

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 yer alan güç-kanatları ile birlikte, dışta yer alan "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 yer alan 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 kontrollu 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 düzenekle 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-Yönelme 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 açılardan 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:

i) 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, aksenal 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-Yönelme-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 büyültebilme" 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: