

# ÇOK-ROTORLU RÜZGAR TÜRBİN SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ

**B. Kıvanç Deneçli<sup>1</sup>, Mutlu Boztepe<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Türkerler Holding, <sup>2</sup>Ege Ü. Müh. Fak. Elk.-Elo. Müh. Blm.  
<sup>1</sup>bkivanc.denecli@turkerler.com, <sup>2</sup>mutlu.boztepe@ege.edu.tr

## ÖZET

Rüzgar enerjisi sektörünün gelişimine bakıldığında rüzgar türbinlerinin anma güçlerinin sürekli arttığı gözlenmektedir. 5 yıl öncesine kadar 1 MW kurulu güce sahip rüzgar türbinleri yerini bugün 3-7 MW'lık türbinlere bırakmıştır. Yakın gelecekte 10 MW ve üstü güçlerde rüzgar türbinlerinin olması beklenmektedir. Rüzgâr türbininde elde edilen güç türbin kanatlarının taradığı alanla doğru orantılıdır. Bu da talep edilen güçlere erişebilmek için rotor kanatlarının da aynı oranda artması anlamına gelmektedir. Bu durum türbinlerde gürültü, ürün maliyeti, servis maliyeti gibi sorunları ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle tek rotorlu sistemlerde kanat uzunluğu arttırılmadığından ar-ge çalışmaları daha az kanat uzunlukları ile daha yüksek enerji elde edebilecek yenilikçi rüzgâr türbinleri arayışına yönelmektedir. Bu amaçla çok rotorlu rüzgar türbinleri üzerindeki çalışmalar artmıştır. Bu bildiride çok-rotorlu rüzgâr türbinlerinin elektro-mekanik sistemleri incelenmekte ve tarihten günümüze çok rotorlu rüzgar türbinlerinin gelişimi, bu konudaki gelişmeler ve son teknoloji ürünler hakkında bilgiler verilmektedir.

## 1. GİRİŞ

Dünya enerji tüketimini karşılamakta yenilenebilir enerjilerin payı her geçen gün artmaktadır. Yenilenebilir enerji çeşitlerinden rüzgâra dayalı enerji üretimi ise yeni teknolojiler ile desteklenerek artan verimliliği, ihtiyaç duyduğu yatay alan azlığı ve nispeten düşük maliyetleri ile artarak yaygınlaşmaya devam etmektedir. Ne var ki dünyanın duyduğu enerji ihtiyacına paralel olarak daha yüksek anma gücüne sahip rüzgâr türbinlerine olan talep devam etmektedir. 5 yıl öncesine kadar 1 MW kurulu güce sahip rüzgar türbinleri yerini artık 3-7 MW'lık türbinlere bırakmıştır. Ar-ge çalışmaları ve talepler gösteriyor ki 20MW'lık rüzgar türbin üretimleri önümüzdeki yıllarda kaçınılmaz tercih olacaktır.[1]

Rüzgâr türbininde elde edilen güç türbin kanatlarının taradığı alanla doğru orantılıdır. Bu da talep edilen güçlere erişebilmek için rotor kanatlarının da aynı oranda artması anlamına gelmektedir. Rotorun taradığı alanın artması, yani rotor kanatlarının uzunluklarının artması gürültü, ürün maliyeti, servis maliyeti gibi sorunları ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle tek rotorlu sistem ile kanat uzunluğunu arttırmak yerine, daha kısa kanat uzunlukları ile birden fazla rotoru sahip ve yüksek enerji üretebilen yenilikçi rüzgâr türbinlerine yönelik arge çalışmaları başlamıştır [2]. Günümüzde yeni teknolojilerle bu konu Vestas firması tarafından kullanılmaya başlanmış ve 2018 yılında 4 rotorlu bir türbin (4RV29) tasarlayarak ölçme ve deneme çalışmalarına başlanmıştır. Vestas'ın yapmış olduğu simülasyon ve saha ölçümlerinde tekli rotora sahip türbine göre 4RV29 modelinin daha fazla güç ürettiği ve bu farkın nedeni ise en çok; kanat uzunluğu daha az olan 4RV29 modelinin daha az rüzgar kesme işlemi yaptığı için yarattığı türbülansın daha az olması sonucuna varılmıştır [2].

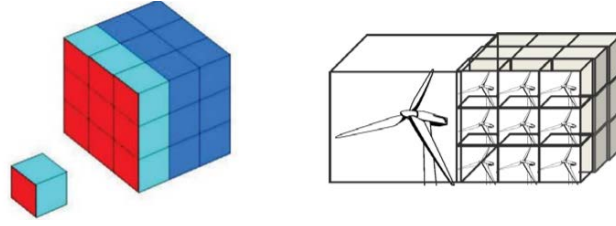
Bu bildiride çok-rotorlu rüzgâr türbinlerinin elektro-mekanik sistemleri incelenecektir. Tarihten günümüze çok rotorlu rüzgar türbinlerinin gelişimi, bu konudaki gelişmeler ve son teknoloji ürünleri incelenecektir.

## 2. ÇOK-ROTORLU RÜZGAR TÜRBİNLERİ

Göltenbott, yaptığı bir çalışmada [3] Şekil 1’de görülen türbin ölçeklendirilmesi modelini kullanarak tek-rotorlu ve çok-rotorlu türbinlerin toplam kütleleri arasındaki ilişkiyi şu şekilde ifade etmiştir;

$$m = \frac{1}{\sqrt{n}}M \quad (1)$$

Burada küçük rotorun kütlesi “m”, büyük rotorun kütlesi M ve küçük rotorların sayısı “n” olmaktadır. Görüleceği üzere rotor sayısı arttıkça kütle azalmaktadır. Dolayısı ile maliyet de düşmektedir. [3]



Şekil-1 [3]

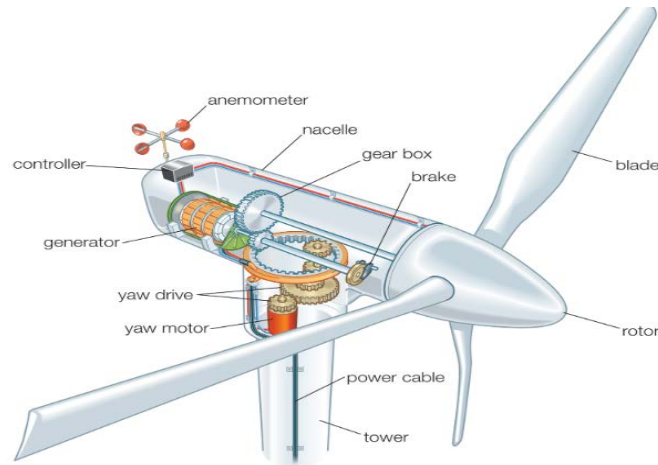
Çok-rotorlu sistemin sağladığı diğer avantajlar maddeler halinde şu şekilde özetlenebilir:

### Pitch Sistemi:

Geleneksel 3 kanatlı rüzgâr türbinlerinde bulunan pitch sistemi çok-rotorlu rüzgâr türbinlerinde olmayacaktır. Pitch sistemi, pitch motor ve rüzgârın şiddetine göre dönme hızını ve torku ayarlayabilme yeteneğine sahip kontrol sistemini içerir. Pitch sistemi Şekil-2’te görülen klasik 3 kanatlı rüzgâr türbinlerinin en fazla arıza kaynaklı duruş nedenlerinden biridir.

### Dişli Kutusu:

Klasik 3 kanatlı rüzgâr türbinlerinde en sık karşılaşılan bir başka arıza nedeni duruş sebebi de dişli kutusudur. Dişli kutusu rotorun dönme hızını, jeneratör dönme hızı talebine göre ayarlar. Dişli kutusunda kullanılan yağın işlevini sorunsuz yerine getirebilmesi için yağ pompalama sistemi kullanılmaktadır. Çok-rotorlu sistemlerde dişli kutusu olmayacağı için bu sorunlar ortadan kalkmaktadır.



Şekil-2 [7]

**Yaw sistemi:**

Klasik 3-kanatlı rüzgâr türbinlerinde türbinin yönünü rüzgâra doğru çeviren yaw sistemi kullanılmaktadır. Bu sistemde rüzgâr türbininin büyüklüğü ve dolayısı ile ağırlığı arttıkça kullanılan motor sayısı da artmaktadır. Yaw sistemi de ayrıca kontrol sistemine ihtiyaç duyar. Sistem büyüdükçe kontrol sistemi de karmaşıklaşacaktır.

Literatürde çok değişik modeller üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Şekil-3'ten görüleceği üzere yapılan çalışmalarda tasarımlar benzerlik göstermektedir. Şekil-3(h) NASA tarafından modellenen 7 rotorlu modellemedir[1].



a. Hermann Honnef's Wind Turbine



b. Three rotor Array Wind Turbine



c. Four rotor Array Wind Turbine



d. Three rotor Array Wind Turbine



e. Windship multi-rotor Wind Turbine



f. Four Rotor Array Wind Turbine



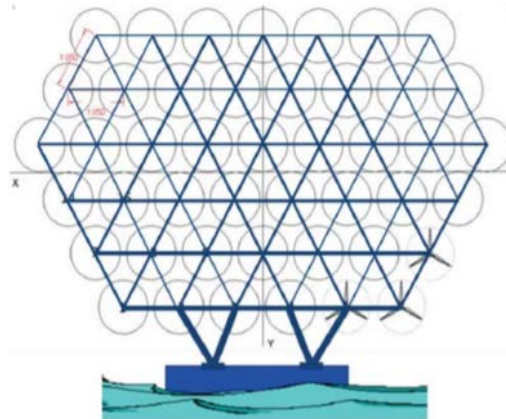
g. Octopus Wind Tech. 250MW Wind Turbine



h. Seven Rotor Array Wind Turbine

Şekil-3 [1]

Bir başka çalışma ise Şekil 4'te görüleceği üzere Avrupa Birliği tarafından finanse edilen InnWind projesi kapsamında her biri 41 metre çapında olan 444kW'lık 45 rotorun bir araya gelerek oluşturduğu toplam 20MW'lık kurulu güce sahip olan çok rotorlu türbindir. Bu çalışmada net ağırlık kazancı %16 olurken maliyet kazancı ise %15 olmuştur. [3].



Şekil-4 [3]

Kyushu Üniversitesinden Uli Göltzenbott'un Prof. Yuji Ohya danışmanlığında yaptığı deneysel çalışmada, rüzgâr tüneli oluşturup, diffuzer arttırılmış rüzgar türbinleri (DAWT) kullanarak bazı sonuçlar elde etmiştir. Bu çalışma sonucunda çoklu rotor sistemde (MRS), DAWT kullanmanın güç çıktısında çok büyük bir potansiyeli olacağını bunun yanı sıra maliyetleri de azaltacağını savunmuştur. Bu çalışma kapsamında Aralık 2014'te 1kW lık 3 adet toplamda 3 kW kurulu güce sahip Şekil-5-(a) daki sistem Japonya'da Kyushu Üniversitesi Chikushi Kampüsüne, Şekil-5(b)'deki 10kW'lık sistem ise yine aynı kampüse kurulmuştur ve deneysel çalışmalar sürmektedir. Ayrıca patent çalışmaları da devam etmektedir. [3].



(a) 3kW



(b) 10kW

Şekil-5 [3]

### 3-TEK ROTOR VE ÇOKLU-ROTOR KARŞILAŞTIRMA ANALİZLERİ:

#### 3.1 N.S. Sandhu ve S. Chanana çalışması:

N.S. Sandhu ve S. Chanana, tek-rotorlu sistem olarak Nordex-N117-3000kW modeli ve çok-rotorlu sistem olarak 3 adet Leitwind LTW77-1000 kW'lık modeli türbinleri baz alarak simülasyon ile karşılaştırma yapmışlardır. Bu karşılaştırmaların sonucu Tablo-1'deki üretim verilerini elde etmişlerdir. Ayrıca aynı çalışmada maliyet analizi de yapılmış olup; tek-rotorlu sistemin maliyeti 2.358.306 Euro, çok-rotorlu sistemin maliyeti ise 1.968.318 Euro olarak tahmin edilmiştir [4].

RÜZGAR HIZI	ÜRETİM DEĞERLERİ [MWh]	
	TEK ROTOR	ÇOKLU- ROTOR
8	13,52	14,37
12	18,28	19,16

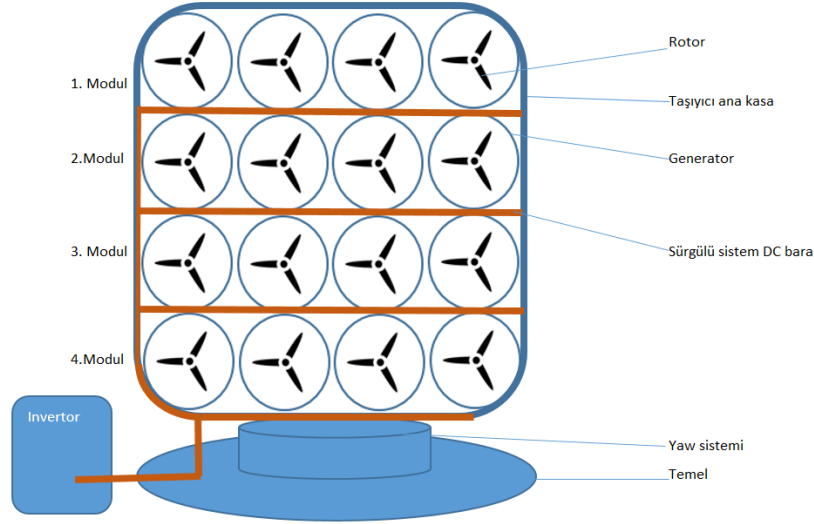
Tablo-1 Tek-rotorlu ve çok rotorlu sistemin üretim simülasyon sonuçları [4]

#### 3.2 Vetas 4R-V29 simülasyon ve ölçüm sonuçları:

4R-V29 rüzgar türbinini Danimarka Teknik Üniversitesi kampüsüne kuran Vestas firması saha ölçümlerini sunan bir rapor paylaşmıştır. Türbin üst iki rotorunun yerden yüksekliği 59,50 m ve alt iki rotorunun yerden yüksekliği ise 29.04 metredir. Rotor çapları ise 29 metredir. Yapılan simülasyon ve ölçümlerde tek rotorlu sisteme göre çok rotorlu sistemin %1,5 oranında performansının daha yüksek olduğu ve bu farka en çok alttaki 2 rotorun etki ettiği tespit edilmiştir[3].

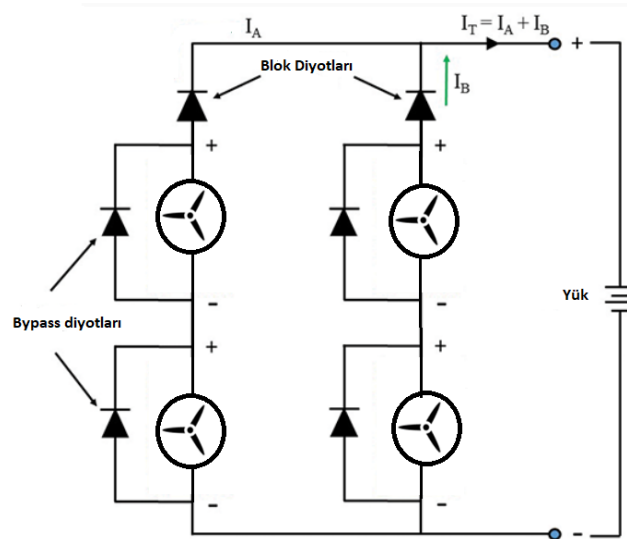
### 3.3 Ege Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde yürütülecek çalışma:

Şekil 6'da 4x4 yapıya sahip 16 rotorlu bir rüzgar türbini görülmektedir. Bu modelleme çalışmaları tamamlandıktan sonra modelin doğruluğunu görmek için küçük güçlü bir çok-rotorlu türbin prototipi imal edilecek ve deneysel ölçümler ile model sonuçları karşılaştırılacaktır.



Şekil-6

Prototip devrede türbinlerin 12/24V gibi düşük bir DC gerilim üretmesi beklenmektedir. Bu dc gerilimler Şekil 7'de görüldüğü gibi seri/paralel bağlantı ile daha yüksek akım/gerilim değerlerine yükseltilecektir [5]. Burada her bir modülün ürettiği akım/gerilim uyumlu olmaması durumunda bir DA-DA dönüştürücü kullanılarak akım/gerilim değerlerinin birleştirilmesi de mümkün olabilir. Örneğin bir modülün arızalı olması veya bakım nedeniyle enerji üretmemesi durumunda diğer modüllerin enerji üretmeye devam edebilmesi için –güneş panellerinde olduğu gibi- yangeçit (bypass) diyotları kullanılmıştır [5]. Benzer şekilde paralel bağlı kollar arasında akım sirkülasyonunu önlemek için tıkama (blocking) diyotları kullanılabilir. Yapılacak çalışmalarla hangi sistem topolojinin uygun olduğuna karar verilerek prototip devrede kullanılması sağlanacaktır.



Şekil-7

Prototip sistemde yük olarak akü kullanılması düşünülmektedir. Aküde depolanacak olan enerji uygun bir rezistif yük kullanılarak harcanacaktır. Burada akü kullanımının nedeni yük ile rüzgar jeneratörünün analizlerini birbirinden bağımsız yapabilmektir.

Çok-rotorlu rüzgar türbininden maksimum verimi alabilmek için her bir modülün maksimum verimde çalışmasının sağlanması gereklidir. Yapılacak analiz ve deneysel çalışmalarda modüllerden oluşan toplam türbin sistemi veriminin maksimize edilmesi için neler yapılması gerektiği analiz edilecektir. Eğer gerekirse modüller tek tek veya gruplar halinde bir DA-DA dönüştürücü üzerinden aküye bağlanabileceklerdir. Burada uygun topolojinin belirlenmesi çalışmanın hedeflerinden bir tanesidir. Sistemde modüllerin devre dışı edilmesi, bakıma alınması gibi durumlarda diğer modüllerin enerji üretmesi mümkün olacak şekilde tasarım yapılacaktır.

#### 4. SONUÇ

20 MW geleneksel 3 kanatlı rüzgar türbinin gereksinimleri, 5 MW'lık bir referans bir rüzgar türbininden hareketle elde edilmiş ve Tablo-2 de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi kule ve rotor ağırlığı gerçekleştirilebilir sınırların üzerine çıkmaktadır. Diğer yandan 120 metrelik kanatların günümüz teknolojisi ile tek parça olarak üretilmesi mümkün değildir. Kanat kalınlığı 30 cm olması da bazı termal sorunları doğuracaktır. [6]. Ayrıca 120 metrelik bir kanada sahip bir rüzgar türbininin lojistik sorunları yanı sıra servis ve bakım maliyetleri de artacağı şüphesizdir.

		Reference wind turbine 5MW	Extrapolated turbine 10MW	Extrapolated virtual turbine 20 MW
Rating	MW	5	10	20
Wind Regime		IEC class 1B	IEC class 1B	IEC class 1B
No of blades		3	3	3
Rotor orientation		Upwind	Upwind	Upwind
Control		Variable speed, control pitch	Variable speed, control pitch	Variable speed, control pitch
Rotor diameter	M	126	178	252
Hub height	M	90	116	153
Max rotor speed	Rpm	12	9	6
Rotor mass	Tones	122	305	770
Tower top mass	Tones	320	760	880
Tower mass	Tones	347	983	2780
Theoretical electricity production	GWh	369	774	1626

Tablo-2 [6]

Kanat uzunluklarının azalmasına karşılık gücün artırılması önem taşımaktadır. Çoklu rotor sistemlerinde -güneş panellerinin bir araya gelerek dizi oluşturulması gibi- türbin ekle-çıkark şeklinde tasarımı ile yatırımcı ve üreticiye pratik çözümler sunması beklenmektedir.

**KAYNAKLAR**

- [1] **Sandip, A. and Sapali, S.**, 2012, *Inovative multi rotor wind turbine designs*, Researchgate mechanical engineering department college of engineering Pune, India,
- [2] **Laan, M. et al**, 2019 *Power curve and wake analyses of the Vestas multi-rotor demonstrator*, Wind Energ. Sci. Discuss., Danimarka
- [3] **Göltenbott, U.**, 2017 , *Aerodynamics of Multi-Rotor Wind Turbine Systems using Diffuser-Augmentation*, Department of Aeronautics and Astronautics Graduate School of Engineering Kyushu University, 167,
- [4] **N.S.Sandhu, S.Chanana**, 2018, *Comparative Analysis of Conventional and Multi-Rotor Wind Turbines*, International Journal of circuits, systems and signal processing, Volume 12, Hindistan
- [5] **Fandrem, K.**, 2012, *Series connection of offshore DC wind turbines* , Norwegian University of Science and Technology, 14, Norveç
- [6] **European Wind Energy Association**, 2011. *Upwind Design Limits And Solution for Very Large Wind Turbines: A 20 MW Turbine Is Feasible*,
- [7] **Encyclopedia Britannica, Inc**, 2011. *Components of a wind turbine*