

ORGANİZE SANAYİ BÖLGELERİNDE ENERJİ KALİTESİ GÖRÜNÜMÜ VE KÂHTA OSB'DE ENERJİ KALİTESİ UYGULAMA ÇALIŞMALARI

Ömer ÇELEBİ

omercelebiresmi@gmail.com

Elektrik Kontrol Mühendisi, Kâhta Organize Sanayi Bölgesi Müdürlüğü,
Kâhta, Adıyaman, Türkiye

ÖZET

Güç kalitesi özellikle sanayideki kâr marjını ve enerji verimliliğini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Sanayimizin büyümesi, elektrik enerjisine olan talep ve teknolojinin gelişmesine paralel olarak artan güç problemleri enerjide kalite arayışlarını da beraberinde getirmektedir. Kullanımı artan teknolojik cihazlar için kesintisiz ve daha kaliteli enerji talebi güç elektroniği elemanlarının kullanımının artışıyla beraberinde artmaktadır. Bu pasif devre elemanları özellikle birçok akım dalga formunda sapmalara sebebiyet vermekte ve güç kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu bildiride ise birbirine çok yakın aralıklara transformatör kurulumlarının yapıldığı ve aktif enerji tüketiminin az olduğu dağıtım lisansı sahibi OSB'lerde enerji kalitesi görünümü incelenmiş ve reaktif güç problemi yaşayan Kâhta Organize Sanayi Bölgesi'nde yapılan reaktif güç kontrol uygulama çalışması örnek olarak sunulmuştur. Yapılan uygulama çalışmasında enerji kalitesi düşük ve güç dengesizliği yaşayan Kâhta OSB'nin enerji kalite ölçümleri OSOS üzerinden yapılarak yapılan uygulamanın güç katsayısını ve kalitesini düzelttiği gözlemlenmiştir. Organize Sanayi Bölgelerinin dağıtım sistemlerinde enerji arz güvenliğinin mutlak surette sağlanması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Dağıtım Lisansı, OSB, Enerji Kalitesi, Reaktif Güç Kontrolü

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte, yarı iletken ürünlerin (tristör, diyot, IGBT vb.) ve kondansatör pasif devre elemanlarının, kullanılan cihazlara entegre edilmesi ile beraber akım dalga formunda ideal sinüsten sapmalar meydana gelmeye başlamıştır. Enerji kalitesi, uluslar arası standartlara uygun olarak ölçümü veya analizi yapılmış değerlerin bu standartlara uygun olup-olmama durumudur.

Enerji kalitesini şöyle de tanımlayabiliriz: Gerilim, akım ve frekanstaki herhangi bir değişim ile tespit edilen problemin, kullanıcının sisteminde bir arıza veya istenmeyen bir çalışma şeklini oluşturmamasıdır [1]. Enerji veya güç kalite kontrolü her ne

kadar tüketici tarafından düşünülen bir uygulama olduğu varsayılsa da artık enerji kalitesi üretim, iletim, dağıtım şebeke yönetimlerinin de ilgi odağı haline gelmiştir. Özellikle dağıtım lisansı alarak enerji dağıtımına başlayan OSB'lerin en çok karşılaştığı enerji arz güvenliği sorunu sanayicileri etkilemektedir.

EPDK tarafından 9 Ocak 2007 tarihli ve 26398 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik'in bazı maddelerinde değişiklikler yapılarak dağıtım lisansına sahip tüzel kişileri de bağlamaktadır.

Ayrıca dağıtım şirketlerinin, 22.01.2003 tarihli ve 25001 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği'nde belirtilen sınırlar ve TS EN 50160 standardı çerçevesinde enerji kalitesine ilişkin aşağıdaki şartları yerine getirmekle yükümlü olduğu belirtilmiştir. Buna göre alçak gerilim seviyesi için, ölçüm periyodu boyunca ölçülen gerilim etkin değerlerinin 10'ar dakikalık ortalamalarının; en az %95'i, nominal etkin gerilim değerinin en fazla %10'u kadar, tamamı ise nominal etkin gerilim değerinin en fazla %10-%15'i aralığında değişmelidir. Orta gerilim seviyesi için; ölçüm periyodu boyunca IEC 61000-4-30'da tanımlanan ölçüm periyodu boyunca ölçülen gerilim etkin değerlerinin 10'ar dakikalık ortalamalarının en az %95'i nominal etkin gerilim değerinin en fazla (+-) %10'u kadar değişmelidir.

Dağıtım lisansı sahibi OSB'ler için bir rehber olacak bu bildiri de enerji kalitesi için örnek bir uygulama yapılarak sonuçları üzerinden analizler yapılmıştır.

2. ENERJİ KALİTESİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER

Kalitesiz enerji gerilimin genliğinin değişmesi, kesintiye uğraması, darbeler içermesi, dengesizlik içermesi, frekansta değişikliklerine sahip olması ve akım dalga formununun sinus formundan uzaklaşmasıdır. İdeal olan enerji kesintisiz, sabit frekanslı ve harmoniklerin minimize edildiği şebekelerdir. Enerji kalitesini etkileyen parametreler ise şunlardır:

- ✓ **Gerilim düşmesi (Sag):** Gerilimin bir tam dalgadan daha uzun bir süre %90'dan küçük bir değere düşmesi olup, Nedeni şebeke yetersizliği, aşırı yüklenme, büyük güçlü

motorlara yol verilmesi ve kısa devre arızalarıdır.

- ✓ **Gerilim yükselmesi (Swell):** Gerilimin bir tam dalgadan daha uzun bir süre %110'dan daha büyük bir değere yükselmesi olup, nedeni yük azalması ve şebekedeki ölçü ve ayar zayıflığıdır.
- ✓ **Kesinti (Outage):** En az bir yarım dalga ve en çok 1 dakika boyunca nominal gerilimin %90 altına düşmesi olup, nedeni şebeke arızalarıdır.
- ✓ **Gerilim dengesizliği:** Faz gerilimlerinin birbirlerine karşı farklı değerlere sahip olmasıdır ve en çok sapma gösteren fazın, faz ortalamasına oranı için müsaade edilen en çok dengesizlik EPDK Dağıtım yönetmeliğinde %10 olarak belirlenmiştir. Nedeni genellikle büyük güçteki tüketicilerden kaynaklanan akım dengesizlikleri ve kapasitör grubundaki faz arızalarıdır.
- ✓ **Frekans değişimi:** Frekansın anma değerinden sapması olup sistemi besleyen üreteçlerin açısal hızı ile ilişkili olup, Nedeni elektrik şebekesi ve jeneratörlerin ölçü ve ayar düzeneklerinin yetersiz kalmasıdır.
- ✓ **Çentik (Notch):** Normal çalışma şartlarında, güç elektroniği cihazlarının bir fazdan diğer faza akım komütasyonu nedeniyle en az bir tam dalgası boyunca oluşan darbe sayısı kadar tekrarlanan gerilim bozulmasıdır.
- ✓ **Transient (Geçici Olay):** Kararlı durumda, arzu edilmeyen ani ve çok kısa süre ile gerçekleşen olaylara Transient denir. Ancak birkaç

milisaniye sürmesine rağmen, ani yükselmesi nedeniyle etkisi çok yüksek olup, genellikle yıldırımlardan, kapasitörlerden ve büyük yüklerden kaynaklanır.

- ✓ **Harmonikler:** Temel frekans olarak adlandırdığımız sistem çalışma frekansının (50 / 60 Hz) tam katı frekanslardaki sinuoidal akım ve gerilimlerdir. Bozulmuş dalga şekli Fourier dönüşümü yardımı ile bileşenlerine ayrılmış temel frekans ve harmoniklerin toplamı olarak ifade edilir.
- ✓ **Kırışma (Fliker):** Yükteki dalgalanmaların meydana getirdiği ve aydınlatma armatürlerinde kırışmaya yol açan 50 Hz altındaki gerilim salınımlarıdır. Fliker şiddeti gerilim dalgalanmasının genliğine, şekline ve tekrarlanma sıklığına bağlı olup özel bir takım gerilim değişimleri için doğru bir yaklaşımla tahmin edilebilmesi mümkündür.

3. ENERJİ KALİTESİ YÖNETMELİKLERİ

EPDK'nın Eylül 2006'da yayımlanan "Elektrik Piyasasında Dağıtım Sisteminde Sunulan Elektrik Enerjisinin Tedarik Sürekliliği, Ticari ve Teknik Kalitesi Hakkında Yönetmelik" isimli yönetmeliği, dağıtım lisansına sahip tüzel kişilere teknik kalite yönünden bir takım sorumluluklar getirmektedir. OSB'ler de dağıtım lisansına sahip olduklarından bu yönetmelikte belirtilen şartları sağlamakla yükümlüdürler. Teknik kalite yönetmeliği, temel olarak gerilim karakteristikleri (gerilim etkin değerlerindeki değişim, gerilim dengesizlikleri, gerilim harmonikleri) yönünden EN 50160 standardına, akım

harmonikleri yönünden IEEE Std.519-1992 standardına ve fliker etkisi yönünden IEEE Std.1453-2004 standardına atıfta bulunmakta ve bu standartlarla belirlenen limitlerin sağlanmasını zorunlu kılmaktadır [2].

EN50160 yönetmeliği, normal işletme koşulları altında çalışan orta ve alçak gerilim elektrik dağıtım sistemlerinde, müşteriler için ortak bağlantı noktalarındaki (point of common coupling) asıl gerilim parametrelerini ve bunların izin verilebilir değişiklik aralıklarını vermektedir [3].

Tüketici yönünden yönetmeliği incelediğimizde ise dağıtım sistemi kullanıcıları IEEE Std.519-1992 standardında belirtilen akım harmonikleri, sınır değerlerine uymakla yükümlüdürler. Bu standartta bireysel akım harmoniklerinin yanında toplam talep bozulunun (TDD) limitleri maksimum kısa devre akımının, maksimum yük akımına oranına bağlı olarak belirtilmektedir. Kullanıcıların belirtilen akım harmonik değerlerine uyup uymadığı faturalandırmaya esas ölçüm noktasında yapılan ölçümlerle belirlenir. OSB yönetimi tarafından tüketicilerden harmonik ölçüm değerleri talep edildiğinde, tüketici ölçüm için gerekli özelliklere sahip cihazları tesis etmekle ve sonuçları OSB yönetimine sunmakla yükümlüdür [2].

İletim sistemi kullanıcıları (OSB'ler, dağıtım şirketleri vb.) Elektrik Şebeke Yönetmeliği Madde-9, 11, 12 ve 13'te belirtildiği üzere gerilim harmonikleri, kırışma, faz dengesizliği ve akım harmoniklerini sürekli ve kesintisiz bir şekilde kaydedebilecek IEC 61000-4-30 A sınıfı standardına uyumlu ölçüm aletlerini tesis ve işletmekle yükümlüdürler [4].

4. OSB'LERDE ENERJİ KALİTESİ GÖRÜNÜMÜ

4562 sayılı Organize Sanayi Bölgeleri Kanunu'na göre kurularak tüzel kişilik kazanan OSB'ler, onaylı sınırları içerisinde katılımcılarının ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla 20/2/2001 tarihli ve 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nun 2'nci maddesinin 4'üncü fıkrasının (g) bendi kapsamında ve buna dayanılarak 29.12.2006 tarihinde yayımlanan "Organize Sanayi Bölgelerinin Elektrik Piyasası Faaliyetlerine İlişkin Yönetmelik" gereğince Dağıtım ve Üretim Lisansı olarak ürettiği veya serbest tüketici sıfatıyla temin ve tedarik ettiği elektrik enerjisinin katılımcılarının kullanımına sunulması hizmetini yaparlar.

Dağıtım lisansı alan OSB'ler, "Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği" çerçevesinde dağıtım şirketlerince yerine getirilen yükümlülükleri onaylı sınırları içerisinde münhasır olmak üzere yerine getirmekle üretim lisansı alan OSB'ler de Elektrik Piyasası Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği çerçevesinde üretim şirketlerinin yükümlülüklerini yerine getirmekle yükümlüdürler.

Organize Sanayi Bölgelerinde özellikle karma OSB'lerde güç elektroniği elemanlarının farklı sektörler için çeşitlilik göstermesi kuşkusuz enerji kalitesini etkilemektedir. Birbirine çok yakın mesafede kurulan transformatör tesisleri, OSB'lerde kurulumu son zamanlarda artan fotovoltaik sistemler hem sanayici hem de OSB yönetimi için enerji kalitesi arayışlarını beraberinde getirmektedir.

Organize Sanayi Bölgelerinde yoğun bir şekilde bulunan ark ocakları, kaynak makineleri şebeke kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bununla beraber sanayi tesislerinde bulunan jeneratörler,

kesintisiz güç kaynakları, invertörler, motor hız kontrolleri, redresörler, anahtarlamalı güç kaynaklarına sahip alıcılar, elektronik balastlı ampuller gibi birçok güç elektroniği materyalleri harmonik üreten sistemler olduğundan OSB'lerde enerji kalitesini doğrudan etkilemektedir.

Türkiye'nin güney sanayi bölgelerinde güç kalitesi üzerine yapılan bir araştırmada [5] tüketicilerden gelen şikâyetlerin hemen hemen yarısı gerilim düşümü veya yükselmesinden kaynaklandığı, gerilim değişimlerinden sonra en çok rastlanan sorunun ise harmonik bozulmanın olduğu, bunu kablo ve topraklama problemleri takip ettiğini, çoğu güç kalitesi problemi elektrik dağıtım şirketinin sunduğu güçten olmadığını, tüketicinin kendi kullandığı donanım ve cihazlardan veya komşu bir tüketicinin kullanımından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Demir-çelik endüstrisinin yoğun olduğu bölgelerde kırpışma sayıları yüksektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının yoğunlaştığı coğrafyalar incelendiğinde sisteme verilen harmonikler dikkat çekicidir. Büyük güçlerde dengesiz yüklenmenin olduğu fiderlerde gerilim dengesizliği değerleri yüksek çıkmaktadır. [6]

OSB'lerin enerji bağlantı noktası genellikle TEİAŞ Trafo Merkezlerinde olduklarından iletim hatları ve gerilim indirici komponentler Organize Sanayi Bölgelerinin enerji kalitesini doğrudan etkilemektedir. Mümkün oldukça yeni kurulacak OSB'lerde TEİAŞ'a yakın olması enerji kalitesi açısından önemli bir paradigmadır.

5. KÂHTA OSB'DE ENERJİ KALİTESİ UYGULAMA ÇALIŞMALARINI VE ANALİZİ

Kâhta Organize Sanayi Bölgesi Müdürlüğü'nün EPDK'dan 17.03.2016 tarih ve ED-OSB/6153-1503463 lisans numarasıyla aldığı dağıtım lisansı ile bölgede görevli dağıtım şirketi ile bağlantı anlaşması yapmış, tedarik ettiği enerjiyi tek dijital sayaç üzerinden enerji olarak onaylı sınırları içerisinde bulunan katılımcılarına elektrik dağıtım faaliyetine başlamıştır.

reaktif yükün yaklaşık 5 km'lik 36 kV XLPE ring ağı etkilediği tespit edilmiştir. Şöyle ki, OSB'nin demand değeri 1.6 MW olmasına rağmen her fabrika kendi kompanzasyon sistemini kurarak güç katsayısını düzeltmiş buna bağlı olarak da OSB Müdürlüğü'ne ait kompanzasyon hesaplaması yaparken OSB'den toplam çekilen güç miktarı yerine hat başında bulunan sayaçtan endeksler alınarak analizler yapılmıştır.

Şebeke güç faktörü yönünden iyileştirme yapılmadan önce ilk gelen

Çizelge 5.1. 20,3/35 kV XLPE İzoleli Tek Damarlı XPLE Kabloları

Boyut ve Ağırlıklar					Elektriksel Bilgiler							
Nominal Kesit	Dış Çap Yaklaşık	Net Ağırlık	Standart Serv. Uzunluğu	Standart Serv. Makara Ölçüleri	20 °C'de maks. iletken direnci	İletken başına endüktans (yaklaşık)		İşletme kapasitesi (yaklaşık) 20 °C 'de	Akım taşıma kapasitesi (yaklaşık)			
(mm ²)	(mm)	(kg/ km)	(m)	(cm)	(ohm/ km)	(mH/km)		(mikrofarad/km)	Toprakta (A) 20 °C'de		Havada (A) 30 °C'de	
						☐	☐		☐	☐	☐	☐
1x35/16 mm	34,0	1300	1000	180	0,524	0,77	0,51	0,11	200	190	238	198
1x50/16 mm	35,0	1450	1000	190	0,387	0,75	0,49	0,12	240	225	286	238
1x70/16 mm	37,0	1700	1000	190	0,268	0,71	0,46	0,13	300	225	356	296
1x95/16 mm	39,0	2000	1000	200	0,193	0,69	0,44	0,15	360	275	434	361
1x120/16 mm	40,0	2350	1000	210	0,153	0,66	0,42	0,16	420	330	500	417
1x150/25 mm	42,0	2750	1000	210	0,124	0,64	0,41	0,17	475	375	559	473
1x185/25 mm	44,0	3100	1000	220	0,0991	0,63	0,39	0,18	542	420	637	543
1x240/25 mm	47,0	3800	1000	220	0,0754	0,60	0,38	0,20	590	470	745	641
1x300/25 mm	49,0	4500	1000	230	0,0601	0,59	0,37	0,21	620	550	846	735
1x400/35 mm	52,0	5450	500	230	0,0470	0,57	0,35	0,23	670	586	938	845
1x500/35 mm	56,0	6550	500	220	0,0366	0,55	0,34	0,26	770	760	1040	950
1x630/35 mm	60,0	8100	500	220	0,0283	0,52	0,33	0,29	850	840	1120	104

Kaynak: Öznur Kablo

Ancak dağıtım faaliyetlerine başladıktan sonra reaktif güç dengesinin kapasitif reaktif oranda arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan analizlerde tekstil ve gıda ağırlıklı karma olan Kâhta Organize Sanayi Bölgesi'nde tüm fabrikaların minimum seviyede aktif güç tüketmelerine rağmen 'kapasitif reaktif güç/aktif güç' oranının %38'in altına düşmediği gözlemlendiğinden

fatura endeksleri:

Aktif Tüketim: 404.353,80 kWh
Endüktif Reaktif Tüketim: 0,00 kVARh
Kapasitif Reaktif Tüketim: 155.250,00 kVARh

(AKEDAŞ, 31.12.2016, Z 002831 fatura)

Kapasitif Reaktif/Aktif oran %38 olduğundan faturaya yansıtılan reaktif ceza bedeli: 23.820,16 TL'dir.

5.1. XLPE Kablolarının Kapasitif Reaktif Yük Etkisi

XLPE kabloların yapısında bulunan bakır iletkenler ve izole kılıf yüzünden 'kondansatör' etkisi yaparak kapasitif reaktif üretirler. Aşağıdaki formülde bir kablo üreticisinin katalogunda bulunan değerler göz önüne alınarak 1 km yer altı 36 kV 1x240 mm² XLPE kablosunun ürettiği kapasitif reaktif yük miktarı hesaplanmıştır. [7]

XLPE tipi kablolarının kapasitif reaktif yük miktarını hesaplamak için;

$$Q_c = \sqrt{3}xUxI_c \quad (1)$$

$$X_c = \frac{1}{2x\pi x f x C} \quad (2)$$

Burada Q_c, kapasitif yükü
U, işletme gerilimini
I_c, akımı
X_c, kapasitif reaktansı ifade etmektedir.

Bu formüllerden kapasitif yük hesaplanabilir.

Tek damarlı, bakır iletkenli 1x240 mm² XLPE kablosunun 1 km'de oluşturduğu kapasitif reaktif yükü hesaplamak için Çizelge 5.1'de 1x240 mm² XLPE kablosunun C= 0.20 µF/km olduğu görülmektedir.

Formülde değerleri yerleştirdiğimizde;

$$I_c = \frac{Ux2x\pi x f x C}{\sqrt{3}} x L \quad (3)$$

$$= \frac{31500x2x3,14x50x0,20x(10^{-6})}{\sqrt{3}} x 1$$
$$= 1.142 \text{ A/km}$$

π=3,14 (Pi sayısı)

f=50 Hz (Şebeke Frekansı)

U=31.500 Volt (İşletme Gerilimi)

C= 0.20 µF/km (Çizelge 5.1-İşletme Kapasitesi)

L= 1 km (Uzunluk)

(1) Denklemden gösterilen;

$$Q_c = \sqrt{3} x 31.500 x 1.142 =$$
$$62.31 \text{ kVAr} \text{ bulunur.}$$

Yani tek damarlı 1 km yer altı 36 kV 1x240 mm² XLPE kablo 62.31 kVAr kapasitif reaktif güç ürettiği hesaplanmıştır.

Kâhta Organize Sanayi Bölgesinde 5 km 1x240 mm² XLPE ağın olduğu hesaplanırsa toplamda 5 x 62.31 = **311.55 kVAr** kapasitif reaktif yükün şebekeye etkileyeceği sonucuna varılmıştır.

5.2. Şönt Reaktörlerin Şebekeye Endüktif Yük Üreticisi Olarak Devreye Alınması

Şebekede her ne kadar aktif gücün maximum seviyelere ulaştığı hafta içi ve mesai saatlerinde güç katsayısının iyileşeceği öngörülse de mesai saatleri dışı ve hafta sonu dâhil olmak üzere aktif gücün ani düşüşü ile kapasitif reaktif yükün arttığı gözlemlenmiştir.

Kâhta Organize Sanayi Bölgesi'nde meydana gelen kapasitif reaktif yüklerin dengelenmesi ve yukarıda XLPE kaynaklı oluşan değerler hesaplanarak Organize Sanayi Bölgesinin giriş dağıtım merkezine ilk etap olarak güç kompanzasyon sistemi kurularak güç kalitesi çalışması yapılmıştır.

Buna göre;

✓ 6 adet trifaze 25 kVAr

- ✓ 1 adet trifaze 15 kVAr
- ✓ 6 adet monofaze 10 kVAr toplamda 225 kVAr'lık şönt reaktörler, 30 kVAr'lık iki adet endüktif yük sürücüsü ve altı kademeli kompanzasyon panosu güç kontrol rölesi yardımıyla sisteme dâhil edilerek kapasitif reaktif yükler düşürülmeye çalışılmıştır.

Ancak yapılan ölçümlerde kapasitif reaktif oranının %10'lara kadar düştüğü tespit edilerek diğer dağıtım merkezlerine de;

- ✓ 2 adet trifaze 20 kVAr
- ✓ 3 adet trifaze 25 kVAr

şönt reaktörler sabit güç üreten sistem olarak eklenmiştir. Toplamda 340 kVAr şönt reaktörler ürettiği yükler gözlemlenerek tekrar yapılan ölçümlerde kapasitif reaktif oranının %2'lere kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Buna paralel olarak endüktif reaktif oranında kısmi artış olduğu incelenmiştir. Şebekedeki bu iyileşmenin toplamda KDV dâhil 82 bin 600 liraya maliyeti olmuştur.

Ayrıca EPDK tarafından yayınlanan Dağıtım Lisansı Sahibi Tüzel Kişiler ve Görevli Tedarik Şirketlerinin Tarife Uygulamalarına İlişkin Usul ve Esaslar Yönetmeliğinin 13. Maddesi uyarınca; "Kurulu gücü 50 kVA'nın altında olan müşteriler, çektikleri aktif enerji miktarının yüzde otuzüçünü aşan şekilde endüktif reaktif enerji tüketmeleri veya aktif enerji miktarının

yüzde yirmisini aşan şekilde kapasitif reaktif enerji vermeleri halinde; kurulu gücü 50 kVA ve üstünde olanlar ise, çektikleri aktif enerji miktarının yüzde yirmisini aşan şekilde endüktif reaktif enerji tüketmeleri veya aktif enerji miktarının yüzde onbeşini aşan şekilde sisteme kapasitif reaktif enerji vermeleri halinde, reaktif enerji tüketim bedeli ödemekle yükümlüdür" [8] denildiğinden herhangi bir reaktif bedel ödeme durumu da ortadan kaldırıldı.

5.3. Enerji Kalitesi Ölçümleri

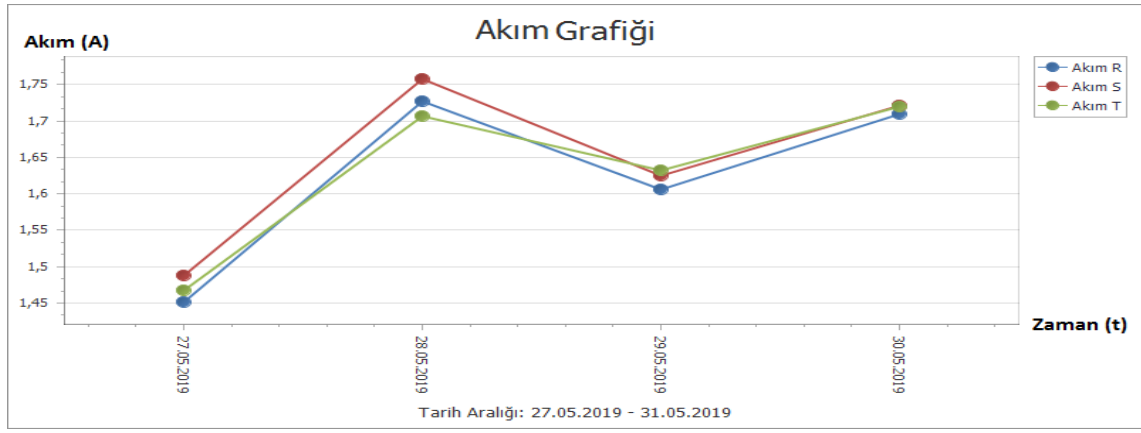
Kâhta Organize Sanayi Bölgesi'nin enerji kalite ölçüm analizleri Otomatik Sayaç Okuma Sistemi (OSOS) üzerinden C510.AMT.2256. RS485 tipi 65004201 seri numaralı Makel marka elektronik kombi sayaç ile yapılmıştır. Ölçüm analizlerinde anlık ve belli periyotlardaki akım-gerilim hesaplaması, gerilim dalgalanmasının kaydı, reaktif güç değişimi, anlık Cosφ ve frekans değerleri ile harmonik ölçümleri yer alacaktır.

5.3.1. Akım-Gerilim Ölçümleri

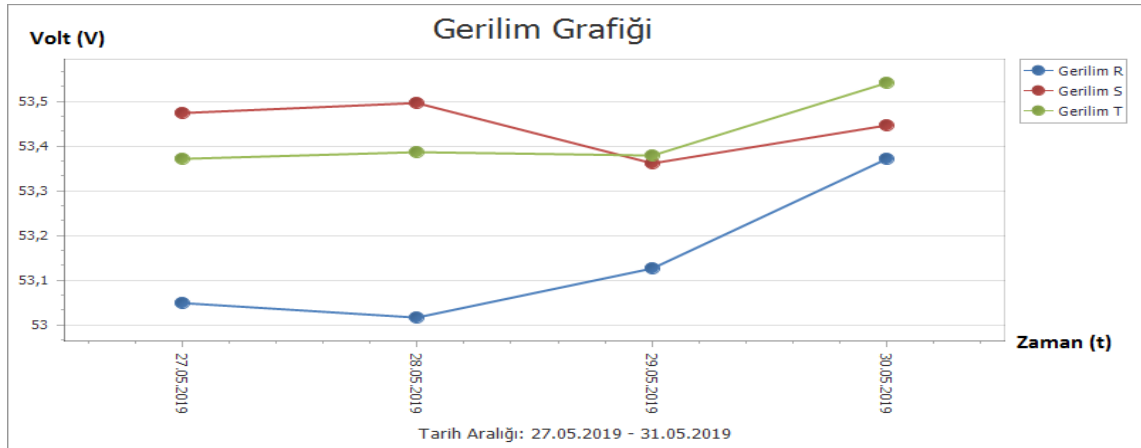
Öncelikli olarak sistemin 27-31 Mayıs tarihleri arasındaki gerilim değerleri ölçülmüş. Sag ve Swell olayının olmadığı görülmektedir. (Bkz. Çizelge 5.2, Şekil 5.1 ve Şekil 5.3). Ayrıca 11 Haziran 2019 tarihinde saat tam 17:01:47'de anlık olarak gerilim değeri ölçülmüştür. (Bkz. Çizelge 5.3)

Çizelge 5.2. 27-31 Mayıs tarihleri arasında ölçülen akım-gerilim değerleri

Sayaç Adı	R-Akım (A)	S-Akım (A)	T-Akım (A)	R-Gerilim (V)	S-Gerilim (V)	T-Gerilim (V)	Kaynak	Tarih	#
KAHTA OSB	0,447	0,45	0,452	52,8	53,3	53,2	Readout	27.05.2019 00:30:37	
KAHTA OSB	0,451	0,456	0,45	53,1	53,5	53,4	Readout	27.05.2019 01:30:39	
KAHTA OSB	0,432	0,426	0,43	53,1	53,6	53,4	Readout	27.05.2019 02:27:42	
KAHTA OSB	0,426	0,453	0,433	53	53,5	53,3	Readout	27.05.2019 03:30:38	
KAHTA OSB	0,622	0,645	0,616	53	53,5	53,3	Readout	27.05.2019 04:30:38	
KAHTA OSB	0,638	0,624	0,63	53,4	53,9	53,6	Readout	27.05.2019 05:30:39	
KAHTA OSB	0,472	0,48	0,476	53,6	54,1	54	Readout	27.05.2019 06:30:40	
KAHTA OSB	0,861	0,853	0,973	53,1	53,6	53,4	Readout	27.05.2019 07:30:39	
KAHTA OSB	2,374	2,427	2,368	53,4	53,8	53,6	Readout	27.05.2019 08:30:38	
KAHTA OSB	2,189	2,258	2,205	53,3	53,8	53,5	Readout	27.05.2019 09:30:42	



Şekil 5.1. 27-31 Mayıs tarihleri arasında ölçülen akım değişim grafiği



Şekil 5.2. 27-31 Mayıs tarihleri arasında ölçülen gerilim değişim grafiği

Çizelge 5.3. 11 Haziran tarihinde OSOS'tan ölçülen anlık akım-gerilim değerleri

Tahakkuk Bilgileri	Değer	Obis
Akım R Fazı	02.437*A	31.7.0
Akım S Fazı	02.474*A	51.7.0
Akım T Fazı	02.375*A	71.7.0
Gerilim R Fazı	053.88*V	32.7.0
Gerilim S Fazı	054.01*V	52.7.0
Gerilim T Fazı	054.05*V	72.7.0

Yapılan birçok ölçümde gerilim ölçümlerinde dalgalanmanın çok düşük seviyede olduğu, gerilim dengesizliğinin olmadığı ve faz-faz güç dengesinin standart seviyelerde olduğu analiz edilmiştir.

5.3.2. Reaktif Güç Ölçümleri

5.2. Bölümde anlatıldığı gibi tesislerden kaynaklı oluşan kapasitif reaktif yükün denge seviyesinde olmasından dolayı XLPE kablolarında oluşan kapasitif reaktif yük hesaplanarak Organize Sanayi Bölgesin %50'ye yakın kapasitif yük/aktif yük oranında etkilediği hem matematik hesaplamalardan hem de tedarik şirketine

ait ölçüm cihazından analiz edilmişti. Kâhta OSB'de bu yüklere karşı montajı yapılan 330 kVAr'lık şönt reaktörler kapasitif/aktif yük oranları ceza

altına çekilmiştir. Çizelge 5.4'te ise 27-31 Mayıs tarihleri arasında ölçülen aktif, endüktif reaktif ve kapasitif reaktif yüklerinin değerlerinin standart seviyede olduğu sonucu görülmektedir.

5.3.3. Cosφ Ölçümü

11 Haziran 2019 tarihinde saat tam 17:01:47 anlık olarak aldığımız ölçüm değerlerinde her faz için ayrı ayrı Cosφ değerleri Çizelge 5.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. 11 Haziran tarihinde OSOS'tan ölçülen Cosφ değerleri

Tahakkuk Bilgileri	Değer	Obis
Cos Fi R	Rc 0.999	33.7.0
Cos Fi S	Ri 0.999	53.7.0
Cos Fi T	Ri 0.999	73.7.0

Çizelge 5.5'te görüldüğü gibi R,S ve T

Çizelge 5.4. 27-31 Mayıs tarihleri arasında ölçülen aktif, endüktif reaktif ve kapasitif reaktif yüklerinin değerleri

Yük Dağılımı (Tüketim)							
Sütun başlığını o sütuna göre gruplamak için buraya sürükleyin							
Sayaç Adı	Aktif (kWh)	Endüktif	Kapasitif	End./Aktif	Kap./Aktif	Tarih	#
KAHTA OSB	227,7	0	51,75	%0	%0,2	27 Mayıs, 00:00 - 01:00	
KAHTA OSB	227,7	0	51,75	%0	%0,2	27 Mayıs, 01:00 - 02:00	
KAHTA OSB	207	0	58,65	%0	%0,3	27 Mayıs, 02:00 - 03:00	
KAHTA OSB	217,35	0	69	%0	%0,3	27 Mayıs, 03:00 - 04:00	
KAHTA OSB	293,25	0	72,45	%0	%0,2	27 Mayıs, 04:00 - 05:00	
KAHTA OSB	331,2	0	48,3	%0	%0,1	27 Mayıs, 05:00 - 06:00	
KAHTA OSB	265,65	0	44,85	%0	%0,2	27 Mayıs, 06:00 - 07:00	
KAHTA OSB	420,9	0	72,45	%0	%0,2	27 Mayıs, 07:00 - 08:00	
KAHTA OSB	1145,4	6,9	31,05	%0	%0	27 Mayıs, 08:00 - 09:00	
KAHTA OSB	1179,9	3,45	24,15	%0	%0	27 Mayıs, 09:00 - 10:00	
Toplam 83455,500 kWh							
İlk	Önceki	1	/ 10	Sonraki	Son	Sayfadaki kayıt sayısı:	10

sınırının

fazlarında aldığımız ölçüm değerlerinde her üç fazda da Cosφ değerleri için R fazında Kapasitif eksende 0.999

gerçekleşirken S ve T fazlarında ise indüktif eksende yine 0.999 olarak ölçüldüğü analiz edilmiştir.

5.3.4. Frekans Ölçümü

11 Haziran 2019 tarihinde saat tam 17:01:47 anlık olarak aldığımız ölçüm değerlerinde her faz için ayrı ayrı frekans değerleri değerleri Çizelge 5.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. 11 Haziran tarihinde OSOS'tan ölçülen frekans değerleri

Tahakkuk Bilgileri	Değer	Obis
Frekans R	50.09*Hz	34.7.0
Frekans S	50.09*Hz	54.7.0
Frekans T	50.10*Hz	74.7.0

Çizelge 5.6'de görüldüğü gibi R,S ve T fazlarında aldığımız ölçüm değerlerinde her üç fazda da frekans değerleri için R ve S fazlarında 50.09 Hz. ölçülürken T fazında ise 50.10 Hz. ölçüldüğü analiz edilmiştir. 10/11/2004 tarihli ve 25639 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliği'nin 9. maddesinde belirtildiği üzere sistemin nominal frekansı TEİAŞ tarafından 50 Hz etrafında 49.8-50.2 Hz aralığında, hedeflenen işletme koşullarında kontrol edilir" denildiğinden frekans aralığının yasal değerlerde belirtilen aralıkta olduğu görülmektedir.

5.3.5. Gerilim Harmonikleri Ölçümü

11 Haziran 2019 tarihinde saat tam 17:03:50'de anlık olarak aldığımız ölçüm değerlerinde her faz için ayrı ayrı gerilim dalga şekline ait harmonik değerleri Çizelge 5.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. 11 Haziran tarihinde OSOS'tan ölçülen Gerilim Dalga Şekline ait Harmonik değerler

Açıklama	Değer	Obis
Paket Türü: Kimlik Bilgileri		
Seri No	65004201	0.0.0
Saat	17:03:50	0.9.1
Tarih	19-06-11	0.9.2
Paket Türü: Tahakkuk Bilgileri		
3. Gerilim Harmonik R	%000.11	32.7.3
3. Gerilim Harmonik S	%000.42	52.7.3
3. Gerilim Harmonik T	%000.07	72.7.3
5. Gerilim Harmonik R	%000.68	32.7.5
5. Gerilim Harmonik S	%000.68	52.7.5
5. Gerilim Harmonik T	%000.80	72.7.5
7. Gerilim Harmonik R	%000.16	32.7.7
7. Gerilim Harmonik S	%000.26	52.7.7
7. Gerilim Harmonik T	%000.19	72.7.7
9. Gerilim Harmonik R	%000.02	32.7.9
9. Gerilim Harmonik S	%000.04	52.7.9
9. Gerilim Harmonik T	%000.02	72.7.9
11. Gerilim Harmonik R	%000.04	32.7.11
11. Gerilim Harmonik S	%000.07	52.7.11
11. Gerilim Harmonik T	%000.07	72.7.11
13. Gerilim Harmonik R	%000.07	32.7.13
13. Gerilim Harmonik S	%000.07	52.7.13
13. Gerilim Harmonik T	%000.02	72.7.13
15. Gerilim Harmonik R	%000.02	32.7.15
15. Gerilim Harmonik S	%000.04	52.7.15
15. Gerilim Harmonik T	%000.00	72.7.15

Çizelge 5.7'deki üç faz gerilimlerine ait harmonik değerler incelendiğinde; 5. ve 7. harmoniğin diğer harmoniklere göre daha baskın olduğu görülmektedir. Bunların yanı sıra 9., 11., 13. ve 15. harmoniklerde de belirginleşme mevcuttur. Gerilimdeki harmonik bozulmaların T fazında R ve S fazına göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Toplam Harmonik Bozulumu (THB), gerilim harmonik bileşenlerinin etkin değerlerinin kareleri toplamının karekökünün, ana bileşenin etkin değerine oranı olan, dalga şeklindeki bozulmayı ifade eden değeridir. 28/5/2014 tarihli ve 29013 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan 'Elektrik Şebeke Yönetmeliği' Ek-7'de bulunan 'Güç Kalitesi Parametreleri Sınır Değerleri' başlıklı bölümünde '154 kV altı için İletim Sisteminde Harmonik Gerilim Uyumluluk Sınır Değerleri'ne göre şebekedeki gerilim harmonikleri uyumluluk göstermektedir.

5.3.6. Akım Harmonikleri Ölçümü

11 Haziran 2019 tarihinde saat tam 17:02:53'de anlık olarak aldığımız ölçüm değerlerinde her faz için ayrı ayrı akım dalga şekline ait harmonik değerleri Çizelge 5.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.8. 11 Haziran tarihinde OSOS'tan ölçülen Akım Dalga Şekline ait Harmonik değerler

Açıklama	Değer	Obis
Paket Türü: Kimlik Bilgileri		
Seri No	65004201	0.0.0
Saat	17:02:53	0.9.1
Tarih	19-06-11	0.9.2
Paket Türü: Tahakkuk Bilgileri		
3. Akım Harmonik R	%000.79	31.7.3
3. Akım Harmonik S	%001.69	51.7.3
3. Akım Harmonik T	%001.05	71.7.3
5. Akım Harmonik R	%009.44	31.7.5
5. Akım Harmonik S	%008.73	51.7.5
5. Akım Harmonik T	%009.03	71.7.5
7. Akım Harmonik R	%006.72	31.7.7
7. Akım Harmonik S	%006.09	51.7.7
7. Akım Harmonik T	%006.35	71.7.7
9. Akım Harmonik R	%000.41	31.7.9
9. Akım Harmonik S	%000.30	51.7.9
9. Akım Harmonik T	%000.15	71.7.9
11. Akım Harmonik R	%001.82	31.7.11
11. Akım Harmonik S	%001.87	51.7.11
11. Akım Harmonik T	%001.91	71.7.11
13. Akım Harmonik R	%002.12	31.7.13
13. Akım Harmonik S	%001.80	51.7.13
13. Akım Harmonik T	%002.44	71.7.13
15. Akım Harmonik R	%000.15	31.7.15
15. Akım Harmonik S	%000.63	51.7.15
15. Akım Harmonik T	%000.52	71.7.15

Çizelge 5.8'deki faz akımlarına ait yüzdellik harmonik akımları incelendiğinde; gerilimde olduğu gibi akımda da 5 ve 7. harmoniklerin baskın olduğu, bunları da 9., 11., 13. ve 15. harmoniklerin takip ettiği görülmektedir. Fazlar açısından akım harmonikleri değerlendirildiğinde ise; özellikle R fazındaki 5. harmoniğin S ve T fazlarına göre daha fazla değere sahip olduğu anlaşılmaktadır. 5. Harmonikteki yükselmesi şebeke üzerinde bulunan güç elektroniği elemanları olduğu varsayılmaktadır.

Toplam Talep Bozulumu (TTB), akım harmonik bileşenlerinin etkin değerlerinin kareleri toplamının karekökünün, maksimum yük akımına

(IL) oranı olan, dalga şeklindeki bozulmayı yüzde olarak ifade eden değerdir. 28/5/2014 tarihli ve 29013 sayılı resmi gazetede yayınlanan 'Elektrik Şebeke Yönetmeliği' Ek-8'de bulunan 'Harmonik Limitleri' başlıklı bölümünde bulunan 'Kabul Edilebilir Akım Harmonik Limitleri' tablosu incelendiğinde ve şebekede hesaplanan maximum kısa devre ve yük akımlarına göre akım harmonik değerleri uyumluluk göstermektedir.

Muhtelif tarih ve anlarda çeşitli harmonik ölçümleri daha yapılarak TS EN 50160 ve IEEE Std.519-2014 standartlarına uygun ölçümler yapılmış ve EPDK tarafından 28/5/2014 tarihli ve 29013 sayılı resmi gazetede yayınlanan 'Elektrik Şebeke Yönetmeliği'nce uygunluk gösterdiğinden gerilim ve akım harmonikler için pasif filtre kullanılmasına gerek duyulmamıştır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile Türkiye'de bulunan yaklaşık 350 karma ve ihtisas Organize Sanayi Bölgelerini ilgilendiren enerji kalite görünümü incelenmiştir. Örnek olarak Kâhta Organize Sanayi Bölgesi'nde yapılan uygulama ile ölçümler üzerinde analizler yapılarak enerji kalite görünümü incelenmiştir.

Öncelikle XLPE kablolarının oluşturduğu kapasitif reaktif yüklerin dengelenmesi ve güç katsayısının düzelmesi için 340 kVAr şönt reaktörleri şebekeye dâhil edildi ve %40 seviyelerinde kapasitif oranın standart seviyelere düştüğü gözlemlendi. Buna bağlı olarak enerji kayıplarının azaltılması, gereksiz reaktif bedelin ödenmesi ve güç katsayısının düzelmesi ile Organize Sanayi Bölgesinin enerji kalitesi

yükseltilmiş, gerilimlerdeki sag ve swell durumlarının önüne geçilmiştir. Şebekenin güç taşıma kapasitesini arttırmış ve şebekede oluşan ısı kayıpları minimize edilmiştir.

Diğer yapılan ölçümlerde gerilim ve akım dengesi, frekans ve Cosφ'nin kararlılığı analiz edilerek sistemde herhangi bir bozulmanın olmadığı sonucuna varılmıştır. Harmonik ölçümlerinde 5. ve 7. harmoniğin hem akım hem de gerilim dalgalı harmonikler için baskın olduğu görülmüştür. Harmonik ölçümlerinde değerlerin 'Elektrik Şebeke Yönetmeliği'nce uygunluk gösterdiğinden sisteme pasif filtreleme yapılmasının şimdilik gereksiz olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak farklı yük senaryosu olan diğer OSB'ler için akım ve gerilim dalgalı harmonik ölçümleri sıkça yapılmalı ve gerekli önlemler alınmalıdır. Fotovoltaik sistemlerin yoğun on-grid bağlantılı oldukları OSB'lerde harmonik artışının yüksek olacağı dikkatlice izlenmelidir.

Bu çalışma ile hali hazırda özellikle dağıtım lisansı alacak OSB'ler için büyük önem arz ediyor. Sanayicilere sunulacak enerjinin arz güvenliği için enerji kalitesi son derece önemlidir. Bu kapsamda OSB'lerdeki enerji kalitesinin sürekli takibi gerekmektedir. Bu nedenle öncelikli olarak her OSB için enerji izleme sistemlerinin (OSOS, SCADA) kurulumu, standartlara uygun ölçüm materyallerinin bulundurulması enerji kalitesi için önemlidir. Ayrıca tüketici tarafından oluşan şebeke distorsiyonlarında sorunun kaynağını ulaşmada önemli fonksiyonları olacaktır. Son olarak, yeni yer tahsis yapılacak Organize Sanayi Bölgelerinin enerji kalitesinin maksimum seviyeye çıkarılması için trafo merkezlerine mümkün oldukça yakın seçilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Elektrik Enerjisinde Kalite, EMO <http://www.emo.org.tr/ekler/c0303ffb193bd5e_ek.pdf>, (S.E.T: 17.07.2019)
- [2] OSB'lerde Enerji Kalitesi Ölçümü ve Raporlanması, <<http://www.3eelectrotech.com.tr/arsiv/yazi/osb-lerde-enerji-kalitesi-olcumu-ve-raporlamasy/>>, (S.E.T: 18.07.2019)
- [3] KEÇECİOĞLU, Ö.F., TEKİN, M., ÖZALP, A., ŞEKKELİ, M., YILMAZ, A.S., "Medikal Yoğunluklu Dağıtım Şebekelerinde Güç Kalitesi İncelemesi", Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu (EVK), Kocaeli, 2013
- [4] Elektrik Şebeke Yönetmeliği, 6. Versiyon, Değişiklik tarihi: 30/07/2016. 28/5/2014 Tarihli ve 29013 sayılı mükerrer Resmi Gazete
- [5] TEKE A., MERAL M. E., TÜMAY M ve BAYINDIR K. Ç., (2009) "Türkiye'nin Güney Sanayi Bölgelerindeki Güç Kalitesi Üzerine Bir Araştırma", Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 14, Sayı 2.
- [6] DURMUŞ V., AVŞAR M., TAŞKENT S., MANTAŞ C.A., (2016) "Türkiye Elektrik İletim Şebekesinde 2015 Yılı Güç Kalitesi Analizi", TEİAŞ, Ankara
- [7] SÜRMEİ Barış., (2014, Ağustos) "Marmaray BC1 Projesi Kapasitif/Endüktif Kompanzasyon Sistemi", Elektrik Mühendisliği Dergisi, S. 451: 56-58.
- [8] Dağıtım Lisansı Sahibi Tüzel Kişiler ve Görevli Tedarik Şirketlerinin Tarife Uygulamalarına İlişkin Usul ve Esaslar, 31/12/2015 tarih ve 29579 sayılı resmi gazete, EPDK, Ankara