

# Rüzgar Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle Karşılaştırılması

Nida NURBAY, Ali ÇINAR  
Kocaeli Üniversitesi  
Makine Eğitimi Bölümü  
Umuttepe Yerleşkesi, Kocaeli  
[nnurbay@kou.edu.tr](mailto:nnurbay@kou.edu.tr) , [alicinar@kou.edu.tr](mailto:alicinar@kou.edu.tr)

**Özet:** Enerji gereksinimini karşılamak için çeşitli tipleri olan rüzgar türbinleri (RT'ler) yüzyıllardır kullanılmaktadır. İnsanların rüzgar enerjisinden faydalanma çalışmaları, yel değirmenlerinden günümüzün Offshore'larına doğru bir gelişme içerisinde olmuştur. Çok çeşitli alanlarda yararlandığımız rüzgar enerjisinden verimli bir enerji elde etmek için, mevcut şartlara göre kurulacak RT'in seçimi çok önemlidir. Her bir RT farklı özelliklere ve kullanım alanlarına sahiptir. Bu çalışmada, bilinen RT'lerin özellikleri incelenerek, birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları belirlenmiştir.

## 1. Giriş

Binlerce yıldır teknelerin yelkenini şişiren, mısır ve buğday öğütmekte kullanılan rüzgar enerjisi, artık ortak enerji üretimi için esmektedir. İnsanlık yel değirmenlerinden, modern rüzgar santrallerine doğru uzanan teknolojik bir süreç yaşamıştır. Fosil yakıtların ucuzluğu yedeniyle yeterli seviyede önemsenmeyen rüzgar enerjisi, 1970'li yıllardaki petrol krizleri nedeniyle tekrar hatırlanmıştır. 1980 sonrasındaki gelişmelerle, Avrupa ve ABD'de rüzgar santralleri ekonomi, çevre ve enerji açısından çağdaş mühendislik ürünleri haline gelmiştir. Rüzgar Türbinlerinin (RT'lerin) seri üretimine geçilmesi ile bu alandaki yatırımlar ve türbin üzerindeki gelişmeler gün geçtikçe artmış ve rüzgar santralleri kurulmuştur. Önceleri kara parçaları üzerinde kurulan rüzgar santralleri, artık denizlerin üzerine (Alarga – Offshore) kurulmaktadır.

1970'li yılların sonlarında, rüzgar enerjisi sağlayan küçük RT'ler, diğer alternatif enerjilerle karşılaştırıldığında, yatırım maliyetlerinin azlığı ve gelişen teknolojilerin etkisiyle, pek çok kişinin ilgisini çekmiştir. 1979–1985 yılları arasında uygun devlet kredileri ile 4500'den fazla 1 ile 25kW arasında değişen güçlerde rüzgar santralleri yapılmıştır. Aynı dönemde çeşitli özellikte 1000 adet uzaktan kontrollü sistem tesis edilmiştir. [1]

Dünyada; rüzgar enerjisinden elektrik üreten ilk türbin, 1891'de modern aerodinamiğin önemli mühendisi olan Paul la Cour tarafından Danimarka'da inşa edilmiştir. Elektriğin birim fiyatı yüksek olduğundan, 1980–1981 yıllarında, endüstriyel ve teknolojik gelişmeler sonucu 55kW kapasiteli RT'ler yapıp, üretimine başlanmıştır. Rüzgar endüstrisi daha çok yaygınlaşmış ve Risoe National Laboratuvarı yardımı ile Avrupa Rüzgar Atlasının gelişmesine paralel olarak elektrik birim fiyatlarında önemli ölçüde azalmalar meydana gelmiştir. [2]

En küçük RT'ler 1982 yılında California piyasasına girdiğinde, Danimarka'da uzun süredir kullanılmaktaydı. California'da 1979–1985 yılları arasındaki devlet yardım programı etkisini göstermiş ve 1981 yılında 150 adet olan küçük RT sayısı, 1985 yılı sonlarında 16000'e ulaşmıştır. California'daki bütün RT'lerin %75'ine ortak olan Danimarkalı üreticiler, 55kW'lık RT'ler için bir endüstri kurmuşlardır. Danimarkalı RT üreticileri, bugün bile dünya çapındaki piyasada en büyük üretici olma özelliğini elinde bulundurmaktadır. 1985 yılında 25m kanat çapında ve 250kW gücündeki RT prototipi California'da yapılmış ve kısa bir zaman içinde piyasaya sürülmüştür. Danimarka da ise piyasayı canlı tutmak amacıyla ev tipi RT'ler tekrar geliştirilerek piyasaya sürülmüştür. Bugün bile 0,1–10kW arasında bağımsız çalışan çeşitli güçlerde ev tipi RT'ler imal edilmektedir.

Küçük RT'lerin gelişmesine paralel olarak, 1976–1980 yılları arasında piyasanın talebi üzerine birkaç ülke büyük RT'ler için yatırım yapmıştır. Almanya ve dünyada, büyük RT'lerin geliştirilmesi için milyon marklar harcanmış, fakat teknik problemlerle karşılaşılıp olumsuz düşünceler ortaya çıkınca, destek azalmıştır. İkinci büyük RT üretimi maliyet ve performans bakımından başarılı olmasına rağmen tüketiciler tarafından ilgi görmemiştir. Böylece büyük RT'lerin geliştirilmesi mümkün olmamıştır. [3]

1989 yılından itibaren Almanya’da RT teknolojisi hızla gelişmiştir. Rotor çapı 25m, çıkış gücü 150-250kW olan RT’ler imal edilmiş ve bunu rotor çapı 30-35m, çıkış gücü 300kW’dan büyük türbinler izlemiştir. Bu türbinler 2–3 yıl piyasaya egemen olmuştur. 1992 Ağustos ayında ilk Tacke-Windtechnik’in yaptığı 500kW’lık RT çalışmaya başlamıştır. Bunu ENERCON’un E40 ve diğer Avrupalı üreticilerin ürettiği türbinler takip etmiştir. 500kW’lık RT’nin gelişmesi için 37m kanat çapında rotor imalatına başlanmıştır. Bunu 46m çapında ve 600kW gücünde ve özellikle iç bölgelerde, düşük rüzgarlı alanlarda kullanılmak üzere dizayn edilmiş RT’ler izlemiştir. Tacke-Windtechnik’in yaptığı 500kW’lık RT’den dört yıl sonra 1996 yılı sonlarına doğru ENERCON 66m çaplı 1,5 MW gücünde RT üretmeye başlamıştır. Bu ilerlemeyi; 66m çaplı ve 1,65 MW gücündeki türbinler izlemiştir. Artık günümüzde karadaki uygulamalar için 70m, 80m hatta 100m rotor çaplı ve 2 MW ve üzeri güçlerdeki bir RT görmek olağan dışı değildir.

Rüzgar enerjisi bakımından deniz alanları karalara göre daha büyük zenginlik gösterdiği için denizlerde de deniz üstü (Offshore - Alarga) rüzgar santralleri kurulmasına başlanmıştır. Birinci etapta kıyıda uzaklığı 10km’yi ve derinliği 10m’yi geçmeyen alanlar hedeflenmiştir. İlk deniz üstü rüzgar çiftliği 5 MW güçle Danimarka’da Lolland adası yakınlarında kurulan Vindeby rüzgar çiftliğidir. Diğer ülkeler (İngiltere, İsveç) ile birlikte Avrupa’da şu anda 12MW’lı offshore santrali çalışır durumdadır. Ve Avrupa bu kurulu gücünü 180MW’a çıkarmayı planlamaktadır. 2030 yılında ise Avrupa da rüzgar enerjisi kurulu gücünün %25’ini Offshore RT’lerinin oluşturacağı beklenmektedir. [4]

Daha yüksek enerji elde etme rüzgar enerjisinde genel amaçtır. Yüksek enerji üreten ve daha uzun ömürlü santral kurulması için Avrupa da uygun yer bulunamadığından Offshore Rüzgar santralleri kullanıma geçmiştir. Deniz üzerinde olduklarından dolayı, kurulum maliyeti karadakilere oranla çok daha fazladır. Bu durum büyük bir dezavantaj oluşturmasına rağmen 50 MW ve üzeri projelerde tercih edilmektedirler. [5]

Offshore RT’lerin bakım ve işletme masrafları karadaki türbinlere göre daha pahalı ve zor olmaktadır. Ağır kış koşullarında bu türbinlerde rutin bakım ve ulaşım büyük sorun olmakta, bazen türbinlere günlerce erişilememektedir. En iyi hava koşullarında bile bakım ve işletme maliyetleri karadakilere göre daha pahalıdır.

## 2. Rüzgar Türbini Çeşitleri

Tarih boyunca çeşitli evrimler geçiren rüzgar makinelerinde kullanılan türbinler farklı tiplerdedir. Şimdiye kadar değişik nitelikte ve tipte geliştiren bu RT’lerden bazıları günümüzde ticari hale gelmiştir. RT’ler dönme eksenine göre üç gruba ayrılırlar:

- Yatay eksenli rüzgar türbinleri
- Dikey eksenli rüzgar türbinleri
- Eğik eksenli rüzgar türbinleri

### 2.1. Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri (YERT)

Bu türbinlerde; dönme eksenli rüzgar yönüne paralel, kanatlar rüzgar yönüne diktir. Bu türbinlerde rotor kanatların sayısı azaldıkça rotor daha hızlı dönmektedir. Bu türbinlerin verimi yaklaşık %45’dir. YERT genel olarak yerden 20-30m yüksekte ve çevredeki engellerden 10m yüksekte olacak şekilde yerleştirilmelidir. Rüzgar hızının, rotor kanadı uç hızına bölünmesi ile elde edilen orana kanat uç hız oranı ( $\lambda$ ) denir. Eğer;

- $\lambda = 1-5$  Çok kanatlı rotor,
- $\lambda = 6-8$  Üç kanatlı rotor,
- $\lambda = 9-15$  İki kanatlı rotor,
- $\lambda > 15$  Tek kanatlı rotor kullanılır.

YERT, farklı sayıda rotor kanadına sahip olan ve rüzgarı önden alan veya rüzgarı arkadan alan sistemler olarak da çeşitlilik gösterirler.

**Rüzgarı Önden Alan Makineler:** Yıllardır yaygın olarak kullanılan bu makinelerde rotor yüzü rüzgara dönüktür. En önemli üstünlüğü kulenin arkasında olacak rüzgar gölgeleme etkisine çok az maruz kalmasıdır, yani rüzgar kuleye eğilerek varır. Kule yuvarlak ve düz olsa bile kanadın kuleden her geçişinde türbinin ürettiği güç biraz azalır. Bu nedenle rüzgar çekilmesinden dolayı kanatların sert yapılması gerekir ve kanatların kuleden biraz uzakta yerleştirilmesi gerekir. Ayrıca, önden rüzgarlı makineler, rotoru rüzgara karşı döndürmek için “Yaw” mekanizmasına gerek duyarlar.

**Rüzgarı Arkadan Alan Makineler:** Bu makinelerin rotorları kule arkasına konur. Bunların önemli üstünlüğü rüzgara dönmek için “Yaw” mekanizmasına gerek duymayıdır. Eğer nacelle ve rotor uygun tasarlanırsa, nacelle rüzgarı pasif olarak izler. Daha önemli bir üstünlük kanatların esnek özelliğe sahip olmasıdır. Bu, hem ağırlık hem de makinenin güç dinamiği açısından önemli bir üstünlüktür. Böylece bu makinelerin avantajları; önden rüzgarlı makinelere göre daha hafif yapılması sonucu kule yükünün azalmasıdır. Ancak, kanat kuleden geçerken meydana gelen güç dalgalanması, türbine önden rüzgarlı makinelerden daha çok zarar verir.

**Tek Kanatlı Rüzgar Türbinleri:** Tek kanatlı RT'nin yapılmasının sebebi, kanat sayısına göre dönme hızının yüksek olması ve bu sayede makine kütlesini ve rotorun döndürme momentini azaltmaktır. Ek olarak rotor kanadı, kanat üzerindeki yapısal yükleri azaltacak mekanizma ve kanat mekanizma hareketinin pürüzsüz olabilmesi için, tek menteşe ile sabitleştirilip, 2 karşı ağırlıkla dengelenmelidir. Diğer taraftan tek kanatlı rotorlarda, ilave yüklerden ortaya çıkan aerodinamik balansızsızlık ve mekanizma hareketinin kontrol altında tutulması için hub çok iyi yapılmalıdır. MBB firması tarafından tasarlanan, her birinin tesis gücü 630kW olan ve rotor çapı 56m üç tip RT Almanya'nın Wilhelmshaven yakınında çalışmaktadır. En önemli ticari dezavantajı, 120m/sn civarındaki kanat uç hızının sebep olduğu rotorun aerodinamik gürültü seviyesidir. Bir kanatlı RT'nin kanat uç hızı, üç kanatlı RT ile karşılaştırıldığında, iki kat daha yüksektir ve daha fazla gürültü içermektedirler. Almanya halkı, gürültü ve görsel rahatsızlık nedeniyle bu RT'lerin piyasada kullanılmasına şans tanınmamıştır.

**Çift Kanatlı Rüzgar Türbinleri:** Üç kanatlı türbinlere göre rotor maliyetinin azaltılmak istenmesi bu türbin fikrini doğurmuştur. Birçok ülkede 10 ila 100m rotor çaplı ölçülerde RT'ler tasarlanıp, Avrupa ve ABD'de çalışmaya başlamıştır. Bu ticari RT'lerden sadece birkaç tanesi prototip durumundan, seri üretime geçebilmiştir.

İki kanatlı rotorun balansı, bir kanatlı rotora göre daha düzgündür. Fakat maalesef iki kanatlı rotorun sebep olduğu dinamik hareketleri önlemek için ilave teknik güç, maliyetin daha fazla artışına sebep olmaktadır. Hub'ın titreşimi azaltmak için rotora kadran sistemi ilave edilmiştir. Bu kadran, rotor şaftına dikey ve iki rotor kanadına dik yerleştirilir. Üç kanatlı rotorla karşılaştırıldığında en büyük avantajı; kanat uç hızlarının yüksek olmasıdır. Bu RT'nin gürültü seviyesinin yüksek olması ve düşük rüzgar hızlarında (3m/sn) çalıştırılması dezavantajıdır. Günümüzde iki kanatlı rotor, şimdi birkaç ünitedir ve en az bir an için artan piyasaya dikkat edecek olursak iki kanatlı rotora hiçbir eğilim bulunmamaktadır.

**Üç Kanatlı Rüzgar Türbinleri:** Üç kanatlı modern türbinler, dünyanın her tarafında kullanılmaktadır. Üç kanat kullanımının asıl sebebi, dönme momentinin daha düzgün olmasıdır. Bu türbinde, türbinin yapısı üzerinde depolanan yüklerden dolayı salınım yapan atalet momentini olmadığından, hub içinde titreşimi önleyici pahalı parçalara gerek yoktur. Kanat uç hızı 70m/sn altında olduğundan gürültünün düşüklüğü, sarsıntısız döndükleri için göz estetiğini bozmamaları önemli bir avantaj olup, halk tarafından kabulünü sağlamıştır. Küçük güçlü RT'lerde, üç kanatlı rotor kullanıldığında güç problemleri ortaya çıkar. Bu problemin çözümü için düşük devirde dönen rotorun devir sayısını 1/n oranında arttıran dişliler kullanılır ve “Cut in” olarak adlandırılan hız değerine ulaşmaya kadar, jeneratör boşa çalıştırılır.

**Çok Kanatlı Rüzgar Türbinleri:** Çok Kanatlı RT'ler (rüzgargülleri), RT'lerin gelişmemiş ilk örnekleridir. Yıllarca sadece su pompalamasında kullanılan bu türbinler, bu işlemdeki moment gereksiniminin karşılanabilmesi amacıyla, çok kanatlı olarak üretilmiştir. Çok kanatlı RT'ler düşük hızda çalışırlar. Türbin kanatlarının genişlikleri, pervane göbeğinden uçlara gidildikçe artım gösterir. Pervane mili, dişli kutusuna bağlanarak, jeneratör mili devir sayısı artırılır ve otomobillerde uygulama alanı bulan jeneratörler kullanılır. Rüzgargülleri, rüzgargülü pervane düzleminin rüzgar hız vektörünü her zaman dik olarak alabilmesi için de, rüzgargülü yönlendiricisi taşımaktadırlar.

## 2.2. Dikey Eksenli Rüzgar Türbinleri (DERT)

Dönme eksenleri rüzgar yönüne dik ve düşey olan bu türbinlerin kanatları da düşeydir. DERT rüzgarı her yönden kabul edebilme üstünlüğüne sahiptir. Bu türbinler rüzgarı sürükler veya kaldırır. İlk harekete geçişleri güvenilir değildir. Bu türbinlerin verimi yaklaşık %35'dir Türbinlerin üreteç ve vites kutusu toprak seviyesinde kurulabildiğinden kuleye gerek duymazlar. Bu yüzden düşük rüzgar hızlarında çalışmak zorunda kalırlar ve “Yaw” mekanizmasına ihtiyaçları yoktur. Düşük rüzgar hızları ve az miktarda su pompalamak için tasarlanmışlardır. Kanat sayısının artması malzeme ağırlığını da beraberinde getirdiğinden, yüksek rüzgar hızlarında verimsiz çalışır. Rotor çapı 5m olan türbinden yaklaşık 0,5kW güç elde edilir. Bu türbinleri yer yüzeyine bağlayabilmek için çelik halatlara gereksinim duyulmaktadır.

**Savonius Rüzgar Türbinleri:** Savonius RT, 1925 yılında Finlandiya'lı mühendis Sigurd J. Savonius tarafından keşfedilmiştir. İki yatay disk arasına yerleştirilmiş ve merkezleri birbirine göre simetrik olarak kaydırılmış, “kanat” adı verilen iki yarım silindirden oluşmaktadır. Belirli bir hızla gelen rüzgarın etkisiyle, çarkı oluşturan silindirin iç kısmında pozitif ve dış kısmında negatif bir momentin olmaktadır. Pozitif moment, negatif momentten daha büyük olduğundan, dönme hareketi pozitif moment yönünde sağlanır. [6]

Diğer DERT'lere göre; düşük rüzgar hızlarında iyi başlangıç karakteristiklerine sahip olması, yapımının kolay ve ucuz olması, rüzgarın yönünden bağımsız olması ve kendi kendine ilk harekete başlaması gibi birçok üstünlüklere sahip olan Savonius RT'lerinin, aerodinamik performansı düşük olduğu için ilk uygulama alanları; havalandırma, su pompalama gibi kısıtlı alanlar olmuştur. Savonius RT'nin birçok üstünlüğü bulunmasına rağmen, aerodinamik performanslarının düşüklüğü nedeniyle kullanılmamaktadır. Son yıllarda yapılan Savonius RT çalışmaları, aerodinamik performansın geliştirilmesi yönünde olmuştur. [7]-[8]

Aldoss ve Najjar, bu çarkın performansı üzerine; “sallanan kanatlı çark” kullanarak deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında Savonius RT'nin performansını, hem rüzgarın gerisinde hem de rüzgara doğru, çark kanatlarının bir optimum açı ile geriye doğru salınmasına müsaade ederek geliştirmişlerdir. [9]

Reupke ve Probert, Savonius RT'nin çalışma etkinliğini arttırmak için, türbin kanatlarının kavisli kısımlarının yerine bir sıra menteşelenmiş kanatçıklar yerleştirmiştir. Kanatçıklar rüzgara doğru ilerlerken, rüzgar basıncının etkisinde otomatik olarak açılmış ve daha az akış direnci elde edilmiştir. Kanatçıkların ilk konuma gelirken, tekrar otomatik olarak kapandığını tespit edip, çok düşük uç hız oranlarında, düzeltilmiş parçalı kanatlı çarklardan, klasik Savonius RT'lerine oranla daha yüksek momentler elde edildiğini belirlemişlerdir. [10]

**Darrieus Rüzgar Türbinleri:** 1931 yılında Fransız mühendis George J.M. Darrieus tarafından icat edilmiştir. 1970 ve 1980'lerde Amerika ve Kanada da Darrieus türbinlerinin kanat dizaynları üzerine geniş çalışmalar yapılmıştır. Kanatları geometrik formu aerodinamik profile sahip olduğundan yüksek performanslıdır. Kanatlardaki hafif eğim sayesinde kanatlardaki çekme gerilimleri minimuma iner. Yüksek hızlarda çalışabilir ve türbin; 2 veya 3 kanatlı olur. İlk hareket için Savonius RT veya bir tahrik motoru gerekmektedir.

**H-Darrieus Rüzgar Türbinleri:** Dikey eksenli en önemli RT'lerden biridir. Darrieus RT'nin geliştirilmesiyle meydana gelen daha karmaşık tipte bir türbindir. Darrieus RT'den iki önemli farkla ayrılır. Bunlar:

- Aerodinamik profili düzdür.
- Kanatlara pitch kontrol uygulanır.

### 2.3. Eğik Eksenli Rüzgar Türbinleri (Wagner RT)

Dönme eksenleri düşeyle, rüzgar yönünde bir açı yapan RT'lerdir. Bu tip türbinlerin kanatları ile dönme eksenleri arasında belirli bir açı bulunmaktadır.

## 3. Rüzgar Türbinlerinin Birbirleri ile Karşılaştırılması

Rüzgar çiftlikleri kurulumunda; rüzgar şartları, kurulacak alan ve ciddi kayıplardan kaçınmak için RT'lerin özellikleri bilinmelidir. RT'ler incelendiği üzere kanat çeşitleri, rüzgarı alışı şekilleri ve kullanım alanlarına göre birkaç çeşitte imal edilebilmektedir. Aşağıdaki Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'de RT'lerin birbirleri ile çeşitli özellikleri ve tipleri dikkate alınarak kıyaslanması verilmiştir. Bu tablolarda; türbinin kullanım amacı, bölgedeki rüzgar ve maddi imkanlara göre nasıl bir türbin seçimi gerektiği veya kurulmak istenen türbinin özellikleri görülmektedir.

Tablo 1. Büyüklüklerine Göre Türbinlerin Karşılaştırılması

	<i>Kullanım Alanı</i>	<i>Bir Tek Türbin Gücü</i>	<i>Üretilen Enerjinin Verildiği Yer</i>	<i>Akü İhtiyacı</i>	<i>Bakım Masrafı</i>	<i>Kurulum Masrafı</i>
<b>Büyük RT'ler</b>	Endüstriyel	50kW-2MW	Şebeke	Yok	Var	Yüksek
<b>Küçük RT'ler</b>	Kişisel	50W-20kW	Çiftlik evleri, Telekomünikasyon alıcısı, Radyo kulesi, Seralar Acil Telefonları vb.	Var	Yok	Düşük

Tablo 2. Rüzgarı Alış Yönüne Göre Türbinlerin Karşılaştırılması

	<i>Yaw Mekanizma İhtiyacı</i>	<i>Kanat Malzeme Yapısı</i>	<i>Kuleye Binen Yük</i>	<i>Rüzgarın Türbine Verdiği Zarar</i>
<b>Rüzgarı Önden Alan RT</b>	Var	Sert	Ağır	Az
<b>Rüzgarı Arkadan Alan RT</b>	Yok	Esnek	Hafif	Çok

Tablo 3. Kanat Çeşitlerine Göre Türbinlerin Karşılaştırılması

	<b>YERT</b>				<b>DERT</b>	
	<b>Tek Kanatlı</b>	<b>2 Kanatlı</b>	<b>3 Kanatlı</b>	<b>Çok Kanatlı</b>	<b>Savonius</b>	<b>Darrierus</b>
<i>Maliyet</i>	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
<i>Estetik Görünüm</i>	Kötü	Kötü	İyi	İyi	İyi	İyi
<i>Gürültü</i>	Yüksek	Yüksek	Düşük	Az	Az	Az
<i>Çalışma Hızı</i>	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük
<i>Kule ihtiyacı</i>	Var	Var	Var	Var	Yok	Yok
<i>Kullanım Amacı</i>	Elektrik	Elektrik	Elektrik	Az Elektrik & Su pompalama	Az Elektrik & Su pompalama	Az Elektrik & Su pompalama
<i>Günümüzde Kullanımı</i>	Yok	Yok	Var	Var	Az	Az
<i>Rotorun Dönmesi İçin Rüzgarı</i>	Kaldırır	Kaldırır	Kaldırır	Kaldırır & Sürükler	Kaldırır & Sürükler	Kaldırır & Sürükler

Yerel yüzey yapısı, bitki örtüsü ve yüksek bina gibi engeller rüzgar hızını etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Türbinler düz tepelerde, en yüksek noktaya; vadi, kanyon ve geçitlerde ise hakim rüzgarı alabilecek ve tüketiciden uzak olmayacak şekilde yerleştirilmelidir. Kanat yerleşiminde, asgari kanatın yerden 3m yüksekte olması ve kullanım yerinden 40m uzakta olması avantajdır. Rüzgar çiftliklerinde yapılan düzenlemelerde her bir türbin, rüzgarı en iyi alacak şekilde ve birbirlerinin arkasına, gölgeleme etkisi en az olacak şekilde yerleştirilmesine dikkat edilmelidir.

#### 4. Sonuç

Daha önceki bölümlerde de ifade edilen ve ticari olarak en çok kullanılan YERT türbinleridir. Bu türde: kanat çapları 100m ve kule yükseklikleri 75m olan türbinler bulunmaktadır. Belirli bir uygulamada kullanılan RT'ler o uygulamanın gerektirdiği özelliklere sahip olmalıdır. Çok hızlı dönen bir kanat, çok yavaş dönen fakat çok kanatlı bir pervane ile aynı düzeyde enerji toplamaktadır. Böylece az kanat yapılması malzeme tasarrufu sağlayıp maliyeti ve kule ağırlığını düşürmektedir. Ana amaç verimin yüksek, maliyetin düşük olmasıdır. Küçük bir arazide RT sayısının artışı ile toplam enerji miktarında artma olmasına rağmen, rüzgar çiftliğinin veriminde azalma görülür. Bu nedenle arazi özelliklerine, rüzgar hızına ve kullanım amacına uygun RT seçilmelidir.

#### Kaynaklar

- [1] BERGEY, B., 1997, "Wind Energy History". Windpower.com, USA
- [2] DANISH WIND HISTORY, 1999, "Danish Wind Turbine Manufacturers Association Wind Power" Danimarka
- [3] DEWI, 1998, "German Wind Energy" Instute Wind Energy Converters, Germany
- [4] TUSIAD, 1998, "21. yy. Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi" TUSIAD-T/98-12/239
- [5] CONSULT,A,J, 2001, "Wind Turbine Technology Offshore" Dukes Avenue, London, W4 2AF.
- [6] USHIYAMA,I. ve NAGAI,H., 1988, "Optimum Design Configurations and Performance of Savonius Rotors" Wind Engineering Vol. 12 (1), 59-75.
- [7] NEWMAN, B.G., 1974, "Measurements on Savonius Rotor with Variable Gap, Proceedings of the University of Sherbrooke Conference on Wind Energy", Sherbrooke, Quebec, 116s, Canada.
- [8] MODI, V.J. ve FERNANDO, M.S.U.K.,1989, "On The Performance of The Savonius Wind Turbine", Journal of Solar Energy Engineering, Vol.111, 71-81.
- [9] ALDOSS,T.K., ve NAJJAR, Y.S.H., 1985, "Further Development of the Swinging - Blade Savonius Rotor", Wind Engineering, Vol. 9, No.3.
- [10] REUPKE, P., ve PROBERT, S.D., 1991, "Slatted-Blade Savonius Wind-Rotors", Applied Energy, Vol.40.