

TÜRKİYEDE KURULU RÜZGAR SANTRALLERİNDE KULLANILAN GENERATÖRLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Erkan DURSUN, Adnan KAKİLLİ

Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü

ÖZET

Rüzgar türbinleri; kaynağını sürekli yenilenen rüzgardan alan, sera gazı salınımı yok denecek kadar az olduğu için çevreyle dost olan, kurulum maliyetleri gittikçe düşen, dış ülkelere bağımlılığı azaltan sistemlerdir. Rüzgar türbini verimi büyük oranda coğrafi şartlara bağlı olduğu için rüzgar santrali kurulacak bölgenin coğrafi özelliklerinin çok iyi bilinmesi gereklidir. Coğrafi özelliklerdeki değişikliklere göre rüzgar türbinlerinde kullanılan generatörlerde değişmektedir. Bu çalışmada Türkiye'de kurulu rüzgar santrallerinde kullanılan generatör tipleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

GİRİŞ

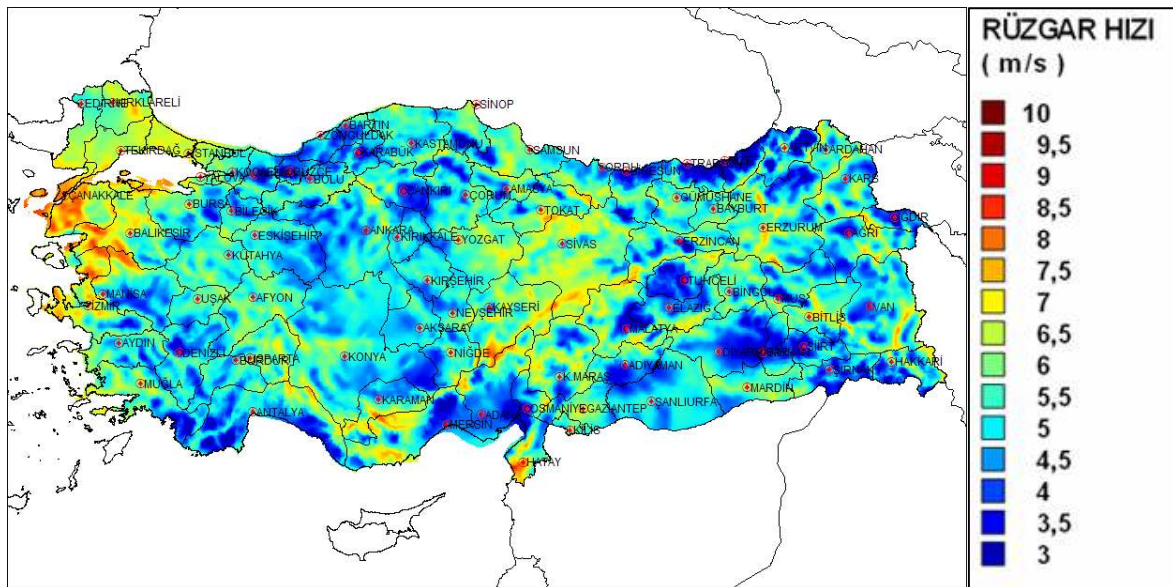
Rüzgar türbinleri rüzgardaki kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Kinetik enerjiyi sağlayan rüzgarlar, yeryüzündeki farklı güneş ısı dağılımlarının neden olduğu basınç ve sıcaklık farklılıklarının dengelenmesiyle oluşan hava akımlarıdır. Dolayısıyla rüzgar enerjisinin asıl kaynağıda güneştir. Türkiye'deki rüzgar türbinlerinde kullanılan generatörleri incelediğimiz zaman iki tip generatör ön plana çıkmaktadır. Bunlardan birincisi çift beslemeli asenkron generatör (doubly fed asynchronous generator) ikincisi herhangi dişli sistemine ihtiyaç duymayan sürekli mıknatıslı senkron generatördür (direct drive synchronous generator).

TÜRKİYE'NİN RÜZGAR POTANSİYELİ

Türkiye'de esen rüzgarın karakterinin çok iyi bilinmesi kurulacak olan rüzgar türbininin seçiminde önemli rol oynamaktadır. Rüzgar hızını etkileyen faktörler sırasıyla şunlardır.

1. Coğrafi konum
2. Yerel yüzey yapısı
3. Yeryüzünden olan yükseklik

Uluslararası elektroteknik komisyonuna (IEC) göre rüzgar, esme hızı bakımından dört sınıfa ayrılmaktadır. Birinci sınıfta ortalama rüzgar hızı 10 m/sn, ikinci sınıfta ortalama rüzgar hızı 8,5 m/sn, üçüncü sınıfta ortalama rüzgar hızı 7,5 m/sn, dördüncü sınıfta ortalama rüzgar hızı 6 m/sn olmaktadır [1]. Bu sınıflama göz önüne alındığında, ülkemizde esen rüzgar hızı ortalama 5,9 ile 8,1 m/sn olduğuna göre ülkemizde 3. sınıf bir rüzgar esmektedir. 10 metre ölçüm yüksekliğinde ortalama yıllık hızı 2.7–3.5 olan yörelerimiz Afyon, Antalya, Isparta, Samsun, Sarıyer, Akhisar, Malatya, Anamur ve hızı 3.5 – 4 m/s olan yörelerimiz Bergama, Bodrum, Çanakkale, Çorlu, Gökçeada, İnebolu, Sinop ve son olarak hızı 4 – 6 m/s olan yörelerimiz ise Antakya, Bandırma ve Mardin olup, en yüksek hız 6.2 m/s ile Bozcaada’da saptanmıştır. Türkiyede esen rüzgarın, rüzgar türbinleri açısından, çok kaliteli olduğunu düşünmek yanıltıcı olabilir. Ancak türbin tasarımı bu rüzgar hızına göre tasarlanır ve seçilirse aynı rüzgar hızından daha fazla verim almış oluruz ki buda ülke ekonomisi açısından önemli bir kazanımdır.



Şekil 1. 50 metre yüksekliğinde ölçülen Türkiye geneli ortalama yıllık rüzgar hızı dağılımı [2]

RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE KULLANILAN GENERATÖRLER

Temel olarak bir rüzgar türbinine asenkron, senkron ve doğru akım generatörlerinden herhangi biri bağlanabilir [3].

Asenkron Generatör

- a) Sincap Kafesli Asenkron Generatör (SKAG)
- b) Rotoru Sargılı Asenkron Generatör (RSAG)
 - Çift Beslemeli Asenkron Generatör (ÇBAG)
 - OptiSlip® Generatör (OSG)

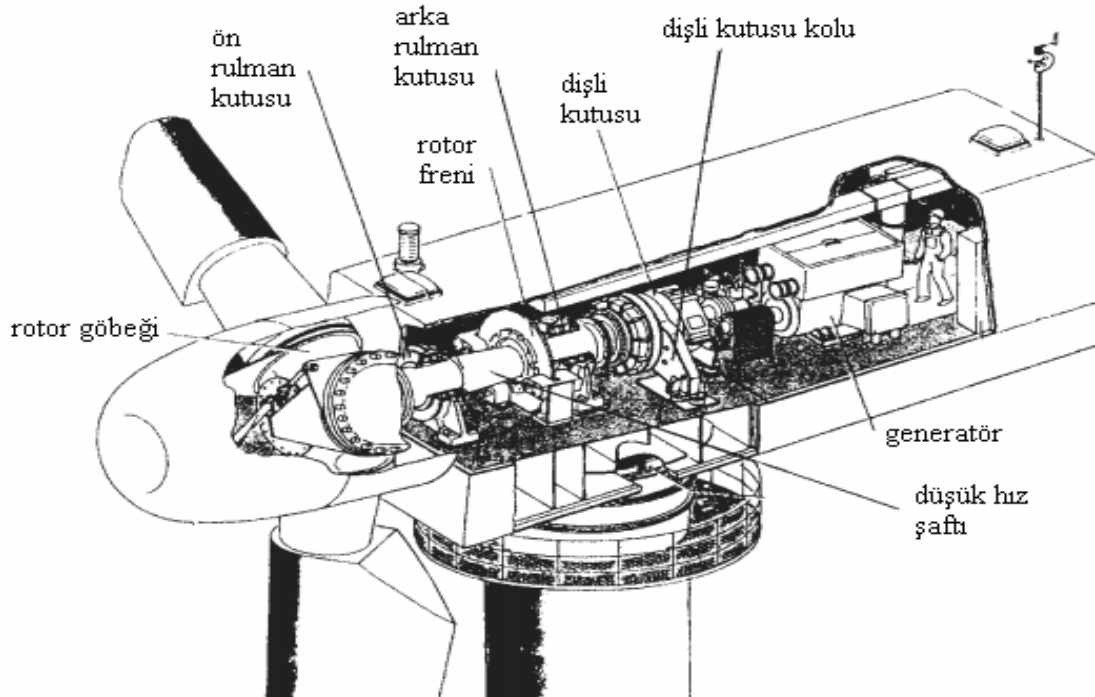
Senkron Generatör

- a) Rotoru Sargılı (Alan Sargılı) Senkron Generatör (RSSG)
- b) Sürekli Mıknatıslı Senkron Generatör (SMSG)

Doğru Akım Generatörü

Diğer Tip Generatörler

Anahtarlı Relüktans Generatör (ARG)



Şekil 2. Rüzgar türbini nacelle iç yapısı

Büyük ölçekli rüzgar türbininin generatör kısmının yer aldığı bölüme nacelle denilmektedir (Şekil 2).

TÜRKİYEDE KURULU RÜZGAR TÜRBİNLERİ VE KULLANILAN GENERATOR TİPLERİ

Türkiyede, TUREB (Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği) verilerine göre toplam kurulu rüzgar enerjisi santrali gücü 433.35 MW tır. Bu toplam kurulu gücü oluşturan rüzgar

türbinlerinde kullanılan generatörleri incelediğimiz zaman iki farklı tipte generatör kullanıldığını görmekteyiz. Bunlardan birincisi çift beslemeli asenkron generatör (doubly fed asynchronous generator), ikincisi herhangi dişli sistemine ihtiyaç duymayan sürekli mıknatıslı senkron generatördür (direct drive synchronous generator).

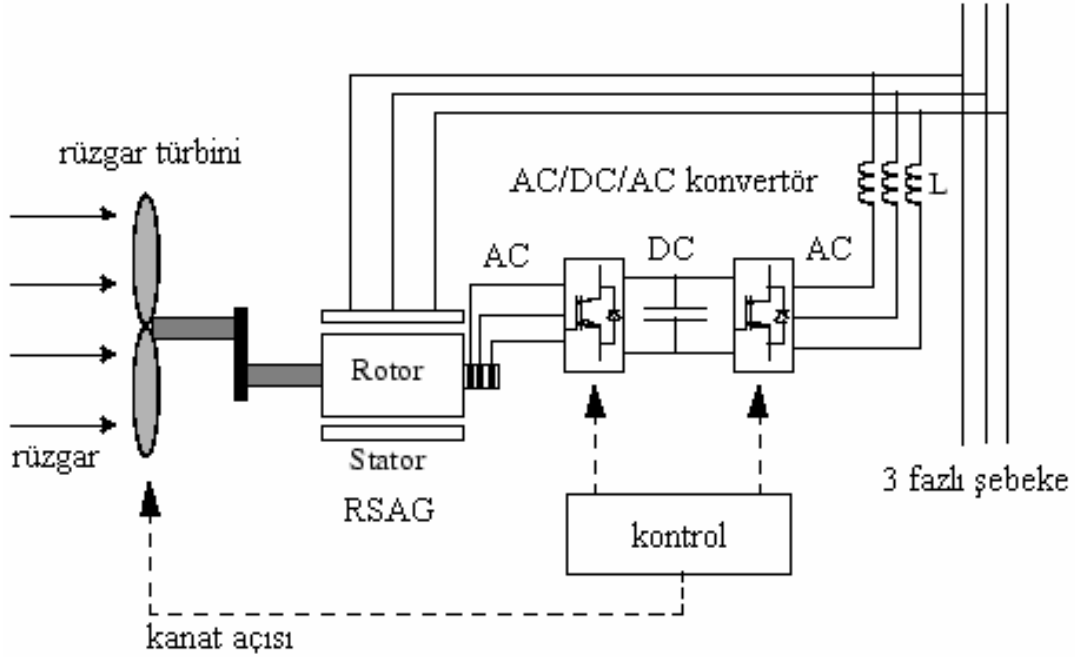
Tablo 1. Türkiyede kurulu rüzgar enerji santralleri ve kullanılan generatör tipleri [4]

Rüzgar Santrali Kurulu Bölge	Santral Kurulu Gücü (MW)	Türbinin Üretici Firması ve Modeli	Rüzgar Türbininde Kullanılan Generator Tipi	Türbin Adet ve Kapasitesi
İzmir-Çeşme	1,5	Enercon E40	Direct Drive Senkron Generator	3 adet 500 Kw
İzmir-Çeşme	7,2	Vestas V44	Çift Beslemeli Asenkron Generator	12 adet 600 kW
Çanakkale-Bozcaada	10,2	Enercon E40	Direct Drive Senkron Generator	17 adet 600 kW
İstanbul-Hadımköy	1,2	Enercon E40	Direct Drive Senkron Generator	2 adet 600 kW
Balıkesir-Bandırma	30	GE	Çift Beslemeli Asenkron Generator	20 adet 1500 kW
İstanbul-Silivri	0,85	Vestas V52	Çift Beslemeli Asenkron Generator	1 adet 850 kW
İzmir-Çeşme	39,2	Enercon E48	Direct Drive Senkron Generator	49 adet 800 kW
Manisa-Akhisar	10,8	Vestas V90	Çift Beslemeli Asenkron Generator	6 adet 1800 kW
Çanakkale-İntepe	30,4	Enercon E48	Direct Drive Senkron Generator	38 adet 800 kW
Çanakkale-Gelibolu	14,9	Enercon E48	Direct Drive Senkron Generator	13 adet 800 kW ve 5 adet 900 kW
Hatay-Samandağ	30	Vestas V80	Çift Beslemeli Asenkron Generator	15 adet 2000 kW
Manisa-Sayalar	30,6	Enercon E48	Direct Drive Senkron Generator	38 adet 800 kW
İzmir-Aliğa	42,5	Nordex N90	Çift Beslemeli Asenkron Generator	17 adet 2500 kW
İstanbul-Gaziosmanpaşa	24	Enercon E82	Direct Drive Senkron Generator	12 adet 2000 kW
İstanbul-Çatalca	60	Vestas V90	Çift Beslemeli Asenkron Generator	20 adet 3000 kW
Balıkesir-Şamlı	90	Vestas V90	Çift Beslemeli Asenkron Generator	38 adet 3000 kW
Muğla-Datça	10	Enercon E48	Direct Drive Senkron Generator	27 adet 800 kW ve 8 adet 900 kW

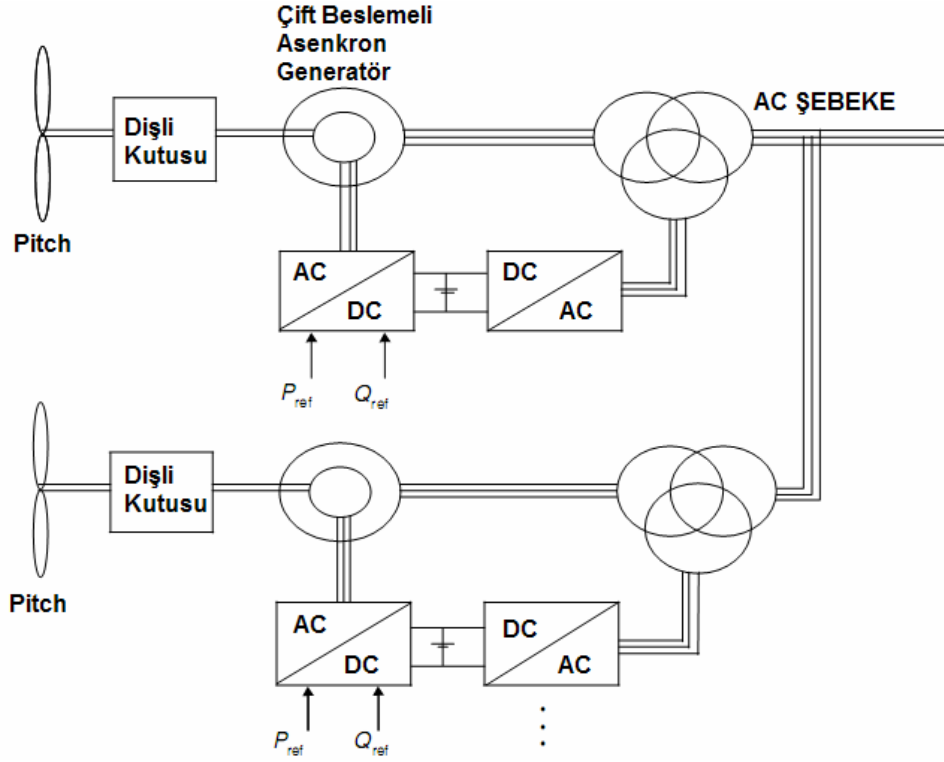
Çift Beslemeli Asenkron Generatör (Doubly Fed Asynchronous Generator)

Bu tip generatörlere çift beslemeli (doubly fed) diye söylenmesinin nedeni, stator gerilimini şebekeden alırken rotora uyarım gerilimi güç konvertörü aracılığı ile yapıldığı içindir. Çift beslemeli asenkron generatör stator sargıları direkt olarak sabit frekanslı 3 fazlı şebekeye bağlı bir rotoru sargılı asenkron generatör ile rotor sargılarına monte edilmiş iki yönlü back-to-back IGBT (insulated gate bipolar transistor) konvertörden meydana gelmiştir [5]. Çift beslemeli asenkron generatörde rotor tarafı konvertörü ve şebeke tarafı konvertörü olmak üzere iki konvertör bulunur. Genellikle, rotor tarafındaki konverter kontrol sistemi, elektromanyetik torku regüle eder ve generatörün manyetizasyonunu sürdürebilmesi için reaktif güç sağlar. Şebeke tarafındaki konverter kontrol sistemi ise, DA linkini regüle eder. Eğer

generatör senkron hızın altında çalışırsa, şebekeden rotora bilezikler aracılığıyla elektriksel güç verilir. Böylelikle generatörün senkron hızı geçmesi sağlanır. Zaten bir asenkron makinanın generatör olarak çalışabilmesi için rotor hızının stator döner alan hızının (senkron hız) üstüne çıkması gerekmektedir. Senkron hıza $\pm \%30$ yakın aralıklı olacak şekilde, rotor hız ayarı sağlanır. Eğer senkron hızın üstünde ise bu sefer şebekeye elektrik enerjisi verir. ÇBAG' ün avantajları; sürekli değişen rüzgar hızı uygulamalarına imkan sağlar. Rüzgardan alınan enerji daha fazladır. Konvertörler sayesinde ekstra reaktif güç kontrolüne ihtiyacı yoktur. Aktif ve reaktif güç kontrolünü konvertörler sağlar. Offshore olarak isimlendirilen açık deniz rüzgar santrali uygulamaları gibi büyük güç sistemleri için uygun olmasıdır. ÇBAG'nin en büyük dezavantajı ise bilezik tertibatının düzenli bakıma olan ihtiyacıdır. Ayrıca diğer sistemlerden biraz daha pahalıdır. [3, 6, 7, 8, 9].



Şekil 3. Çift beslemeli asenkron generatörün rüzgar türbinine bağlantısı



Şekil 4. ÇBAG'lerin rüzgar türbinine ve şebekeye bağlantısı

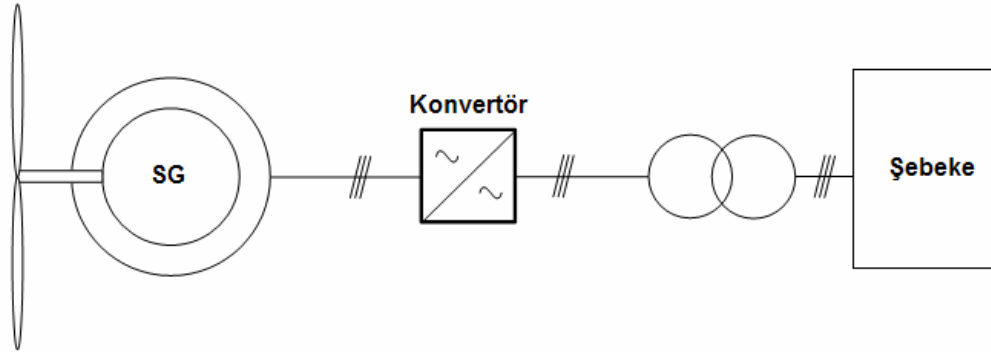
OptiSlip® İndüksiyon Generatör (OSİG)

OSİG rüzgarın ani ve sert esmesi sırasında rüzgar türbinindeki yükleri çok hızlı güç elektroniği elemanları kullanarak minimuma indirmek için Danimarkalı şirket Vestas® tarafından geliştirilmiştir. Optislip® generatör rotoru sargılı asenkron generatör ile şafta yerleştirilmiş ayarlanabilir harici rotor dirençlerinden oluşur. Herhangi bir bileziğe ihtiyacı yoktur. Generatörün kayması, rotor şaftına bağlı bir konvertör aracılığıyla toplam rotor direncinin düzenlenmesi ile değiştirilir. Bu değişim rüzgar hızına ve yüke bağlı olarak elektronik devre ile %1 ile %10 arasında değişmektedir. Böylelikle ani rüzgar artışlarında oluşan mekanik yükler ve güç dalgalanmalarının azaltılması hedeflenmiştir. Dezavantajı ise reaktif güç kontrolünün zayıf olmasıdır [3, 5, 10].

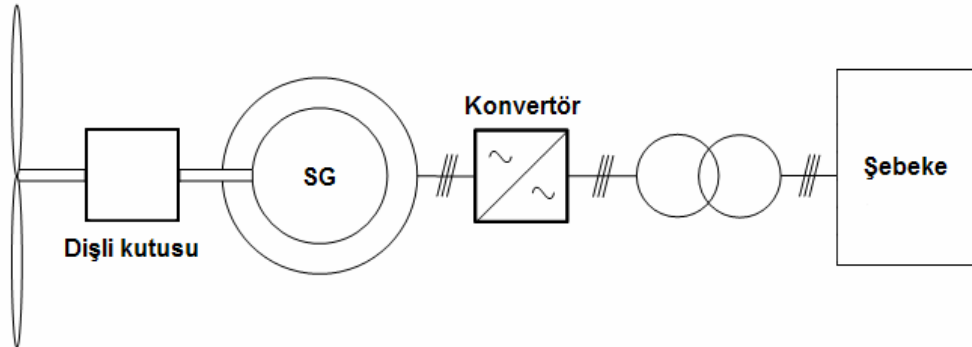
Sürekli Mıknatıslı Senkron Generatör (Direct Drive Synchronous Generator)

Sürekli mıknatıslı senkron generatorler (SMSG) herhangi bir enerji kaynağına gerek duymadan kendinden uyarımlı olması nedeniyle rüzgar türbini uygulamalarında önerilmektedir. En büyük artısı herhangi bir hızda güç üretebilmesidir. Bakım maliyeti düşüktür. Küçük ve hafif uygulamalar için uygundur. Generatör hızı herhangi dişli

kutusunda gerek kalmadan kontrol edilebilir ancak dişli sistemi ile birlikte kullanılan modelleri de mevcuttur. Sürekli mıknatıslı senkron generatörün statoru sargılıdır ve rotoruna daimi mıknatıslar yerleştirilmiştir. Çok yaygın kullanılan tipleri; radyal akılı, aksiyal akılı ve çapraz akılı olanlardır [11].



şekil 4. Sürekli mıknatıslı senkron generatörün rüzgar türbinine bağlantısı



şekil 4. Sürekli mıknatıslı senkron generatörün dişli kutusu ile birlikte rüzgar türbinine bağlantısı

Sürekli mıknatıslı senkron generatörler harekete geçme anında senkronizasyonda ve gerilim regülasyonunda bazı sorunlar çıkartabilir. Ayrıca sürekli mıknatısların fiyatları çok yüksektir. Bir diğer dezavantajı ise mıknatısların manyetik özelliklerinin sıcaklıkla değişmesidir. Yüksek sıcaklıklarda ve kısa devre durumlarında mıknatısların manyetik özelliklerini kaybettikleri bilinmektedir. SMSG'lerin rotor sıcaklıklarının soğutma sistemleri ile kontrolünün sağlanması gereklidir [5, 10, 11] .



Şekil 5. Sürekli Mıknatıslı Senkron Generatör

SONUÇ

Rüzgar türbinlerinde kullanılacak olan generatörün seçiminde göz önüne alınacak en önemli kriter, rüzgar türbininin yerleşeceği bölgenin rüzgar özelliğinin belirlenmesidir. Seçilen generatör; farklı rüzgar değişimlerinden minimum etkilenip, maksimum verimle çalışabilmelidir. Değişken hızlı rüzgarlarda kullanılan generatorler frekans dönüştürücülere ve güç elektroniği elemanlarına ihtiyaç duyar. Fakat son yıllarda gerek güç elektroniğinde kaydedilen ilerlemeler, gerekse yarı iletken teknolojisinin maliyetinin her geçen gün azalması, rüzgar güç sistemlerinde bu yapının kullanımını oldukça cazip hale getirmiştir. Her bölgenin rüzgar hızları farklı olduğu için, Kuzey Avrupa ülkeleri için üretilen rüzgar türbinleri bizim ülke şartları için uygun değildir. O nedenle Türkiye'nin rüzgar şartlarına uygun rüzgar türbin dizaynının geliştirilmesi ve

bir an önce yerli rüzgar türbinlerinin imalatına başlanması gerekmektedir. Bu şartlar göz önüne alındığında, kanat yapıları uzun ve generatör yapıları küçük olan rüzgar türbinlerinin tercih edilmesi daha doğru bir seçim olacaktır. Kaynağını sürekli yenilenen rüzgardan alan rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerini, ne zaman ki “alternatif” yerine “birincil” enerji olarak tanımlarsak, Türkiye için önemli bir enerji kaynağını görmezden gelmemiş oluruz.

KAYNAKLAR

1. <http://www.iec.ch>, erişim tarihi 10 Nisan 2009.
2. Çalışkan M., “Rüzgar Enerji Dönüşüm Sisteminde Sorunlar”, 2. Rüzgar Enerjisi Sempozyumu, Samsun, 2009
3. Dursun E., Binark A.K., “Generator Types in Wind Turbines ”, 7.Natioanal Clean Energy Symposium Istanbul 17-21 December 2008.
4. <http://www.ruzgarenerjisibirliqi.org.tr> erişim tarihi 5 Nisan 2009.
5. Ackermann T., “Wind Power in Power Systems”, John Wiley & Sons, Ltd, 2005.
6. Uyar, M., Gençoğlu, M.T., ve Yıldırım, S., “Değişken Hızlı Rüzgar Türbinleri İçin Generatör Sistemleri”, YEKSEM 2005, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Mersin, Sh.173-178.
7. Muller, S. Deicke, M. De Doncker, R.W., (2002). “Doubly Fed Induction Generator Systems for Wind Turbines,” IEEE Industry Applications Magazine, 8, 3, pp. 26-33.
8. Hansen, L.H., Madsen, P.H., Blaabjerg, F., Christensen, H.C., Lindhard, U., Eskildsen,K., (2001). “Generators and Power Electronics Technology for Wind Turbines”, Industrial Electronics Society, IECON '01. The 27th Annual Conference of the IEEE 29 Nov.-2 Dec. 2001, Vol. 3, pp.2000 – 2005.
9. Bogalecka, E., (1993). “Power Control of a Doubly Fed Induction Generator without Speed or PositionSensor”, in EPE 5th European Conference on Power Electronics and Application, Vol. 8, pp. 224–228
10. Khadraoui M.R., Elleuch M., (2008) “Comparison between OptiSlip and Fixed Speed Wind Energy Conversion Systems”, 5 th International Multi-Conference on Systems, Signal and Devices , Amman, Jordan, 2008.
11. Dubois, M. R., Polinder, H., Fereira, J. A., (2000). “Comparison of Generator Topologies for Direct-drive Wind Turbines”, in IEEE NordicWorkshop on Power and Industrial Electronics, IEEE, New York, pp. 22–26.