

**Atf İçin:** Kürker F, 2022. Lineer Olmayan Yüklerin Sebep Olduğu Harmoniklerin ve Fazlar Arası Güç Dengesizliğinin Nötr Akımına Etkisi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(3): 1456 - 1467.

**To Cite:** Kürker F, 2022. The Effect of Harmonics Caused by Non-Linear Loads and Power Imbalance Between Phases on Neutral Current. Journal of the Institute of Science and Technology, 12(3): 1456 - 1467.

## Lineer Olmayan Yüklerin Sebep Olduğu Harmoniklerin ve Fazlar Arası Güç Dengesizliğinin Nötr Akımına Etkisi

Faruk KÜRKER<sup>1\*</sup>

**ÖZET:** Farklı yük çeşitlerine sahip cihazların çalışması, yüksek akım ve gerilim harmonikleri, faz ve güç dengesizliği gibi bozulmaların meydana gelmesiyle ilgilidir. Daha yüksek harmonikler ile güç ve faz dengesizliği nedeniyle elektrik ekipmanları doğru çalışmayabilir. Nötr akım, harmonik ile güç ve faz dengesizliği sonuçlarındandır. Üç fazlı sistemlerde yüklerin neden olduğu dengesizlik sorunundan veya kablo bağlantısında yapılan yanlışlıklardan kaynaklı olarak nötr iletkeninde akım akışı olabilir. Lineer olmayan yükler şebekeye veya kaynağa harmonik akımlar enjekte eder. Şebekede üçlü harmonikler mevcut olduğunda, yük mükemmel bir şekilde dengelenmiş olsa bile nötr akım sıfır değildir. Bu da nötr iletkeninin aşırı yüklenmesine bağlı olarak ısınması nedeniyle yangın riskini artırabilir. Bu çalışmada üç farklı tesiste beş ölçüm, üç fazda (Faz A, Faz B ve Faz C) yapılarak güç parametreleri ölçülmüştür. Yük dengesizliği ile üçlü harmonik değerlerinin nötr akımına etkisi karşılaştırılmıştır. Birinci ve ikinci ölçümdeki güç dengesizliği standart hata değeri birbirine yakın olmasına karşın üçlü harmonik değerler arasında yaklaşık %30'luk değişkenlik var iken nötr akımda oluşan fark 13.27 A olmuştur. Çalışmadaki test edilen sistem için triplen harmoniklerin, dengesiz yüklenmeye göre nötr iletkeninde oluşan akım üzerinde daha fazla etkisinin olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Güç dengesizliği, lineer olmayan yükler, harmonik bozulma, güç kalitesi, nötr akım

## The Effect of Harmonics Caused by Non-Linear Loads and Power Imbalance Between Phases on Neutral Current

**ABSTRACT:** The operation of devices with different load types is related to the occurrence of distortions such as high current and voltage harmonics, phase and power imbalance. Electrical equipment may not operate correctly due to higher harmonics and power and phase imbalance. Neutral current is the result of harmonics and power and phase imbalance. In three-phase systems, current may flow in the neutral conductor due to the imbalance problem caused by the loads or the wrong wiring. Non-linear loads inject harmonic currents into the grid or source. When triple harmonics are present in the network, the neutral current is not zero even if the load is perfectly balanced. This can increase the risk of fire due to overheating of the neutral conductor due to overload. In this study, power parameters were measured by performing five measurements in three phases (Phase A, Phase B and Phase C) in three different facilities. The effects of load unbalance and triple harmonic values on neutral current are compared. Although the power imbalance standard error value in the first and second measurement was close to each other, there was approximately 30% variation between the triple harmonic values, while the difference in neutral current was 13.27 A. For the test system in the current study, it was concluded that triplen harmonics have more effect on the current in the neutral conductor than unbalanced loading.

**Keywords:** Power unbalance, non-linear loads, harmonic distortion, power quality, neutral current

<sup>1</sup> Faruk KÜRKER ([Orcid ID: 0000-0003-1544-9743](https://orcid.org/0000-0003-1544-9743)), Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Faruk KÜRKER, e-mail: fkurker@adiyaman.edu.tr

## GİRİŞ

Geniş güç aralığına ve farklı yük çeşitlerine sahip cihazlar nedeniyle yüksek akım ve gerilim harmonikleri, faz ve güç dengesizliği gibi bozulmalar meydana gelebilmektedir. Daha yüksek harmonikler ile güç ve faz dengesizliği nedeniyle elektrik ekipmanları doğru çalışmayabilir. (Belitskiy ve ark., 2018). Üç fazlı dört telli dağıtım sistemlerinde, doğrusal ve doğrusal olmayan tek fazlı yüklerin ve dengesiz yük dağılımı nedeniyle nötr akımın varlığı oldukça yaygındır. Bununla birlikte, yüksek bir nötr akım, nötr iletkeni ve dağıtım transformatörünü aşırı yükleyebilir ve bu da elektrik güvenliği sorunlarına ve hatta yangına neden olabilir (Rafi ve ark., 2019; Patel ve Hmurcik, 2016; Sreenivasarao ve ark., 2012). Nötr akım, harmonik ile güç ve faz dengesizliği sonuçlarındandır (Mahale ve Shaik, 2016). Üçün katları olan (yani 3, 9, 15, 21 vb.) ve tek fazlı yükler tarafından üretilen yüksek harmonikler, üç fazlı dört telli sistemlerde belirli bir etkiye sahiptir. Dengeli (simetrik) üç fazlı bir sistemde, her üç fazdaki harmonik (sinüs benzeri) akımlar  $120^\circ$  birbirine kaydırılır, yani nötr teldeki akımların toplamı sıfırdır. Aynı şey için üçün katları olanlar hariç ( $n = 3(2k + 1)$ , burada  $k = 0, 1, 2, \dots$ ) tüm harmonikler için de geçerlidir. Üç fazlı sistemlerde, bunlar  $360^\circ$  kaydırılır ve sıfır dizi oluşturmak için fazda çakışır. Tek harmonikler nötr telde birleşir. Bunlar, faz akımlarının gerçek değerinde daha büyük bir kısmı temsil ettiğinden, nötr teldeki toplam akım, faz akımlarını aşabilir. Nötr telde üçün katları olan daha yüksek harmoniklerin varlığının, nötr tel akımının faz akımlarını aşmasına neden olabileceği ve böylece üç fazlı dört telli nötr tellerin kesitinin artırılması sonucuna varılmaktadır. (Belitckiy ve Voytyuk, 2017)

Üç fazlı da dengeli olarak yüklenmiş şebekelerde üç ve üçün katı harmoniklerde yoksa nötr iletkeninden herhangi bir akım geçişi olmaz (Grady, 2012). Ancak yük dengeli olsa bile şebekede üç ve üçüncü harmoniğin katları mevcutsa ya da tam tersi durumda nötr iletkeninde akım gözlemlenir. Güç hattında üçlü harmoniklerin varlığı şebeke performansını etkilemenin yanı sıra, güç kayıplarına, iletişim hattında parazite, nötr iletkeninin aşırı ısınmasına ve iletkeninde ciddi hasara neden olabilir (Gül ve Bayrak, 1999; Hofmann ve ark., 2012). Dolayısıyla nötr iletkeninde meydana gelen arıza, sistemdeki triplen (3., 9., 15., 21., 27., ...) harmoniklerin akmasının bir sonucudur (Abu Bakar, 2008; Jadeja ve ark., 2018). Aslında daha yüksek frekansları ve daha düşük akım seviyeleri sebebiyle, 9., 15., 21., 27. ve daha yüksek triplen (üçlü) harmoniklerin, nötr akımına etkisi 3. harmoniğin etkisine nazaran daha azdır (Arthur ve Shanahan, 1996). Üç fazlı elektronik yükler, üçlü harmonikleri oluşturmaz, tek fazlı yükler ise üçlü harmonik kaynağıdır fakat yüksek seviyeli diğer harmoniklerin önemli mertebelerini oluştururlar.

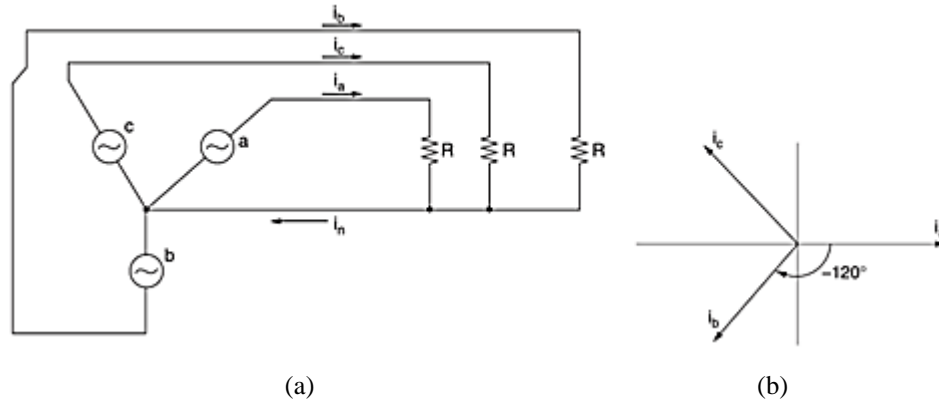
Üç fazlı güç sistemlerinde nötr akımı genellikle fazlardaki güç dengesizliği ve triplen harmoniklerden kaynaklanmaktadır. Dey ve Chakraborty (2013), hem doğrusal olmayan hem de güç kalitesine duyarlı belirli tipik yüklerin neden olduğu nötr gerilim ve nötr akım dalga biçimindeki harmonik bozulmanın seviyesini ve türünü belirlemeye yönelik bir çalışma yapmıştır. Elektrik makinaları laboratuvarında yapmış oldukları ölçüm ile yüksek harmonik distorsiyon nedeniyle nötr gerilim ve akımın önemli miktarda harmoniklere sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Aynı zamanda, beslemedeki ve yükteki dengesizliklerin nötr iletken akımını büyük ölçüde etkilediğini tespit etmişlerdir. Yong ve Yu (2014), nötr akımı sadece bilinen üç fazlı akımlarla tahmin etmek için bir yöntem sunmuşlar ve her bir sistem parametresinin nötr akım üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Jadeja ve ark. (2018), yıldız-üçgen transformatör ve tek fazlı yarım köprü evirici tabanlı şönt aktif güç filtresi yardımıyla nötr akım harmoniklerinin ortadan kaldırılması için çalışma yapmışlardır. Önerdikleri aktif güç filtresi, nötr akımda bulunan harmonikleri ortadan kaldırmanın yanı sıra besleme şebekesinden gelen üçüncü harmoniklerin azaltılmasına yardımcı olmuştur. Arvindan ve Praveenkumar (2013), üç fazlı şebeke ve diyot köprü doğrultucuları arasında bir delta yönlü transformatör kullanarak hat ve nötr akımlardaki üçlü

harmoniklerin ortadan kaldırılması ve üçlü olmayan harmoniklerin azaltılması yoluyla bozulmanın azaltılması ile ilgili çalışma yapmış olup, MATLAB simülasyonlarına dayalı veri ve sonuçlarla da kanıtlamışlardır. Eduful ve Atanga (2016), yüksek nötr akımların içeriğini analiz etmiş ve harmoniklerin dağıtım transformatörleri üzerindeki ana etkilerini araştırmıştır. Triplen harmoniklerin çoğunlukla dağıtım transformatörlerindeki yüksek nötr akımlarından sorumlu olduğunu ve nötr iletkenindeki RMS akımının %70'inden fazlasının triplen harmoniklerden kaynaklandığını gözlemlemişlerdir.

Yüksek harmonik içerikli alternatif akımın doğal özellikleri ve elektronik güç kaynaklarının, elektronik balastların, UPS sistemlerinin, ayarlanabilir hız sürücülerinden kaynaklanan aşırı yüklenmiş nötr tel için araştırmacılar tarafından zikzak transformatörler, aktif filtreler, L-C ayarlı filtreler yada nötr tel kesitinin artırılması gibi farklı çözümler sunulmaktadır (Karthi et al., 2017). Bu çalışmada üç farklı tesiste beş ölçüm, üç fazda (Faz A, Faz B ve Faz C) yapılarak güç parametreleri ölçülmüştür. Ölçülen parametrelerden güç ve toplam harmonik bozulma değerleri (özellikle üç ve üçün katı olan harmonik değerleri) göz önünde bulundurularak nötr akımına etkisi incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı, lineer olmayan yüklerin neden olduğu triplen harmoniklerin ve dengesiz yüklerin nötr akımına olan etkisini karşılaştırmaktır.

## MATERYAL ve METOT

Dengeli lineer yüklerle sahip üç fazlı sistemlerde nötr akım sıfırdır. Şekil 1'de gösterilen, doğrusal dirençli yüklerle sahip dengeli bir üç fazlı sistemdir.



Şekil 1. Dengeli üç fazlı bir sistem. (a) Dengeli dirençli yükleri gösteren bir devre (b) Nötr akımların fazör diyagramı (Kusko and Thompson, 2007)

Şekil 1'deki dengeli üç fazlı bir sistemde faz akımları eşitlik 1, eşitlik 2 ve eşitlik 3'teki gibi hesaplanır.

$$i_a = \left(\frac{V}{R}\right) \sin(\omega t) \quad (1)$$

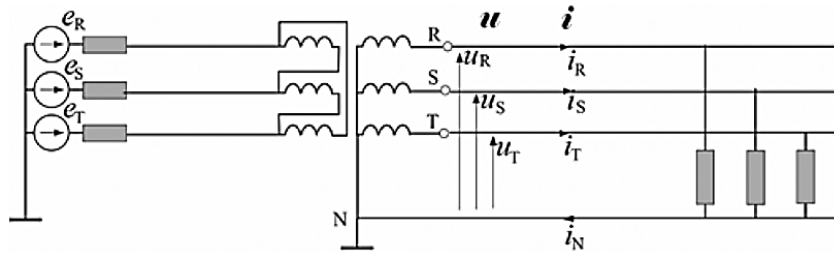
$$i_b = \left(\frac{V}{R}\right) \sin(\omega t - 120^\circ) \quad (2)$$

$$i_c = \left(\frac{V}{R}\right) \sin(\omega t - 240^\circ) \quad (3)$$

Yukarıdaki eşitliklerde  $i_a$ ,  $i_b$  ve  $i_c$  faz akımlarını yansıtmaktadır. Ayrıca  $V$  gerilim büyüklük değerini ifade etmektedir. Nötr akım ( $i_n$ ), üç fazlı akımların vektöriyel toplamıdır ve eşitlik 4'teki şekliyle hesaplanır.

$$i_n = i_a + i_b + i_c \quad (4)$$

Genel olarak şebekedeki yükler, Şekil 2'de gösterildiği gibi, topraklanmış bir nötr iletkenli  $\Delta/Y$  üç fazlı bir transformatörden sağlanan tek fazlı yüklerdir. Bir miktar dengesizlik, bu tür yüklerin ortak bir özelliğidir. Bu dengesizlik özellikle dağıtım şebekelerinde görülebilir.



Şekil 2. Nötr ile üç fazlı hattan beslenen sabit tek fazlı yükler (Czarnecki and Haley, 2015)

Dengesiz güce sahip güç denklemi 2000 ve 2010 yılında IEEE Standard 1459 tarafından tanımlanmıştır. Güç dengesizliği ( $S_U$ ), eşitlik 5’deki temel dengesiz güç kullanılarak değerlendirilebilir.

$$S_U = \sqrt{S_e^2 - (S^+)^2} \quad (5)$$

Sistem dengesizliğinden kaynaklanan görünür güç ( $S$ ) miktarını hesaplar. Gerilim dengesizliği ile karıştırılmamalıdır. Hem yük dengesizliğini hem de gerilim asimetrisini yansıtır.  $S^+$  pozitif dizi görünür güçtür (VA) ve eşitlik 6 ve eşitlik 7’deki gibi tanımlanır.

$$S^+ = 3V^+I^+ \quad (6)$$

$$(S^+)^2 = (P^+)^2 + (Q^+)^2 \quad (7)$$

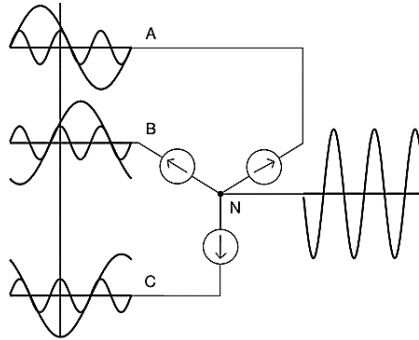
$V^+$  pozitif dizi gerilim,  $I^+$  pozitif dizi akım,  $P^+$  pozitif dizi aktif güç (W) ve  $Q^+$  pozitif dizi reaktif güç (VAR) değeridir.  $S_e$  ise efektif görünür güçtür ve eşitlik 8’deki gibi tanımlanır.

$$S_e^2 = S_{e1}^2 + S_{eN}^2 \quad (8)$$

$S_{e1}$  temel etkin (rms) görünen güçtür ve eşitlik 9’da görülmektedir.  $S_{eN}$  ise temel olmayan etkin görünen güç değeridir.

$$S_{e1} = 3V_{e1}I_{e1} \quad (9)$$

Eşitlik 9’da,  $V_{e1}$  temel etkin gerilim ve  $I_{e1}$  ise temel etkin (rms) akım değeridir. Şekil 3’de dengelenmiş tek fazlı yüklere sahip sistem için, temel ve üçüncü harmonik bileşenlerin mevcut durumu görülmektedir.



Şekil 3. Tek fazlı doğrusal olmayan yüklere hizmet eden devrelerde yüksek nötr akımlar (Dugan ve ark., 2004)

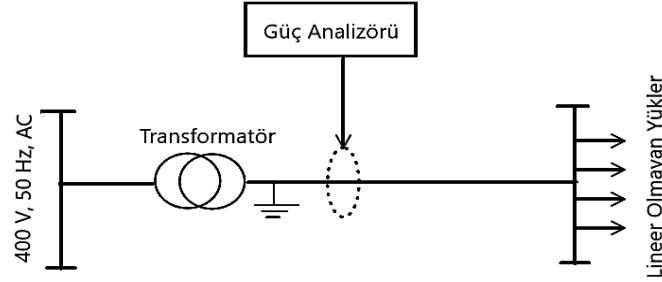
Toplam Harmonik Bozulma (THD), gerilim ve akım dalga biçimlerinin kaç tane harmonik bileşen içerdiğini ve oluşan dalga biçimi bozulmasının boyutunu gösterir. THD, harmonik bileşenlerin ortalama karekökünün (RMS) temel bileşenin rms değerine bölünmesiyle bulunur ve genellikle yüzde olarak ifade edilir. THD, sırasıyla eşitlik 10 ve eşitlik 11’deki gibi akım ve gerilim için hesaplanır (Arrillaga ve Watson, 2003)

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N I_n^2}}{I_1} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \quad (10)$$

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N V_n^2}}{V_1} = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \quad (11)$$

Eşitlik 10 ve eşitlik 11’de  $THD_I$  ve  $THD_V$ , akım ve gerilimin toplam harmonik bozulmasını,  $I_n$  ve  $V_n$  devreye uygulanan akım ve gerilimin n’inci mertebedeki harmoniğinin etkin değerini ve  $I_1$  ile  $V_1$  ise devreye uygulanan akım ve gerilimin temel frekanstaki etkin değerini ifade etmektedir.

Üç farklı tesiste güç analizörü (Amprobe Energy Test) ile beş ölçüm yapılmıştır. Güç analizörü ile fazlar arası gerilim, rms (Kök Ortalama Kare- Root Mean Square) gerilimi ( $U_{rms}$ ), rms akımı ( $I_{rms}$ ), görünür güç (S), akım toplam harmonik bozulma yüzdesi (% $THD_I$ ) ve nötr akım değerleri ölçülmüştür. Ayrıca tesislerdeki gerilim ve akım grafiğinin yanı sıra akımın harmonik spektrumu verilmiştir. Tesislerde yapılan ölçümlerin tek hat şeması Şekil 4’de görülmektedir.



Şekil 4. Tesislerde yapılan ölçümlerin tek hat şeması

Tesislerde her ölçüm için fazlardaki güç ve triplen harmoniklerin, nötr iletkeninde oluşan akıma etkisi değerlendirilmiştir. Fazlardaki güç dengesizlikleri standart sapma ve standart hata değerleri hesaplanarak güç dengesizliği karşılaştırılmıştır. Ölçüm 1 değerleri klimaların bulunduğu birinci tesisten, ölçüm 2 değerleri mısır entegre tesisinden ve ölçüm 3, ölçüm 4 ve ölçüm 5 ise üçüncü tesisten (çelik ve alüminyum, ısıl işleme tabi tutulmaktadır) elde edilen değerlerdir.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Tesislerden elde edilen bulgular, her bir ölçüm için Şekil 5-7, (a)’da tüm fazların değerleri, (b)’de gerilimin sinüs dalga şekli, (c)’de akımın sinüs dalga şekli, (d)’de faz A için akım harmonik spektrumu, (e)’de faz B için akım harmonik spektrumu ve (f)’de ise faz C için akım harmonik spektrumu görülmektedir.

Birinci tesiste (klimaların bulunduğu tesis) elde edilen bulgular değerlendirildiğinde (ölçüm 1) Şekil 5’de de görüldüğü üzere birinci ölçümde faz A’da güç değeri 4594 VA, faz B’de 4189 VA ve faz C’de ise 4128 VA’dır. Üç fazdaki güç değerlerinden de anlaşıldığı gibi fazlarda yüklerden kaynaklı dengesizlik mevcuttur. Triplen harmoniklere bakıldığında ise faz A’da akımın 3. harmonik mertebesi %11, 9. harmonik mertebesi %8, 15. harmonik mertebesi %4 ve faz C’de 3. harmonik mertebesi %4 olarak ölçülmüştür. Yük dengesizliği ve triplen harmoniklerin etkisinden kaynaklı olarak ölçülen nötr akımını 38.73 A’dır.

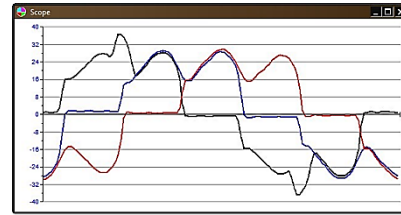
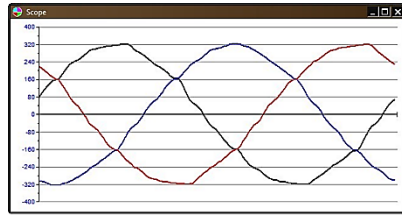
## Lineer Olmayan Yüklerin Sebep Olduğu Harmoniklerin ve Fazlar Arası Güç Dengesizliğinin Nötr Akımına Etkisi

1st phase		2nd phase		3rd phase	
Ursm	Ul_12	Ursm	Ul_23	Ursm	Ul_13
224.220	387.024	222.776	386.408	223.205	387.281
thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)
0	4.594	2.172	4.189	0	4.128
Irsm	P(kW)	Irsm	P(kW)	Irsm	P(kW)
20.488	4.372	18.802	2.238	18.496	-1.717
thd(I)	Q(kVAR) i	thd(I)	Q(kVAR) c	thd(I)	Q(kVAR) l
29.614	1.411	34.542	-3.541	34.328	-3.754
Pf i	dPf	Pf c	dPf	Pf l	dPf
0.952	0.997	0.534	0.562	0.416	0.445

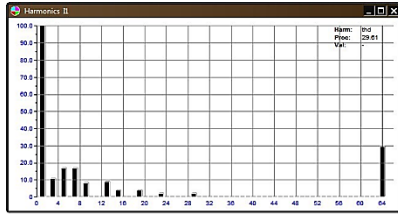
Total info				
Stot(kW)	Qtot(kVAR)	Ptot(kW)	Pfot c	I null
7.65	-5.88	4.89	0.64	38.73

(a)

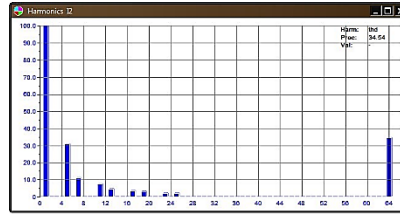


(b)

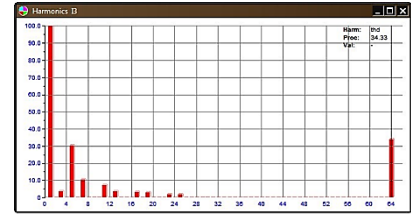
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 5. Birinci tesiste yapılan ölçüm a) Tüm fazların değerleri b) Gerilim c) Akım sinüs dalga şekli d) Faz A e) Faz B ve f) Faz C akım harmonik spektrumu

İkinci tesiste (mısır entegre tesisi) elde edilen bulgular değerlendirildiğinde (ölçüm 2) Şekil 6'da görüldüğü üzere faz A'da güç değeri 6212 VA, faz B'de 5778 VA ve faz C'de ise 5775 VA'dır. Triplen harmoniklere bakıldığında ise faz A'da akımın 3. harmonik mertebesi %3, 9. harmonik mertebesi %8, 15. harmonik mertebesi %2 ve 21. harmonik mertebesi ise %1'dir. Faz B'de akımın 3. harmonik mertebesi %6, 9. harmonik mertebesi %5, 15. harmonik mertebesi ise %1'dir. Faz C'de ise akımın 3. harmonik mertebesi %5 ve 9. harmonik mertebesi %4'dür. Yük dengesizliği ve triplen harmoniklerin etkisinden kaynaklı olarak ölçülen nötr akımı 52 A'dır.

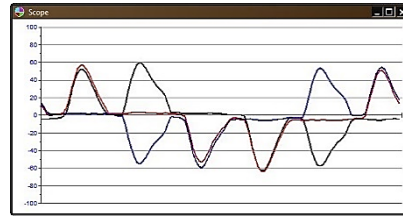
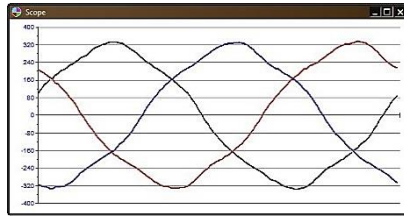
## Lineer Olmayan Yüklerin Sebep Olduğu Harmoniklerin ve Fazlar Arası Güç Dengesizliğinin Nötr Akımına Etkisi

1st phase		2nd phase		3rd phase	
Ursm	Ul_12	Ursm	Ul_23	Ursm	Ul_13
225.171	388.712	223.448	387.631	224.493	389.430
Ihd(U)	S(kVA)	Ihd(U)	S(kVA)	Ihd(U)	S(kVA)
4.848	6.212	5.222	5.778	4.806	5.775
Irsn	P(kW)	Irsn	P(kW)	Irsn	P(kW)
27.587	4.612	25.859	-2.373	25.726	1.451
Ihd(I)	Q(kVAR) i	Ihd(I)	Q(kVAR) c	Ihd(I)	Q(kVAR) i
81.264	4.161	81.094	5.268	86.716	5.590
PF i	dPF	PF c	dPF	PF i	dPF
0.743	0.990	0.411	0.554	0.251	0.342

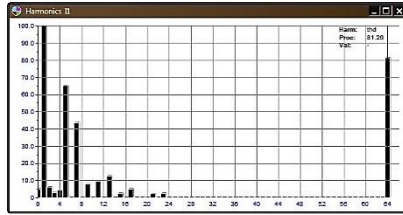
Total info				
Stat(kW)	Qlat(kVAR)	Ptot(kW)	Pftot i	I null
15.47	15.02	3.69	0.24	52.00

(a)

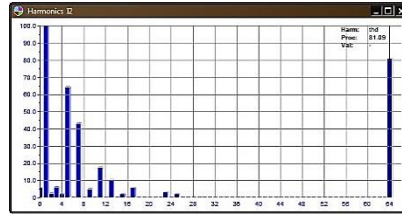


(b)

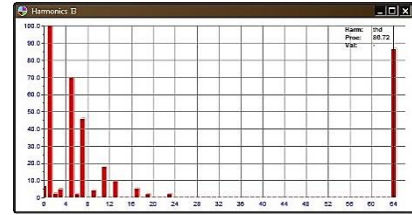
(c)



(d)



(e)



(f)

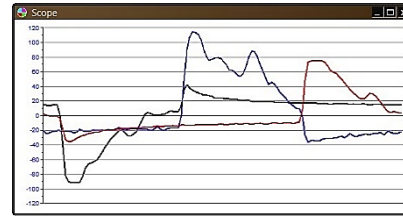
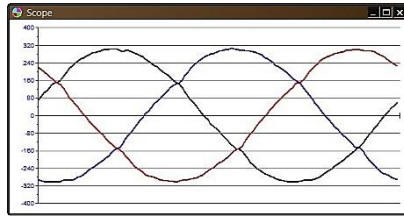
**Şekil 6.** İkinci tesiste yapılan ölçüm a) Tüm fazların değerleri b) Gerilim c) Akım sinüs dalga şekli d) Faz A e) Faz B ve f) Faz C akım harmonik spektrumu

Üçüncü tesiste (çelik ve alüminyumun ısıl işleme tabi tutulduğu tesis) elde edilen bulgular değerlendirildiğinde (ölçüm 5) Şekil 7'de görüldüğü üzere faz A'da güç değeri 6758 VA, faz B'de 9449 VA ve faz C'de ise 5910 VA'dır. Triplen harmoniklere bakıldığında ise faz A'da akımın 3. harmonik mertebesi %34, 9. harmonik mertebesi %6, 15. harmonik mertebesi %1 ve 21. harmonik mertebesi ise %2'dir. Faz B'de akımın 3. harmonik mertebesi %13, 9. harmonik mertebesi %4, 15. ve 21. harmonik mertebesi ise %1'dir. Faz C'de ise akımın 3. harmonik mertebesi %28, 9. harmonik mertebesi %3, 15. harmonik mertebesi ise %1 ve 21. harmonik mertebesi ise %2'dir. Yük dengesizliği ve triplen harmoniklerin etkisinden kaynaklı olarak ölçülen nötr akımı 69.11 A'dır.

## Lineer Olmayan Yüklerin Sebep Olduğu Harmoniklerin ve Fazlar Arası Güç Dengesizliğinin Nötr Akımına Etkisi

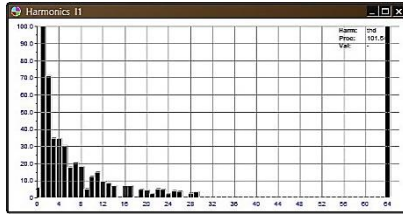
1st phase		2nd phase		3rd phase	
Ursm	UI_12	Ursm	UI_23	Ursm	UI_13
213.615	372.471	214.883	370.872	212.737	367.275
Ihd(U)	S(kVA)	Ihd(U)	S(kVA)	Ihd(U)	S(kVA)
0	6.758	0	9.449	0	5.910
I_rsm	P(kW)	I_rsm	P(kW)	I_rsm	P(kW)
31.635	-4.127	43.971	7.177	27.781	3.789
Ihd(I)	Q(kVAR) c	Ihd(I)	Q(kVAR) c	Ihd(I)	Q(kVAR) c
101.539	5.351	77.083	-6.145	93.221	-4.536
PF c	dPF	PF c	dPF	PF c	dPF
0.611	0.874	0.760	0.970	0.641	0.880
Total info					
Stot(kW)	Qtot(kVAR)	Ptot(kW)	Ptot c	I null	
8.67	-5.33	6.84	0.79	69.11	

(a)

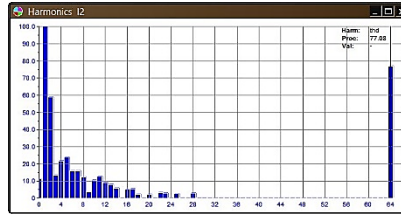


(b)

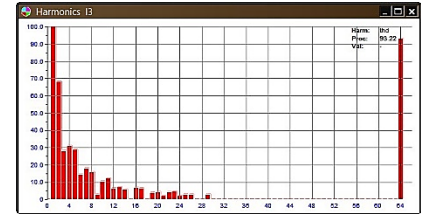
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 7. Üçüncü tesiste yapılan ölçüm a) Tüm fazların değerleri b) Gerilim c) Akım sinüs dalga şekli d) Faz A e) Faz B ve f) Faz C akım harmonik spektrumu

Çizelge 1’de üç faz için birinci ve ikinci, Çizelge 2’de ise üç faz için üçüncü-dördüncü ve beşinci ölçüm güç parametre değerleri görülmektedir. Çizelge 1’de ilk üç ölçüm değerlendirildiğinde faz A, faz B ve faz C’de dengesiz yüklerin yanı sıra triplen harmoniklerin değerlerine bağlı olarak nötr akımı birinci ölçümde 38.73 A ve ikinci ölçümde 52 A’dır. Çizelge 2’de ise üç ölçüm sonucu değerlendirildiğinde her fazda dengesiz yüklerin yanı sıra triplen harmoniklerin değerlerine bağlı olarak nötr akımı üçüncü ölçümde 68.55 A, dördüncü ölçümde 68.87 A ve beşinci ölçümde 69.11 A’dır.

Çizelge 1. Üç faz için birinci ve ikinci ölçüm güç parametre değerleri

	1.Ölçüm			2.Ölçüm		
	Faz A	Faz B	Faz C	Faz A	Faz B	Faz C
%Ih <sup>3rd</sup>	11	0	4	3	6	5
%Ih <sup>9th</sup>	8	0	0	8	5	4
%Ih <sup>15th</sup>	4	0	0	2	1	0
%Ih <sup>21th</sup>	0	0	0	1	0	0
P (W)	4 372	2 238	1 717	4 612	2 373	1 451
Q (VAr)	1 411	3 541	3 754	4 161	5 268	5 590
S (VA)	4 594	4 189	4 128	6 212	5 778	5 775
I <sub>rms</sub> (A)	20.488	18.802	18.496	27.587	25.859	25.726
U <sub>rms</sub> (V)	224.220	222.776	223.205	225.171	224.448	224.493
%THD <sub>I</sub>	29.614	34.542	34.328	81.264	81.094	86.716
I <sub>nötr</sub> (A)		<b>38.73</b>			<b>52</b>	

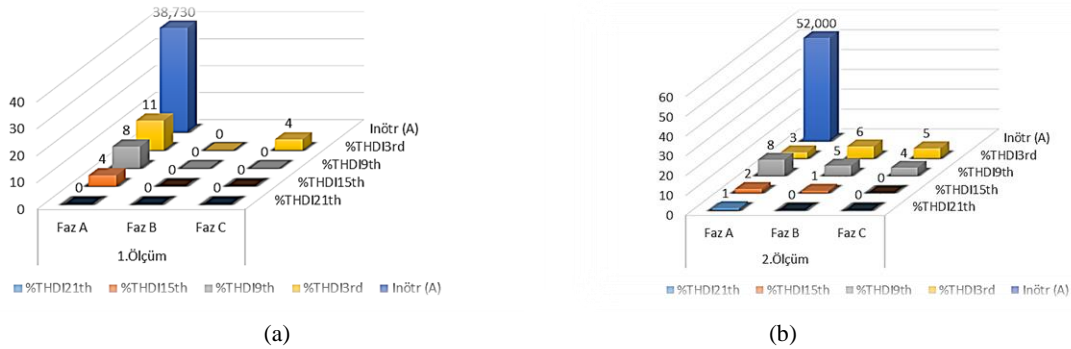


**Lineer Olmayan Yüklerin Sebep Olduğu Harmoniklerin ve Fazlar Arası Güç Dengesizliğinin Nötr Akımına Etkisi**

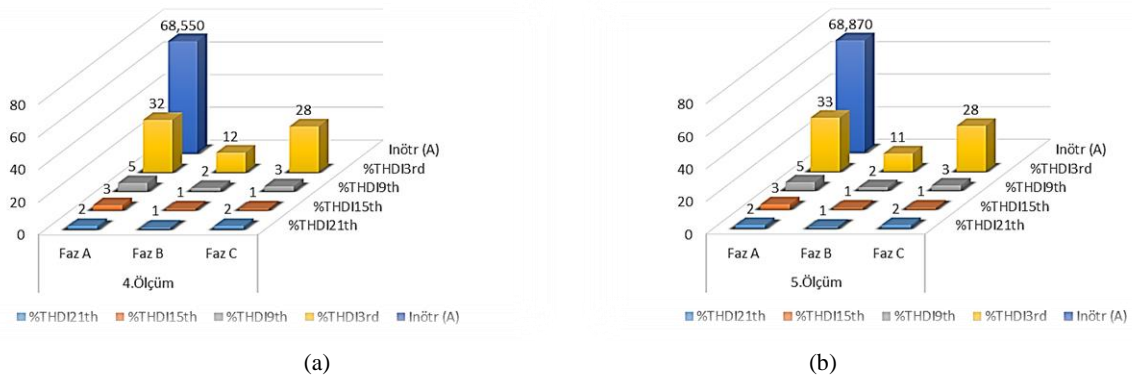
**Çizelge 2.** Üç faz için üçüncü-dördüncü ve beşinci ölçüm güç parametre değerleri

	3.Ölçüm			4.Ölçüm			5.Ölçüm		
	Faz A	Faz B	Faz C	Faz A	Faz B	Faz C	Faz A	Faz B	Faz C
%Ih <sup>3rd</sup>	32	12	28	33	11	28	34	13	28
%Ih <sup>9th</sup>	5	2	3	5	2	3	6	4	3
%Ih <sup>15th</sup>	3	1	1	3	1	1	1	1	1
%Ih <sup>21th</sup>	2	1	2	2	1	2	2	1	2
P (W)	4 212	7 105	3 822	4 199	7 182	3 823	4 127	7 177	3 789
Q (VAr)	5 296	5 902	4 562	5 346	5 996	4 571	5 351	6 145	4 536
S (VA)	6 767	9 236	5 952	6 798	9 356	5 959	6 758	9 449	5 910
I <sub>rms</sub> (A)	31.613	42.846	27.924	31.753	43.436	27.916	31.635	43.971	27.781
U <sub>rms</sub> (V)	214.062	215.572	213.150	214.084	215.407	213.463	213.615	214.883	212.737
%THD <sub>1</sub>	98.834	78.438	93.963	100.179	76.333	93.364	101.539	77.083	93.221
I <sub>nötr</sub> (A)		<b>68.55</b>			<b>68.87</b>			<b>69.11</b>	

Triplen harmonik ve fazlardaki güç dengesizliği değerlendirildiğinde en düşük 1. ölçümde en yüksek ise 6. ölçümde görülmektedir. Şekil 8 ve Şekil 9'da ölçüm sonuçlarına göre üç fazda %THD<sub>I3rd</sub>, %THD<sub>I9th</sub>, %THD<sub>I15th</sub>, %THD<sub>I21th</sub> triplen harmonik mertebelerine bağlı olarak nötr akımda meydana gelen değişim görülmektedir.

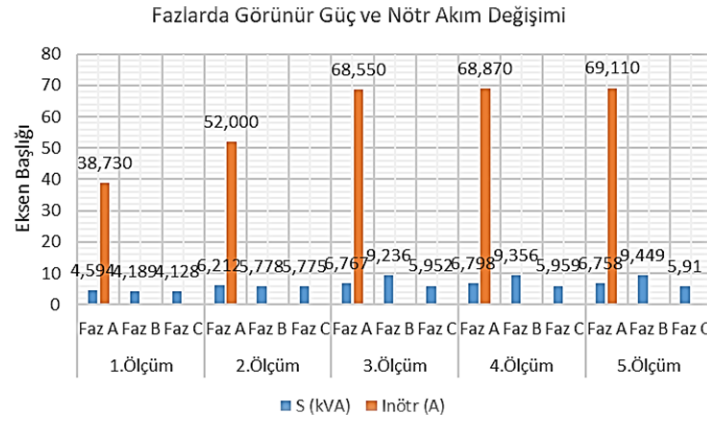


**Şekil 8.** (a) Birinci ve (b) ikinci ölçüm sonuçlarına göre üç fazda %THD<sub>I3rd</sub>, %THD<sub>I9th</sub>, %THD<sub>I15th</sub>, %THD<sub>I21th</sub> mertebelerine bağlı olarak nötr akımında meydana gelen değişim



**Şekil 9.** (a) Üçüncü, (b) dördüncü ve (c) beşinci ölçüm sonuçlarına göre üç fazda %THD<sub>I3rd</sub>, %THD<sub>I9th</sub>, %THD<sub>I15th</sub>, %THD<sub>I21th</sub> mertebelerine bağlı olarak nötr akımında meydana gelen değişim

Çizelge 1, çizelge 2 ve çizelge 3'ten de görüldüğü üzere ölçüm 3 ve ölçüm 4'deki triplen harmonik değerleri birbirine yakın olmasına rağmen, güç dengesizliği standart hata değeri 987.28 iken ölçüm 4'de 1021.62 ve standart hata arasındaki fark %3.47'dir. Nötr akım değerleri ise sırasıyla 68.855 A ve 68.87 A ölçülmüş ve nötr akım arasındaki fark yaklaşık 0.02 A'dir. Ölçüm 1 ve ölçüm 2'deki güç dengesizliği standart hata değerleri birbirine yakın olmasına rağmen, triplen harmonik değerleri arasındaki fark yaklaşık %30'dur. Nötr akım değerleri ise sırasıyla 37.73 A ve 52 A ölçülmüş ve nötr akım arasındaki fark 13.27 A'dir. Ayrıca ölçüm 1 ve ölçüm 5'in nötr akım değerleri sırasıyla 38.73 A ve 69.11 A ölçülmüş ve nötr akım arasındaki fark ise 30.38 A'dir. Bu farkın yüksek çıkmasındaki neden triplen harmonikler ve dengesiz yüklerin birlikte nötr iletkenine olan etkisinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 10. Tüm ölçümlerin üç faz için dengesiz yüke bağlı olarak nötr akım değişimi

Çizelge 3. Tüm ölçüm için fazlarda görünür güç değerleri ve standart sapma-standart hata değerlerine göre nötr akım değerleri

	1.Ölçüm	2.Ölçüm	3.Ölçüm	4.Ölçüm	5.Ölçüm
S (Faz A)	4 594	6 212	6 767	6 798	6 758
S (Faz B)	4 189	5 778	9 236	9 356	9 449
S (Faz C)	4 128	5 775	5 952	5 959	5 910
<b>Inötr (A)</b>	<b>38.730</b>	<b>52.000</b>	<b>68.855</b>	<b>68.870</b>	<b>69.110</b>
STD SAPMA	253.28	251.44	1710.01	1769.51	1847.75
<b>STD HATA</b>	<b>146.23</b>	<b>145.17</b>	<b>987.28</b>	<b>1021.62</b>	<b>1066.80</b>

Ölçümlerden de anlaşıldığı üzere lineer olmayan yüklerin şebekede kullanımlarının artması üçüncü harmoniğin ve katlarının bu yükler tarafından üretilmesine, fazların dengesiz yüklenmesinin de bir sonucu olarak nötr iletken üzerinden akan akımın faz iletkeni üzerindeki akan akımdan daha fazla değerde olduğu görülmektedir.

## SONUÇ

Tesislerde yapılan ölçümler sonucunda, fazlardaki güç dengesizliği ve triplen harmonikler nedeniyle nötr iletkeninde önemli ölçüde akımın aktığı tespit edilmiştir. Nötr akım nedeniyle nötr iletkeninin aşırı yüklenmesi sadece ekipman arızasına neden olmakla kalmaz, aynı zamanda boşa harcanan enerji nedeniyle elektrik faturalarını da arttırır. Gerekli önlemler alınmazsa, bu tür sorunlar yakın gelecekte daha da artacaktır. Bunun nedeni, teknolojinin gelişmesine bağlı olarak lineer olmayan yüklerin kullanımının özellikle sürekli artmasıdır. Bu makalenin amacı, endüstri tesislerindeki lineer olmayan yüklerden kaynaklı triplen harmonikler ve fazlardaki dengesiz yükler nedeniyle nötr iletkeni üzerinde oluşan akımın etki miktarını karşılaştırmaktır. Makalede elde edilen sonuç, nötr iletkeninde meydana gelen akımların büyük ölçüde hangi durumdan kaynaklandığı ve ne derece etkilendiği hakkında bilgi vermektedir. Triplen harmonik değerleri yaklaşık olarak aynı olan ölçümde dengesiz yüklenmedeki standart hata farkı %3.47 iken nötr akımında yaklaşık 0.02 A'lik bir fark oluşmuştur.

Dengesiz yüklenmedeki standart hata değerleri aynı olan ölçümdeki triplen harmonik farkı yaklaşık olarak %30 iken nötr akımda oluşan fark 13.27 A'dır. Çalışmada, nötr akım üzerinde triplen harmoniklerin, dengesiz yüklenmeye oranla daha fazla etkisi olduğu sonucu elde edilmiştir.

## TEŞEKKÜR

Katkılarından dolayı Arş. Gör. Dr. Mehmet BÜYÜK'e teşekkürlerimi sunarım.

## KAYNAKLAR

- Abu Bakar M. I., 2008. Assessments for the impact of harmonic current distortion of non linear load in power system harmonics, 2008 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, pp. 1-6.
- Arrillaga J. and Watson N. R., 2003. Power system harmonics., 2nd Edition, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, West Sussex, England.
- Arthur R. and Shanahan R. A., 1996. Neutral Currents in Three Phase Wye Systems. Power Systems Engineering Data. Square D Company Oshkosh, Wisconsin, U.S.A.
- Arvinda A. N. and Praveenkumar P., 2013. Simulation based investigation of harmonics in line and neutral currents of 3-phase utility feeding 2-pulse rectifiers, IET Chennai Fourth International Conference on Sustainable Energy and Intelligent Systems (SEISCON 2013), pp. 144-151.
- Belitskiy A. A. and Voytyuk I. N., 2017. The question of compensation overload neutral wire current in low voltage electrical networks, 2017 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), 2017, pp. 779-783.
- Belitskiy A. A., Rastvorova I. I. and Denisova O. V., 2018. Nonlinear and unbalanced load as a basic factor of a neutral conductor current, 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), pp. 570-571.
- Czarnecki L. S. and Haley P. M., 2015. Unbalanced power in four-wire systems and its reactive compensation. IEEE Trans. Power Del., vol. 30, no. 1, pp. 53-63.
- Dey N. and Chakraborty A. K., 2013. Neutral Current and Neutral Voltage in Three Phase Four Wire Distribution System of a Technical Institution. International Journal of Computer Applications 72(3):1-7.
- Dugan R. C., McGranaghan M. F., Santoso S. and Beaty H. W., 2004. Electrical Power Systems Quality. Copyright McGraw-Hill, pp. 179-181.
- Eduful, G., & Atanga, K. J., 2016. Analysis of High Neutral Currents and Harmonic Impacts on Losses and Capacities of Distribution Transformers.
- Grady M., 2012. Understanding Power System Harmonics, Electronics and Electrical Engineering. University of Texas, Austin, Texas, U.S.A.
- Gul O. and Bayrak M., 1999. Power quality and neutral current problems from unbalanced and non-linear loads in three-phase power systems. 15th International Conference & Exhibition on Electricity Distribution, 1-4 June, Nice, France.
- Hofmann W, Schlabbach J. and Just W., 2012. Reactive Power Compensation A Practical Guide. A John Wiley & Sons, pp. 77, Hawthorne, CA, U.S.A.
- IEEE Trial Use Standard for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced and Unbalanced Conditions, IEEE Standard 1459-2000.
- IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced and Unbalanced Conditions, IEEE Standard 1459-2010.

- Jadeja R., Faldu A., Trivedi T., Chauhan S. and Patel V., 2018. Compensation of Harmonics in Neutral Current Using Active Power Filter for Three Phase Four Wire System. *Gazi University Journal of Science*, 31(3): 846-861.
- Karthi K., Radhakrishnan R., Baskaran J. M. and Titus L. S., 2017. Role of ZigZag transformer on neutral current reduction in three phase four wire power distribution system. 2017 International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICT), 2017, pp. 138-141.
- Kusko A. and Thompson M. T., 2007. *Power Quality in Electrical Systems*. 1st edition, New-York, McGraw Hill.
- Mahela O. P. and Shaik A. G., 2016. Topological aspects of power quality improvement techniques: A comprehensive overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 2016, pp. 1129–1142.
- Patel S. and Hmurcik L., 2016. Preventable ground wire accidents and fires. 2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), pp. 1-4.
- Rafi F. H. Md., Hossain M. J., Town G. and Lu J., 2019. Smart Voltage-Source Inverters With a Novel Approach to Enhance Neutral-Current Compensation, in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 66, no. 5, pp. 3518-3529, May 2019.
- Sreenivasarao D., Agarwal P. and Das B., 2012. Neutral current compensation in three-phase, four-wire systems: A review. *Electric Power Systems Research*, vol. 86, pp. 170–180.
- Uçar M ve Özdemir E, 2005. İdeal olmayan şebeke gerilimi ve dengesiz yük şartlarında 3-fazlı 4-telli paralel aktif güç filtresi denetimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 20, No 3, 347-356.
- Yong J. and Yu K., 2014. Neutral current estimation for multi-grounded concentric neutral cable system, 2014 16th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), pp. 636-639.