

RÜZGAR TÜRBİNİ UYGULAMALARI

Mehmet ATILGAN¹ Burçin DEDA ALTAN¹ Ali Barlas ATLIHAN¹

¹Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Kınıklı/ Denizli

mehmet.atilgan@mmo.org.tr

bdeda@pau.edu.tr

abatlihan@pau.edu.tr

Anahtar kelimeler: Rüzgar enerjisi, Rüzgar çarkları, Savonius rüzgar çarkı, Darrieus rüzgar çarkı

ÖZET

Teknolojik gelişmelerle birlikte artan dünya nüfusu ve yaşam standartlarındaki lükse eğilim enerji talebinin çok artmasına neden olmuştur. Enerji ihtiyacımızın çoğunu fosil kaynaklardan karşılamak 1973'ten sonraki petrol krizi nedeniyle fiyatlardaki aşırı artışlar yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu kılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar enerjisi üzerindeki araştırmalarda hızlı bir şekilde artmıştır. Bu çalışmada, rüzgar türbinleri ile ilgili son gelişmeler üzerinde durulmuştur. Özellikle küçük ölçekteki enerji gereksinimleri için Savonius ve MW seviyesinde güç üretebilen Darrieus rüzgar çarklarının klasik yatay eksenli türbinlere bir seçenek olarak kullanılması konusunda önerilerde bulunulmuştur.

1.GİRİŞ

20. yüzyılda sanayi sektöründeki büyük gelişmeler sonucu gelişen makineleşme, enerji talebinde de büyük bir artışı ortaya koymuştur. Öte yandan dünyada hızlı nüfus artışı yanında yaşam standartları da o nispetle artmaya devam etmiştir. Petrol fiyatları 1950-1973 döneminde sabit seyrederken, enerji talepleri çoğunlukla fosil kaynaklardan karşılanmış ve özellikle ucuz petrol kaynaklarına yönelinmiştir. 1972'de 2.5 dolar olan petrol; 1980'de 30 dolara çıkmış ve ayrıca 1973 teki Arap-İsrail harbinden sonra politik bir baskı haline gelmiştir. 1974'te 4 milyar olan dünya nüfusu 2000'de 6.2 milyar ve günümüzde de 7 milyar civarındadır. Dolayısıyla ülkelerin daha hızlı kalkınmayı arzulamaları ve buna paralel olarak artan enerji talebi ve çevre kirliliği gibi faktörler ucuz ve bol enerjiye dayanan ekonomiden pahalı, çevresel ve teknolojik sorunları da beraberinde getiren yeni bir enerji dönemine geçiş yaşanmış ve hala süregelmektedir.

Gelişmiş ve sağlam ekonomik yapıya sahip ülkeler; bir yandan ekonomilerinde bazı yapısal değişiklikler yapmışlar ve öte yandan da uluslararası teşkilatlar kurmak suretiyle sorunlarına elbirliğiyle çözümler aramışlar ve gerekli önlemler almışlardır. Bu arada zengin petrol kaynaklarına sahip ülkeler; mali ve politik üstünlükler kazanırken fakir ülkeler

ise daha büyük darboğazlara itilmişlerdir. Dolayısıyla dünyada ekonomik ve politik dengesizlikler sonucu; küresel güçlerin egemenliğindeki sermaye gruplarının; teknoloji, su ve petrol kaynaklarının paylaşımı ve denetimindeki mücadelesini yaratmıştır. Böylece 21.yüzyılda kapitalist sistemin işleyişini belirleyen sömürü düzeni ile bir küreselleşme adı altında tanımlanan bir sürece girilmiştir.

Dünyada; ülkeler bir taraftan azalan fosil yakıt kaynaklarını daha tasarruflu kullanmayı planlarken, artan enerji talebini yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlamanın yollarını araştırmaya başlamışlardır. Bugün hidrolik enerjide dahil olmak üzere, güneş, rüzgar, jeotermal, biyolojik yakıtlar, dalga ve gel-git v.s. gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili olarak teknolojiler geliştirilmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar enerjisi; fosil yakıtların meydana getirdiği çevre kirliliği gibi etmenlerin olmadığı temiz bir enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisi sistemlerindeki teknolojik gelişmeler, enerji maliyetlerini de azaltmakta ve günümüzde tüm ülkelerde ve bu arada ülkemizde de rüzgar potansiyelinin iyi olduğu bölgelerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Rüzgar enerjisi; M.Ö. 3000 yıllarında Mısır'da toprak sulamada, M.Ö. 250 yıllarında İran'da tahıl öğütmede kullanılmış ve tüm İslam ülkelerine yayılmıştır [1]. Rüzgar çarkları, 11. Yüzyılda Ortadoğu'da çok yaygın bir şekilde kullanılmış, ilk defa 13. Yüzyılda Haçlı seferleri ile Anadolu'dan Avrupa'ya götürülmüştür. 17. Yüzyılda Hollanda'da gemi ve yel değirmenlerinde kullanılmış ve ülkenin gelişmiş endüstriyel bir ülke haline gelmesinde katkı sağlamıştır. İlk elektrik enerjisi üretimi, 1890'da Danimarka'da gerçekleştirilmiştir. Modern rüzgar türbini 1941 yılında Palmer C. Putnam tarafından Amerika'da yapılmış ve türbin iki kanatlı olup nominal gücü 1250 kW idi. Daha sonra arızalanarak devre dışı kalmıştır. 1958 ile 1980 arasında Fransızlar bir çok rüzgar jeneratörü kurup çalıştırmışlardır. Ayrıca İngiltere, Almanya, Danimarka, A.B.D ve Kanada'da rüzgar gücünden yararlanarak elektrik üretiminde önemli çalışmalar yapılmıştır [1].

2. DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE RÜZGAR ENERJİSİ

Diğer yenilenebilir enerji kaynakları gibi rüzgar enerjisi üzerine araştırmaların yapılması 1974-1978 yıllarındaki petrol krizinden sonra hızlanmıştır. Yıllardır küçük çapta kullanılan rüzgar türbinleri yerine bu petrol krizi modern rüzgar türbinlerinin kullanılmasını gündeme getirmiştir. 1941 yılında Putnam'ın yapmış olduğu 1250 kW'lık sistemin arızası nedeniyle, bu konuda yapılan MW seviyesindeki çalışmalar bir süre yavaşlamıştır. Ülkemizde kullanılan yatay eksenli rüzgar türbinlerinin güçleri başlangıçta tek ünitelerde 500 kW seviyesinden bugün 3 MW seviyesine çıkmıştır. Böylece rüzgar çiftliklerinin tesisi ile yaygın kullanım gerçekleşmektedir. Tablo 1'de bazı ülkelerdeki rüzgar enerjisi kurulu güç kapasiteleri görülmektedir.

Tablo 1: Bazı ülkelerdeki rüzgar enerjisi güç kapasitesi [2]

Ülke	MW (2001 Sonu)	MW (2002 Sonu)	MW (2003 Sonu)	2002-2003 Büyüme Oranı (%)	3 Yıllık Ortalama Büyüme (%)
Almanya	8.734	11.968	14.612	22.1	33.8
ABD	4.245	4.674	6.361	36.1	34.6
İspanya	3.550	5.043	6.420	27.3	31.3
Danimarka	2.456	2.880	3.076	6.8	9.5
Hindistan	1.456	1.702	2.125	24.9	20.3
İtalya	700	806	922	14.4	29.5
Birleşik Krallık	525	570	759	33.1	21.3
Hollanda	523	727	938	29.0	25.6
Çin	406	473	571	20.7	17.5
Japonya	357	486	761	56.6	75.1
İlk On Toplamı	22.952	29.329	36.545	24.6	29.2
Dünya Toplamı	24.927	32.037	40.301	25.6	29.2

Avrupa'da en büyük kurulu güç Almanya'da olup onu Danimarka, İspanya ve diğer ülkeler takip etmektedir. Danimarka elektrik enerjisi ihtiyacının % 20 sini rüzgar enerjisinden karşılamakta ve 2030 yılında bu oranı % 50 ye çıkarmayı amaçlamaktadır.

Türkiye'de son yıllarda gittikçe artan enerji sorunu; özellikle elektrik enerjisi üretiminde doğal gaz gibi büyük ölçüde dışa bağımlılığı arttırmış ve sonuç olarak enerji üretiminde dengesizliklerin oluşmasına neden olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar enerjisi ülkemizde iyi bir potansiyele sahip olup bu potansiyelden yeteri kadar yararlanılmadığı gerçeği ortadadır. Dışa bağımlı olmayan bir enerji kaynağı olması nedeniyle rüzgar enerjisi giderek cazibesini arttırmaktadır [3].

E.İ.E.İ tarafından yapılan ve D.M.İ İstasyonlarını temel alan rüzgar enerjisi potansiyeli

bakımından zengin bazı bölgeler Tablo 2'de gösterilmiştir. Marmara, Ege, Güneydoğu ve Karadeniz bölgeleri rüzgar enerjisi potansiyeli yüksek olan yerlerdir [4].

Tablo 2: Rüzgar potansiyeli zengin olan yöreler[4]

İstasyon adı	Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	Rüzgar Gücü Yoğunluğu(W/m ²)
Bandırma	5.1	152.6
Antakya	4.5	108.9
Kumköy	4.1	82.0
Mardin	4.1	81.4
Sinop	4.1	77.9
Gökçeada	4.0	74.5
Çorlu	4.0	72.3
Çanakkale	3.9	71.2

Ülkemizde 2006'da sadece çeşme yöresinde 20 MW kurulu güce sahip rüzgar potansiyeli, bugün Aydın, Çanakkale, Balıkesir, İzmir, Hatay, İstanbul, Muğla, Mardin, ve Tekirdağ illerimizin çeşitli ilçelerinde yaygınlaşmış ve toplam 433 MW'a yükselmiştir. 2009 yılı sonu itibarıyla 835 MW'a erişeceği tahmin edilmektedir [5]. Ülkemizde rüzgar türbini makine ve teçhizatları tümüyle ithal yapılmakta iken, bugün kule ve kanatları da ülkemizde yapım aşamasına gelmiş, yakın bir gelecekte de jeneratörlerin yapımı da yerli olarak gerçekleştirilecektir.

3. RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN TÜRLERİ

Rüzgar türbinleri esas itibarıyla yatay ve düşey eksenli olmak üzere iki şekilde sınıflandırılırlar. Hesaba dayalı olarak yapılan ilk yatay eksenli rüzgar çarklarının tasarımı 1930'lu yıllarda Betz tarafından yapılmıştır. Bu rüzgar çarklarının teorik verimi % 59 olup literatürde Betz limiti olarak tanınır. Modern düşey eksenli rüzgar türbinleri üzerindeki ilk çalışmalar Savonius ve Darrieus tarafından yapılmıştır. Daha sonra düşey eksenli bu iki rüzgar çarkının üstünlükleri ve sakıncaları göz önünde bulundurularak birleşik Savonius-Darrieus rüzgar çarkları geliştirilmiştir.

Bu iki sınıftaki yatay ve düşey eksenli rüzgar çarklarının yapısal özellikleri de göz önünde bulundurularak çeşitli alt sınıflara ayrılabilir.

4. RÜZGAR TÜRBİNLERİNİN PERFORMANS HESAPLARI

Rüzgar türbinlerinin performansına etki eden en önemli unsurlar; rüzgar hızı ve rüzgar çarklarının çapına bağlı olarak süpürme alanıdır. Bunun sonucu olarak rüzgar gücü; rüzgar hızı arttıkça hızın küpüyle ve çarkın alanıyla doğru orantılı olarak artacaktır. O halde maksimum

enerjiyi sağlayan bağıntı aşağıdaki gibi elde edilmiştir [1].

$$P_{\max} = \frac{8}{27} \cdot \rho \cdot S \cdot V_0^3 \quad (1)$$

Halbuki bu enerjinin ancak belirli bir kısmından rüzgar çarkı yararlanmaktadır. O da;

$$T = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V_0^3 \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Bu (1) ve (2) denklemlerinden,

$$\frac{P_{\max}}{T} = \frac{16}{27} = 0,5926 \quad \text{Betz Limiti elde edilir.}$$

Rüzgar türbinlerinin performansı moment ve güç katsayıları ile belirlenir. O halde

Güç katsayısı ;

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V_0^3} = \frac{2P}{\pi \cdot \rho \cdot R^2 \cdot V_0^3} \quad (3)$$

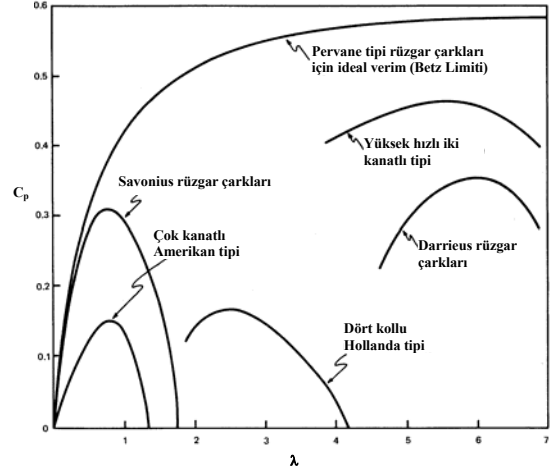
Moment katsayısı ;

$$C_m = \frac{M}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V_0^2 \cdot R} = \frac{2M}{\pi \cdot \rho \cdot R^3 \cdot V_0^2} \quad (4)$$

Rüzgar çarklarının performans katsayıları kanadın çevresel dönme hızının bir fonksiyonu olarak değişecektir. O halde, u 'kanat uç hızı' olarak tanımlanırsa kanat uç hız oranı aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir.

$$\lambda_0 = \frac{u}{V_0} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot n}{60 \cdot V_0} \quad (5)$$

Rüzgar türbinlerinin tipik güç performansları Şekil 1'de gösterilmiştir. İki kanatlı yatay eksenli türbinlerle Darrieus çarklarının performansının yüksek olduğu şekilden de görülmektedir.



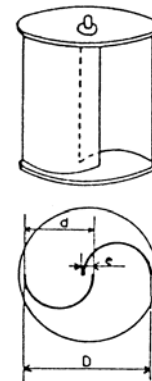
Şekil 1: Rüzgar çarklarının performansı [6]

5. DÜŞEY EKSENLİ RÜZGAR TÜRBİNLERİ

Modern düşey eksenli rüzgar türbinleri Savonius ve Darrieus olarak bilinir. Bunlardan Savonius rüzgar çarkının yapısı çok basit olup, ortasından kesilen bir silindirik kabın parçaları kaydırılarak eksantrik olarak yerleştirilir ve ortasından geçen bir mil etrafında rüzgar etkisiyle dönme hareketini oluşturur. Bu çarkların temel özelliği, rüzgarın yönü ne olursa olsun her zaman rüzgardan etkilenmesidir.

5.1. Savonius Rüzgar Çarklarının Geometrisi ve Hesapları

Şekil 2'deki çark geometrisi göz önüne alınarak Savonius rüzgar çarkı ile ilgili güç hesapları yapılabilir.



Şekil 2: Savonius rüzgar çarkı ve çark parametreleri [4]

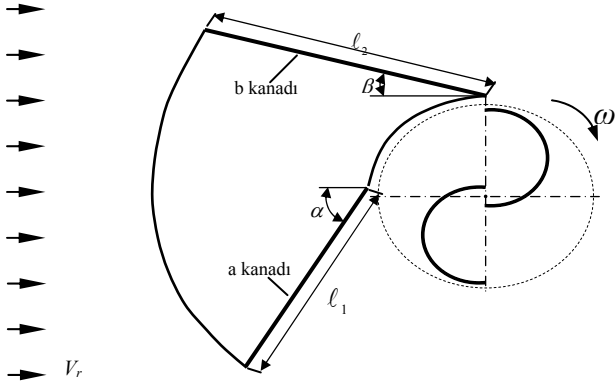
Optimum güç hesabı Deda [4]'de kullanılan bağıntılar yardımıyla;

$$P_{opt} = \frac{2}{27} \cdot \rho \cdot c_1 \cdot h \cdot (2 \cdot d - e) \cdot V_0^3 \quad (6)$$

şeklindedir. Savonius rüzgar çarkının süpürme alanı $(2 \cdot d - e) \cdot h$ dir.

5.1.2. Perdeleme Yöntemi ile Savonius Rüzgar Çarklarının Performanslarının Arttırılması

Düşük rüzgar hızlarında Savonius rüzgar çarklarının performansı arttırılabilir. Rüzgarın geliş yönüne uygun perdeleme yapılarak çarka gelmeden önce rüzgar hızında kısmi bir artış meydana getirilir (Şekil 3). Bu düzenleme ile ilgili çalışmalar hem teorik hem deneysel ve hem de sayısal akışkanlar mekaniği uygulaması olarak Deda tarafından yapılmıştır [7].



Şekil 3: Savonius rüzgar çarklarında performansı arttırabilmek amacıyla uygulanan perdeleme [7]

Perdeleme yapıldığında elde edilen güç bağıntısı;

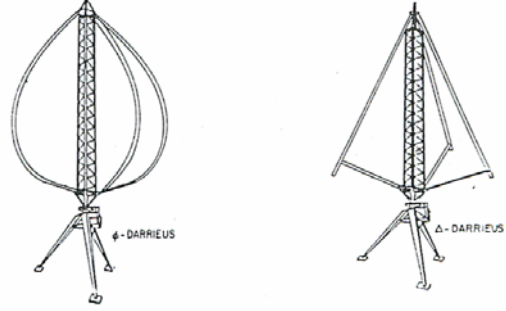
$$P_{perdeli} = \frac{2}{27} \cdot \rho \cdot S \cdot c_1 \cdot \left(\frac{(2 \cdot \ell \cdot \sin \gamma + L) \cdot V_r}{L} \right)^3 \quad (7)$$

şeklinde hesaplanmıştır [7]. Formülden de görüldüğü gibi perdenin uzunluğu ℓ arttıkça güçte de bir artış olacağı görülmektedir. Öte yandan ℓ boyunu isteğe bağlı seçemeyiz. Çünkü boyutlar arttıkça çarkın görünümü kötüleşmekte ve kontrolü de güçleşmektedir. Burada şunu unutmamalıdır ki; perdeli durumda çarkın perdeleri rüzgara karşı gelecek şekilde yönlendirici bir düzenek yapılması gerekir.

5.2. Darrieus Rüzgar Çarkları

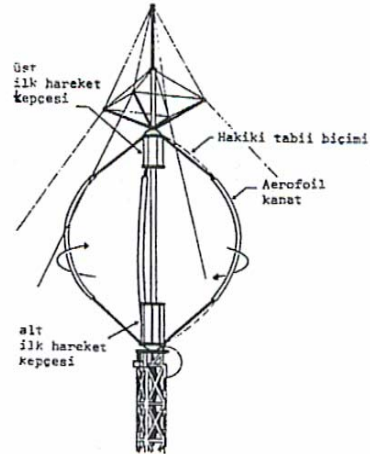
Düşey eksenli rüzgar türbini çeşitleri çok olup, burada özellikle büyük ölçekte enerji üretimi yapan; Darrieus rüzgar çarkları üzerinde durulacaktır. Bu türbinlerin tasarımı ilk defa Fransız bilim adamı Georges Darrieus tarafından yapılmış ve 1931'de de patentini almıştır. Darrieus rüzgar çarklarının

düşey bir eksen etrafında dönen kanat biçimleri silindirik, konik, küresel veya parabolik şeklindedir. Şekil 4'de görünüşleri daha çok yumurta çırpma makinesine benzeyen, parabolik ve konik Darrieus rüzgar çarkları görülmektedir. Düşey eksen etrafında dönen çark kanatları; iki sabit noktadan serbestçe asılmış düzgün yoğunluk ve kesit alanında mükemmel bir esnek kablo şeklinde düşünülebilir.



Şekil 4: Parabolik ve konik Darrieus rüzgar çarkları [8]

Birleşik Savonius-Darrieus rüzgar çarkları tasarımında, Darrieus rüzgar çarklarının ilk harekete geçiş zorluğu nedeniyle, Savonius çarkının ilk harekete geçirme özelliğinden yararlanılarak karma bir çark meydana getirilmiştir. Şekil 5'de birleşik Savonius-Darrieus rüzgar çarkı görülmektedir. Burada Savonius rüzgar çarkı ilk harekete geçirmeyi sağlarken, esas güç üretimini Darrieus çarkı sağlamaktadır. Şekilden de görüldüğü gibi Savonius çarkı; Darrieus çarkının en üst ve en alt kısmına yerleştirilmiştir.



Şekil 5: Birleşik Savonius- Darrieus rüzgar çarkı [8]

Dünyada rüzgar türbinleri çoğunlukla geleneksel yatay eksenli pervaneli tiplerdir. Geçen 20 yılda, Darrieus tipi düşey eksenli rüzgar türbinleri üzerine büyük araştırmalar yapılmış ve önemli gelişmeler elde edilmiştir. Yukarıda bahsettiğimiz gibi ilk çalışmalar Georges Darrieus tarafından yapılmış ve kanatlar iki ucundan serbest

bağlandığı için doğal eğilme ve gerilmeler en az düzeye indirilmiştir.

Kanat şekilleri Yunanca'da "dönen ve ip" anlamına gelen Troposkien olarak adlandırılmıştır. Darrieus rüzgar türbini ölçmelerine ait çalışmalar Kanada Ulusal Araştırma Konseyinde yapılmıştır [9]. Konseydeki mühendisler eğrisel kanatlar için bir zincir eğrisinin (Catenary) yaklaşık biçimini kabul ederek, düşey eksenli rüzgar türbininin (DERT) benzer bir görünümünü elde etmişlerdir.

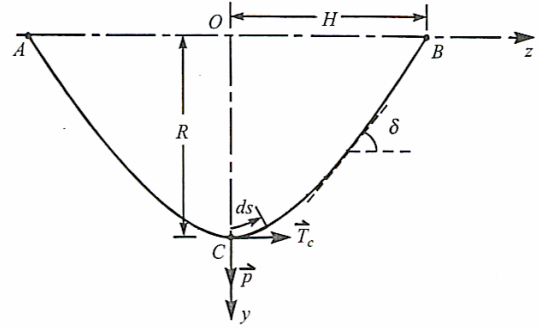
İngiltere'de bir şirket tarafından H-tipi geliştirilmiştir [10]. Bu tip kanatlar düzdür [11]. Darrieus kavisli kanat çarkı araştırmaları Kuzey Amerika'da Kanada Ulusal Araştırma Konseyi gibi enstitüler ve A.B.D de FloWind Corp ve Vawt Power gibi şirketler ve Kanada'da Indal Technologies Inc., Lavalin Inc. ve Adecon Inc. gibi şirketler tarafından geliştirilip ticari hale getirilmiştir. Sandia Ulusal Laboratuvarlarında kavisli kanatlı Darrieus çarklarının araştırma ve geliştirilmesi için önemli çalışmalar yapılmıştır [12,13]. Ticari olarak geliştirilen daha büyük ve verimli Darrieus rüzgar çarkları Sandia tarafından 1974'te kurulmuş çapı 34 m olan bu çarkın kanat profilleri kademeli olarak yapılmıştır [14].

Yüksek güçlü Darrieus rüzgar türbinleri Lavalin Eole araştırma türbini 1986'da Canada Quebec Cap Chat da inşa edilmiş olup 2 kanatlı NACA 65-018 profilli olup 3,6 MW lık maksimum bir güce erişebilecek şekilde inşa edilmiştir [15].

Darrieus rüzgar çarklarında çoğunlukla NACA 65-018 ve NACA 0012 simetrik kanat profilleri uygulanmıştır. Aerodinamik hesaplar ayrıntılı olarak R.J.Templin tarafından yapılmıştır [8].

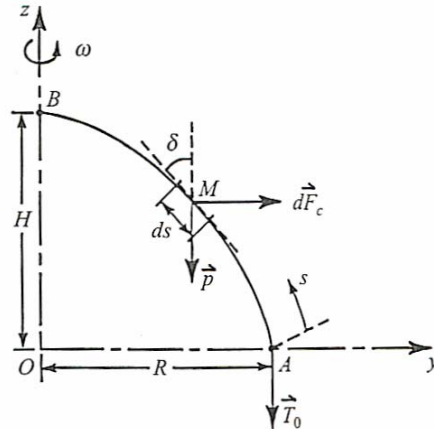
5.2.1. Darrieus Rüzgar Çarkının Tasarım Yöntemleri ve Geometrisi

Darrieus rüzgar çarklarının performansı üzerine kanat geometrilerinin etkisi muhakkak çok önemli olup, kanatların quadratik bir parabol şekline sahip olduğu göz önüne alınır. Parametrik bir analiz; parabolik, zincir eğrisi (Catenary), Troposkien ($G \neq 0$ yerçekimi etkisiyle), değiştirilmiş Troposkien ($G = 0$ yerçekimi ihmalıyla) ve Sandia (düz hatlı / dairesel yay) tiplerinde olup performans karşılaştırmaları yapılmıştır [11]. Zincir geometrisi kanat biçimi Şekil 6'da görülmektedir.



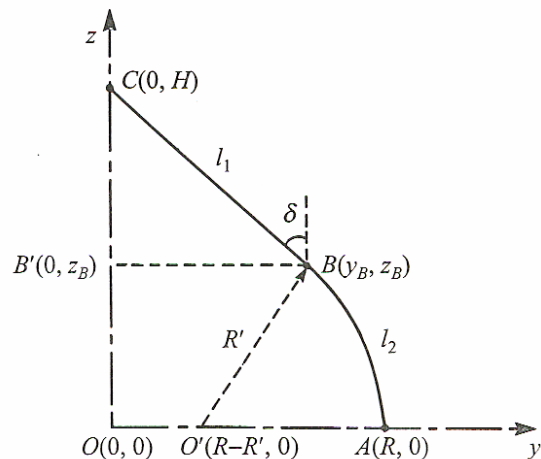
Şekil 6: Zincir geometrisi (Catenary) kanat şekli [11]

Şekil 7'de Troposkien kanat şekli görülmektedir.



Şekil 7: Troposkien şekli [11]

Değiştirilmiş Troposkien tipinde $G \neq 0$ alınarak hesaplar yapılır [11]. Sandia tipi kanat geometrisi pratikte Troposkien'e benzer olup çarkın alt ve üst kısmında profiller doğrusal ve orta kısımda dairesel bir yay biçimindedir. Sandia Ulusal laboratuvarında Blackwell ve vd. [16] tarafından önerilen bu tip bir çark geometrisi Şekil 8'de görülmektedir.



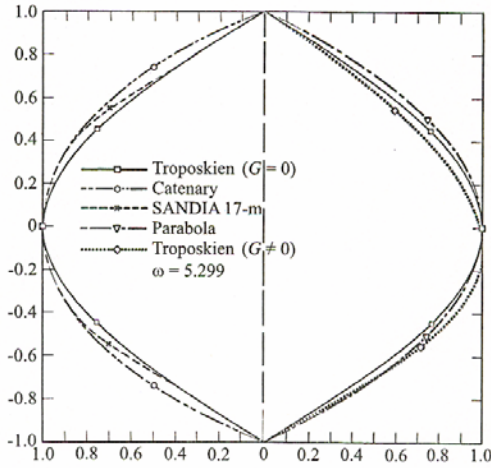
Şekil 8: Sandia kanat şekli [11]

Kanat tasarımındaki önemli faktörler; kanadın toplam uzunluğu ℓ , kanat yüksekliği $2H$ ve çark çapı R dir. Buna bağlı olarak;

$$\beta = \frac{\text{Çap}}{\text{Yükseklik}} = \frac{R}{H} \quad (8)$$

ifade edilir.

Darrieus rüzgar çarklarının çark geometrileri Şekil 9’da görülmektedir. Hesaplar ilgili ayrıntılı hesaplar Paraschivoiu [11] ve Atlıhan [17]’de sunulmuştur.



Şekil 9: Darrieus çark geometrileri [11]

5.2.2. Darrieus Rüzgar Çarkının Basit Hesap ve Tasarımı

Darrieus rüzgar türbini hesabı Templin’in [18] vermiş olduğu aşağıdaki basit tasarıma göre yapılmıştır. Darrieus çarkı için güç denklemi, aşağıdaki denklemle belirlenir.

$$P = 0,25 \cdot S \cdot V_0^3 \quad (9)$$

R yarıçapında, H yarı yüksekliğinde bir Darrieus çarkı için süpürme alanı, $2R$ ve $2H$ lık bir alanın $2/3$ ü ile ifade edilir ve aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$S = \frac{8}{3} \cdot R \cdot H \quad (10)$$

λ_0 uç hız denklemi aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir;

$$\lambda_0^2 = \frac{5 \cdot R}{b \cdot c} \quad (11)$$

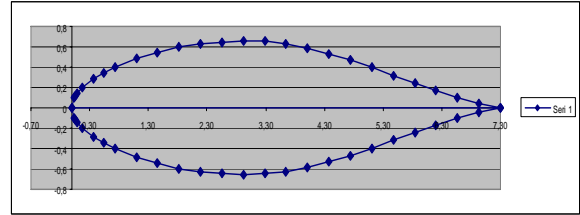
(11) denkleminden, c kanat kriş uzunluğu;

$$c = \frac{5 \cdot R}{b \cdot \lambda_0^2} \quad (12)$$

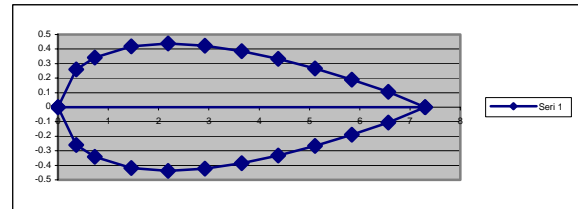
şeklinde ifade edilir. Bununla ilgili ayrıntılı hesaplar Atlıhan [17] tarafından yapılmıştır.

5.2.3. Darrieus Rüzgar Çarklarının Kanat Profilleri

Darrieus rüzgar çarklarının kanat profilleri NACA 65-018 ve NACA 0012’e göre yapılmıştır. Burada $c/R = 0,073$ ve $R = 1$ m olarak alınmıştır. NACA kanat profillerinin değerleri hesaplanarak Şekil 10 ve Şekil 11’de gösterilmiştir [8,19]. Kanat tipleri ve profilleri ile ilgili ayrıntılı hesaplar Atlıhan [17]’de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi NACA 65-018 profili mukavemet açısından daha uygundur.



Şekil 10: NACA 65-018 Kanat profili



Şekil 11: NACA 0012 Kanat profili

6. Sonuç ve İrdeleme

Dünyada sanayideki gelişmeler ve artan nüfus karşısında enerji harcamaları hızlı bir şekilde artmış ve yıllardır kullanılan fosil kaynaklar tükenmeye başlamış ve ayrıca beraberinde büyük çevresel sorunlar da getirmiştir. Bunun sonucu olarak yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma gündeme gelmiştir. Bu çalışmada; yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan ve son yıllarda ülkemizde de yaygın olarak kullanılan rüzgar enerjisi konusu ele alınmıştır. Burada önemli olan rüzgar enerjisi potansiyelinden daha verimli yararlanabilmektir.

Bu çalışmanın esas amacı; dünyada ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan yatay eksenli rüzgar türbinlerinin yanında düşey eksenli rüzgar türbinlerinin kullanımının yaygınlaşmasını sağlamaktır. Küçük çapta enerji üretimi için kullanılan Savonius rüzgar çarkları ile ilgili çalışmalar ve özellikle düşük rüzgar hızlarında kullanımı üzerinde durulmuştur. Fakat büyük ölçekte enerji üretimi söz konusu olduğunda Darrieus tipi rüzgar türbinlerinin kullanımı ön plana çıkmaktadır.

Kuzey Amerika ve Kanada'da araştırmaların sürdürüldüğü Darrieus rüzgar türbinleri yavaş yavaş dünyaya yayılmaya ve özellikle Çin'de kullanılmaya başlanmıştır. Bu türbinler hem yapım ve hem de işletim kolaylıkları yanında MW mertebesinde tesislerin yapımı içinde uygundur. Düşey eksenli olduğı için bir kuleye ihtiyaç duyulmadığı gibi dişli kutusu ve jeneratör gibi büyük hacimdeki düzeneklerin kule tarafından taşınması da söz konusu değildir. Jeneratör ve kontrol mekanizması yeryüzüne yakın olduğı için montaj ve bakımları daha kolaydır. Bu türbinlerin kendi kendine ilk harekete başlama gibi sorunları ise birleşik Savonius-Darrieus türbini ile giderilmiştir.

Darrieus rüzgar türbinlerinin kanat tipleri ile ilgili hesap yöntemleri için metin içinde verilen literatürlerden yararlanılabilir. Bunlar içinde en uygun tiplerden biri Sandia Laboratuvarında geliştirilen tiptir. Kanat profilleri için simetrik NACA 65-018 ve NACA 0012 örnek olarak verilmiş ve bunlara ait iki profil örneğı gösterilmiştir. Mukavemet açısından NACA 65-018 profili daha uygundur. Uygun kanat profili seçilerek tip projeler geliştirmek suretiyle deniz kıyısında ve düz arazilerde uygulamalar yaygınlaştırılabilir.

Yüksek rüzgar hızlarında Darrieus rüzgar çarklarının mukavemetleri yatay rüzgar çarklarınınkine göre daha iyidir. Kanat uçları olmadığından ve ayrıca tahrik mekanizmaları yer seviyesinde monte edildiğinden daha sessiz çalışırlar.

Semboller

P : Güç [W]
 V_0 : Rüzgar hızı [m/s]
 S : Çarkın Süpürme alanı [m²]
 ρ : havanın yoğunluğu [kg/m³]
 T : Toplam Kinetik Enerji [W]
 M : Döndürme momenti [N.m]
 R : Çark yarıçapı [m]
 P_{opt} : Optimum Güç (W)
 λ : Çark uç hız oranı
 c_1 : İç bükey kanadın direnç katsayısı
 e : Savonius çarkının kayma mesafesi (eksantrisite) (m)
 d : Savonius çarkının kanat çapı (m) dır.
 b : Kanat sayısı
 c : Kanat giriş uzunluğu (m)
 n : çarkın devir sayısı (d/d)
 u : Çarkın çevresel hızı(m/s)

Kaynaklar

[1] Atılgan, M. (1995). Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ders Notları, Denizli

- [2] WEB_1. (2006) European Wind Energy Association, <http://www.ewea.org/> (15.05.2006)
- [3] Deniz, M.(2002) Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Potansiyeli ve Türkiye Enerji İhtiyacına Katkısı., Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 130s.
- [4] Deda, B. (2000) Savoniu Rüzgar Enerjisi ve Savonius Rüzgar Çarklarının Performanslarının Arttırılması., Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 100s.
- [5]http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/ruzgar/Turkiye_RES.html, 2009
- [6] Eldridge, F.R., (1975) Wind Machines,U.S. Government Printing Office Washington, 77s.
- [7] Deda Altan B. (2006) Perdeleme Yöntemi ile Savonius Rüzgar Çarkının Performansının İncelenmesi, Doktora Tezi, PAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 147s.
- [8] Le Gourieres, D. (1982). Wind Power Plants Theory and Design, Pergamon Pres Ltd, Heatingtan Hill Hall Oxford OX30BW, England, 285s.
- [9] South, P., and Rangi, R. S. (1975) An Experimental Investigation of a 12-Ft Diameter High Speed Vertical-Axis Turbine. National Research council of Canada, LTR-LA-166
- [10] Musgrove, P. J., and Clare R. (1987) Development of the U.K Vertical Axis Wind Turbine”, Proceedings of the Windpower, Washington, s. 28-34.
- [11] Paraschivou Ion “Wind Turbine Design With Emphasis on Darrieus Concept” 2002
- [12] Weingarten, L.I and Blackwell, B.F. (1976) “Sandia Vertical Axis Wind Turbine Program Technical Quarterly Report ”, Kanada, Sand 76-0338
- [13]Akins, R.E. (1989) Measurements of Surface Pressures on an perating Vertical Axis Wind Turbine. Sandia National Laboratories, Sand 89-7051
- [14] Ashwill, T.D. (1991) Measured Data for Sndia 34-Meter Vertical Axis Wind Turbine. Sandia National Laboratories, Sand 91-2228
- [15] Richards, B. (1987) İntial Operation of Project Eole 4MW Vertical Axis Wind Turbine Generator”, Windpower 87, San Francisco.
- [16] Blackwell, F, Sheldahl R.E. and Feltz L.V., (1977) Wind Tunnel Performance Data for the Darrieus Wind Turbine with NACA 0012 Blades. Sand 76-0130,61s
- [17] Atlıhan A.B. (2006) Rüzgar Enerjisi Ve Darrieus Rüzgar Çarklarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 81s.
- [18]Templin, R.J. (1974) “Aerodynamic Performance Theory for NRC Vertical Axis Wind Turbine ”, Report Ltr La 160, NRC, Kanada
- [19] Pfleiderer, C. and Petermann (1978) Akım Makineleri, 124, İTÜ Yayınları, Kaan Ediz-Yavuz Tekin, İstanbul, s 425-459