

TOPLAM HARMONİK BOZULMA SEVİYESİNİN REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONUNA BAĞLI DEĞİŞİMİ

Faruk KÜRKER^{1*}

¹Adiyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Adiyaman, 02040, Türkiye
Geliş Tarihi/Received Date: 29.09.2024 Kabul Tarihi/Accepted Date: 31.10.2024 DOI:10.54365/adyumbd.1558116

ÖZET

Yapılan çalışmada, sulama sistemleri ve ambalaj malzemesi üreten tesiste, üç fazda reaktif güç kompanzasyonu devre dışı (OFF) ve devrede (ON) iken aktif güç (P), görünür güç (S), reaktif güç (Q), yerdeğiştirme güç faktörü (dPF), harmonikli güç faktörü (PF) ve akım için % toplam harmonik bozulma (%THD_I) değerleri incelenmiştir. Harmoniklerin mevcut olduğu sistemlerde reaktif güç kompanzasyonu OFF ve ON iken güç analizörü ile ölçüm yapılarak reaktif güç kompanzasyonunun toplam harmonik bozulmaya etkisi analiz edilmiştir. Diğer bir ifade ile çalışma; ayrıntılı bir şekilde reaktif güç kompanzasyonunun %THD_I'ye nasıl etki ettiğine dair analizler yapılmıştır. Reaktif güç kompanzasyonu OFF ve ON durumunda PF ve dPF ile %THD_I değerleri grafiksel olarak incelenmiştir. Çalışmada, reaktif güç kompanzasyonu OFF durumunda iken ölçülen %THD_I değerinin, reaktif güç kompanzasyonu ON durumunda iken daha yüksek değerde olduğu tespit edilmiştir. Makaledeki sonuçlar, reaktif güç kompanzasyonunun %THD_I değerini minimum %7,180 fark ile %8,45'ten %15,63'e, maksimum ise %18,723 fark ile %7,64'den %26,36'e yükseltmiştir.

Anahtar Kelimeler: Reaktif Güç Kompanzasyonu, Reaktif Güç (Q), Toplam Harmonik Bozulma (THD), Güç Faktörü (PF).

VARIATION OF TOTAL HARMONIC DISTORTION LEVEL DEPENDING ON REACTIVE POWER COMPENSATION

ABSTRACT

In this study, active power (P), apparent power (S), reactive power (Q), displacement power factor (dPF), harmonic power factor (PF) and % total harmonic distortion for current (%THDI) values were analysed in a plant producing irrigation systems and packaging materials when reactive power compensation was OFF and ON in three phases. In systems where harmonics are present, the effect of reactive power compensation on total harmonic distortion is analysed by measuring with three analysers when reactive power compensation is OFF and ON. In other words, the study analyses in detail how reactive power compensation affects %THDI. PF, dPF and %THDI values are analysed graphically in OFF and ON state of reactive power compensation. In the study, it was found that the %THDI value measured when the reactive power compensation is OFF is higher than when the reactive power compensation is ON. The results in the paper show that the %THDI value of reactive power compensation increased from 8.45% to 15.63% with a minimum difference of 7.180% and from 7.64% to 26.36% with a maximum difference of 18.723%.

Keywords: Reactive Power Compensation, Reactive Power (Q), Total Harmonic Distortion (THD), Power Factor (PF).

* e-posta¹ : fkurker@adiyaman.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1544-9743> (Sorumlu Yazar)

1. Giriş

Aktif güç elektrikle çalışan tüm cihazlarda aydınlatma, ısıtma ve hareket gibi işlevleri yapmak için kullanılır. Kilowatt (kW) olarak ifade edilir. Aktif gücün yanı sıra, transformatör, bobin ve motor gibi endüktif yüklerin de çalışması için gerekli olan manyetik bir alan temini için şebekeden reaktif güce ihtiyaç duyarlar. Herhangi bir iş yapmayan kilovolt-amper-reaktif (kVAr) olarak adlandırılan reaktif gücün aktif güce bir faydası olmadığı gibi, hatları gereksiz yükler, hem ekstra gerilim düşümüne ve zarara neden olur hemde hattın taşıma kapasitesinin azalmasına neden olur. Görünür güç kilovolt-amper (kVA) olarak ifade edilen, aktif ve reaktif güç ile birlikte şebekeden çekilen toplam gücü ifade eder [1-3].

Elektrik enerjisinin üretiminden tüketimine kadar geçen süreçte, elektrik sisteminin verimliliğinin önemli parametrelerinden biri güç faktörüdür. Güç faktörü, elektrik devresinde kullanılan aktif gücün, görünen güce oranıdır. Yüksek bir güç faktörü, elektrik enerjisinin daha verimli kullanıldığını, dolayısıyla daha az enerji kaybı olduğunu gösterir. Düşük bir güç faktöründe ise, elektrik enerjisi daha verimsiz kullanılır ve bu durum, elektrik hatlarındaki gerilimin düşmesine, enerji kayıplarını artmasına, hatların taşıma kapasitesinin azalmasına, elektrik faturalarının yükselmesine, elektrik ekipmanlarının ömrünün kısalmaya ve sistemde gereksiz ısınmalara neden olabilir. Güç faktörünü iyileştirmek için kullanılan en yaygın yöntemlerden biri, kapasitör bankalarıdır. Bu bankalar, sistemdeki endüktif yüklerin neden olduğu reaktif gücü telafi ederek güç faktörünü 1'e yaklaştırır [4-6].

Yeni nesil elektrik dağıtım sistemlerinde, doğrultucu ekipmanları, güç kaynakları, ayarlanabilir hız sürücüleri, ev aletleri vb. gibi doğrusal olmayan yük kullanımında önemli derecede artış olmuştur [7-8]. Alternatif akım (AC) şebekesinden nonsinüsoidal akımlar çeken doğrusal olmayan yükler, 'harmonikler' olarak adlandırılan akım ve gerilim bozulmasına sebep olmaktadır [9]. Harmonikler tüketici ürünlerinde ve güç sistemlerinde kondansatör sigortalarının atması, ekipmanların aşırı ısınması, bozulmuş gerilim dalga şekilleri, aşırı nötr akımları, düşük güç faktörü ve transformatörlerin aşırı ısınması gibi çeşitli sorunlara sebep olur [10-15].

Elektrik sistemindeki güç kalitesini artırmak için kullanılan güç faktörü düzeltme kondansatörleri, bazen istenmeyen bir durum olan rezonans adı verilen olayın oluşmasına neden olarak zararlı harmoniklerin artmasına yol açabilirler [16]. Reaktif güç kompanzasyonunda kullanılan kondansatörler, lineer devre elemanı olması sebebiyle harmonikli akım şebekeden çekmez. Fakat, nonlineer yükler nedeniyle harmonik gerilimlerin ve harmonikli akımların olduğu sistemde kondansatörler, harmoniklerden önemli oranda etkilenir.

Reaktif güç kompanzasyonu amacıyla kompanzasyon kondansatörünün uygulanmasının THD değerini arttırdığı gözlemlenmiştir. Harmonikler kirliliği sistemde zaten mevcut olduğundan, kondansatörlerin THD seviyesini arttırdığı ve yükselttiği düşünülebilir çünkü kondansatörler büyük frekanslarda çok düşük empedanslar sunar ancak güç faktörünü iyileştirebilir. Kondansatörün harmonik bozulmayı kendisinin başlatmadığını söylemek doğrudur, ancak toplam harmonik bozulma değerinde bir artışa neden olan bozulma seviyesini artırabilir ve geliştirebilirler.

Sinüsoidal olmayan bir sistemde, kapasitörler harmonik bozulmalardan etkilenir çünkü reaktansları akan akımın frekansına bağlıdır. Kapasitif reaktans, kondansatör empedansı denklem 1'deki ifade ile bulunmaktadır.

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \quad (1)$$

Burada; X_C kapasitif reaktans, f gözlenen harmonik akımın frekansı, C kapasitans. Denklemden de görüldüğü gibi, frekansın azalması ya da artması kondansatör empedansının artmasına veya azalmasına sebep olacaktır. 50 Hz şebeke frekansında 10 ohm olan kondansatör empedansı, 250 Hz olan 5. harmonik bileşenin frekansı için 2 ohm olacaktır. Daha yüksek frekanslar ve sabit bir kapasitans için kapasitif reaktansın sıfıra eğilimli olduğunu, bunun da rezonansa neden olarak kısa devre olasılığını artırabileceğini belirtmek mümkündür. Dolayısıyla kondansatörler, empedansları sebebiyle sistemdeki nonlineer yükler nedeniyle oluşan harmonikleri üzerlerine çekmektedirler. Üzerine harmonikli akımları çeken kondansatörün RMS (root mean square) akımının artmasıyla, kondansatörler hem mekaniki hemde elektriksel olarak zorlanacaktır. Yani harmonik bileşenlere sahip akımlar ve gerilimler, kondansatörün dielektrik malzemesinin zorlanmasına ve dolayısıyla dielektrik kayıpların artmasına sebep olacaktır. Reaktif güç kompanzasyonunda kullanılan kondansatörler harmoniğe neden olmazlar fakat var olan harmoniğin artmasına neden olurlar. Bu nedenle, harmonik bozulmaya maruz kalan şebelere kondansatörler monte edilirken, rezonans sorunlarından kaçınarak kondansatör bankalarının iyi bir performans göstermesini garanti etmek için ayrıntılı bir çalışma yapılmalıdır [17].

Literatürde, kompanzasyonun özellikle kondansatör bankaları ile sağlandığı sistemlerde, harmonik bozulma üzerinde bazı etkileri olduğu gösterilmiştir. Kompanzasyon amacıyla kullanılan kondansatörler, sistemde var olan harmoniklerle rezonansa girerek harmonik genliklerini artırabilir. Bu durum, literatürde rezonans olgusu olarak bilinir ve özellikle harmonik üreten yükler bulunan sistemlerde dikkat edilmesi gereken bir konudur. [18] nolu çalışmada, öncelikle güç faktörü düşük olan bir endüstriyel tesis seçilmiştir. Bu endüstriyel tesisin elektrik sistemindeki sorunları çözmek için basit bir yöntem olan 'reaktif güç kompanzasyonu' uygulanmıştır. Bu işlemin ardından, elektrik sistemindeki bazı değerler ölçülmüş ve sonuçlar bir tabloya yazılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda, kapasitörlerin elektrik sistemindeki bazı sorunları azalttığı ancak başka bir sorunu yani 'harmonik' adı verilen bir kirliliği artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. [19] nolu çalışmada sunulan sonuçlar, güç faktörü iyileştirildikçe Volt-Amper-Reaktif (VAR) kompanzasyonunun güç sisteminin aktif güç işleme kapasitesini artırmaya yardımcı olduğunu ancak kapasitör eklenmesinin sistemdeki toplam harmonik bozulmayı artırdığını göstermiştir. [20] nolu çalışmada, harmonikli bir endüstriyel elektrik sisteminin (IES) ortak bağlantı noktasındaki (PCC) güç faktörünü iyileştirmek için yoğunlaştırılmış ve dağıtılmış reaktif güç kompanzasyonunu karşılaştırmıştır.

Ölçüm yapılan, sulama sistemi üreten tesiste, özellikle güç elektroniği bileşenleri, değişken hız sürücüler (pompa motorlarının hızını kontrol etmek için kullanılan sürücüler), inverterler, kaynak makineleri ve LED aydınlatmalardan kaynaklı olarak harmonikler meydana gelmektedir. Ambalaj sistemleri tesisinde ise sıvımalı karton, baskılı karton ve doppel kutu üretimi gerçekleştirmektedir. Bu fabrikalarda kullanılan başlıca harmonik üretebilecek makineler, ofset baskı makineleri, laminasyon makineleri ve kutu üretim makineleri şeklindedir. Ofset baskı makineleri, büyük motorlar ve güç elektroniği bileşenleri ile çalıştığından, yani hız kontrol üniteleri, servo motorlar ve inverterler kullandığından bu ekipmanlar harmonik kaynağıdır. Laminasyon makineleri, karton üzerine ince bir film veya kağıt tabaka eklemek için kullanıldığından, yani yüksek torklu motorlar laminasyon işlemi sırasında ve ısıtma ünitelerinde kullanılan yarı iletken cihazlar da harmonik kaynağıdır. Kutu üretim makineleri da, yüksek güçlü motorlar ve hassas kontrol üniteleri içermesi nedeniyle harmonik kaynağıdır. Kesim makinelerinde yüksek güçlü motorlar ve inverterler kullanılır. Yapıştırma ve birleştirme makinelerinde ise servo motorlar kullanılır.

Bu çalışmada, sanayi tesisinde reaktif güç kompanzasyonu ON ve OFF iken güç parametre değerleri ile %THD₁ değerleri güç analizörü ile ölçülmüştür. Reaktif güç kompanzasyonu ON ve OFF iken güç parametre değerlerindeki değişimin %THD₁'daki değişim üzerine etkisine bakılmıştır. Çalışmada, reaktif güç kompanzasyonundan önce ve sonra %THD₁ değeri üzerine olan etkisi ölçülen güç parametre değerleri baz alınarak grafiksel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuca göre reaktif güç kompanzasyonu devrede iken PF iyileşirken, %THD₁ değerinin arttığı gözlemlenmiş ve bunun sonucu olarak güç kalitesinde azalma meydana gelmiş yani sinüs dalgada bozulma meydana gelmiştir. Literatürdeki bazı çalışmalar, harmoniklerin reaktif güç kompanzasyonu ile etkileşimini ele alırken bu çalışmada daha fazla ayrıntı ile reaktif güç kompanzasyonunun harmoniklere nasıl etki ettiğine dair

analizler yapılmıştır. Reaktif güç kompanzasyon stratejilerinin harmoniklere göre ayarlanması konularında bu çalışma literatüre yeni katkılar sağlamıştır.

2. Materyal ve Metod

Elektrik sistemindeki bozulmaları (harmonikleri) ölçmek için sıkça kullanılan bir yöntemle Toplam Harmonik Bozulma yani kısaca THD diyoruz. THD, elektrik akımındaki veya gerilimdeki dalga şekillerinin bozulmasının ne kadar büyük olduğunu gösteren bir sayıdır. Denklem 2 ve 3 ise bunu hesaplamak için kullanılan matematiksel ifadelerdir [21].

$$\%THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{nrms}^2}}{I_{1rms}} \cdot \%100 = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \cdot 100 \quad (2)$$

$$\%THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_{nrms}^2}}{V_{1rms}} \cdot \%100 = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \cdot 100 \quad (3)$$

Harmoniklerin olmadığı durumlarda yani yalnız temel frekanstan oluşan tam bir sinüs dalga şekli için gerilimin toplam harmonik bozulma (THD_V) ve akımın toplam harmonik bozulma (THD_I) değerleri sıfırdır. Harmoniklerin mevcut olmadığı durumlarda güç faktörü (cos φ) ve PF eşit iken, harmoniklerin bulunduğu durumlarda ise cos φ, PF'ye eşit değildir. Hem harmonikli hem de harmonik olmayan durumlar için geçerli olan PF denklem 4'deki gibi ifade edilir [22].

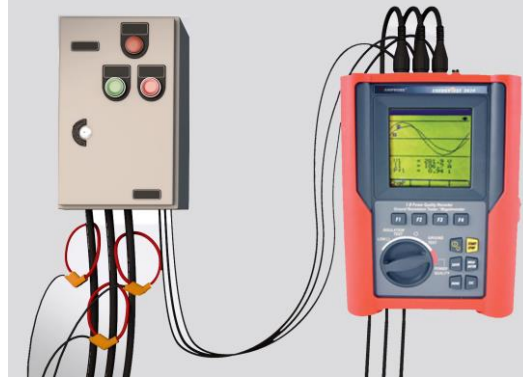
$$PF = \frac{P}{S} = \cos\varphi \cdot \frac{1}{\left(\sqrt{(1 + THD_I^2)(1 + THD_V^2)}\right)} = dPF \cdot \text{distortion PF} \quad (4)$$

Denklem 4'de, $\cos\varphi$ yer değiştirme güç faktörünü (dPF), toplam aktif gücü P, toplam görünür gücü S ve distortion PF ise bozulma güç faktörünü ifade etmektedir. Gerilim ve akım arasındaki faz kayması nedeniyle gerçek gücün görünür güce oranı dPF olarak tanımlanır ve denklem 5'deki haliyle hesaplanır [22].

$$dPF = \cos(\delta_1 - \theta_1) = \cos\varphi \quad (5)$$

Denklem 5'de, θ_1 akımın faz açısıdır, δ_1 voltajın faz açısıdır; φ ise güç faktörü açısıdır.

Çalışmada, sulama sistemleri ve ambalaj malzemesi üreten tesiste, üç fazda reaktif güç kompanzasyonu OFF ve ON iken P, S, Q, dPF, PF ve %THD_I değerleri güç analizörü ile ölçülmüştür. Şekil 1'de, güç analizörü ile yapılan ölçüm bağlantısı görülmektedir. Güç analizörünün sürücüsü yardımıyla, sistemin çektiği akımın harmonik spektrumu ve elde edilen karakteristikler, bilgisayar ortamına aktarılarak daha ayrıntılı olarak incelenmiştir.



Şekil 1. Güç analizörü ile yapılan ölçüm bağlantısı

3. Araştırma ve Bulgular

Sulama sistemleri üreten tesiste 2000 kVA'lık trafoda, ambalaj sanayisinde üretim yapan tesiste yük yok iken ve yük olduğunda, güç parametre değerleri kompanzasyon OFF ve ON durumunda iken üç fazda akım ve gerilim için %THD değerleri Çizelge 1, Çizelge 2, Çizelge 3 ve Çizelge 4'de verilmiştir. Çizelgelerden de görüldüğü üzere ölçüm yapılan tesislerde kompanzasyon on durumuna geçtiğinde %THD_I değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Çizelge 1'de Sulama Sistemleri Tesisi 2000 kVA Trafoda reaktif güç kompanzasyonu OFF ve ON iken I_{rms} , V_{rms} , P, S, Q, PF, dPF, %THD_I ve %THD_V ölçüm değerleri görülmektedir. R fazında kompanzasyon OFF iken %THD_I değeri %14,25 seviyelerinde iken kompanzasyon ON durumuna getirildiğinde %THD_I değeri %24,88 seviyelerine yükselmiştir. S fazında kompanzasyon OFF iken %THD_I değeri %14,88 seviyelerinde iken kompanzasyon ON durumuna getirildiğinde %THD_I değeri %25,65 seviyelerine yükselmiştir. Ayrıca T fazında kompanzasyon OFF iken %THD_I değeri %14,426 seviyelerinde iken kompanzasyon ON durumuna getirildiğinde %THD_I değeri %28,011 seviyelerine yükselmiştir. Çizelge 1'deki ölçümlerde R-S-T fazlarında reaktif güç kompanzasyonu OFF ve ON durumunda %THD_I arasında farklar sırasıyla R fazında %10,636, S fazında %10,77 ve T fazında %13,585'tir.

Çizelge 1. Sulama Sistemleri Tesisinde 2000 kVA Trafoda Ölçülen Güç Parametre Değerleri

Parametreler	Kompanzasyon OFF Faz R	Kompanzasyon OFF Faz S	Kompanzasyon OFF Faz T	Kompanzasyon ON Faz R	Kompanzasyon ON Faz S	Kompanzasyon ON Faz T
U (V)	391.232	390.221	390.448	395.691	393.860	392.847
U_{rms} (V)	226.044	225.670	224.887	228.300	227.59	226.783
I_{rms} (A)	0.680	0.672	0.669	0.604	0.603	0.596
P (W)	130	131	5	133	61	63
S (VA)	154	152	151	138	137	135
Q (VAr)	83	76	150	37	123	119
dPF	0.856	0.876	0.030	1	0.458	0.5
PF	0.842	0.865	0.034	0.963	0.448	0.469
THD _I (%)	14.252	14.883	14.426	24.888	25.653	28.011
THD _V (%)	3.922	3.849	4.050	4.54	4.55	4.558

Sulama sistemleri üreten tesiste gerçekleştirilen üç faz ölçümlerin parametreleri Şekil 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23'de görülmektedir. Şekil 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 (a)'da gerilim dalga şekli ve (b)'de

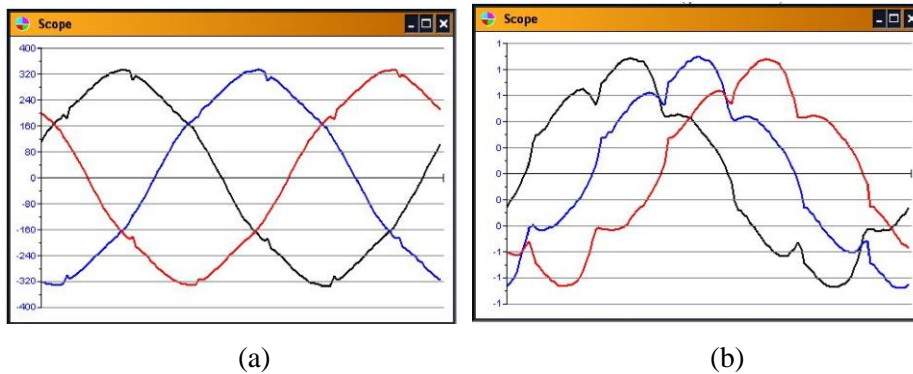
akım dalga şekli görülmektedir. Şekil 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25’de ise ifade edilen ölçümlerin akım için harmonik spektrumu görülmektedir.

Reaktif güç kompanzasyonu OFF iken sulama sistemi üretim tesisi beslemesinde kullanılan 2000 kVA trafoda yapılan ölçümde, şekil 2’de üç fazlı sistemde ölçülen güç değerleri, şekil 3’de üç fazlı sistemde (a) gerilim dalga şekli ve (b) akım dalga şekli ve şekil 4’de ise üç fazlı sistemde her bir faz için akımın frekans bileşenlerini gösteren harmonik spektrum analizleri görülmektedir.

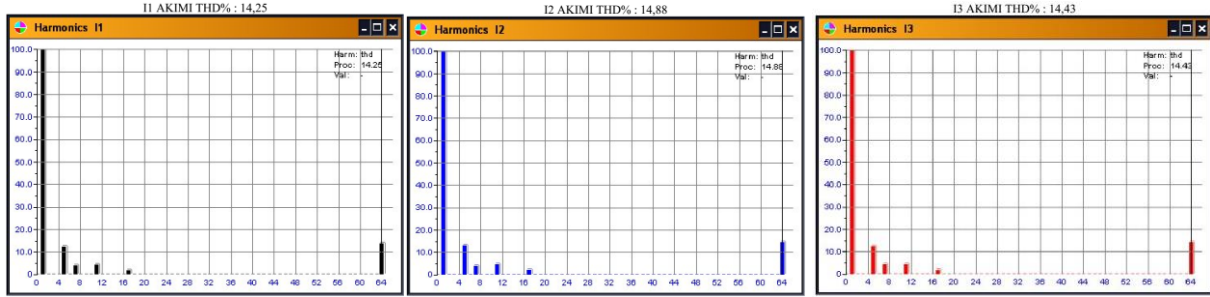
Reaktif güç kompanzasyonu ON iken sulama sistemi üretim tesisi beslemesinde kullanılan 2000 kVA trafoda yapılan ölçümde, şekil 5’de üç fazlı sistemde ölçülen güç değerleri, şekil 6’da üç fazlı sistemde (a) gerilim dalga şekli ve (b) akım dalga şekli ve şekil 7’de ise üç fazlı sistemde her bir faz için akımın frekans bileşenlerini gösteren harmonik spektrum analizleri görülmektedir.

1st phase		2nd phase		3rd phase	
Ursm	UI_12	Ursm	UI_23	Ursm	UI_13
226.044	391.232	225.670	390.221	224.887	390.448
thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)
3.922	0.154	3.849	0.152	4.050	0.151
I_rsm	P(kW)	I_rsm	P(kW)	I_rsm	P(kW)
0.680	0.130	0.672	0.131	0.669	0.005
thd(I)	Q(kVAR) i	thd(I)	Q(kVAR) c	thd(I)	Q(kVAR) c
14.252	0.083	14.883	-0.076	14.426	-0.150
Pf i	dPf	Pf c	dPf	Pf c	dPf
0.842	0.856	0.865	0.876	0.034	0.030
Total info					
Stot(kW)	Gtot(kVAR)	Ptot(kW)	Pftot c	I null	
0.30	-0.14	0.27	0.88	1.34	

Şekil 2. Sulama sistemi üretim tesisi beslemesinde kullanılan 2000 kVA trafoda, reaktif güç kompanzasyonu OFF iken üç fazlı sistemde ölçülen güç değerleri



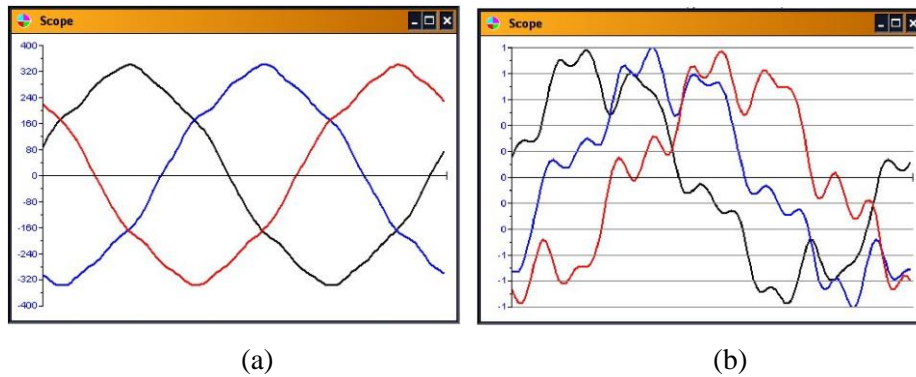
Şekil 3. Sulama sistemi üretim tesisi beslemesinde kullanılan 2000 kVA trafoda, reaktif güç kompanzasyonu OFF iken üç fazlı sistemde (a) gerilim dalga şekli ve (b) akım dalga şekli



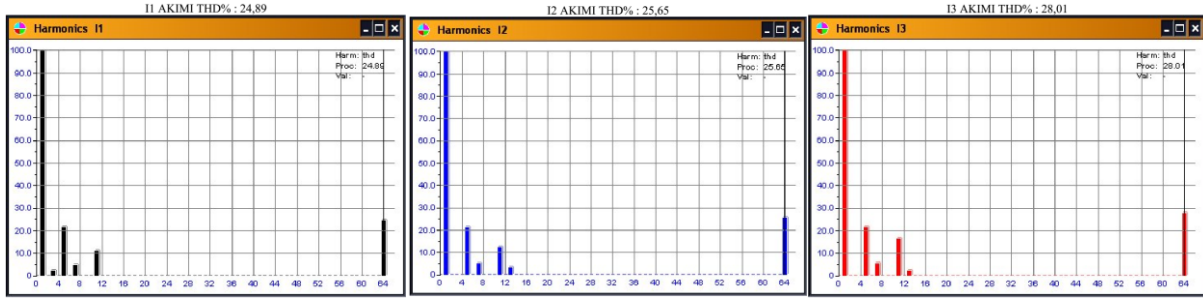
Şekil 4. Sulama sistemi üretim tesisi beslemesinde kullanılan 2000 kVA trafoda, reaktif güç kompanzasyonu OFF iken üç fazlı sistemde her bir faz için akımın frekans bileşenlerini gösteren harmonik spektrum analizleri

1st phase		2nd phase		3rd phase	
Ursm	UI_12	Ursm	UI_23	Ursm	UI_13
228.300	395.691	227.590	393.860	226.788	392.847
thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)
4.540	0.138	4.550	0.137	4.558	0.135
I_rsm	P(kW)	I_rsm	P(kW)	I_rsm	P(kW)
0.604	0.133	0.603	0.061	0.596	-0.063
thd(I)	Q(kVAR) c	thd(I)	Q(kVAR) c	thd(I)	Q(kVAR) i
24.888	-0.037	25.653	-0.123	28.011	-0.119
Pf c	dPf	Pf c	dPf	Pf i	dPf
0.963	1.000	0.448	0.458	0.469	0.500
Total info					
Stot(kW)	Qtot(kVAR)	Ptot(kW)	Ptot c	I null	
0.31	-0.28	0.13	0.42	1.18	

Şekil 5. Sulama sistemi beslemesinde kullanılan 2000 kVA trafoda, reaktif güç kompanzasyonu ON iken üç fazlı sistemde ölçülen güç değerleri



Şekil 6. Sulama sistemi üretim tesisi beslemesinde kullanılan 2000 kVA trafoda, reaktif güç kompanzasyonu ON iken üç fazlı sistemde (a) gerilim dalga şekli ve (b) akım dalga şekli



Şekil 7. Sulama sistemi üretim tesisi beslemesinde kullanılan 2000 kVA trafoda, reaktif güç kompanzasyonu ON iken üç fazlı sistemde her bir faz için akımın frekans bileşenlerini gösteren harmonik spektrum analizleri

Çizelge 2’de ambalaj üretim tesisinde hiçbir yük (makine, ekipman vb.) çalıştırılmadığı durumda reaktif güç kompanzasyonu OFF ve ON iken I_{rms} , V_{rms} , P, S, Q, PF, dPF, %THD_I ve %THD_V ölçüm değerleri görülmektedir.

R fazında kompanzasyon OFF iken %THD_I değeri %7,406 seviyelerinde iken kompanzasyon ON durumunda %THD_I değeri %23,88 seviyelerine yükselmiştir. S fazında kompanzasyon OFF iken %THD_I değeri %7,641 iken kompanzasyon ON durumunda %THD_I %26,364 seviyesine yükselmiştir. Ayrıca T fazında kompanzasyon OFF iken %THD_I değeri %9,751 iken kompanzasyon ON durumunda %THD_I değeri %27,482 seviyesine yükselmiştir. Çizelge 2’deki ölçümlerde R-S-T fazlarında reaktif güç kompanzasyonu OFF ve ON durumunda %THD_I arasında farklar sırasıyla R fazında %16,482, S fazında %18,723 ve T fazında %17,731’dir.

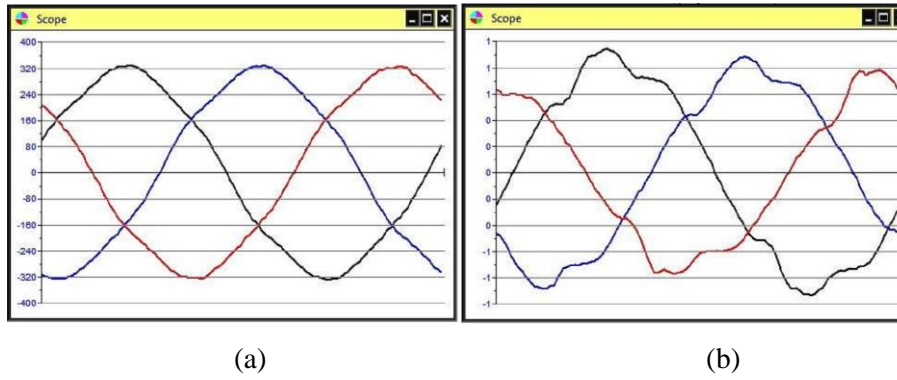
Çizelge 2. Ambalaj üretim tesisinde hiçbir yük (makine, ekipman vb.) çalıştırılmadığı durumdaki güç parametre değerleri

Parametreler	Komp. OFF Faz R	Komp. OFF Faz S	Komp. OFF Faz T	Komp. ON Faz R	Komp. ON Faz S	Komp. ON Faz T
U (V)	389.503	387.366	386.929	392.442	390.926	390.464
U_{rms} (V)	224.686	224.527	222.720	226.383	226.330	225.011
I_{rms} (A)	0.627	0.581	0.516	0.503	0.420	0.400
P (W)	120	108	93	108	88	82
S (VA)	141	130	115	114	95	90
Q (VAr)	74	73	67	35	36	37
dPF	0.855	0.831	0.815	0.979	0.957	0.944
PF	0.852	0.828	0.812	0.951	0.925	0.910
THD _I (%)	7.406	7.641	9.751	23.888	26.364	27.482
THD _V (%)	3.590	3.518	3.380	3.335	3.299	3.088

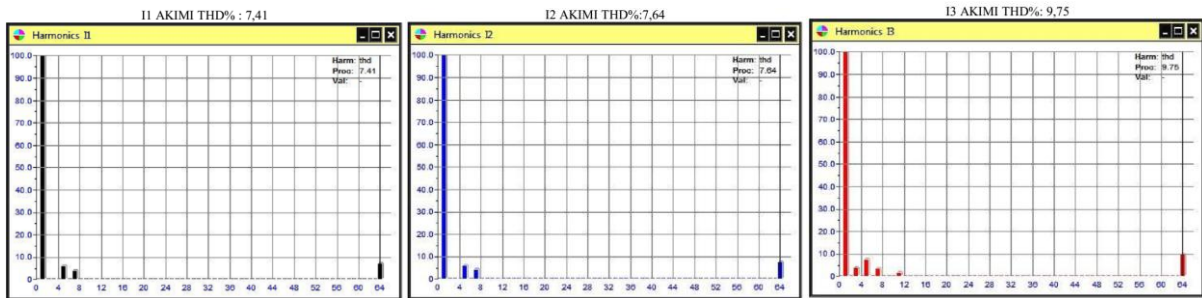
Reaktif güç kompanzasyonu OFF iken ambalaj üretim tesisinde hiçbir yük (makine, ekipman vb.) çalıştırılmadığı durumda yapılan ölçümde, şekil 8’de üç fazlı sistemde ölçülen güç değerleri, şekil 9’da üç fazlı sistemde (a) gerilim dalga şekli ve (b) akım dalga şekli ve şekil 10’da ise üç fazlı sistemde her bir faz için akımın frekans bileşenlerini gösteren harmonik spektrum analizleri görülmektedir. Reaktif güç kompanzasyonu ON iken ambalaj üretim tesisinde hiçbir yük (makine, ekipman vb.) çalıştırılmadığı durumda yapılan ölçümde, şekil 11’de üç fazlı sistemde ölçülen güç değerleri, şekil 12’de üç fazlı sistemde (a) gerilim dalga şekli ve (b) akım dalga şekli ve şekil 13’de ise üç fazlı sistemde her bir faz için akımın frekans bileşenlerini gösteren harmonik spektrum analizleri görülmektedir.

1st phase		2nd phase		3rd phase	
Ursm	Ul_12	Ursm	Ul_23	Ursm	Ul_13
224.686	389.503	224.527	387.366	222.720	386.929
thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)
3.590	0.141	3.518	0.130	3.380	0.115
Irsm	P(kW)	Irsm	P(kW)	Irsm	P(kW)
0.627	0.120	0.581	0.108	0.516	0.093
thd(I)	Q(kVAR) i	thd(I)	Q(kVAR) i	thd(I)	Q(kVAR) i
7.406	0.074	7.641	0.073	9.751	0.067
Pf i	dPf	Pf i	dPf	Pf i	dPf
0.852	0.855	0.828	0.831	0.812	0.815
Total info					
Stot(kW)	Qtot(kVAR)	Ptot(kW)	Pfot i	I null	
0.39	0.21	0.32	0.83	0.10	

Şekil 8. Ambalaj üretim tesisinde hiçbir yük (makine, ekipman vb.) çalıştırılmadığı durumda reaktif güç kompanzasyonu OFF iken üç fazlı sistemde ölçülen güç değerleri



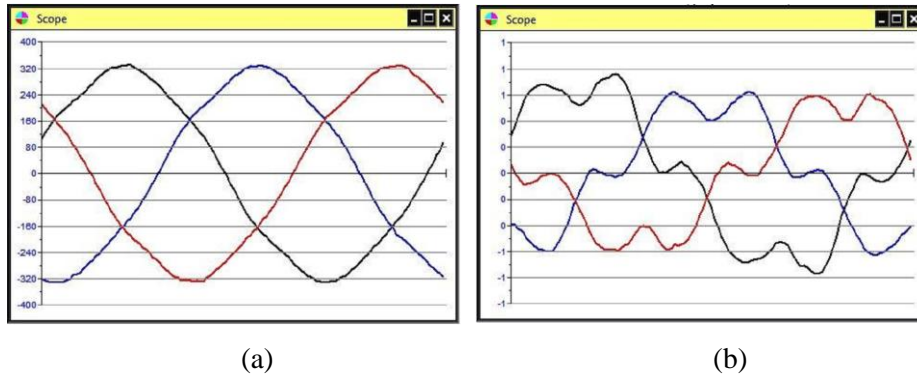
Şekil 9. Ambalaj üretim tesisinde hiçbir yük (makine, ekipman vb.) çalıştırılmadığı durumda reaktif güç kompanzasyonu OFF iken üç fazlı sistemde (a) gerilim dalga şekli ve (b) akım dalga şekli



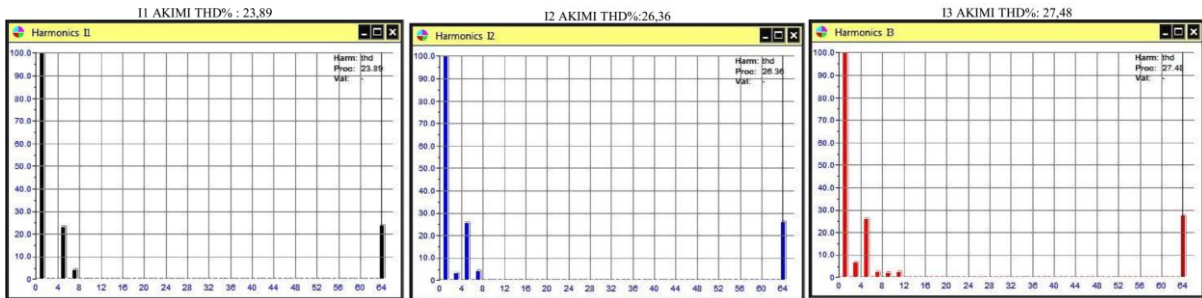
Şekil 10. Ambalaj üretim tesisinde hiçbir yük (makine, ekipman vb.) çalıştırılmadığı durumda reaktif güç kompanzasyonu OFF iken üç fazlı sistemde her bir faz için akımın frekans bileşenlerini gösteren harmonik spektrum analizleri

1st phase		2nd phase		3rd phase	
Ursm	U _{I_12}	Ursm	U _{I_23}	Ursm	U _{I_13}
226.383	392.442	226.330	390.926	225.011	390.464
thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)
3.335	0.114	3.299	0.095	3.088	0.090
I _{rsm}	P(kW)	I _{rsm}	P(kW)	I _{rsm}	P(kW)
0.503	0.108	0.420	0.088	0.400	0.082
thd(I)	Q(kVAR) c	thd(I)	Q(kVAR) c	thd(I)	Q(kVAR) c
23.888	-0.035	26.364	-0.036	27.482	-0.037
Pf c	dPf	Pf c	dPf	Pf c	dPf
0.951	0.979	0.925	0.957	0.910	0.944
Total info					
Stot(kW)	Qtot(kVAR)	Ptot(kW)	Pf _{tot} c	I _{null}	
0.30	-0.11	0.28	0.93	0.11	

Şekil 11. Ambalaj üretim tesisinde hiçbir yük (makine, ekipman vb.) çalıştırılmadığı durumda reaktif güç kompanzasyonu ON iken üç fazlı sistemde ölçülen güç değerleri



Şekil 12. Ambalaj üretim tesisinde hiçbir yük (makine, ekipman vb.) çalıştırılmadığı durumda reaktif güç kompanzasyonu ON iken üç fazlı sistemde (a) gerilim dalga şekli ve (b) akım dalga şekli



Şekil 13. Ambalaj üretim tesisinde hiçbir yük (makine, ekipman vb.) çalıştırılmadığı durumda reaktif güç kompanzasyonu ON iken üç fazlı sistemde her bir faz için akımın frekans bileşenlerini gösteren harmonik spektrum analizleri

Çizelge 3’de ambalaj üretim tesisinde yüklerin (makine, ekipman vb.) çalıştırıldığı durumda reaktif güç kompanzasyonu OFF ve ON iken I_{rms} , V_{rms} , P, S, Q, PF, dPF, %THD_I ve %THD_V ölçüm değerleri görülmektedir.

R fazında kompanzasyon OFF iken %THD_I değeri %8,313 iken kompanzasyon ON durumunda %THD_I değeri %16,729 seviyesine yükselmiştir. S fazında kompanzasyon OFF iken %THD_I değeri %8,450 iken kompanzasyon ON durumunda %THD_I değeri %15,63 seviyesine yükselmiştir. T fazında kompanzasyon OFF iken %THD_I değeri %8,879 iken kompanzasyon ON durumunda %THD_I değeri %17,1 seviyesine yükselmiştir. Çizelge 3’deki ölçümlerde R-S-T fazlarında reaktif güç kompanzasyonu OFF ve ON durumunda %THD_I arasında farklar sırasıyla R fazında %8,416, S fazında %7,180 ve T fazında %8,221’dir.

Çizelge 3. Ambalaj üretim tesisinde yüklerin (makine, ekipman vb.) çalıştırıldığı durumdaki güç parametre değerleri

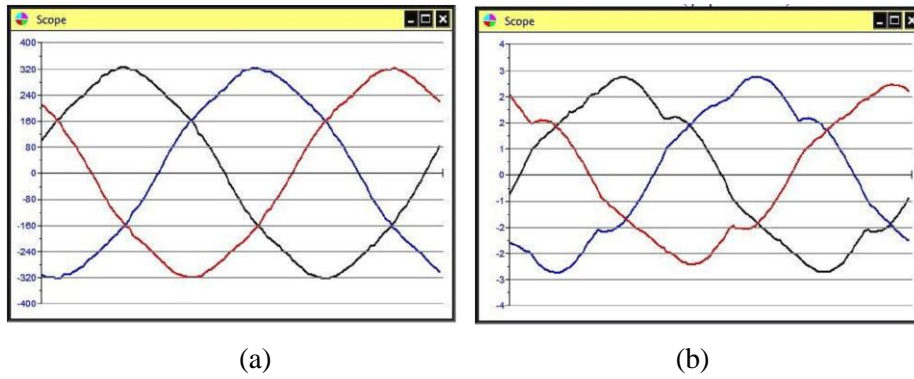
Parametr eler	Komp. OFF Faz R	Komp. OFF Faz S	Komp. OFF Faz T	Komp. ON Faz R	Komp. ON Faz S	Komp. ON Faz T
U (V)	382.822	380.704	379.452	395.572	393.380	391.428
U_{rms} (V)	220.974	220.433	218.507	227.864	227.544	226.119
I_{rms} (A)	1.963	1.960	1.804	1.120	1.091	1.002
P (W)	390	391	348	244	235	215
S (VA)	434	432	394	255	248	227
Q (VAr)	190	183	185	75	79	71
dPF	0.904	0.911	0.888	0.972	0.962	0.966
PF	0.899	0.905	0.883	0.956	0.948	0.949
THD _I (%)	8.313	8.450	8.879	16.729	15.630	17.100
THD _V (%)	3.051	3.147	3.017	2.836	2.886	2.652

Reaktif güç kompanzasyonu OFF iken ambalaj üretim tesisinde yüklerin (makine, ekipman vb.) çalıştırıldığı durumda yapılan ölçümde, şekil 14’de üç fazlı sistemde ölçülen güç değerleri, şekil 15’de üç fazlı sistemde (a) gerilim dalga şekli ve (b) akım dalga şekli ve şekil 16’da ise üç fazlı sistemde her bir faz için akımın frekans bileşenlerini gösteren harmonik spektrum analizleri görülmektedir.

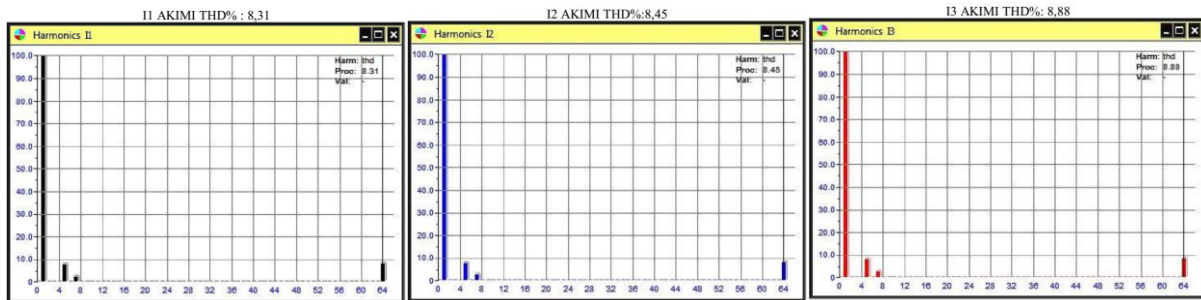
Reaktif güç kompanzasyonu ON iken ambalaj üretim tesisinde yüklerin (makine, ekipman vb.) çalıştırıldığı durumda yapılan ölçümde, şekil 17’de üç fazlı sistemde ölçülen güç değerleri, şekil 18’de üç fazlı sistemde (a) gerilim dalga şekli ve (b) akım dalga şekli ve şekil 19’da ise üç fazlı sistemde her bir faz için akımın frekans bileşenlerini gösteren harmonik spektrum analizleri görülmektedir.

1st phase		2nd phase		3rd phase	
Ursm	Ul_12	Ursm	Ul_23	Ursm	Ul_13
220.974	382.822	220.433	380.704	218.507	379.452
thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)
3.051	0.434	3.147	0.432	3.017	0.394
I_rsm	P(kW)	I_rsm	P(kW)	I_rsm	P(kW)
1.963	0.390	1.960	0.391	1.804	0.348
thd(I)	Q(kVAR) I	thd(I)	Q(kVAR) I	thd(I)	Q(kVAR) I
8.313	0.190	8.450	0.183	8.879	0.185
Pf I	dPf	Pf I	dPf	Pf I	dPf
0.899	0.904	0.905	0.911	0.883	0.888
Total info					
Stot(kW)	Qtot(kVAR)	Ptot(kW)	Ptot I	I null	
1.26	0.56	1.13	0.90	0.22	

Şekil 14. Ambalaj üretim tesisinde yüklerin (makine, ekipman vb.) çalıştırıldığı durumda reaktif güç kompanzasyonu OFF iken üç fazlı sistemde ölçülen güç değerleri



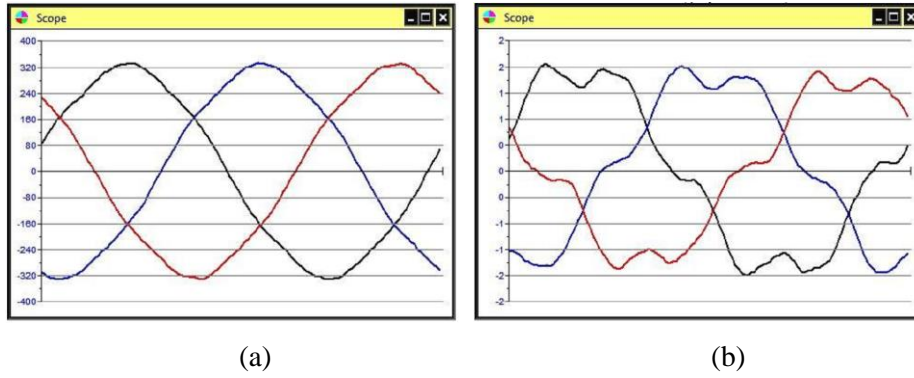
Şekil 15. Ambalaj üretim tesisinde yüklerin (makine, ekipman vb.) çalıştırıldığı durumda reaktif güç kompanzasyonu OFF iken üç fazlı sistemde (a) gerilim dalga şekli ve (b) akım dalga şekli



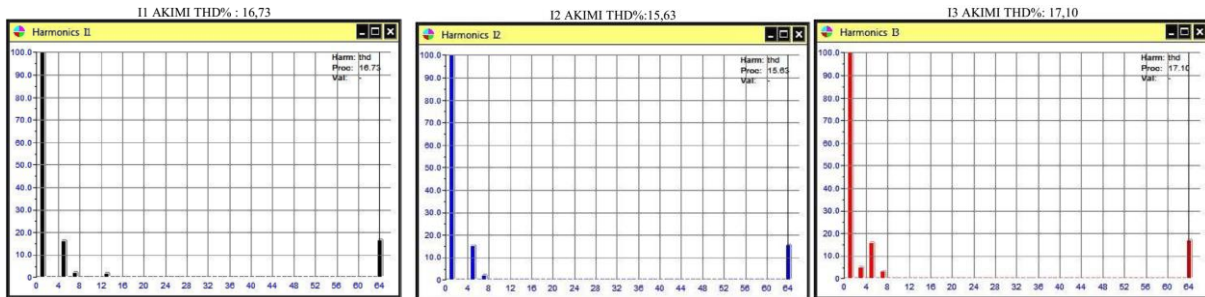
Şekil 16. Ambalaj üretim tesisinde yüklerin (makine, ekipman vb.) çalıştırıldığı durumda reaktif güç kompanzasyonu OFF iken üç fazlı sistemde her bir faz için akımın frekans bileşenlerini gösteren harmonik spektrum analizleri

1st phase		2nd phase		3rd phase	
Ursm	UI_12	Ursm	UI_23	Ursm	UI_13
227.864	395.572	227.544	393.380	226.119	391.428
thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)
2.836	0.255	2.886	0.248	2.652	0.227
I_rsm	P(kW)	I_rsm	P(kW)	I_rsm	P(kW)
1.120	0.244	1.091	0.235	1.002	0.215
thd(I)	Q(kVAR) c	thd(I)	Q(kVAR) c	thd(I)	Q(kVAR) c
16.729	-0.075	15.630	-0.079	17.100	-0.071
Pf c	dPf	Pf c	dPf	Pf c	dPf
0.956	0.972	0.948	0.962	0.949	0.966
Total info					
Stot(kW)	Qtot(kVAR)	Ptot(kW)	Pftot c	I null	
0.73	-0.23	0.69	0.95	0.15	

Şekil 17. Ambalaj üretim tesisinde yüklerin (makine, ekipman vb.) çalıştırıldığı durumda reaktif güç kompanzasyonu ON iken üç fazlı sistemde ölçülen güç değerleri



Şekil 18. Ambalaj üretim tesisinde yüklerin (makine, ekipman vb.) çalıştırıldığı durumda reaktif güç kompanzasyonu ON iken üç fazlı sistemde (a) gerilim dalga şekli ve (b) akım dalga şekli



Şekil 19. Ambalaj üretim tesisinde yüklerin (makine, ekipman vb.) çalıştırıldığı durumda reaktif güç kompanzasyonu ON iken üç fazlı sistemde her bir faz için akımın frekans bileşenlerini gösteren harmonik spektrum analizleri

Çizelge 4’de ambalaj üretim tesisinde akım trafo kutusu panosunda reaktif güç kompanzasyonu OFF ve ON iken I_{rms} , V_{rms} , P, S, Q, PF, dPF, %THD_I ve %THD_V ölçüm değerleri görülmektedir.

R fazında kompanzasyon OFF iken %THD_I değeri %21,703 iken kompanzasyon ON durumunda %THD_I değeri %37,424 seviyesine yükselmiştir. S fazında kompanzasyon OFF iken %THD_I değeri %21,19 iken kompanzasyon ON durumunda %THD_I değeri %38,587 seviyesine yükselmiştir. T fazında kompanzasyon OFF iken %THD_I değeri %21,166 iken kompanzasyon ON durumunda %THD_I değeri %36,519 seviyesine yükselmiştir. Çizelge 3’deki ölçümlerde R-S-T fazlarında reaktif güç kompanzasyonu OFF ve ON durumunda %THD_I arasında farklar sırasıyla R fazında %15,721, S fazında %17,397 ve T fazında %15,353’dür.

Çizelge 4. Ambalaj üretim tesisinde akım trafo kutusu panosunda ölçülen güç parameter değerleri

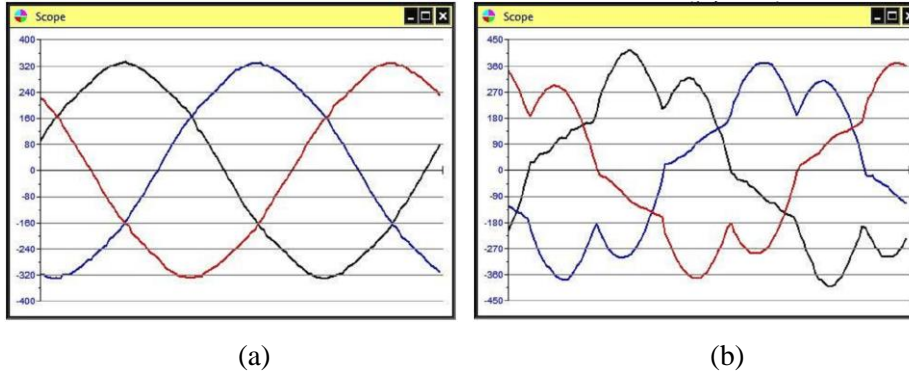
Parametr eler	Komp. OFF Faz R	Komp. OFF Faz S	Komp. OFF Faz T	Komp. ON Faz R	Komp. ON Faz S	Komp. ON Faz T
U (V)	393.006	392.547	391.184	393.690	392.889	391.624
U_{rms} (V)	227.017	226.664	225.733	227.362	226.820	226.078
I_{rms} (A)	245.869	235.655	231.836	180.245	166.158	168.160
P (W)	37 442	34 676	35 173	38 184	35 023	35 445
S (VA)	55 817	53 415	52 333	40 981	37 688	38 017
Q (VAr)	41 396	40 629	38 751	14 879	13 921	13 746
dPF	0.691	0.667	0.691	1.000	1.000	0.997
PF	0.671	0.649	0.672	0.932	0.929	0.932
THD _I (%)	21.703	21.190	21.166	37.424	38.587	36.519
THD _V (%)	2.213	0	0	0	0	0

Reaktif güç kompanzasyonu OFF iken ambalaj üretim tesisinde akım trafo kutusu panosunda yapılan ölçümde, şekil 20’de üç fazlı sistemde ölçülen güç değerleri, şekil 21’de üç fazlı sistemde (a) gerilim dalga şekli ve (b) akım dalga şekli ve şekil 22’de ise üç fazlı sistemde her bir faz için akımın frekans bileşenlerini gösteren harmonik spektrum analizleri görülmektedir.

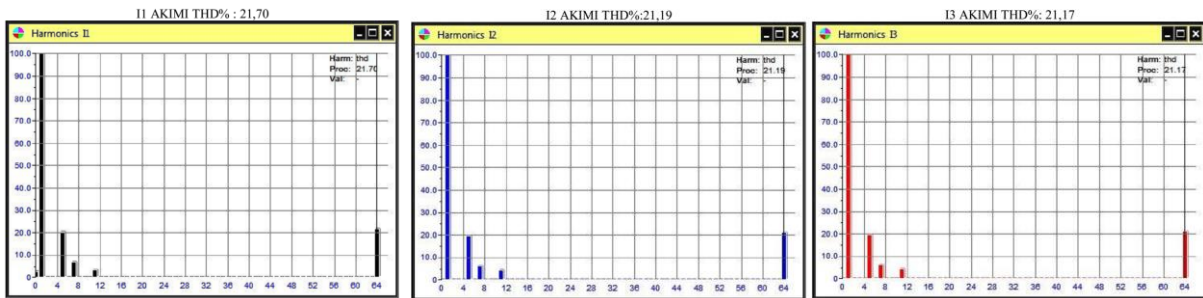
Reaktif güç kompanzasyonu ON iken ambalaj üretim tesisinde akım trafo kutusu panosunda yapılan ölçümde, şekil 23’de üç fazlı sistemde ölçülen güç değerleri, şekil 24’de üç fazlı sistemde (a) gerilim dalga şekli ve (b) akım dalga şekli ve şekil 25’de ise üç fazlı sistemde her bir faz için akımın frekans bileşenlerini gösteren harmonik spektrum analizleri görülmektedir.

1st phase		2nd phase		3rd phase	
Ursm	Ul_12	Ursm	Ul_23	Ursm	Ul_13
227.017	393.006	226.664	392.547	225.733	391.184
thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)
2.213	55.817	0	53.415	0	52.333
I_rsm	P(kW)	I_rsm	P(kW)	I_rsm	P(kW)
245.869	37.442	235.655	34.676	231.836	35.173
thd(I)	Q(kVAR) i	thd(I)	Q(kVAR) i	thd(I)	Q(kVAR) i
21.703	41.396	21.190	40.629	21.166	38.751
Pf i	dPf	Pf i	dPf	Pf i	dPf
0.671	0.691	0.649	0.867	0.672	0.691
Total info					
Stot(kW)	Qtot(kVAR)	Ptot(kW)	Pfot i	I null	
161.55	120.77	107.29	0.66	15.19	

Şekil 20. Ambalaj üretim tesisinde akım trafo kutusu panosunda reaktif güç kompanzasyonu OFF iken üç fazlı sistemde ölçülen güç değerleri



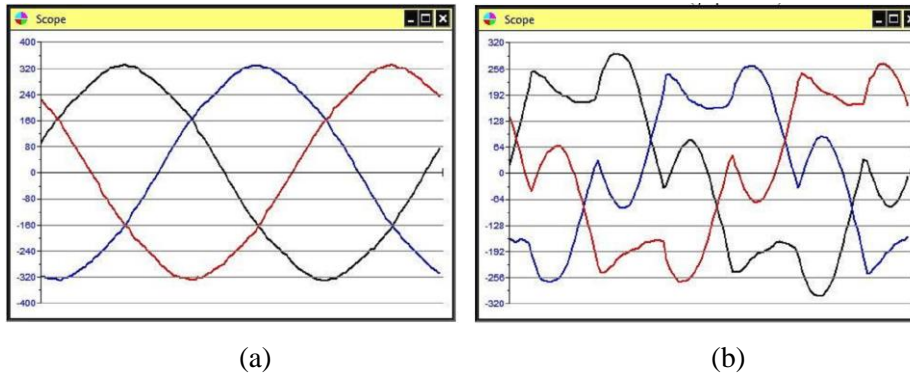
Şekil 21. Ambalaj üretim tesisinde akım trafo kutusu panosunda reaktif güç kompanzasyonu OFF iken üç fazlı sistemde (a) gerilim dalga şekli ve (b) akım dalga şekli



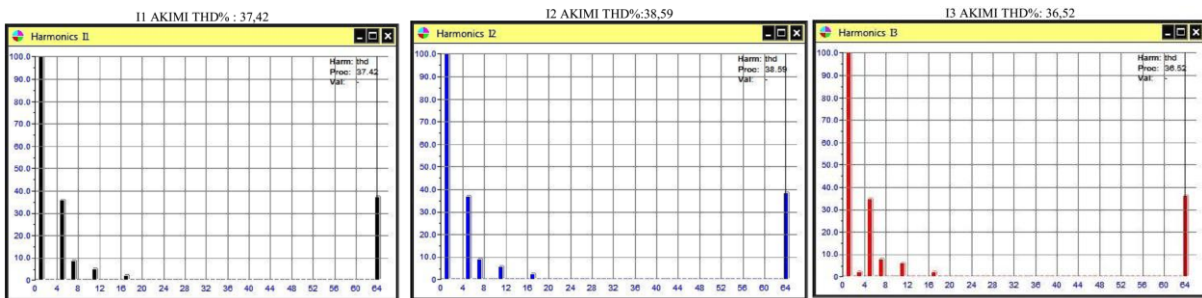
Şekil 22. Ambalaj üretim tesisinde akım trafo kutusu panosunda reaktif güç kompanzasyonu OFF iken üç fazlı sistemde her bir faz için akımın frekans bileşenlerini gösteren harmonik spektrum analizleri

1st phase		2nd phase		3rd phase	
Ursm	Ui_12	Ursm	Ui_23	Ursm	Ui_13
227.362	393.690	226.820	392.889	226.078	391.624
thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)
0	40.981	0	37.688	0	38.017
I_rsm	P(kW)	I_rsm	P(kW)	I_rsm	P(kW)
180.245	38.184	166.158	35.023	168.160	35.445
thd(I)	Q(kVAR) c	thd(I)	Q(kVAR) c	thd(I)	Q(kVAR) c
37.424	-14.879	38.587	-13.921	36.519	-13.746
Pf c	dPf	Pf c	dPf	Pf c	dPf
0.932	1.000	0.929	1.000	0.932	0.997
Total info					
Stot(kW)	Qtot(kVAR)	Ptot(kW)	Ptot c	I null	
116.69	-42.55	108.65	0.93	6.29	

Şekil 23. Ambalaj üretim tesisinde akım trafo kutusu panosunda reaktif güç kompanzasyonu ON iken (ON) üç fazlı sistemde ölçülen güç değerleri



Şekil 24. Ambalaj üretim tesisinde akım trafo kutusu panosunda reaktif güç kompanzasyonu ON iken (ON) üç fazlı sistemde (a) gerilim dalga şekli ve (b) akım dalga şekli



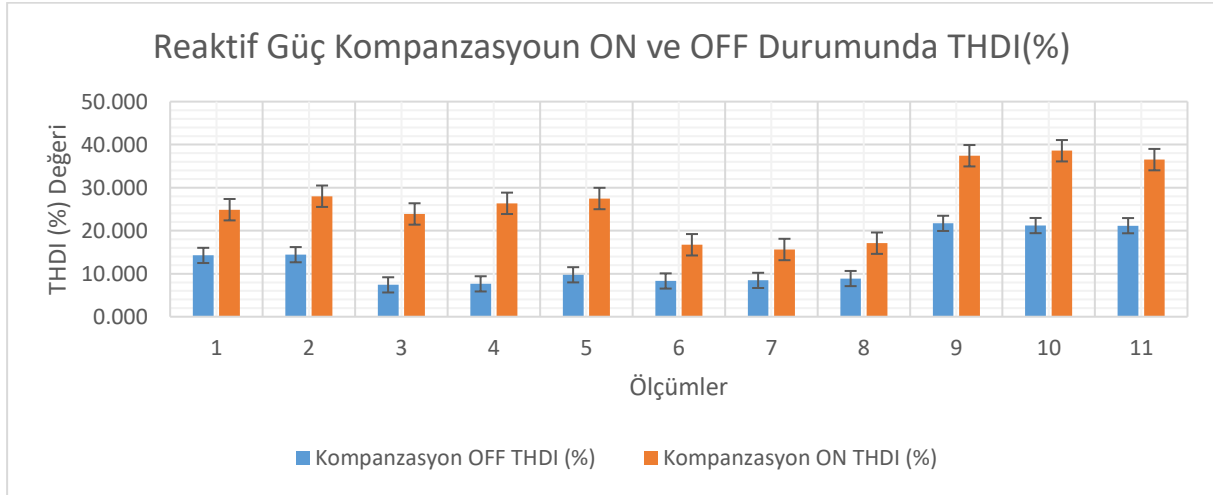
Şekil 25. Ambalaj üretim tesisinde akım trafo kutusu panosunda reaktif güç kompanzasyonu ON iken üç fazlı sistemde her bir faz için akımın frekans bileşenlerini gösteren harmonik spektrum analizleri

Çizelge 5'te reaktif güç kompanzasyon sisteminin devreye alınması ve devreden çıkarılması durumlarında ölçülen Q, % THD_I, PF ve dPF değerleri görülmektedir.

Çizelge 5. Reaktif güç kompanzasyon sisteminin ON ve OFF durumunda ölçülen Q, %THD_i, PF ve dPF değerleri

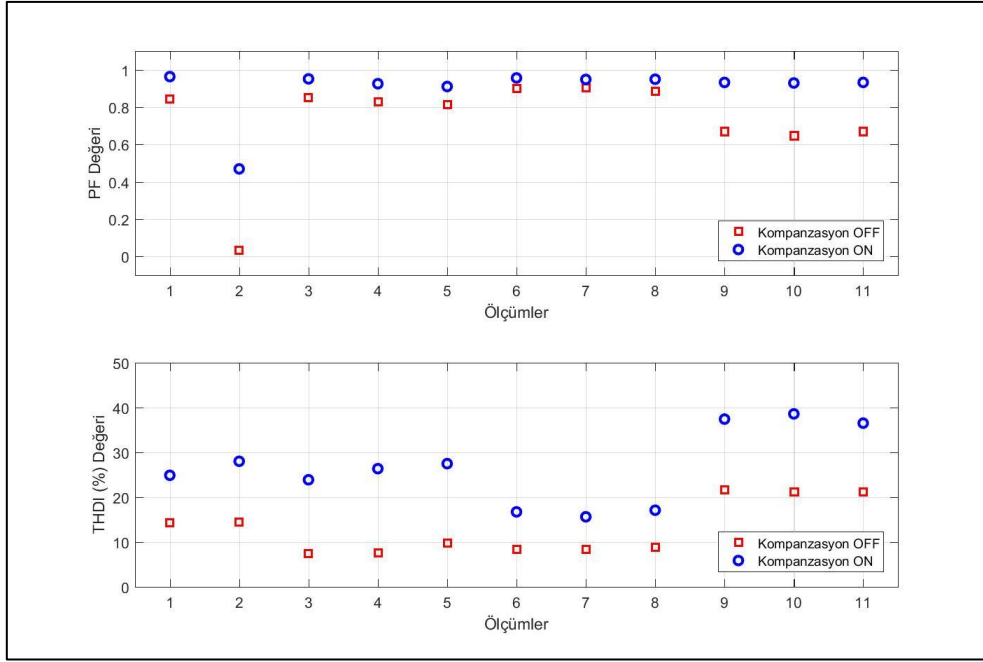
Reaktif Güç Komp. OFF Durumunda Q (Var)	Reaktif Güç Komp. ON Durumunda Q (Var)	Reaktif Güç Komp. OFF Durumunda %THD _i	Reaktif Güç Komp. ON Durumunda %THD _i	Reaktif Güç Komp. OFF Durumunda PF	Reaktif Güç Komp. ON Durumunda PF	Reaktif Güç Komp. OFF Durumunda dPF	Reaktif Güç Komp. ON Durumunda dPF
83	37	14.252	24.888	0.842	0.963	0.856	1
150	119	14.426	28.011	0.034	0.469	0.03	0.5
74	35	7.406	23.888	0.852	0.951	0.855	0.979
73	36	7.641	26.364	0.828	0.925	0.831	0.957
67	37	9.751	27.482	0.812	0.910	0.815	0.944
190	75	8.313	16.729	0.899	0.956	0.904	0.972
183	79	8.450	15.630	0.905	0.948	0.911	0.962
185	71	8.879	17.100	0.883	0.949	0.888	0.966
41 396	14 879	21.703	37.424	0.671	0.932	0.691	1
40 629	13 921	21.190	38.587	0.649	0.929	0.667	1
38 751	13 746	21.166	36.519	0.672	0.932	0.691	0.997

Çizelge 5'deki değerler göz önüne alınarak şekil 26, 27 ve 28'deki grafikler elde edilmiştir. Şekil 26'da reaktif güç kompanzasyon sisteminin OFF ve ON durumlarında, tüm ölçümler grafikte de görüldüğü üzere %THD_i değeri, kompanzasyon ON iken artmıştır.



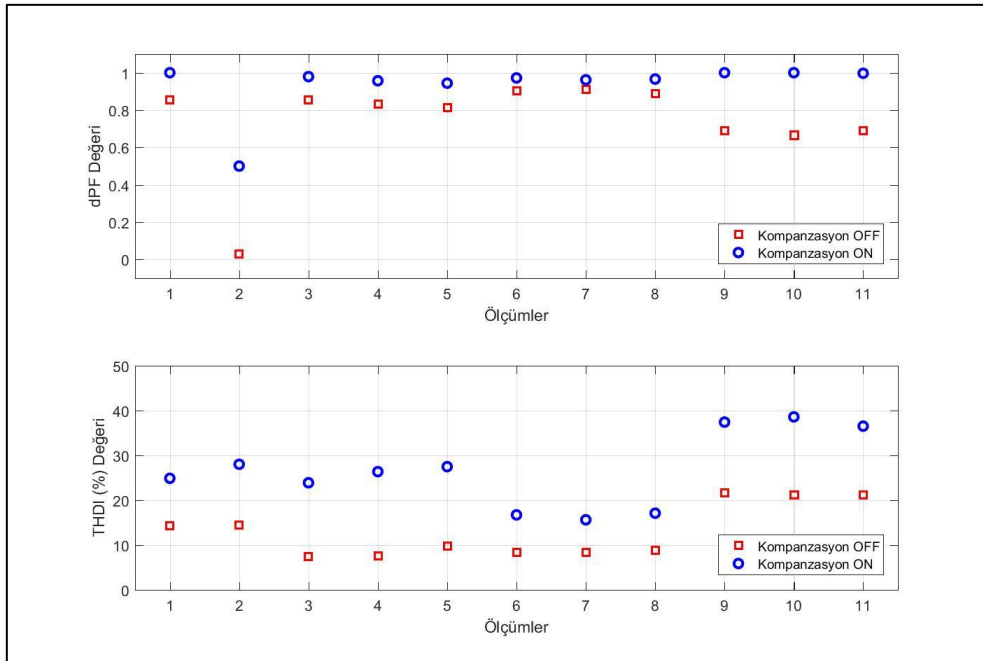
Şekil 26. Reaktif Güç Kompanzasyonu ON ve OFF durumlarında, %THD_i değerleri

Şekil 27'de reaktif güç kompanzasyon sisteminin OFF ve ON durumlarında, tüm ölçümler grafikte de görüldüğü üzere PF değerleri artıyor yani güç kalitesi iyileşiyor iken, %THD_i değeri, kompanzasyon ON iken artmıştır yani güç kalitesi azalmıştır.



Şekil 27. Reaktif Güç Kompanzasyonu OFF ve ON durumlarında, PF ve %THD₁ değerleri

Şekil 28'de reaktif güç kompanzasyon sisteminin OFF ve ON durumlarında, tüm ölçümler grafikte de görüldüğü üzere dPF değerleri artıyor yani güç kalitesi iyileşiyor iken, %THD₁ değeri, kompanzasyon ON iken artmıştır yani güç kalitesi azalmıştır.



Şekil 28. Reaktif Güç Kompanzasyonu OFF ve ON durumlarında, dPF ve %THD₁ değerleri

Genel olarak, harmonik bozulma ve reaktif güç kompanzasyonu arasındaki ilişki literatürde geniş çapta incelenmiş olup, bu çalışmanın sonuçları da önceki bulgularla tamamiyle örtüşmektedir.

4. Sonuçlar

Endüstriyel tesislerde reaktif güç kompanzasyonu doğru şekilde tasarlandığında, güç kalitesini iyileştirir, enerji verimliliğini artırır ve ekipman ömrünü uzatır. Ancak yanlış tasarlanan bir kompanzasyon sistemi, sistemdeki harmonik bozulmaları artırabilir ve rezonansa neden olabilir. Bu rezonans, motorların, inverterlerin ve diğer elektronik cihazların zarar görmesine yol açabilir. Bu nedenle, üretim ve imalat tesislerinde rezonans frekanslarının doğru bir şekilde belirlenmesi ve kompanzasyon devresinin buna göre tasarlanması gerekmektedir. Pasif veya aktif harmonik filtreler, kompanzasyon sistemlerine entegre edilerek rezonans problemleri minimize edilmelidir. Enerji sürekliliği kritik olan tesislerde aktif harmonik filtre kullanımı zorunlu hale getirilmeli ve harmoniklerin anlık izlenmesi sağlanmalıdır. Reaktif güç kompanzasyonu bir tesise yapılacak ise tesis önce harmonik yönünden incelenmeli ve standart değerler baz alınarak harmonikli reaktif güç kompanzasyonu yapılmalıdır.

Bu çalışmada reaktif güç kompanzasyonunun toplam harmonik bozulmaya olan etkisi, sulama sistemleri üreten tesiste, ambalaj sanayisinde üretim yapan tesis yüklü ve yüksüz iken üç fazda reaktif güç kompanzasyonu OFF ve ON durumunda iken ölçümler yapılarak açıklanmıştır. Reaktif güç kompanzasyonu OFF ve ON iken %THD₁ sonuçları analiz edilip tablolaştırılmış ve grafik haline getirilmiştir. Elde edilen sonuçlar reaktif güç kompanzasyonu ON iken şebekeden çekilen reaktif gücü azalttığını göstermiştir. Ancak reaktif güç kompanzasyonunda kullanılan kondansatörler nedeniyle %THD₁ değeri artmıştır. Reaktif güç kompanzasyonun %THD₁ değerini minimum %7,180 fark ile %8,45'ten %15,63'e, maksimum ise %18,723 fark ile %7,64'den %26,36'e yükseltmiştir. Sonuç olarak güç kalitesinin en önemli parametrelerinden birisi olan güç faktörü, reaktif güç kompanzasyonu yapılarak iyileştirildiğinde, %THD₁ değerinin arttığı görülmüştür. %THD₁ değerinin artmasıyla güç kalitesi azalmıştır. Bu yüzden, reaktif güç kompanzasyon sistemleri tasarlanırken harmoniklerin göz önünde bulundurulması güç kalitesi için önem arz etmektedir.

Kaynaklar

- [1] Kocatepe C, Uzunoğlu M, Yumurtacı R, Karakaş A ve Arıkan O. Elektrik Tesislerinde Harmonikler. İstanbul: Birsen Yayınevi; 2003.
- [2] Adak S, Cangı H ve Yılmaz AS. Doğrusal Olmayan Yüklerde Güç Faktörünün Düzeltilmesi ve Harmonik Bileşenlerin Süzülmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2019; 7 (1): 153-164.
- [3] Kakilli A, Tunçalp K ve Sucu M. Harmoniklerin Reaktif Güç Kompanzasyon Sistemine Etkilerinin İncelenmesi. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 2008; 20 (1): 109-115.
- [4] Camui C, Petre V and Boicea V. Power Factor Correction: a Hands-on Introduction for Students. International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE), Iasi, Romania; 2020.
- [5] Sharma YK and Vijay MR. Capacitor Banks and its Effect on Power System with High Harmonics Loads. In: 3rd International Conference for Convergence in Technology (I2CT), Pune, India; 2018.
- [6] Olaru D and Floricau D. Model Analysis for Sinusoidal Power Factor Corrector. U.P.B. Sci. Bull., Series C 2012; 74 (4): 273-282.
- [7] Singh R, Paniyil P and Zhang Z. Transformative Role of Power Electronics: In solving climate emergency. IEEE Power Electronics Magazine 2022; 9 (2): 39-47.
- [8] Williamson SS. The success of electric mobility will depend on power electronics. Nature Electronics 2022; 5(1): 14-15.
- [9] Grady WM and Santoso S. Understanding power system harmonics. Power Engineering Review IEEE 2001; 21(11): 8-11.
- [10] Kutija M and Pravica L. Electric Power Quantities in the Presence of Harmonics-Case Study. In: IEEE 19th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC), Gliwice, Poland; 2021.

- [11] Azzam-Jai A and Ouassaid M. A Multifunctional PV-Based Shunt Active Power Filter Using Neural Network Controller. International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies (ISAECT), Rabat, Morocco; 2018.
- [12] Subjak JS and McQuilkin JS. Harmonics-causes, effects, measurements, and analysis: an update. IEEE Transactions on Industry Applications 1990; 26 (6): 1034-1042.
- [13] Arrillaga J, Watson NR and Chen S. Power system quality assessment. New York: Wiley; 2000.
- [14] Elphick S, Gosbell V, Smith V, Perera S, Ciufu P and Drury G. Methods for harmonic analysis and reporting in future grid applications. IEEE Transactions on Power Delivery 2017; 32 (2): 989–995.
- [15] Conroy E. Power monitoring and harmonic problems in the modern building. Power Engineering Journal 2001; 15 (2): 101–107.
- [16] Riaz MT, Afzal MM, Aaqib SM and Ali H. Analysis and Evaluating the Effect of Harmonic Distortion Levels in Industry. In: 4th International Conference on Energy Conservation and Efficiency (ICECE), Lahore, Pakistan; 2021.
- [17] Moraes PHF *et al.* Synchronous compensation versus capacitive compensation for reactive power in industrial systems subjected to harmonic distortion. In: IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), Florence, Italy; 2016.
- [18] Biricik S and Özerdem ÖC. Harmonic distortion comparison of switched capacitors with active power filter for reactive power compensation. In: 9th International Conference on Environment and Electrical Engineering, Prague, Czech Republic; 2010.
- [19] Munir HM, Xie C, Zou J, Wang X, Kashif SAR and Younas T. Impact of VAR compensation on total harmonic distortion measured using smart meter. In: 2nd International Conference on Power and Renewable Energy (ICPRE), Chengdu, China; 2017.
- [20] Giha Yidi SA, Sousa Santos V, Berdugo Sarmiento K, Candelo-Becerra JE, de la Cruz J. Comparison of Reactive Power Compensation Methods in an Industrial Electrical System with Power Quality Problems 2024; 5 (3): 642-661.
- [21] Grady WM and Gilleskie RJ. Harmonics And How They Relate To Power Factor, Proc. of the EPRI Power Quality Issues & Opportunities Conference (PQA '93), San Diego, United States; 1993.
- [22] Wakileh JG. Power Systems Harmonics: Fundamentals, Analysis and Filter Design. 1st ed. New York: Springer; 2001.