

# Rüzgar Enerji Santrali Güç Kalite Parametrelerinin Gerçek Zamanlı Ölçümü ve Değerlendirilmesi

Mustafa ŞEKKELİ<sup>1,\*</sup>, Ö.Fatih KEÇECİOĞLU<sup>\*</sup>, Ceyhan YILDIZ<sup>\*\*</sup>

<sup>1</sup> Sorumlu yazar, [mustafasekkeli@hotmail.com](mailto:mustafasekkeli@hotmail.com)

\* Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik Elektronik Müh. Böl., Kahramanmaraş

\*\* Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara

## Özet

Yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgar enerjisi kullanımı günden güne gelişen bir hızla tüm dünyada artmaktadır. Bununla beraber rüzgar hızının sürekli ve kararlı olmaması üretilen enerjinin kalitesine olumsuz yansımaktadır. Kaliteli elektrik enerjisi kısaca, sürekli (kesintisiz), güç faktörü 1e yakın, frekansı ve genliği sabit sinüzoidal bir gerilim olarak açıklanabilir. Bu çalışmada üretim yapmakta olan bir rüzgar santralına ait gerilim, akım, güç, frekans, harmonik ve kırpışma gibi güç kalitesini belirleyen parametreler ölçülmüştür. Ölçümler 24 saatlik zaman dilimi için alınmıştır. Ölçüm sonuçları EN 50160 standartlarına göre değerlendirilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Güç Kalitesi, Rüzgar santrali, Harmonik Ölçümü

## 1. Giriş

Dünyada enerji talebini karşılamak için kullanılan fosil yakıt rezervlerinin azalması ve bu kaynakların çevreye olan olumsuz etkileri sebebiyle, araştırmacılar yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma yoluna yönelmişlerdir [1,2]. Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları hidroelektrik, güneş ve rüzgar enerjileri olarak sayılabilir. Özellikle rüzgar enerjisi, tüm dünya da önemli bir araştırma konusu olmuş, hem devlet kuruluşları hem de özel sektör tarafından tercih edilen bir enerji türü haline gelmiştir. Dünyadaki gelişmeye paralel olarak Türkiye’de de rüzgar enerji santralleri (RES) ile ilgili çok önemli çalışmalar yapılmıştır. Rüzgarın yoğun olduğu bölgelere ilişkin gerekli ölçümler yapılarak rüzgar haritaları çıkarılmıştır. Rüzgar bakımından efektif görülen bölgelere rüzgar santralleri kurulmuş ve bu santraller ulusal şebekeye bağlanarak elektrik enerjisi üretir duruma gelmiştir [3-5].

Rüzgardan üretilen elektrik enerjisinin rüzgarın hızına bağlı olması, santral çıkışında elde edilen güç kalitesi değerlerinin değişken ve kararsız olmasına sebep olmaktadır [3,4]. Bu santrallerin doğrudan ulusal elektrik şebekesine bağlanarak kullanılması sistem kararlılığı ve güç kalitesi problemleri bakımından olumsuz etkiler meydana getirmektedir [4,5]. Rüzgar enerji santralleri ile aynı şebekeye bağlı diğer santrallerde olduğu gibi, RES’lerden de belli kalite değerlerinde enerji üretip sisteme vermesi beklenmektedir [3,5]. Kaliteli elektrik enerjisi, şebekedeki, gerilimin genlik ve frekansının nominal değerlerini koruması ve gerilim dalga şeklinin sinüs biçiminde olmasıdır. Enerji kalitesizliği ise, gerilimin genliğinin değişmesi, kesintiler, gerilim darbeleri, kırpışma (flicker), dalga şeklinin sinüsten uzaklaşması,

frekans değişimleri, güç faktörünün düşük olması olarak tanımlanır. Güç kalitesini düzeltmek için gerekli önlemler alınmadan önce, bu tür bozulmaların kaynakları ve sebepleri bilinmelidir [6-9]. Bu çalışmada, enerji üretmekte olan bir rüzgar santralının çıkışında bazı güç kalite değerleri ölçülmüş ve bu değerlerin analizleri yapılmıştır.

## 2. Güç Kalitesi Kavramı ve Standartları

Güç kalitesinin sınıflandırılması ve karakterize edilmesinde değişik uluslararası standartlarda farklı tanımlamalar yapılmıştır. Bu tanımlamalar genel olarak birbirine benzemektedir. Gerilim değişimleri iki farklı şekilde karakterize edilir. Bunlardan birincisi, özellikle geçici olaylarda olayı betimleyen bir takım indislerin belirlenmesi diğeri ise sürekli haldeki değişmelerin istatistiksel olarak elde edilmesi şeklindedir. Çok hızlı değişen olaylarda, özellikle kısa süreli gerilim düşmeleri, gerilim yükselmeleri, kesintiler ile geçici gerilimler, değişim süresi ve genlik gibi parametrelerin belirlenmesi ile ölçülebilir. Sürekli halde meydana gelen genlik, frekans değişmelerini kapsamaması sebebiyle harmonikler, kırpışmalar ve dengesizlikler istatistiksel veriler kullanılarak değerlendirilir [10,11].

Ülkemizde de enerji kalitesinin izlenmesi EN 50160 standardının tercümesi olan “Elektrik Piyasasında Dağıtım Sisteminde Sunulan Elektrik Enerjisinin Tedarik Sürekliliği, Ticari ve Teknik Kalitesi Hakkında Yönetmelik” e göre yapılmaktadır [12,13]. Harmonik ölçüm ve sınır değerleri “Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenirliği ve Kalitesi Yönetmeliği” ile “Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği” tarafından belirlenmektedir. Akım harmonik sınır değerleri Elektrik İletim Sistemi Arz

Güvenirligi ve Kalitesi Yönetmeliği'nde, gerilim harmonik sınır değerleri de Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği'nde yer almıştır [12,13].

Tablo 1, 2 ve 3 te harmoniklere ilişkin sınır değerler gösterilmiştir. Tablo 1'de akım harmonikleri için toplam harmonik bozunumunun (THB) ve toplam

talep bozunumunun (TTB) sınır değerleri verilmiştir. Tablo 2'de gerilim kademesine göre gerilim harmonikleri için THB'nin sınır değerleri, Tablo 3'te ise uzun dönem indeksi ( $P_{lt}$ ) ve kısa dönem indeksi ( $P_{st}$ ) olarak kırışmanın sınır değerleri gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Akım harmonikleri için maksimum yük akımına göre sınır değerler

Tek Harmonikler						
$I_{sc}/I_L$	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TTB
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Çift harmonikler, kendinden sonraki tek harmonik için tanımlanan değer %25'i ile sınırlanmıştır.

**Tablo 2.** Gerilim harmonikleri için sınır değerler

Gerilim kademesine göre gerilim harmonik limitleri		
Bara Gerilimi	Bireysel gerilim harmonik bozunumu THD (%)	Toplam THD (%)
69 kV ve altı	3.0	5.0
69 kV -161 kV	1.5	2.5
161 kV ve üstü	1.0	1.5

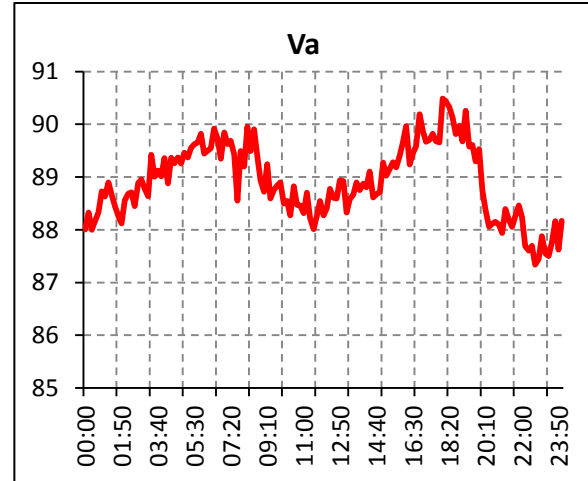
**Tablo 3.** Kırışma şiddeti için sınır değerler

Kırışma Şiddeti Endeksi	Sınır Değerler
$P_{st}$	$\leq 1.0$
$P_{lt}$	$\leq 0.8$

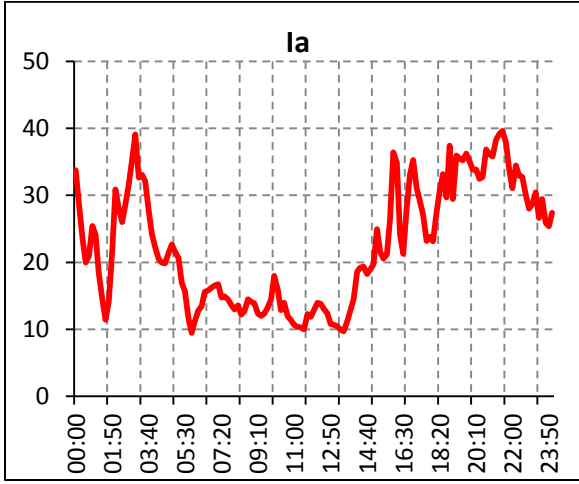
### 3. Ölçüm Sonuçları ve Analizi

Bu çalışmada, fiilen çalışmakta olan bir rüzgar santraline ait aktif, reaktif, görünür güç, gerilim, akım, frekans, güç katsayısı, kırışma ve harmonik gibi bazı güç kalite değerleri ölçülmüş ve değerlendirilmiştir. Ölçümler Hatay ilinde kurulu bulunan BELEN rüzgar santralinde yapılmıştır. Santralde her birinin gücü 3MW olan 12 adet rüzgar türbini bulunmaktadır. Santral toplam kurulu gücü 36 MW tır. Santral çıkış gücü 50 MVA bir transformatörle 154 kV gerilim altında ulusal şebekeye bağlanmıştır.

BELEN RES'de 15.04.2011 tarihinde bir günlük ölçümler yapılmış ve ölçüm kayıtları alınmıştır. Santralin çıkış gerilimi, 154 kV kademesinde tek fazlı olarak ölçülmüştür. Santralin çıkış gerilimi Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'de görüldüğü üzere santral çıkışında ölçülen gerilim değeri 87,4-90,5 kV arasında değişmektedir. EN50160 standardı uyarınca orta gerilim şebekesindeki gerilimin etkin değerinin değişimi  $\pm\%10$  olmalıdır. Dağıtım sistemi operatörleri müşterilerine sağladığı elektriğin gerilim seviyesini değişken yüklenme durumlarına rağmen tanımlı olan limit değerler içerisinde vermek zorundadır.

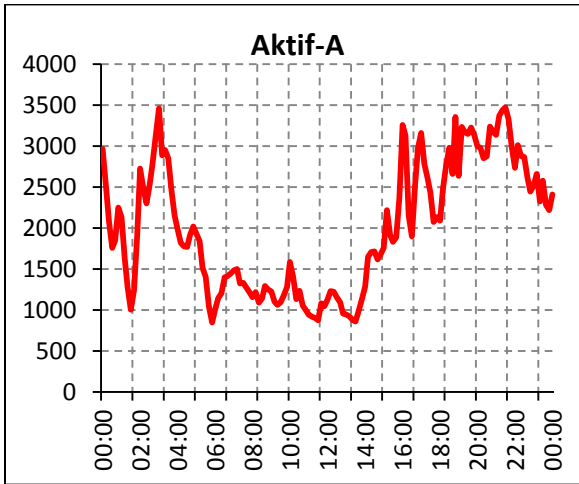


**Şekil 1.** Santral çıkış gerilimi (kV)



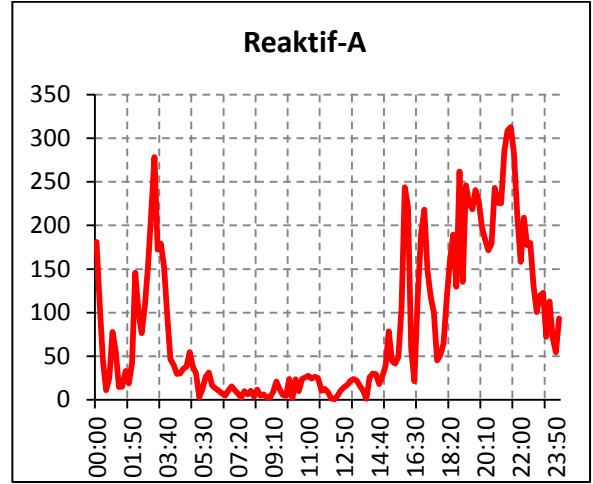
Şekil 2. Santral çıkışı tek faz akım değişimi(A)

Şekil 2’de rüzgar santrali çıkışından ölçümlenen tek fazlı akımın değişim grafiği gösterilmiştir. Santralin çıkış akımı, gün içerisindeki rüzgar değişimine bağlı olarak değişim göstermekte ve değeri 10-40 amper arasında değişmektedir.



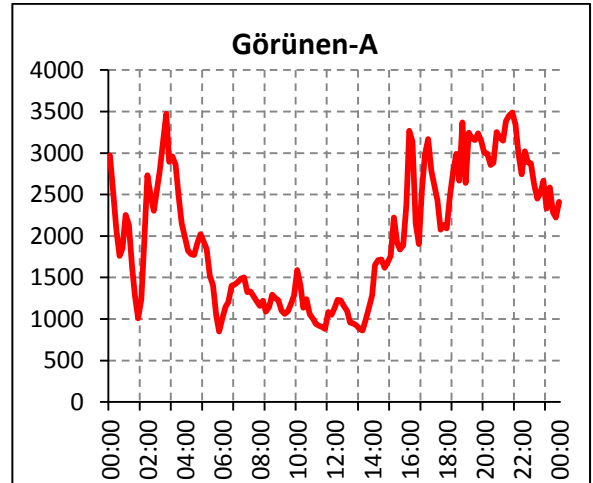
Şekil 3. Santralden üretilen aktif güç (kW)

Şekil 3’de santralde üretilen aktif güç değişimi gösterilmiştir. Değişim aralığı 1000-3500 kW arasındadır. Yine rüzgar hızının değişimine paralel olarak aktif güç değerinde değişimler meydana gelmektedir. Santraldeki aktif güç değişimi, rüzgar hızı değişiminin küpü ile orantılı şekilde değişim göstermektedir. Bu sebeple rüzgar santralleri enerji arzı ve planlaması bakımından güçlükler meydana getirmektedir.



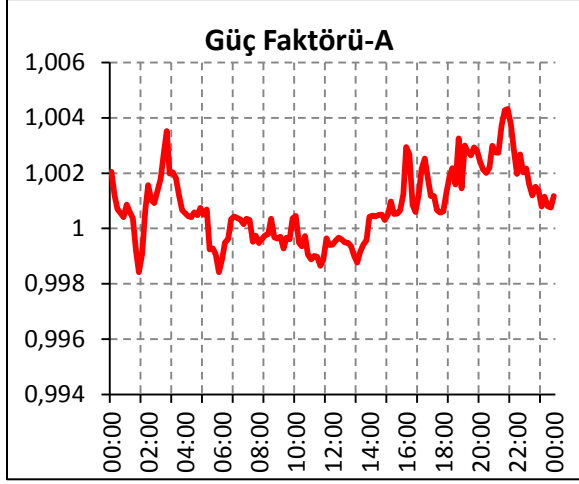
Şekil 4. Santral çıkışı reaktif güç değişimi (kVAr)

Şekil 4’de rüzgar santralinde üretilen reaktif güç değişimi gösterilmiştir. Değişim aralığı 0-300 kVAr arasında değişmektedir. Reaktif güç dengesi tüketici kısmında bulunan kapasitif ve endüktif bileşenler arasındaki alışverişe bağlı olarak değişmektedir. İletim hatlarında meydana gelen kapasitif etki ve tüketici tarafına bağlı bulunan kondansatörler kapasitif reaktif güç üretimine katkıda bulunurlarken, transformatör ve motorlarda endüktif reaktif enerji tüketilmektedirler. Pratikte reaktif güç dengesini sağlamak için tüketici endüktif yüklere yakın noktalara kompanzasyon sistemleri kurulma zorunluluğu vardır.



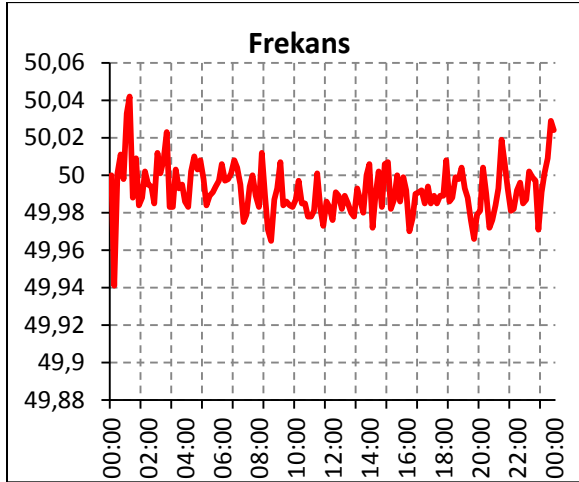
Şekil 5. Santralden üretilen görünür güç (kVA)

Şekil 5’de santral çıkışında ölçülen görünür güç değişimi gösterilmiştir. Değişim aralığı 1000-3500kVA arasındadır. Santral çıkış gücü normalde görünür güç cinsinden ifade eldir. Bu güç içerisinde hem aktif hem de reaktif gücü barındırmaktadır. Yani bu iki gücün bileşkesinden meydana gelmiştir. Fakat santralin asıl ürettiği aktif güç önemli olduğundan santral kurulu gücü aktif güç cinsinden tanımlanır.



Şekil 6. Santral çıkışında ölçülen güç faktörü

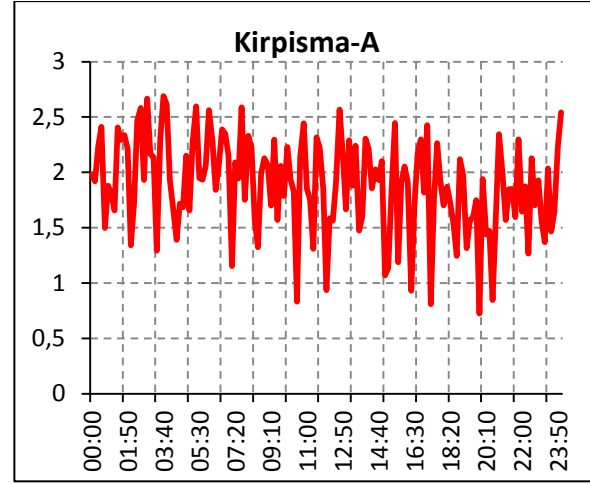
Şekil 6'da santral çıkışında ölçülen güç faktörü değişimi gösterilmiştir. Değişim aralığı 0,998-1,004 arasındadır. Güç faktörü santralde üretilen toplam görünür güç içindeki aktif gücün payını gösteren çok önemli bir parametredir. İdeal durumda 1 olması gerek bir değerdir. Fakat pratikte bu değere erişilemez. Değerin 1 in altında olması endüktif üstünde olamsı ise kapasitif çalışma durumunu belirler. Ölçümlenen güç faktörü değeri, parasal ceza sınırına girmemiştir.



Şekil 7. Santral çıkışı frekans değişimi

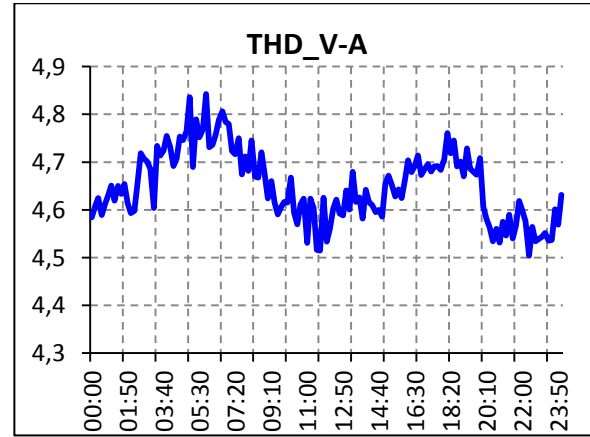
Şekil 7'de santralde üretilen enerjinin frekansının değişimi gösterilmiştir. Değişim aralığı 49,94-50,04Hz. arasındadır. Elektrigin kalitesinin göstergelerinden birisi olan frekans, üretim ve tüketimin dengede olması durumundaki nominal değeri 50.00 Hz dir. Şebekedeki elektrik frekansı, senkronize generatörlerin dönme hızının bir ölçümü olarak tanımlanmaktadır. Üretimin tüketimden fazla olmasında frekans yükselir, az olması durumunda ise düşer. UCTE (Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity) standartlarında frekans sapması  $\pm 20$  mHz iken ülkemizde yaklaşık  $\pm 100$  mHz dir.bu standartlar dikakte alındığında, ölçülen

frenaks değerlerinin limit değerler içerisinde olduğu görülmektedir.

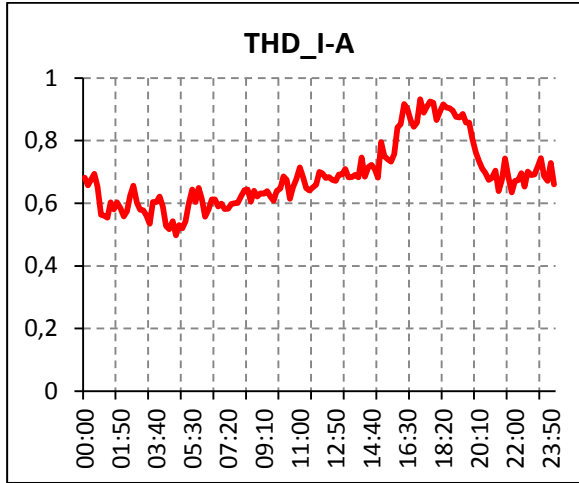


Şekil 8. Ölçülen kırpışma değışımi grafiğı

Şekil 8'de rüzgar santralinde üretilen enerjiye ait ölçülen kırpışma değeri gösterilmiştir. Gerilim seviyesindeki ani değışimler gerilim dalgalılığı olarak tanımlanmaktadır. Bu dalgalanmalar aydınlatma cihazlarında bazen yeterli süre ve frekansta olduğı zaman fliker adı verilen insan gözünü rahatsız eden etkiyi yapmaktadırlar. IEC 61000-4-15 standardında fliker ölçümü için belirli normlar belirlenmiştir. Anlık fliker seviyesi hesaplanamadığı için istatikselsel hesaplama yöntemi geliştirilmiştir. Kısa dönem fliker rahatsızlığı olarak tanımlanan Pst indeksi 0 ile 1 arasında değışmektedir. Tablo3 de kırpışma sınır değeri gösterilmiştir. Kısa dönem fliker rahatsızlığı değeri hesaplanmaktadır. EN50160 standardı uyarınca Plt değeri 1'in altında olmalıdır[11-13]. Özellikle rüzgar türbinlerinde, kanatların kule hizasında geçerken aerodinamik momentin azalması ve türbin kanatlarında salınım oluşturması, rüzgar hızındaki değışimler ve santralin devreye girip çıkması durumları şebekede fliker etkisinin hissedilmesini sağlayan en önemli etmenlerdir[3].



Şekil 9. Santral çıkışı birinci faz gerilimi THB değışımi (%)



Şekil 10. Santral çıkışı birinci faz akımı THB değişimi (%)

Şekil 9 ve 10'da sırasıyla şebeke çıkışında ölçülen gerilim ve akıma ait toplam harmonik bozunumu değişimleri gösterilmiştir. Harmonikler akım ve gerilim dalga şekillerinin ideal sinüzoidal formundan uzaklaşmasının bir ölçütü olarak tanımlanır. Harmonik seviyesini belirlemek için gerilim ve akım için ayrı ayrı olmak üzere toplam harmonik bozunum limit değerleri IEEE 519-1992 standartlarında belirlenmiştir[10]. Tablo 1 ve 2 de gerilim ve akım harmonik sınır değerleri gösterilmiştir. Bu değerlere göre 69-160 kv arası gerilimler THD değeri %2,5 olarak tanımlanmıştır. Akımın THD değeri ise %5 i geçmemelidir. Bu limit değerler dikkate alındığında, ölçüm sonuçlarına göre gerilimde limit değerinin üstüne çıkmış akımda ise limitin altında kalmıştır.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada toplam kurulu gücü 36 MW olan ve üretim yapmakta olan bir rüzgar santrali çıkışındaki güç kalitesi parametreleri ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları EN 50160 standartlarına göre değerlendirilmiştir. Ölçümlerde gerilim, akım, aktif, reaktif, görünür güçler, frekans, kırpışma harmonik, güç faktörü gibi büyüklükler incelenmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre gerilime ilişkin toplam harmonik bozunumu (THB-V) değerinin standart limiti aştığı, akım harmonik bozunum (THB-I) değerinin ise standart sınırlar içerisinde kaldığı görülmüştür. Aynı şekilde frekans, kırpışma ve güç faktörü değerlerinin de sınır değerler içerisinde olduğu belirlenmiştir. Ölçüm sonuçlarında, diğer güç değerlerine ilişkin herhangi bir olumsuz etkiye rastlanmamıştır.

#### KAYNAKLAR

[1] M. Sekkeli, "Investigation of Power Quality Impact on the Textile Factories, Electronic

Journal of Textile Technologies", 3(3):1-11, 2009.

- [2] M. Şekkeli, A.S. Yılmaz, "Bir taş kırma tesisinde güç kalitesi seviyesinin ölçümü ve değerlendirilmesi", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15(3):317-323, 2009.
- [3] A. Tascikaraoglu, M. Uzunoglu, B. Vural, O. Erdinc, "Power quality assessment of wind turbines and comparison with conventional legal regulations: A case study in Turkey", Appl. Energ., 88:1864-1872, 2011.
- [4] C. Kocatepe, A.Inan, O. Arıkan, R. Yumurtacı, B. Kekezoğlu, M. Baysal, A. Bozkurt, Y. Akkaya, "Power quality assessment of grid-connected wind farms considering regulations in Turkey", Renew. Sust. Energ. Rev., 13:2553-2561, 2009.
- [5] O.S. Mutlu, E. Akpınar, A. Balıkcı, "Power quality analysis of wind farm connected to Alacatı substation in Turkey", Renew. Energ., 34: 1312-1318, 2009.
- [6] C. Sankaran, "Power Quality", Crc press, New York, 2002.
- [7] Kocatepe C., Uzunoğlu M., Yumurtacı M., Karakas A., Arıkan O., "Elektrik Tesislerinde Harmonikler", Birsen Yayınevi, İstanbul, Kasım 2003.
- [8] F. Alessandro, "Measuring electric power quality: Problems and perspectives", Measurement, 41: 121-129, 2008.
- [9] S. Adak, "Elektrik Tesislerinde Kirlilik ve Harmonikler", Kaynak Elektrik Dergisi, Sayı 162: 116-121, 2002.
- [10] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems. IEEE Standard 519-1992, USA, 1992.
- [11] Yönetmelik, EN 50160: Standard "Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems", 1999.
- [12] "Elektrik Piyasasında Dağıtım Sisteminde Sunulan Elektrik Enerjisinin Tedarik Sürekliliği, Ticari Ve Teknik Kalitesi Hakkında Yönetmelik". Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), 2006.
- [13] Elektrik Dağıtım Ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), 2012.
- [14] UCTE ( Union for the Coordination of the Transmission of Electricity), <https://www.entsoe.eu/>, (23.03.2013).