

Konya 2-3. Organize Sanayi Bölgesi Elektrik Dağıtım Şebekesindeki Harmonik Seviyelerinin İncelenmesi

Hasan EROĞLU¹

Musa AYDIN²

^{1,2}Elektrik–Elektronik Mühendisliği Bölümü

Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

Selçuk Üniversitesi, Konya

¹e-posta: hasan.eroglu@selcuk.edu.tr

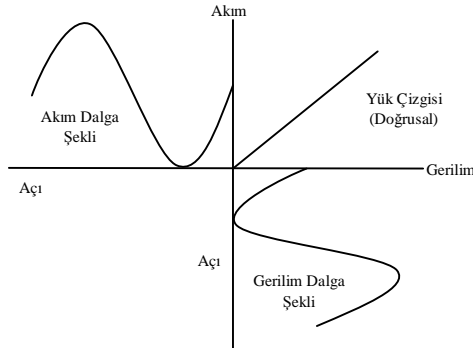
²e-posta: aydin@selcuk.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada, Konya 2. ve 3. Organize Sanayi Bölgesinin AG-OG elektrik dağıtım sistemindeki harmonik kaynakları incelenmiştir. Bu dağıtım şebekesinin farklı noktalarında ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda dağıtım şebekesindeki baskın harmonikler ortaya çıkarılmış ve şebekeye verebileceği zararlar belirtilmiştir.

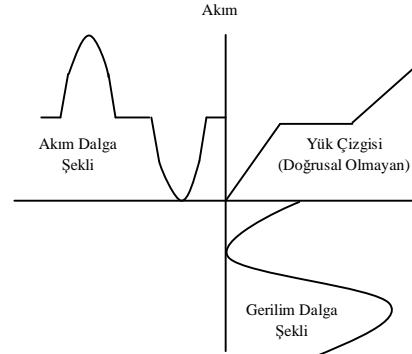
1.Giriş

Elektrik tesislerinde elektrik enerjisinin kullanıcılara kaliteli olarak iletilmesi gereklidir. Bir elektrik dağıtım şebekesinde kalite; kullanılan elektriğin sürekliliği, akım ve gerilim dalga şeklinin saf sinüs formunda olması, frekansın sabitliği, $\cos \phi$ değerinin 1'e yakınlığı, akım ve gerilimde dalgalanmaların olmaması anlamına gelmektedir. Günümüzde harmonikler elektrik tesislerindeki en önemli problemlerden biridir. İdeal bir güç sisteminde akım ve gerilim dalga formu saf sinüs şeklindedir. Uygulamada ise gerilim kaynağından uygulanan gerilimle yükten akan akım birbirleriyle doğrusal olarak uyumlu değilse bu durumda yükten akan akımlara "sinüzoidal olmayan akımlar" denir. İçerisinde yalnızca doğrusal devre elemanlarını (direnc, endüktans ve kapasitans) içeren basit bir devreden akan akım kaynaktan uygulanan gerilimle orantılıdır. Dolayısıyla Şekil 1'de gösterildiği gibi sinüzoidal bir gerilim uygulandığında sinüzoidal bir akım akar.



Şekil 1. Doğrusal bir yükün akım dalga şekli.

Uygulamada ise yük çizgisi (dolayısıyla akım dalga şekli) Şekil 1'den oldukça kompleks bir şekildedir. Yük çizgisinde bazen simetrik olmayan, histeresis, kesinti, eğim vb. şekil bozuklukları, akım dalga şeklini de bozar [1].



Şekil 2. Doğrusal olmayan bir yükün akım dalga şekli.

Bu şekildeki değişken yük eğrisine sahip yüklere "Doğrusal olmayan yükler" denir. Her geçen gün sayıları artan doğrusal olmayan yükler nedeniyle şebekeden çekilen akım dalga formu sinüs formundan uzaklaşmaktadır. Özellikle güç elektroniği cihazları gibi sinüs dalgasını kırma mantığıyla çalışan cihazların endüstriyel, sanayi ve ticari alanlarda kullanımının artması en büyük harmonik kaynağı olarak gözümüze çarpmaktadır. Harmoniklerin oluşmasına neden olan kaynakların başlıcaları şunlardır:

- Transformatörler
- Statik dönüştürücüler (Konverterler)
- Generatörler
- Ark fırınları
- Gaz deşarjlı aydınlatma armatürleri
- Statik VAR kompanzatorları
- Fotovoltaik sistemler
- Bilgisayarlar
- Kesintisiz güç kaynakları
- Doğru akım ile enerji iletimi
- Elektrikli ulaşım sistemleri

Harmonikler akım ve gerilim harmonikleri olarak ikiye ayrılır. Bunların etkileri;

Akım harmonikleri:

- Nötr hattının aşırı yüklenmesi
- Transformatörlerdeki kayıpların artması
- Deri Etkisi'nin (Skin Effect) artması

Gerilim harmonikleri:

- Voltaj distorsiyonu
- İndüksiyon motorlarında torktaki dengesizlikler [2].

2. Harmonikler ile ilgili genel terimler

Elektrik tesislerinde herhangi bir dalga şeklinin harmonik içeriğinin ölçülebilmesi ve analizi için iki temel tanımlama vardır. Bunlar; Toplam Harmonik Distorsiyon ve Toplam Talep Distorsiyonudur.

2.1. Toplam harmonik distorsiyonu

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. Gerilim için toplam harmonik distorsiyonu,

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

şeklinde ifade edilir. Akım için toplam harmonik distorsiyonu,

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

şeklinde dir.

2.2. Toplam talep distorsiyonu

Akımdaki bozulmanın seviyesi THD değeri ile karakterize edilebilir fakat bazı durumlarda küçük bir akım büyük THD değerine sahip olabilir. Örneğin hız kontrol sürücüleri 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 [3].

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,

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

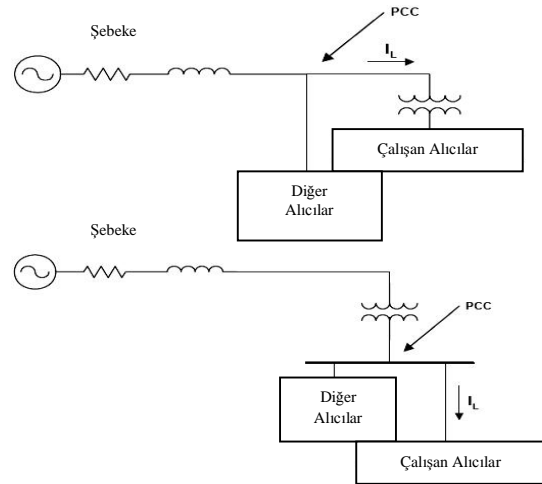
formülü ile hesaplanır. Burada I_L yük tarafından, besleme sisteminin ortak bağlantı noktasından çekilen, temel frekanslı maksimum akımdır. On iki ay öncesinden başlanarak hesaplanan yapılacak ana kadar olan süre zarfında yük tarafından talep edilen maksimum akımların ortalaması olarak hesaplanır. TTD kavramı IEEE "Standart 519" uygulamasında özellikle belirtilmiştir [4].

3. Birden çok ölçüm noktası bulunan sistemlerde ölçüm noktasının belirlenmesi

Harmonik limitleri elektrik sistemiyle birden fazla alıcı arasında PCC (Point of Common Coupling) noktalarında uygulanır. Diğer bir deyişle PCC diğer bir alıcının sistem üzerinden beslendiği noktadır. PCC bir veya birden fazla kullanıcının beslendiği bir transformatörün primer ya da

sekonder tarafı olarak kabul edilebilir. Şekil 3'de PCC için iki farklı durum gösterilmiştir.

PCC'nin dışındaki herhangi bir noktada yapılan ölçüm o sistemin harmonikleri hakkında genel bilgi vermektedir. Örneğin doğrusal olmayan yüklerle yakın yerlerde yapılan ölçümler bu yüklerin sistemin bir parçası olarak karakterize edilebilmesini sağlar. Sistemin farklı kollarında yapılan ölçümler ise sistemin farklı kollarında farklı cihazlar tarafından üretilen harmoniklerin birbirlerine sönümleme ya da artırma etkileri anlaşılabilir. Burada önemli bir nokta; eğer PCC sistemin primer (yüksek gerilim) tarafında ise akım ölçümü sekonder taraftan yapılabilir.



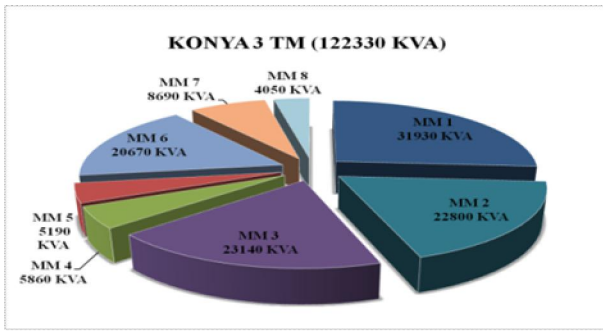
Şekil 3. Birden fazla alıcının beslenmesi durumunda PCC'nin belirlenmesi.

Alınan değerler transformatörün dönüştürme oranı uygulanarak primer tarafa uygulanabilir. Yalnızca transformatörün bağlantı gurubuna dikkat edilmelidir. Nitekim bazı transformatör bağlantı gurupları sıfır sequens harmonik bileşenlerini filtreleyebilmektedir. Örneğin üçgen-yıldız bağlantı şeklinde sıfır sequens harmonik bileşenleri (tek fazlı yüklerin ürettiği harmonik bileşenler) transformatörün primer tarafına geçmeyeceği için böyle bir transformatörün primerinde ölçüm değerlerinin sekonderdeki PCC noktasına aktarılması durumunda yanlış değerler bulunacaktır. Birçok sistemde sekonder taraftaki üç ve üçün katı harmoniklerin primer tarafa geçmemesi için bu tip bağlantı kullanılmaktadır. Bu tip bağlantı durumlarında sekonder taraftan ölçüm yapılabilir. Ancak kısa devre oranının (short circuit ratio SCR) primer tarafta hesaplanması gerekmektedir. Eğer sistemde yalnızca pozitif ve negatif sequens harmonik bileşenleri varsa (çoğu üç fazlı sanayi yükleri gibi) transformatörün bağlantı gurubu harmonik akımların genliklerini etkilemez yalnızca faz açılarını etkiler [5]. Alçak gerilim şebekesinde gerilim ölçümü ölçü aleti direk hatta bağlanarak yapılabilir. Yüksek gerilimde ise güç transformatörleri uygun gerilim ve akım elde edebilmek için kullanılır. Güç transformatörleri 3000 Hz'e varan oldukça iyi frekans cevabı verebilmektedirler. Kapasitif gerilim bölücüleri ise harmonik frekanslarda hatalara sebebiyet verdiklerinden harmonik ölçümlerinde kullanılmamalıdır[5]. Ancak son yıllarda geliştirilen kapasitif gerilim bölücüleri harmonik ölçümlerinde kullanılmaktadır [6]. Harmonikler elektrik sistemlerinde sinüzoidal dalga biçimini bozularının yanı sıra sistemdeki mevcut elemanlardan şebeke frekansından yüksek frekanslarda akımlar geçirecek sistem elemanlarının aşırı ısınmalarına neden olurlar. Günümüzde özellikle birçok elektronik elemanların kullanıldığı sanayi tipi dağıtım şebekelerinde, sistemin yanlış

çalışmasına ve dolayısıyla yapılan işlemin durmasına neden olurlar. Bunun yanında harmonik kaynağı olan bir fabrikanın ürettiği harmonikler, fabrikanın endüktif reaktansı ve harmonik kaynağı olmayan ve aynı şebekeden beslenen diğer bir fabrikanın kompanzasyon sisteminin kapasitif reaktansıya, baskın harmonik frekanslarda seri rezonansa girerek harmoniksiz fabrikanın kompanzasyon sistemi üzerinde yüksek gerilim düşümü oluşmasına ve dolayısıyla arızalara hatta bazı durumlarda kondansatör patlamasıyla yangına sebep olmaktadır.

4. Harmonik ölçümü yapılan sistem

Elektrik dağıtım sistemlerindeki farklı yüklerin ürettikleri harmoniklerin incelenmesi 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 4'teki 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 4. Manevra merkezlerinin kurulu güçleri.

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.

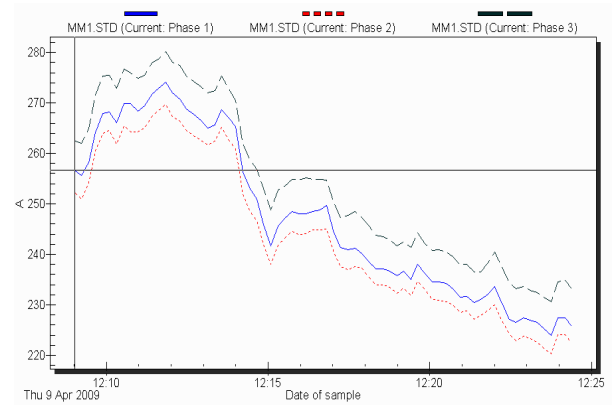
Tablo 1. Ölçüm yapılan fabrikalar ve ölçüm süresinde çekilen maksimum güçler.

	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

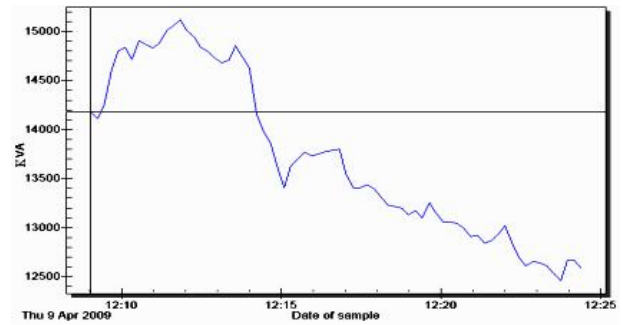
Yapılan harmonik ölçümlerinin sıhhatli olabilmesi için trafolarda birden fazla fabrikanın beslendiği yerlerde yalnızca ölçüm yapılan fabrikanın çalıştığı saatlerde ölçümler yapılmaya çalışılmıştır. Ölçüm yapılırken manevra merkezlerinin fazla güç çekenleri tercih edilmiştir. Ölçüm yapılan manevra merkezleri MM1, MM2, MM3 ve MM6'dır. AG'de ise Farklı tipteki fabrikalarda ölçümler yapılmıştır. Ölçümler tekstil fabrikası, gıda fabrikası, iki farklı Plastik fabrikası, beş farklı döküm fabrikasında yapılmıştır.

5. Ölçüm sonuçları

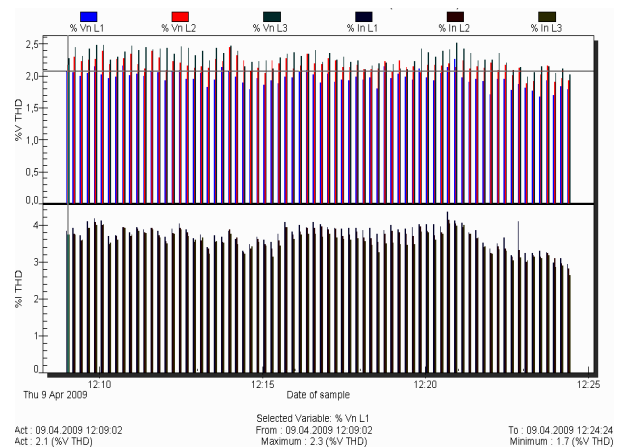
5.1.MM1 ölçümü



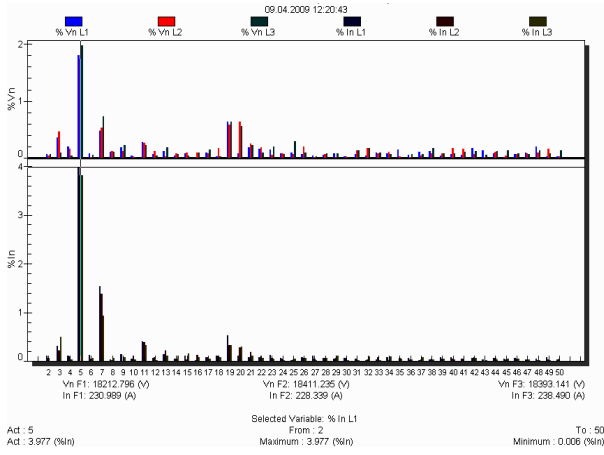
Şekil 5. MM1 üç faz akım grafiği.



Şekil 6. MM1 Görünür güç grafiği.



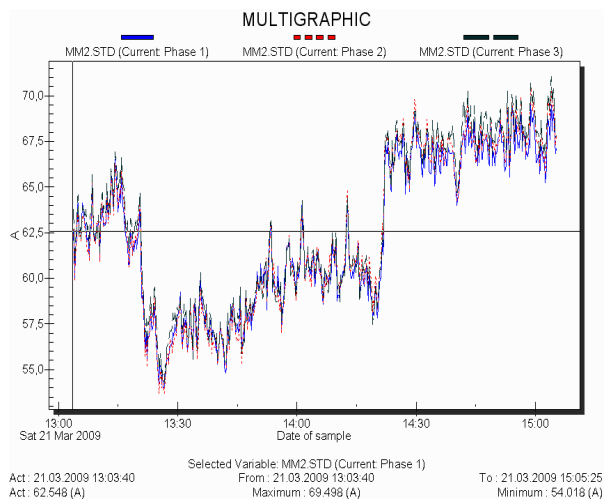
Şekil 7. MM1 üç faz THD grafiği.



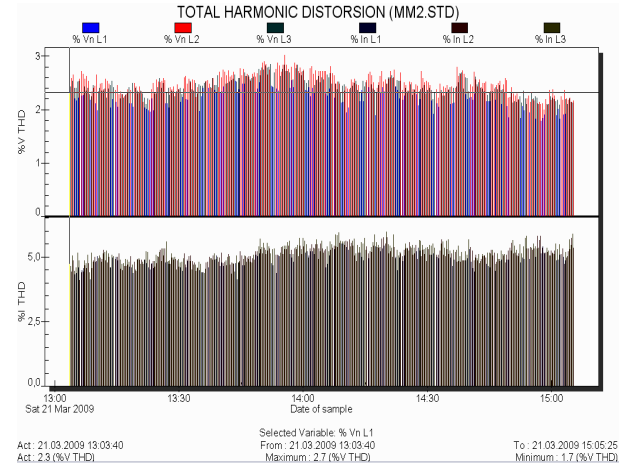
Şekil 8. MM1 THD'nin en büyük değerde olduğu durum için akım-gerilim harmonik spektrumları.

Grafiklerden de anlaşılacağı üzere akımla gerilim ters orantılı bir şekilde değişim göstermektedir. Akım seviyesi yükseldiğinde gerilim seviyesi düşmektedir. Üç fazlı THD grafiklerine bakıldığında gerilim THD değerlerinin %2,5'i, akım THD değerlerinin ise % 4,1'i geçmediği görülmektedir. Bu değerler IEEE-519 standartlarının altındadır. MM1'den beslenen döküm fabrikalarından bazılarının akım THD'leri % 25'in üzerinde olmasına rağmen OG tarafına yansımamasının nedeni OG'den çekilen toplam akımda diğer fabrikaların çekmiş olduğu düşük THD'li akımların da bulunmasıdır. Bununla birlikte harmonikli bileşenlerin açılışından dolayı birbirlerini azaltması da söz konusudur. Bu manevra merkezindeki baskın harmoniklerin akımda % 4 seviyelerindeki 5. harmonik ve % 2 seviyelerinde 7. harmonik olduğu görülmektedir. Ayrıca zamanla akımdaki 17, 18, 19, 20 ve 21. harmonik bileşenlerin de arttığı görülmektedir. Özellikle yüksek frekanslı 17, 18, 19, 20, 21. vb. harmonik bileşenler zamana göre değişkenlik göstermektedir. Bu sebepten bir sistem hakkında yüksek seviyeli harmonikler için baskın harmoniği belirlemek güç olabilir. Sistemin doğrusal olmayışından dolayı sürekli olarak harmonikli bileşenler değişecektir. Ancak düşük frekanslı yüksek genlikli baskın harmonikler genellikle belirgindir. Yalnızca genlik değerinde zamana göre küçük değişiklikler görülür.

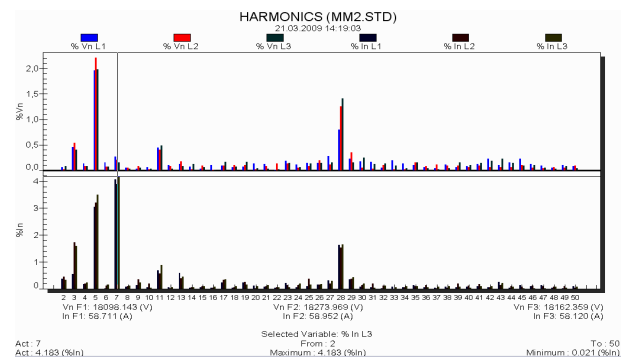
5.2. MM2 ölçümü



Şekil 9. MM2 üç faz akım grafiği.



Şekil 10. MM2 üç faz THD grafiği.



Şekil 11. MM2 THD'nin en büyük değerde olduğu durum için akım-gerilim harmonik spektrumları.

MM2'deki baskın harmonikler 5 ve 7. harmoniklerdir. 11. ve 13. harmonikler de mevcuttur. 7. harmonik seviyesi bazı durumlarda 5. harmonik seviyesini geçmektedir. Bunun yanında 25, 26, 27, 28 ve 29. harmonik bileşenler de zamanla yükselmektedir. Üç fazlı THD grafiklerine bakıldığında gerilim THD değerlerinin %2.5, akım THD değerlerinin ise %5.1 seviyelerinde olduğu görülmektedir. Bu değerler IEEE 519 standartlarının altındadır.

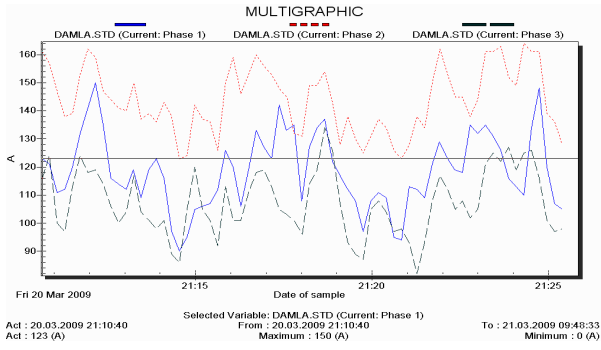
Tablo2. Manevra merkezlerinden alınan değerler.

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)

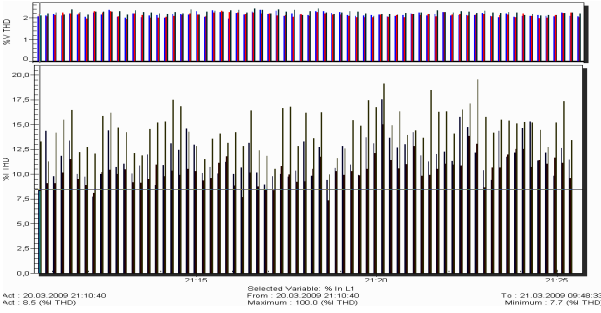
Yapılan ölçümlerden elde edilen yukarıdaki verilere göre MM6 Akım THD değeri bazı aralıklarda % 10 seviyelerine ulaşmaktadır. Gerilimdeki THD değeri ise % 2,8 civarındadır. Bu değer standartların altındadır. Fakat OG'de 31,5 kV için % 3'lük bir değer yaklaşık 1000 V olacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

MM6'da baskın harmoniklerin akımda % 7,5 seviyelerindeki 5. harmonik, % 4 seviyelerinde 7. harmonik, % 3 seviyelerinde 11. harmonik ve bazı aralıklarda da 28, 29, 30, 31 ve 32. harmonikler bulunmaktadır. Ayrıca yapılan ölçümün diğer zamanlardaki akım grafiklerinde 45, 46, 47, 48, 49 ve 50. harmonik bileşenlerin de arttığı görülmektedir.

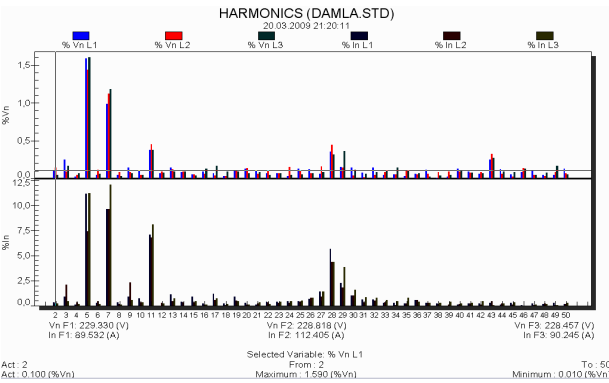
5.3. Plastik fabrikası 2 ölçümü



Şekil 12. Plastik fabrikası 2 akım grafiği.



Şekil 13. Plastik fabrikası 2 üç faz THD grafiği.

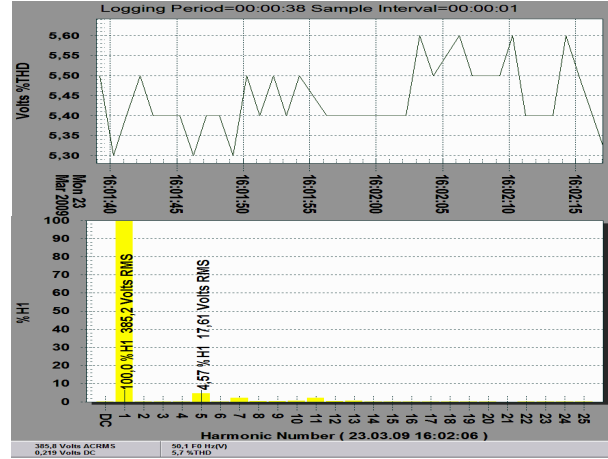


Şekil 14. Plastik fabrikası 2 THD'nin en büyük değerinde olduğu durum için akım-gerilim harmonik spektrumları.

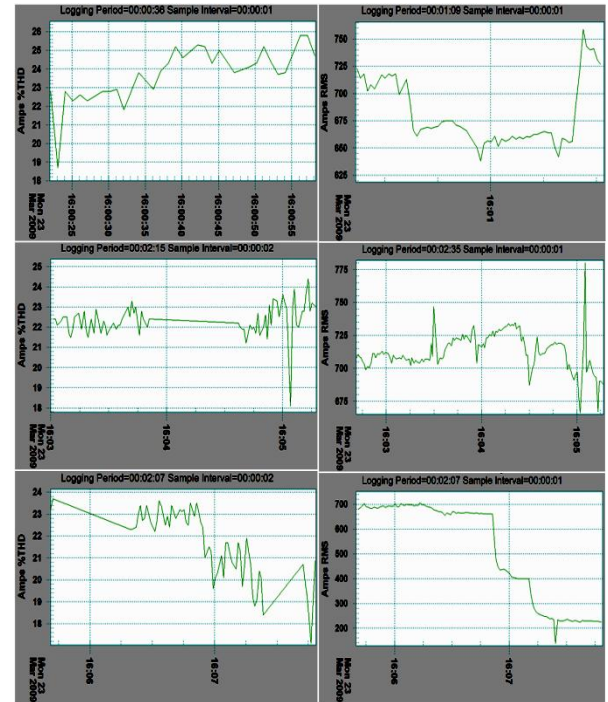
Plastik fabrikası 2'nin baskın harmonikleri 5, 7, ve 11. harmoniklerdir. Bazı zaman dilimlerinde 26, 27,...36. harmoniğe kadar geniş bir frekans spektrumundaki bileşenlerin genlik değerlerinin yükselmesi dikkat çekicidir. Bu değerler fabrikada kullanılan yüksek frekansta çalışan makinelerin ve hız kontrol sürücülerinin farklı zamanlarda farklı hızlarda çalışmalarının sonucunda ortaya çıkmaktadır. Uygulamalarda genellikle sabit hızlarda aynı performansla çalışan yükler bulmak çok zordur. Bu yüklerin elektriklenmesi, çalışması, anahtarlanması, kalkınması vb. olaylarda şebeke tarafındaki harmonikler çok farklılık göstermektedir. Böyle farklı karakteristikli yüzlerce makinenin aynı fabrikada kullanıldığı bir durumda harmonikli bileşenlerin zamanla farklılık gösterecektir. Farklı cihazların ürettikleri harmonikli bileşenler açılı farklılıklarından dolayı birbirlerini destekleyebilir ya da sönmüleyebilir. Bu da fabrikanın kurulumunda kullanılacak cihazların harmonik karakteristiklerinin iyi araştırılıp modellenmesinin yapılmasını

gerektirir. Örneğin sürücüler için 6-darbeli doğrultuculu cihazların yerine 18-darbeli doğrultucuların kullanılması harmonikli bileşenlerin birbirlerini sönmüleyerek THD değerinin düşmesine neden olur.

5.4. Döküm fabrikası 4 ölçümü

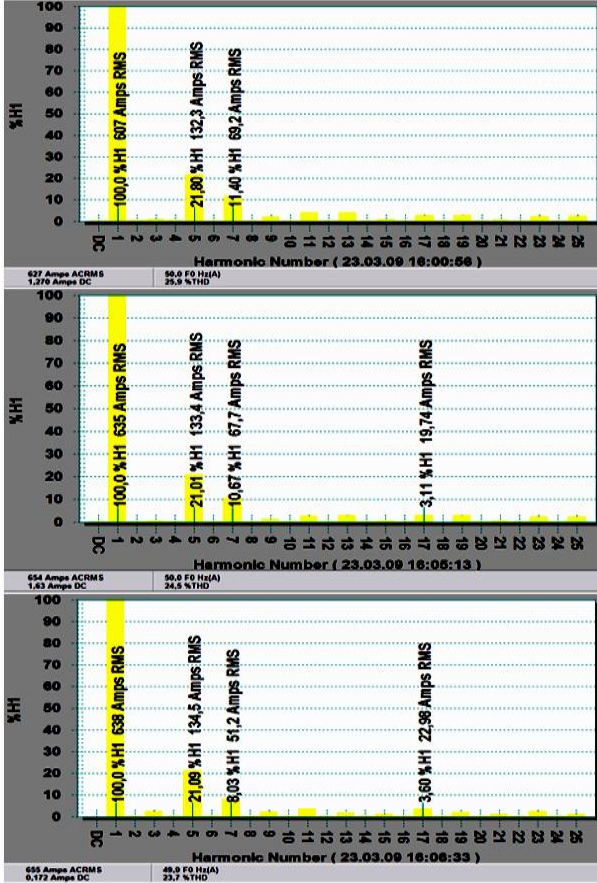


Şekil 15. Döküm fabrikası 4 tek faz için gerilim THD değişim grafiği ve harmonik spektrumu.



Şekil 16. Döküm fabrikası 4 R,S,T faz akımlarının RMS değeri ve THD değişim grafikleri.

Normal çalışmasında çekilen akımı 760 amper seviyesine kadar çıkabilen döküm fabrikası 4'ün akım THD'si % 26 seviyelerine ve gerilim THD'si ise % 5,7 seviyesine yükselmektedir. Bu iki değer de harmonik standartlarının üzerindedir. Baskın harmonikleri 5 ve 7. harmoniklerdir. Bununla beraber diğer tek harmonikli bileşenler de vardır. 5. ve 7. harmonikli bileşenlerin toplam değeri yaklaşık 200 amper değerindedir. Bu değer gerçekten sistem için tehlikeli bir değerdir ve sistemde harmonikli gerilim düşümlerine neden olacaktır.



Şekil 17. Döküm fabrikası 4 R,S,T fazları için THD'nin en yüksek olduğu değerlerdeki akım harmonik spektrumları.

Gerilim distorsiyonundaki yükseklik bu harmonikli akımların sistem empedansı üzerinde yaptığı gerilim düşümünden kaynaklanmaktadır. Ayrıca döküm fabrikaları gibi akım distorsiyonu ve genliği yüksek olan fabrikalarla aynı transformatör üzerinden beslenen diğer düşük harmonik distorsiyonlu fabrikalar da, bu akımların sistemin hat empedansı ve fabrikaların beslendikleri trafonun iç empedansındaki harmonikli gerilim distorsiyonundan dolayı yüksek seviyelerde harmonikli akımlara maruz kalmaktadırlar.

5.5. Diğer fabrikalardan ölçüm değerleri

Tablo 3. Fabrikalardan alınan ölçüm değerleri

Ölçüm Yapılan Yer	Çekilen Akım (A)	Gerilim THD %	Akım THD %	Akımdaki Baskın Harmonikler
Döküm Fabrikası1 (OG)	14,75-13,25	3 - 2,5	20-15	5(%16) - 7(%12) - 11(%3)
Plastik Fabrikası1	290-170	2,5-2	17-10	3(%2,5) - 5(%10) - 7(%12,5)
Plastik Fabrikası2	170-90	2,2-2	20-10	5(%11) - 7(%12,5) - 11(%8)
Döküm Fabrikası2	630-500	4,3-3,5	28,5-24,5	5(%22) - 7(%10) - 11(%8)
Döküm Fabrikası3	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 Fabrikası4	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 Fabrikası5	230-125	2,6-2,2	32-8	2(%28) - 3(%3) - 4(%8) - 5(%6)

6. Sonuçlar

Elektrik sistemlerinde her geçen gün sayıları artan doğrusal olmayan 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 doğrusal yük olmaları durumunda bile harmonikli akımların çekilmesine neden olacaktır.

Konya 2. ve 3. Organize Sanayi Bölgesinin AG-OG elektrik dağıtım sisteminin ayrı noktalarından beslenen farklı tipteki yükler harmonikler yönünden incelenmiş ve bu yüklerin ürettikleri harmonik seviyeleri belirlenmiştir. Elde edilen grafiklerde OG tarafındaki akım ve gerilim THD'sinin standartların altında olduğu, AG tarafında ise ölçüm yapılan fabrikaların genel olarak harmonik limitlerini aştığı görülmüştür. Ayrıca ölçüm yapılan sanayi bölgesinden elde edilen verilerden, genellikle üç fazlı yüklerin kullanıldığı dağıtım şebekelerinde üç ve üçün katı harmoniklerin çok düşük değerlerde bulunduğu, 5., 7. ve 11. harmoniklerin ise yüksek genliklerde olduğu belirlenmiştir. Bu yüksek seviyedeki harmonikler zamanla elektronik kart arızalarına, sistem elemanlarında ömür kayıplarına, kablo başlıklarında patlamalara, kondansatör tahribatlarına, transformatörlerde aşırı ısınma ve gürültülere, dolayısıyla sanayi kuruluşlarında elektrik kesintileri sonucu büyük hammadde ve işgücü kayıplarına neden olacağı açıktır.

Dağıtım şebekelerinde döküm fabrikaları gibi yüksek harmonik distorsiyonlu ve büyük değerli akımlar çekerek elektrik sistemini kirleten yükler bulunmaktadır. Bu tür yüklerin bulunduğu şebekelerde incelemeler yapılarak kaliteli elektrik enerjisi için filtre uygulamalarının kullanımının yaygınlaştırılması yukarıdaki problemleri ortadan kaldıracaktır.

7. Kaynaklar

- [1] Marshall, G., Heathcote, M., "Electrical Design", A Good Practice Guide CDA Publication 123, Copper Development Association, 1997.
- [2] Baioni, "Protection And Control Devices", *Electrical Installation Handbook, Fourth edition*, Bergamo, 2006.
- [3] Dugan R.C., McGranaghan F.M., Beaty H.W., "Electrical Power Systems Quality", McGraw-Hill 1996.
- [4] Kocatepe, C., Uzunoğlu, M., Yumurtacı, R., Karakaş, A. ve Arıkan, O., "Elektrik Tesislerinde Harmonikler", *Birsen Yayınevi Ltd. Sti.*, İstanbul, 2003.
- [5] IEEE P519A/D5, "Guide for Applying Harmonic Limits on Power Systems", *Harmonics Working Group (IEEE PES T&D Committee) and SCC22*, New York, 1996.
- [6] Tanaskovic, M., Nabi, A., Misur, S., Diamanti, P., McTaggart, R., "Coupling Capacitor Voltage Transformers as Harmonics Distortion Monitoring Devices in Transmission Systems", *International Conference on Power Systems Transients (IPST'05)*, Canada on June 19-23, Paper No. IPST05 - 031, 2005.