

RÜZGÂR ENERJİSİNDE KULLANILAN JENERATÖRLERİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

¹Meltem APAYDIN ²Arif Kıvanç ÜSTÜN ³Mehmet KURBAN ⁴Ümmühan BAŞARAN FİLİK

Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampüsü
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
26555, ESKİŞEHİR

¹e-posta: meltemapaydin@anadolu.edu.tr, ²e-posta: akustun@anadolu.edu.tr
³e-posta: mkurban@anadolu.edu.tr, ⁴e-posta: ubasaran@anadolu.edu.tr

ÖZET

Günümüzde dünyamızın bulunduğu enerji dar boğazında, yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç artmaktadır ve bu yeni aynı zamanda temiz enerjilerden olan rüzgar enerjisine olan ilgi ve yatırımlarda gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Böylece rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemleri yaygınlaşmaktadır. Rüzgâr enerjisinden yararlanarak mekanik enerjinin elektriksel enerjiye dönüştürülmesinde kullanılan jeneratör sistemlerinin önemi büyüktür. Bu çalışmada rüzgar enerjisinde kullanılan jeneratörlerin hem maliyet açısından hem kullanılma amaçları ve doğru jeneratör seçimi açısından çeşitleri incelenmiş, dezavantajları ve avantajları ortaya konmuştur. Bu sebeple rüzgâr enerjisinde kullanılabilecek jeneratörlerin ve yeni sistemlerinin sanayiye tanıtılması ve ilgi çekici yönlerinin ön plana çıkarılması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr enerjisi, Rüzgar Türbini, Jeneratör Tipleri

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Artan dünya nüfusu, teknolojinin gelişimi, sanayileşme yarışı son yıllarda enerjiye olan bağımlılığı ve ihtiyacı belirgin bir şekilde artırmıştır. Fosil yakıtların azalması, iklim değişikliği gibi önemli ekolojik nedenler, mevcut enerji kaynaklarının verimli kullanılmasını ve yeni enerji kaynaklarının bulunmasını zorunluluk haline getirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgâr enerjisi özellikle son yıllarda ilgi görmekte ve gelişmektedir. Örneğin dünya çapında 50'den fazla ülkede enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Son 15 yılda ortalama %25 büyüme hızı göstermiştir.

Rüzgâr türbinleri, rüzgârdaki kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Bu teknoloji, aerodinamik, meteoroloji, mekanik, elektrik gibi birçok konuyu içinde barındırır. Bu çalışmada rüzgâr türbinlerinde kullanılan jeneratör tipleri incelenmiş, üstünlükleri ve sakıncaları ele alınmıştır.

2. RÜZGÂR ENERJİSİ KULLANIM AMAÇLARI

Rüzgâr enerjisi günümüzde en çok gelecek vadeden teknolojilerden bir tanesidir. Bu nedenleri şöyle sıralayabiliriz:

- Öncelikle rüzgâr enerjisi temizdir. Gürültü kirliliği haricinde herhangi bir çevre kirliliği yaratmaz. Modern bir 600kW gücündeki bir rüzgâr türbini ortalama bir yerde, bir yılda

genellikle kömürle çalışan diğer elektrik santrallerinin 1200 ton karbondioksitinin yerine geçecektir.

- Rüzgâr enerjisi boldur ve tükenmez bir enerji kaynağıdır.
- Enerjide dışa bağımlılığımızı azaltacak şekilde yerli bir kaynaktır.
- Rüzgâr enerjisi tesisleri kuruldukları alanın %1'lik bölümünü kullanırlar.
- Rüzgar türbinleri kuruluşu sırasında harcanan enerjinin 3 ay gibi kısa bir sürede üretilebilmesi, özellikle Türkiye gibi kısa dönemde enerji talebi olan ülkeler için önemli bir faktördür.
- Rüzgar türbinlerinin güçleri birkaç kW'tan birkaç MW'a kadar değişebilir. Örneğin 1-3 MW'lık kapasiteye sahip olan 25türbin ile yılda yaklaşık 20GWh'lık enerji üretilebilmektedir. Bu da orta büyüklükteki bir hidroelektrik santralının ürettiği enerjiye eşittir.

3. RÜZGÂR ENERJİSİNİN MALİYET ANALİZİ

Küresel rüzgâr enerjisi piyasasının büyümesiyle, rüzgar kaynaklı elektrik üretiminin maliyeti de düşmüştür. Modern bir rüzgâr türbini, yıllık olarak 20yıl önceki eşdeğerinden 180 kat daha fazla elektriği yarı maliyetine üretebilmektedir. İyi bir uygulama alanında rüzgar, kömür ve gaz ile üretilen enerjiyle rekabet edebilir duruma ulaşır.



Enerji sektöründe mevcut kaynakların elektrik enerjisine dönüştürülmesi için göz önünde bulundurulması gereken konular genel olarak:

- Tesis edilecek santral ve bu santralin inşası için gerekli olan sermaye maliyeti
- Enerji kaynağının erişilebilirliğine ve kullanıma uygun hale getirilmesine bağlı olarak değişen giderler
- Mevcut tesislerin bakım, onarım ve işletilmesi için karşılanacak giderler
- Çevreye, enerji sektörüne ve diğer sektörlerle verilen zararlarla ilgili dış maliyetler

Bunlar dikkate alındığında rüzgâr enerjisi, sermaye maliyetinin kW başına yüksek olduğu ve bunun aksine mevcut tesislerin bakım, onarım ve işletme maliyeti çok düşüktür.

Tablo 1. Enerji Sektörlerine Göre Maliyet Değerleri

Yakıt Sent/kWh	Maliyet
Kömür	4.8 - 5.5
Gaz	3.9 - 4.4
Hidro	5.1 - 11.3
Biokütle	5.8 - 11.6
Nükleer	11.1 - 14.5
Rüzgar	4.0 - 6.0

Kullanım alanına göre, rüzgâr enerjisinde kullanılacak ekipmanların seçimi de önemli bir aşamadır. Ev sistemleri, küçük üretim sistemleri ya da büyük üretim sistemlerine göre uygun jeneratörler de farklılık gösterirler.[1]

4.RÜZGÂR TÜRBİNLERİNDE KULLANILAN JENERATÖRLER

Rüzgar türbin jeneratörleri mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. Bunlar, şebekeye bağlanan diğer jeneratörlerle karşılaştırıldığında aralarında bir fark görülür. Bu jeneratörler devamlı azalıp artan bir mekanik güç veren tahrik kaynağı ile çalışmak durumundadır. Genel olarak 3 tip jeneratör kullanılır. Bunlar dezavantajları ve avantajlarına göre ayrı ayrı değerlendirilebilir.

Asenkron Jeneratör

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

Senkron Jeneratör

- Rotoru Sargılı (Alan Sargılı) Senkron Jeneratör (RSSG)
- Sürekli Mıknatıslı Senkron Jeneratör (SMSG)

Doğru Akım Jeneratörü

Anahtarlı Relüktans Jeneratör (ARG)

4.1.Asenkron Jeneratörler

Son yıllarda asenkron jeneratörler enerji üretim sektöründe özellikle rüzgar türbinlerinde oldukça

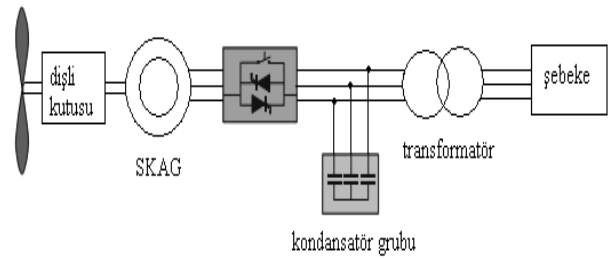
fazla kullanılır. Bu jeneratörlerin ulusal ve uluslar arası standartlara uygun olması gerekir(TS 3067, IEC 34-1, IEC 34-2, IEEE Standart 112-2004, VDE 0530). Bunların fabrika testlerinde düşük maliyeti ve kolaylığı sebebiyle dolaylı metot, direk metoda göre daha çok tercih edilir. Rüzgar türbinlerinde kullanılmasındaki en önemli avantajları ise sağlamlık, mekanik anlamda basitlik, fiyatının düşüklüğü gibi sebeplerdir. Ayrıca ani rüzgar artışında oluşan tork titreşimlerini azaltmada oldukça iyidir. En büyük dezavantajı ise duran kısım statorun, reaktif mıknatıslanma akımına olan ihtiyacıdır. Rotor yapısındaki farklılığa göre[3-6-7]:

- Sincap Kafesli Asenkron Jeneratör(Kısa devre çubuklu)
- Bilezikli (sargılı) Asenkron Jeneratör

4.1.1.Sincap Kafesli Asenkron Jeneratör (SKAG)

SKAG hem sabit hızlı rüzgâr türbinlerinde hem de değişken hızlı rüzgar türbinlerinde kullanılır. Manyetik sesleri azaltmak ve iyi kalkınma momenti elde etmek için rotor olukları mile paralel olarak değil meyilli olarak açılarak pres alüminyum döküm rotor sargısı elde edilir. Sincap kafesli asenkron makineler, fırçasız, güvenilir, ekonomik ve sağlam bir yapıya sahip olmaları nedeniyle uygulamada sıkça kullanılmaktadırlar.

Dezavantajları; jeneratör parametrelerinin sıcaklık ve frekansla değişerek sistemin kontrolünü karmaşıklaştırmasıdır. Moment-hız eğrisi lineerdir. Böylece rüzgar gücündeki dalgalanmalar direkt olarak şebekeye iletilir. Bu geçişler özellikle rüzgar türbininin şebeke bağlantısı sırasında kritiktir. Bu noktalarda nominal akımdan 7-8 kat daha hızlı akım geçici olur ki bu sistemin dezavantajları arasında yer alır. Ayrıca sincap kafesli asenkron jeneratör reaktif güç tüketir. Birçok durumda, özellikle büyük türbinlerde ve zayıf şebekelerde bu istenmeyen bir durumdur. Bu yüzden sincap kafesli asenkron jeneratörün reaktif güç tüketimi hemen her zaman kısmen ya da tamamen güç faktörünü bire yaklaştırmak için kullanılan kapasitörlerle dengelenir. [8-9]

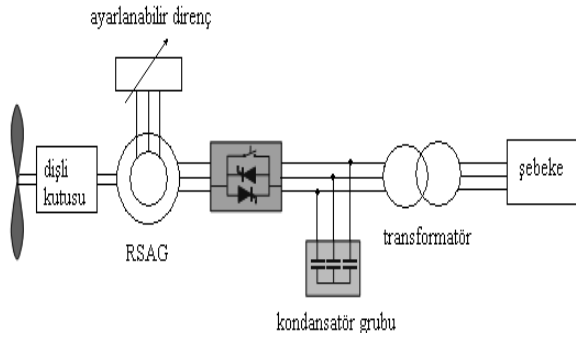


Şekil 1. SKAG ve şebeke bağlantısı

4.1.2. Rotoru Sargılı (Bilezikli) Asenkron Jeneratör (RSAG)

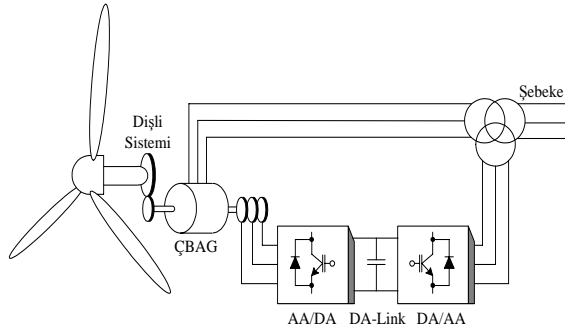
Bir RSAG'de rotorun elektriksel özellikleri dışarıdan kontrol edilebilir ve böylece rotor gerilimi değiştirilebilir. Rotor sargı uçları rotorla beraber dönen bileziklere bağlıdır. Bilezikler üzerinde sabit duran fırçalar yardımı ile, rotor sargıları üç fazlı bir yol verici direncine ya da dış kaynağa bağlanabilir. Böylece yol alma akımı sınırladığı gibi hız ayarı da yapılabilir.

Dezavantajı pahalı olması ve SKAG kadar sağlam olmamasıdır.



Şekil 2. RSAG ve şebeke bağlantısı

4.1.2.1. Çift Beslemeli Asenkron Jeneratörler



Şekil 3. ÇBAG ve şebeke bağlantısı

Şekil 3'de çift beslemeli asenkron jeneratörün (ÇBAG) kullanıldığı bir rüzgar gücü sistemi görülmektedir. Bu sistemde, stator sargısı şebekeye doğrudan bağlanmıştır. Rotor sargısı ise iki adet back-to-back gerilim kaynaklı DGM tekniğini kullanan inverterden oluşan, dört bölgeye ayrılan güç konverteri üzerinden şebekeye bağlanmıştır. Genellikle, rotor tarafındaki konverter kontrol sistemi, elektromanyetik torku düzenler ve makinenin manyetizasyonunu sürdürebilmesi için reaktif güç sağlar. Şebeke tarafındaki konverter kontrol sistemi ise, DA linkini düzenler. Senkron jeneratörlerle karşılaştırıldığında, ÇBAG'ün aşağıda belirtilen bazı avantajları vardır:

- Sadece rotorun kayma gücünü kontrol etmeye yarayan konverter sistemine sahip olduğu için, toplam sistem gücünün yaklaşık %25'i oranında bir inverter kullanılmaktadır. Bu da inverter maliyetini azaltır.
- Sistemde kullanılan filtreler toplam sistem gücünün 0.25 p.u.'lik kısmı için gerekli olduğundan, inverter filtrelerinin maliyeti azalmaktadır. Aynı zamanda inverter harmonikleri, toplam sistem harmoniklerinin daha küçük bir bölümünü temsil etmektedir.
- Ayrıca bu makine harici bozucu etkilere karşı dayanıklılık ve kararlılık göstermektedir.

ÇBAG için en büyük dezavantaj ise bünyesinde periyodik bakıma ihtiyaç duyan bilezik tertibatının bulunmasıdır.[5-6]

4.1.2.2. Optislip İndüksiyon Jeneratörler (OSİG)

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

4.2. Senkron Jeneratör

Senkron jeneratörler, aynı büyüklükteki asenkron jeneratörlere göre daha pahalı ve mekanik olarak daha karmaşıktır. Senkron jeneratör, harici bir yükü besleyen üç fazlı sargıların oluşturduğu bir stator ve manyetik alanı oluşturan bir rotordan meydana gelir. Senkron jeneratörler sabit hızlı sistemler için daha uygundur. Bu nedenle sabit hıza bağlı olarak sabit frekansta çalışırlar. Rotorun oluşturduğu manyetik alan, ya sürekli mıknatıslardan ya da sargılardan akan doğru akımdan üretilir. Rüzgar türbinlerinde kullanılan senkron rotorlarındaki doğru akım şebekeden alınan besleme ile sağlanır. Şebekeden alınan A.C doğrultularak D.C ye çevrilir. Daha sonra rotorun sargılarına fırçalar aracılığı ile iletilir.

4.2.1. Alan Sargılı Senkron Jeneratör

Alan sargılı senkron jeneratörlerde (ASSG); stator sargısı, dalga genişlik modülasyonu (DGM) tekniğine göre anahtarlama yapabilen, çift yönlü akım akışının olabildiği (back-to-back) gerilim kaynaklı iki inverterden meydana gelmiş, dört bölgeci bir güç konverteri üzerinden şebekeye bağlanmıştır (Şekil 4). Stator tarafındaki konverter elektromanyetik torku, şebeke tarafındaki konverter ise bu sistemin oluşturduğu aktif ve reaktif gücü düzenler.

ASSG 'nin sağladığı avantajlar şunlardır:

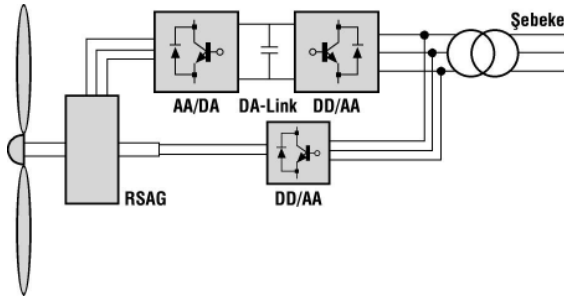
•Elektromanyetik tork üretiminde stator akımının tamamı kullanıldığı için bu makinenin verimi genellikle yüksektir.

•Çıkık kutuplu alan sargılı senkron jeneratörün kullanılmasının en büyük faydası, makinenin güç faktörünün doğrudan kontrolüne müsaade edilmesidir. Bunun sonucu olarak, stator akımı bir çok işletim durumunda minimize edilebilir.

•Bu jeneratörlerin kutup eğimi indüksiyon makinelerine göre daha küçük olabilir. Bu durum dişli kutusu elimine edilerek, düşük hızlı çok kutuplu makineler elde edilmesinde önemli bir özellik olabilmektedir.

Rotorda sargı devresinin bulunması daimi mıknatıslı senkron jeneratör (DMSG) ile kıyaslandığında bir dezavantajdır.

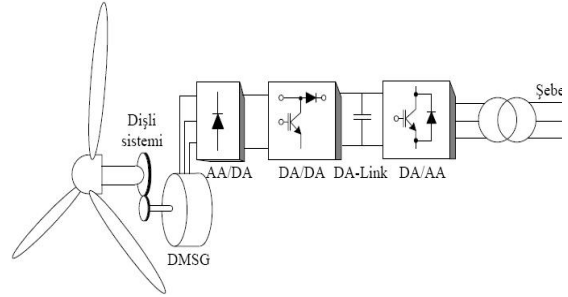
Ayrıca üretilen aktif ve reaktif gücü düzenlemek için, nominal rüzgar gücünün 1.2 katı büyüklüğünde konverterler kullanılması gerekmektedir.[2]



Şekil 4. Rotoru Sargılı (Alan Sargılı) senkron jeneratör (RSSG)

4.2.2.Daimi Mıknatıslı Senkron Jeneratör

Şekil 5 'de üç fazlı doğrultucuyu takip eden, yükseltici DA-DA kıyıcısı ile bağlantısı sağlanmış, daimi mıknatıslı senkron jeneratöre (DMSG) ait rüzgar güç sistemi görülmektedir. Burada yükseltici DA-DA kıyıcısı elektromanyetik torku kontrol etmektedir. Şebeke tarafındaki konverter ise, girişin güç faktörünü kontrol ettiği gibi, aynı zamanda DA link gerilimini de regüle etmektedir. Genellikle bu konfigürasyon küçük güçlü (50 kW 'dan küçük) rüzgar güç sistemleri için tercih edilmektedir.[2]



Şekil 5. Daimi mıknatıslı senkron jeneratör (DMSG)

DMSG'nin avantajları şunlardır:

- Herhangi bir enerji kaynağına gerek duymadan kendinden uyarımlı olması nedeniyle rüzgar türbini uygulamalarında önerilmektedir.
- Herhangi bir hızda güç üretebilir.
- Bakım maliyeti düşüktür.
- Küçük ve hafif uygulamalar için uygundur.

DMSG 'nin dezavantajları şunlardır:

- Makinenin fiyatını arttıran daimi mıknatısların maliyeti yüksektir.
- Akımın genliğini arttıran diyotlu doğrultucular kullanılmaktadır.
- Mıknatıs malzemesinin manyetikliği bozulabilmektedir.
- Makinenin güç faktörünün kontrol edilmesi mümkün değildir.

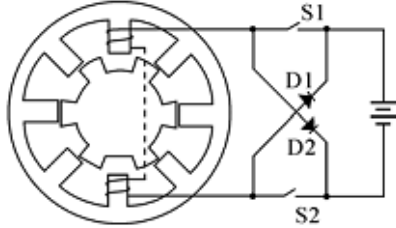
4.3. Fırçasız Doğru Akım Jeneratörleri

Doğru akım jeneratörleri, güvenilirliklerinin düşük olması ve bakım gerektirmesi gibi dezavantajlarına rağmen, hız kontrollerinin kolay olması nedeniyle rüzgar enerjisi sektöründe kullanılmaktadır. DAG' ler küçük kapasiteli rüzgar türbinlerinde, özellikle elektrığın şebekeden bağımsız olarak kullanıldığı yerlerde tercih edilmektedirler. Son yıllarda mekaniksel komütatörlü DAG' ların komütatörü elimine etmek için sürekli mıknatıslı olarak tasarlanmasına bağlanmıştır. Bu tertibatta üretilen alternatif akım yarı iletken doğrultucular yardımıyla doğru akıma dönüştürülür. Fırçasız doğru akım makineleri olarak da isimlendirilen bu makineler, sürekli mıknatısların kapasitelerinin ve güçlerinin sınırlı olması nedeniyle, küçük güçlü rüzgâr türbinlerinde kullanılmaktadırlar.[4]

4.3.1.Anahtarlı Reluktans Jeneratör (ARG)

Son yıllarda ARG, iyi mekanik güvenilirlik, yüksek tork-güç oranı, yüksek verim ve düşük maliyetten dolayı rüzgar enerjisi uygulamalarında tercih edilen jeneratördür. ARG' nin statorunda bulunan her çıkık kutba çoklu sargılar yerleştirilmiştir. ARG uyarım ve üretim olmak üzere iki aşamada çalışır. ARG iki anahtar ve her faz başına iki diyottan oluşur. Uyarım aşamasında

S1 ve S2 anahtarları açık olup, statordaki sargılar harici elektriksel devre tarafından uyarılır ve manyetik enerji ortaya çıkar. Üretim aşamasında S1 ve S2 anahtarları kapalı olup, D1 ve D2 diyotları üzerinden manyetik ve mekanik enerji elektrik enerjisine dönüşür.



Şekil 6. Anahtarlı relüktans jeneratör

5. SONUÇLAR

Kömürün 230 yıl, petrolün 38 ve doğal gazın 60 yıl sonra tükeneyeceğini göz önüne aldığımızda alternatif enerji kaynaklarına süratle yönelmemiz gerekir. Rüzgarda bu alternatif enerji kaynaklarından bir tanesidir. Bu yüzden, dünya açısından çevreyi kirletmeyen, ekonomik olan, ülkemiz açısından da dış ülkelere bağımlılığı olmayan rüzgar enerjisine, yatırımların artırılması rüzgar potansiyelinden faydalanılması bir zorunluluk haline gelmektedir. Konunun geniş boyutları da düşünüldüğünde bu alandaki endüstriyel AR-GE ve üretimi ilgi çekici ve katma değer oluşturan bir nitelik göstermektedir.

Bir rüzgar santralının performansı, santralin kurulacağı bölgenin rüzgar rejimine ve türbin tipine en uygun jeneratörün kullanılmasına bağlıdır. Küçük ve orta güçlü rüzgar güç sistemlerinde hem SKAG, hem de DMSG kullanılır. Büyük güçlü rüzgar güç sistemleri için ise hem ÇBAG, hem de senkron jeneratör tercih edilir. DGM, sistemin giriş ve çıkışındaki akım harmonilerini azaltacağı için, DGM tekniğine göre anahtarlama yapabilen, back-to-back gerilim kaynaklı dört bölgeli güç konverteri tercih edilir. Böylece, jeneratör üzerindeki tork titreşimleri azalır ve çıkış gücünün kalitesi artar. Ayrıca güç elektroniği teknolojisinde kaydedilecek yeni gelişmeler ile beraber, rüzgar güç sistemlerinin performansını optimize etmek mümkün olacaktır.

Rüzgar santrali kurmanın sadece o bölgenin iyi rüzgar potansiyeline sahip olmasında veya iyi ekipmanlardan oluşmasına bağlı değildir. Ayrıca düşük maliyetlerde tutulabilecek bir santral, hem kendini amorti etmesi açısından hem de sanayinin teşvik edilebilmesi açısından önemli bir faktör olduğu gösterilmek istenmiştir. Bunların yanında jeneratör türünün ve yapısının seçiminin de birçok etmene bağlı olduğu gösterilmek istenmiştir.

6.KAYNAKLAR

[1]Prof. Dr. İsmail H. TAVMAN, Mehmet Sülün, "Rüzgar Enerjisi", İzmir 1999

[2]Murat UYAR, Muhsin Tunay GENÇOĞLU, Selçuk YILDIRIM, Değişken Hızlı Rüzgar Türbinleri İçin Generatör Sistemleri, 2006

[3]Onur Çopçuoğlu, Güven Önbilgin, "Yel Enerjisi Dönüşüm Sistemleri İçin Uygun Generatör Türlerinin Değerlendirilmesi", 2008

[4]Patel, M.R., "Wind and Solar Power Systems" CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington, 1999

[5]Nicolás, C.V, Lafoz, M. And Iglesias, J. "Guidelines For the Design and Control of Electrical Generator Systems for New Grid Connected Wind Turbine Generator." IECON 2002

[6]"Wind Turbine Grid Connection and Interaction," Deutsches Windenergie-Institut Tech wise A/S, DM Energy,

http://europa.eu.int/comm/energy/res/sectors/doc/wind_energy/maxibrochure_final_version.pdf, 2001

[7]"American Wind Energy Association Homepage"

<http://www.awea.org>

[8]Wind Power Generators in United Kingdom

<http://www.windgenerator.org.uk/>

[9]Elektrik İşleri Etüd İdaresi

web sayfası-www.eiei.gov.tr