısmını yok etmesidir.
- c) **Ek vakum (wake) gücü kazanma:** Türbinin güç artırma kanatlarının hacimsel varlığı, hava akımlarını, türbinin üstüne ve yanlarına doğru saptırır. Bu sapma, türbinin projeksiyon kesitine yönelen ve türbinin yanından geçen hava akımlarının yönlerinin de saptırılmasına yol açar. Böylece türbinin arkasında ek bir vakum (wake) gücü oluşturur. Bu güç ise güç kanatlarının arkalarından

bu vakumla emilerek, dönme güçlerinin artmasında olumlu ek bir katkı sağlamaktadır.

2. Güç Artırma Kanatlarının sorunları: Bu olumlu etkilere karşılık, güç artırıcı kanatlar şu zorluk ve mahzurları da oluştururlar:

a) Yönelmenin gerekliliği: Güç artırıcı kanatlar hava akımlarının geliş yönüne karşı muhakkak kendiliğinden duyarlı veya sonradan ayarlanabilir olmalıdırlar. Böylece her rüzgar yönü için, olumlu (döndürücü) akımlara yol vermeli, olumsuz(durdurucu) hava akımlarını engellemelidir.

Bunun sağlanması, güç artırıcı kanatların pozisyonlarının her yöne (360°) değiştirilebilmesini ve bu açısal ayarlamayı sağlayacak ek teçhizatın da sisteme eklenmesini gerektirir.

"Gelibolu Modeli" ise, gerekli yönelme özelliğini kendiliğinden sağlamaktadır.

b) Konstrüksiyon güçlükleri: Türbin güçleri arttıkça, türbin konstrüksiyonu da büyüyeceğinden, kumanda ve yönelme sistemleri ağırlaşır ve karmaşıklaşır. Bu ise pratik uygulanmaları zorlaştırır, hatta imkansız kılabilir.

"Gelibolu Modeli", söz konusu yönelme mekanizmaları gerektirmemesi yönünden de avantajlı ve pratik bir tasarım durumundadır.

c) Yönelmenin güçlükleri: Türbin gücü ile beraber yüksekliği de arttıkça, rüzgarın farklı yönlerden gelme ihtimali de artacağından türbini döndüren ve frenleyen akımların ayırtedilebilmesi olanağı azalır; dolayısı ile türbin gücü de

azalır. Buna çözüm getirebilecek yöneltme mekanizmaları ise, maliyeti ve ağırlığı artırır, pratik uygulamaları zorlaştırır.

"Gelibolu Modeli" ise, kendiliğinden, anında ve kararlı yönelmesi ile bu güçlüğü de basit ve kesin aerodinamik bir çözüm getirmektedir.

3. "Gelibolu Modeli" rüzgar türbinlerinde verimliliği etkileyen parametreler:

a) Genel: Önceki maddede incelenen "güç-artırım- kanatlarının" faydaları, "Gelibolu Modeli" rüzgar türbinleri için de aynen geçerlidir. Özel profile sahip bulunan aerodinamik yapılı "güç artırım ve yönlendirme kanatları", bu türbinlere ayrıca, aşağıda belirtilen ek avantajları da sağlamaktadır:

i) Türbin, olumlu güçleri olumsuz güçlerden tam ayırırken, rüzgara karşı da tam bir yönlenme sağlar;

ii) olumsuz güçleri olumsuz bölge üzerinden de kısmen (yaklaşık %30) türbin içine saptırarak, olumlu güç haline dönüştürür ve bu hava akımlarını da sisteme kanalize eder. (Tepe etkisi); (Sekil:10)

iii) olumsuz güçlerin, sistemin üstüne ve yanlarına kesiksiz, kararlı ve yoğun şekilde saptırılmasına ve sonuçta, türbinin arkasında olumlu bir vakum (wake) gücü haline dönüşmesine imkan sağlar.

b) (Güç-artırım-yönlendirme-kanatlarında) verimlilik parametreleri:

i) Güç artırma kanadı kesitini oluşturan özel profil.

- ii) Güç artırma kanatlarının 60'ar derecelik yerleşim prensibi: (Merkeze göre 120°'lik tam simetri)

c) Verimlilik parametreleri: (Güç üreten kanatlarda)

- i) Güç kanatları **kesit profili**.
- ii) Güç kanatlarının, sistem merkezi ile oluşan "**Merkez açıları**".

d) Parametrelerin irdelenmesinde izlenen yöntem:

Genel olarak, mevcut olabilecek parametrelerden, boyutsuz parametreler, benzeşim metodu ile algılanmaya çalışılarak ayırma aşamasına girilmiştir.

Bu nedenle "boyutlu" olarak tanımlanan ve kısıtlandırılabilen parametreler ayıklanmıştır. Bu çalışmada boyutsal analiz ve taraması yapılmıştır. Boyutlu parametreler ayıklanarak, kısıtlı sayıda boyutsuz parametreye indirgenmiştir. Kısıtlı sayıya indirgenen bu parametreler de kendi aralarında ikiye ayrılmaktadır:

- i) "Güç-Artırım-Yöneltme-Kanatları"ndaki parametreler.
- ii) "Güç-üreten-Kanatlardaki" verimlilik parametreleri.

Çalışmalarımızda, tüm verimlilik parametreleri üzerinde,

- i) değişen,
- ii) sabit tutulan parametreler olarak, aşama aşama sistemli ve metodlu deneyler planlanarak, bunlar öğretim üyeleri gözetimi, destek ve bilgisi içerisinde gerçekleştirilmiştir.

II- GELİŞMELER:

A- ÇALIŞMAMIZIN DAYANDIĞI TEMEL BİLGİLER:

Rüzgar enerjisi, alternatif enerji kaynaklarının en önemlilerinden birisidir. Rüzgarın gücü, akmakta olan hava kütesinin hızının küpü ile orantılı olarak artmaktadır.

Rüzgarın gücü, kinetik enerji formülüne göre, türbinden geçmekte olan hava kütesinin (**m**) hızının (**v**) küpü ile orantılıdır.

Hız arttıkça rüzgarın gücü, rüzgarın hızının küpü oranında artmaktadır.

1. Türbinlerle ilgili sınıflandırmalar:

Literatür, çok eski tarihli rüzgar türbini uygulamalarının yanında, son yılların ileri teknoloji ürünü olan türbinleri de kapsamaktadır. Ancak rüzgar teknolojisinin henüz bakir olduğu, yeni gelişmelere açık bulunduğu anlaşılmaktadır.

A. Yatay mile sahip-pervaneli türbin tipleri: (Şekil:8)

- a) Modern pervaneli** (2 veya 3 kanatlı),
- b) Amerika-çiftlik** tipi (çoklu kanatlı),
- c) Hollanda** tipi (4 kanatlı),
- d) Diğer** yatay milli türbinler (Dengeli tek kanatlı; vs.)

B. Dikey mile sahip rüzgar türbin tipleri: (Şekil:9)

- a) Klemin (1925)** (Kepçe türü; özel "S" kesitli),
- b) Savonius (1931)** (Kepçe türü, özel "Kesik-S" kesitli),
- c) Darrieus (1931)** (Uçak kanadı kesitli),
- d) Darrieus-tipi elips veya dikey, NACA** profilli kanatlar),
- e) Giromill (=Cyclogiro) tipi** (Kanat hücum açısı mekanik olarak rüzgara göre ayarlanan, NACA profil kesitli kanatlar),
- f) Güç artırıcı (Augmented) kanatları olan:**
 - i- Kendinden yönelmesiz, (Kingston polytechnic), (AWT), (EK:3)**
 - ii- Kendinden yönelmeli, ("Gelibolu") (Şekil:4)**

Proje çalışmalarımızda, türbinlerin hava akımları karşısındaki durumları ve bunların hava akımları üzerinde oluşturdukları etkileri ile ilgili olarak yeni bir tür sınıflandırmanın öngörülebileceği görüşü ortaya çıkmıştır:

Çalışmalarımızın temelinde mevcut literatür bilgileri esas olarak alınmış olmakla beraber, projenin gelişimi nedeniyle, rüzgar türbinlerinin **aşağıda belirtilen değişik bir tasnifi** de öngörülmüş bulunmaktadır:

Bu bakış açısından, rüzgar türbin sistemleri incelendiğinde, rüzgar enerjisinin kullanılabilir enerjiye dönüşümünün, esas itibarıyla iki gruba ayrılacak rüzgar türbin sistemleri ile sağlanmakta olduğu görülmektedir:

- a) Yüzeysel tarama yapan sistemler** (Genellikle yatay milli, pervaneli türbinler: (Şekil:8)

b) Hacimsel tarama yapan sistemler (Genellikle dikey milli, örneğin "S kesitli", "Savonius" veya uçak kanadı "Darrieus" kesitli, elips veya dikey şekilde yerleştirilen kanatlı türbinler: **(Şekil:9)**

Bu tür bir sınıflandırmanın pratik bir yarar getirip getirmeyeceği tartışmaya açıktır. Ancak "hacimsel tarama yapan" dikey milli rüzgar türbinlerinin genellikle türbinin projeksiyon kesitinden daha geniş bir alandan (etki bölgesi), geçmekte olan hava akımlarından, vakum "wake" etkisi nedeniyle etkilenmekte oldukları izlenmekte olduğundan, teorik açıdan böyle bir sınıflandırmanın dikkate alınabileceği öngörülmektedir:

Bu etkinin en belirgin örneği, "Giromill" tipi rüzgar türbinleri ve bu türbinlerin çalışma özelliklerinde görülmektedir. **(Şekil:3)**

Bu nedenle türbin verimliliklerinin hesaplanmasında, hacimsel tarama yapan türbinlerde, türbinin sadece projeksiyon kesitinin esas alınması kuralı yanında, türbinin kütlesi nedeniyle etkilediği hava akımlarının türbinin etrafından geçmekte bulunduğu akım bölgesi kesitinin, "etki bölgesinin". de dikkate alınmasının gerektiği konusundaki önerinin **(Şener, 1986)** tartışılmasına olanak sağlamak üzere konu burada irdelenmeye sunulmaktadır.

2. Türbinlerin verimlilik sınırları:

Yüzeysel tarama yapan rüzgar türbin sistemleri, (kısaca yatay milli pervaneli türbinleri), "**Betz limiti**" olarak bilinen bir verimlilik sınırına (**% 59.26**) tabidirler. Bu limit ile ilgili matematiksel açıklamalar, fiktif silindirik bir bölgeden yatay milli pervaneli bir türbine doğru gelen hava akımlarının varlığı dikkate alınarak

öngörölmüştür: Nitekim, yatay milli olarak çalışan bu sistemlerde pervane, rüzgara karşı yüzeysel bir alanı, (silindir kesiti) (=daire) taramaktadır.

Bu tür sistemlerde "kanat-uç-hızı" (=Tip speed ratio) oranları, rüzgar hızına nazaran arttıkça, verimlilik oranları, giderek bir noktaya kadar yükselebilmekte ancak, yukarıda belirtilen verim oranı ile sınırlı kalmaktadır.

Gerçekten bu türbinlerden en yüksek verim, rüzgar hızının, türbinin arkasında eski hızının 1/3' üne düşürülebilmesine imkan sağlayan türbin kanat tasarımı, kanat sayısı ve kanat tur sayılarına erişilmesi halinde elde edilebilmektedir.

3. Hacimsel tarama yapan sistemlerin durumu: .

Hacimsel tarama yapan sistemlerde (dikey milli, dikey veya elips kanatlı türbinler) türbin, hava akımları karşısında hacimsel bir yapı oluşturmaktadır.

Böylece, türbinin projeksiyon kesitinin dışından geçmekte olan hava akımları da, cismin (türbinin) varlığı nedeni ile saptırılmakta, böylece ön cephede ek basınç ve arka cephede ise vakumdan doğan ek çekme (=lift, wake) etkileri oluşmakta, bunlar da türbinlerin verimliliklerini etkileyebilmektedir. Bu duruma örnek olarak, **özellik gösteren türbinleri sayabiliriz:**

4. Özellik gösteren türbinler:

Nitekim literatürde, "**giromill (cyclogiro)**" olarak bilinen dikey milli ve hacimsel tarama yapan bir tür rüzgar türbininde, verimin %60 olarak tespit edildiği belirtilmektedir.

Bu verim yüzdesinin ise, yukarıda izah edilen ek basınç ve vakum etkilerinden oluştuğu belirtilerek, bu nedenle "**Betz limitini - istisnaen - bir miktar aştığı**" söz konusu literatürde devamla açıklanmaktadır. (**McLaughlin, 1979**)

Yine, **Tornado türbinlerinde** türbin verimleri oldukça yüksek (net aerodinamik verim % 47'nin üzerinde) bulunmaktadır. Bunun nedeninin, türbinin kütlesi tarafından saptırılan hava akımlarının geniş **etki bölgesinde** yol açtığı "**ek-vakum**" etkileri nedeniyle oluştuğu tartışılabilir.

B. ARAŞTIRMANIN DAYANDIĞI VERİLER:

Proje çalışmalarımızda Ankara, İstanbul ve Erzurum'daki Üniversitelerimiz ile ayrıca, Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğünden, çeşitli bilgi, veri temini, kaynak ve imkanlarından yararlanma şeklinde destekler sağlanmıştır.

1. Tarihçe: Bu projenin temel hareket noktası, 12 yıl öncesine kadar inen, rüzgar enerjisinin değerlendirilmesinde yeni tasarıma sahip bir tür rüzgar türbininin oluşturulması konusundaki, araştırma ve buluş çalışmalarımıza dayanmaktadır. 1990 yılı başlarında bu buluş ile ilgili patent işlemleri yapılmıştır.

2. **Türkiye 5. Enerji Kongresi'nde**, 1990 Ekim'inde bir tebliğ ile Ayrıca "Gelibolu Modeli" rüzgar türbini, literatüre tanıtılmıştır. (**Şener, 1990**)

3. **Diğer Kaynaklar:** Proje dolayısıyla, gerekli veriler ve literatür kaynakları yönünden, Üniversitelerimizden, DPT kütüphanesinden, EİE Genel Müdürlüğünden, Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğünden, çalışmalarımızda kullanılan teknik veriler, tasarım bilgileri, malzeme bilgileri derlenmiştir.

4. Teknik Bilgi ve veriler:

a) Rüzgar enerjisi, hava akımlarının kinetik enerjisinden doğmaktadır. Hareket halinde bulunan havanın kütlesi, hızının karesi ile orantılı bir enerji oluşturmaktadır:

$$\text{Enerji} = 1/2 m.v^2 \quad [7]$$

Havanın kütlesi (m), havanın özgül ağırlığı ile, birim zamanda kesit alandan geçmekte olan hava hacminin çarpımıdır. Diğer bir ifade ile, hareket halinde olan hava kütlesi,(havanın özgül ağırlığı (ρ) $\cong 1,2 \text{ kg/m}^3$ olduğundan), her saniye, hareket halindeki hava kütlesinin hızının (v), küpü ile, özgül ağırlığının çarpımının, yarısı kadar bir kinetik enerjiye sahip bulunmaktadır. (**Uyar, 1985**)

$$W = 1/2 \rho v^3 \quad [8]$$

Görüldüğü üzere rüzgar hızı (v), aritmetik dizi ile (hızın nominal "rakamsal" değerine oranla artış) gösterirken, gücün (W), geometrik dizi halinde (hızın küpü ile orantılı) artışına yol açmaktadır:

$$\text{(Güç} = \text{Watt / m}^2 \text{ / saniye)}$$

Örnek olarak, matematiksel değeri (nominal olarak) eşit artan rüzgar hızları karşısında, beher (m^2) yüzeye yönelen rüzgar gücünün artışları aşağıda -ampirik karşılaştırmalarla- gösterilmektedir:

DEĞİŞİK RÜZGAR HIZLARINDA GÜCÜN GEOMETRİK OLARAK ARTIŞI

Rüzgar Hızı (v)	Watt / m^2	NOTLAR
1 m/sn(4 km/s)	0.6 W/m^2	(= Bir mum enerjisinden az)
5 m/sn(18 km/s)	78 W/m^2	(= 2 ad.floresan lamba kadar)
10 m/sn(36 km/s)	625 W/m^2	(= 1 Beygir gücünden az)
15 m/sn(54 km/s)	2100 W/m^2	(= 2 Beygir Gücü/ m^2 'den çok)
20 m/sn(78 km/s)	5000 W/m^2	(= 6 Beygir Gücü/ m^2 'den çok)
25 m/sn(90 km/s)	9700 W/m^2	(=12 Beygir Gücü/ m^2 'den çok)
30 m/sn(108 km/s)	16500 W/m^2	(=21 Beygir Gücü/ m^2 'den çok)

(Daha yüksek hızlar, büyük fırtına, bora, tornado, tayfun gibi aşırı güçlere sahip rüzgarlardır.)

b) Rüzgar türbinlerinde iş gören hava akımları, türbinin kanatlarını iki şekilde etkilemektedir:

i) **iten güçler** (drag= süpürme, etkisi)

ii) **çeken (kaldıran) güçler** (lift= çekme, kaldırma, emme etkisi) (**Şekil:2**)

Genellikle yalnızca (drag=itme) gücüne dayanarak çalışan çoklu kanatlı sistemlerin oldukça verimsiz kaldıkları görülmektedir. Buna mukabil, (lift= emme, çekme, kaldırma) sistemlerinde türbin verimlerinin çok daha yüksek olduğu bilinmektedir. Modern pervaneli (2 veya 3 kanatlı) rüzgar türbinlerinde (lift) etkisinin, (drag) etkisine nazaran onlarca kat fazla olduğu belirlenmiştir.

c) Yatay ve dikey milli türbinler, bu iki etkiden yararlanma bakımından farklı özelliklere sahiptirler:

i) **Yatay milli türbinlerde:** Sadece olumlu güçler kanatları döndürmektedir.

Bunlar:

D (Drag) pozitif = D_p (iterek döndüren olumlu tki)

L (lift) pozitif = L_p (çekerek döndüren olumlu etki)

ii) **Dikey milli türbinlerde:** Yukarıdaki kuvvetlere ek olarak olumsuz bölgede, aşağıda belirtilen frenletici (olumsuz) kuvvetler de sistemin kuvvet dengesine katılmaktadır. (**Şekil:1**)

D (Drag) negatif = D_n (iterek frenleten olumsuz etki)

L (Lift) negatif = L_n (çekerek frenleten olumsuz etki)

Bu durumda sistemin dönmesi için gerekli güç (**Q1**), kabaca, bu iki grup kuvvetin bileşkesinden oluşan net farktan (=döndürme kuvvetinden) oluşmaktadır:

$$\text{Döndürme kuvveti} = Q1 = (D_p + L_n) - (D_n + L_n) \quad [9]$$

Yukarıda belirtilen güç dengesi, yalnızca klasik türdeki **dikey milli** türbin sistemleri için söz konusudur.

d) **Güç-artırım-kanatlarına sahip** dikey milli rüzgar türbinlerinde (augmented wind turbines, AWT) yukarıda belirtilen kuvvet dengesi olumlu (=döndüren) kuvvetler lehine değişerek formül aşağıdaki şekli almaktadır:

$$\text{Döndürme kuvveti} = Q_2 = [(D_p + L_{p1}) + L_{p2}] - D_n \quad [10]$$

Görüldüğü üzere formül çok **önemli bir şekilde** değişmektedir.

Bunun ifade ettiği anlam şudur: Güç artırıcı kanatlara sahip (**AWT** türbinleri gibi), rüzgar türbinlerinde döndürme kuvveti (**Q₂**), bu tür kanatlara sahip bulunmayan türbinlere oranla, döndürme kuvvetleri (**Q₁**) yönünden bariz (belirgin) bir üstünlüğe sahip bulunmaktadır.

$$(Q_2 > Q_1) \quad [11]$$

Bu üstünlük iki nedenle ortaya çıkmaktadır: (**Şekil:9, 12**)

I) Olumsuz hava akımları, (drag=süpürme,) etkisi yönünden siperlenerek, güç kanatlarını geriye doğru süpüren olumsuz etki giderilmiş olmaktadır.

Bununla birlikte olumsuz **D_n** (=Drag negatif) etkisi de, aynı güç- artırım-kanatları tarafından sistemin geri tarafında (arka bölgede) siperlenerek, güç üreten kanatların, arka cephelerinden emilerek frenletilmesi gibi olumsuz (**L_n**) (=lift negatif) etkisi de giderilmektedir.

O halde [9] no.lu denklemin ikinci kısmını teşkil eden (**D_n + L_n**) etkileri önemli miktarda azalmakta ve güç kanatları üzerinde frenletme etkisi yapamaz duruma gelmektedirler.

- ii) Dikey milli türbin sistemlerinin olumsuz (frenleten) bölgesinden, yukarıdaki açıklamalara göre, saparak yönlerini değiştiren hava akımları ise henüz güçlerini kaybetmemiş bulunduğundan, türbinin projeksiyon kesit bölgesinin dışından geçmekte olan hava akımlarının da, bir miktar saptırılmasına yol açmakta, böylece türbinin arka tarafında bir alçak basınç (lift, wake) bölgesi oluşturmaktadır.

Bu emme gücü ise, olumsuz bir gücün oluşturduğu olumlu bir çekme gücü olarak, türbinin güç kanatlarının bu vakum gücü ile emilerek, kanatların dönme yönünde çekilmesine katkıda bulunmak üzere güç dengesine eklenmektedir.

- e) Açıkça görülmektedir ki, yukarıda belirtildiği gibi, [9] no.lu formülü oluşturan (Q_1) gücü, [10] no.lu formülü oluşturan (Q_2) gücünden daima küçük olmaktadır.

$$(Q_2 > Q_1)$$

[11]

- f) Deneysel sonuçlar, bu olumlu farkın, güç-artırım-yöneltilme- kanatlarının, sisteme eklenmesi yoluyla, herhangi bir türdeki klasik dikey milli türbinlerin güçlerini yaklaşık 3 katından fazla artırabildiğini göstermiştir. (Tablo:3, 4)

Basit bir matematiksel örnekle bu sonucu irdeleyebiliriz:

Varsayım:

Olumlu, $D_p = 2$ kg., olumsuz, $D_n = 1$ kg.

Olumlu, $L_p = 3$ kg., olumsuz, $L_n = 2$ kg,

kuvvet değerleri yukarıda görüldüğü şekilde alındığında, (L_n)'nin, açıklandığı şekilde olumlu kuvvete dönüştüğünü ve (L_p) olumlu gücüne dönüşerek formüle eklendiğini ve (D_n)'nin de herhangi bir şekilde türbini olumsuz etkilemeye devam ettiğini varsayarsak, [9] no.lu formüle göre, $Q_1=2$ kg. [10] no.lu formüle göre, $Q_2=6$ kg., (yani Q_1 'in üç katı) olarak hesaplanır.

Görüldüğü üzere en makul kuvvet değerleri alınsa bile, oluşan döndürme kuvveti farkları bir önceki değerin (Q_1), sadece "kesri (=yüzdesi) kadar" bir artış değil, bir önceki değerin (Q_1), "birkaç katı kadar artış" oluşturmaktadır.

Yukarıdaki hesaplamada varsayım olarak alınan değerler sadece örneği belirtmek için verilmiştir: Buna rağmen görüldüğü üzere bu basit formül ve örnek dahi, önceki denge gücünün 3 katı kadar bir artış farklılığının matematiksel olarak oluşabilmesinin mümkün olabileceğini göstermektedir:

Ekli tablolarda yer alan deneysel sonuçlar da bu hesaplama ve gözlemleri doğrulamaktadır. (Tablo:3, 4)

g) Nitekim, güç-artırma-kanatlarına sahip dikey milli rüzgar türbinleri arasında yer alan ve aynı zamanda kendiliğinden, otomatik olarak ve hiç bir ek güç ve müdahale gerekmeksizin rüzgara karşı kesin ve tam bir yönelme yapabilen ve bunu her rüzgar yönü için anında sağlayabilen, sonra bu yönelmesini kararlı sürdürebilen, "Gelibolu Modeli rüzgar türbinleri" modellerinde, yukarıda belirtilen formüllerdeki (Q_2 / Q_1) oranının 4,9 katına kadar artış gösterdiği Üniversite testlerinde belirlenmiştir. (Tablo:2, 3, 4)

h) Kanat-Uç-Hızı-Oranı = Tip-speed-ratio, TSR) :

Literatürde, Türbin verimliliklerinin belirlenmesinde önemli kıstaslardan birisi olarak, kanatların uç hızlarının, rüzgar hızlarına (**v**) olan **oranları (=TSR)** esas alınmaktadır.**(Şekil:3)**

Türbin verimliliklerinin yer aldığı güç eğrisi grafiklerinde, rüzgar hızına nazaran, türbin kanadının ucunun hızı oranlanarak, rüzgardan kaç defa daha hızlı yol alabildiği (TSR oranı) belirlenmiştir.

Türbin türlerine göre, türbinlerin geometrik ve aerodinamik karakteristikleri değiştiğinden, türbinlerin maksimum verime erişebilmesi için gerekli uç-hız-oranları (TSR) da değişik değerler almaktadır:

i) Örneğin, "kepçeli türü" dikey milli sistemlerde (Klemin, Savonius, vb.) TSR, maksimum güçte, genellikle 1'in altında kalmaktadır. Bunun anlamı, kanat uç hızının, maksimum verim durumunda dahi, rüzgar hızına erişemediği ve onu geçemediğidir. (Şekil:9)

ii) "Darrieus" tipi dikey milli sistemlerde, kanat-uç- hızı oranı, 3 ila 5,5 arasında iken, türbinin aerodinamik verimi maksimum olmaktadır. (Şekil:9)

iii) "Cyclogiro(=giromill)" tipi rüzgar türbinlerinde, maksimum verim (yaklaşık %60), TSR (=kanat-uç- hızı),2 ila 2,5 olduğunda, yani, kanat ucunun hızı, rüzgar hızından 2 ila 2,5 defa daha hızlı iken sağlandığı literatürde tespit edilmektedir. (Şekil:3)

iv) "Modern pervaneli" yatay milli sistemlerde, TSR, rüzgar hızının, yaklaşık 5 ila 8 katı arasında iken, en iyi verim alınabilmekte olduğu görülmektedir. (McLaughlin,1979)

v) "Gelibolu Modeli" rüzgar türbininde, "cyclogiro" tipi türbinlere benzer verim özellikleri nedeniyle ve türbinin yapısı itibariyle güç kanatlarında, "Darrieus" tipi kanatların kullanılması ile bu kanatları daha yüksek kanat-uç- hızlarına eriştiğinden, en uygun uç-hız oranlarının, rüzgar hızının 2 ila 3,5 katı arasında olabileceği öngörülmektedir.

i) Katı-ağırlık-oranı (=Solidity):

"Gelibolu Modeli" rüzgar türbinlerinde diğer tüm türbin türlerinde olduğu gibi kanatların imal edildiği malzemelerin ağırlığının, kanatların ilk hareket hızına, uç- hızına ve türbinin atalet momentine direkt olarak etkisi bulunmaktadır.

"Ağırlık oranı" veya "Katı-ağırlık-oranı" (**Solidity**) olarak tanımlanabilecek olan, kanat ağırlığının (kütlesinin), kanat hacmine oranının (tüm yapım malzemelerinin ağırlık, özgül ağırlık ve hacim kombinasyonları dikkate alındığında), tüm dolu hacmin teorik ağırlığının azami 0,13 - 0,15'i civarında olması önerilmektedir.

Belirtilen katı-ağırlık-oranı (Solidity) aşıldığında kanatlar gereğinden fazla ağırlaşacağından, ilk-hareket (cut-in) hızı için, (atalet momenti etkisi nedeni ile) türbinin harekete geçebilmesi için, daha yüksek rüzgar hızı gerekmekte, bu ise TSR (kanat-uç-hızı-oranını) ve türbin verimini olumsuz etkilemektedir.

Kanat kütlesinin artması sürtünme kayıplarını ve balans problemlerini de aşırı şekilde etkileyecektir. Bununla birlikte (Solidity) oranının çok düşürülmesi kanatların zayıf ve dayanıksız hale gelmesine yol açmamalı, dayanım (=mukavemet) dikkatle hesaplanmalıdır.

j) Sürtünme kayıpları:

Kanat kütlelerinin önerilen (Solidity) oranını aşması durumunda, sürtünme ve ataletin artması, türbin verimliliğini olumsuz şekilde etkiler. Üretilen enerji, türbinin rulman ve yataklamalarında oldukça israf olabilir.

Ayrıca, türbin konstrüksiyonunda, bilhassa güç millerinin ve bunların yatakladığı flanş yuvaları ve rulmanlar ile rulman yataklarının, ısı farkları nedeni ile genleşme farklarından oluşan gerilme ve kasılmalarına karşı tedbirler alınması gerekmektedir. Aksi halde, oluşan genleşme farkları, ek sürtünme kuvvetleri oluşturarak verim kaybına yol açabilir.

5. Proje kapsamında gerçekleştirilen işlemler:

- a) Genel:** Projenin TÜBİTAK tarafından tadil edilmiş bulunan amaçları ve kapsamı içerisinde, öncelikle, boyutsuz parametreler dikkate alınarak, türbin modelleri üretilmiştir.

Proje kapsamında, iki adet türbin modeli planlanarak üretilmiş bulunmaktadır:

Türbinler esas itibariyle üç ana üniteden oluşmaktadır:

- i) Türbin Konstrüksiyonu: (=Taşıma Ünitesi)
- ii) Güç-Artırım-Yönelme Kanatları: (=GAYK)
- iii) Güç-Üretim Kanatları: (=Güç Kanatları)

b) "Güç-Artırım-Yönelme Kanatları":

Projenin esas fikrini oluşturan "Güç-Artırım-Yönelme- Kanatlarının" sisteme eklenmesi ile güç artışı sağlanmaktadır. Bu artışın temel nedeni olan verimlilik parametrelerin araştırılması, ilk tasarım ve geliştirme hazırlıkları 12 yıl öncesinden başlatılmış olan söz konusu, "Güç-Artırım-Yönelme Kanatlarının", bu proje içerisinde modeller için üretimi aşamalarında da ilk hareket noktasını teşkil etmiştir.

Bu kanatlar orijinal özel bir profile sahip bulunmaktadır.

Bu konuda benzer fonksiyona sahip ve benzer profil tasarımında bir kanadın var olup olmadığını tespit etmek amacıyla ilgili literatür taranarak ve uluslararası patent dökümanları da araştırılmışsa da, benzeri bir profile veya yönelme ve güç artırımı amacıyla kullanılan eşdeğer bir profil tasarımına rastlanmamıştır.

Bu husus, söz konusu "Güç-Artırım-Yönelme Kanatlarının". orijinal bir kanat profili tasarımına sahip olduğu ve kendi sahasında bir yenilik oluşturduğu mahiyetinde İTÜ' nün bir raporunda da belirtilmektedir. **(EK:1)**

Bu özel kanat profilinin geometrisi, aşağıdaki şekilde tanımlanabilir: Güç-Artırım-Yönelme Kanatlarının bir adedi, genel kesit görünümü itibariyle, iç yarıçapı bir çember parçası olan ve dış yarıçapları da değişik koordinatlarda (yaklaşık beş ayrı noktada merkezlere sahip yarıçaplardan oluşan) özel bir profil kesiti oluşturmaktadır:

i) iç radyus:

Birbirinin aynısı olan üç adet "Güç-Artırım-Yönelme Kanatları", türbinin güç kanatlarını dıştan çevreleyen bir çemberin beher 1/6'lık parçası olan, 60°'lik merkez açısı ile yerleşik, ve 120°'lik merkez açıları ile simetrik olan, üç ayrı "Güç-Artırım-Yönelme-Kanatının" iç-radyuslarını oluşturmakta olup, aralarında yine 60°'lik merkez açılarına tekabül eden hava boşlukları (aralıklar) bırakılmış bulunmaktadır. **(Şekil:4)**

ii) Dış radyuslar:

Sezgisel (heuristic) yaklaşım ile ve bu yaklaşımı doğrulayan yıllar süren gözlem, deney, sına, yanılma, tecrübe birikimi sonucu oluşturulan "Güç-Artırım-Yönelme-Kanatlarının" (GAYK), özel profil yapısı, belirli bir geometrik tasarım halinde belirlenerek projeye **veri** olarak katılmıştır.

Nitekim, bulunduğu ve yukarıda söz konusu geliştirmeler sağlandığından beri bu profil yapısı, kendisinden beklenen fonksiyonları mükemmel sağlayan bir özellik göstermiş ve tasarım üzerinde bir düzeltme gereği ortaya çıkmamış bulunmaktadır. **(Şekil:4)**

c) "Güç-Artırım-Yönelme-Kanatlarının" aerodinamik fonksiyonları ve özellikleri:

Önceki bölümlerde açıklandığı gibi, bu kanatlar iki önemli fonksiyonu yerine getirmektedir:

I) Olumsuz bölgenin, olumsuz (D_n) (drag) etkisinden korunması ve yine aynı bölgenin olumsuz (L_n) (lift) etkisinden korunması:

Böylece bu bölgeye yönelik hava akımları, "güç-üretim kanatlarını" olumsuz olarak etkileme olanağı bulamadan, türbinin bir yanına ve buranın arka tarafına doğru saptırılmaktadır. Bu fonksiyonun gerçekleştirilebilmesi için, bu kanatların rüzgara karşı tam, kesin ve kararlı bir yönelme yapabilmesi gerekmektedir ki, söz konusu kanatlar bu beklenen fonksiyonları eksiksiz olarak sağlamaktadır. (**Şekil:4, 10**)

ii) Kanatların bu yönelme fonksiyonu sayesinde olumsuz bölge, önden ve arkadan iki adet kanat ile, ($drag=D_n$) ve ($lift=L_n$) olumsuz etkilerine karşı kapatılmış bulunmakta, arkadaki kanadın gerisinde, güçlü bir alçak basınç bölgesi (wake) oluşmaktadır. (**Şekil:10**)

Üçüncü yönelme kanadı ise, olumlu (döndüren) bölgede yer almakta, ancak kanadın yaklaşık (chord-ekseni) türbine gelen rüzgara paralel olduğundan, kanat, hava akımlarına karşı "asgari (minumum) hedef teşkil etmekte", böylece olumlu hava akımlarını rüzgar türbini içerisine kanalize eden bir cidar (kabuk) görevi de görmektedir. (**Şekil:2, 4**)

Arkadaki GAYK kanadının gerisinde oluşan alçak basınç, olumlu bölgeye arka taraftan nüfuz etmekte, zaten olumlu bölgeye kanalize edilen hava akımlarının, (adeta GAYK kanatların varlığı nedeniyle negatif bölgede oluşan hava akımı gecikmesini telafi edecek şekilde) ve "**Bernouilli prensibi**" gereğince, havanın çok hızlıca emilmesine, bunların türbin içerisine daha hızla girerek buradan türbin gerisine akmasına ve bu suretle güç-kanatlarının ek rüzgar hızı artışı ile ve

negatiften pozitive dönüşen ek güç ilavesi ile, daha da hızlı ve güçlü olarak dönmesine yol açmaktadır. (Şekil:1, 2, 4, 7, 9, 10)

Bu durumda türbin içerisinde, rüzgar hızının nispi olarak türbin çevresinden geçen rüzgardan daha yüksek bulunması gerektiği söylenebilir:

İleride, gerek türbin içerisinde ve gerek türbin dışındaki rüzgar hızlarının daha hassas digital ölçüm aletleri ile hızlarının ölçülmesi mümkün olduğu takdirde gözlemlenen olumlu farklılıkların bu açılardan da rakamsal ifadelere dönüştürülebilmesinin mümkün olabileceği düşünülmektedir.

d) "Güç-Artırım-Yöneltme-Kanatlarının" (GAYK) üretimi aşaması:

Yapılan her iki modelde de orijinal tasarım şekli üzerinden orantılandırılarak ölçümlendirilen kanatlar üretim projesi olarak hazırlanmıştır. Üretimde, uçak ve planör kanadı imalat tekniklerine benzer ve bu kanatların yapımında kullanılan (duralüminyum hariç), ikame imkanı olan malzemelerin yatay "sinirlerin", dikey "dikmelere" çatılarak kafes oluşturulması ve kaplanması metodu bazı üretim aşamalarında kullanılmıştır.

Aynı üretim metodları ve malzemeleri fazla değişim gerekmeksizin, güç-kanatlarının üretiminde de kullanılmıştır:

e) Güç-üretim-kanatları:

Dikey milli rüzgar türbinlerinde kullanılabilen, literatürde yer alan hemen hemen tüm güç kanat türleri (Savonius ve Darrieus türü kanatlar ve bunların değişik kombinasyonları), "Gelibolu Modeli Rüzgar Türbininde", GAYK kanatlarla kombine

edilerek kullanılabilmekte olup, bunlardan proje limitleri içerisinde üretilebilenlerin modelleri gerçekleştirilerek sırasıyla denenmiştir:

Üretilebilen ve Gelibolu GAYK kanatlarla kombine olarak denenene başlıca kanat türleri şunlardır:

i) Savonius: (Özel "kesik-S" kesitli) üçlü kanatlı. ve Savonius Benzeri: (Özel "çift-kepçeli") değişik sayıda kanatlı. (**Şekil:5**)

ii) Darrieus: NACA 0021 sayılı profil kesitli, (Üçlü, dikey (=straight) düz kanat.) (**Şekil:5, 9**)

Bunlardan başka, dikey milli türbinlerde kullanılması mümkün olmayan (dönemeyen), değişik bir kanat türü de ("Mercedes- amblemi benzeri" prizmatik kesitli) kanatların da, dıştaki "Güç-Artırım-Yöneltme-Kanatlarının" katkısı ile döner hale geldiği önceden denendiğinden, modeli yapılarak denenmiştir. (**Şekil:5**)

iii) Prizmatik "Mercedes-amblemi" kesitli üçlü kanat:

Yalın halde (tek başına) bu tür bir kanadın rüzgarda dönmesi söz konusu değildir; çünkü kanat rüzgar karşısında tam dengededir; pozitif ve negatif kuvvetler arasında hiç bir döndürücü fark bulunmamaktadır.

"Gelibolu" kombinasyonu ile bu tür kanatlar "hiç dönemez" halden, etkin şekilde dönebilir hale gelmektedir.

Karşılaştırmalı sonuçlarda, Gelibolu'nun yukarıdaki kombinasyonunun, bilinen klasik "Savonius" türü kanatlarla Gelibolu GAYK kanatlarının

kombinasyonlarından aynı şartlarda yaklaşık üç katı bir tur artışı gösterdiği belirlenmiştir.

(Bu belirgin olumlu farklılıklar, genellikle tüm değişik kanat türleri ile Gelibolu GAYK kanatların kombine edilmesi suretiyle yapılan deneylerde de, bu kanatların yalın halde denenmelerine nazaran, Gelibolu GAYK kanatları ile kombine halde denenmeleri lehinde gözlemlenmiştir.)

Yukarıda söz edilen kanatlar, yine sıra ile, belirtilen malzemeler ve üretim metodları ile üretilmiş, metodlu ve sistemli bir şekilde, aynı "Güç-Artırım-Yöneltme-Kanatları" ile kombine olarak türbinin merkez kısmına yerleştirilerek karşılaştırmalı şekilde denenmiştir:

Test ve analizlerde, aşağıdaki "karşılaştırmalı test metodu" genellikle kullanılmıştır:

- i) Dışta, Gelibolu modeli rüzgar türbininde orijinalliği teşkil eden "Güç-Artırım-Yöneltme-Kanatları" mevcut olmaksızın), "Güç-üretim-kanatları" yalın halde mevcut iken,
- ii) Dışta, "güç-artırım-yöneltme-Kanatları" monte edilmiş, **yani türbin bu kanatlarla kombine** durumda iken,

Bu iki durumda, güç-üretim-kanatları ile ilgili deneme ve tespitler ayrı ayrı yapılmıştır.

f) Türbin Konstrüksiyonu (=Taşıma ünitesi)

"Gelibolu Modeli Rüzgar Türbini" yapım prensipleri, içte yeralan güç-kanatları ile birlikte, dışta yeralan "Güç-Artırım- Yönelme-Kanatlarının" birbirinden bağımsız olarak, fakat tek ekseninde ayrı ayrı yataklanmış bir şekilde çalışabilmesini gerektirmektedir.

Bu nedenle Taşıma ünitesi içten güç-kanatlarını, dıştan da "Güç-Artırım-Yönelme-Kanatlarını" taşıyabilecek ve onları yataklayabilecek şekilde tasarlanmış ve üretilmiştir.

Bu amaca en uygun taşıma konstrüksiyonunun, üçgen prizmadan oluşan bir yapı sistemi olduğu belirlenmiştir. Özellikle, ikinci ve büyük türbin modelinde, taşıma ünitesi bu tasarıma göre üretilmiş bulunmaktadır.

Her iki türbin modelinde de, türbin içinde yeralan güç kanatları, hem alt, hem üst yataklamalarla, ortadaki dikey ana mile flanşlarla tespit edilmiştir.

Güç intikali, türbinin alt yataklama elemanının altından yere uzanan milin ucundan sağlanmaktadır.

g) Güç-Ünitesi:

Türbinin oluşturduğu gücün ölçülmesi amacı ile, **ODTÜ** tarafından, büyük türbin için bu türbin konstrüksiyonuna uygun bir "proni- freni" üretilmiş ve uygulanmıştır.

Ayrıca muhtelif test ve deneylerde belirli aşamalarda, karşılaştırmalı şekilde, türbin miline bağlı olarak bir dinamo ile elektrik üretimi sağlanarak ölçmeler yapılmıştır.

C - PROJE ÇALIŞMASINDAN SAĞLANAN BİLGİLER:

1) Genel olarak rüzgar enerjisi teknolojisi:

Rüzgar enerjisi teknolojisi, yeniden önem kazanan oldukça eski bir uygulama alanının, modern tekniklerle tekrar gündeme geldiği ve önemli bir gelişme trendi gösterdiği ileri teknoloji dallarından birisidir.

Gerçekten bu dalda görülen gelişmeler, kompozit-ileri teknoloji malzemelerinden, bilgisayar kontrollü güç üretim tekniklerine, otomatik kontrol sistemlerine ve güç elektroniğine kadar önemli ve değişik konuların bir arada kullanılmasının gerekliliğini ve bunun önemli sonuçlarını göstermektedir.

Ancak, bu gelişmeler, ileride yapılması gerekenler yanında henüz sadece ilkel bir başlangıç aşaması durumunda görülmektedir.

2) Aerodinamik Geliştirme İhtiyacı:

Tüm gelişme hızına rağmen, halen hiçbir tür rüzgar türbini, aerodinamik bakımdan, yönelen hava akımlarında mevcut enerjiyi yüksek oranda kullanılabilir enerjiye dönüştürememektedir.

a) Yatay milli rüzgar türbinlerinde:

Bu türde, değişik tasarımlara sahip türbinlerde, "kanat-uç-hızı- oranı" (Tip speed ratio=TSR)'nin yaklaşık 3-8 arasında bir oran değerine eriştirilmesi durumunda, oldukça yüksek (% 37,7) elektriksel verim sağlanmaktadır.

Bununla beraber yine de türbine yönelen hava akımlarının asgari % 25'i kadarı, kanatların arasından, hiçbir işe yaramadan türbinin arka cephesine geçip gitmektedir.

En ileri aerodinamik özelliklere sahip pervaneli yatay milli sistemlerde elektriksel performans, tespit edilebildiği kadarı ile, % 37,7 olarak hesaplanmıştır ki, bunun mekanik ve aerodinamik performansı "Betz limitine" oldukça yakın bulunmaktadır. **(EWEA,1991)**

b) Dikey Milli Türbinlerde:

i) Klasik dikey milli sistemlerde:

İki kanatlı dikey milli elips kanatlı "Darrieus türü" türbinlerde, tespit edilebildiği kadarı ile en yüksek elektriksel performans, % **43,74** olarak, (TSR = 5,5 iken) hesaplanmaktadır. **(DOE/SANDIA, 1988), (EK:2)**

Bu dik milli sistemlerde, diğer ara kayıplar (elektriksel kayıplar, dişli kutusu ve diğer mekanik kayıplar) bilinemediğinden, türbinin BETZ limiti karşısındaki durumu ile ilgili olarak şimdilik bir yorum yapılamamaktadır.

Ancak bu örnek, uygulama boyutunda şimdiye kadar rastlanan en başarılı örnektir.

ii) "Güç-Artırım-Kanatlı" türbinlerde:

"Kingston Polytechnic'in AWT (Augmented Wind Turbine) "Güç- Artırım-Kanatlı", fakat "yönelmesiz" olan türbin örneğinde, türbin performansı sonucu rakamsal olarak

verilmemiş olmakla birlikte, bu türbinin "yüksek performansa" sahip olduğu ve "Megawatt", hatta "Multimegawatt" boyutlarında üretilbileceği ilgili kaynakta belirtilmektedir. **(Şekil:9, 12), (EK:3)**

Yukarıdaki bölümlerde bu güç-artırım kanatlı dikey milli rüzgar türbininin, aerodinamik yönden neden klasik dikey milli türbinlerden daha başarılı olabileceği, rakamsal olarak açıklanmaya çalışılmıştı.

Ancak bu "yönelmesiz" türbinlerde önemli bir sorun, devamlı yön değiştiren hava akımlarına karşı, söz konusu güç-artırım- kanatlarının kendiliğinden yönelme olanağına sahip bulunmamalarıdır. Bu kanatlar kendiliğinden yönelme özelliği taşımadıkları için, her zaman, yön ayarlaması ve bununla ilgili otomatik kontrol gerekleri ortaya çıkacaktır. **(Şekil:12), (EK:3)**

Bu nedenlerle bu türbinlerin henüz ticari hale geldiğine dair bir bilgi tespit edilememiştir.

- iii) Cyclogiro (Giromill) türü dikey milli türbinlerde ise, yukarıdaki bölümlerde belirtildiği şekilde, laboratuvar modelinde, mekanik performansın **%60** olarak, (TSR= 2 -2,5 iken), tespit edildiğinin, literatürde belirtildiği açıklanmıştır. **(Şekil:3)**

Ancak, bu türbinin aerodinamik başarısı, türbinin mekanik problemleri ile iç içe bulunmaktadır. Bu türbinin kanatları (Dik-Darrieus-kesitli), milin etrafında dönerek rüzgar yönünden uzaklaşırken, her turda, -kanat hücum açılarını, mekanik bir düzencele değiştirerek-, rüzgara göre projeksiyon kesitini büyültmek (bir anlamda "cephe büyültmek") ve rüzgar yönüne doğru giderken ise, her turda "cephe küçültmek" zorunluğundadır. **(McLaughlin, 1979), (EK:4)**

Bu durum, türbinin kanat uç-hızını (TSR) oranını artırmakta, güç dengesini olumlu etkileyerek türbin performansını artırmakla birlikte, mekanik ayarlama nedeniyle türbin enerji üretiminde ve veriminde dalgalanma ve değişmelere, kanat mafsallarında ise mekanik zorlanma ve yıpranmalara yol açabilmektedir.

Çünkü bu türbinlerde, her tur için rüzgar yönüne göre ayarlanan bir "kam-mekanizması", kanatların hücum açılarını, buna göre mekanik olarak ayarlamaktadır:

"Betz" limitini -istisnaen de olsa- aşma (geçme) başarısını göstermiş bulunduğu literatürde açıkça belirtilen, Giromill (=cyclogiro) rüzgar türbini, yukarıda belirtilen mekanik kısıtlılığı ise aşamamıştır. (EK:4)

Bu nedenle Giromill (=cyclogiro) türünde bir türbinin, ticari hale geldiğine ve belirli boyutlarda seri üretilmekte olduğuna dair bilgi de tespit edilememiştir.

iv) "Güç-Artırım-Yönelme-Kanatlı", "Gelibolu Modeli" Rüzgar Türbinleri:

"Gelibolu Modeli" Rüzgar Türbinleri, "Güç-artırımı" (augmentation) özelliğine sahip bulunmaları yönünden, klasik dikey milli türbinlerden bazı **belirgin üstünlük ve avantajlar** taşımaktadır.

Bunun yanında, **"Gelibolu Modeli" Rüzgar Türbinleri**, aynı zamanda bu kanatlarla kendiliğinden oluşan "yönelme" özelliğine sahip bulunmaları nedeniyle de, "güç-artırıcı" (augmentation" özellikli, fakat, "yönlendirici" olmayan kanatlara sahip bulunan (AWT) tipi türbinlerden de belirgin üstünlük ve avantajlar taşımaktadır.

Yine, "**Gelibolu Modeli**" Rüzgar türbinleri, hiçbir mekanik hareket ve yön ayarlamasını gerektirmemesi bakımından da, "Cyclogiro" tipi türbinlerden, yine **belirgin bazı üstünlük ve avantajlar** taşımaktadır:

Bu avantajlar, diğer türbinlerle karşılaştırmalı olarak, tur ve güç artışının yol açtığı performans üstünlüğü ve bunun yanında, mukayeseli üretim kolaylığı yanında, birim ünite ve birim enerji üretim maliyetlerinin düşüklüğü yönünden de belirgindir:

Dolayısı ile "Gelibolu Modeli" Rüzgar Türbinlerinin, verim artışı sağlaması yanında, üretim güçlüklerini ve yüksek üretim maliyetini azaltıcı diğer etkileri ile, dikey milli türbinlerde aerodinamik ve mekanik yönlerde mevcut, önemli bazı eksiklikleri gideren yeni bir tasarım gelişmesi getirdiği düşünülmektedir:

3) "Gelibolu Modeli" Rüzgar Türbini ile ilgili karşılaştırmalar:

Bu türbinlerde, "Güç-Artırım-Yöneltme Kanatlarının" varlığı, her hangi bir dikey milli türbine oranla, aşağıdaki ek özellikleri sağlamaktadır:

- a) Her türlü dikey milli türbin kanatları ile (Savonius, Darrieus, Giromill, vb.) birlikte çalışabilir.
- b) İlk hareket (=cut-in) hızını düşürdüğü, dolayısıyla (cut-in) için gerekli gücü, karşılaştırmalı olarak (1/16)'sına kadar düşürdüğü deneylerde belirlenmiştir.
- c) Kesme hızı (=cut-out) zorunluğu sınırını, daha yüksek rüzgar hızlarında da çalışmaya dayanabilecek geometri ve yapıda olan türbin konstrüksiyonu yapısı nedeniyle, daha da yükseltir.

Bunun sonucu olarak, bu iki hız sınırı arasında türbinin, daha geniş bir çalışma aralığına sahip olmasını sağlar.

Böylece, ilk hareket rüzgar hızı ile kesme (cut-out) rüzgar hızları aralığının açılması ve genişlemesi ise, türbinin kapasite faktörünü ($=K$) artıran önemli bir etki meydana getirmektedir:

- d)** Türbin sistemine, hacimsel bir konstrüksiyon kazandırarak dayanım gücünü belirleyen hız sınırını da (survival wind speed) artırır. Sonuç olarak halen üretilmeyen yükseklik ve güçlerde rüzgar türbinleri üretilebilir.
- e)** Karşılaştırmalı olarak, aynı rüzgar hızında, tüm dikey milli türbinlere oranla daha yüksek tur sayısı sağlar. **(Tablo:4)**
- f)** Karşılaştırmalı olarak, aynı rüzgar hızında, tüm dikey milli türbinlere oranla daha yüksek güç artışı ve performans artışı sağlar. **(Tablo:3)**
- g)** Türbinler için, adeta türbin karakteristiğini değiştirerek, uygun kanat-uç-hızlarına (=tip speed ratio, TSR), daha düşük rüzgar hızlarında ve güçlerinde erişilmesini sağlar. **(Tablo:2)**
- h)** Beher ünite başına üretim maliyeti bakımından daha etkin ve öncelikli durumda bulunduğu ((\$/kwh; \$/KW bakımlarından ekonomik fizibilite) hesaplanmaktadır. **(Şener, 1990, 1986)**
- i)** Her yörede ve her rüzgar rejiminde, istenilen çapta, istenilen yükseklikte ve güçte, tek katlı veya çok katlı, sabit veya portatif olarak rüzgar türbini tesisi olanağı sağlar. **(EK:3), (Şekil:5)**

j) Tamamen yerli malzeme ile üretim olanağı sağlar.

Bu nedenle, teknik karmaşıklık ve bakım-servis zorlukları nedeni ile pahalı bulunarak ithal edilmesi tercih edilemeyen ve bu yüzden yurdumuzda yaygınlaşamayan yabancı rüzgar türbinleri yerine, her güçte yerli rüzgar türbini üretimi ile tam bir yerli ikame imkanı sağlar.

k) Sanayi alt yapımızın olanakları içerisinde her güçte üretilebilir:

Elektrik üretimi, sulama amaçlı veya batarya grupları şarjı amaçlı olarak kullanılabilir.

Mekanik amaçlarla da doğrudan doğruya kullanılabilir.

4) "Gelibolu Modeli" Rüzgar türbinleri ile ilgili yorumlar:

a) Bu türbinler, sosyo-ekonomik yararlar açısından ülkemizde milli gelir, ihracat ve istihdamda yeni olanaklar kazandırabilecek önemde görülmektedir.

Bunun nedenleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

i) Beher ünite enerji (kwh) veya beher ünite tesise (KW) oranla üretim maliyeti açısından çok efektif bulunduğu hesaplanmaktadır.

ii) Yerli yapım olanakları olan üretim tekniklerine dayanmaktadır. Bu husus yukarıdaki maddede belirtilen "maliyet performansını" daha etkin hale getirmektedir.

iii) Türbin ihracatı veya lisans hakları kullanılması açlarından ülkemize yarar sağlayacak cazip bir ihracat potansiyeli oluşturmaktadır. Avrupa Birliği Ülkeleri, ABD,Ortadoğu, Türk Devletleri ile Afrika ülkeleri bu konuda Türkiye için pazar olabileme durumundadır.

iv) Türbinlerin üretimi yerli iş-istihdam olanaklarını olumlu etkileyebilecektir. Yüzlerce yeni iş konusu ve yüzbinlerce yeni istihdam olanağı sağlanabilecektir. Üretilecek olan türbinler, enerji üretimimizi yükseltecek, bunun sonucunda milli gelirimizde büyük artışlar oluşabilecektir.

b) "Gelibolu Modeli" rüzgar türbinleri, rüzgar teknolojisinde aşağıda belirtilen önemli yenilik ve teknik atılımları da getirmektedir:

i) Dikey milli türbinlerde güç dengesi (güç kompanzasyonu) ve yöneltme sistemleri, büyük bir yapısal değişiklik, kolaylık ve avantaj kazanmış olmaktadır:

Bu nedenle bu türbinlerin, rüzgar teknolojisine, bu teknik yönden bir atılım getirerek bu dalda da bir çığır açabileceği öngörülebilir.

ii) Dikey milli türbinlerde, milin her iki yanından geçmekte olan hava akımlarının aralarında oluşan farktan, dönme dengesinden yararlanarak dönebilen türbinler, bu iki gücün farkının (çıkartılmasının) değil, fakat bu defa bunların toplamlarının oluşturduğu güçle -birkaç katı kadar daha fazla güç ve verim artışı sağlayacak şekilde- çalışma olanağı kazanmaktadırlar.

iii) "Gelibolu Modeli" rüzgar türbinleri, bu güç artırım olanağını sağlarken, "yönlendirilme zorunluğu" gerektirmemektedir. Bu özelliği ile, "güç-artırıcı-kanatlara sahip türbinler arasında, öncü olmaktadır.

"Gelibolu Modeli" rüzgar türbinlerinde "Güç-Artırım-Yöneltme Kanatları", aerodinamik özellikleri nedeniyle, hiçbir güç sarfı ve yön ayarlaması gereği olmaksızın (tam, kesin ve kararlı bir şekilde) kendiliğinden rüzgara doğru yönelebilmektedir.

Halen, böyle bir özelliğin dünyada başka bir "Güç-Artırım- Kanatlı" türbinde bulunduğu dair bir bilgiye rastlanmamıştır.

III - SONUÇ:

A - PROJE SONUÇLARI:

"GELİBOLU MODELİ RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE VERİMLİLİK PARAMETRELERİNİN ARAŞTIRILMASI" Adlı projemizde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

SONUÇ-1: Belirlenen İki Grup Parametre:

"Gelibolu Modeli" rüzgar türbinlerinin verimliliğini etkileyen, iki grup parametre belirlenmiştir.

Bunlar:

a) Güç-artırıcı-yönlendirici kanatlarla ilgili parametreler:

i) **Parametre-1:** "Güç-Artırım-Yönlendirme- Kanatlarını" (GAYK) oluşturan özel profil kesiti **(Şekil:4)**

ii) **Parametre-2:** "Güç-Artırım-Yönlendirme Kanatlarının" türbin merkezi etrafındaki -eksene göre 120 derecelik- simetrik yerleşimi. **(Şekil:4, 6)**

b) Güç-üretim kanatları ile ilgili parametreler:

i) Güç-üretim kanatlarının özel profil kesitleri **(Şekil:5)**

ii) Güç-üretim kanatlarının türbin merkezine göre mevcut "merkez açıları".

(Şekil:1)

SONUÇ-2: Zorunlu ve Değişen Parametreler:

Belirtilen iki grup parametreden birinci grubu oluşturan ve "Güç-Artırım-Yönlendirme-Kanatları" ile ilgili parametreler "zorunlu parametreler", ikinci grubu oluşturan güç- üretim kanatları ile ilgili parametreler "Değişen Parametreler" olarak tanımlanmaktadır:

Zorunlu parametreler, projeye veri olarak katılmıştır. Bunlar proje öncesi nihai (son) şeklini almış, proje içerisinde tekrar değiştirme gereği de doğmamıştır:

Bunun nedeni,

- a) "Güç-Artırım-Yönlendirme Kanatlarını" oluşturan özel profil kesitinin, kendisinden beklenen fonksiyonlarına uygun son şekli, daha önceki çalışmalarımızla belirlenmiş bulunmaktadır:

Özetle, bu kanatlar,

i) Güç-artırıcı fonksiyonunu mükemmelen sağlamaktadır. (Şekil:10)

ii) Güç artırma yanında "yönlendirme" fonksiyonunu da, "tam, keskin ve kararlı" bir şekilde sağlamaktadır. (Şekil:6)

b) "Güç-Artırım-Yöneltme-Kanatları" ile ilgili tasarım parametreleri üzerinde, veri olarak esas alınan tasarım şeklinden başka şekilde yapılan tasarım değişiklikleri, güç artırımında veya yönelme fonksiyonlarında eksikliklere ve bozulmalara yol açtığından, bu zorunlu tasarım parametreleri sabit olarak alınmış, değiştirilememiştir.

Güç-Üretim-Kanatlarında yapılan parametre değişiklikleri ise, proje içerisinde yer yer açıklanmaktadır:

SONUÇ-3: Belirgin Güç Artışı:

İkinci grubu oluşturan, "güç-üretim-kanatları", yani "Güç-Kanatları" ile ilgili parametreler, proje süresinde, üzerinde sistematik değişiklikler yapılarak incelenen parametrelerdir:

Hangi tür güç-üretim kanadı kullanılırsa kullanılsın, "Güç- Artırım-Yönlendirme-Kanatlarının" sisteme eklenmesi, belirgin güç ve verim artışlarına yol açmaktadır: (Tablo:3), (Tablo:4), (EK:5)

Bu parametrelerden,

a) Güç-Üretim kanatlarının Özel Profil kesitleri:

Güç-üretim kanatlarında, literatürde yer alan muhtelif kanat geometrileri esas alınmak üzere muhtelif profil çeşitleri parametreler olarak sırasıyla ele alınmış ve sistemli şekilde denenmiştir:

l) **Savonius profili:** (Kesik-S kesitli özel profil, üçlü kanatlı) (**Şekil:5**), (**EK:7**)

ii) **Savonius-benzeri profil:** çift kepçeli, özel profil= beşli ve altılı kanatlı) (**Şekil:5, 7**)

iii) **Darrieus profili:**(Örnek alınan NACA 0021 profili) (**Şekil:7, 9**), (**EK:6**)

b) Bu kanatlarda parametre değişiklikleri, dışta "Güç- Artırım-Yöneltme-Kanatlarının" mevcut olup olmadığına göre, iki grupta ele alınarak,

i) "Güç-Artırım-Yöneltme Kanatları" varken ve,

ii) Bu kanatlar, mevcut değil iken, ayrı ayrı, sistematik olarak incelenmiştir.

c) Güç-üretim kanatlarının, türbin merkezine karşı olan "Merkez açıları" ile ilgili parametreler.

i) Savonius ve Savonius-benzeri profile sahip kanatlarda,

ii) Darrieus profili kanatlarda, olmak üzere, iki grupta değerlendirilmiştir:

Savonius ve Savonius-benzeri profile sahip kanatlarda, kanat profilini oluşturan kesit, özel yapı göstermektedir:(Şekil:5, 7)

Bu tür kanatlarda (Kesik-S profili), kanadın "chord-ekseni" (=Kanat-kesit-uzunluğu) ve "merkez açısı" ile ilgili herhangi bir "oransal veri" önermek, -geometrik yapının elverişli olmaması nedeniyle- mümkün görülememektedir.

Söz konusu kanatlar, kanat aralarından hava akımlarının bir kanattan diğerine intikaline imkan verebilecek bir hava aralığı bırakılmak suretiyle, uygulamada ($1/3 \times R$) kadar bir aralıkla yerleştirilmişlerdir.

Savonius-benzeri profile sahip kanatlar ise, başlıca, proje kapsamında geliştirilmiş bulunan "çift-kepçeli özel profile sahip kanatlardan" oluşmaktadır: Bu kanatlarda hem "chord- eksenini", hem de merkezle yaptığı "merkez açılarını" oransal olarak belirlemek mümkündür.

Ayrıca Savonius-benzeri "çift-kepçeli kanatlarla ilgili testlerde kanat sayılarının da, arızı olarak, bu gruptaki parametreler arasında yer alabilecek olan ek bir parametre grubu oluşturabileceği belirlenmiş, ancak, bu durumun istisnai olma özelliği nedeniyle bir genelleme yapılmamış bulunmaktadır:

Ancak, burada "Bu-kanata-özel" olmak üzere, kanat sayısı ile ilgili parametre değişikliğinin türbin verimine etkilerine kısaca değinilecektir:

"Çift-kepçeli-Savonius benzeri özel profilli kanatlar: (Şekil:5)

"Chord-ekseni" ile, kanat merkezinin türbin merkezine olan "merkez açısı, 15 derece olarak alındığında:

- i) Beş kanatlı bu tür "güç-üretim kanatlarında" (aralarında 72 derecelik açı bulunduğu), çift- kepçe özelliğinin, verim artışına belirgin katkısı tespit edilmiştir: **Yorum:** Hava akımları, birbiri ardından gelen iki kanadın, toplam dört kepçesini, döndürme yönünde belirgin şekilde olumlu etkileyebilmektedir. **(Şekil:5, 7)**

Deneyle sonucunda, "kanat-uç-hızı" oranının (TSR), rüzgar hızının yüzde 95'ine kadar erişebildiği tespit edilmiştir.

ii) Altı kanatlı bu tür güç-üretim- kanatlarında (aralarında 60 derecelik açı bulunduğundan), çift- kepçe etkisinin olumlu katkı özelliği çok kısıtlı kalmıştır:

Yorum: Kanat kepçeleri, birbirlerini olumlu etkilemek yerine, kanadın konkav kepçesinden geriye doğru yön değiştirerek savrulan hava akımlarının, bir önceki kanadın konveks sırt kısmına, ters ve olumsuz (=frenletici) bir ters baskı etkisi yaptığı belirlenmiştir.

Sonuç olarak, "Savonius-benzeri" kanatlardan, "**Beşli** kepçeli- özel profilli ve 15 derece merkez açılı kanatlar, istisnai olarak, klasik Savonius kanat türlerinden ve "Savonius-Benzeri" kanat türlerinden, **belirgin** şekilde olumlu tür ve güç artışı farklılıkları oluşturmuştur.

Bu nedenle bu özel profilin ve bunların yerleşiminin, ileride ayrı bir araştırma konusu yapılarak, aerodinamik özellikleri yönünden de incelenmesi bu proje ile önerilmektedir.

Bu tür kanatların, salt "Darrieus" türü türbinlerde, "ilk harekete geçirici" kanatlar olarak, "Savonius" kanatlar yerine başarı ile kullanılabilceği önerilmektedir.

Darrieus profilli güç-üretim kanatları ile yapılan sistematik deney sonuçları:

Proje bütçesinin imkanlarının kısıtlı olması nedeniyle,

"Darrieus" kanat profilleri benzerleri içerisinde, literatürde bulunabilen NACA profil numaralarına sahip kanat kesitleri incelenmiştir.

Böylece tatbikattaki örnek kanat profilleri ile, uygulamalarda paralellik bulunan ve rüzgar türbinleri için de uygun bulunduğu hususunda Üniversite öğretim üyeleri ile mutabık kalınan, NACA 0021 No.lu kanat profili seçilerek, bu kanadın özel koordinatlarına göre, söz konusu "Darrieus" türü kanatların imalatı yapılmıştır.

(EK:6)

a) Profil "chord" boyu, türbin çapı oranı:

Kanadın, "chord eksen" boyu, türbinin güç-üretim- kanatları yarıçapının azami %15'i kadar alınmıştır. **(Şekil:11)**

Uygulamada rastlanılan ticari türbinlerde bu oranın % 4'e kadar inebildiği tespit edilmiştir. **(EK:2), (DOE\SANDIA, 1988)**

b) Darrieus profilli güç-üretim kanatları ile "Gelibolu- Modeli Güç-Artırım-Yönelme-Kanatlarının" birlikte kombinasyonlarında (dışta bu kanatlar mevcut veya değil iken), kanat "hücum açıları" kanadın hareket yönüne (dönme eksenine) göre sabit tutularak herhangi bir açı verilmemiştir. **(Şekil:11)**

Tüm deneylerde bu şekilde, deney şartları paralelliği sağlanarak, önemli çelişkiler oluşturabilecek, "hücum açısı" farklılıklarının doğabileceği durumlardan kaçınılmıştır.

c) Darrieus kanatların özel bir türü olan ve kanat hücum açılarının bir kam-mekanizması yardımı ile mekanik olarak ayarlandığı "Giromill (=cyclogiro) türü

türbinin, karşılaştırma amaçlı bir modelinin imaline projemiz içerisinde yönelinmemiştir:

Ancak karşılaştırmaları aşağıda belirtildiği şekilde teorik düzeyde yapılmakla yetinilmiştir:

SONUÇ-4: "Darrieus", ve "Gelibolu" Olumlu Kombinasyonu:

"Güç-Artırım-Yöneltme Kanatları" ile birlikte denenen "güç-üretim" kanatlarının geometrik profil yapılarına göre değişik profillerinden, "Darrieus" + "Gelibolu" kombinasyonu, "Savonius" + "Gelibolu" kombinasyonundan daha iyi güç ve verim karşılaştırmaları sonuçları temin etmiş bulunmaktadır.

"Giromill" türbinlerinde, kam mekanizması sisteminin gerekliliği ve bu sistemin oluşturulması, bazı hassas mekanik çalışmaları ve üretim risklerini gerektirdiğinden, türbinlerin birbirleri ile karşılaştırılması sırasında bu türbinin imali yoluna gidilmemiştir.

Gelibolu modeli rüzgar türbinlerinin, "Giromill" türbinleri ile avantaj açısından benzerlikleri dikkate alınarak, "Darrieus" türü kanatlar ile yapılan deneyler, "benzeşim" ve "akıl yürütme" metodları ile genişletilmeye ve genelleştirilmeye çalışılmıştır:

Karşılaştırmalar:

- 1) "Giromill" türbini olumsuz bölgede, kanatların rüzgara hedef olma pozisyonunu küçültmektedir.

"Gelibolu Modelinde" ise olumsuz bölgede, (GAYK) kanatlarının olumsuz hava akımlarına hedef olma durumunu büyük oranda azaltmakta, hatta tamamen ortadan kaldırmaktadır. (**Şekil:4**)

ii) Giromill türbini, olumlu bölgede, kanatların rüzgara hedef olma durumunu ve açısını büyütmektedir.

"Gelibolu Modelinde" olumlu bölgede kanatların rüzgara hedef olma durumu, aksenel ve açısal olarak değiştirilebilme olanağına sahip bulunmamakta ve bu gerekmemektedir.

Bunun yanında "Gelibolu Modeli", üç ayrı nedenle ek olumlu güçlere de maruz bulunmaktadır:

* **"Tepe etkisi"** = Olumsuz bölgede yer alan "güç-üretim-yönlendirme" kanadı üzerinden, yaklaşık $(0,15xR)$ genişliğinde bir bölgenin hava akımları, olumsuz bölgeden, olumlu bölgeye akmaktadır. (**Şekil:10**)

* **"Kabuk etkisi"**= Ekseni rüzgara paralel bulunan "Güç-Artırım-Yönlendirme-Kanatlarının" yandaki tek bir kanadı, bu kanadın "hücum kenarı" üzerinden sistem içine hava akımlarını kısmen kanalize etmektedir.

Kanat, türbine kanalize olan bu akımlara, aynı zamanda basınçlı bir pompa cidarı gibi bir kabuk görevi görmekte ve sonucunda "kaçış kenarı" arkasında, kendi kütlelerinin oluşturduğu "kısmi- vakum-etkisi" ile de olumlu katkıda bulunmaktadır.

* "**Güç-artırım-etkisi**"= Olumsuz bölgeden türbinin yanına ve arka tarafına intikal eden hava akımları, türbinin gerisindeki "**Güç-Artırım-Yöneltme- Kanatlarının**" (GAYK) arkasında bir alçak basınç bölgesi oluşturmaktadır.

Bu emiş gücü ile, olumsuz (lift) etkisi, türbinin olumlu bölgesinin arkasına intikal etmekte, "güç-üretme-kanatlarının", arka yüzlerinden de "emilerek = çekilerek" dönmesine ve olumlu (lift) etkisine dönüşmesine katkıda bulunmaktadır.

iii) Giromill türbini, olumlu bölgede kanatların "cephe büyütme" özelliğinden başka, "güç-artırıcı" özelliğe (augmentation) sahip değildir. Türbin, sadece olumlu bölgede kanadın projeksiyon kesitinin belli bir oranı kadar, ek bir bölgeden akan hava akımlarının olumlu vakum etkisinden kısmen yararlanabilmektedir. (**Şekil:3**)

"Gelibolu Modelinde" ise, her iki bölgede de (olumlu ve olumsuz bölgelerde) "**Güç-Artırım-Yöneltme-Kanatları**" (=GAYK) mevcut bulunduğu için, türbin, kendi projeksiyon kesitine oranla, daha geniş bir bölgeden geçmekte olan hava akımlarını saptırarak bunların enerjisinden de yararlanabilmektedir. (**Şekil:4, 10**)

Hava akımları ile ilgili duman analizlerinde bu saptırmanın silindirik kesitlerde, silindir çapının birkaç katı kadar genişliğinde bir "etki bölgesi" içinde gerçekleşmekte olduğu literatürde yer alan "akış analizi" ile ilgili fotoğraflarda izlenmektedir. (**Şekil:10**), (**EK:7**)

"Gelibolu Modeli Rüzgar Türbinlerinde", oluşan bu sapma etkisinin, türbinin asimetrik yapısı nedeni ile türbinin olumsuz bölgesinde, asgari (0,15 x R) kadar bir

"etki bölgesi" genişliğinde olabileceği öngörülmektedir. Bu genişliğin tayini ile ilgili bir analiz yapılamamıştır.

Ancak bu "etki bölgesinin" gerçek genişliği deneylerle tam olarak tespit edilebilirse, ek olarak oluşan bu "olumlu-vakum" etkisinin, etki bölgesi genişliği ile orantılı olarak güçlü şekilde oluşabileceği görüşü doğruluk kazanacaktır.

SONUÇ-5: Karşılaştırmalı Ek Avantajları:

Dikey-milli rüzgar türbinleri içerisinde en yüksek teorik ve deneysel performansa sahip bulunan "Giromill" (=cyclogiro) türü türbinlere nazaran, "Gelibolu Modeli rüzgar türbininin", belirgin aerodinamik ve mekanik ek avantajlara sahip bulunduğu belirlenmiştir:

Bu avantajlar başlıca iki grupta özetlenebilmektedir:

a) Mekanik avantajlar:

Önceki bölümlerde incelendiği gibi, "Giromill" türbininin kam-mekanizması ile her turda yön tayininin, aynen kanat hücum açlarına intikal ettirilmesi zorunluğu, bu türbin sistemlerinde bir dezavantaj olup, güç üretimi ve türbin veriminde kararsızlık ve dalgalanmalar oluşmakta, kanat mafsallarında ses yapmakta ve zamanla bozulmalara yol açmaktadır.

Bu güçlükler nedeni ile "Giromill" türbininin seri halde ticari uygulamalarına rastlanmamıştır.

"Gelibolu Modelinde" ise, yön tayini fonksiyonu, "Güç-Artırım- Yönelme Kanatları" tarafından otomatik olarak yapılmakta, mekanik ayarlama gereği kesinlikle bulunmamaktadır.

b) Aerodinamik avantajlar:

Bir önceki sonuç bölümünde açıklandığı şekilde, "Gelibolu modeli rüzgar türbini", güç-artırım kanatlarına sahip bulunan türde bir rüzgar türbinidir.

Bu özelliğini, olumsuz bölgedeki hava akımlarını saptırarak, ve bunu, türbin arkasında olumlu bir "vakum" gücüne dönüştürmek suretiyle sağlamaktadır.

"Giromill" türbininde ise "güç-artırıcı-kanat" ilavesi mevcut değildir. Türbinin, olumsuz bölgeden gelen hava akımlarından yararlanması mümkün olmamakta, ancak türbin, bu bölgede kısmen kanat cephesini küçülebilmektedir. Bu küçültmeye rağmen, "Giromill" türbini, olumsuz rüzgar güçlerine yine de yönelik bulunmakta ve bundan olumsuz etkilenmektedir.

SONUÇ-6: "Gelibolu Modeli Rüzgar Türbinleri", Yönelme de Yapabilen İlk "Güç-Artırım-Kanatlı" Türbindir:

"Gelibolu Modeli Rüzgar Türbinleri", "Güç-Artırım-Kanatlı" rüzgar türbin türleri içerisinde, aynı zamanda kendiliğinden yönelme de yapabilen, ilk "Güç-Artırım-Yönelme-Kanatlı" rüzgar türbini olarak literatürde yer almıştır. (EK:8), (Şener,1990)

Raporumuzun ilk bölümlerinde belirtildiği üzere dikey-milli rüzgar türbinlerinin iki gruba ayrılabilceği öngörülmüştür:

a) Klasik dikey milli "Güç-artırım-kanatsız" türbinler (Savonius, Darrieus,vb.)

b) "Güç-artırım-kanatlı" dikey milli türbinler (Genellikle "Darrieus" türü "güç-kanatlarına" sahip bulunan)

"Güç-Artırım-Kanatlı" dikey milli türbinler de kendi aralarında iki kısma ayrılabilirler:

i) "Yön-tayini yapma özelliği olmayan", "Güç-Artırım- Kanatlı" rüzgar türbinleri,
(Örnek: Kingston polytechnic, AWT, İngiltere)

ii) "Kendiliğinden-yön-tayini-yapabilen", "Güç-Artırım- Kanatlı" rüzgar türbinleri;
(Örnek: Gelibolu Modeli Rüzgar Türbini)

Yön tayini, birinci grupta bulunan (yön-tayinsiz-AWT) türbinlerinde, dışarıdan müdahaleyi gerektirir. Bu yön tayin gereği ise, ek enerji harcanması ile gerekli kumanda sistemi ve/veya yön tayin mekanizmaları ile sağlanabilmektedir.

Buna karşılık, "Gelibolu Modeli Rüzgar Türbinlerinde", yöneltme işlemi, hiçbir güç sarfı gerekmeksizin, tamamen kendiliğinden, otomatikman, hava akımlarının gücü ile, "Güç-Artırım-Yöneltme-Kanatlarının" (GAYK) aerodinamik özelliği nedeniyle, anında, keskin, tam ve kararlı olarak sağlanmaktadır.

Karşılaştırma: Kingston Polytechnic'in, (AWT= Augmented Wind Turbine),"güç-artırım-kanatlı, (yönlendirmesiz) türbininin özellikleri ile, "Gelibolu Modeli "Güç-Artırım-Yöneltme- Kanatlı" Rüzgar Türbinlerinin özelliklerinin Karşılaştırılması:

a) Güç-Artırım-etkisinin oluşumu:

AWT (Augmented Wind Turbine) türbininde, "Güç-Artırım kanatları" olarak türbinin çevresini saran sekiz adet dikey "siper-kanat" yer almaktadır. (**Şekil:9, 12**)

Türbin çevresine eşit aralıklarla yerleştirilen bu sabit siper kanatlar, türbinin olumlu ve olumsuz bölgelerine yönelen hava akımlarını iki gruba ayırarak yönlendirmekte, olumlu akımları türbin içerisine kanalize ederken, türbin içine yönelerek geçmekte bulunan akımların da olumlu bölgenin gerisine doğru akmasına imkan vermektedir.

Yine "Kingston polytechnic'in", AWT,türbininde olumsuz bölgeye yönelen hava akımları, "siper-kanatların", "merkez-açıları", bu yöne kapalı veya fazla eğimli durumda bulunduğundan, olumsuz bölgeden türbinin içerisine girememekte, bunların olumsuz (negatif-drag) etkisi önlenmektedir.

Keza, olumsuz bölgenin arkasında yer alan "siper- kanatların" eğimleri de giden akımların yönüne kısmen kapalı olduğundan, türbinin arkasında oluşan frenletici-vakum (negatif-lift) etkisi, yine türbinin içerisine geriden nüfuz edememekte fakat, bu etkiler bu defa olumlu çekme gücüne dönüşmektedir.

Türbin bu durumda gerçekten (olumlu-drag) ve (olumlu-lift) etkilerinden de yararlanmış bulunmaktadır.

Ayrıca "AWT" türbininin olumsuz bölgesinden, türbinin yan bölgesine yönelen hava akımları, türbinin projeksiyon kesiti dışından geçen hava akımlarını da saptırmakta, bunların oluşturduğu, ek olumlu-vakum gücü de türbinin tur ve gücü ile türbin verimini artırmaktadır.

b) Yatay ve dūsey yoęunlařtırma (teksif) olanakları:

AWT tūrbini, hava akımlarını bu řekilde dikey mile nazaran saęa ve sola doęru yōnlendirerek bir gūç artırma imkanı saęladıęı gibi, tūrbın kanatlarının bulunduęu konstrūksiyonun sahip bulunduęu "ters-havřalı" radyūslū yapısı nedeni ile hava akımlarının ařaęı ve yukarı doęru yōnlendirilerek bunların da sistem ięine doęru yoęunlařtırılmasını saęlayan, altta ve ūstte iki ek "gūçlendirici-ęember" ihtiva etmektedir. (**řekil:9, 12**)

Yatay yoęunlařtırma özellięi, "Gelibolu Modeli Rūzgar Tūrbınlerinde" de yer aldıęı halde, yukarı-ařaęı (dūsey) yoęunlařtırma uygulaması, Gelibolu modelinde yer almamaktadır:

Ancak, tūrbinin "etek ęemberinin", alt ve ūstte benzer řekilde "ōzel-havřalı" olarak tasarımılandırılması ile, "Gelibolu modelinde" de bu özellięin kolayca kazandırılabilmesi mūmkūndūr.

c) Yōnelme Bakımından Karşılaştırma:

"Kingston polytechnic'in, AWT", "gūç-artırım-kanatlı rūzgar tūrbininde", kendilięinden yōnelme özellięi kesinlikle bulunmamaktadır.

"Gelibolu Modeli ""Gūç-Artırım-Yōneltme-Kanatlı" Rūzgar Tūrbınlerinde" ise, en belirgin özellik, kendilięinden yōnelebilmesi yanında aynı zamanda, "Gūç-Artırımı" da (augmentation) yapabilme imkanına sahip bulunmasıdır.

d) Çok katlı üretilebilme bakımından:

"AWT türbininin" çok katlı yapılabildiği, rüzgar tüneline test sırasında çekilen fotoğrafta görülmektedir. **(EK:3)** Çok katlılık, güç üretim avantajları yanında, "AWT türbinine" bazı ek güçlükler, özellikle zaten mevcut bulunan yöneltilme problemlerine, yöneltilmek ek ağırlıkların daha da artması ile ek sorunlar getirebilir.

"Gelibolu Modeli Rüzgar Türbinleri" de, üst üste çok katlı üretilebilecek şekilde ana konstrüksiyon özelliğine sahip bulunmakta ve üretim aşamaları bu şekilde planlanmaktadır.

Çok katlı olarak üretilme, "Gelibolu Modeli Rüzgar Türbinlerine", AWT türbinine kıyasla ek aerodinamik ve mekanik yönden hiçbir zorluk getirmemektedir:

Çünkü, "Gelibolu Modeli Rüzgar Türbinlerinde", her kattaki kanat grubu, konstrüksiyon üzerinde kendi ayrı yataklama elemanlarına sahip bulunmakta ve bu kat gruplarının birbirinden tamamen bağımsız olarak ayrı ayrı kendiliğinden otomatik olarak "GAYK kanatlarla" yönelebilmeye özelliği mevcut bulunmaktadır.

Böylece, "Gelibolu Modeli Rüzgar Türbinlerinde", türbinin genel yönelmesinde değişme ve bozulmaya yol açmayacak bir yapısal özellik söz konusudur. Üretimleri de buna göre planlanmaktadır.

e) Güç-kontrolü bakımından:

"Kingston polytechnic'in AWT, türbininde" güç kontrolü, türbinin tur sayısının sabit tutulabilmesinin muhtelif metod ve şekillerde sağlanması suretiyle gerçekleştirilebilir.

Bu amaçla "AWT, türbininde" güç kontrolunda aşağıdaki yöntemlerin uygulanabileceği öngörülmektedir:

I) "mafsallı-kanat-siperlerinin", "merkez-açıları" ihtiyaca uygun şekilde ayarlanarak, AWT türbininin,

tur sayıları:

- ya değiştirilir,

- ya da, değişen rüzgar hızları karşısında türbin turunun

sabit tutulması sağlanabilir.

Ancak bu durumlarda AWT, türbinleri için uygulanması gereken bazı mekanik veya elektromekanik güçlükler mevcuttur.

ii) Türbin mili, fren mekanizmaları ile istenilen tura göre frenlenerek, türbin gücü sabit tutulabilir.

"Kingston polytechnic'in AWT, türbininde" bu uygulamalar, fren sistemlerinin kullanılmasına ve bunlarda gereksiz enerji sarfına ve ayrıca ek kumanda sistemleri üretimi zorunluğuna yol açar.

"Gelibolu Modeli Rüzgar Türbinlerinde", ise karşılaştırmalı olarak, bu türbinin aerodinamik özellikleri nedeniyle, "aerodinamik-regülasyon-sistemi" ile yukarıdaki sorunlar kolayca çözülür:

"Gelibolu modeli" türbin, aerodinamik yapısı gereği, daima rüzgara karşı tam olarak yönelmektedir. (**Şekil:6**)

Bu durumda türbin, daima turunu en yüksek tura ulaştıracak şekilde hava akımlarına yol vermektedir: Türbini bu şekilde en yüksek (azami) tura ulaştırmak için hiçbir ek müdahale gerekmemektedir. Türbin keskin yönelmesi ile bu özelliği otomatikman sağlamaktadır.

Turun en yüksek olarak sağlanması türbin gücünün maksimize olması anlamını taşımamaktadır: Bu durumda değişik rüzgar hızlarında tur sayılarının düşürülmesi ile azami gücün yakalanması gerekmektedir.

Bu durumda, "Gelibolu Modeli Rüzgar Türbinlerinde", gereğinde, türbinin gücünü kontrol edebilmek, bir anlamda turu değil, gücü maksimize edebilmek için, sadece, türbinde kendiliğinden mükemmelen oluşan bu aerodinamik yönelmeyi, uygun açı derecelerine göre, pek az "derece miktarlarınca" bozmak, (bir anlamda türbin gücünü bir nevi kısmak) suretiyle, türbinin tur sayıları ile oynamak, böylece türbinin maksimum gücünü elde edebilmek için yeterli olmaktadır. (Şekil:4, 6, 10)

Türbinin bu aerodinamik olanağından yararlanarak "sabit üretim kapasiteli" rüzgar türbini üretimi durumunda, gücün sabit tutulabilmesi için, karşılaştırmalı olarak, daha basit (AWT türbin sistemine göre), bir otomatik kontrol sistemi ile güç ayarlaması yapılması mümkündür.

Söz konusu otomatik kontrol sistemi ile, rüzgar hızının tespiti, dolayısı ile rüzgar gücünün hesaplanması, ayrıca şebekenin güç ihtiyacının algılanması ve şebekeye güç takviyesi gereğinin belirlenmesi yeterli olduğu gibi, gereğinde üreticinin güç üretimi sırasında tur sayısının sabit tutulması da takip edilebilir.

Bu parametreler dikkate alınarak bir servomotor sistemi ile "Güç-Artırım-Yöneltilme-Kanatlarının" (GAYK), ana eksen etrafındaki pozisyonunun sadece birkaç derece

olmak üzere "bir nevi kısılması" (=yönelme açılarının istem dahilinde bozdurulması), gerekli güç ayarlaması için yeterli olmaktadır.

Ek güce ihtiyaç olması durumunda ise, kanatların kendi halinde rüzgara tam yönelebilmeleri için, serbest bırakılması yeterli olacaktır. Çünkü bu durumda, GAYK kanatlar azami güce veya ihtiyaç olan güce erişebilme gereğini ayarlayabilmek üzere, (yapılacak bir nevi kısma ve açmalara imkan vermek üzere) derhal kendiliğinden azami tur sayısına erişecektir.

Bu kompanzasyon, güç artırımı ihtiyacının doğması durumunda, havanın kendi gücü ile (sadece saniyenin zaman-kesirleri içerisinde), kendiliğinden (aerodinamik olarak) gerçekleşirken, gücün kısılması ihtiyacı doğması durumunda ise, bu amaçla, GAYK Kanatlarını "kısma" yönünde hareket ettiren "servo-kontrollü elektronik sistemler" ile gerçekleştirilebilir.

Aerodinamik yapısından da yararlanarak sağlanan bu, "Güç kısma ve açma özelliği", "Gelibolu Modeli Rüzgar Türbinlerinin" büyük bir avantajı olarak, türbinin özellikleri arasında yer almaktadır.

f) Büyük güçlerde üretilebilme bakımından:

Söz konusu "Kingston polytechnic, AWT", türbininin, literatürde yer alan açıklamalarında "yüksek performans" sahip bulunduğu, ufak ebadlı türbinin, akü şarjı amaçlı olarak kullanılabileceği gibi, büyük boyutlarda "Megawat" veya "Multimegawat" güçlerinde de üretilebileceği, şebeke ile bağlantılı olarak, sabit hızlı ve sabit güçlü elektrik üreten türbinler halinde kullanılabileceği belirtilmektedir.

(EK:3)

- I) "Yukarı-aşağı-teksif" (Dikey yoğunlaştırma) özelliği de kazandırılmak kaydıyla, yukarıda belirtilen tüm olumlu özellikler, AWT'de mevcut olduğu haliyle, aynen "Gelibolu Modeli Rüzgar Türbinlerinde" de geçerlidir.
- ii) "Gelibolu Modelinin" konstrüksiyon yapısı, istenilen çapta ve yükseklikte (çok-katlı) üretilmeye daha da uygundur. Türbinin "projeksiyon kesit alanı" arttıkça, -yöresel rüzgar özelliklerine göre- sağlanacak gücün de artması doğal olarak beklenir.
- iii) "AWT türünde", büyük güçlü türbinlerin üretiminde, türbini yöneltme ve güç-regülasyonu problemleri ile, türbin konstrüksiyonu problemleri, türbinler büyüdükçe daha da artan zorluklar ortaya çıkaracak durumda görülmektedir.

"Gelibolu Modeli Rüzgar Türbinlerinde", ise:

- Rüzgara karşı yönelme, her kat için bağımsız olup, tam otomatiktir.
- Gerektiğinde sadece "kısılma" (=güç regülasyonu) sağlanması için, basit bir servo-kontrol sistemi kullanılması yeterli olabilecektir.
- Çok aşırı rüzgar hızlarında türbinin, (cut- out)'a "=kesime" gitmesi, yani hiç dönemez hale getirilmesi son derece kolaydır:

Bunun için, "Güç-Artırım-Yöneltme-Kanatlarının", "GAYK" kanatların sahip olduğu tek yönelme açısının bilerek bozdurulması ile, kanat turları istenilen oranda azaltılabileceği gibi, kanatlar istenirse hiç dönemez hale de getirilebilmektedir:

Bu durum, tamamen "**Gelibolu Modeli Rüzgar Türbinlerinin**", aerodinamik özellikleri nedeniyle sağlanabilmektedir.

SONUÇ-7: "Sosyo-ekonomik" Katkı Olasılıkları:

"Gelibolu Modeli Rüzgar Türbinlerinin", "güç-artırımı ve yönlendirme özellikleri bakımından, sağladığı teknik geliştirme aşaması nedeniyle, bu türbinlerin uygulamalarının giderek yaygınlaşabileceği, ekonomik yararları nedeniyle, türbin maliyetlerinin ekonomiye daha kısa sürede geri ödenmesini sağlayabileceği, ülke rüzgar enerjisi teknik ve ekonomik potansiyelinin daha yüksek eşdeğer verimle ve daha yüksek ulusal sosyo-ekonomik bedelle değerlendirilmesine imkan sağlayabilecek şekilde, bu teknikle seri üretim seviyesine kısa sürede erişebileceği, sonuç olarak öngörülmektedir:

a) Ülkemizin çok yüksek bir rüzgar enerjisi potansiyeli mevcuttur: (Yüzlerce milyar kwh elektrik enerjisi eşdeğerinde). Ülkemizin üzerinden, her yıl yüzlerce Trilyon Türk Lirası eşdeğerindeki elektrik enerjisi üretme gücüne sahip olan hava akımları, boşa akıp gitmektedir. (**Şener, 1986**)

Birçok ülke bu konuda son on yıllarda hızla bilinçlenmiş, ulusal enerji ihtiyaçlarının dikkate değer yüzdelerini rüzgar enerjisinden sağlamak yönünde ciddi planlamalar yapmaya ve bunları uygulamaya başlamışlardır. (**EWEA, 1991**)

Türkiye, rüzgar enerjisi bakımından dünyanın sayılı **şanslı** bölgeleri içerisinde. (**3. GENEL ENERJİ KONGRESİ, 1977**)

DMİ verilerine göre, üç tarafı denizlerle çevrili olan Ülkemiz, aynı zamanda kıtalararası alçak ve yüksek basınç merkezlerinin ve güçlü rüzgar cephe sistemlerinin etkilerinde bulunmaktadır.

Ülkemiz aynı zamanda, birçok Avrupa Ülkesine oranla çok geniş bir yüzölçümüne sahip bulunmaktadır.

Ülkelerin rüzgar enerjisi potansiyelleri ve yüzölçümleri dikkate alındığında, daha az şanslı durumda bulunan pek çok ülke, bu önemli doğal enerji kaynağının, stratejik ekonomik değerini çok ciddi şekilde algılayabilmiş ve ondan yararlanmak üzere planlı uygulama ve araştırmalara yönelmiştir. **(EWEA, 1991)**

Ülkemizin Rüzgar Enerjisi Ekonomik Potansiyeli hakkında Veriler, Varsayımlar, Parametreler (Özet:)

Ülkemizin, "derhal erişilebilir durumdaki" net-ekonomik rüzgar enerjisi potansiyelinin, "elektrik-enerjisi-eşdeğeri-ekonomik bedeli karşılığının", 1994 yılı rakamları ve en olumsuz değerlendirmelerle yıllık minimum 46 Trilyon TL. ve ortalama değerlendirmelerle de yaklaşık 395 Trilyon TL., meblağları arasında bulunabileceği hesaplanmaktadır. Diğer bazı ülkelerde uygulandığı gibi, daha yüksek (50-100 m'lik) türbinlerin kurulabileceğinin varsayılması durumunda ise, üretilebilecek "net-ekonomik" rüzgar-elektrik potansiyelinin, (sadece eşdeğer elektrik fatura bedel karşılığı olarak) 1,1 Katrilyon TL.'nin üzerinde olabileceği hesaplanabilmektedir.

Bu değerlendirmelerde, "en olumlu" senaryo alternatifleri, sonuçları burada verilmemektedir. Ayrıca, rüzgar türbinlerinde giderek gelişen verim teknolojisinin, bu değerli kaynağı giderek daha yüksek oranlarda elektrik enerjisine dönüştürebilmekte olduğu ve böyle bir artırma olanağının bir sınıra kadar daima mevcut olabileceği

inkar edilemeyeceği halde türbinlerin teknik verimleri sadece bilinen bazı makul değerlerde alınmıştır.

Ekonomik kaynaklarımızdan, rüzgar türbinlerinin üretimine yöneltilecek tüm kaynakların, **sadece birkaç yılda**, topluma milli gelir ve istihdam artışı olarak **geri dönebileceğini** savunmaktayız. Ayrıca, türbinlerin 15-20 yıla varan ömürleri içerisinde, bu toplumsal fayda üretimi, ilk geri-ödemeden sonra katlanarak sürebilecektir.

Yeni meteorolojik araştırmaların ortaya koymakta olduğu ek bulgular ve **daha gerçekçi** veriler ve aşağıda kısaca verilen **parametreler** ile, yukarıda belirtilen ekonomik potansiyelin daha da aşılabileceği öngörülmektedir:

Yeni Meteorolojik verilerin sağlanması ile ilgili araştırmalar, Ülkemizde çok daha elverişli rüzgar bölgelerinin varlığını ortaya çıkarmaktadır.

Parametreler:

- i) **"Arazi-Kullanım-Oranı"**= Uygun arazilerin yüzölçümlerinin yüzde dokuzu ile yüzde 35'i (parametre değerleri) arasında, rüzgar türbinleri çiftliklerinin kurularak yararlanılması kaydıyla,
- ii) **"Kurma-Sıklığı"**= Kurulacak türbinlerin beher metrekare kanat tarama projeksiyon kesit alanı karşılığında, uygun arazilerden 40 ila 250 metrekare (parametre değerleri), sahanın bu işe tahsis edilecek şekilde arazi parçası bırakıldığı varsayımı ile,

- iii) **Kapasite Faktörü**= Türbinlerin yılda, yüzde 5 ila yüzde 35 ($K=0,05 - 0,35$) (parametre değerleri) arasındaki kapasite faktörü değerleri ile çalışabileceği uygun yörelerde rüzgar türbin çiftliklerinin kurulması halinde,
- iv) **Türbin Tesis Yüksekliği**= Türbinlerin yerden yaklaşık 30 metre (parametre değeri) kule yüksekliğinde kurulması durumunda,
- v) **Elektriksel Performans**= Kurulacak türbinlerin teknik elektriksel verimlerinin, minimum yüzde 9 ila ortalama yüzde 37,7 değerleri arasında (parametre değerleri) bulunması durumunda,
- vi) **Kurma Yerleri**= Türbinlerin, yurdumuzun **DMİ ve EİE** kuruluşları tarafından belirlenen en iyi rüzgar verilerine sahip, öncelikli yöreler gruplarından başlayarak kurulmaları durumunda, yukarıda belirtilen eşdeğer elektrik enerjisi bedellerinin elde edilebileceği bilgisayar hesaplamalarında bulunmaktadır.

Söz konusu enerjinin, söz konusu senaryolar ile, Ülkemizde her yıl rüzgardan elde edilebileceği öngörülmektedir.

Hesaplama kullanılan veriler, parametreler ve bulunan sonuçlar, ilgili ekiplerle bazı bilimsel tartışma ortamlarında zaman zaman sunulmakta olup, burada sadece raporumuzu ilgilendirdiği yönü itibarıyla özet şeklinde verilmiştir.

- b) Beher kilowatsaat (kwh) elektrik enerjisi, üretim kaynaklarına bağlı olarak değişen, yaklaşık "3 ila 10 cent" arasında bir ekonomik değere sahip olmakla beraber, ekonomiye tahsis edilen ve sanayide kullanılan, beher (kwh) elektrik

enerjisinin, makroekonomik düzeyde (1,00 ila 1,50 ABD Doları) arasında ek milli gelir ve istihdam artışı ve dolayısıyla refah artışına yol açtığı bilinmektedir: **(Kaynak:DPT)**

Buna göre, her 100 trilyon TL'lik elektrik faturası eşdeğerinde elektrik enerjisinin, toplumumuzda, kabaca 1 - 3 Katrilyon TL. arasında, eşdeğer ek milli gelir ve refah artışı (milli gelir-istihdam artışı) katma değeri sağlaması olasılığının bulunabileceği öngörülebilir.

Böylece, sonuç olarak, rüzgar enerjisinin, net türbin verimlerinin artması ve rüzgar ekonomik potansiyelinin gerçek büyüklüğünün tespitindeki doğruluğun artışları oranında, milli gelirdeki gerçek artış katkısının, sadece eşdeğer elektrik fatura bedelinin pekçok katından fazla artış sağlayacağı hesaplanabilir ve tartışılabilir.

c) Örneğin, rüzgar türbinlerinde sağlanabilecek teknik gelişmeler sonucunda,

i) türbin teknik verimliliğinde, **sadece beher puanlık (yüzde bir)** artış, ile, ve,

ii) türbin kullanım - kapasite faktöründeki **beher puanlık (yüzde bir)** artış, gerçekleştirilebildiği takdirde, sadece bu, **birer puanlık teknik başarının sağladığı ekonomik eşdeğer katkı artışının bile, yüzlerce Milyar Türk Lirası elektrik bedeline tekabül ettiği hesaplanmaktadır:**

Bu gerçeklerden hareketle, bu tür teknik gelişmeler için tahsis edilecek araştırma kaynak ve bütçelerinin, sağlanacak teknik verim artışlarının ve bunun eşdeğeri olacak olan, sosyo-ekonomik yararlarının yanında fevkalade küçük oranda kalmakta olduğu sonucuna varılmaktadır:

Bunun doğal sonucu olarak, başarıya ulaşma ümidi ve üretim olanağı olan araştırma çalışmalarına tahsis edilecek kaynakların, Ülke için, ileride muhtemelen son derece verimli yatırımlara dönüşebileceği de önemle dikkate alınmalıdır:

Sonuç olarak, araştırmanın karşılığını toplum, yüzlerce kat fazlası ile kısa sürede geri kazanmaktadır. Batı ülkelerinde "Risk-sermayesi" (=joint venture) uygulamalarında, tahsis edilen kaynakların, topluma geri ödenme oranı, bazı dallarda bunun da üzerinde bulunmaktadır.

SONUÇ-8: Kapasite Faktörü Artış Etkisi:

"Gelibolu-Modeli rüzgar türbini, "cut-in" (=ilk hareket) hızı ve "cut-out (=kesim hızları) arasındaki "Çalışma- bölgesi" -hız aralığını- genişleten bir teknik özellikte bulunduğundan, yöresel meteorolojik özelliklere göre, klasik türbinlerin "Kapasite Faktörleri" ile karşılaştırmalı olarak, kullanım kapasitesinde haklı ve önemli bir artış beklentisine sahip olma ve bunu sağlama durumundadır:

Düşük kapasite faktörüne (=K) sahip, rüzgar türbinleri, yılın 8760 saatinin ancak daha az süreli bir kısmında tam güçte faal durumda bulunabilmektedirler:

"Gelibolu Modeli rüzgar türbininin", yapısal ve teknik özellikleri nedeni ile, diğer türbinler için çok düşük sayılabilecek rüzgar hızlarında (cut-in), ilk harekete geçebildiği belirlenmiştir.

Yine birçok türbinin aşırı hız sebebiyle frenlenmesini, ya da "kesimini" (=cut-out) gerektiren rüzgar hızlarında, normal faaliyetini sürdürmeye -hacimsel konstrüksiyon

yapısının uygunluğu ve aerodinamik mükemmel regülasyon kabiliyeti nedeni ile devam edebilmektedir:

Böylece, yıl içinde -yöresel rüzgar potansiyeline göre- türbinin aerodinamik özelliklerinin bir sonucu olarak, karşılaştırmalı şekilde, daha fazla zaman süresince çalışabilme imkanına sahip bulunacağından, türbinin daha uzun süre tam güçte faal durumda bulunması ve böylece daha fazla enerji çıktısı üretmesi beklenir:

Örnek olarak, meteorolojik verilere göre, Çanakkale'de yılda 3600 saatin üzerinde "fırtınalı saat" süresi (yılın % 41'i) mevcut bulunduğu bilinmektedir:

"Gelibolu türbini", ilk hareketi için, "fırtına hızını" gerektirmediği gibi, aşırı fırtınalarda, diğer türbinlerin üretimi kestikleri "kesme (cut-out) hızında" dahi, normal şekilde enerji üretimini sürdürebilmektedir.

Yüksek hızlarda oluşacak aşırı rüzgar gücü, önceki bölümlerde açıklandığı şekilde, ya aynen enerjiye dönüştürülebilir veya basit aerodinamik regülasyon sistemi ile kısıtlanarak sınırlandırılabilir. Örnekte görüldüğü üzere sadece "fırtınalı saatlerin oranı" %41 olduğu halde, kapasite faktörü, "cut-in", "cut-out" hızları arasındaki aralıkta değişik rüzgar hızlarına sahip olan sürede, yukarıda açıklanan şekilde sürdürülebilir üretime göre, Kapasite faktörü, ($K = \%41$)'in de üzerinde, elde edilebilecektir.

Proje Sonuçları İle İlgili Karşılaştırmalar:

Projede, söz konusu türbinin orijinal tasarımını oluşturan, "Güç-Artırım-Yöneltme-Kanatlarının" (=GAYK) uygulanması ile ilgili karşılaştırmalı sonuçlar, bu kanatların

türbinde kullanılması durumunda, açık, belirgin, olumlu katkılar oluştuğunu ortaya koymuştur. (Tablo:2, 3, 4)

i) "Güç-Artırım-Yöneltme-Kanatlarının" uygulanması, aerodinamik, mekanik ve test uygulama şartları açısından, hemen hiçbir güçlük ortaya çıkarmamıştır. Proje öncesinden beri ve proje içinde de bu GAYK kanatlardan beklenen olumlu fonksiyonlar, eksiksiz yerine gelmiştir.

ii) "Güç-Artırım-Yöneltme-Kanatlarının", "Gelibolu Modeli" rüzgar türbinlerinde, "güç-üretim-kanatları" ile kombine halde çalıştırılmasının, -bir önceki maddede sıralanan, "solidity-uyumsuzluğu" gibi tüm olumsuz şartların ortaya çıkmasına rağmen-, açık ve net şekilde, büyük oranda tur, güç ve verim artışlarını sağlamakta olduğu, karşılaştırmalı şekilde belirlenmiştir. Bu GAYK kanatların, türbin ile ilgili hemen her geometrik türdeki "güç-kanatları" ile birlikte uygulanmasından oluşan ek katkıları ve üretilen gücü artırmadaki olumlu etkisi, belirgin olarak tespit edilmiştir. (Tablo:2, 3), (Şekil:5)

iii) Projede, "güç-üretim-kanatlarının" en ideal şekillerinin belirlenip, bunların üretilmesi ve "Güç- Artırım-Yöneltme-Kanatları" (GAYK) ile kombine olarak çalıştırılması, projenin esas zaman alıcı kısmını oluşturmuştur.

Bu amaçla, önceki bölümlerde belirtildiği üzere, literatürde yer alan "Savonius", "Darrieus" türü kanatlar üretildiği gibi, bu gruplara da girebilecek olan veya daha değişik profil kesitlerindeki "güç-üretim-kanatları" da proje içerisinde tasarlanmış ve üretilmiştir.

Üretilen tüm kanatlar önce bu "yalın" halleri ile kendi başlarına sağlayabildikleri tür, güç ve verim açılarından test ve analiz edildiği gibi, "Gelibolu Modeli Rüzgar Türbininin", "Güç-Artırım-Yönelme-Kanatları" (GAYK) ile de kombine edilmek suretiyle tekrar denenmişlerdir. (Şekil:5)

B- PROJE SONUÇLARININ SAĞLAYACAĞI KATKILAR:

1) Sonuçların Bilime Katkısı İmkani:

"Gelibolu Modeli Rüzgar türbinlerinde" verimlilik parametrelerinin araştırılması, rüzgar teknolojisinde henüz yeni, pek bilinmeyen ve az uygulama alanı olan, buna mukabil verim yönünden gelecekte daha ümit verici bulunan, "Güç-Artırım- Kanatlı" rüzgar türbinleri (augmented wind turbines) arasında, aynı zamanda, "yönlendirici" özelliğe de sahip olan ilk modelinin (Gelibolu Modeli Rüzgar türbinlerinin) geliştirilmesinde bir yenilik teşkil etmiştir.

Bu bakımdan TÜBİTAK'ın desteklemiş bulunduğu bu proje, bu teknoloji dalında dünyada, bu türde ilk "yönelmeli" türbinin bilimsel testleri ile ilgili uygulamaları gerçekleştirmiştir.

Projenin orijinalliğini teşkil eden "Güç-Artırım-Yönelme- Kanatları", her ne kadar projeye veri olarak katılmış, projenin temel parametrelerini teşkil etmiş ve türbin modellerinin üretimleri buna göre gerçekleştirilmiş ise de, türbinde esas "güç-üretim-kanatları" olarak kullanılan, dünyada mevcut ticari uygulamaları literatürde yer alan, belli başlı "güç-üretim- kanatları" da (Darrieus, Savonius, vb.) proje kapsamında üretilmiştir.

Dünyada, artan rüzgar enerjisi uygulamaları ve gelişen rüzgar türbin teknolojileri açısından, Türkiye'nin TÜBİTAK Başkanlığı aracılığı, bu dalda atılım sayılabilecek böyle bir projeyi gerçekleştirmesi, en azından, tartışmaya değerilecek bir önemde olmakla birlikte, uygulamaların temel bilimlerle içiçe yer aldığı gerçeğinin ışığı altında, önümüzdeki dönemlerde projemizin sonuçlarını daha da geliştirecek ve değerlendirecek olan, aşağıdaki temel bilimlerle ilgili araştırma, analiz ve değerlendirmelerin, hızla ve detaylı bir şekilde başlatılmasının da bir zorunluk olduğu düşünülmektedir:

- a) "Gelibolu Modeli Rüzgar Türbinleri" ile ilgili bu proje sonuçlarını daha da derinleştirecek şekilde ve bulguları bilimsel alt yapıları ile de desteklemek üzere, aerodinamik, akışkan fiziği, akış analizleri, simülasyon, mekanik, dayanım, verim analizleri, verim ölçümü metodlarının modele göre hazırlanması, ileri kompozit malzemeler, maliyet analizleri gibi konuların etüdü de, ilgili bilim çevrelerince detaylı şekilde yapılmalıdır.

Bazı konu adları, spesifik başlıklar şeklinde, "öneriler bölümünde" belirtilmeye çalışılacaktır:

Bunların herbirinin yeni orijinal birer master veya doktora tezi halinde değerlendirilebileceği Üniversite yetkililerimizce ifade edilmiştir.

- b) Türbinlerin, teknik fizibiliteleri, rüzgar enerjisi potansiyelimize katkı olanakları, muhtemel kapasite faktörleri ile, türbinlerin seri halde üretilmeleri durumunda oluşturabilecekleri iş sahaları ve istihdam olanakları, muhtemel enerji katkısı, bu enerjinin sağlayabileceği eşdeğer milli gelir artışı ve refah artışı katkıları,

diğer sosyoekonomik yararları, ülkemiz açısından ihracat olanakları, lisans gelirleri katkısı vb.konular da, yine bilim çevrelerince tartışmalı olarak değerlendirilmelidir.

2) Sonuçların uygulamalara katkı olanakları:

Yaklaşık 12 yıldır, 12 kadar, muhtelif boylarda modelleri üretilmiş olan "Gelibolu Modeli Rüzgar Türbininin", TÜBİTAK'ın bu projesi içerisinde, iki adet "yarı-profesyonel" üretim kalitesinde türbin modelinin üretiminin gerçekleştirilmesi sağlanmış bulunmaktadır.

Proje kapsamındaki model üretim çalışmaları sırasında, tasarlanan modellerin üretilebilirliğini, sanayimizin imkanları içerisinde daha yakından tespit etme imkanı doğmuştur.

Üniversitelerimizin temel bilimlerdeki katkısı ile, sanayimizin pratik üretim ve uygulama imkanlarının, ileride geliştirilmesi gereken ideal işbirliği içinde bir araya gelmesi beklenmektedir. Projemizde, bu "birlikteliğin" halen, birçok bakımlardan maalesef yeterince oluşmadığını bu örnek olayımızda karşılaştığımız bazı tecrübelerle belirlemiş bulunmaktayız.

Böylece, "Gelibolu Modeli" rüzgar türbinlerinin prototiplerinin üretimleri, Üniversite-sanayi işbirliği sırasında oluşan bazı uygulama aksaklıklarının tespiti bakımından ilginç bir örnek olay teşkil etmiştir:

Üniversitelerimizde ve sanayi kesimimizde karşılaşılan bazı sorunlarımıza rağmen, sonuçta vardığımız kanı, buluş ve geliştirmelere dayanan proje çalışmalarında,

bizzat buluş sahibinin, kendisine sağlanabilecek sorumluluklar ve yetkilerle, Üniversite ve sanayi kesimi arasında bir nevi "katalizör" olarak görev ve sorumluluk almasının gerektiğidir.

Ancak bu yoğun sorumluluğun, bir takım ek yasal ve idari düzenlemelerle, ileride oluşturabileceği büyük katma değer olasılığı da dikkate alınarak, maddi ve manevi yönden daha kolay taşınabilir şekilde, yetkili ve itibarlı bir görev haline getirilmesi gereklidir.

İleri teknolojilere sahip Batı ülkelerinin, bu konuda birçok "Uygulama-Kolaylık-Sistemleri" ile bunlara ek mali destek kaynakları oluşturmaları sebepsiz yere olmamıştır.

Türkiye`de de KOSGEB, bu konuda oldukça ümit vermekte idi. Ancak Bu Kuruluşumuzu yeni ve daha kapsamlı görevler de beklemektedir.

"Gelibolu Modeli Rüzgar Türbinleri", bugünkü bilgi birikimi ile pilot imalat aşamasına hemen ve seri üretim uygulamalarına da kısa sürede geçilebilecek bir aşamada bulunmaktadır.

Yöresel olarak, türbin güçlerinin ve yatırım fizibilitelerinin belirlenmesini takiben, muhtelif güç ve büyüklükte türbinler projelendirilebilir ve derhal bunların uygulamasına geçilebilir.

"Gelibolu Modeli Rüzgar Türbinlerinin" geometrik yapısal özellikleri nedeni ile bu türbinler istenilen çap ve yükseklikte kurulabilir ve böylece istenilen güçte "Gelibolu Modeli Rüzgar Türbinlerinin" üretilebilmesi olanağı mevcuttur.

Bu türbinlerin aşama aşama üretilmeye başlanmasının, yurdumuzda hızla, rüzgar teknolojisi ile ilgili birçok yeni iş sahaları ve iş olanakları oluşturabileceği, yakın bir süre sonra da türbinlerin ihracatına girişilebilmesinin mümkün olabileceği düşünülmektedir.

C- İLERİYE DÖNÜK ARAŞTIRMA GEREKLERİ:

Projenin, "Gelibolu Modeli Rüzgar Türbininin", yer aldığı rüzgar türbini türleri arasında, üzerinde söz etmeye değer önemde bir yenilik getirip getirmediğinin belirlenmesi bakımından, ilk araştırma projesi olarak çok yararlı olduğu savunulabilir.

Ancak, projenin gerek ilk önerilen kapsamının kısıtlanmış olması, gerek şimdi varılan aşamanın, projenin, kuruluşlar arasında koordineli olarak, sonuçları daha çok önem taşıyacak **uygulama aşamalarına intikali** gereğinin ortaya çıkması, projenin, müteakip aşamalarda genişletilerek, önerilen diğer yönlerden de ele alınmasının yararlı olacağını düşündürmektedir:

Uygun bulunması durumunda, ileriye dönük olarak aşağıdaki proje aşamalarının realize edilmesinde zorunluluk görülmektedir:

- 1) (Gelibolu Modeli Rüzgar Türbinlerinde verimlilik parametrelerinin araştırılması, yöresel bazda türbin güçlerinin ve yapım malzemelerinin tespiti) adlı orijinal projenin, sonraki proje fazlarının da gerçekleştirilmesi.

- 2) Projenin bitirilmiş bulunan birinci kısmının **tamamlayıcısı** olacak şekilde **"Uluslararası Demonstrasyon Projesi"** boyut ve kapsamında, "Gelibolu Modeli Rüzgar Türbinlerinin" verimliliğini uluslararası düzeyde de daha açık ve net bir şekilde ispat edebilecek özellikte, ikinci bir projenin gerçekleştirilmesi ile, "tam profesyonel bir türbin prototipinin" ve beraberinde "güç-üretim-güç- ölçüm-ünitelerinin" de ortaya koyulması.
- 3) "Enerji Ana Planımız" ile koordineli olarak, ulusal enerji ihtiyaçlarımıza belirli katkı (penetration) oranlarında yardımcı olabilecek kapasite ve güçte (beheri asgari 100KVA'nın üzerinde) "uygulama türbin prototiplerinin" imalatı için **"Uygulama Projesi" (KOSGEB desteğinde)** gerçekleştirilmesi.
- 4) "Gelibolu Modeli Rüzgar türbininin", ülkemizin enerji ihtiyaçlarında kullanılmak üzere yaygınlaştırılması amacı ile, enerji konusu ile ilgili muhtelif Kuruluşlarımızın birlikte koordinasyonunda, daha geniş boyutta ve gerekli pilot- üretim adedine yönelik, gerçek **"Pilot- Uygulama Projesinin" gerçekleştirilmesi.**

(Bu proje, ETKB'nin da öngördüğü üzere, yatırımcı kuruluşların finansman desteğinde gerçekleştirilebilir. Aynı zamanda (TEAŞ ve TEDAŞ)'la birlikte, Dünya Bankası (WB) kredi ve desteklerinden de yararlanılabilir.)

IV- PROJEYİ DESTEKLEYEN KURULUŞLAR:

Sürdürülen İşbirliği:

Proje, Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı (DPT)' nin uygun görmesi ve TÜBİTAK'ın projeyi kabulü ile 1990 Ekim ayında yürütülmeye başlanmıştır:

a) Projenin yürürlüğe girmesinden önce, ODTÜ Rektörlüğü ve ODTÜ Havacılık Bölüm Başkanlığı ile teknik kapsamlı bazı temel temaslar başlatılmış, "Gelibolu Modeli Rüzgar Türbinleri" ile ilgili buluş çalışmasının sonuçlarını doğrular mahiyette teorik alt yapı bilgilerinin de araştırılmasına ve bilgi teminine çalışılmıştır:

İlgili Üniversite ile 1989 yılında başlatılan bu temaslarımız, proje içinde, türbin modelinin rüzgar tüneline 1992 Ağustos ayında test edilmesi ile sürmüştür. İlgili ODTÜ bölümü, türbin testlerinde ve güç analizlerinde kullanılan "prony freni"ni de bizzat üretmiş bulunmaktadır. İlgili Üniversite ile temaslarımız halen de devam etmektedir.

b) Proje öncesinde, **Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü (DMİ) ve Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE)** ile, Türkiye'deki rüzgar enerjisi potansiyeli ve rüzgar enerjisi bakımından öncelikli yöreler ve yüzölçümleri, Türkiye'de başlatılan rüzgar enerjisi uygulamaları konularında bilgi, veri ve kaynak temini ile başlayan temaslarımız, proje süresi içerisinde devam etmiş ve bilgi alışverişi sürmektedir.

Proje kapsamı testlerin, proje amaçlarına yönelik bir şekilde sırası ile yapılmasında DMİ Genel Müdürlüğünün gerçekten çok büyük yardım ve destekleri sağlanmıştır. DMİ, aşama aşama hazırlanan test ve deney düzeneklerimizin, bekletilmeksizin ve büyük kolaylıklar gösterilerek DMİ rüzgar tüneline test edilmesinde her zaman yardımcı olmuştur. DMİ görevlilerinin nezaretinde yapılan testler, ayrıca raporla da tespit edilmiştir.

c) Proje öncesinde, ilgili buluş faaliyetimiz "Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına (ETKB) bir dilekçe ile arzedilmiş, bu konuda devletçe bir uygulamanın başlatılması halinde elimizden gelen çalışmanın fedakarlıkla yapılabileceği arzedilmiştir:

ETKB'dan cevaben, gerek TÜBİTAK, gerek EİE Kuruluşlarına "projenin ilgiye değer bulunduğu" ve "tetkiki" isteği bildirilmiş, EİE'nin de "usulleri ve imkanları çerçevesinde projeye destek olmaları", ETKB'nın ilgili yazılarında istenmiştir. Ayrıca tanıtım ve geliştirme faaliyetlerinde, yatırımcı bir Kuruluş bulunduğu takdirde, ETKB'ca projeye destek verileceği bildirilmiştir. ETKB ve EİE ile, "Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği" olarak, EWEA (Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği) 'nin "Türkiye Şubesi" (AREB-TŞ) kuruluşu içerisinde, temas ve çalışmalarımız halen devam etmektedir.

d) Proje içerisinde, Hacettepe Üniversitesi Beytepe Kampüsü Hidrojeoloji Bölümünde, türbin modellerinin üretimi ve montajı için son zamana kadar yararlanılan bir laboratuvar mekanı, ilgili Bölüm Başkanlığınca temin edilmiştir. Bu destek, proje çalışmalarımızı rahatlatan ve uygun bir atölye ortamı sağlayan değerli bir katkı olmuştur.

Bunun dışında HÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü Başkanlığı olarak da aynı mekanda her türlü teknik yardım ve destek gösterilmiştir. Projenin realizesinde önemli bir teknik katkı oluşturan bu değerli destekler için, derin bir şükran duymaktayız.

e) Proje süresi içerisinde, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Maslak Kampüsünde yer alan Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Dekanlığı, proje çalışmalarımızda çok büyük teknik katkı sağlamıştır.

İlgili Fakültenin "Trisonik Laboratuvarında", Ankara'da üreterek İstanbul'a nakletmek durumunda kaldığımız türbin modeli, ardarda birçok testlere tabi tutulmuştur. İlgili bölüm, projemizle ilgili değerli görüş ve destekleri ile fedakar bir çalışma ortamı ortaya koymuştur.

f) Proje öncesinde, Milli Eğitim Bakanlığının (MEB) bir genelgesi ile, "Mucitler ve Araştırmacılar Demeği" üyelerinin, MEB'e bağlı Teknik Okullar, atölye, laboratuvar ve Döner Sermaye İşletmelerinden, işçilik ücreti alınmadan, sadece malzeme bedellerinin ödenmesi kaydı ile yararlanabileceği konusunda bir uygulama getirilmiş bulunuyordu:

Bu imkandan yararlanarak, ilgili Demeğin Bilim Kurulu üyesi olarak, ilk rüzgar türbini modelinin çelik konstrüksiyonu, proje kapsamı içerisinde "Ders Aletleri Yapım Merkezinde" (DAYM) imal ettirilmiştir.

Yine bu kapsamda Gazi Teknik Endüstri Meslek Lisesinde, aynı türbinin güç ünitesi ile ilgili teknik çalışmalarda da teknik destek alınmıştır.

g) Gazi Üniversitesinden değerli öğretim üyelerimiz, tüm testlerimizde test sonuçlarının sayısal tespitinde sürekli yararlanılan elektronik tur ölçüm cihazını üretmişlerdir.

h) 1992 yılı içerisinde İTÜ ile teknik temaslarımız sürmekte iken, İTÜ-KOSGEB'e "Sabit Kapasiteli Gelibolu Modeli Rüzgar türbini" prototipinin üretilip üretilmeyeceği konusunda müracaatımız üzerine, İTÜ-KOSGEB tarafından projenin kabul edildiği ve destekleneceği bildirilmiştir. Çalışma henüz başlatılmamıştır.

i) Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), Müsteşarlık Araştırma Grubu Başkanlığı, TÜBİTAK'a projemizin önerilmesi, kabulü ve TÜBİTAK'a iletilmesi ile, DPT'de yürütülmeye başlanmasında anlayış göstermiş, ülke yararlarını açıklıkla algılama yaklaşımı ile destek vermiştir. Böylelikle projeye, DPT içerisinde zaman tahsis edebilme imkanı bulunduğu gibi, Üniversitelerle ve sanayi kesimi ile teknik temaslar ve bilgi temini yanında, üretim aşamaları için bu kesimlere derhal intikal olanağı bulunmuştur. Bu anlayış ile çalışmalarımız daha hızla sürdürülmüştür. Gelişme aşamaları hakkında zaman zaman, DPT Müsteşarlığına da yazılı bilgiler verilmiştir.

V- SONUÇ RAPORU EK BİLGİLERİ:

1) Ek Öneriler:

a) Proje sonuçlarının değerlendirilmesi önerileri:

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir gelişme trendi gösteren "rüzgar enerjisi" ile ilgili her türlü öneriler ve yaklaşımlar, daha dikkatli ve toleranslı olarak değerlendirilmeli, bilimsel olarak tartışılmalı ve bu görüşlerin savunulmasına olanak verilmelidir:

b) İlgili Uygulayıcı Kurum ve Kuruluşlar:

- DPT
- TÜBİTAK
- TEAŞ VE TEDAŞ
- KOSGEB
- ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI (EKTB)
- ÇEVRE BAKANLIĞI

- TARIM VE KÖYİŞLERİ İle ORMAN BAKANLIKLARI
- ELEKTRİK İŞLERİ ETÜD İDARESİ G.MD. (EİE)
- DEVLET METEOROLOJİ G.MD. (DMİ)
- KAMU ORTAKLIĞI İDARESİ (KÖİ)
- YÜKSEK ÖĞRETİM KURUMU (YÖK); ÜNİVERSİTELER

c) Uygulayıcı Kuruluşlara İntikali Önerilen Hususlar:

Genel olarak enerji bolluğu ülkelerin gelişme ve refah artışları için çok önemlidir. Ülkemizin kalkınmasında da büyük önemi olan toplam enerji üretimimizin, mümkün olan her türlü temiz ve ucuz enerji kaynakları kullanılarak daha da bollaştırılması konusunun, ilgili Kuruluşlarla koordineli olarak, ulusal boyutta giderek önemle algılanan ve ele alınan bir düzeye getirilmesi sağlanmalıdır.

Bu açıdan bakıldığında rüzgar enerjisi, temiz enerji kaynaklarının en önemlilerinden birisi olup, bu enerjiden rasyonel olarak yararlanıldığında, ekonomiye sağladığı katma değer çok yüksektir.

Bu nedenle aşağıda, konumuz, genel enerji üretimi içindeki yeri ve enerjinin makro düzeydeki önemi açısından bir örnek olay olarak ele alınarak, yukarıda belirtilen Kuruluşlardan sadece ikisi ile ilgili önerilere yer verilmiştir:

- D.P.T:

- Enerji Ana Planının yapılmasında, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına, bu arada rüzgar enerjisine de gereken daha geniş önemin verilmesinin önerilmesi,

- Rüzgar enerjisinde yararlanılmak üzere "Türk Malı" olarak geliştirilebilecek tüm rüzgar türbinleri çeşitleri arasında, "Gelibolu Modeli Rüzgar Türbinlerinin" de yerinin ve öneminin belirginleştirilmesi,
- Rüzgar enerjisinin öneminin ve yurdumuzun rüzgar enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesinde, "Gelibolu Modeli Rüzgar Türbinlerinin" muhtemel katkıları ile ilgili araştırma gerekleri ve uygulama olanaklarının, Beş Yıllık Kalkınma Planları ve yıllık programlar ile bu programların "tedbirler" ile ilgili koordineyi gerektiren bölümlerinde yer almasının önerilmesi,
- "Gelibolu modeli rüzgar türbinlerinin", enerji üretimi, yerli sanayi ve ekonomiye olumlu katkıları, istihdam ve milli gelir oluşturma ve ihracat olanakları, konuları ile ilgili olarak TÜBİTAK'ın görüşlerinin iletilmesi,
- Kamu personeli olan buluş sahiplerinin, proje faaliyetleri ve bunların kamu yararlarına yönelik buluşları ile ilgili bir takım teşvikler ve kolaylıklar getirecek yasal ve idari düzenlemelerin yapılmasının talebi,
- Enerji Ana Planı kapsamındaki yatırımları için, DMI ve EİE gibi ilgili kuruluşlara yeterince bütçe tahsisleri sağlanmasının talebi,
- "Risk Sermayesi" (joint venture) uygulamalarının, öncelikle yasal ve idari düzenlemelerinin reel işlerlik kazanacak şekilde tamamlanarak, bu uygulamaların bilhassa enerji sektöründeki projelerden başlatılmasının tavsiyesi,

- TÜBİTAK:

- Proje nihai raporunun kabulü halinde, sonraki proje fazları detay ve aşamalarının bir ekiple yürütülecek şekilde ele alınması,
- DPT tarafından 1987 yılında TÜBİTAK'a yaptırılan "Rüzgar Atlası" projesinin tüm yurdu kapsayacak şekilde yenilenmesi ve yaygınlaştırılmasının temini,

2. Sonuçların Uygulamaya Dönüşmesi Aşamaları ve Gerekli Önlem ve Tedbirler ile Uygulama Özetleri:

TÜBİTAK'ın nihai raporumuzu ve müteakip proje aşamaları ile ilgili önerilerimizi kabulü durumunda:

i) Projenin diğer fazlarının tamamlanması:

Tedbir olarak, proje döneminde Üniversitelerimizden temini mümkün olamayan, elektronik "tork transducer'li", verim ölçüm sistemlerinin, tam profesyonel bir şekilde ikmal edilmesi,

ii) Uluslararası Demonstrasyon Projesi:

Rüzgar enerjisindeki teknolojik gelişmelerin değerlendirilmesinde, bir nevi uluslararası teknik hakem durumunda bulunan bilimsel kuruluşlar tarafından da test ve etüd edilmek üzere, "tam-profesyonel" kalitede bir rüzgar türbini prototipinin üretimi, güç ve verim ölçüm teçhizatının, açık ve net sonuçlar gösterebilecek şekilde

tamamlanması, **Tedbir:** EİE ve TÜBİTAK-MARMARA, bu konuda gerekli teknik destek ve yardımı vermeye yönlendirilerek, gerekli finans ve teçhizat sağlanmalıdır.

iii) Enerji Ana Planı ile koordineli olarak TEAŞ VE TEAŞ'ın ihtiyacı için, asgari "100 KVA gücünün üzerinde bir "Sabit Üretim Kapasiteli Gelibolu Modeli rüzgartürbini" prototipi üretimi projesi:

Tedbir: İTÜ-KOSGEB, halen kabul edilmiş bulunan böyle bir projeyi başlatma durumundadır.

TÜBİTAK'ın projeye katkısı da koordinasyon yönünden çok yararlı olabilir. Projenin finansmanı kısmen KOSGEB tarafından karşılanacaktır. TÜBİTAK, projeye mali katkıda da bulunabilir.

DPT elemanı olan proje sahibinin, proje mekanında teknik gözetimine, zaman ve mali imkan sağlanabilmesi için, durumunun örnek olay olarak ele alınması, bunun için idari ve gerekirse yasal düzenleme gerekmektedir.

iv) ETKB'nin "Rüzgar-elektrik Türbinleri Çiftlikleri" kurulması amacına yönelik bir pilot bir proje uygulamasına yönelmesi:

Tedbir: Konunun Ülkemiz için önemi, önce TÜBİTAK tarafından ve sonradan DPT ve ETKB tarafından gerçekçi boyutları ile algılanacak şekilde bu kuruluşlar bilgilendirilmelidir.

Yatırımcı kuruluşlardan, TEAŞ ve TEDAŞ ile, ileride kurulması önerilen "Enerji Bankacılığı Fonları", "Rüzgar Çiftliklerinin" finansman yönünü sağlamalıdır. Ayrıca, Dünya Bankası (WB) kredi kaynaklarından da yararlanılması mümkündür.

Türbin büyüklükleri, güçleri, TÜBİTAK, ETKB, TEAŞ ve EİE'nin koordinasyonu ile belirlenmelidir.

"GELİBOLU MODELİ RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE VERİMLİLİK PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ" adlı Proje çalışması ile ilgili deney sonuçlarına ait:

TABLolar VE DİYAGRAMLAR:

TABLO: 1	91
TABLO: 2	93
TABLO: 3	101
TABLO: 4	105
DIYAGRAM: 1	108
DIYAGRAM: 2	109
DIYAGRAM: 3	110
DIYAGRAM: 4	111

TABLO:1 "DARRIEUS" TÜRÜ KANATLARLA, "GELİBOLU" KANATLARIN KOMBİNASYONLARI:

**RPM (DEVİR-DAKİKA) VE KANAT-UÇ-HIZI-ORANLARI-
KARŞILAŞTIRMALARI: (TIP-SPEED-RATIO= TSR)**

1. AŞAMA			2.AŞAMA		
<u>DARRIEUS:(NACA 0021 PROFİL)</u>			<u>GELİBOLU+DARRIEUS PROFİL</u>		
<u>A.SERBEST TUR</u>			<u>A.SERBEST TUR</u>		
<u>Rüzgar Hızı(m/s)</u>	<u>RPM</u>	<u>TSR Oranı</u>	<u>Rüzgar Hızı(m/s)</u>	<u>RPM</u>	<u>TSR Oranı</u>
5,5	19	0,065	5,5	120	0.412
6,32	55	0,164	6,32	na	na
6,7	na	na	6,7	195	0,548
7,48	80	0,20	7,48	na	na
8,4	na	na	8,4	295	0,66
8,76	118	0,254	8,76	na	na

(na: deney yapılmadı; bilgi yok)

DENEY SONUÇLARI:(TABLO:1 İLE İLGİLİ)

- 1 - "Darrieus" türü kanatlar, 5,5 m/s ile 8,76m/s rüzgar hızları arasında denenmiştir. Deney sırasında güç-üretim- kanatlarının serbest tur sayıları tespit edilmiştir.
- 2 - Darrieus Kanatlarda, serbest tur sayıları, belirtilen hızlar için 19 -118 devir/dakika (RPM), arasında bulunmuştur.
- 3 - Darrieus Kanatlarda, kanat-uç-hızı oranları (TSR), rüzgar hızlarına oranla 0,065 ile 0,254 arasında bulunmuştur.

- 4 - Gelibolu + Darrieus Kombinasyonu kanatlar, 5,5 m/s ile 8,4 m/s rüzgar hızları arasında denenmiştir. Serbest tur sayıları tespit edilmiştir.
- 5- Gelibolu + Darrieus kombinasyonunda, RPM= 120 ila 295 arasında tespit edilmiştir. kanat-uç-hızı oranları (=TSR) ise, 0,412 ila 0,66 arasında bulunmuştur.

YORUM VE DEĞERLENDİRMELER: (TABLO:1)

- 1 - Eşit veya birbirine yaklaşık rüzgar hızlarında, her iki farklı kombinasyon karşılaştırılmıştır.
- 2 - Tur sayılarında (RPM), 6,3 katı ila 2,5 katı artış, "Gelibolu GAYK kanatların" kombinasyonu ile sağlanmıştır.
- 3 - Kanat-Uç-Hızı-Oranlarında (TSR), 6,3 katı ila 2,5 katı artış, "Gelibolu GAYK Kanatların" kombinasyonu ile sağlanmıştır.
- 4 - Güç-eğrileri tahminleri Diyagram:1'de, takribi ve karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

KARŞILAŞTIRMALI SONUÇLAR: (TABLO:1)

<u>DARRIEUS</u>	<u>GELİBOLU + DARRIEUS</u>
v = 5,5 - 8,76 m/s arası RPM = 19 - 118 Tur arası TSR = 0,065 - 0,254 arası	v = 5,5 - 8,4 m/s arası RPM = 120 - 295 Tur arası TSR = 0,412 - 0,66 arası

TABLO:2 "GÜÇ-ÜRETİM-KANATLARININ MUHTELİF GEOMETRİLERİNİN, "GELİBOLU MODELİ "GÜÇ-ARTIRIM-YONLENDİRME-KANATLARI" (GAYK KANATLAR) İLE KOMBİNASYONLARININ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI:

I - KANAT-TÜRÜ: ÜÇ KANATLI SAVONIUS-BENZERİ (Şekil:3) (Serbest tur ölçümleri)

1.AŞAMA "YALIN" HALDE KANATLAR			2.AŞAMA "GELİBOLU" KOMBİNASYONU İLE		
Rüzgar Hızı(m/s)	RPM	TSR Oranı	Rüzgar Hızı(m/s)	RPM	TSR Oranı
4	48	0,23	4	63	0,29
5	93	0,35	5	120	0,45
7	209	0,56	7	219	0,59
9	307	0,64	9	319	0,67
11	409	0,70	11	397	0,68
13	476	0,69	13	482	0,70
15	558	0,70	15	525	0,66
17	628	0,70	17	614	0,68
19	712	0,71	19	684	0,68
21	790	0,71	21	755	0,68

SONUÇ: (TABLO:2, BÖLÜM:1)

- 1 - 7 m/s rüzgar hızına kadar, "yalın haldeki" kanatlara oranla "Gelibolu GAYK Kombinasyonunun" daha etkin olduğu tespit edilmiştir.(Düşük hızlarda %29 RPM artışı)
- 2 - 7 m/s'den yüksek hızlarda, "Üç kanatlı Savonius-benzeri Kanatların", yalın halde iken, "Gelibolu GAYK kanatlarla Kombinasyonu"na oranla, azami %6 kadar bir etkinlik fazlalığı tespit edilmiştir.

YORUM VE DEĞERLENDİRME: (TABLO:2, BÖLÜM:1)

- 1 - Savonius-benzeri (helezoni) kanatların sırtları(konveks sırt), türbinin "tepe etkisinin" yoğunlaştırdığı hava akımları ile, frenletme yönünde, kuvvetli bir "ters-tepki- momenti" etkisi oluşturmaktadır.
- 2 - Kanatlar, yalın halde iken böyle bir "tepe etkisi" farklılığı oluşmamaktadır.(Şekil:5) Bu durum bilhassa yüksek hızlarda ortaya çıkmaktadır.

II - KANAT-TÜRLERİ-KARŞILAŞTIRMALARI:

(İki farklı geometride kanatların karşılaştırılması)

(Güç üretimi şartlarında) (Şekil:5)

1.AŞAMA "ÜÇ-KANATLI-SAVONIUS-BENZERİ VE "GELİBOLU"KOMBİNASYONU			2.AŞAMA "MERCEDES AMBLEMİ-PRİZMATİK +"GELİBOLU"KOMBİNASYONU		
Rüzgar Hızı(m/s)	RPM	TSR Oranı	Rüzgar Hızı(m/s)	RPM	TSR Oranı
15	75	0,09	15	248	0,31
17	192	0,21	17	342	0,38
19	283	0,28	19	416	0,41
21	382	0,34	21	484	0,43

SONUÇ: (TABLO:2, BÖLÜM:II)

- 1 - Yalın halde dönmesi mümkün olmayan, "Mercedes-amblemi- prizmatik" kanatlar, "Gelibolu GAYK Kombinasyonu" ile dönebilir hale gelmektedir.
- 2 - Dönebilir hale gelen "Mercedes-amblemi-prizmatik" kanatlar, "Üçlü-Savonius-benzeri kanatlardan", **üç katı fazla etkinlik** göstermektedir.
- 3 - Serbest-tur-ölçümlerine oranla güç üretiminde, turların %40 oranında azalma gösterdiği belirlenmiştir.

YORUM VE DEĞERLENDİRME: (TABLO:2, BÖLÜM:II)

- 1 - "Mercedes-amblemi-prizmatik" kanatların, dönebilir hale gelmesine ve "Üçlü-Savonius-benzeri kanatlardan", üç katı etkinlik göstermesine rağmen, modern güç kanadı performansı gösteremeyeceği belirlendi. Bunun nedeni, bu kanatlarda, "ters- tepki; veya "ters-moment" olarak tanımlanabilecek olumsuz bir frenleme etkisinin ortaya çıkmasıdır.
- 2 - Kanatlarda genel olarak, " solidity" oranlarının oldukça yüksek tespit edildi. Bu durumun, TSR(=tip-speed-ratio= kanat-uç-hızı-oranı) üzerinde aşırı derecede olumsuz etki oluşturduğu belirlendi. İleri modellerde buna göre tedbir alma yoluna gidilmiştir.

III - KANAT-TÜRÜ: YEDİ (7) KANATLI SAVONIUS-BENZERİ
(Şekil:5) (Serbest tur ölçümleri)

1.AŞAMA			2.AŞAMA		
<u>"YALIN HALDE" YEDİ (7) KANATLI SAVONIUS-BENZERİ</u>			<u>"GELİBOLU" KOMBİNASYONU İLE YEDİ'Lİ KANATLAR</u>		
<u>Rüzgar Hızı(m/s)</u>	<u>RPM</u>	<u>TSR</u>	<u>Rüzgar Hızı(m/s)</u>	<u>RPM</u>	<u>TSR</u>
13	27	0,04	13	555	0,80
15	141	0,18	15	674	0,85
17	165	0,18	17	768	0,85
19	199	0,20	19	822	0,82

SONUÇ: (TABLO:2, BÖLÜM:3)

- 1 - Yalın halde orantılı olarak daha az etkinlik gösteren "7 kanatlı-Savonius-benzeri kanatlar", "Gelibolu Kombinasyonu" ile, oransal olarak yüksek bir aerodinamik etkinliğe erişmektedir.
- 2 - "Serbest-tur-ölçümlerinde aynı şartlarda, "Gelibolu GAYK Kombinasyonu" ile, yüksek hızlarda 4 - 4,7 katı artış tespit edilmiştir. Düşük hızlarda tur artış farkı, yaklaşık 20 katına kadar çıkmaktadır.

YORUM VE DEĞERLENDİRME: (TABLO:2, BÖLÜM:3)

- 1 - Yüksek etkinlik farkına rağmen, 7'li Savonius-benzeri kanatların, "Gelibolu Kombinasyonu" ile veya "yalın olarak", modern güç kanadı performansı gösteremeyeceği belirlendi.

- 2 - Kanatlarda genel olarak, "solidity" oldukça yüksek olup, bu durum, sürtünme, tur ve gç kayıplarına yol açmaktadır. TSR Oranı oldukça düşük olup (azami %85), verimliliği direkt olarak etkilemektedir.
- 3 - Deney sonuçlarının, sadece "yalın" kanatlar ile "Gelibolu GAYK kombinasyonu" kanatlar arasında oluşan belirgin "aerodinamik etkinlik" farkını ortaya koyması açısından önemi bulunmaktadır. 7'li kanatlar için pratik uygulama değeri bulunmamaktadır.

IV - KANAT-TÜRÜ: BEŞ (5) KANATLI SAVONIUS-BENZERİ ÇİFT-KEPÇELİ KANATLAR + "GELİBOLU KOMBİNASYONU İLE: (ŞEKİL:5)

A - "YALIN" HALDEKİ KANATLAR:								
1.AŞAMA (serbest-tur ölçümler)			2.AŞAMA (Elektrik üretiminde)			3.AŞAMA (Elektriksel yük altında)		
Rüzgar Hızı m/s	RPM	TSR	Rüzgar Hızı m/s	RPM	TSR	Rüzgar Hızı m/s	RPM	TSR
10	248	0,47	10	172	0,32	10	129	0,24
15	446	0,56	15	365	0,46	15	290	0,36

B - "GELİBOLU GAYK KANATLAR KOMBİNASYONU" İLE:								
1.AŞAMA (Serbest-tur ölçümler)			2.AŞAMA (Elektrik üretiminde)			3.AŞAMA (Elektriksel yük altında)		
Rüzgar Hızı(m/s)	RPM	TSR	Rüzgar Hızı(m/s)	RPM	TSR	Rüzgar Hızı m/s	RPM	TSR
5	65	0,25	5	na	na	5	na	na
6	152	0,48	6	"	"	6	"	"
7	222	0,60	7	"	"	7	"	"
8	274	0,65	8	"	"	8	"	"
9	335	0,70	9	"	"	9	"	"
10	395	0,74	10	"	"	10	"	"
11	438	0,74	11	"	"	11	"	"
12	512	0,80	12	432	0,68	12	"	"
13	561	0,81	13	495	0,72	13	"	"
14	na	na	14	na	na	14	393	0,53
15	"	"	15	"	"	15	436	0,55
16	"	"	16	"	"	16	493	0,58
17	"	"	17	"	"	17	547	0,61
20	"	"	20	"	"	20	688	0,65

(na= deney yapılmadı;bilgi yok)

SONUÇ: (TABLO:2, BÖLÜM:IV)

- 1 - "Gelibolu Modeli GAYK" kanatların kombinasyonu, belirgin tur, güç ve performans katkısı sağlamaktadır.
- 2 - "Beş kanatlı" Savonius benzeri çift kepçeli kanatlar, kendi türü içinde, yalın halde iken de, oldukça yüksek aerodinamik etkinliğe sahip kanatlardır.

Bu etkinlik "Gelibolu GAYK Kanatların Kombinasyonu" ile **yaklaşık, % 50 kadar daha fazla güç artışı** oluşturmaktadır.

YORUM VE DEĞERLENDİRME: (TABLO:2, BÖLÜM:IV)

- 1 - "Savonius-benzeri" kanat türleri içinde, 5 kanatlı çift kepçeli bu tür, kanat aralarında 72 derece açıklık bulunması nedeni ile, karşılaştırmalı olarak, hava akımlarının en etkin durumda bulunduğu bir sonucu ortaya koymuştur:

Hava akımları, ardarda bulunan en az iki kanadın toplam 4 kepçesini aynı anda olumlu etkileyebilmektedir. Bunun yanında, "ters-sırt etkisinin" en az durumda bulunduğu gözlenmiştir.

- 2 - Aerodinamik etkinliğine rağmen, 5'li çift kepçeli kanatların, modern güç kanatları olarak, gerek yalın halde,gerek "Gelibolu GAYK" kanatları ile kombine olarak kullanılması ideal değildir.

Bunun nedeni kanat sırtlarının uygun olmaması nedeni ile rüzgara karşı yüksek bir hızda yol alabilmesinin engelle karşılaşması, TSR (=kanat-uç-hızı oranının) bundan

olumsuz etkilenecek uygun oranlara erişememesidir. Bu durum verimliliği olumsuz etkilemektedir.

3 - "Beş kanatlı çift keçeli Savonius-benzeri kanatlar", modern güç kanatları olarak tanımlanabilecek olan, "Darrieus" türü kanatlarla, iki kanatlı Savonius kanatlar yerine, mükemmel bir kombinasyon oluşturabilir:

Bu kombinasyon, geniş çaplı Darrieus kanatların merkezinde, daha dar çaplı 5 kanatlı çift keçeli Savonius-benzeri kanatlardan oluşur:

Bu iki grup kanat kombinasyonunun, gerek "yalın" halde, gerek "Gelibolu GAYK" kanatları ile kombine olarak, düşük ve yüksek rüzgar hızlarında, karşılaştırmalı olarak, en etkin bir kanat grubu oluşturabileceği öngörülmektedir. (**Şekil:7**)

4 - Tabloda sonuçları yeralan testlerde, güç-kanatlarının "solidity" oranlarının oldukça yüksek bulunduğu belirlenmiştir. Bu durum, sürtünme ve güç kayıplarını artırarak, tur ve kanat-uç-hızı oranlarının düşmesine ve etkinliğin azalmasına yol açmaktadır.

Bununla birlikte, test sonuçları, genelde, "Gelibolu Modeli" "Güç-Artırım-Yöneltme-Kanatlarının" (GAYK), muhtelif sistemlere eklenmesi ile oluşan belirgin tur ve güç artışlarını karşılaştırmalı olarak ortaya koyması bakımından çok net farklılıkları belirtmektedir.

TABLO: 3 "GELİBOLU MODELİ" RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE, GAYK "GÜÇ-ARTIRIM-YÖNLENDİRME-KANATLARININ", "SAVONIUS- BENZERİ"- (6'LI) KANATLAR ÜZERİNDEKİ OLUMLU KATKISI

KARŞILAŞTIRMALI DURUM TESPİTİ SONUÇLARI

<u>1.AŞAMA</u> "SAVONIUS-BENZERİ" "YALIN" (6) kanatla	<u>2.AŞAMA</u> <u>GELİBOLU</u> + "SAVONIUS-BENZERİ" (GAYK) (6) kanatla
A- <u>Serbest Tur Sayısı</u> <u>Tespiti</u>	A- <u>Serbest Tur Sayısı</u> <u>Tespiti:</u>
<u>Rüzgar Hızı(m/s)Ort.(RPM)</u>	<u>Rüzgar Hızı(m/s)Ort. (RPM)</u>
16,5 m/s 100	16,5 m/s 158
B- <u>Güç Ölçümünde</u> <u>Rüzgar Hızı(m/s)Ort. (RPM)</u> (Max.güçte)	B- <u>Güç Ölçümünde</u> <u>Rüzgar Hızı(m/s)Ort.(RPM)</u> (Max.güçte)
17 m/s 75	16,92 m/s 110

C- Güç Eğrisi Değerleri				C- Güç Eğrisi Değerleri			
Hız (m/s)	Yük (kgf)	RPM	Güç (W)	Hız (m/s)	Yük (kgf)	RPM	Güç(W)
16,6	0	100	0	16,6	0	158	0
17	0,5	95	8,08	16,6	0,5	153	13
17,8	1,0	85	14,45	16,8	1,0	149	25,3
17,8	1,5	75	19,13	16,6	1,5	145	37
16,8	2,0	48	16,32	16,4	2,0	140	47,6
16,8	2,5	0	0	16,6	2,5	135	57,4
16,8	2,5	0	0	15,9	3,0	130	66,3
16,8	2,5	0	0	16,4	3,5	126	75
16,8	2,5	0	0	17	5,0	110	93,5
16,8	2,5	0	0	17	5,5	0	0
16,8	2,5	0	0	16,6	3,5	126	75
16,8	2,5	0	0	17	3,0	132	67,3
16,8	2,5	0	0	16,6	2,5	137	58,2
17,3	2,0	55	18,7	16,6	2,0	141	47,9
17	1,5	69	17,6	16,4	1,5	145	37
17	1,0	85	14,45	16,6	1,0	149	25,3
16,8	0,5	95	8,08	16,8	0,5	152	12,9
17	0	102	0	16,6	0	158	0

TABLO: 3 İLE İLGİLİ NOTLAR

- Test, ODTÜ tarafından üretilen "prony freni" ile yapılmıştır. **(EK: 9)**
- Savonius-benzeri özel çift-kepçeli profil kesitli, (altı) kanattan oluşan güç-üretim kanatları kullanılmıştır. Kanatlar, alüminyum profil, alüminyum levha, ahşap ve demir aksamdan oluşmaktadır. "Solidity" (=katı ağırlık-oranı), normal oran sayılabilecek olan %15 oranından çok yüksektir.
- Tur sayıları, "elektronik-tur-ölçer" ile tespit edilmiştir.

SONUÇ: (TABLO:3)

- "Güç-Artırım-Yöneltme-Kanatlarının" (GAYK), (=sabit kanatçıkların), üretilen **enerjiyi artırma fonksiyonlarının belirgin olduğu raporla tespit edilmiştir.**
- Deney modelinin, nispeten basit bir geometri, dolayısıyla imalat kolaylığı olan bir rüzgar enerjisi üretici olduğu Üniversite raporunda belirlenmiştir.
- Keza, denenen sistemin ağır bir sistem olduğu, mekanik olarak imalattaki sürtünmelerin azaltılmasının ve daha hafif bir sistem yapılmasının mümkün görüldüğü bildirilmektedir.

- Sistemin geliştirilmesi gereği doğması durumunda, ODTÜ Havacılık Mühendisliği Bölümü, gerekli teorik ve deneysel çalışmaları, Üniversitenin belirli şartları altında gerçekleştirebileceğini belirtilmiştir.

YORUM VE DEĞERLENDİRME: (TABLO:3)

- "Gelibolu Modeli Güç-Artırım-Yönelme Kanatları" (GAYK), Savonius-benzeri-çift kepeçeli (altılı) kanatların güç üretimini yaklaşık, 4,9 katı kadar artırmıştır.

(Tur sayısında %46,7 artış ile)

- Savonius-benzeri-çift kepeçeli (altılı) kanat sisteminin, raporumuz metni içinde açıklandığı gibi, "kanat yerleşimi" ve "kanat sayıları" bakımından, denenen kanat grupları içerisinde belki en çok ıslah edilebilir bir sistem olduğu belirlemiştir.

- Bu kanatların yerine, "Darrieus" profillere sahip (NACA No.lu) kanatlarla deney yapılması ve bunların, "Gelibolu Modeli" ile kombinasyonunun sağlanarak denemesi, yapılan bu deneyler sonucunda planlanmış ve bilahare üretilen "Darrieus" türü üçlü kanatlarla planlanan deneyler sonradan yapılmıştır.

(TABLO:4)

- Altılı kanatların test sonuçlarından, güç ölçümü ile ilgili karsılaştırılmalı değerler esas olarak alınmıştır. Testlerin, "kalibrasyon ve metodunda" ve modelde yapılacak bazı değişikliklerle, deneyin ODTÜ'de yeniden, genel verim ölçümü yönünden tekrarlatılmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

TABLO: 4 "GELİBOLU MODELİ" RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE, (GAYK) "GÜÇ-ARTIRIM-YÖNELTME-KANATLARININ", "DARRIEUS" TÜRÜ KANATLAR ÜZERİNDEKİ OLUMLU KATKISI:

KANATLARIN, KARŞILAŞTIRMALI DURUM TESPİTİ SONUÇLARI					
1. AŞAMA <u>Darrieus tipi</u> kanatlarla			2. AŞAMA <u>Gelibolu+Darrieus</u> Kombinasyonu Kanatlarla		
A-Serbest Tur Sayısı Tespit			A- Serbest Tur Sayısı Tespit		
Rüzgar Hızı	Ort.RPM	TSR	Rüzgar Hızı	Ort.RPM	TSR
Hızı (m/s)		Oranı	Hızı (m/s)		Oranı
4 m/s	0	0	4 m/s	41	0,19
5,1 m/s	0	0	5,1 m/s	92	0,34
6,0 m/s	0	0	6,0 m/s	120	0,38
7,25m/s	0	0	7,25 m/s	266	0,69
8,15m/s	0	0	8,15 m/s	364	0,84
8,8 m/s	26	0,06	8,95 m/s	665	1,40
10,3 m/s	54	0,10	10,2 m/s	774	1,43
12,0 m/s	101	0,16	11,3 m/s	857	1,43
13,6 m/s	166	0,23	12,6 m/s	988	1,48
15,2 m/s	671	0,83	13,7 m/s	1069	1,47
B- Mekanik (rotor) yükünde			B- Mekanik (rotor) yükünde		
Rüzgar Hızı m/s	Ort.RPM	TSR	Rüzgar Hızı(m/s)	Ort.RPM	TSR
11 m/s	0	0	11 m/s	24	0,041
12 m/s	0	0	12 m/s	95	0,149
13 m/s	0	0	13 m/s	145	0,210
14 m/s	0	0	14 m/s	205	0,276
15 m/s	0	0	15 m/s	255	0,321
16 m/s	0	0	16 m/s	310	0,365
17 m/s	0	0	17 m/s	354	0,392
18,3 m/s	34	0,035	18 m/s	418	0,438
19,3 m/s	53	0,052	19 m/s	780	0,774
20,4 m/s	72	0,067	20 m/s	873	0,823
21,8 m/s	105	0,091	21 m/s	na	na
22,8 m/s	152	0,126	22 m/s	"	"
23,8 m/s	219	0,219	23 m/s	"	"
25,6 m/s	319	0,235	25 m/s	"	"

(na: denenmedi; bilgi yok)

DENEY SONUÇLARI: (TABLO:4 İLE İLGİLİ)

- 1 - "Darrieus" türü kanatlar, 4,0 m/s ile 25,6 m/s rüzgar hızları arasında denenmiştir. Deney sırasında güç-üretim- kanatlarının serbest tur sayıları, mekanik rotor yükü altında tur sayıları tespit edilmiştir.
- 2 - Darrieus Kanatlarda, serbest tur sayıları, belirtilen hızlar için, 26 ila 671 devir/dakika (RPM), arasında bulunmuştur.
- 3 - Darrieus Kanatlarda, kanat-uç-hızı oranları (TSR), rüzgar hızlarına oranla, 0,035 ila 0,83 arasında bulunmuştur.
- 4 - Gelibolu + Darrieus Kombinasyonu kanatlar, 4,0 m/s ile 20 m/s rüzgar hızları arasında denenmiştir. Serbest tur sayıları ve rotor yükü altında tur sayıları tespit edilmiştir.
- 5- Gelibolu + Darrieus kombinasyonunda, RPM= 41 ila 1069 arasında tespit edilmiştir. kanat-uç-hızı oranları (=TSR) ise, 0,041 ila **1,47** arasında bulunmuştur.

KARŞILAŞTIRMALI SONUÇLAR: (TABLO:4)

<u>DARRIEUS TÜRÜ KANATLARLA</u>	<u>GELİBOLU + DARRIEUS</u>
v = 8,8 - 15,2 m/s arası RPM = 26 - 671 Tur arası TSR = 0,035 - 0,83 arası	v = 4,0 - 13,7 m/s arası RPM = 41 - 1069 Tur arası TSR = 0,041 - 1,47 arası

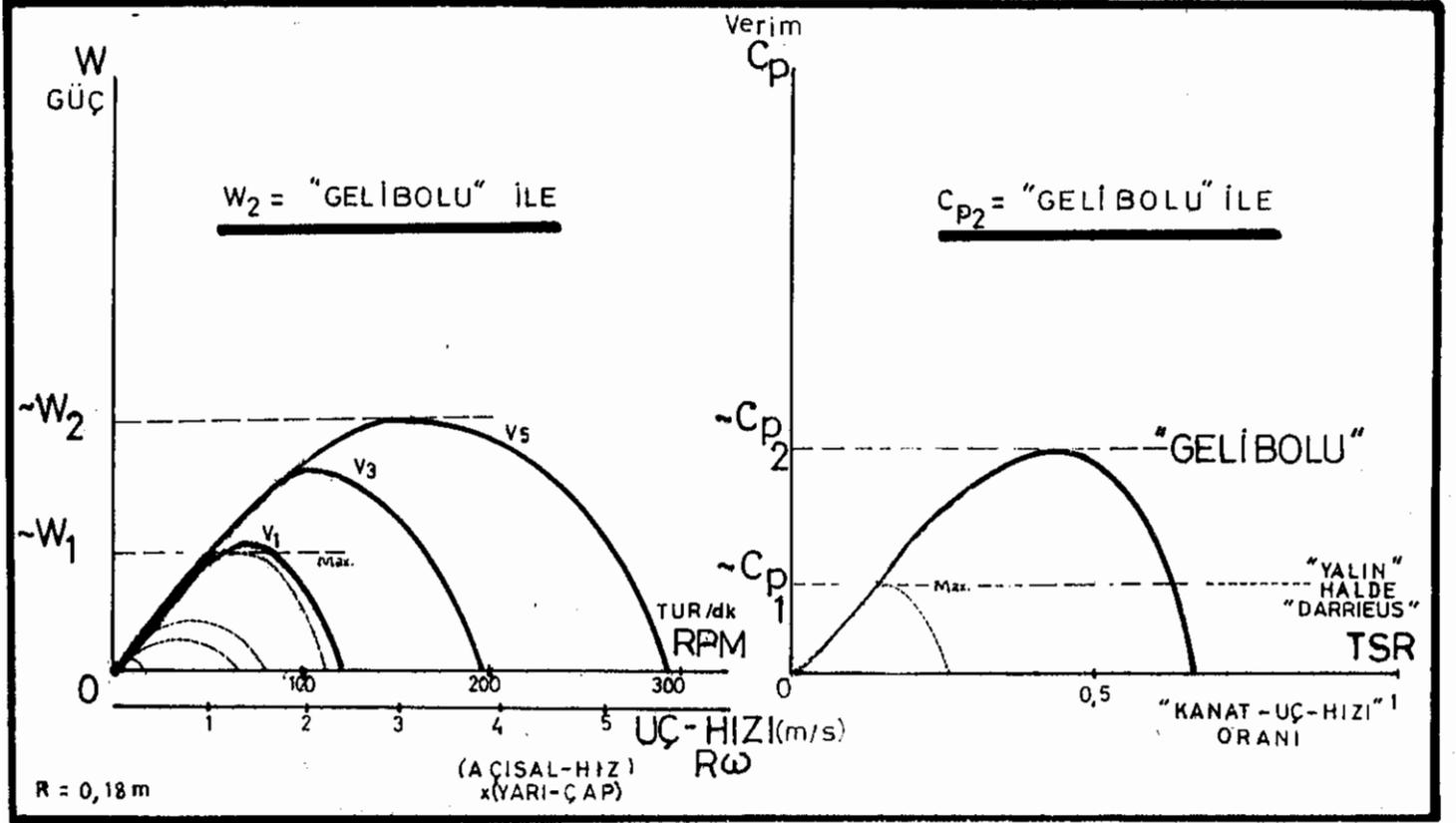
YORUM VE DEĞERLENDİRME: (TABLO:4)

- 1 - İki farklı kombinasyon, iki aşamada karşılaştırılmıştır. Rüzgar hızları, genellikle, "Gelibolu" kombinasyonu denenirken daha düşük tutulmuştur.
- 2 - Tur sayılarında (RPM), 2,1 katı ila 9,1 katı artış, "Gelibolu" kombinasyonu ile sağlanmıştır.
- 3 - Kanat-Uç-Hızı-Oranlarında, % 17 ila % 77 artış, karşılaştırmalı olarak, "Gelibolu" kombinasyonu ile sağlanmıştır.
- 4 - Güç-eğrileri tahminleri Diyagram:4'de, takribi ve karşılaştırmalı olarak verilmiştir.
- 5 - "Cut-in" (ilk dönme hızı) için rüzgar hızı gereği, 8,8 m/s' den 4,0 m/s'e kadar inerek, "Darrieus" kanatların dönmesi için gerektirdiği gücün ~1/16'sı kadar düşük bir güçle "Gelibolu" GAYK kombinasyonu, ilk harekete-geçebilir (kalkabilir ="cut-in" hızında dönebilir) hale gelmiştir.
- 6 - "Gelibolu" kombinasyonu ile, rotor yükte iken güç üretim şartlarında belirgin olumlu farklılık sağlanmıştır.
- 7 - "Solidity" oranları genelde yüksek bulunduğundan, bu oranın daha azaltılabilmesi durumunda oluşacak kombinasyonlarla, TSR oranlarının karşılaştırmalı olarak daha belirgin olumlu artış gösterebileceği öngörülmektedir.

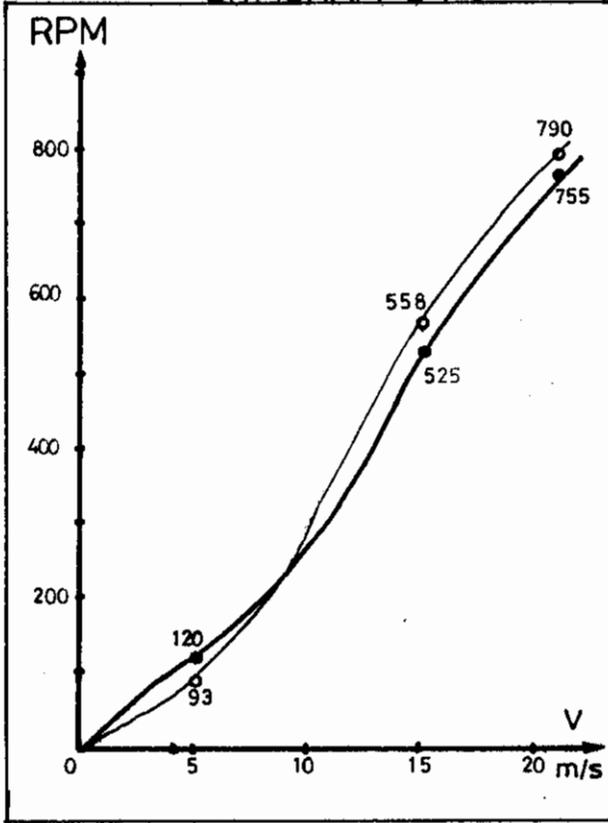
DİYAGRAM: 1

TABLO: 1
EKİ DİYAGRAM: 1

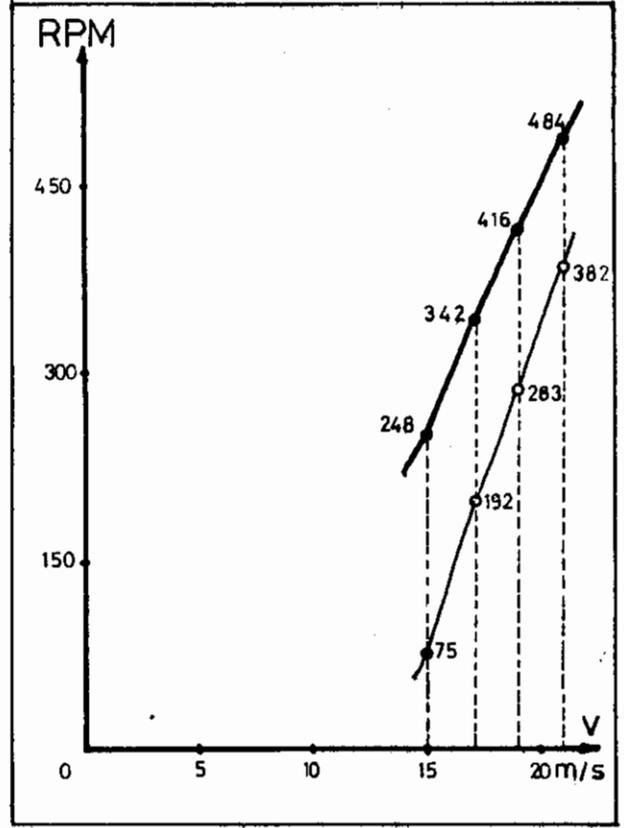
KARŞILAŞTIRMALI SONUÇLAR



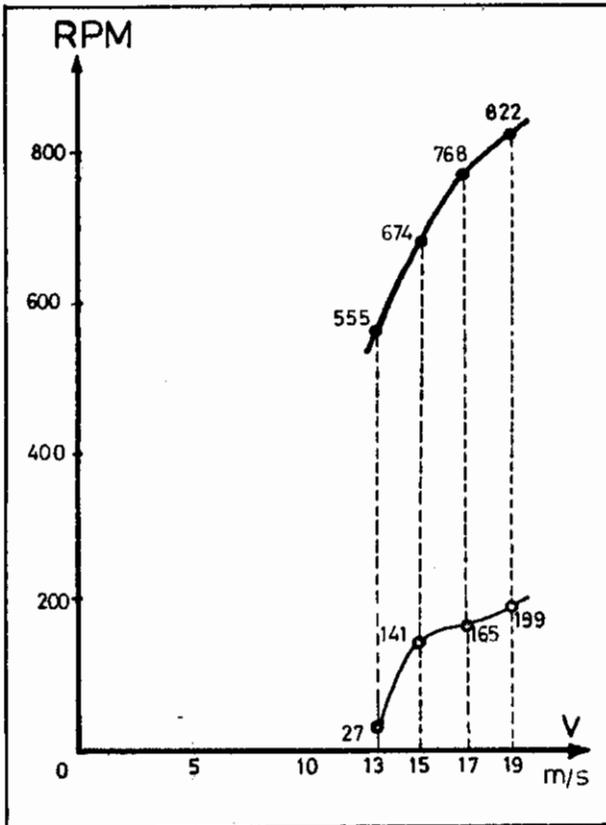
DİYAGRAM: 2 / I



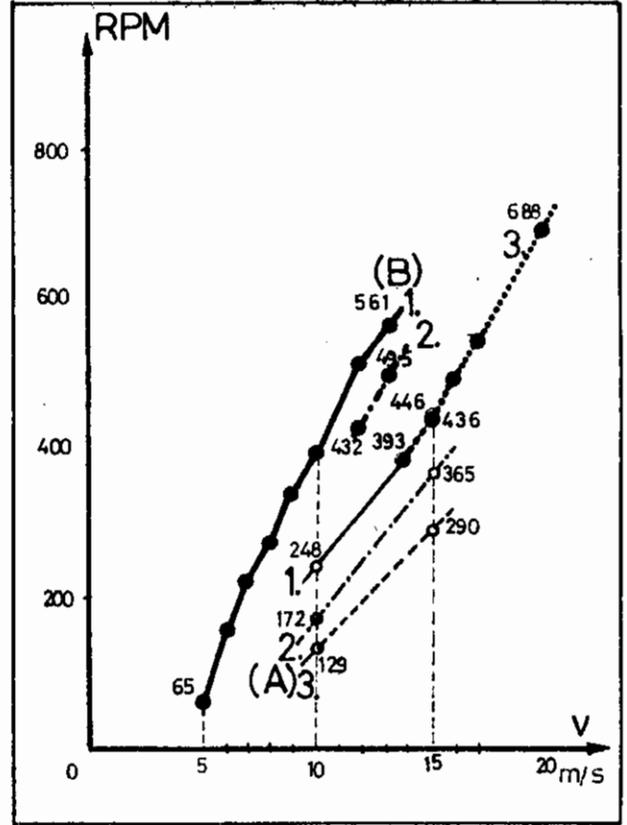
DİYAGRAM: 2 / II



DİYAGRAM: 2 / III



DİYAGRAM: 2 / IV



●—● GELİBOLU

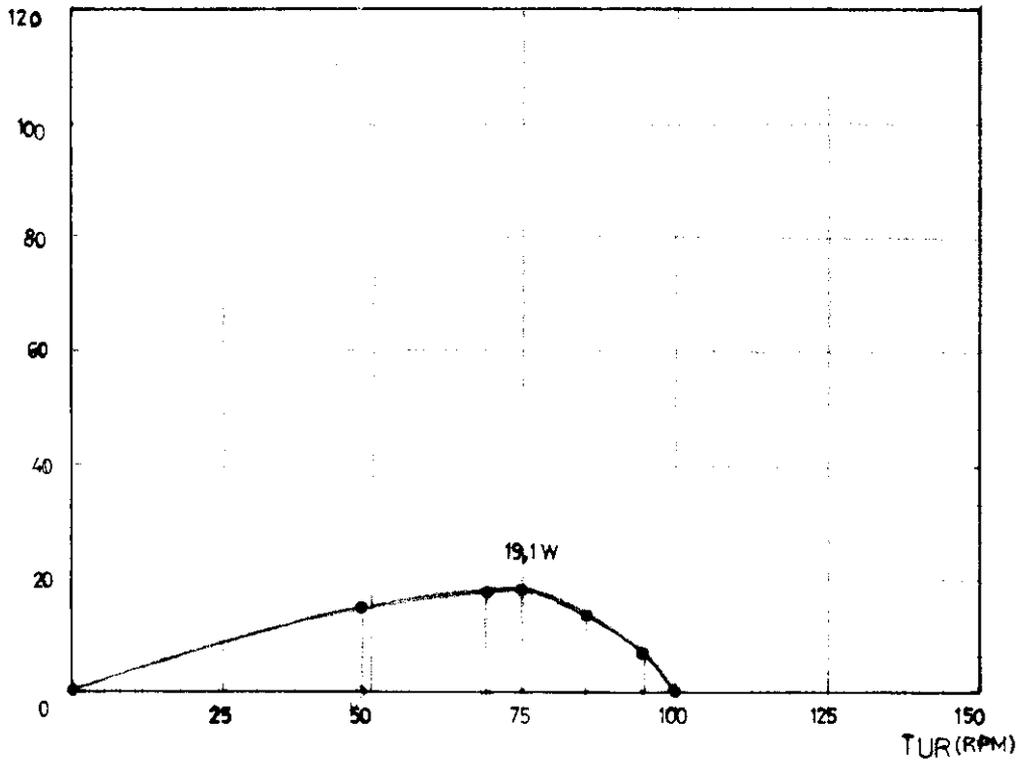
DİYAGRAM: 3**TABLO: 3 eki**

DİYAGRAM: 3

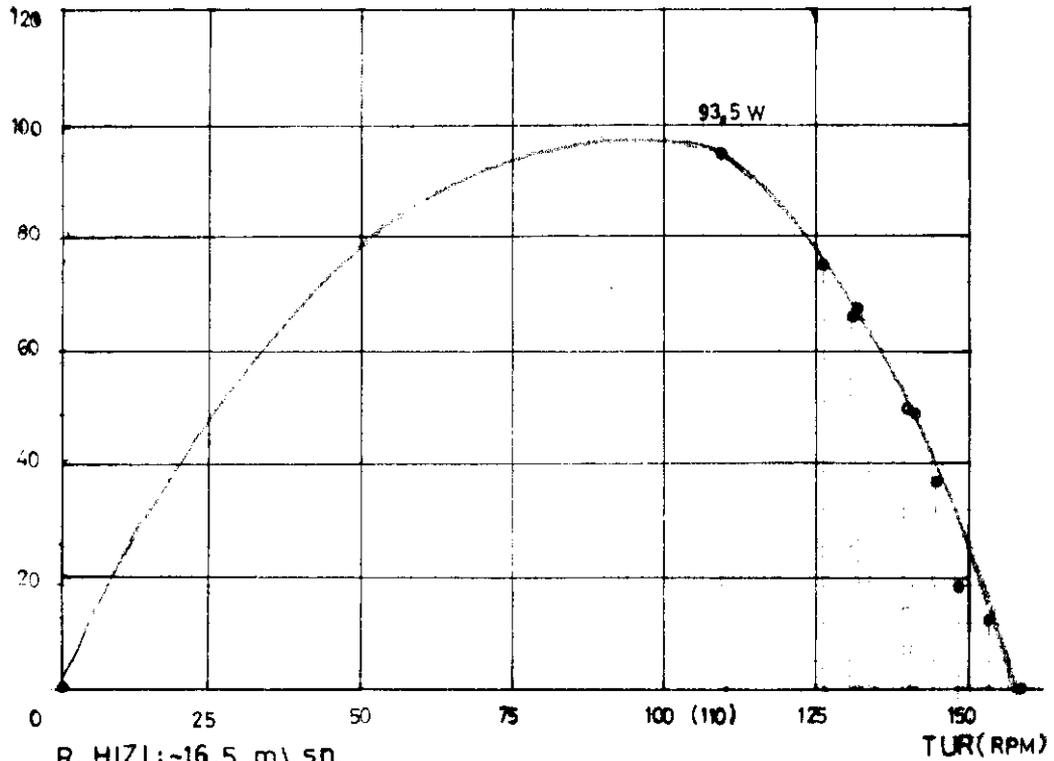
GÜÇ EĞRİLERİ

SAVONIUS-BENZERİ (6'LI) KANATLAR

GÜÇ (Watt)

R. HIZI : $\sim 16,5 \text{ m/s}$.GELİBOLU + SAVONIUS-BENZERİ (6'LI) KANATLAR

GÜÇ (Watt)

R. HIZI : $\sim 16,5 \text{ m/s}$.

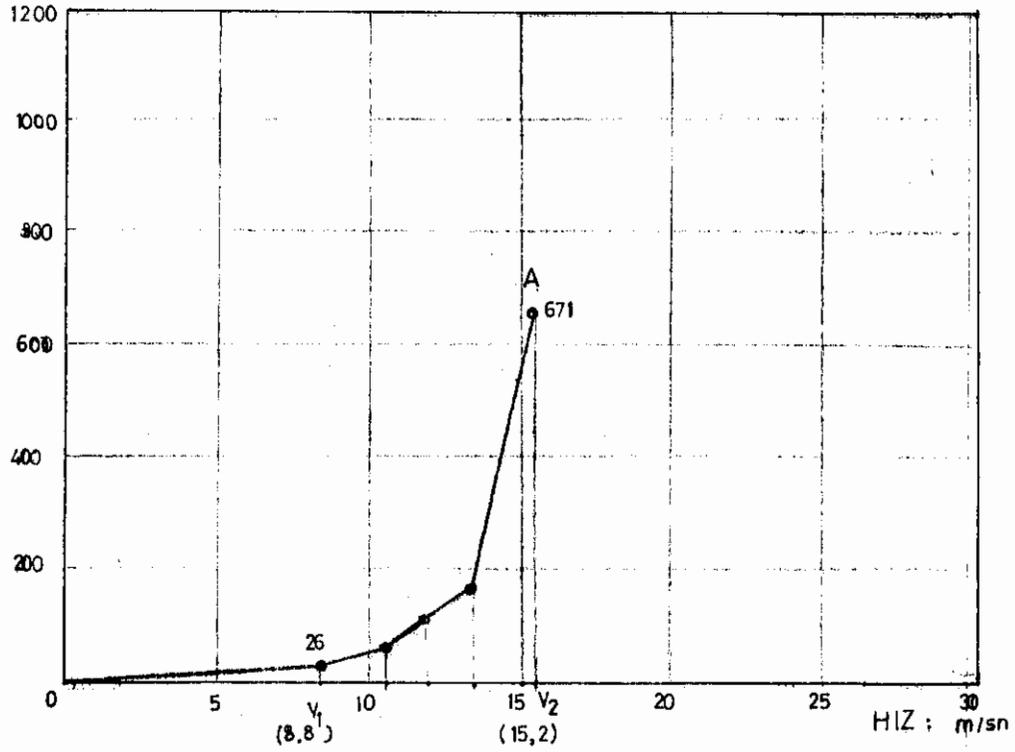
TABLO 3 : "SAVONIUS BENZERİ" ALTI KANATLI RÜZGAR TÜRBİNİNİN GELİBOLU MODELİ GÜÇ-ARTIRIM-YÖNELTME KANATLARI İLE KOMBİNE EDİLMİŞ HALDE GÜÇ ÜRETİMİNDE KARŞILAŞTIRMALI SONUÇLARI:

DİYAGRAM: 4

TABLO:4 eki
DİYAGRAM:4

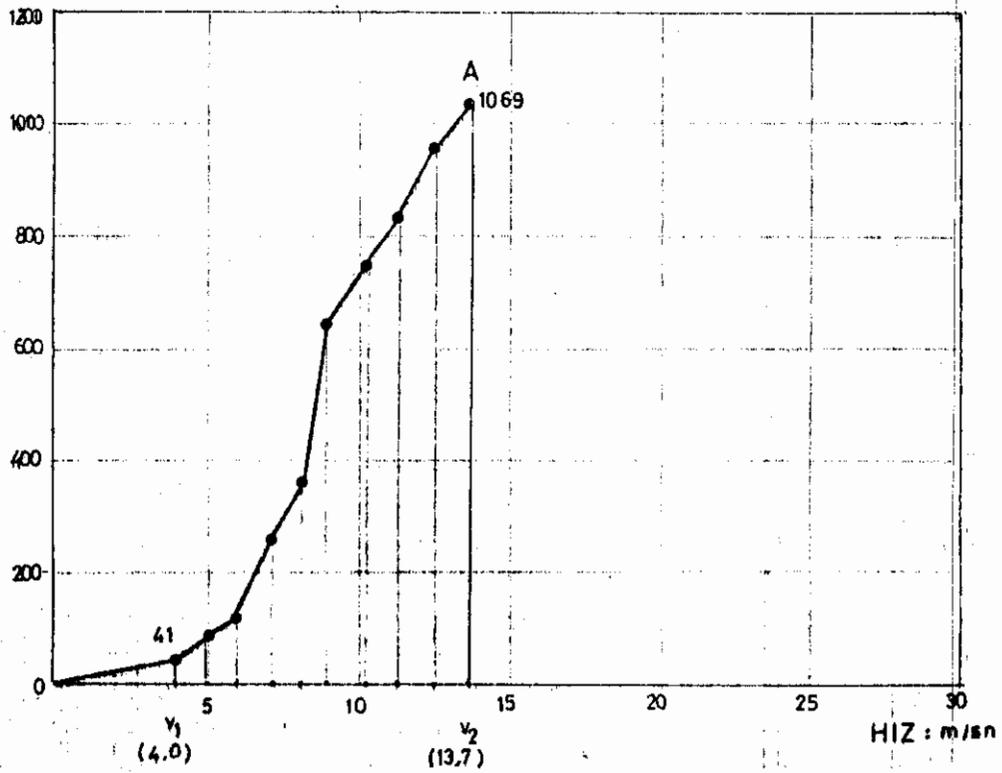
TUR (RPM)

DARRIEUS (NACA 0021) PROFİL



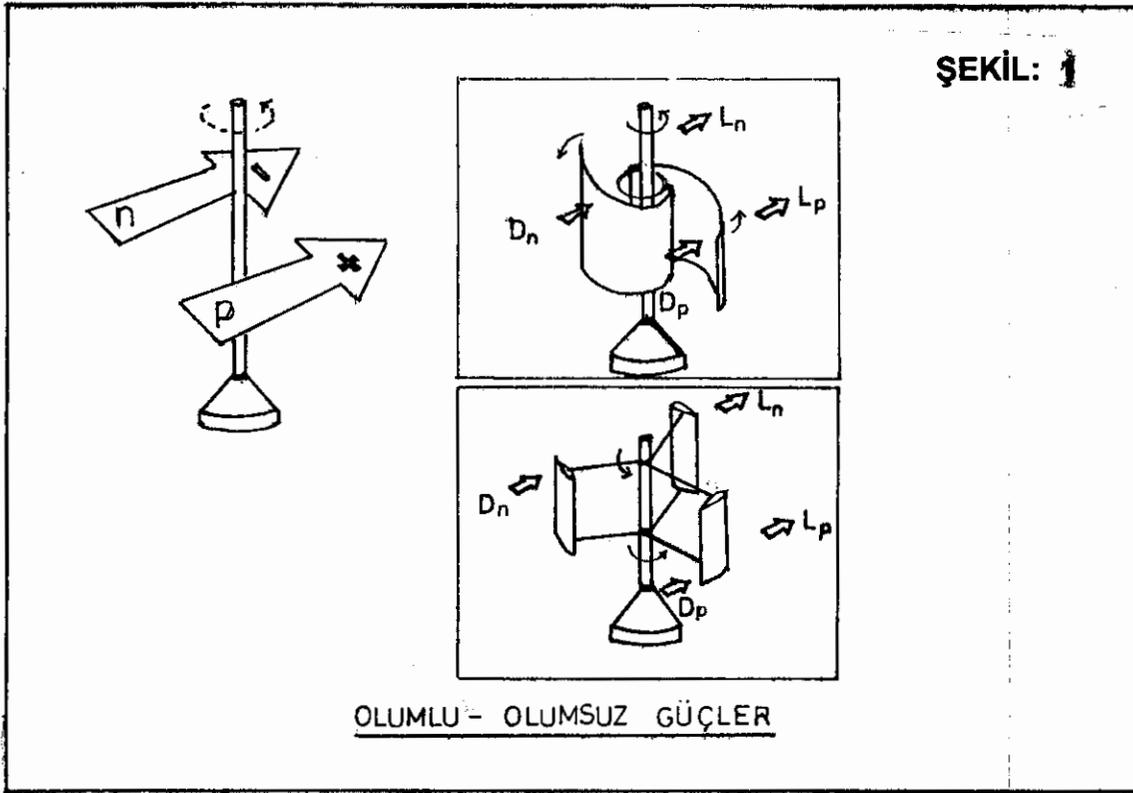
GELİBOLLU + DARRIEUS (NACA 0021) PROFİL

TUR (RPM)

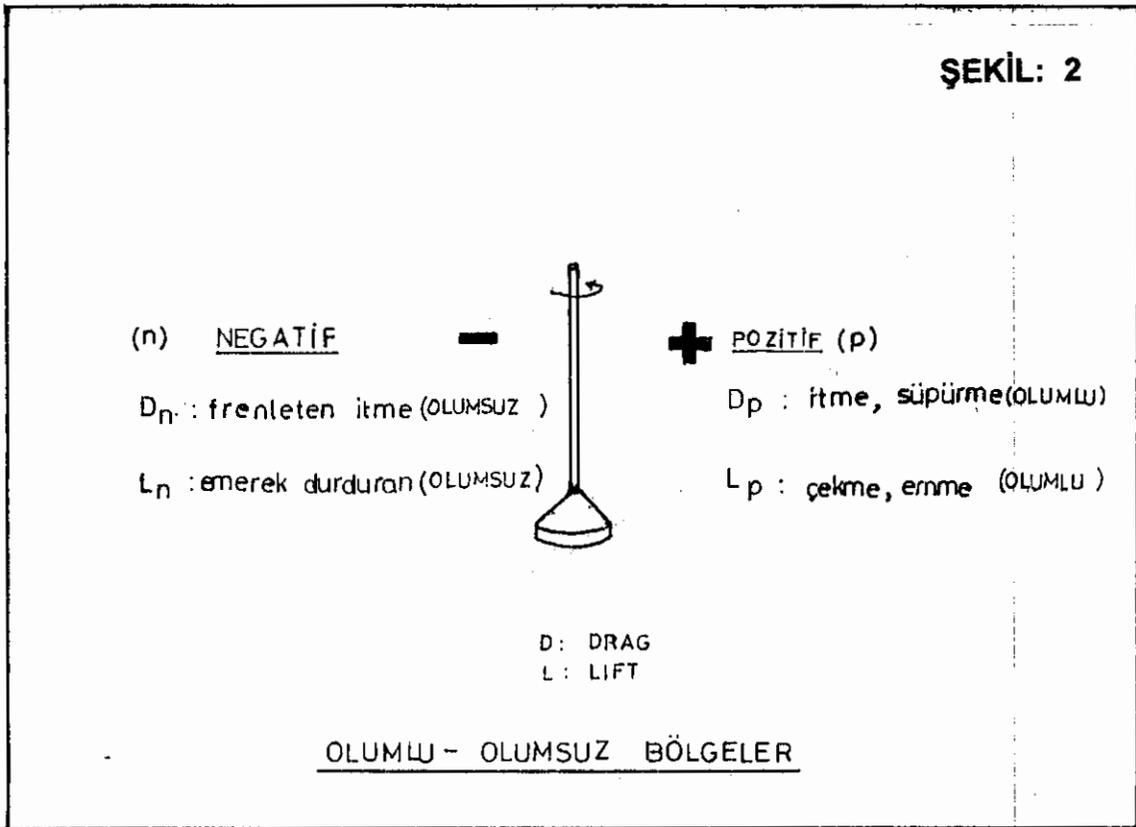


ŞEKİLLER LİSTESİ:

- ŞEKİL: 1 - RÜZGAR ENERJİSİNDE OLUMLU GÜÇ, OLUMSUZ GÜÇ AYRIMI
- ŞEKİL: 2 - RÜZGAR ENERJİSİNDE OLUMLU BÖLGE, OLUMSUZ BÖLGE AYRIMI
- ŞEKİL: 3 - "GIROMİLL (=CYCLOGIRO) MODELİ DİKEY MİLLİ RÜZGAR TÜRBİNLERİ
- ŞEKİL: 4 - "GELİBOLU MODELİ RÜZGAR TÜRBİNİNİN GÜÇ-ARTIRMA-YÖNETME-KANATLARI"
- ŞEKİL: 5 - "GELİBOLU MODELİ RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE", DENENEN, DEĞİŞİK "GÜÇ-ÜRETME-KANATLARI" TASARIMLARI
- ŞEKİL: 6 - "GELİBOLU MODELİ RÜZGAR TÜRBİNİNDE", "TAM, KESİN YÖNELME" PRENSİBİ
- ŞEKİL: 7 - "ÇİFT-KEPÇELİ ÖZEL-SAVONIUS-BENZERİ" KANAT KESİTİ, (5 KANATLI): KANADIN ÖZELLİKLERİ
- ŞEKİL: 8 - "YATAY MİLLİ" VE "DİKEY MİLLİ" TÜRBİNLERDE VERİMLİLİK
- ŞEKİL: 9 - "DİKEY MİLLİ TÜRBİNLER", GENEL;
(A - KLASİK DİKEY MİLLİ TÜRBİNLER,
B - GÜÇ-ARTIRIM-KANATLI, DİKEY MİLLİ TÜRBİNLER)
- ŞEKİL: 10 - "GELİBOLU MODELİ RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE", "TEPE ETKİSİ" VE "ETKİ BÖLGESİ" GENİŞLİKLERİ
- ŞEKİL: 11 - "GELİBOLU MODELİ RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE",
KANAT-MERKEZ-AÇILARI",
"KANAT KESİTİ: (Chord-boyu)/TÜRBİN YARIÇAPI" ORANLARI
- ŞEKİL: 12 - "AWT=AUGMENTED WIND TURBINES": (GÜÇ ARTIRIM KANATLI) TÜRBİNLERDE
YATAY VE DÜŞEY YOĞUNLAŞTIRMA (TEKSİF) İLE
=GÜÇ ARTIRIMI)

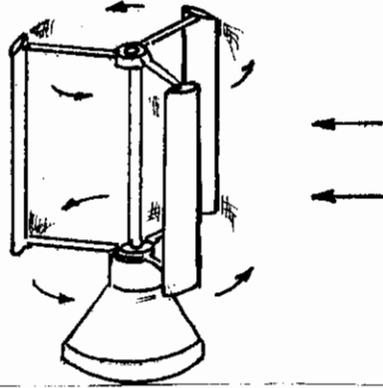


ŞEKİL: 1 - RÜZGAR ENERJİSİNDE OLUMLU GÜÇ, OLUMSUZ GÜÇ AYRIMI

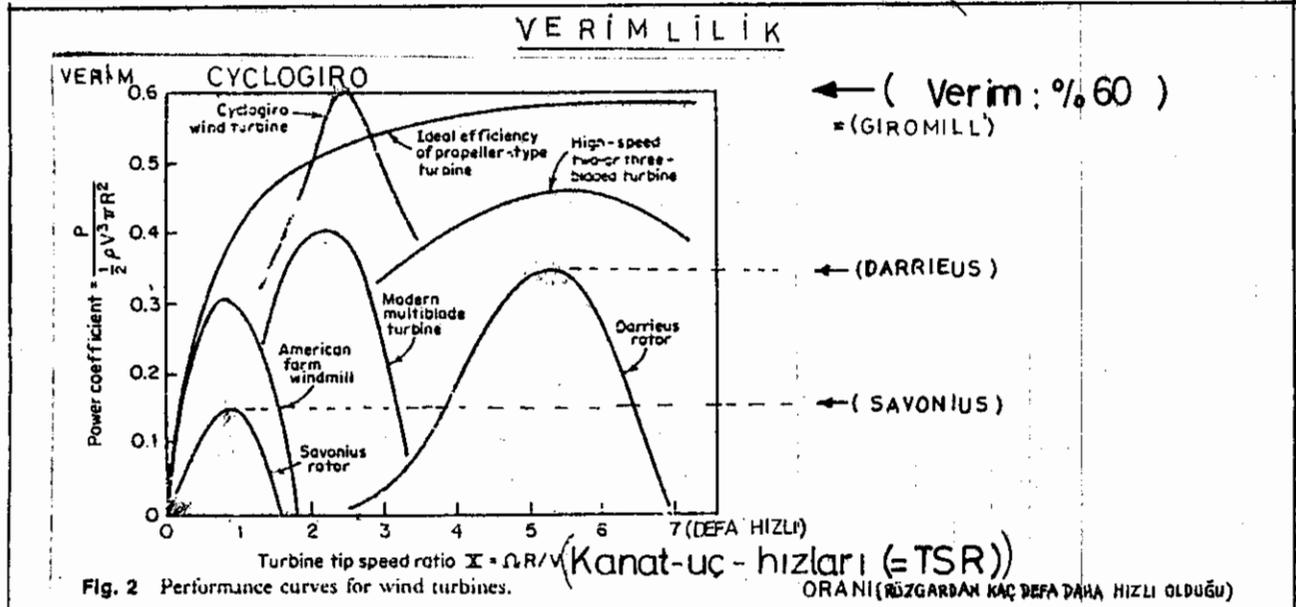


ŞEKİL: 2 - RÜZGAR ENERJİSİNDE OLUMLU BÖLGE, OLUMSUZ BÖLGE AYRIMI

GIROMİL (=CYCLOGIRO) TÜRİNİ



ŞEKİL: 3 - "GIROMİL (=CYCLOGIRO) MODELİ DIKEY MİLLİ RÜZGAR TÜRİNLERİ



CYCLOGIRO (=GIROMİL)

Özellikler:

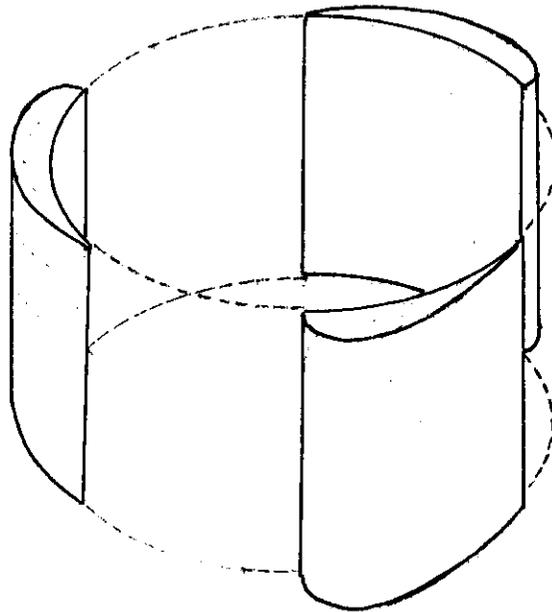
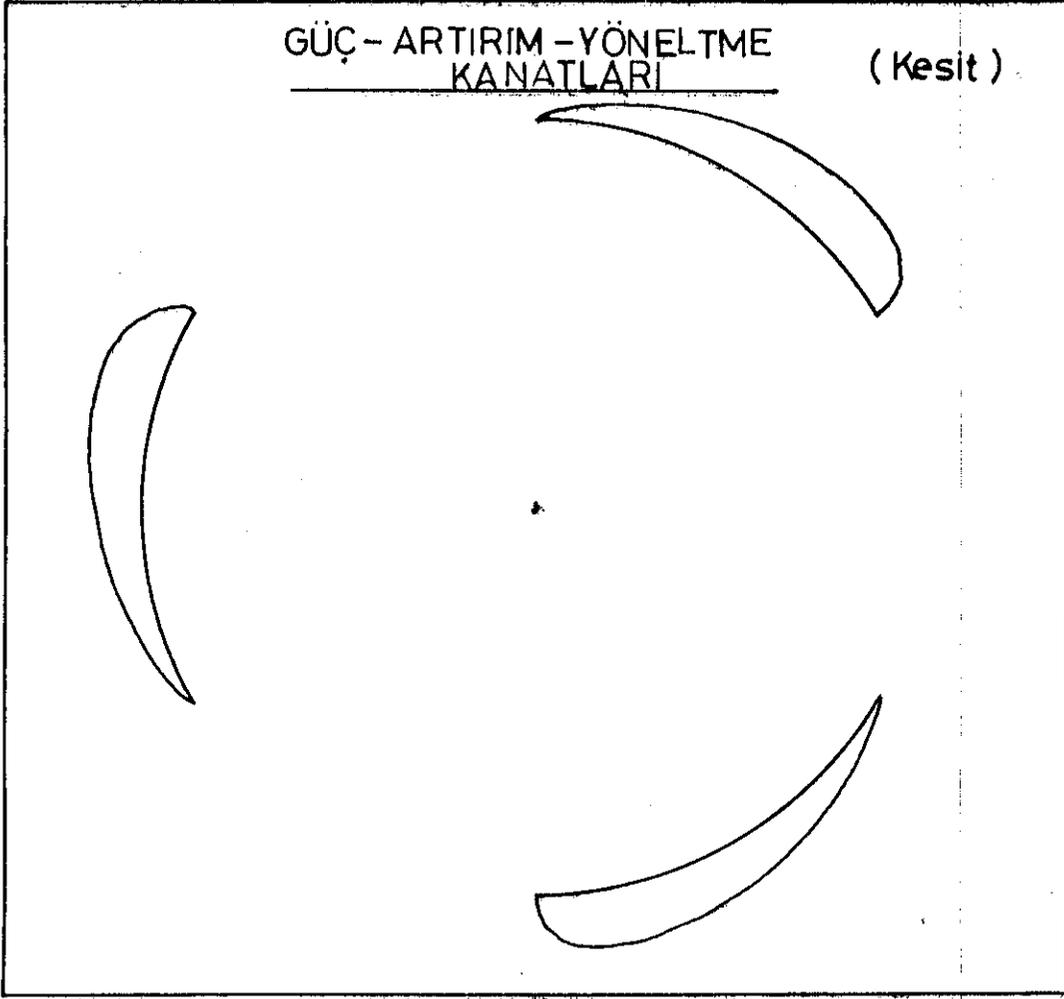
The third important cross-wind-axis turbine, the cyclogiro wind turbine (Fig. 6), is similar to the Darrieus rotor but with two important differences. First, the airfoils are straight, and second, the orientation (pitch) of the blades is continuously changed during rotation to maximize wind force. The peak power coefficients predicted for these turbines are greater than for any turbine (Fig. 2). Notice that the cyclogiro-turbine performance curve slightly exceeds the theoretical maximum for wind-axis turbines because the cyclogiro turbine decelerates a larger portion of the wind than does a wind-axis turbine of the same projected area of rotor disk.

- DARRIEUS Benzeri :
- Düz Kanatlı,
- Kanat açıları her turda ayarlanmalı, (kam)
- Yüksek verim (Teorik sınır)
- "Ek-Etki-Bölgesi" oluşturur.

"GELİBOLU" MODELİ

GÜÇ - ARTIRIM - YÖNELTME
KANATLARI

(Kesit)



(120°) SİMETRİK YERLEŞİM

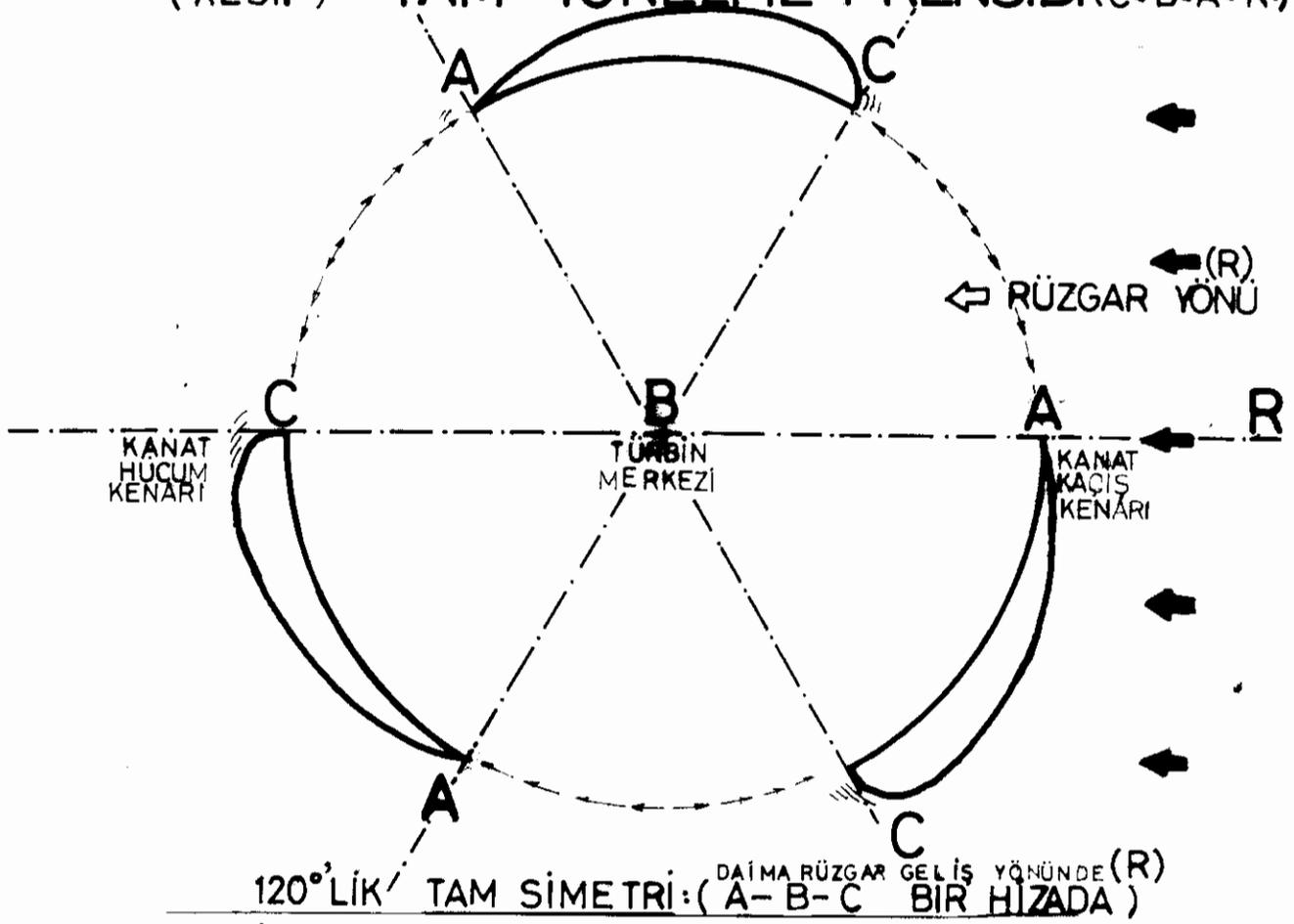
ŞEKİL: 4 - "GELİBOLU MODELİ RÜZGAR TÜRBİNİNİN GÜÇ-ARTIRMA-YÖNETME-KANATLARI"

"GELİBOLU MODELİ RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE" DENENEN GÜÇ ÜRETİM KANATLARI(kesitler)

KANAT TIPLERİ	KANAT GEOMETRİSİ	"YALIN" ÖZELLİKLERİ	"GELİBOLU" KOMBİNASYONU	"KOMBİNE" ÖZELLİKLERİ
ÖZEL MERCEDES		• "YALIN" HALİYLE BU KANAT HIÇBİR ŞEKİLDE DÖNEMEZ.		• "YALIN HALİ İLE DÖNEMEYEN KANAT, "GELİBOLU MODELİ" İLE KOMBİNE HALİNDE DÖNEBİLMEKTEDİR. • 3 KANATLI SAVONIUS KANATTAN ÜÇ KATİ ETKİNLİK • OLUMSUZ: TERBİ DENEME ETKİSİ
SAVONIUS 3 KANATLI		• "YALIN" HALDE YÜKSEK RÜZGAR HIZINDA ETKİN		• DÜŞÜK RÜZGAR HIZLARINDA ETKİN. • OLUMSUZ: "SIRT" ETKİSİ
BENZERLERİ ÇOKLU KANAT	7-9 KANAT 	• DÜŞÜK RÜZGAR HIZINDA EN ETKİN	7-9 KANAT 	• DÜŞÜK RÜZGAR HIZINDA BAZI ETKİNLİK FARKI
SAVONIUS 6 KANAT		• BİLDÜKÇE DÜŞÜK ETKİNLİKTE • OLUMSUZ: 60° "SIRT" ETKİSİ		• RPM'DE % 50 ARTIŞ • GÜC ÜRETİMİNDE 4,9 KATI ARTIŞ • OLUMSUZ: 60° SIRT ETKİSİ
SAVONIUS 5 KANAT		• "YALIN" HALDE TÜM SAVONIUS VE BENZERİ KANATLARDAN ETKİN.		• 72° : AKIŞ ETKİNLİĞİ • "KOMBİNE HALDE TÜM SAVONIUS VE BENZERİ KANATLARDAN ETKİN. • AÇIK, TUR VE GÜC ARTIŞ FARKI: (KARŞILAŞTIRMALI OLARAK)
DARRIEUS NACA 0021		• "YALIN" HALDE KALKMAŞI GÜÇTÜR. • GENELLİKLE İÇTE DÜŞÜK ÇAPLI, SAVONIUS-İLK-HAREKET KANADI KULLANILIR.		• "GELİBOLU MODELİ"; "KALKMA = GÜC-İN" GÜC GEREĞİNİ, 1/16'ya İNDİRİYOR. • TÜR (= KANAT-ÜÇ HIZI)DRANINDA BAZI ARTIŞ. • İLK-HAREKET-KANADI GEREKMEZ.

ŞEKİL 5 : GELİBOLU MODELİ RÜZGAR TÜRBİNİNDE, DENENEN GÜÇ ÜRETİM KANATLARININ KESİTLERİ VE KARŞILAŞTIRMALI ÖZET SONUÇLAR

(KESİT) - TAM YÖNELME PRENSİBİ (C-B-A-R)

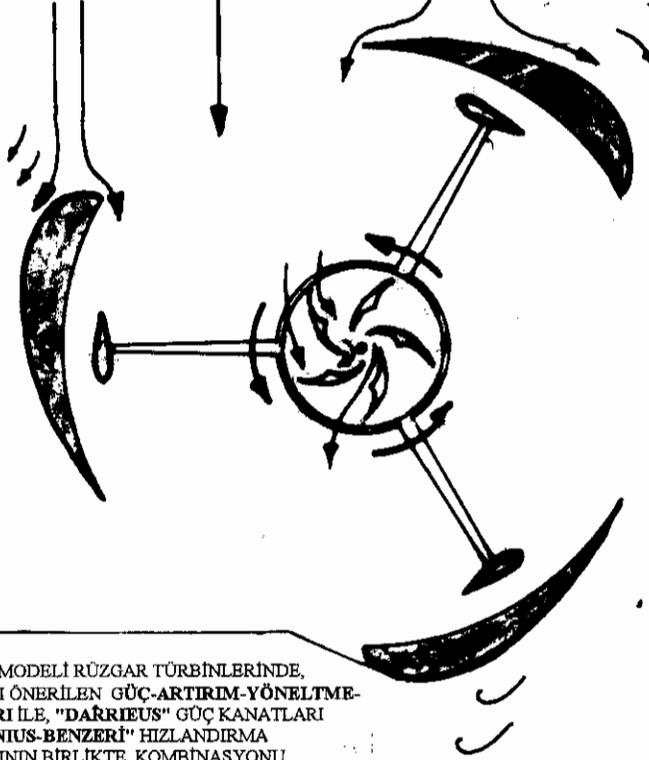


ŞEKİL 6 : GELİBOLU MODELİ RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE, RÜZGARA KARŞI "TAM-YÖNELME-PRENSİBİ"

GELİBOLU + 5'Lİ ÇİFT KEPÇELİ + DARRIEUS

(ÖNERİ)

ŞEKİL: 7

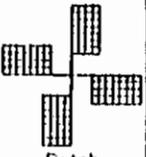


ŞEKİL 7 : GELİBOLU MODELİ RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE, KULLANIMI ÖNERİLEN GÜÇ-ARTIRIM-YÖNELTME-KANATLARI İLE, "DARRIEUS" GÜÇ KANATLARI VE "SAVONIUS-BENZERİ" HIZLANDIRMA KANATLARININ BİRLİKTE KOMBİNASYONU

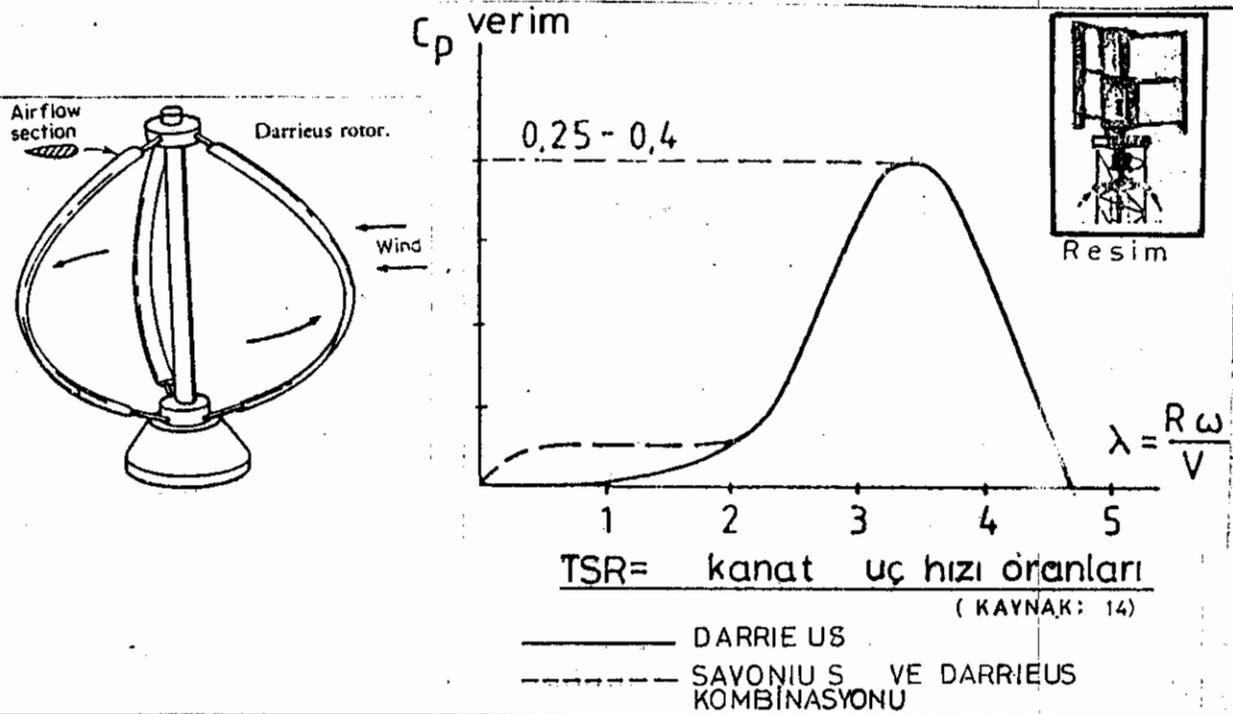
"ÇİFT-KEPÇELİ ÖZEL-SAVONIUS-BENZERİ" KANAT KESİTİ,
(5 KANATLI): KANADIN ÖZELLİKLERİ

ŞEKİL: 8 - "YATAY MİLLİ" VE "DİKEY MİLLİ" TÜRBİNLERDE VERİMLİLİK

A-YATAY MİLLİ TÜRBİNLER, VERİMLİLİKLERİ

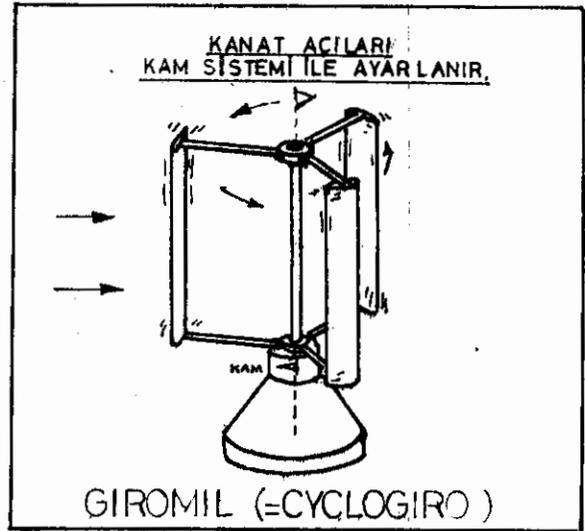
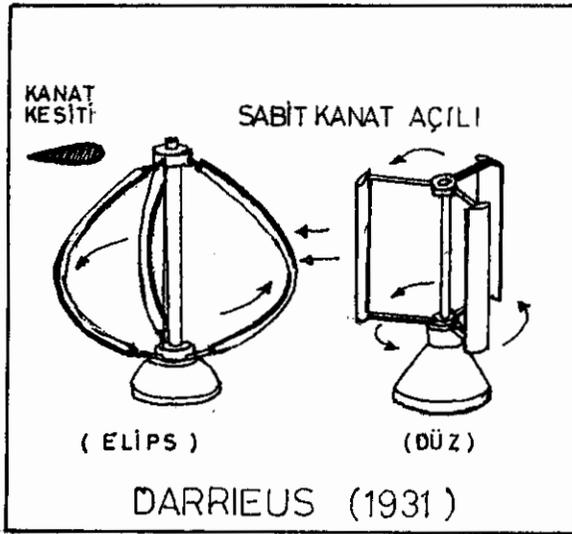
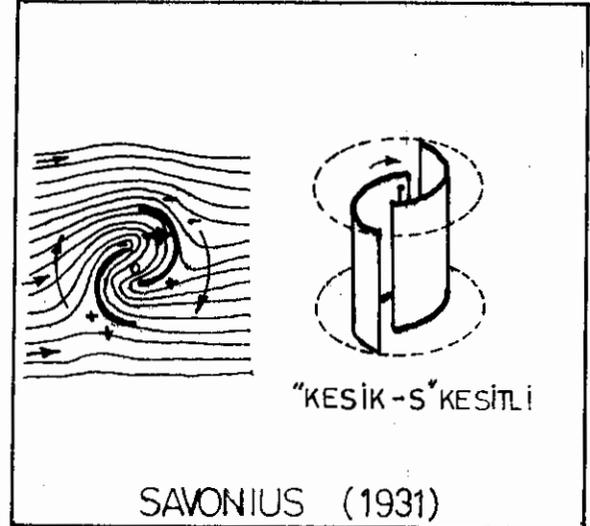
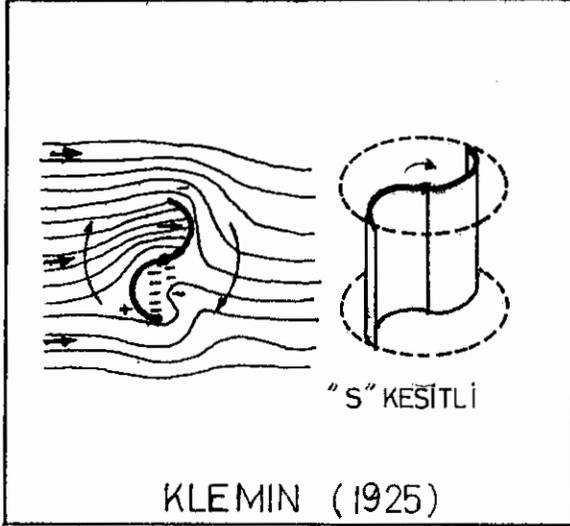
TÜRBİN TÜRLERİ	TİPİ	VERİM	ÖZELLİKLERİ
	Rotor type	$C_{p, max}$	Comments
ÇİFTLİK TİPİ	 Farm	0.25	High torque, low r.p.m., high losses TORK VE KAYIPLARI YÜKSEK, DÜŞÜK TUR SAYISI
HOLLANDA TİPİ	 Dutch	0.19	High torque, low r.p.m., inefficient blade design YÜKSEK TORK VERİMSİZ TASARIM DÜŞÜK TUR SAYISI
MODERN PERVANELİ	 Modern Propeller	0.47	Low torque, high r.p.m., efficient blade design DÜŞÜK TORK YÜKSEK DEVİR VERİMLİ KANAT TASARIMI

B- DİKEY MİLLİ (SAVONIUS + DARRIEUS) TÜRBİNLERDE VERİMLİLİK

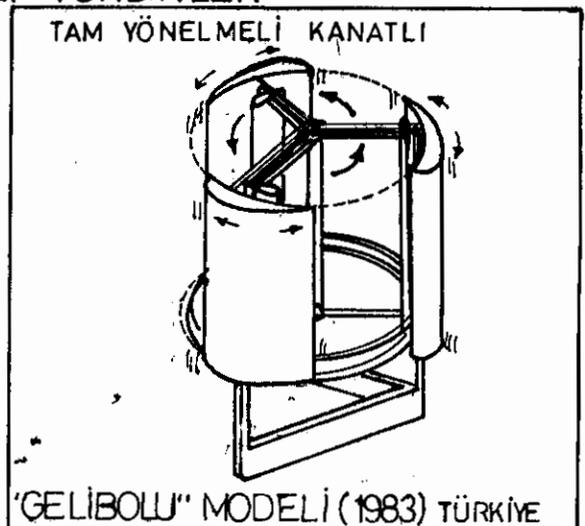
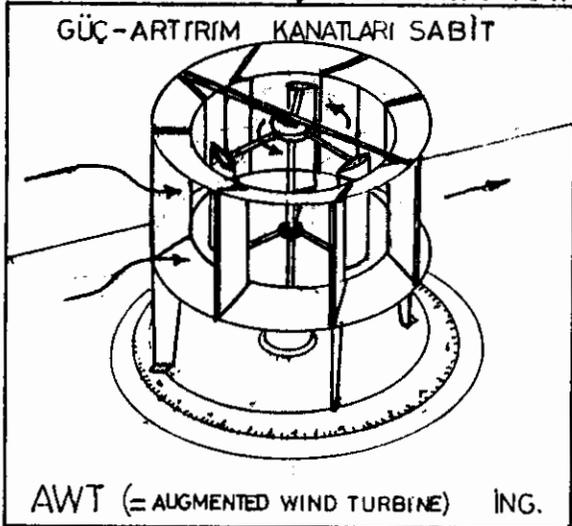


DIKEY MİLLİ RÜZGAR TÜRBİNLERİ

(A - KLASİK DIKEY MİLLİ TÜRBİNLER,

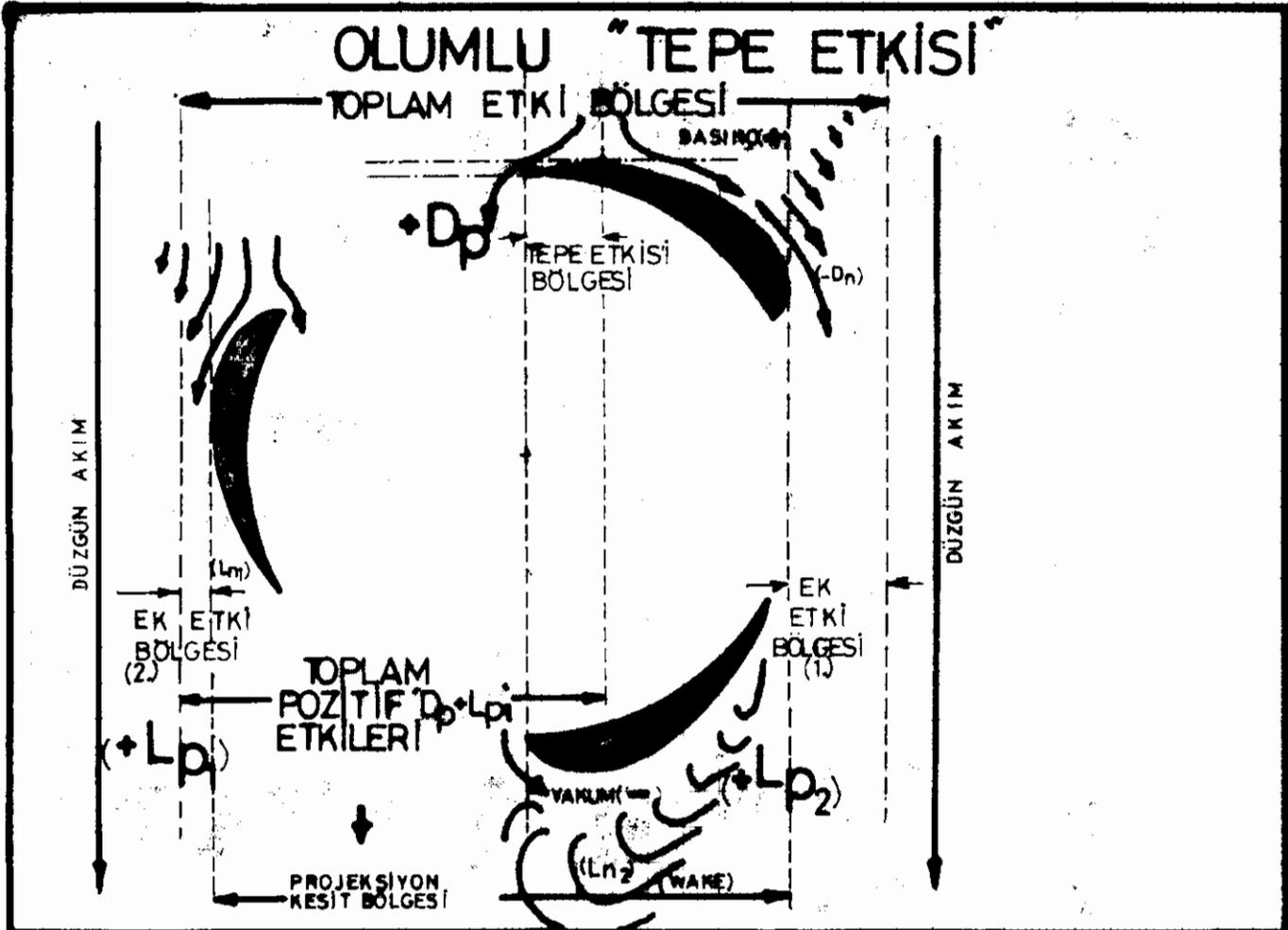


GÜÇ ARTIRIM KANATLI TÜRBİNLER

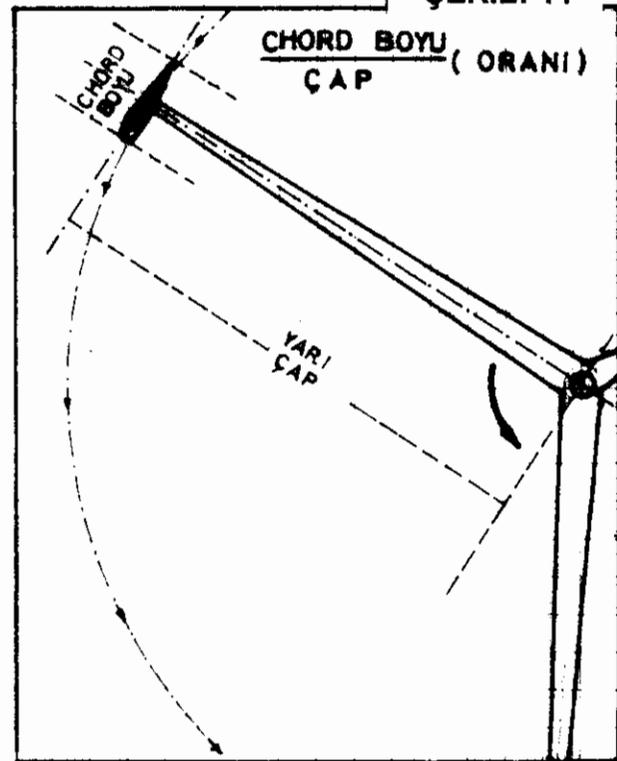
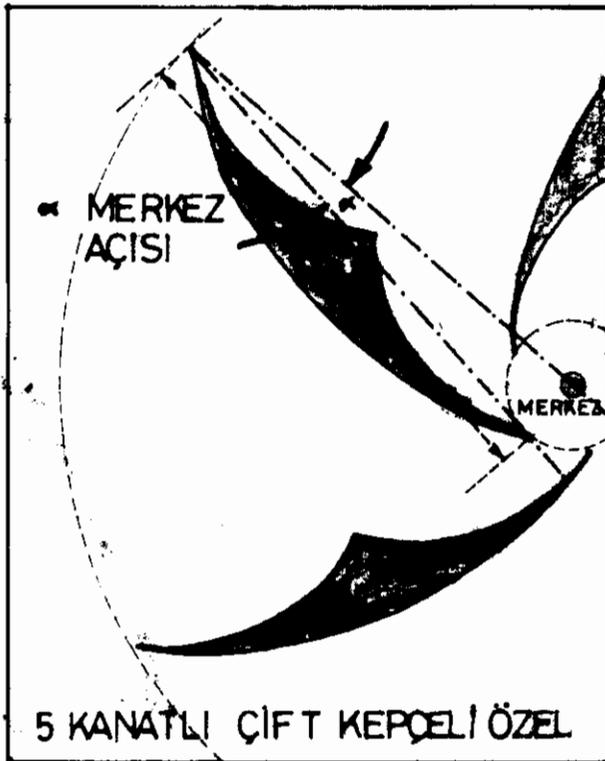


B - GÜÇ-ARTIRIM-KANATLI, DIKEY MİLLİ TÜRBİNLER)

ŞEKİL: 9 - "DIKEY MİLLİ TÜRBİNLER", GENEL;



ŞEKİL 10 : GELİBOLU MODELİ RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE, "OLUMLU-TEPE-ETKİSİ"



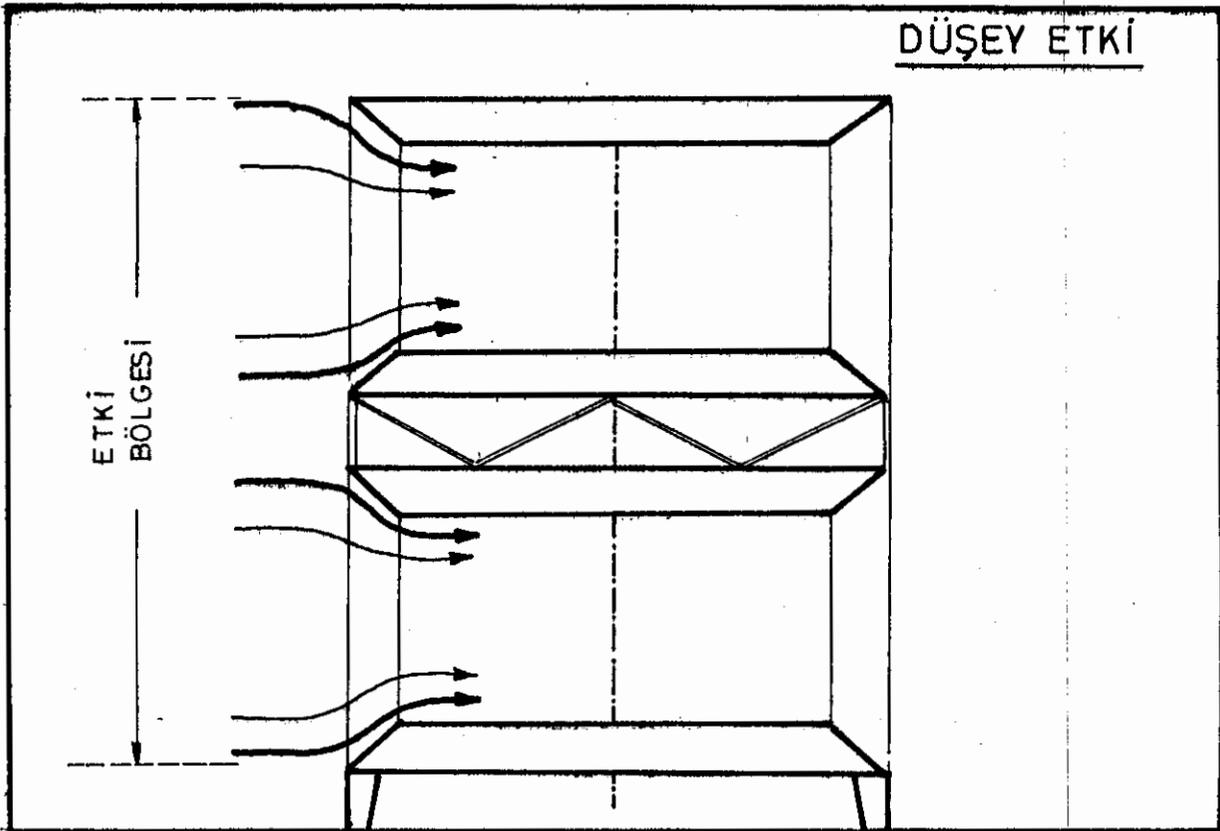
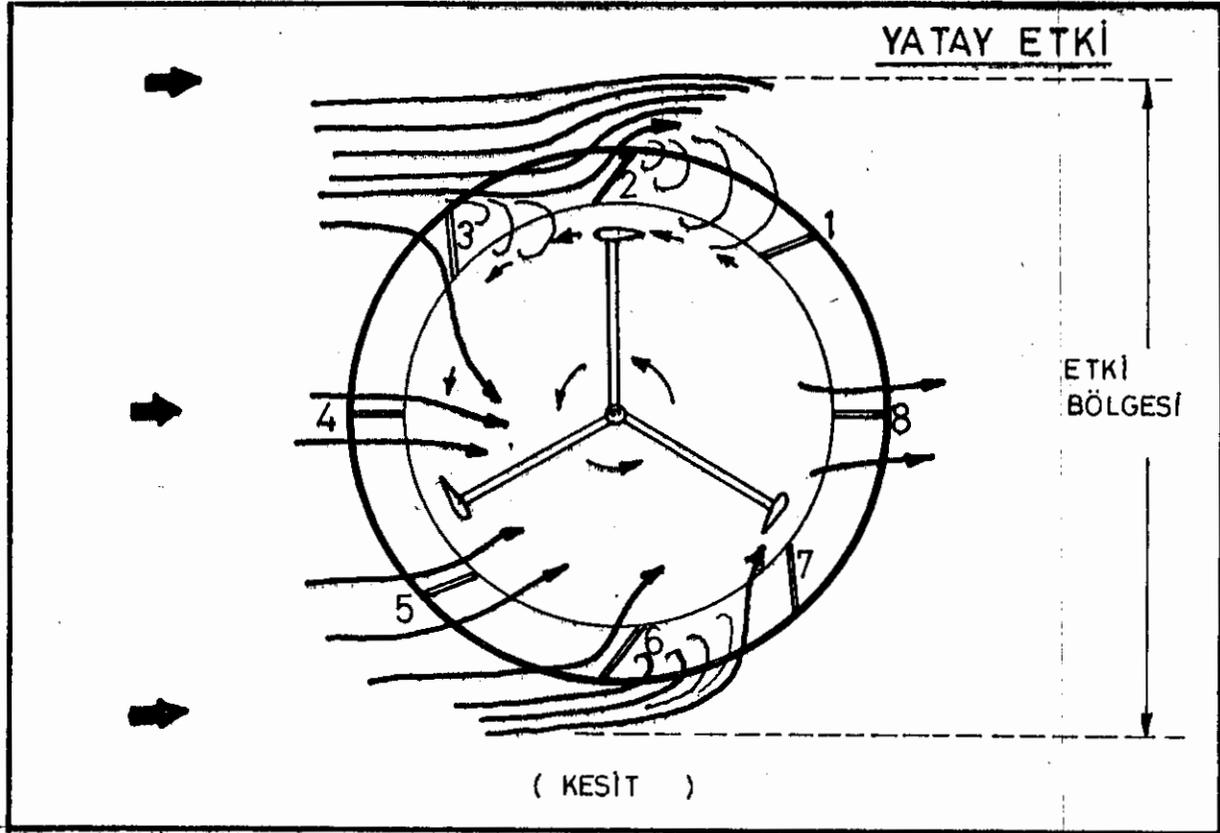
ŞEKİL: 11

ŞEKİL 11 : GELİBOLU MODELİ RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE, "GÜÇ-KANATLARI" ÖRNEKLERİ

"GELİBOLU MODELİ RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE", V - 8
KANAT-MERKEZ-AÇILARI,
"KANAT KESİTİ: (Chord-boyu)/TÜRBİN YARIÇAPI" ORANLARI

AWT(=AUGMENTED WIND TURBINE) GÜÇ-ARTIRIM KANATLI TÜRBİNLER (1)

GÜÇ-ARTIRIM FONKSİYONU:



(KINGSTON POLYTECHNIC, İNGİLTERE)

ŞEKİL: 12 - "AWT=AUGMENTED WIND TURBINES": (GÜÇ ARTIRIM KANATLI) TÜRBİNLERDE YATAY VE DÜŞEY YOĞUNLAŞTIRMA (TEKSİF) İLE =GÜÇ ARTIRIMI)

DİĞER EKLER:

- E K : 1 -** İ.T.Ü. Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Dekanlığı yazısı.
- E K : 2 -** DOE / SANDIA 34 METER VAWT, USDA Agricultural Research Service, Bushland, Texas, (1988), (500 KW Dikey Milli "Darrieus" Türbin hk.)
- E K : 3 -** Augmented Wind Turbine (AWT): Kingston Polytechnic, İngiltere, "Güç-artırım-kanatlı" Rüzgar Türbini, Independent Energy, March 1990, sh:66.
- E K : 4 -** McLaughlin,D.K., Hughes W.L. WIND POWER, Marks' Standard Handbook For Mechanical Engineers, 1979, pp:9-164; pp:9;166.
- E K : 5 -** D.M.İ. Durum Tespit Raporu: Deney Tarihleri: 20-22/1/1993
- E K : 6 -** NACA 0021 Profil No.lu Kanat Kesiti, Theory of Wing Sections (ODTÜ Havacılık Bl. Kütüphanesi, sh:326)
- E K : 7 -** ŞENER, Y.A., TÜRKİYE 5.ci ENERJİ KONGRESİ, Teknik Oturum Tebliğleri: "Rüzgar Türbinlerinde Tasarım Gelişmeleri, "Betz Bariyeri" Aşılabilir mi?; Muhtemel Ekonomik ve Çevresel Etkileri, Cilt:4, Ankara, 1990, sh:229-246.
- E K : 8 -** Ramakumar, R., Wind Power, Standard Handbook For Electrical Engineers, Fink and Beaty, (Savonius, Darrieus, Giromill ile ilgili açıklamalar..) Mc Graw Hill, sh;11-15.
- E K : 9 -** ODTÜ, Rapor

T.C.
 İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
 Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi
 80626 Maslak, İstanbul.

Sayı: 91/1590

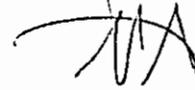
Tarih: 22 EKİM 1991

TUBİTAK Mühendislik Araştırma Grubu Başkanlığı'na,

DPT Müsteşarlık Araştırma Grubu uzmanlarından Yavuz Ali ŞENER'in "Gelibolu" ismini verdiği düşey eksenli rüzgar türbini modeli üzerinde, 17-18 Ekim 1991 tarihleri arasında, İTÜ Eiffel tipi subsonik Rüzgar Tüneli'nde ön inceleme yapılmıştır. Yönlendirme kanatları ve türbin kanatları dizaynı orjinal olan bu türbinin detaylı ve sistematik bir tarzda aerodinamik, mekanik ve verimlilik gibi farklı açılardan incelemeye değer bulunduğu tesbit edilmiştir.

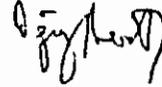
Saygılarımla arz ederim.

Doç. Dr. Veysel Atlı
 İTÜ Uçak Laboratuvarları Sorumlusu



UYGUNDUR:

Prof. Dr. A. Huri YOKSEL

Dekan Y. 

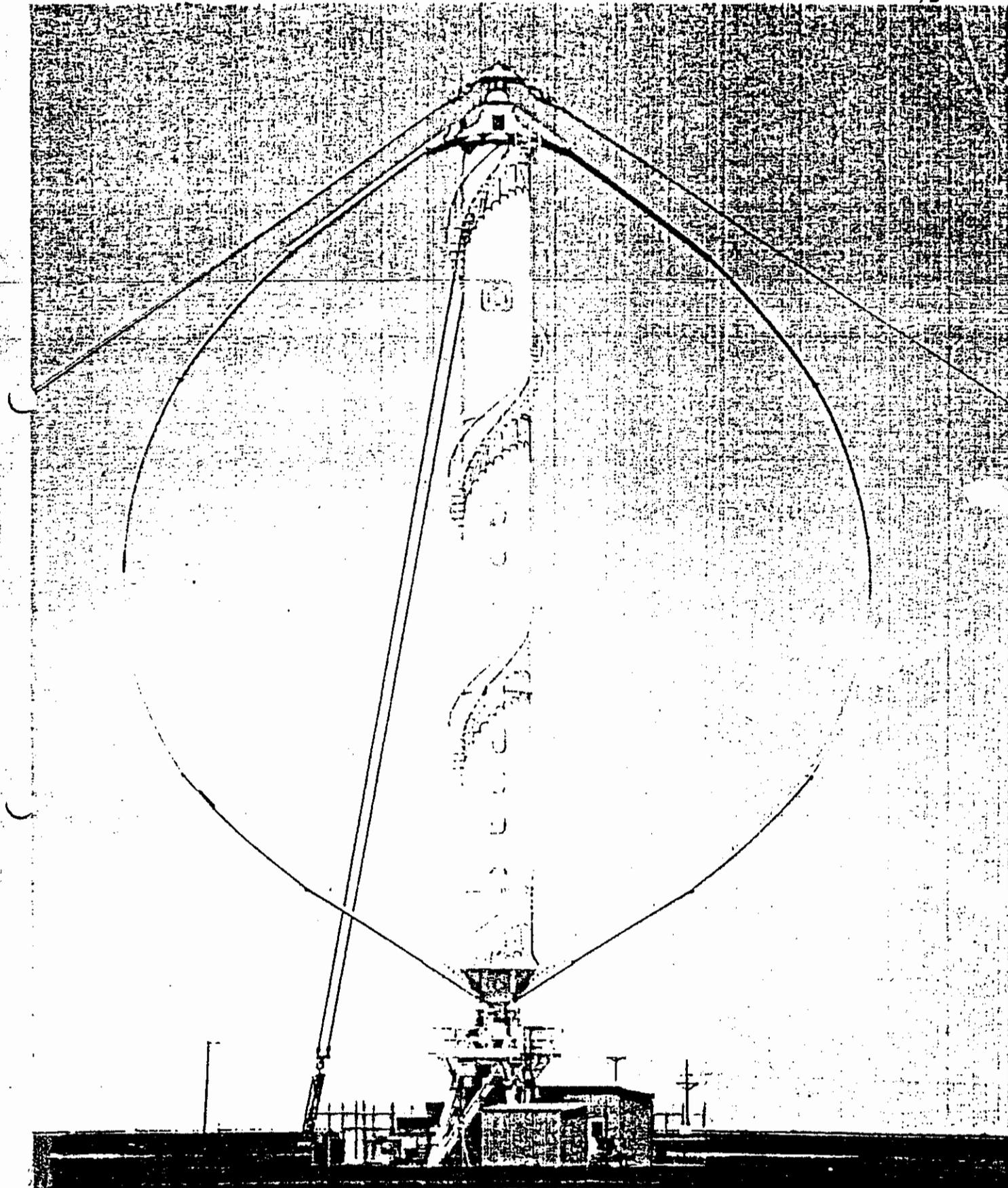
DOE/SANDIA 34 METER VAWT TEST BED

PROJECT TEAM:

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY
 SANDIA NATIONAL LABORATORIES
 U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE

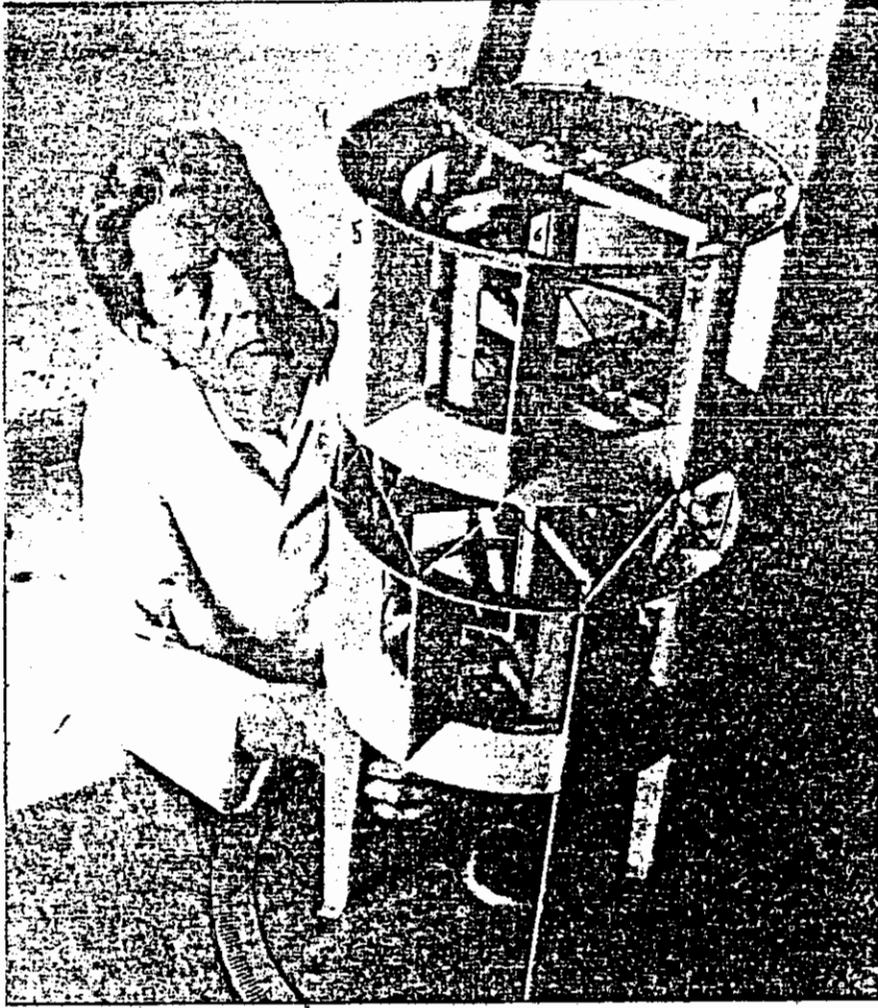
ROTOR		GENERATOR	
DIAMETER, m	34	TYPE	Variable Speed, Synchronous AC
HEIGHT, m	50	RATING, kVA	625
GROUND CLEARANCE, m	7	VOLTAGE	1200
SPEED, rpm	25 TO 40	SPEED, rpm	280 to 1900
NUMBER OF BLADES	2	FREQUENCY, Hz	60
DIRECTION OF ROTATION [LOOKING UPWARD]	Clockwise	CONTROLS	
BLADE MATERIAL	Extruded Aluminum	SYSTEM	Programmable Industrial Controller
BLADE LENGTH, m	56	GENERATOR SPEED and TORQUE	Load Commutated Inverter
AERODYNAMIC CONTROL	Stall Regulated	PERFORMANCE	
AIRFOILS	SAND 0018/50, NACA 0021	RATED POWER [ELECTRICAL] kW	500
CHORD DIMENSIONS, m	0.91, 1.07, 1.22	✓ RPM AT RATED POWER	37.5
SWEPT AREA, m ²	955	WIND SPEED AT EQUATOR, m/s	
SOLIDITY	0.13	Cut-in	4
CENTRAL COLUMN		Rated	12.5
Material	Aluminum	Cut-out	20
Diameter, m	3	Survival	67
Wall Thickness, mm	12.5	Annual Average	6.4
GUY CABLES		ANNUAL ENERGY OUTPUT	
Number	6	[100 percent availability], MWh	1150
Material	Steel Bridge Strand	DATA ACQUISITION AND ANALYSIS SYSTEM	
Diameter, mm	64	NUMBER OF CHANNELS	128
MECHANICAL DESIGN APPROACH	Modular	MAXIMUM DATA	
GEAR BOX		THROUGHPUT RATE, kHz	200
TYPE	Three-Stage Parallel		
STEP-UP RATIO	47.5 : 1		
RATING, kW	709		

EK: 2 - DOE / SANDIA 34 METER VAWT, USDA Agricultural Research Service, Bushland, Texas, (1988), (500 KW Dikey Milli "Darrieus" Turbin)



DOE/SANDIA 34-METER VAWT TEST BED
USDA AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE, BUSHLAND, TEXAS
DEDICATED MAY 10, 1988

GÜÇ-ARTIRIM-KANATLI (Yönelmesiz) TÜRBİN



BRITISH TUNNEL TESTING

Researchers at Kingston Polytechnic in England have design and developed a vertical axis wind machine, the Augmented Wind Turbine (AWT). It is described as "a high performance low maintenance form of wind power machine which can be operated as a small battery charger or as a grid connected constant speed machine capable of being constructed in megawatt or multi-megawatt versions."

Above, a research engineer prepares a model of a double stacked AWT for wind tunnel tests at Kingston Polytechnic.

(A W T) Türbini (İngiltere)

E K : 3 - Augmented Wind Turbine (AWT): Kingston Polytechnic, İngiltere,
"Güç-artırım-kanatlı" Rüzgar Türbini, Independent Energy, March 1990,
sh:66.

GİROMİL (= CYCLOGIRO) TÜRBİNİ

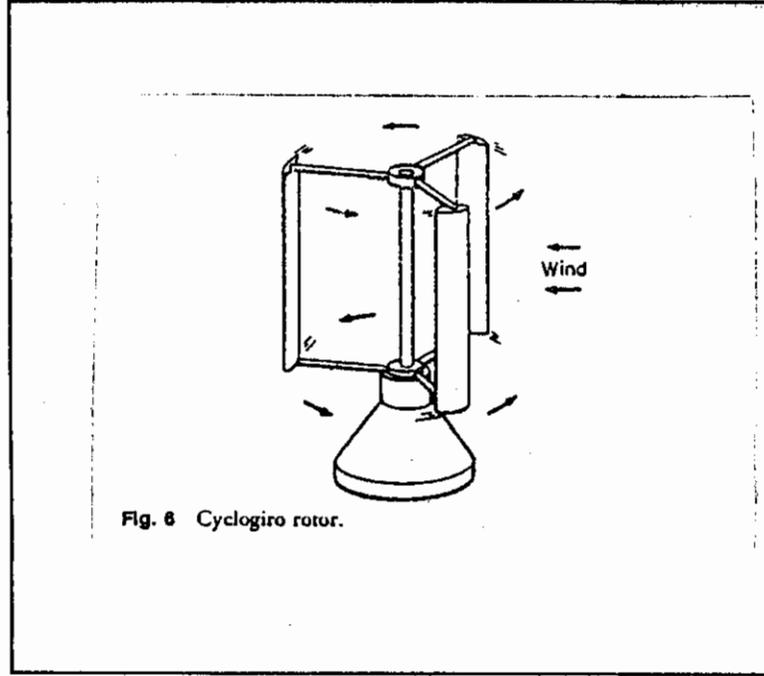
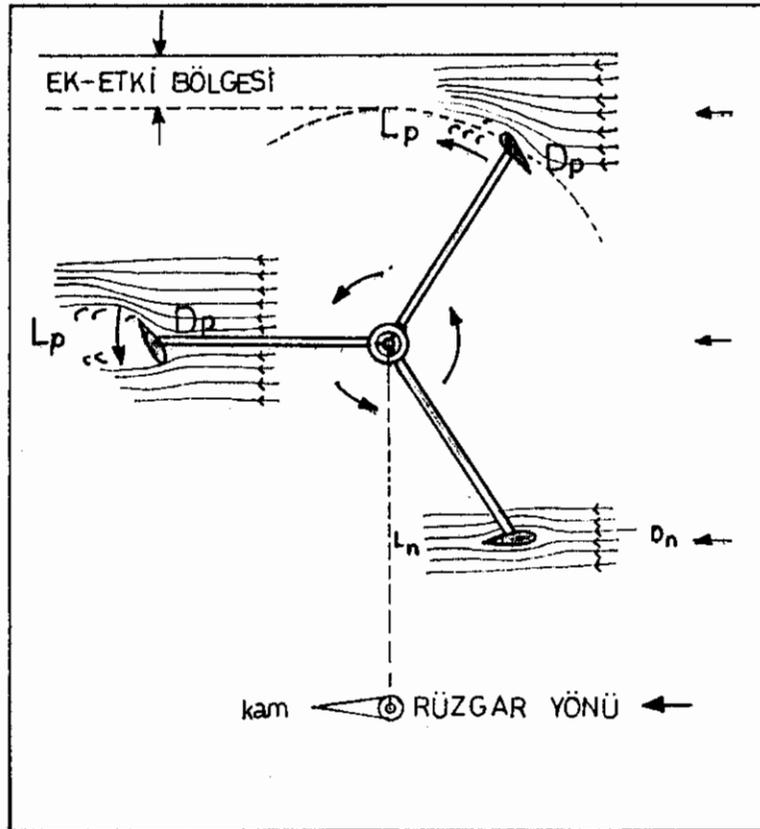


Fig. 6 Cyclogiro rotor.

RÜZGARA YÖNELME, KAM-MEKANİZMASI İLE SAĞLANIR.



ÇALIŞMA PRENSİBİ

Deney Tarihi: 20.1.1993
22.1.1993

DURUM TESPİTİ

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü rüzgar tüneline, Yavuz Ali ŞENER tarafından getirilen rüzgar türbini ile ilgili deneme, nezaretimiz altında aşağıda belirlenen aşamalarda test edilmiştir:

1. Aşama : Üç adet NACA 0021 profil olduğu beyan edilen DARRIEUS tipi kanatlar ile yapılan deneyler:
 - A) Kanatlar boşta dönerken,
 - B) Kanatlar alternatör rotorunu döndürürken,
 - C) Kanatlar alternatörden elektrik üretirken,
 2. Aşama : Yukarıdaki üç adet kanadın dışında, ayrıca yataklanmış ve bağımsız olarak dönebilen GELİBOLU tipi yöneltme kanatları ile kombine edilmiş halinde yapılan deneyler:
 - A) Kanatlar boşta dönerken,
 - B) Kanatlar alternatör rotorunu döndürürken,
 - C) Kanatlar alternatörden elektrik üretirken,
- Tur sayıları elektronik bir turmetre ile tespit edilmiştir.
- Rüzgar hızları, aşağıda isimleri belirtilen DMİ görevlileri tarafından ayarlanmıştır.

SONUÇLAR:

1. Aşama : DARRIEUS kanatlarla:

A) Kanatlar boşta dönerken,

<u>m/s rüzgar hızları</u>	<u>Tur sayıları ortalaması</u>
8.8 m/s	26 Tur/Dakika
10.3 m/s	54 Tur/Dakika
12 m/s	101 Tur/Dakika
13.6 m/s	166 Tur/Dakika
15.2 m/s	671 Tur/Dakika

B) Kanatlar alternatör rotorunu döndürürken,

18.3 m/s	34 Tur/Dakika
19.3 m/s	53 Tur/Dakika
20.4 m/s	72 Tur/Dakika
21.8 m/s	105 Tur/Dakika
22.8 m/s	152 Tur/Dakika
23.8 m/s	219 Tur/Dakika
25.6 m/s	319 Tur/Dakika

C) Kanatlar alternatörden elektrik üretirken,

25.6 m/s	-- Tur/Dakika
27 m/s	42 Tur/Dakika

2. Aşama : GELİBOLU Kombinasyonu ile,

A) Kanatlar boşta dönerken,

<u>m/s rüzgar hızları</u>	<u>Tur sayıları ortalaması</u>
4 m/s	41 Tur/Dakika
5.1 m/s	92 Tur/Dakika
6 m/s	120 Tur/Dakika
7.25 m/s	266 Tur/Dakika
8.15 m/s	364 Tur/Dakika
8.95 m/s	665 Tur/Dakika
10.2 m/s	774 Tur/Dakika
11.3 m/s	857 Tur/Dakika
12.6 m/s	988 Tur/Dakika
13.7 m/s	1069 Tur/Dakika

B) Kanatlar alternatör rotorunu döndürürken,

11 m/s	24 Tur/Dakika
12 m/s	95 Tur/Dakika
13 m/s	142 Tur/Dakika
14 m/s	205 Tur/Dakika
15 m/s	255 Tur/Dakika
16 m/s	310 Tur/Dakika
17 m/s	354 Tur/Dakika
18 m/s	418 Tur/Dakika
19 m/s	780 Tur/Dakika
20 m/s	873 Tur/Dakika

C) Kanatlar alternatörden elektrik üretirken,

20 m/s	224 Tur/Dakika
21 m/s	264 Tur/Dakika
22 m/s	314 Tur/Dakika
23 m/s	354 Tur/Dakika
24 m/s	384 Tur/Dakika
25 m/s	433 Tur/Dakika

Yukarıdaki deneyler ve tespitler nezaretimizde yapılmıştır.

DMI Yetkilisi

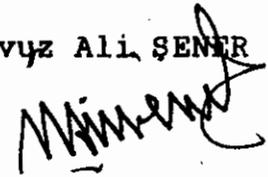
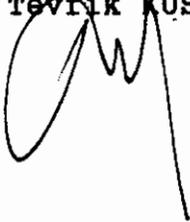
DMI Yetkilisi

Proje Sorumlusu

Tevfik KÜSKÜ

Faruk ŞANLI

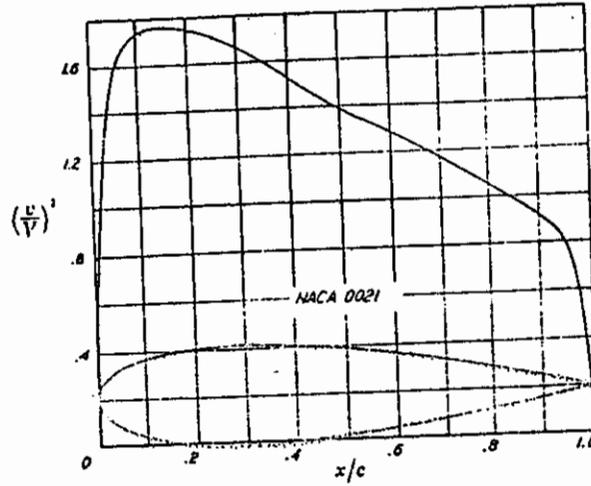
Yavuz Ali ŞENER



C HBRD

326

THEORY OF WING SECTIONS



x (per cent c)	y (per cent c)	$(r/V)^2$	r/V	$\Delta r_e/V$
0	0	0	0	1.167
0.5	0.397	0.630	1.065
1.25	3.315	0.787	0.887	0.946
2.5	4.576	1.182	1.087	0.818
5.0	6.221	1.543	1.242	0.648
7.5	7.350	1.682	1.297	0.550
10	8.195	1.734	1.317	0.478
15	9.354	1.756	1.325	0.381
20	10.040	1.742	1.320	0.320
25	10.397	1.706	1.306	0.274
30	10.504	1.664	1.290	0.238
40	10.156	1.538	1.240	0.183
50	9.265	1.388	1.178	0.142
60	7.986	1.234	1.133	0.111
70	6.412	1.177	1.085	0.084
80	4.591	1.055	1.027	0.061
90	2.534	0.916	0.957	0.037
95	1.412	0.801	0.895	0.023
100	0.221	0	0	0

L.E. radius: 4.85 per cent c

NACA 0021 Basic Thickness Form

The Savonius rotor consists of an S-shaped metal airfoil, supported between two circular end plates. Air impinging on the concave side is circulated through the center of the rotor to the back of the convex side, thus decreasing a high-negative-pressure region which would otherwise result. Tip-speed ratios typically range from 1 to 2, and efficiencies are around 30%. These rotors are self-starting and perform somewhat like a two-stage turbine. Ratio of height to diameter (aspect ratio) is usually less than 3.

The Darrieus rotor has two or more curved airfoil blades, held together at top and bottom and positioned such that it can accept wind from any direction. Physically, it resembles the lower section of an eggbeater. These rotors are not self-starting, operate at tip-speed ratios of 6 to 8, and have efficiencies around 35%. Recently, Sandia Laboratories in Albuquerque, N.M., built and tested an experimental prototype Darrieus unit combined with a Savonius rotor for self-starting.

A giromill consists of a set of vertical blades attached to the axis by means of support arms at the top, bottom, and middle (if necessary). As the rotor rotates these arms in a circular path, the orientation of the blades is changed to achieve maximum force from the wind. The blades must be flipped from a positive to a negative orientation twice each revolution, at diametrically opposite points. The rotor easily adapts to a change in wind direction and can convert over 60% of the kinetic energy in a wind-stream tube having a cross-sectional area equal to rotor diameter times the span (height). This high efficiency is the result of the giromill affecting not only this wind-stream area, but also an additional area due to lift action of the blades. McDonnell Douglas Corporation of St. Louis, Mo., is studying this concept for the Energy Research and Development Administration.

In the tornado system, wind energy is collected by a stationary tower and a vortex (or tornado) is formed in the center of the tower by properly directing the wind by opening vanes in the windward side and closing in the back side. This vortex creates a low-pressure core directly above a horizontal turbine located at the throat of an inlet that is open at the bottom with a bellmouth shape. With a large vortex strength, a significant pressure difference can be maintained across the turbine. This large pressure difference results in high air velocities and high power densities. The inventors at Grumman Aircraft Company claim power outputs up to several hundred MW or higher are possible with single units. If this concept is proved by building a large enough experimental prototype, the possibility of very large units will be a significant advantage compared with conventional designs.

28. Wind to Electrical Energy Conversion. Three basic factors must be considered in selecting the proper system for generation of electrical energy from wind. They are:

- a. Type of output: dc, variable-frequency ac, or constant-frequency ac.
- b. Aeroturbine rotational speed: constant speed with variable-pitch blades, nearly constant speed with simpler pitch-changing mechanisms, or variable speed with fixed-pitch blades.
- c. Utilization of the electrical-energy output: battery storage, other forms of storage, or interconnection with conventional utility grid.

Initial large-scale generation of electrical energy from wind is expected to be in constant-frequency ac form, to be fed synchronously into an existing utility grid. This does not involve energy storage (except in the form of fuel saved), and present economics heavily favors this approach. For this application, the choice of electrical subsystem boils down to either a constant-speed constant-frequency (CSCF) system or a variable-speed constant-frequency (VSCF) system. The historic Smith-Putnam 1.25-MW unit (Grandpa's Knob near Rutland, Vt.; 1941-1945) and ERDA/NASA's 100-kW installation at Plum Brook near Sandusky, Ohio (1975) both employed constant-speed turbines and conventional synchronous machines.

Recent advances in solid-state power-switching technology and the availability of economical high-power devices such as diodes and thyristors have initiated an interest in the possibility of allowing the aeroturbine speed to vary optimally with wind and employing variable-speed constant-frequency (VSCF) generating systems to obtain electrical energy at the required fixed frequency to be pumped into existing utility mains (see Par. 53).

The advantages of this approach are (a) simpler and more economical mechanical arrangement for the aeroturbine because of the lack of complex pitch-changing mechanisms, (b) operation of the aeroturbine always at its maximum efficiency point (constant



TÜRKİYE 5. ENERJİ KONGRESİ

TEKNİK OTURUM TEBLİĞLERİ

4

533.79
TÜRK 1990
C.4

22 - 26 Ekim 1990
Ankara

RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE TASARIM GELİŞMELERİ
"BETZ HANCIYI" AŞILANILIR MI?
MÜHTEML EKONOMİK VE ÇEVRESSEL ETKİLERİ:

Yavuz Ali Sener
DPT, Müsteşarlık Araştırma Grubu

ÖZ

Hava akımlarında mevcut enerjiyi yüksek verimlilik ve yüksek kapasite kullanımı ile yararlı bir enerjiye dönüştürmek, ancak yeni rüzgar türbin tasarımları ile mümkündür.

Bu tebliğ ile, "GELİBOLU" rüzgar türbini tasarımı önerisi sunulmaktadır. Silindirik küreli, "GELİBOLU" rüzgar türbini tasarım modelinin verimlilik ve kapasite faktörü açısından, literatürde yer alan diğer türbin modelleri arasında bazı üstünlükler gösterdiği izlenmektedir. Bu tür geliştirmelerle rüzgar türbinlerinin kapasite maliyetinin düşürülmesi mümkün olabilir. Ayrıca bu türbin, yerel olanaklarla seri üretim, bakım ve onarım kolaylıkları getirmektedir:

Rüzgar türbinlerinde "Betz Limiti"nin yalnızca yatay akslı pervaneli rüzgar türbin sistemleri için geçerli olduğu düşünülmektedir. Dolayısı ile rüzgar türbinleri için ≈ 59.26 olarak belirtilen verimlilik sınırı, diğer türlerdeki (dikey akslı, hacimsel) rüzgar türbinleri için bir kısıt teşkil etmemelidir.

Hacimsel şekilde tasaranan küreye sahip rüzgar türbinlerinde, türbinin verimliliğinin hesaplanmasında, sadece türbinin kesit alanının esas alınması eksik sonuçlar verebilir; cismin

etkilediği hava akımlarının "etki bölgesinden" geçen akımlar da dikkate alınmalıdır.

Doğru güç bakımından bol bir kaynak olan rüzgar enerjisi, dahu verimli ve yüksek kapasite kullanım olanakları sunan türbinlerin seri üretimleri ile, toplumumuza pek çok daldaki yeni ekonomik ve sosyal olanaklar sağlayabilir. Rüzgar enerjisi, yakıttan, çevre kirlotici kaynaklardan tasarruf sağlayabileceği gibi, çevre üzerinde olumlu-yapıcı etkilerin gelişmesine yardımcı olur ve yeni teknolojilerin gelişmesi için de etkili bir güç olabilir.

Rüzgar enerjisinin ekonomik ve sosyal muhtemel olumlu etkilerinin ve bu konudaki son gelişmelerin devletimiz tarafından da dikkatle araştırılarak olumlu yönlerinin ortaya çıkarılmasında, bunların geliştirilmesinde, teşvik ve desteklenerek faydalarının artırılmasında ve bu enerji kaynağının da topluma mal edilmesinde ulusal faydalar bulunduğu düşünülmektedir.

I- RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE VERİMLİLİK SINIRLARI:

A - "BETZ LIMITİ"

1-DURUM

Yatay akslı rüzgar türbinlerinde, pervanenin taradığı alanın, yaklaşık pervane çapının $\frac{1}{3}$ 'ü kadar bir alanıdır. Bu alanın hava akımları ile beslendiği düşünülüründe, türbin tarafından elde edilebilecek en yüksek güç, A.Betz tarafından matematisel olarak hesaplanmıştır. Bu maksimum güç, varsayılan silindir içinden

230

gelecek pervanelerin taradığı alana yönelen hava akımlarının sahip bulunduğu tüm kinetik enerjinin ≈ 59.26 'sıdır (1) (2). Bu kural yatay akslı pervaneli türbin sistemleri için bir kesinlik ifade etmekte olup, bu tür sistemlerde tüm tasarım geliştirmeleri, bu maksimum verimliliğe erişebilmek için yapılmaktadır.

2- GÖRÜŞLER

Hava kütleleri kurşunlaştıkları cisimler tarafından yönlendirilirler. Dolayısı ile sahip buldukları enerji cismin ön yüzünde bir basınç artışına yol açarken, cismin çevresinden geçen hava kütlelerinin yönlendirilmesinin cismin yanlarına sepiştirilmesi ve böylece cismin arkasında bulunan havanın da bu kütleler tarafından kısmen taşınması nedeniyle cismin arkasında bir vakum (çokso) etkisinin oluşmasına neden olurlar.

Burada, Arşimet Kanununun ve fizikte yer alan "su trombu" etkisinin hatırlanması ve hava akımlarına adapte edilerek düşünülmesinde yarar vardır. Yukarıda söz edilen basınç ve vakum etkileri nedeniyle, hava akımlarının önüne, uygun şekilde tasarlanmış olan, dikey akslı, silindirik bir rüzgar türbini koyulduğunda, bu güçlerden, türbin kanatlarının önden itilmesinde ve arkadan da vakum nedeniyle çekilmesinde, böylece türbinin daha verimli çalışmasında yararlanılabilir. Böyle bir rüzgar türbin sistemi, sadece kendi kesit alanına yönelik hava akımlarının gücünden değil, çevresinden, hatta üstünden geçen ve "etkilenmiş" olan hava akımlarının gücünden de yararlanabilecektir. Bu yaklaşımla yeni tasarım alternatifleri üzerinde düşünülmesi gereği

ortaya çıkmaktadır. Cisimlerin hava akımlarını etkilemesi sonucunda, cismin yüksekliğinin yaklaşık 20 katı uzaklığa kadar, cismin arkasında, vakum sebebi ile bir anafor bölgesi oluşur.(Şekil-1).

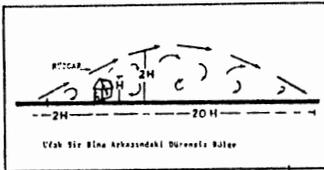
Şekil 2'de, cismin hava akımlarına yönelik kesit alanına oranla, cismin etkileyerek saptırdığı, çevreden geçen hava akımlarının geniş bir "Etki bölgesini ve kesiti" oluşturduğu gözlenmektedir. Bu durumda bu etki bölgesini de, güç elde etmeye yönelik olumlu katkı, bakımından dikkate almak gerekmektedir. Bu bölgeden geçen hava akımları da aerodinamik yapıtı silindirik (hacimsel) şekilde tasarlanmış bulunan rüzgar türbinleri üzerinde olumlu güç etkileri sağlayabilecektir.(Şekil 3) Dolayısıyla, rüzgar türbinlerinin verimliliklerinin, rüzgara yönelik kesitleri dikkate alınarak değil, yölerinden saptırıldığı hava akımlarının kesit alanına (etki bölgesine) göre hesaplanarak değerlendirilmesinin daha geçerli olacağı düşünülmektedir.

B "BETZ LİMİTİ" NİN SINIRLARI

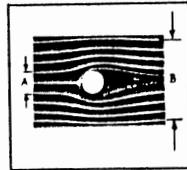
Hacimsel tarza yapan rüzgar türbinlerinde, hava akımlarının türbin tarafından saptırılması nedeni ile türbinin arka tarafındaki hava kütelleri de emilerek götürülmekte ve basınç düşmektedir. Dolayısıyla, bu basınç farklarından uygun şekilde tasarlanmış rüzgar türbinlerinin yararlanması halinde, daha geniş bir etki bölgesinin de enerjisi verimliliğe katkıda bulunmuş olacaktır. Bu verimliliğin ise BETZ limiti ile ifade edilen birleşimi ve sınırlandırılması mümkün değildir. Hacimsel

232

tarzlı rüzgar türbinlerinde verimliliğinin hesaplanmasında cismin kesit alanı değil, etki bölgesinin kesit alanı esas alınmasının daha geçerli olacağı düşünülmektedir.



ŞEKİL 1. Cisimler, rüzgar yönünü saptırır. Çevreden geçen hava akımları cismin arkasında vakum ve anafor oluşur.



ŞEKİL 2. Silindirik cisimlerle hava akımlarını saptırması: "A-Kesit Bölgesi" "B-Etki Bölgesi" kavramlarının gösterilmesi.

II- TASARIM ÖNERİSİ:

Mevcut türbinlerin verimliliklerini ve kapasite faktörlerini ezami sınır kabul ederek, bundan fazlasının elde edilmesinin mümkün olmayacağını düşünmek, bu büyük enerji kaynağının insanlığın istifadesinden uzak tutulması sonucuna yol açar. EK-1'de rüzgar türbinlerinin muhtelif tiplerini ve çalışma şekillerini gösteren bir derleme yer almaktadır.

233

"Çanakkale Şehitlerimizin Aziz Hatıralarına.."

1 - "GELİBOLU" Türbin Tasarımı:

Yukarıda belirtildiği şekilde hava akımlarının yönlerinin, saptırılması ve oluşan ek güçten olumlu yönde yararlanması fikri etrafında, aşağıda detayları belirtilen tasarım üzerinde çalışılmıştır:

"Gelibolu" modeli türbin tasarımında, rüzgarın önüne hacimsel bir küllonun koyulması esas alınmıştır. Hava akımları dikey akslı silindirik türbinin içerisine kısmen girerek güç kanatlarını geriye doğru süpürmekte, bir kısmı ise, yöneltme kanatları tarafından türbin dışına saptırılarak güç kanatları üzerindeki olumsuz (durdurucu) etkisi kaldırılmaktadır. Ancak, saptırılan bu hava akımları, bu defa da türbinin arkasında vakum oluşturarak güç kanatlarını arkalarından çekmekte (lift-kaldırma etkisi), böylece türbin tümü ile olumlu kuvvetlerden yararlanması imkanı kazanmış olmaktadır.

2 - YAPISI ve ÇALIŞMA PRİNSİBİ

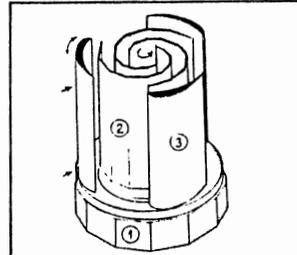
Sistem üç ana üniteden oluşmaktadır:

- 1- Taşıyıcı Ünite (Güç Ünitesi dahil)
- 2- Güç Kanatları
- 3- Yöneltme Kanatları

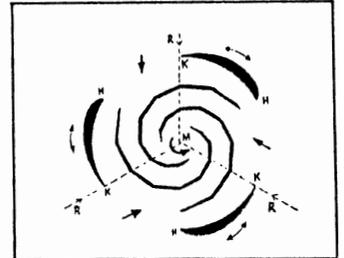
Dikey akslı ve silindirik yapıda olan "GELİBOLU" türbin sistemi, taşıyıcı ünite tarafından aynı merkezden yataklanmış olan fakat

234

birbirinden bağımsız hareket edebilen iki ayrı kanat gurubundan (Güç kanatları ve Yöneltme kanatları) oluşmaktadır. (Şekil 4)



ŞEKİL 3. "GELİBOLU" rüzgar türbin modeli: (1) Taşıyıcı Ünite, (2) Güç Kanatları, (3) Yöneltme Kanatları..



ŞEKİL 4. "GELİBOLU" türbininde "Rüzgar yöneltme", "Yöneltme kanatları" tarafından kendiliğinden sağlanan; rüzgar yönünde düzenli helix.

Taşıyıcı ünite, rüzgar türbininin yeryüzü ile hacimsel bağlantısını sağlamakta, sistemin olumsuz yüklerini (vakum karşı yük) taşımakta, yöneltme kanatlarına ve güç kanatlarına yataklık görevi yapmaktadır. Yöneltme kanatları, aerodinamik yapıtı nedeni ile, rüzgar yönüne göre kendiliğinden, merkezdeki yataklama üzerinde dönerek hava akımlarını türbin içine 180 derecelik bir yarı geçiren bölgeden akmasını yol vermekte, buna karşılık, diğer 180 derecelik bölgeyi kapatarak, olumsuz rüzgar güçlerinin türbin içerisine girmesine engel olarak bunları sistemin yanına ve arkasına atmaktadır. Aynı zamanda türbin içerisine giren ve güç kanatlarını döndürmekte olan hava akımlarını kanalize ederek bir pompa cidarı gibi görev görmektedir.

Güç kanatları, taşıyıcı ünite tarafından yataklanmış bir platform üzerinde yer alan üç adet kanat gurubundan oluşmaktadır.

235

Güç kanatları rüzgarın her yönü için daima aynı yönde dönmektedir. Kanatları taşıyan platformun merkezindeki şaft, oluşan mekanik gücü, yatakladığı taşıyıcı ünitenin alt kısmında yer alan güç ünitesine intikal ettirmektedir. Yönelme kanatları, yapısı gereği rijit yanal yüzeyler oluşturur; dışbükey özel yapıdaki sırtları rüzgar gücü ile kendiliğinden harekete geçerek ve yataklama etrafında yeterli kadar dönerek yukarıda ifade edilen yarı geçirgen kanal etkisini oluşturur. Yönelme kanatlarının bu otomatik yönelmesi sonucunda aşağıda belirtilen bir yön sıralaması oluşarak kararlı kalmakta ve her türlü rüzgar yönü ve hızı için yine kendiliğinden aynı muhafaza edilmektedir:

Yönelme: a) Rüzgar yönü, b) yönelme kanatlarının keskin kenarı (kaçış kenarı) ve c) sistemin merkezi daima bir doğru üzerinde bulunmaktadır. (Şekil-4) Bu yönelemede, üçte bir (120 şer derece) lik ihtimalle rüzgar yönüne en yakın keskin kenar, ortada kalacak şekilde birbirinin aynı üç pozisyon oluşması mümkündür.

Güç kanatları değişik türde kanat kesitlerinden oluşabilir: Hava akımları ile en fazla temas yüzeyi logaritmik yapıda bulunan kesitlerle anlaşılacağı görülmektedir. Ayrıca temas yüzeyinin, sistemin yüksekliği boyunca da arttırılabilmesi için güç kanatlarının sinüzoidal bir yapıda yukarıya doğru sarmal ve geçikmeli bir dögü de verilebilir. Bu yapı türbinin, tur nedeni ile ses yapmasını da önleyebilecektir.

236

3 - ÖZELLİKLERİ

"GELİBOLU" rüzgar türbin sistemi tasarımı, aşağıda özellenen konularda bazı özellikler, farklılık ve yenilikler arzeder: (3)

a) Sistem, rüzgarın her yönü ve hızı için kendiliğinden yön ayarlaması yapabilmektedir. Bunun için ayrıca ek bir enerji sarfi gerekmemekte, rüzgar gücü yeterli olmaktadır.

b) Yönelme kanatları, olumlu hava akımlarını sistem içine kanallı olarak güç kanatlarına göndermekte, olumsuz yöndeki rüzgar güçlerini ise perdelmektedir; böylece sistemin arkasına intikal eden hava akımlarının sağladığı vakum, güç kanatlarını arkularından çekerek dönme gücünü arttıran ek bir etki oluşturmaktadır.

c) Türbin, negatif yüklerin perdelenmiş olması nedeni ile çok düşük rüzgar güçlerinde harekete geçebilmekte olup, aşırı rüzgar hızlarında da sistemin kapalı olmasını gerektirmeden çalışmasını her hızda sürdürebilmektedir. Bu durumda güç ünitesinin de kapasitesi oranında, türbin, üretimine devam edebilecek olup, türbin kendi yapısı gereği üretimi kesmek zorunda değildir. Dolayısı ile yüksek bir kapasite faktörü elde edilebilmesi mümkündür.

d) Türbin, yapısı gereği herhangi bir çapta veya yükseklikte üretilebilir.

e) "Gelibolu" türbin tasarımının tamamen yerli üretim olanakları ile yurdun her tarafında yerel malzemelerle üretilmesi mümkündür. Özel teknoloji gerektiren kanatlar ve özel malzemeler gerekmektedir. Seri üretilme elverişli olduğu gibi, yerel

malzeme ve olanaklarla, ihtiyaç miktarınca da üretilebilir.

f) Türbinin yapısında daha fazla malzeme ve işçilik kullanılmaktadır. Ancak maliyetteki bu artış, verim ve kapasite artışının altında kalmakta, yerli olanaklarla üretilebilmesi bu durumu daha olumlu hale getirmektedir.

g) Sistem, dikey akslı şaft gücü ve standard (universal) yapısı ile her türlü enerji çıktısı imkanı sunmaktadır. Söz konusu şaft gücünden her şart altında çok değişik amaçlarla yararlanmak mümkündür.

4 - ENERJİ OLANAKLARI

Güç kanatlarının şaft gücü, taşıyıcı ünitenin altında güç ünitesinde yaşam yüksekliğinde (yaklaşık insan boyu) kullanıma sunulmaktadır. Bu güç, özetle, elektrik üretimi, endüstriyel şaft gücü, pompa (kompresör), ısı ve soğuk depolama gibi kullanıma alternatiflerine olanak versmektedir.

Rüzgar enerjisinin kararlı yapıda olmaması nedeni ile, bu kesikli özelliğine uygun olarak, sağlanan mekanik enerjinin, zamandan bağımsız olarak, depolanabilir başka bir enerji şekline dönüşümünü ve bu şekli ile, sonradan dengeli bir şekilde kullanılmasını daha rasyonel hale getirmektedir. Örneğin basınçlı hava elde ederek depolamak ve basınçlı ileride ihtiyaç miktarınca kullanmak, bu arada kompresörde oluşan ısı enerjisini de ısı pompası ile değerlendirmek rasyonel bir yol olarak görülmektedir. Bu yolla elde edilecek olan hava basıncı, uygun kapasiteli bir

238

türbojeneratörde çok yüksek kapasite faktörü ile çalışabileceklerdir. Isı pompası ise güç ünitesinde oluşan her türlü ısı kayıplarından yararlanılmasını ve ısı enerjisinden herhangi bir amaçla kullanılmasını imkanı sunabilir.

5 - YEREL ÜRETİM

"Gelibolu" rüzgar türbin sisteminde, kanatlar aerodinamik özelliklere sahip olmakla beraber, bu kanatların üretim tekniği fevkalade basit olduğu gibi, yurdumuzun her yerinde kolayca bulunabilecek malzemelerle üretilebilirler. Sistem, rijit yapıda üretildiğinden, elastikiyet gerektiren parçaları bulunmadığından, malzeme yorgunluğu, kırılma vs. problemlerin doğması beklenir. Bununla beraber, her türlü bakım ve onarım, yurdumuzun teknik olanakları ile yapılabilecek özelliktedir.

III - EKONOMİK VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

A - EKONOMİK ETKİLERİ

1- GENEL

Rüzgar enerjisi, yeryüzünün erişilebilir yüksekliklerine kadar gökyüzünden uçmakta olan kağıt paraları gibi düşünülebilir: Ne kadar yüksekçe, ne kadar verimli ve ne kadar çok süre çalışabilen türbinler, bu enerji kaynağının her olduğu yerlerde kurulabilirse, yeryüzüne indireceği para miktarı o kadar fazla olacaktır. Rüzgar enerjisi ABD'de yayınlanan resmi bir raporda en ucuz ikinci enerji kaynağı olarak tanımlanmıştır. (4). Ülkemizin ihracat gelirlerinin büyük kısmını petrole ödemekteyiz; dolayısı

ile enerji bitmeyen ihtiyacımızdır. Enerji, özellikle tasarruf sağlayıcı, hemen sonra da gelir getirici büyük etkiler oluşturmaktadır. Kat kat milli gelir artışı sağlar.

Behor birim yatırım karşılığında, daha fazla verim ve kapasite faktörü sağlayan rüzgar türbinleri, geri ödeme sürelerini daha da kısaltabilecektir.

2 EKONOMİK KULLANIM OLANAKLARI

Aynıda, rüzgar enerjisinin, daha da ucuz bir enerji haline gelmesi halinde ne tür kullanım olanaklarının açılacağı tartışılmaktadır. Bunların yaygın şekilde gerçekleştirilmesi için, daha yüksek verimliliğe ve yüksek kapasite kullanımına erişilebilecek sistemlerin üretilmesi ve kullanılması ile enerjinin daha ucuz üretilmesi gerekir. Bilinen bazı sanayi üretim metodları ve sanayi proseslerine enerjinin pahalı olması nedeniyle hayvuruluştaki enerji nisbi olarak ucuz olduğunda ve yaygınlaştığında, bu metodlarla üretime girmekte tereddüt edilemeyebilir. Kullanım alanlarına bir kısmı da rüzgar enerjisinin doğal yapısına çok uygun ve onu tamamlayıcı özelliktedir. Örneğin, biyogaz tesislerinde, kurutma ve ısı ihtiyacı rüzgar türbinlerinin şaft gücü ile kolaylıkla karşılanarak, bu tesislerin bu nedende kısın maliyetleri önlenebilir; yaygınlaşmalarına vesile olur.

Türbinlerin yaşam yüksekliğinde şaft gücü sunması başlıca aşağıdaki kullanım olanaklarını yaygınlaştırabilir:

- Elektrik üretimi,
- Endüstriyel şaft gücü,
- Kompresör ve pompaj,
- Isı ve soğuk depolama.

240

B - ÇEVRESEL OLUMLU ETKİLERİ

1- GENEL

Günümüz, gerek sanayinin gerek enerji üretiminin, çevreyi fazlaca tahrip ettiği bir dönemdir. Bu gidişin zararları yeni yeni anlaşıldığından, çevre temizliği ve çevreye olumlu etkiler sağlayacak sanayi ve enerji dallarına tüm dünyada gerekli önem verilmeğe başlanmıştır.

ABD'de 1989 Kasım ayında yayınlanan bir raporda (4), muhtelif enerji kaynaklarının, çevreye olumlu etkileri ve sosyal yararları dikkate alınarak sıralamaları yapılmıştır. En ucuz enerji, mevcut enerjinin tasarruf edilmesi ve kullanım verimliliğinin artırılmasıdır. İkinci sırada rüzgar enerjisi yer almaktadır. Bu raporda geleneksel enerji kaynaklarının şimdiye kadar gözönünde bulundurulması olan çevresel ve sosyal maliyetleri de dikkate alınmıştır.

Hava kirliliğinin toplumsal maliyeti nedir? Raporda her etkinin önem derecesi ağırlıklı olarak enerji kaynakları arasında bir sıralama yapılmıştır. Raporun ek çalışmalarının bu tür olumsuz çevresel ve sosyal etkilere, parasal bir değer tayin etmek üzere sürdürüldüğü bildirilmektedir. (4)

"Olması devlet cihanda bir nefes sıhhat gibi.."

"Temiz hava sağlığı" için ne değer biçileceğini hep birlikte görmeyi umalım.

241

2- OLANAKLAR:

Rüzgar türbinlerinde yeni tasarım alternatiflerinin yüksek kapasite kullanımı ve verimlilikle ucuz enerji sağlanması durumunda, bu türbinler kendilerine yapılan yatırımların kısa sürede geri ödenmesine imkan verecekleri gibi, bu teknoloji, yeni iş olanakları getirebilecek, ülke üzerinde hemen her tarafta yerel mülkeme ve teknik imkanlarla üretim, bakım ve onarımları gerçekleştirebilecektir. Yabancı teknolojiye ihtiyaç olmadan yurdumuzun birçok yerinde üretim fabrika ve atölyeleri açılabilir.

Ayrıca türbinlerin sağladığı enerji çıktısı olan elektrik, mekanik güç ve diğer kullanım olanakları, fayda üretirken, yeni iş olanakları ve enerji ucuzluğu da sağlayabilecektir; kırsal kesimde de her türlü üretimin yaygınlaşması, gelişmesi, dolayısıyla milli gelir artışı olanakları doğabilecektir.

IV - SONUÇ VE ÖNERİLER

A - ARAŞTIRMA, GELİŞTİRME, YAYGINLAŞTIRMA

Enerji, talebi hiçbir zaman tükenmeyecek olan bir ihtiyacımız olduğuna göre, bunu sağlayacak araştırma çabalarını yurt dışından beklemek, sonra da lisans altında almak, ülkemize haksızlık olur.

1- DEVLET DESTEĞİ

Tüm dünyada rüzgar enerjisi fevkalade ciddiye kazanmakta iken, ülkemizde de her türlü enerji üretimi ve rüzgardan enerji üretiminin her türlü imkanı teşvik ve desteklenmesinin rasyonel

242

olacağı düşünülmektedir. Enerji Fonları ve Kamu Ortaklığı İmkanları ile pilot projeler ve tanıtım (demonstrasyon) projeleri gerçekleştirilmeli, halka ve özel sektöre örnek olmalıdır.

2- ÜRETİM SİSTEMLERİNİN YAYGINLAŞTIRILMASI

Büyük kapasiteli sistemler, kamu desteği ile gerçekleştirilmeli ve elektrik üretimine yönelik olanlar ana elektrik sistemine katkıda bulunmak amacı ile inşaat edilmeli ve yaygın olarak kullanılmalıdır. Kamu kaynakları ile büyük sistemlerin üretimi ve yaygınlaştırılması mümkündür. Megawatt düzeyinde büyük rüzgar türbinleri içerisinde, yüksek kapasite kullanımı ve verimliliğe sahip olan sistemlerin, hidroelektrik, termik ve doğal gaz santralleri ile kolayca rekabet etmesi ve öne geçmesi mümkün olabilir. Bu hususların araştırma projeleri ile etüd edilmesi gerekir. Ayrıca teknik bakımdan uygun bulunan sistemlerin, ekonomiye muhtemel katkılarının, mali ve sosyo-ekonomik araştırmaların bütünleştirilmesi gerekir. Sonuçların olumlu olması halinde, yararlanılması ve yaygınlaştırılması ulusal bir görev olacaktır.

B - TASARIMLARIN ULUSLARARASI DÜZEYDE KORUNMASI

Yurdumuz olanakları ile, gerek kamu kuruluşlarında, gerek özel kuruluş ve şahıslar tarafından yapılan her türlü geliştirme, buluş ve katkılar, gerek yurt içinde, gerek uluslararası düzeydeki patent kuruluşları nezdinde patent hakları temsali suretiyle bizzat devlet tarafından korunma altına alınmalıdır. Bu yapılmadığı takdirde, geliştirilen ve tatbik değeri olan ekonomik,

243

teknik ve stratejik bakımdan önemli buluşlar, diğer uluslar tarafından kolayca sahiplenilebilecektir. Bu durumda, ileride ülkemizin öz varlığından oluşan buluşları kullanabilmek için, onları sahiplenilen uluslara lisans bedelleri ödemek durumunda kalmamalıyız. Bu kapsamda buluşlar ulusumuza mal edilmeli, devletimizin gözetimi altında, ulusumuzun ihtiyaçları için koordineli şekilde kamu ve özel kuruluşlarımız tarafından kullanılmalıdır.

C. TEŞVİK- KORUMA, YASA DESTEĞİ

Özellikle rüzgar enerjisinde birçok ülkeler yoğun teşvik ve destek sağlamaktadır. Danimarka, standart rüzgar türbinlerinin belediye arazisi üzerinde kurulması halinde, yatırımı % 30'a kadar sübvansé etmekteydi. Bu durum, enerji yatırımlarını ve standartlaşmayı da teşvik etmektedir.

Enerji yatırımlarının tümünde olduğu gibi, rüzgar enerjisinde de, ulusal ekonomiden enerji üretim alanına yapılacak olan yatırımlar, üretilen enerjinin, milli gelir artışı olarak direkt katkısı nedeni ile, makro düzeyde, topluma kısa sürede geri dönmektedir. Ancak spesifik yatırımlar, bu sürede, henüz yatırım bedelini geri alamamış olduğundan, bunları da bu süre içinde teşvik ve mali yönden desteklemek, ekonomi için bir görev olmaktadır: Toplum bu sürede yatırdığı milli kaynakları geri kazanmış veya kazanmaktadır. Bu önemli noktanın ışığı altında, gerekli mevzuat değişiklikleri sık sık gözden geçirilerek, günün gelişen ihtiyaçlarına göre rasyonelleştirmeler yapılmalıdır.

Özellikle üretimde, bakım ve onarımda standartlaşmanın mevzuat

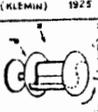
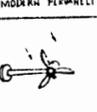
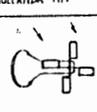
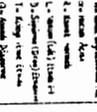
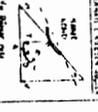
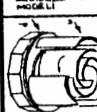
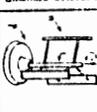
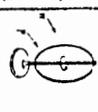
kapsamına hızla alınması uygun olur.

Rüzgar Enerjini Cıfllıkları veya sabit üretimi olarak gerçekleştirilen elektrik üretimi, enterkonnekte elektrik şebekesi ile devlet tarafından satın alınmalıdır; mahallinde kullanımına da belirli kurallara bağlanarak, üreticiye gelir sağlayıcı bir şekilde imkân tanınmalıdır. Enerji üretiminin (elektrik, vs), toplum yararları göz önünde tutularak üreticiyi ve toplumu en fazla şekilde yararlandırabilecek bir fiyat bedel (avoided cost) üzerinden satın alınmasına imkân sağlanmalıdır.

REFERANSLAR:

- 1- McLaughlin, D.K. Hughes, W.L. "WIND POWER", Marks' Standard Handbook For Mechanical Engineers, Sh: 9 164, McGraw-Hill, 1979
- 2- Yavuzcan, G., "Tarımda Doğal Enerji kaynakları", Ziraat Fakültesi yayınıları: 876, Sh: 36, Ankara, 1983.
- 3- Şener, Y.A., "Türkiye'de Rüzgar Enerjisinden Yararlanma İmkânları", Türkiye IV. Enerji Kongresi, Teknik Oturma Tebliğleri 1, Sh: 377, İzmir, 1986
- 4- Gipe, P., "Wind, A Good Buy", Independent Energy, Sh: 52, Kışım 1989.

EK 1. RÜZGAR TÜRBİNLERİ TIPLERİ VE ÇALIŞMA ŞEKİLLERİ

(SAVONIUS) 1931	(KLEMIN) 1925	MODERN FLEMMELI	HOLLANDA TIPI	DIKEY TIPI
				
				
DIKEY AKS ($D_p + L_p - (D_r + L_r) = Q$)	DIKEY AKS ($D_p + L_p - (D_r + L_r) = Q$)	YATAY AKSLI RÜZGAR TÜRBİNLERİ		
				
• Yatırımların • Hükümetin teşviki	• Yatırımların • Hükümetin teşviki	• Yatırımların • Hükümetin teşviki	• Yatırımların • Hükümetin teşviki	• Yatırımların • Hükümetin teşviki
"GELİBOLU" 1980 HÜSULU	"FREE-WING" RÜZGAR ENERJİ KANALIZASYONU	GİRİMLİ VE SAVONIUS KOMBİNEZİYONU (B.E.)	GİRİMLİ-CYKLOGRAF	(DARRIEUS) 1931
				
				
DIKEY AKS ($D_p + L_p - (D_r + L_r) = Q$)	DIKEY AKS ($D_p + L_p - (D_r + L_r) = Q$)	DIKEY AKS ($D_p + L_p - (D_r + L_r) = Q$)	DIKEY AKS ($D_p + L_p - (D_r + L_r) = Q$)	DIKEY AKS ($D_p + L_p - (D_r + L_r) = Q$)
				
• Yatırımların • Hükümetin teşviki	• Yatırımların • Hükümetin teşviki	• Yatırımların • Hükümetin teşviki	• Yatırımların • Hükümetin teşviki	• Yatırımların • Hükümetin teşviki

RAPOR

GİRİŞ

Sayın Yavuz Ali Şener tarafından getirilen sabit ve döner kanatçıklardan meydana gelen 20.4.1990 - 25469 numaralı patenti haiz Rüzgar Enerjisi Jeneratörü ODTÜ Havacılık Mühendisliği Bölümü Büyük Rüzgar Tüneli fanları mansabında açık jet şartları altında güç ve verimlilik ölçümü için ön-denemeye tabi tutulmuştur. Bu rapor yapılan ön çalışma ve sonuçlarını içermektedir.

Jeneratör Sayın Şener tarafından Üniversite dışında imal edilmiş olup, Bölümce yapılan iş yalnızca deney ve ölçümleri gerçekleştirmek olmuştur. TÜBİTAK tarafından MAG 818 (MİSAK - 7) proje kod numarası ile desteklenen bu projeye TÜBİTAK'ca ayrılan para jeneratörün imalatına sarf edildiği için, yapılan deneylerden herhangi bir nam altında ücret talep edilmemiştir.

Deneyler ön-deney (Proof of concept) seviyesinde yapılarak, önce jeneratörün ne ölçüde ümit verdiği suali araştırılmıştır. Bu çalışmaya göre eğer jeneratör üzerinde ciddi geliştirme ihtiyaç ve gereği görülürse, teorik ve deneysel olmak üzere esas AR-GE çalışmasının başlatılması ve kapsamlı destek istenmesi ön görülmüştür.

DENEYLER

1.40 x 0.72 m lik rüzgar'a maruz alana sahip ve şekil 1 de fotoğrafı görülen Rüzgar Enerjisi Jeneratörü, ODTÜ Havacılık Mühendisliği Bölümü Büyük rüzgar tünelinin iki adet 2 m çapındaki fanlarından bir tanesinin 5.5 m

C.Ş.

mansabına tespit edilmiştir. Şekil 2 de deney sistemi kroki halinde verilmiştir. Jeneratör fandan gelen jetin uniform akım alanı içinde kalmasına dikkat edilmiştir. Aynı şekilde görüldüğü üzere bir pitot tübü yardımıyla jeneratöre gelen rüzgar hızı ölçülmüştür.

Laboratuarda imal edilen Prony freni tipinde kayışlı bir aparat ile tork, elektronik bir RPM metre ile de aynı anda ölçülen tur sayısı tespit edilmiş ve jeneratör tarafından üretilen güç hesaplanmıştır. Pitot tübünde hasil olan dinamik basınç elektronik "transducer" ile ölçülmüş (mV olarak) ve bir kalibrasyon katsayısı ile rüzgar hızına dönüştürülmüştür. Pitot tübünün elektronik sayacında ölçülen 700 mV 16.5 m/s ve 750 mV da 17 m/s ye tekabül etmektedir. Rüzgar tüneli fan motorlarının auto-kontrol sistemi sayesinde gelen rüzgar hızı sabit tutulmaktadır. Bu sabitlik 50 mV' a tekabül eden 0.5 m/s veya çalışma şartlarına göre $0.5/16.5 = \% 3$ veya $\pm \% 1.5$ dur.

Deneyler iki farklı durumda gerçekleştirilmiştir.

İlk deney sabit kanatçıklar ile, diğeri ise sabit kanatçıkları çıkarıldıktan sonra yapılmıştır. Bu deneylere ait çıktılar Tablo 1 (Şekil 1) ve Tablo 2 (Şekil 2) de verilmişlerdir.

Bu tabloların ilk kolonlarında deney esnasında ölçülen pitot tübü elektronik sayaç okumaları (700 mV 16.5 m/s; 750 mV 17. m/s), ikinci kolonda Prony frenide kullanılan fenleme ağırlıkları (kgf olarak), üçüncü kolonda okunan devir sayısı (R.P.M olarak), dördüncü kolonda bu verilen okumalara göre hesaplanan üretilen güç (W olarak) ve sonuncu kolon da verimliliği (% olarak) göstermektedir. Kullanılan Prony freni sistemi için geçerli olan güç hesaplama formülü

C.G.

$$p \text{ (watt)} = 0.17 \text{ W. RPM dir.}$$

Burada W frenlemede kullanılan ağırlık (kgf) ve RPM de ölçülen devir/dakika dır. Sonuç watt olarak çıkmaktadır.

Verimlilik, dördüncü kolondaki değerlerin, jeneratörün karşıladığı rüzgar alanı (0.72 x 1.40 m) ile birim alandaki rüzgar gücü ($1/2 \rho U^3$) nün çarpımına eşit olan güce ($1/2 \times 1.1 \times 16.5^3 \times 0.72 \times 1.40 = 2470 \text{ watt}$), bölünmesi ile elde edilmiştir.

Kullanılan güç ölçme sistemi gelişmiş bir ölçme düzeni değildir. %30 civarında düşük güç ölçtüğü tahmin edilebilir. Bu halde verimi gösteren kolondaki değerlerin 1.30 ile çarpılması mümkündür. Bu halde ölçülen en yüksek verim $\% 3.8 \times 1.3 = \% 4.9$ değerine ulaşmakta, üretilen güç ise 16.5 m/s lik hızda jeneratörün rüzgar karşılayan m^2 sinden 120 watt'a yükselmektedir.

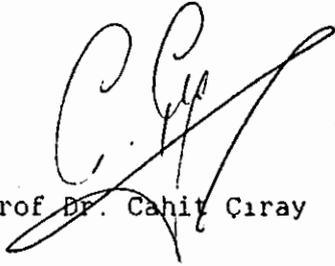
DEGERLENDİRME

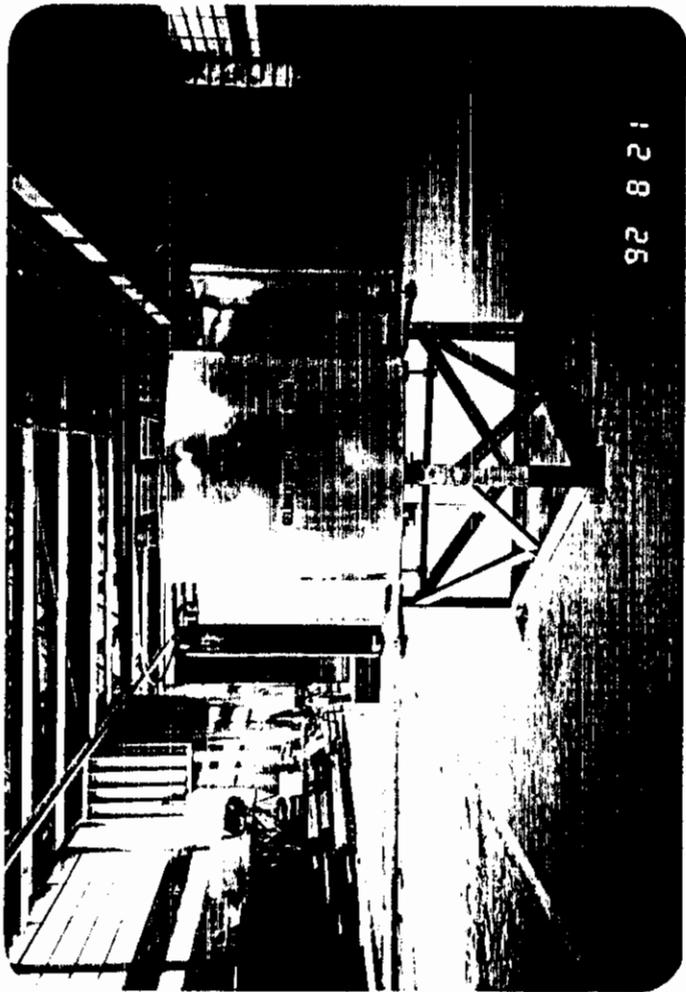
1. Denenen jeneratör nispeten basit bir geometri, dolayısıyla imalat kolaylığı olan bir rüzgar enerjisi üreticidir.
2. Sabit kanatçıkların üretilen enerjiyi artırma fonksiyonları belirgindir.
3. Denenen şartlarda % 5 bulmayan bir verimlilik temin edilmiştir. Ancak denenen sistem ağır bir sistemdir. Mekanik olarak imalat'daki sürtünmelerin azaltılması ve daha hafif bir sistem yapılması mümkün görülmektedir. Bu şartlarda verimde % 50 bir artma olsa, varılacak azami değer $\% 8$ 'i geçme ihtimali zayıftır.

Eğer bu sistemin geliştirilmesi gereği duyulursa Havacılık Mühendisliği Bölümü gerekli teorik ve deneysel çalışmaları Üniversitemizin belirli şartları altında gerçekleştirebilir.

C.F.

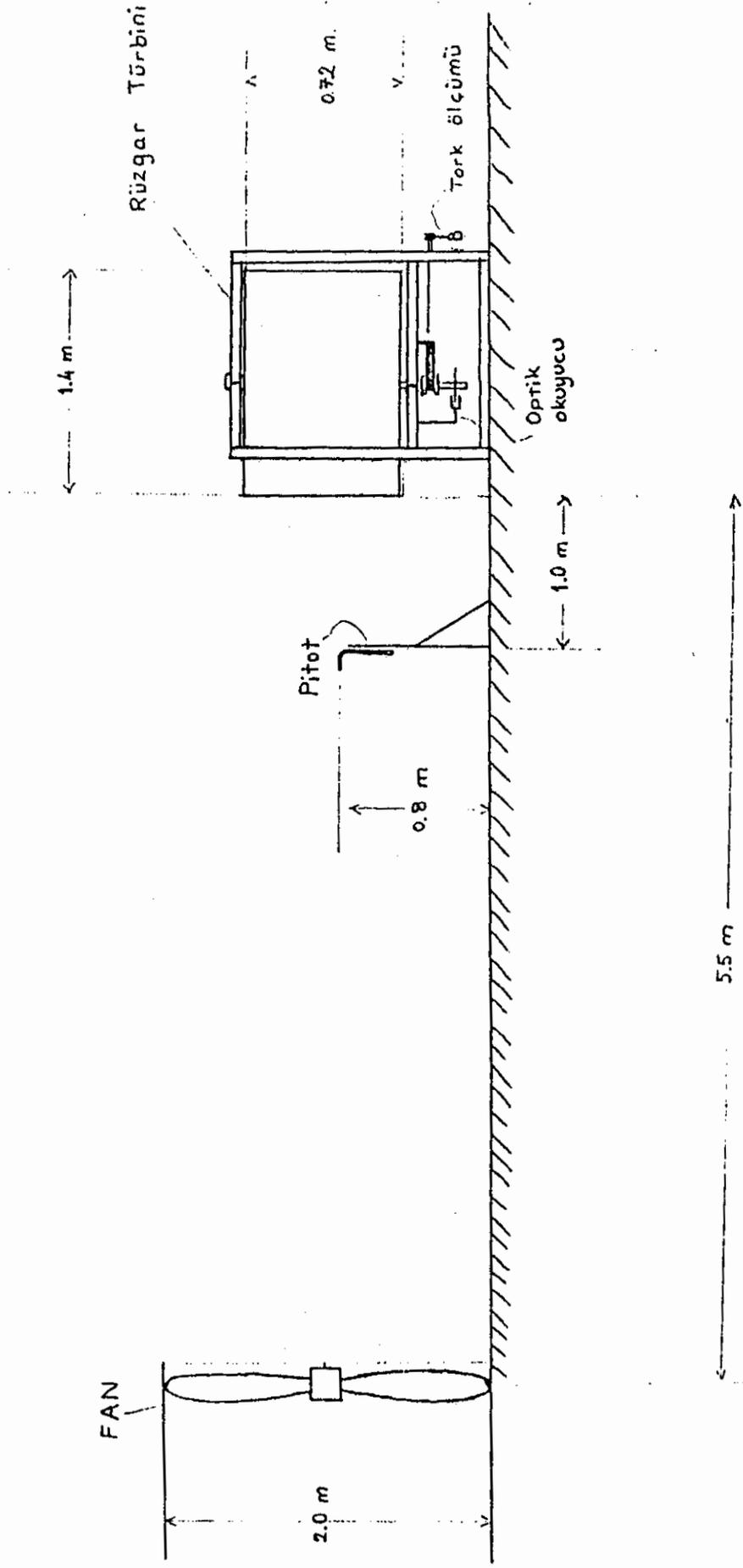
Bu çalışma Havacılık Mühendisliği Bölümü araştırma görevlilerinden Mühendis B. Alkışlar'ın gayretleri ile yapılmıştır. Prony freni düzeneği tasarım ve imalat olarak kendi eseridir. Deneyler de tamamen kendisi tarafından gerçekleştirilmiştir. Katkılarından dolayı kendisine teşekkür ederim.

 25. 8. 1992
Prof. Dr. Cahit Cıray



Denenen Ruzgar Jeneratorunun Fotografı

SEKIL 1



C. K.

DENEY SİSTEMİ KROKİSİ

ŞEKİL 2

mV	Kgf	RPM	Güç (watt)	% Verim
700	0	158	0	0
700	0.5	153	13	0.53
710	1.0	149	25.3	1.02
700	1.5	145	37	1.49
690	2.0	140	47.6	1.93
700	2.5	135	57.4	2.32
670	3.0	130	66.3	2.68
690	3.5	126	75	3.04
720	5.0	110	93.5	3.79
720	5.5	0	0	0
700	3.5	126	75	3.04
720	3.0	132	67.3	2.72
700	2.5	137	58.2	2.37
700	2.0	141	47.9	1.94
690	1.5	145	37	1.49
700	1.0	149	25.3	1.02
710	0.5	152	12.9	0.52
700	0	158	0	0

Sabit Kanatçıklar ile Yapılan
Deney Sonuçları

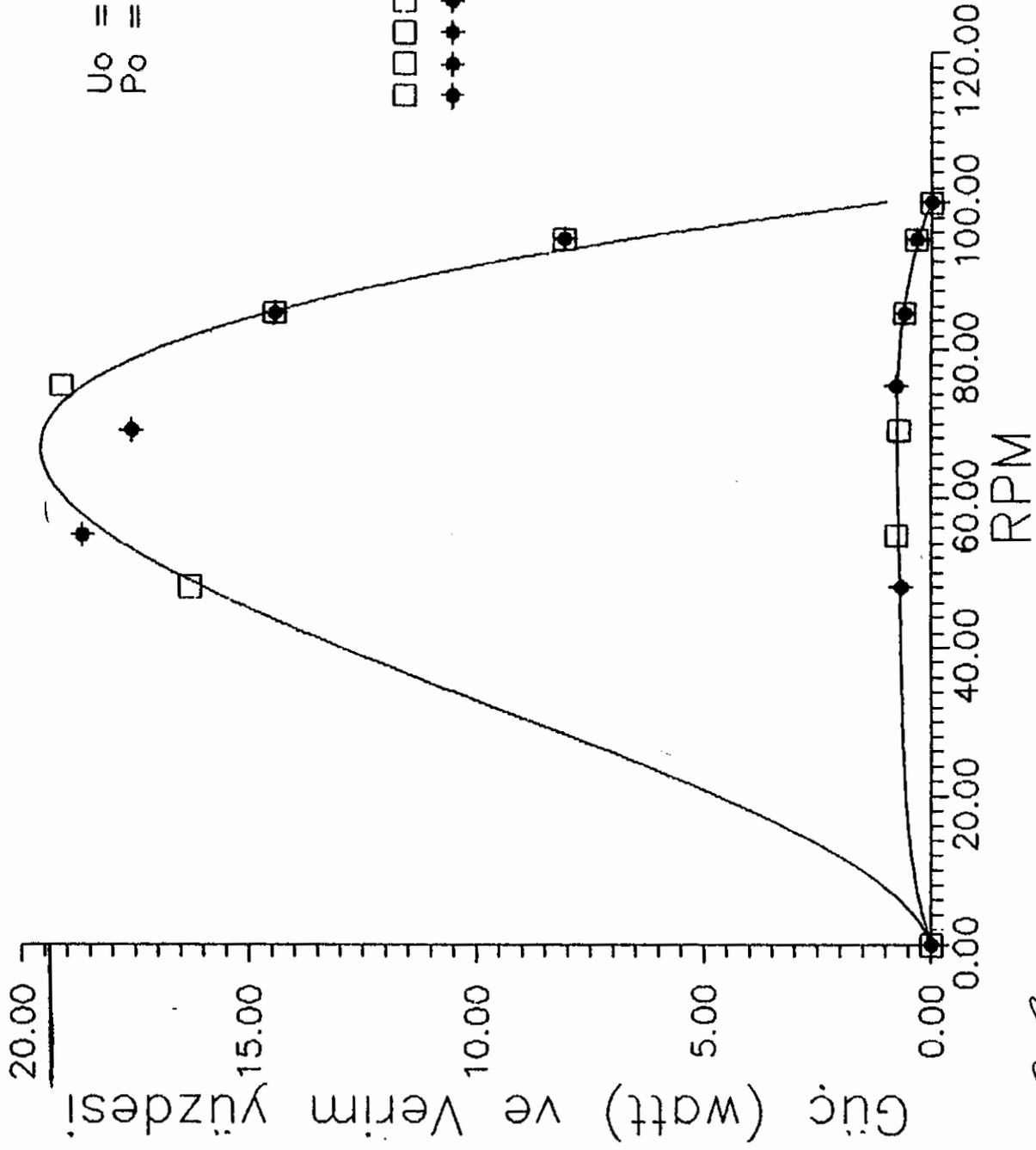
TABLO 1

mV	Kgf	RPM	Güç (watt)	% Verim
700	0	100	0	0
720	0.5	95	8.08	0.33
750	1.0	85	14.45	0.59
750	1.5	75	19.13	0.77
710	2.0	48	16.32	0.66
710	2.5	0	0	0
730	2.0	55	18.7	0.76
720	1.5	69	17.6	0.71
720	1.0	85	14.45	0.59
710	0.5	95	8.08	0.33
720	0	102	0	0

Sabit Kanatçıklar Olmadan Yapılan
Deney Sonuçları

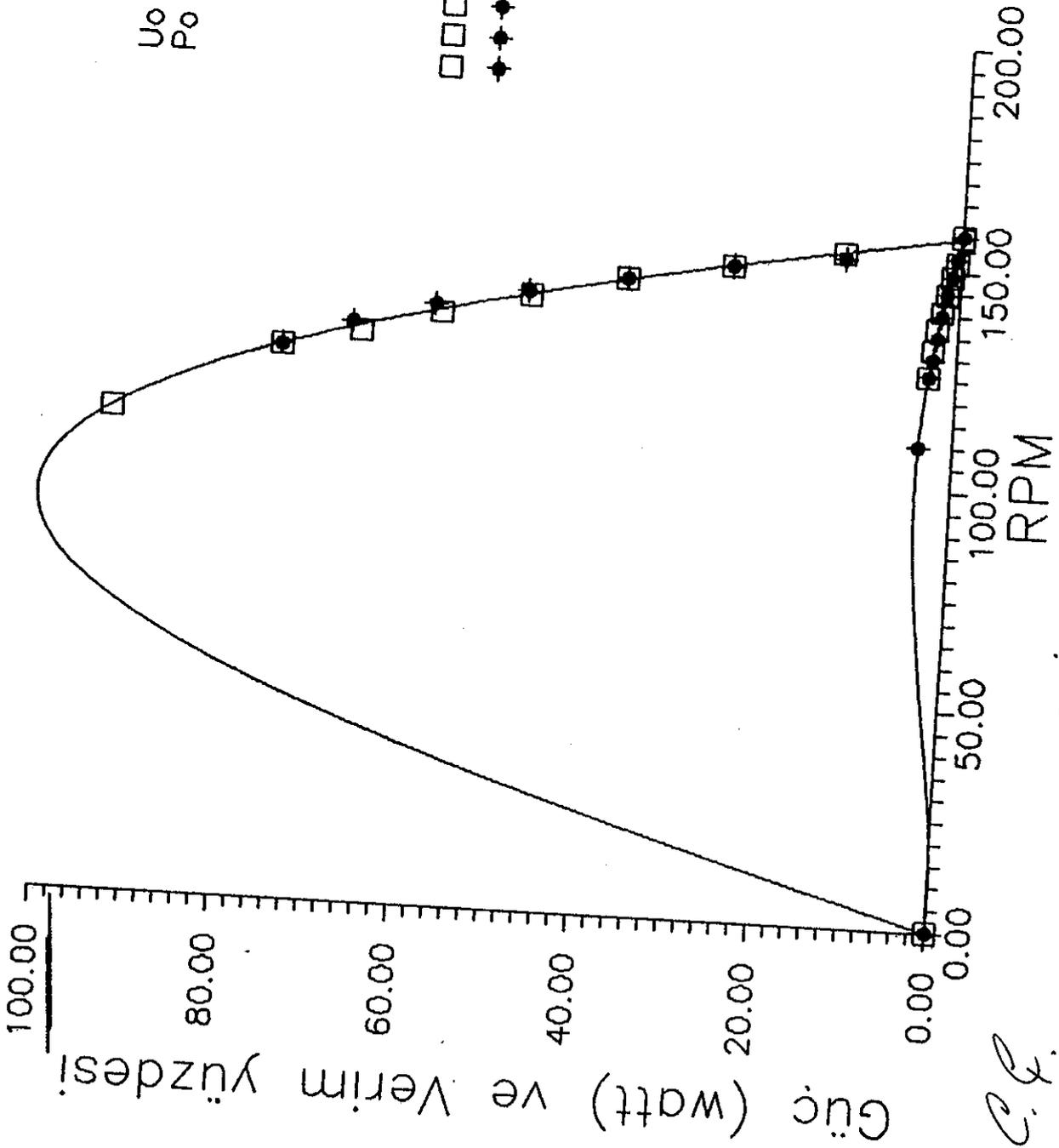
TABLO 2

C.G.



C.Ş.

SABİT KANATÇIKLAR OLMADAN
ELDE EDİLEN SONUÇLAR



SABİT KANATÇIKLAR İLE
ELDE EDİLEN SONUÇLAR

ŞEKİL 4

REFERANSLAR:

- 3.ncü GENEL ENERJİ KONGRESİ, 4.Yeni Enerji Kaynakları Türk Milli Kongresi, sh:278. 1977
- Newsletter of the British and WINDirections, European Wind Energy Associations, Volume XI, 1992
- Augmented Wind Turbine, "British Tunel Testing" Kingston Polytechnic, İngiltere, Independent Energy, March 1990, sh:66. (EK:3)
- **DOE\SANDIA** 34 METER VAWT, USDA Agricultural Research Service, Bushland, Texas, (EK:2), 1988
- **E.İ.E.** "Türkiye Rüzgar Enerjisi Doğal Potansiyeli", İdaresi Genel Müdürlüğü, Yayın No:85, Grafik 13, Ankara, Aralık 1984.
- **ERIKSSON,** M. Ottosson J., Wolpert T. MICROPROCESSOR CONTROL SYSTEM FOR THE OUTPUT POWER OPTIMIZATION OF A WIND TURBINE, L. M. Ericsson CH 1855-6\1983, IEEE, pp:158-165.-
- **EWEA,** European Wind Energy Association, Wind Energy in Europe, Time for Action: A Strategy for Europe to realise its Enormous Wind Power Potential, sh:3, İTALYA, 1991

- **HEWSON,** E.W., Electrical Energy from the Wind, ENEGRY TECHNOLOGY HANDBOOK, Considine, 1977, Mc Graw Hill, pp: 6-144.
- **McLAUGHLIN, D.K.,** Hughes W.L. WIND POWER, Marks' Standard Handbook For Mechanical Engineers, pp:9-165, 1979,
- **McLAUGHLIN, D.K.,** Hughes W.L. WIND POWER, Marks' Standard Handbook For Mechanical Engineers, pp:9-166 (EK:4), 1979
- **RAMAKUMAR,** R., Wind Power, Standard Handbook For Electrical Engineers, Fink and Beaty, 2nd Edit. Mc Graw Hill, pp:11-15. (EK:8)
- **ŞENER,** Y.A.,TÜRKİYE 4. ENERJİ KONGRESİ, Teknik Oturum Tebliğleri: "TÜRKİYE'DE RÜZGAR ENERJİSİNDEN YARARLANMA İMKANLARI", sh:365- 382. İzmir, 1986
- **ŞENER,** Y.A., TÜRKİYE 5.ci ENERJİ KONGRESİ, Teknik Oturum Tebliğleri: "Rüzgar Türbinlerinde Tasarım Gelişmeleri, "Betz Bariyeri" Aşılabilir mi?; Muhtemel Ekonomik ve Çevresel Etkileri,Cilt:4, , sh:229-246. Ankara, 1990
- **UYAR,** Tanay Sıtkı, TÜBİTAK, Rüzgar Enerjisi Sistemleri, Sh:12, Gebze, 1985
- **UYAR,** Tanay Sıtkı, TÜBİTAK, Rüzgar Enerjisi Sistemleri, Sh:3, Gebze, 1985

BİBLİYOGRAFİK BİLGİ FORMU	
1- Proje No: (MAG- 818) MİSAG - 7	2- Rapor Tarihi: 14 Eylül 1995
3- Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 20.10.1990 - 20.10.1992	
4- Projenin Adı: "GELİBOLU MODELİ" RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE VERİMLİLİK PARAMETRELERİNİN ARAŞTIRILMASI:	
5- Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar: Yavuz Ali ŞENER	
6- Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: -DEVLET PLANLAMA TEŞKİLATI MÜSTEŞARLIĞI ANKARA	
7- Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: 1- ODTÜ, Havacılık Müh.Bl. Ankara 2- Türk Standartları Enstitüsü, Ankara	
8- Öz (Abstract): This project involves the research on the efficiency of the "Gelibolu Modeli" which is a new model wind turbine and the parameters affecting this efficiency. In "Gelibolu Modeli" vertical axis wind turbine, negative powers of wind streams are conveyed to the sides and back of the turbine by means of "augmentation-direction wings" for every direction of the wind, creating a vacuum behind the turbine which constitutes an additional positive lifting power. "Gelibolu Modeli" wind turbine gets rid of the functional and structural disadvantages of vertical axis turbines by changing them into advantages. These "power increasing" and aerodynamic "direction finding" features of the new turbine has been attested by experiment and test reports: The turbine automatically adjusts its direction to the wind, with its "augmentation-direction wings", instantly, thus eliminating negative power by changing them into the positive wind power to the rotor axis and resulting in approximately three times more power and revolution (RPM), comparing other vertical axis turbines, such as "Darrieus" or "Savonius" types. The parameters that affect efficiency of turbine are obligatory parameters with those of "augmentation-direction wings".	
Anahtar Kelimeler: "Gelibolu Modeli" wind turbine; vertical axis; efficiency parameters,	
9- Proje ile ilgili Yayın/Tebliğlerle ilgili Bilgiler - (Kaynak : 2) - (Kaynak : 8)	
10- Bilim Dalı: Doçentlik B. Dalı Kodu: ISIC Kodu: Uzmanlık Alanı Kodu:	
11- Dağıtım (*): <input type="checkbox"/> Sınırlı <input type="checkbox"/> Sınırsız Raporda yer alan "İlgili kuruluşlar".	
12- Raporun Gizlilik Durumu : <input type="checkbox"/> Gizli <input type="checkbox"/> Gizli Değil	

(*) Projenizin Sonuç Raporunun ulaştırılmasını istediğiniz kurum ve kuruluşları ayrıca belirtiniz