

Harmoniklerin Yoğun Olduğu Bir Elektrik Dağıtım Şebekesinin Modellenmesi

Hasan EROĞLU^{1,*}, Musa AYDIN²

¹ Gümüşhane Üniversitesi Müh. Fak. Elk. Elekt. Müh. Böl., Bağlarbaşı, Gümüşhane.

² Selçuk Üniversitesi Müh. Mimarlık Fak., Elk. Elekt. Müh. Böl., Selçuklu, Konya.

Özet

Bu çalışmada, elektrik dağıtım şebekelerinde her geçen gün büyüyen bir problem olarak karşımıza çıkan harmoniklerin seviyelerinin incelenebilmesi için örnek bir dağıtım şebekesinin farklı noktalarında ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda dağıtım şebekesindeki baskın harmonikler ortaya çıkartılmış ve bu ölçüm değerleri yardımıyla sistemin elektriksel modeli Matlab&Simulink programının Simpowersystems araç kutusu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerden alınan değerler ile simülasyon ortamından elde edilen değerler karşılaştırılarak elektriksel modelin doğruluğu ortaya konulmuştur. Bu çalışmanın yardımıyla, güç kalitesi olaylarının incelenebilmesi için daha geniş analiz çalışmaları yapılabilir.

Anahtar kelimeler: Harmonikler, Simülasyon, MATLAB.

Modelling of an electric distribution system which has intensive harmonics

Abstract

In this study, measurements were taken at different points of a sample distribution system in order to analyze levels of harmonics that appear as a day to day increasing problem in electrical distribution systems. According to the values taken from measurements the dominant harmonics have been found out and electrical model of the system have been prepared via measurement values by using Simpowersystems toolbox of Matlab&Simulink. Accuracy of the electrical model have been confirmed by comparing the measurement values and simulation values. With the help of this study, further analyzes can be made in the electrical distribution system for power quality analyzes.

Keywords: Harmonics, Simulation, MATLAB.

1. Giriş

Günümüz elektrik güç sistemlerinde günden güne sayıları artan nonlinear yüklerden dolayı elektrik enerjisinin kararlılığı daha da önem kazanmıştır. Nonlinear yükler, akım ve gerilim karakteristiği doğrusal olmayan yüklerdir. Sistemdeki bu nonlinear yüklerden dolayı harmonik akım ve gerilimler oluşur.

Harmonikler elektrik enerji sistemlerinde enerji kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Gerilim ve akım dalga şeklinin ideal sinüs şeklinden uzaklaşması olarak bilinen harmonikler, sinüzoidal bir kaynağın nonlinear bir yüke uygulanması veya nonsinüzoidal bir kaynaktan beslenen linear ya da nonlinear bir yük tarafından oluşmaktadır. Genel olarak harmonik kaynakları; güç elektroniği elemanları, transformatörler, generatörler, kesintisiz güç kaynakları (UPS), dönüştürücüler ve yüksek güçlü endüksiyon motorlarıdır [1]. Harmoniklerin elektrik güç sistemleri üzerindeki etkileri ise ek kayıplar ve aşırı ısınma, gerilim düşümleri, rezonans olayları, dielektrik zorlanması, ölçme, koruma ve kontrol sistemlerinin hatalı çalışması vb. şeklinde özetlenebilir.

Günümüze kadar elektriğin üretilmesi, iletilmesi ve dağıtılmasında kullanılan güç elektroniği elemanlarının sayılarının artmasıyla güç sistemlerindeki harmonik problemleri de artmıştır. Dolayısıyla harmoniklerin güç sistemlerine verdiği zararların azaltılmasına yönelik çalışmalarda her geçen gün biraz daha önem kazanmıştır ve güç sistemlerinde harmonik analizi artık tasarım ve planlamanın kaçınılmaz bir parçası haline gelmiştir [2].

Elektrik tesislerinde herhangi bir dalga şeklinin harmonik içeriğinin ölçülebilmesi ve analizi için iki temel tanımlama vardır. Bunlar; Toplam Harmonik Distorsiyon ve Toplam Talep Distorsiyonudur. Toplam harmonik distorsiyonu akım veya gerilim için harmonikli efektif değerlerin, esas bileşenin efektif değerine bölünmesiyle ortaya çıkan orandır. Toplam harmonik distorsiyonu harmoniklerin bütününe ait olan termal etkiyi nitelemektedir. Harmonikli bileşenlerin temel bileşene göre seviyesini belirlemede dikkate alınan en önemli ölçüttür. Hem gerilim, hem de akım için verilebilir [3]. Gerilim için toplam harmonik distorsiyonu,

$$\text{THD}_v = \frac{1}{U_1} \left(\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir. Akım için toplam harmonik distorsiyonu,

$$\text{THD}_I = \frac{1}{I_1} \left(\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

şeklindedir.

Akımdaki bozulmanın seviyesi THD değeri ile karakterize edilebilir fakat bazı durumlarda küçük bir akım büyük THD değerine sahip olabilir. Örneğin hız kontrol sürücülerinde çok küçük değerlerdeki yüklerde çok büyük THD değeri gösterebilir. Çekilen harmonikli akım bileşenlerinin genlik değerleri küçük olduğundan bu akımlar sistem için zararlı seviyelerde değildir. Çekilen akımın temel bileşeninin genlik değeri küçük olduğundan diğer harmonikli bileşenlerin yüzdesi büyük değerlerde olur.

Bu nedenle harmonikli sistemlerin analizinde THD değeri hesaplanırken harmonikli akımların yüzdesi, ölçüm süresi içinde çekilen akımın en yüksek değerine bölünür. Hesaplanan bu yeni değere Toplam Talep Distorsiyonu denir. Bu değer IEEE 519-1992 standartlarında harmonikli akımlar için sınır değerlerin belirlenmesinde kullanılır.

Toplam talep distorsiyonu,

$$\text{TTD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_L} \quad (3)$$

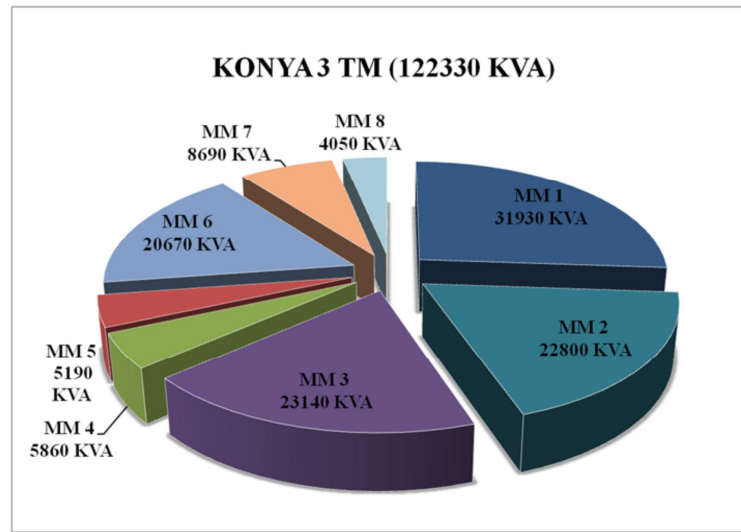
formülü ile hesaplanır. Burada I_L yük tarafından, besleme sisteminin ortak bağlantı noktasından çekilen, temel frekanslı maksimum akımdır. On iki ay öncesinden başlanarak hesaplamanın yapılacağı ana kadar olan süre zarfında yük tarafından talep edilen maksimum akımların ortalaması olarak hesaplanır. TTD kavramı IEEE "Standart 519" uygulamasında özellikle belirtilmiştir [5].

Harmoniklerin ölçümü, analizi ve simülasyonu ile ilgili olarak günümüzde ve geçmişte birçok çalışma yapılmıştır [6-18]. Fakat büyük bir dağıtım şebekesinin modellenmesi ile ilgili literatürde yeterli çalışma bulunmamaktadır. Dağıtım şebekelerinin simülasyonu,

harmoniklerin ve diğer güç kalitesi olaylarının davranışlarının kestirimi için oldukça önemlidir. Oluşturulan elektriksel model yardımıyla dağıtım şebekesindeki elektriksel elemanlar üzerinde varyasyonlar yapılarak elektrik dağıtım şebekesinin gerçek karakteristiği ve arızalara neden olan sebepler ve çözümleri irdelenebilmektedir.

2. Yapılan ölçüm çalışmaları

Elektrik dağıtım sistemlerindeki farklı yüklerin ürettikleri harmoniklerin incelenebilmesi için bir dağıtım şebekesi üzerinde farklı yerlerde AG ve OG’de ölçümler yapılmıştır. Dağıtım şebekesi olarak Konya 2. ve 3. Organize sanayi bölgesi seçilmiştir. Konya 2. ve 3. Organize sanayisinde TEİAŞ KONYA 3 TM’den beslenen 8 tane manevra merkezi bulunmaktadır. Her bir manevra merkezinin kurulu güçleri Şekil 1’deki gibidir. Ölçümler genellikle farklı üretim yapan fabrikalarda yapılmış olup farklı fabrika tiplerinin hangi tür harmonikleri ürettiği incelenmiş ve bunların şebeke üzerindeki etkileri bulunmaya çalışılmıştır.



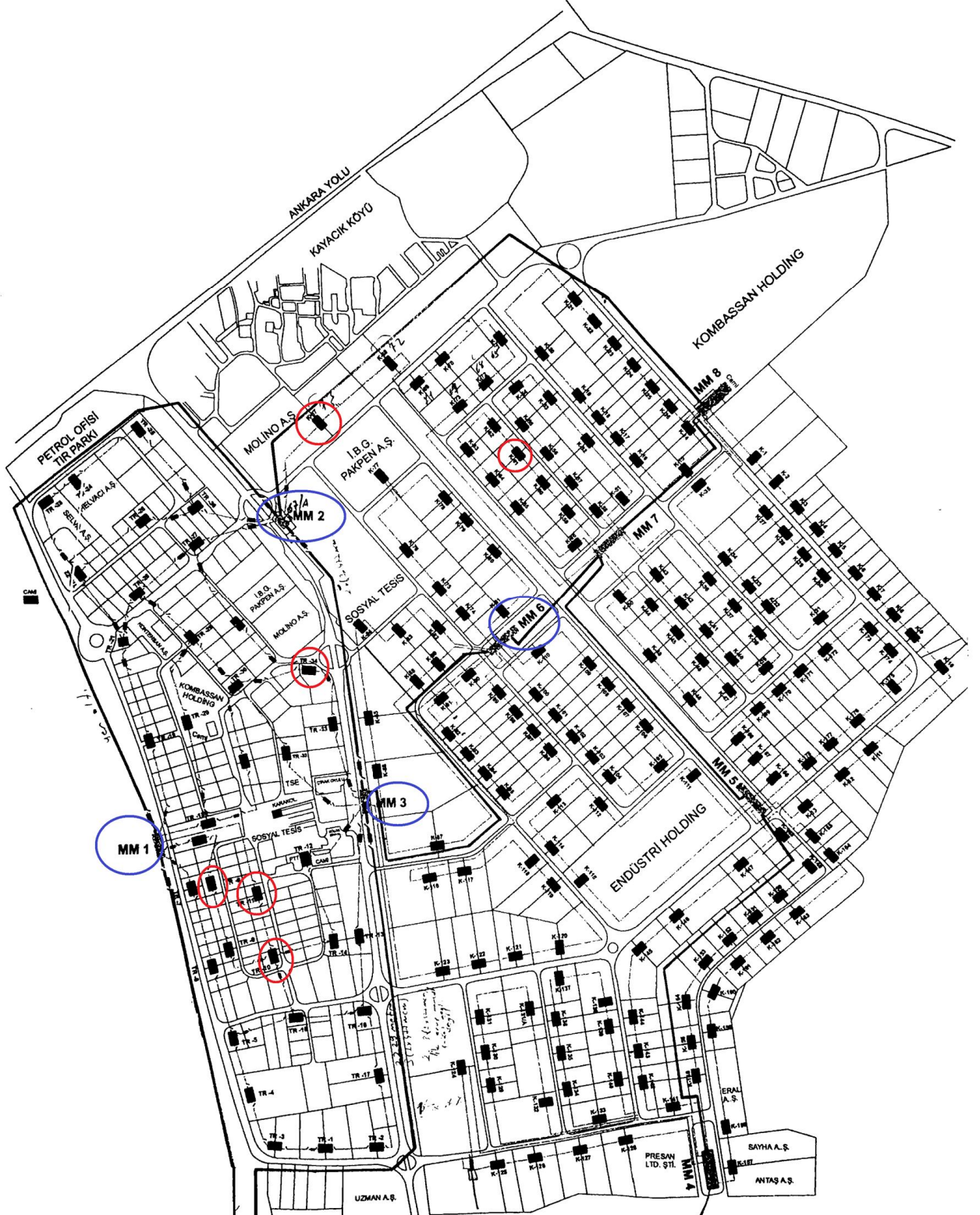
Şekil 1. Manevra merkezlerinin kurulu güçleri [1].

Yapılan ölçümler iki tip güç analizörü ile yapılmıştır. Genellikle AG tarafında yapılan ölçümler ANALYST 2060 tek fazlı güç analizörü cihazıyla, OG tarafında yapılan ölçümler ise RUDOLF PAK 5 üç fazlı güç analizörü cihazıyla yapılmıştır. Ölçüm yapılan fabrikalar ve ölçüm süresinde çekilen maksimum güçler tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1. Ölçüm yapılan fabrikalar ve ölçüm süresinde çekilen maksimum güçler.

	Genel Bilgi	Ölçüm Anında Çekilen Maks. Güç
Plastik Fabrikası1	Bahçe sulama sistemleri	195 kVA
Plastik Fabrikası2	Sulama boruları ve bu boruların üretimi ile ilgili gerekli makineleri üretmektedir.	120 kVA
Döküm Fabrikası1	Menhol, kanalizasyon kapakları, park bahçe ürünleri	780 kVA
Döküm Fabrikası2	Pik, sfero	430 kVA
Döküm Fabrikası3	Bronz, krom nikel döküm, alüminyum enjeksiyon	212 kVA
Döküm Fabrikası 4	Pik, çelik, döküm ve fren kanpana	520 kVA
Döküm Fabrikası 5	Çelik döküm, pik döküm, sfero döküm	143 kVA
Tekstil Fabrikası	Elyaf ürünleri ve iplik üretimi	220 kVA
Gıda Fabrikası	Küp şeker ve pudra şekeri, şeker paketleme	113 kVA

Yapılan harmonik ölçümlerinin doğruluğundan emin olmak için trafolarla birden fazla fabrikanın beslendiği yerlerde yalnızca ölçüm yapılan fabrikanın çalıştığı saatlerde ölçümler yapılmaya çalışılmıştır. OG şebekesinde ölçüm yapılırken, üzerinde daha fazla güç çekilen manevra merkezleri tercih edilmiştir. Ölçüm yapılan manevra merkezleri MM1, MM2, MM3 ve MM6'dır. AG'de ise farklı ürün üretimi yapan fabrikalarda ölçümler yapılmıştır (Şekil 2). Ölçümler tekstil fabrikası, gıda fabrikası, iki farklı Plastik fabrikası, beş farklı döküm fabrikasında yapılmıştır. Ölçüm yapılan sistemin diğer değerleri Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 2. Ölçüm yapılan Konya 2 ve 3 nolu organize sanayisinin trafo tek hat şeması ve fabrikalarda yapılan ölçümlere ait trafo yerleri.

Tablo 2. Manevra merkezlerinden alınan değerler.

Ölçüm Yapılan Yer	Çekilen Akım (A)	Gerilim THD (%)	Akım THD (%)	Akımdaki Baskın Harmonikler
MM1	280-220	2.4 - 2	4.1 – 3.5	5 (%4)-7(%1.8)
MM2	70-55	2.8 – 2.1	5.2 – 4.8	3 (%2)- 5(%3.6)- 7 (% 4.1)
MM3	225-180	2.5 - 2	4 – 3.6	5 (%3.7)- 7 (% 1.2)
MM6	37-22	2.8 – 2.2	10.1 - 7	5 (%7.5)- 7(%2.5)-11(%1)-21(%5)

Tablo 3. Fabrikalardan alınan ölçüm değerleri.

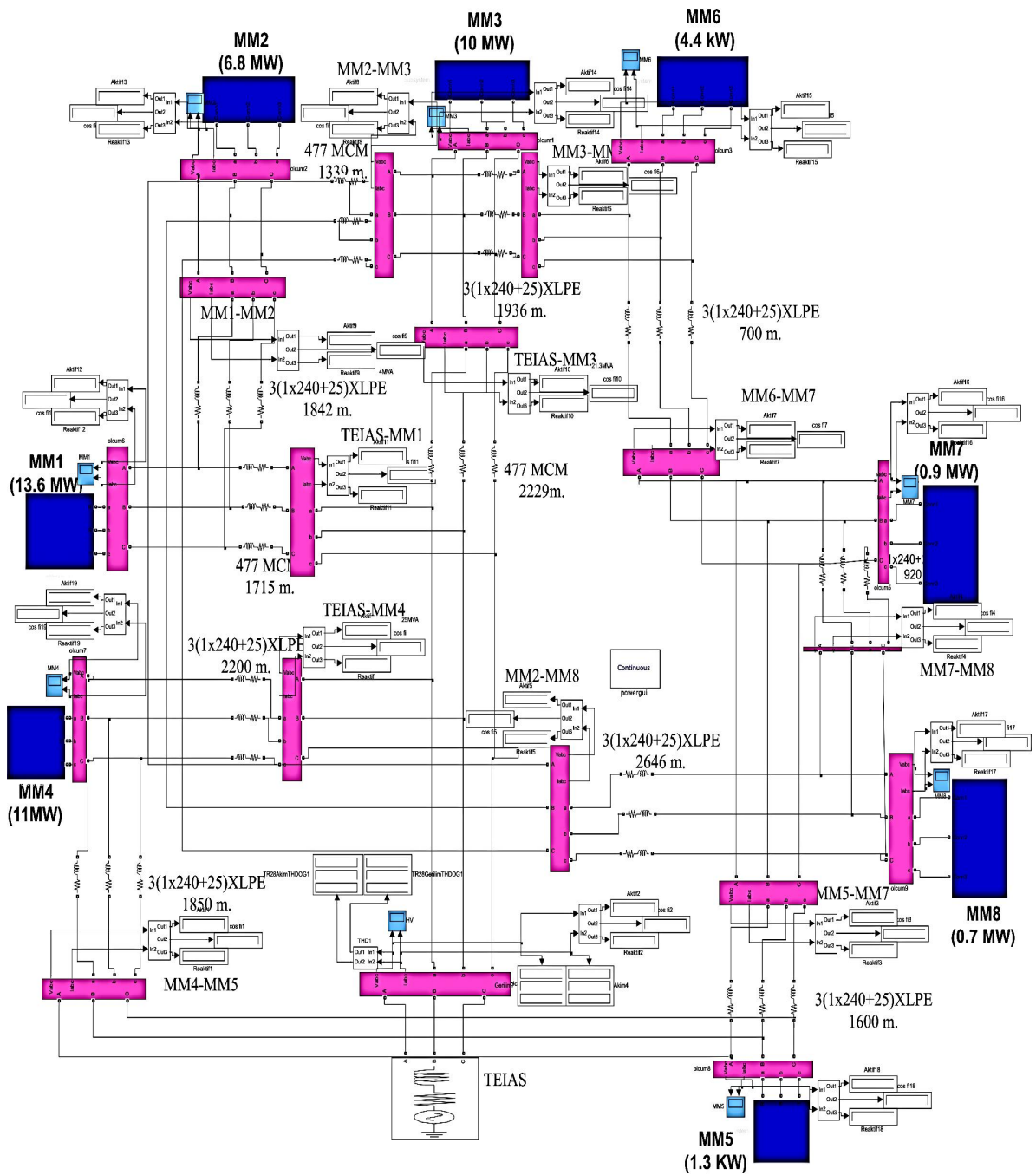
Ölçüm Yapılan Yer	Çekilen Akım (A)	Gerilim THD (%)	Akım THD (%)	Akımdaki Baskın Harmonikler
Döküm Fabrikası 1 (OG)	14.75-13.25	3 – 2.5	20-15	5 (%16) - 7 (%12) - 11(%3)
Plastik Fabrikası 1	290-170	2.5-2	17-10	3(%2.5) - 5(%10) - 7(%12.5)
Plastik Fabrikası 2	170-90	2.2-2	20-10	5(%11) - 7(%12.5) - 11(%8)
Döküm Fabrikası 2	630-500	4.3-3.5	28.5-24.5	5(%22) - 7(%10) - 11(%8)
Döküm Fabrikası 3	300-140	2.6-2.3	22.5-9	5(%6) - 7(%19)
Gıda Fabrikası	170-90	2.5-2.3	22.5-7	3(%8)-5(%6)-7(%10)-9(%6)-11(%11)
Döküm Fabrikası 4	775-660	5.6-5.3	26-19	5(%219) - 7(%11) - 17(%3)
Tekstil Fabrikası	580-400	4.4-4.1	18.5-14.5	5(%16) - 7(%5) - 11(%5)
Döküm Fabrikası 5	230-125	2.6-2.2	32-8	2 (%28)-3 (%3)-4(%8)-5(%6)

1250 kVA'lık trafolarında kısa devre akımı sekonder taraf için yaklaşık olarak 34 kA'dır. Yük akım değeri 700 A olan bir döküm fabrikasının I_{KD}/I_L oranı yaklaşık olarak 48 olmaktadır. Bu nedenle akımdaki harmonik limit değeri IEEE 512 standardına göre % 8 olarak kabul edilmektedir [19]. Fakat bu değer trafonun kısa devre oranı ya da diğer sistem parametrelerinin farklılık göstermesi durumunda değişir. Fabrikaların akım distorsiyon değerleri bu standartların üzerindedir. Ölçüm yapılan noktadaki yüksek harmoniklerin nedeni ark fırınları, değişken hızlı sürücüler, yumuşak yol vericiler, inverterler ve fabrikalardaki diğer güç elektroniği elemanlarıdır. MM1'den beslenen %25 seviyelerinde akım harmoniklerine sahip fabrikaların OG tarafında düşük distorsiyon olmasının nedeni, ölçüm yapılan dağıtım şebekesindeki düşük distorsiyonlu diğer fabrikaların OG tarafındaki harmonik seviyelerini düşürmesi ve AG'den OG'ye geçildikçe OG tarafta, distorsiyonlu gerilim düşümüne neden olan trafo empedanslarının kalkmasıdır. Bunun yanında ortak bağlanma noktalarında (PCC) harmoniklerin açışal olarak birbirlerini sönmlemeleri de söz konusudur.

3. Simülasyon çalışmaları

Günümüzde elektrik sistemlerinde enerji kalitesi araştırmalarının yapılabilmesi için birçok yöntem vardır. Simülasyon çalışmaları bunlardan biridir. Sistem parametreleri simülasyona girildikten sonra veriler üzerinde değişiklikler yapılarak sistem hakkında yorum yapılabilir [1].

Sistemin elektriksel modeli, Matlab&Simulink programının Simpowersystems araç kutusu kullanılarak, ölçümlerden elde edilen verilere dayanarak ve Konya Organize Sanayi Bölgesi Müdürlüğünden (KOSBM) alınan değerler yardımıyla oluşturulmuştur. Gerçek bir sistemde farklı görünür güçlerde yüzlerce transformator bulunur. Simülasyon ortamında yüzlerce farklı değerde transformatorün, yükün, harmonik akım kaynaklarının, ölçüm bloklarının ve bir çok diğer dağıtım şebekesi elemanlarının modellenmesi oldukça zor olduğundan gerçekleştirilen simülasyon çalışmasında 1250 kVA değerinde 60 transformator kullanılmıştır. Her bir manevra merkezinin içinde o manevra merkezinden beslenen fabrikaları temsil eden yükler bulunmaktadır. Manevra merkezlerinin güçleri KOSBM'den alınmıştır. Dağıtım şebekesinde yapılan ölçümlerden elde edilen değerler ilgili trafoların değerleri olarak simülasyona girilmiş, dağıtım şebekesinde ölçümü yapılmayan diğer trafoların değerleri ise KOSBM'den alınan değerlere göre "Diğer trafolar" adında simülasyona girilmiştir. Transformatorler, lineer ve lineer olmayan yükler, ölçüm blokları ve diğer dağıtım sistemi elemanlarını içeren manevra merkezleri, simülasyon ortamında Şekil 3'te gösterildiği gibi modellenmiştir.



Şekil 3. Sistemin elektriksel modeli.

Tablo 4’te değerleri verilen besleme kaynağının (Konya 3 TM trafosunun) kısa devre g¼c¼ ve X/R oranı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Tablo 5. Dyn1,Dyn11 ve Yyn bağlantı gruplu dağıtım transformat¼rlerinin değerleri.

Nominal G¼c¼ Pn [Va] , Frekans [Hz]	[1250e3, 50]
Primer 1 Sargı Bağlantısı	D1, D11, Y
Primer 2 Sargı parametreleri [V1 Ph-Ph (Vrms), R1(pu), L1(pu)]	[34500 12.85 0.177]
Primer 2 Sargı Bağlantısı	Yn, Yn, Yn
Primer 2 Sargı parametreleri [V2 Ph-Ph (Vrms), R2(pu), L2(pu)]	[400 0.001727 2.832e-005]

Konya 3 TM 154 kV 100 MVA baza g¼re ¼c faz kısa devre akımı 21.2355 p.u. (TEİAş 2004 puant (kış) ¼c faz kısa devre et¼d¼ kitap¼ıęından alınmıştır.)

154 kV tarafı i¼in baz akımı;

$$I_{Baz} = \frac{S_{baz}(MVA)}{\sqrt{3} \cdot U_{baz}(KVA)} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 154} = 375.34 \text{ A} \quad (4)$$

4 eşitliğinden primer tarafının kısa devre g¼c¼;

$$S_k^{II} = \sqrt{3} \cdot U_k \cdot I_k^{II} = 2123 \text{ MVA} \quad (5)$$

olarak hesaplanır. Buradan şebekenin empedansı;

$$X_{şebeke} = 1.1 \cdot \frac{U_n^2}{S_k^{II}} = 0.616 \text{ ohm} \quad (6)$$

% u_k değeri tablo 6’dan % 11 olarak kabul edilmiştir.

Tablo 6. Anma ¼st gerilim seviyelerine g¼re % u_k değerleri.

Anma ¼st Gerilimi (kV)	6-20	30	60	110	220
$U_k=(\%)$	3.5-8	5-8	7-9	9-11	11-13

G¼c¼leri $S_n > 30 \text{ MVA}$ olan trafolar da $u_r < \%1$ olduğundan r_{tr} ihmal edilir.

$$\%u_x \cong \%u_k$$

olur. Trafonun pirimer empedansı;

$$X_{tr} = \frac{u_x}{100} \cdot \frac{34.5^2}{100} = 1.309 \text{ ohm} \quad (7)$$

olur. Toplam empedans;

$$X_{Toplam} = X_{şebeke} + X_{tr} = 1.925 \text{ ohm} \quad (8)$$

olarak bulunur. Toplam empedanstan kısa devre akımı;

$$I_k'' = 1.1 \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot X} = 11.393 \text{ kA} \quad (9)$$

Kısa devre gücü ise;

$$S_k'' = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_k'' = S_k'' = 680 \text{ MVA} \quad (10)$$

olarak hesaplanır.

$S_n > 30 \text{ MVA}$ olan trafolarada $u_r < \%1$ olduğundan u_r değeri $\%0.05$ olarak kabul edilirse, 34.5 kV tarafındaki omik direnç değeri;

$$R_{\text{Sekonder}} = 12.85 \times \left(\frac{0.4}{34.5} \right)^2 = 1.727 \times 10^{-3} \text{ ohm} \quad (11)$$

olarak hesaplanır. Trafonun empedans değeri;

$$\% u_k = \sqrt{(\%) u_x^2 + (\%) u_r^2} \quad (12)$$

$$u_r = 1.35$$

olduğundan;

$$u_x^2 = u_k^2 - u_r^2 \quad (13)$$

$$u_x = 5.846$$

olarak bulunur.

$$X_{\text{Primer}} = \frac{u_x}{100} \times \frac{34.5^2}{S_n} = 55.66 \text{ ohm} \quad (14)$$

$$X_{\text{Sekonder}} = 55.66 \times \left(\frac{0.4}{34.5} \right)^2 = 7.48 \times 10^{-3} \text{ ohm} \quad (15)$$

$$L_{\text{Primer}} = \frac{55.66}{2 \times \pi \times 50} = 0.177 \text{ H} \quad (16)$$

$$L_{\text{Sekonder}} = \frac{7.48 \times 10^{-3}}{2 \times \pi \times 50} = 2.832 \times 10^{-5} \text{ H} \quad (17)$$

şeklinde hesaplanır.

$$R_{\text{Primer}} = \frac{u_r}{100} \times \frac{U_n^2}{100} = 12.85 \text{ ohm} \quad (18)$$

Sekonder omik direnci ise;

$$R_{tr} = \frac{0.05}{100} \times \frac{34.5^2}{100} = 5.951 \times 10^{-3} \text{ ohm} \quad (19)$$

olur. X/R oranı ise;

$$\frac{X}{R} = 323.461 \quad (20)$$

olarak bulunur.

Tablo 7. Anma güçlerine göre % u_r değerleri.

Anma Gücü (MVA)	0.1	0.32	1	3.2	10	32
$u_r(\%)$	2.1-2.3	1.7-1.8	1.3-1.4	1-1.1	0.7-0.85	0.5-0.75

Tablo 8. Anma güçlerine göre % u_k değerleri.

Anma Gücü (kVA)	400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000	6300, 8000, 10000	12500, 16000, 20000
$u_k(\%)$	6	7	8

Kullanılan 34.5-0.4 kVA, 1250 kVA'lık trafoların primer ve sekonder parametreleri Tablo 7 ve 8'den alınan değerlere göre aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Trafonun primer direnci;

$$R_{\text{Primer}} = \frac{u_r}{100} \times \frac{U_n^2}{100} = 12.85 \text{ ohm} \quad (21)$$

Sekonder omik direnci ise;

$$R_{\text{Sekonder}} = 12.85 \times \left(\frac{0.4}{34.5} \right)^2 = 1.727 \times 10^{-3} \text{ ohm} \quad (22)$$

olarak hesaplanır. Trafonun empedans değeri;

$$\% u_k = \sqrt{(\%)u_x^2 + (\%)u_r^2} \quad (23)$$

$$u_r = 1.35$$

olduğundan;

$$u_x^2 = u_k^2 - u_r^2 \quad (24)$$

$$u_x = 5.846$$

olarak bulunur.

$$X_{\text{Primer}} = \frac{u_x}{100} \times \frac{34.5^2}{S_n} = 55.66 \text{ ohm} \quad (25)$$

$$X_{\text{Sekonder}} = 55.66 \times \left(\frac{0.4}{34.5}\right)^2 = 7.48 \times 10^{-3} \text{ ohm} \quad (26)$$

$$L_{\text{Primer}} = \frac{55.66}{2 \times \pi \times 50} = 0.177 \text{ H} \quad (27)$$

$$L_{\text{Sekonder}} = \frac{7.48 \times 10^{-3}}{2 \times \pi \times 50} = 2.832 \times 10^{-5} \text{ H} \quad (28)$$

şeklinde hesaplanır.

Manevra merkezleri arasında havai hat ve yer altı kabloları kullanılmaktadır. Yeraltı kablosu olarak 3(1x240+25) XLPE, havai hat iletkeni olarak da 477 MCM (Hawk) iletkenleri kullanılmaktadır. Dağıtım şebekesinden alınan harmonikli akım bileşenlerinin simülasyon sisteminde gerçek değerlere yakın gerilim distorsiyonu oluşturabilmesi için hatların mesafelerine göre hat empedansları da hesaplanması gerekmektedir. Kullanılan kablo çeşidine göre ve hatların uzunluklarına göre hat empedansları Tablo 9'daki kablo parametrelerine göre hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 9. Manevra merkezleri arasında kullanılan kablolar için direnç ve endüktans değerleri.

	20 °C'de İletken DC direnci (ohm/km)	Çalışma indüktansı (mh/km)
477 MCM (Hawk)	0.12	0.95
240 mm ² XLPE	0.0754	0.531

Tablo 10. Hat mesafelerine göre omik direnç ve endüktans değerleri.

Hat	Kullanılan Kablo Cinsi	Uzunluğu (metre)	Hat uzunluklarına göre omik direnç (ohm) ve endüktans (mH) değerleri	
TEİAŞ-MM1	477 MCM	1715	0.2058	0.5145
MM1-MM2	3(1x240+25)XLPE	1842	0.1388	0.9781
MM2-MM3	477 MCM	1339	0.1606	0.4017
MM2-MM8	3(1x240+25)XLPE	2646	0.1995	1.407
TEİAŞ-MM4	3(1x240+25)XLPE	2200	0.1658	1.168
MM4-MM5	3(1x240+25)XLPE	1850	0.13949	0.9842
MM5-MM7	3(1x240+25)XLPE	1600	0.1206	0.8512
MM3-MM6	3(1x240+25)XLPE	1936	0.145977	1.029952
MM6-MM7	3(1x240+25)XLPE	700	0.05278	0.3724
TEİAŞ-MM3	477 MCM	2229	0.2676	0.669
MM7-MM8	3(1x240+25)XLPE	920	0.06936	0.489

Yukarıdaki veriler doğrultusunda dağıtım sisteminin simülasyonu gerçekleştirilmiş ve

Tablo 11'deki veriler elde edilmiştir.

Tablo 11. Simülasyondan elde edilen değerlerle ölçüm değerlerinin karşılaştırılması.

	Ölçüm Değerleri		Simülasyon Değerleri	
	Gerilim THD (%)	Akım THD (%)	Gerilim THD (%)	Akım THD (%)
MM1	2.4 - 2	4.1 - 3.5	2.13	3.58
MM2	2.8 - 2.1	5.2 - 4.8	2.18	5.02
MM3	2.5 - 2	4 - 3.6	2.16	3.73
MM6	2.8 - 2.2	10.1 - 7	2.2	8.94
Plastik Fabrikası1	2.5-2	17-10	3.37	17.59
Plastik Fabrikası2	2.2-2	20-10	2.61	16.84
Döküm Fabrikası2	4.3-3.5	28.5-24.5	11.24	23.57
Döküm Fabrikası3	2.6-2.3	22.5-9	6.70	26.02
Gıda Fabrikası	2.5-2.3	22.5-7	6.70	33.11
Döküm Fabrikası4	5.6-5.3	26-19	7.69	26.22
Döküm Fabrikası5	2.6-2.2	32-8	11.24	21.21

Yapılan simülasyon, transformatörlerin Dyn11 bağlı ve dağıtım şebekesinde ölçümleri yapılan fabrikaların hepsinin devrede olduğu varsayılarak yapılmıştır. Dolayısıyla simülasyondaki fabrikaların bazılarının gerilim distorsiyon değerleri, dağıtım şebekesinden alınan ölçümlerdeki verilerden daha yüksek çıkabilmektedir.

4. Sonuçlar

Elektrik sistemlerinde her geçen gün sayıları artan nonlineer yüklerin diğer şebeke elemanlarına etkisi, günümüzde göz ardı edilemeyecek kadar büyük bir problem haline gelmiştir. Harmonikler sistem elemanlarında ömür kayıplarına bazı durumlarda ise tahribatlarına neden olmaktadır. Sistemdeki kondansatörlerin sık arızalanması, nedeni tespit edilemeyen arızaların oluşması, sistem makinelerinin, baraların ve transformatörlerin aşırı ısınması ve gürültülü çalışması, fabrikalardaki ölçü aletleri aşırı değerler göstermezken şalterlerin beklenmedik durumlarda açmaları, sistemdeki elektronik cihazların hatalı çalışmaları, sürekli elektronik kart arızaları, nötr kablosu çok yüklenip, aşırı ısınması ve izolasyon malzemelerinde delinmelerin olması sistemdeki harmoniklerin göstergesidir.

Dağıtım şebekelerinde özellikle aynı trafonun AG tarafından beslenen kullanıcılarda büyük güçlü kullanıcıların şebekeden çekmiş olduğu harmonikli akımların neden olduğu gerilim düşümleri, diğer kullanıcıların çalışmalarını olumsuz etkilemektedir. Harmonikli gerilim düşümleri, diğer kullanıcılar tamamen harmoniksiz lineer yük olmaları durumunda bile harmonikli akımların çekilmesine neden olacaktır.

Bu çalışmada harmoniklerin dağıtım şebekelerindeki karakteristiklerinin anlaşılabilmesi için örnek bir dağıtım şebekesinden alınan değerler doğrultusunda elektrik dağıtım şebekesinin elektriksel modeli oluşturulmuştur. Yapılan analizlerin günlük hayattaki gerçek değerlere uygun olması için, 8 manevra merkezi bulunan ve yüzlerce farklı karakteristiğe sahip fabrikaların bulunduğu Konya 2. ve 3. Organize Sanayisinde ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümler incelenmiş ve bu değerlere yakın değerlerde sistemin elektriksel modeli gerçekleştirilmiştir. Elektriksel modelden alınan veriler ile ölçüm yapılan sistemden alınan veriler karşılaştırılarak elektriksel modelin doğruluğu ortaya konmuştur. Bu model yardımıyla büyük dağıtım şebekelerindeki harmoniklerin

karaktesitikleri, sistem parametrelerinin değişimiyle harmoniklerin etkileşimleri, harmonikli yüklerin birbirleri üzerindeki etkileri incelenebilir ve elektrik dağıtım şebekesi üzerinde daha detaylı analizler yapılabilir.

Kaynaklar

- [1] Eroğlu, H., Bir dağıtım şebekesinin gç kaltesi ve harmonikler yönünden incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, (2009).
- [2] Arrillaga, J., Smith, B.C., Watson, N.R ve Wood, A.R., **Power System Harmonic Analysis**, John Wiley&Sons, New York, (1997).
- [3] Eroğlu, H., Aydın. M., 2009. Konya 2-3. Organize Sanayi Bölgesi Elektrik Dağıtım şebekesindeki Harmonik Seviyelerinin İncelenmesi. Elektrik, Elektronik, Bilgisayar, Biyomedikal Mühendisliği 13. Ulusal Kongresi, 23-26 Aralık 2009, Ankara, Türkiye, 85s.
- [4] Dugan R.C., McGranaghan F.M., Beaty H.W., **Electrical Power Systems Quality**, McGraw-Hill, New York, (1996).
- [5] Kocatepe, C., Uzunoğlu, M., Yumurtacı, R., Karakaş, A. ve Arıkan, O., **Elektrik Tesislerinde Harmonikler** , Birsen Yayınevi Ltd. Sti., İstanbul (2003).
- [6] Jain, S., Pramod, A. ve Gupta, H.O., 2004. A Survey of Harmonics: Indian Scenario. IEEE India Annual Conference, December 20-22, Indlcon, India.
- [7] Govindarajan, S.N., Cox, M.D., Berry, F.C., 1991. Survey of Harmonic Levels on the Southwestern Electric Power Company System, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 6, No. 4.
- [8] Fadel, S. B., Simulation of harmonic currents and voltages due to power electronic equipments, MSc thesis, University of Queensland, School of Information Technology And Electrical Engineering, Queensland, (2002).
- [9] Yang, C., Piao, Z. L., Sun, X. W., 2010. Harmonic simulation analysis of reactive power compensation equipment and its application, Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 28-31 March, Chengdu, China.
- [10] Said, D. M., Ahmad N., A. A. M. Zin., 2003. Power supply quality improvement: harmonic measurement and simulation, National power and energy conference (PECON) 2003 proceedings, 15-16 December, Bangi, Malaysia.
- [11] Wu, S., Li, X., 2009. Harmonic suppression and simulation based on matlab International conference on computational intelligence and software engineering, 10-12 December, Wuhan, China.
- [12] Hao, Y., Yonghai, X., Yingying, L., Yongqiang, Z., Xiangning, X., 2009. Simulation and harmonic analysis on ultra high voltage ac transmission system, International Conference on Energy and Environment Technology, 19-21 Mach, Chandigarh, India.

- [13] Chun-lei, F., Guang-ning, W., Xue-yuan, Z., Yun-fei, W., 2008. The measurement and simulation research of electrified railway harmonic, International conference on condition monitoring and diagnosis, April 21-24, Beijing, China.
- [14] Pei, L., Guodong, L., Yonghai, X., Shujun, Y., 2010. Methods comparison and simulation of transformer harmonic losses, Power and energy engineering conference (APPEEC), 28-31 March, Chengdu, China.
- [15] Said, D.M., Nor, K.M., 2008. Simulation of the impact of harmonics on distribution transformers, 2nd IEEE International conference on power and energy (PECon 08), 1-3 December, Johor Baharu, Malaysia.
- [16] Manmek, T., Grantham, C., Phung, T., 2004. A real time power harmonics measuring technique under noisy conditions, Australasian universities power engineering conference (AUPEC 2004) 26-29 September, Brisbane, Australia.
- [17] Emanuel, A. E., Orr, A. J., Cyganski, D., Gulachenski, E. M., 1993. A survey of harmonic voltages and currents at the customer's bus, IEEE Transactions on power delivery, Vol. 8, No. 1.
- [18] Emanuel, A. E., Orr, A. J., Cyganski, D., Gulachenski, E. M., 1991. A survey of harmonic voltages and currents at the customer's bus, IEEE Transactions on power delivery, Vol. 6, No. 4.
- [19] IEEE P519A/D5, Guide for applying harmonic limits on power systems, **Harmonics Working Group (IEEE PES T&D Committee) and SCC22**, New York, (1996).