

BİR TEKSTİL FABRİKASININ HARMONİK ANALİZİ

Ayetül KARA¹ Yasin CEYLAN² Saffet AYASUN³ Tankut YALÇINÖZ⁴

^{1,2,3,4}Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Niğde Üniversitesi, 51245, Niğde

¹e-posta: ayetulkara@nigde.edu.tr

²e-posta: herrceylan@hotmail.com

³e-posta: sayasun@nigde.edu.tr

⁴e-posta: tyalcinoz@nigde.edu.tr

Anahtar sözcükler: Enerji Kalitesi, İnverter, THD ve Filtre

ÖZET:

Bu çalışmada Niğde bölgesinde yer alan bir tekstil fabrikasının harmonik ölçümü yapılmıştır. Yapılan ölçümler harmonik kirlenmesinin çok önemli bir sorun olduğunu ortaya koymuştur. Fabrikadaki bu harmonik kirliliğinin en önemli kaynağı kullanılan inverter sayısının çok olmasıdır. Toplam harmonik distorsiyonunu azaltmak amacıyla fabrikadaki kompanzasyon panosu yerine harmonik filtre panolarının yerleştirilmesi önerilmiştir.

1. GİRİŞ

Kaliteli bir elektrik enerjisi sağlayabilmek için; enerjinin sürekliliği, gerilim ve frekansın sabitliği, güç faktörünün 1'e yakınlığı, faz gerilimlerinin dengeli olması ve gerilim ve akımdaki harmonik miktarlarının belirli değerlerde kalması gibi bir takım kriterlerin göz önüne alınması gereklidir [1]. Güç sistemine bağlanan ve sayıları gittikçe artan inverterler, ark fırınları, güç elektroniği elemanları, SVC gibi nonlineer yükler, sistemdeki akım ve gerilim büyüklüklerinin nonsinüsoidal olmasına, yani harmonik distorsiyonuna sebep olmaktadır [1-5].

Bir elektrik güç sisteminin, güvenli ve istenilen bir biçimde çalışması için, sistemin tasarım ve yapım aşamasında bir takım etkenler hesaba katılmalıdır. Bu etkenlerden biri de güç kalitesini belirleyen parametrelerden olan nonlineer karakteristikli elemanların meydana getirdikleri harmoniklerdir.

Elektrik güç sistemindeki nonlineer elemanlar, özellikle de değişik güç seviyesindeki motor sürücülerini iletim ve dağıtım sistemlerinde belirgin bir harmonik kirliliğine neden olmakta ve tüketiciye verilen enerjinin kalitesini olumsuz yönde etkilemektedirler [1-2].

Harmonikler; motorlar, generatörler kondansatörler, transformatörler ve enerji iletim hatlarında ilave kayıplara neden olurlar.

Akım ve gerilim harmoniklerinin güç sistemi içindeki etkilerini beş ana grup altında toplamak mümkündür [6];

- Paralel ve seri rezonans dolayısıyla harmonik seviyelerinin yükselmesi.
- Elektrik üretim, iletim ve tüketiminde verimin azalması.
- Elektrik tesislerinde yalıtımı zayıflattığı için tesis elemanlarının ömürlerinin azalması.
- Tesislerde arızalar meydana gelmesi.
- Güç kalitesinin bozulması.

Bu çalışmada Niğde Organize Sanayi Bölgesinde kurulu olan ORTEKS Tekstil Ürünleri San. ve Tic. A.Ş. işletmesinde harmonik ölçümleri yapılarak enerji kalitesi analizi gerçekleştirilmiştir.

2. ENERJİ KALİTESİ ÖLÇÜTLERİ

Nonsinüsoidal büyüklüklerin güç sistemine olumsuz etkilerinin giderilmesi ve güç kalitesinin iyileştirilmesi bakımından harmoniklerin analizi ve harmonik büyüklüklerin seviyesinin belirlenmesi gerekmektedir. Güç sisteminde harmonik bileşenleri bulunan, gerilim ve akımın zamana bağlı ifadeleri Fourier serileri ile aşağıdaki biçimde ifade edilebilir:

$$v(t) = \sum_{n=1}^{\infty} v_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} V_n \sin(n\omega_1 t + \theta_n) \quad (1)$$

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} i_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} I_n \sin(n\omega_1 t + \delta_n) \quad (2)$$

Burada v_n ve i_n , n. harmonik geriliminin ve akımının ani değerleri olup, DC terimler basitleştirme amacıyla ihmal edilmiştir. V_n ve I_n sırasıyla, n. harmonik mertebesi için gerilim ve akımın efektif değerleridir. ω_1 ise temel frekansa (f_1) ait açısal frekanstır. θ_n ile δ_n ise sırasıyla n. harmonik için gerilim ve akıma ait faz açılarıdır.

Denklem (1)-(2) kullanılarak ani güç;

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) \quad (3)$$

olarak ifade edilir ve $p(t)$ 'nin bir periyot boyunca ortalama değeri;

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt \quad (4)$$

olarak verilir. Denklem (1)-(2)-(3)-(4) yardımıyla

$$P = \sum_{n=1}^{\infty} V_n I_n \cos(\theta_n - \delta_n) = \sum_{n=1}^{\infty} P_n \quad (5)$$

olarak elde edilir.

Denklem (1)-(2) de verilen harmonikli gerilim ve akımın efektif değerleri sırasıyla,

$$V = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2} \quad (6)$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2} \quad (7)$$

olarak bulunur.

Harmonikli ortamda görünür gücün genliği; $S = V \cdot I$ şeklindedir ve yaygın bir şekilde kabul edilen tanımı ise;

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2 \quad (8)$$

biçimindedir. Burada D, distorsiyon gücüdür. Distorsiyon gücü aktif olmayan bir güç olup sinüsoidal işaretli lineer devrelerde sıfırdır.

Harmonik büyüklüklerin sınırlanmasını amaçlayan ve standartlarda çok yaygın olarak kullanılan toplam harmonik distorsiyonu gerilim ve akım için sırasıyla;

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1}$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (10)$$

ifadelerinden yararlanılarak bulunur. Görüldüğü gibi THD, harmonik bileşenlerin efektif değerlerinin, temel bileşen efektif değerine oranıdır ve genellikle yüzde olarak ifade edilir. Bu değer, harmonik içeren periyodik dalga şeklinin, tam bir sinüs dalga şeklinden sapmasının tespitinde kullanılır [1-3-4].

Gerilim ve akım, THD cinsinden aşağıdaki biçimde ifade edilebilir:

$$V = V_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THD_V}{100} \right)^2} \quad (11)$$

$$I = I_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100} \right)^2} \quad (12)$$

Aynı biçimde toplam güç faktörü, gerilim ve akımın toplam harmonik distorsiyonu değerleriyle,

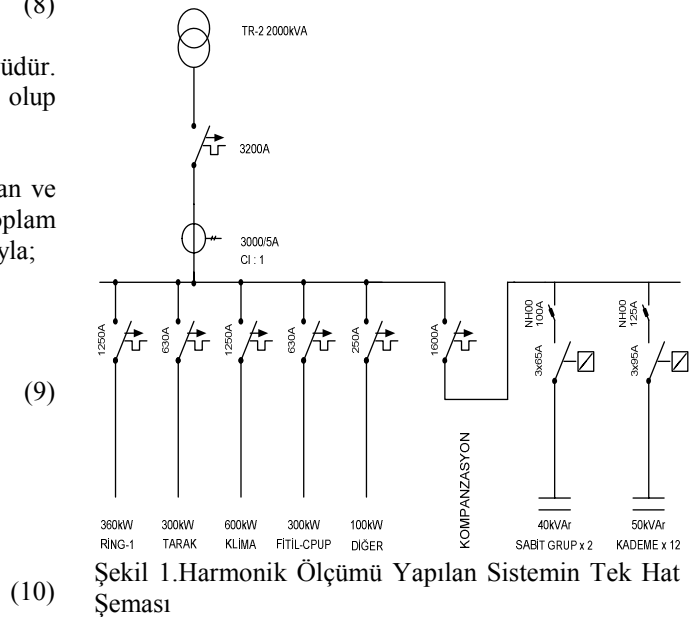
$$P_{f_{toplam}} = \frac{P}{V_1 I_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THD_V}{100} \right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100} \right)^2}} \quad (13)$$

olarak ifade edilir.

3. HARMONİK ÖLÇÜMÜ YAPILAN SİSTEM

ORTEKS Tekstil Ürünleri San. ve Tic. A.Ş. fabrikasının kurulu gücü 4 MVA'dır. İki adet 34.5 kV/380 V 2000 kVA'lık trafo bulunmaktadır.

Fabrikanın ölçüm yapılan kısmının yük dağılımını gösteren tek hat şeması Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Harmonik Ölçümü Yapılan Sistemin Tek Hat Şeması

Şekilden de görüleceği üzere dağıtım panolarının girişinde 3200 A'lık manyetik şalter vardır. TR-2 den çekilen güçler Şekil 1'de gösterildiği gibidir. RİNG-1 hattı 360 kW güç çekmektedir. Birbirinin aynısı olan 8 adet Ring Makinesi (istenilen kalınlıktaki numaralarda ipliği üreten makine) vardır ve makineler ikili gruplar halinde beslenmektedir. Tarak hattı 300 kW, klimalar 500 kW ve Fitol-CPUP grubu 300 kW güç çekmektedir. Geriye kalan tezgah ve yüklerin toplam gücü ise 100 kW'tır. Dağıtım panosuna paralel bağlı kompanzasyon panosu 1600 A'lık manyetik şalter ile panodan ayrılmaktadır. Kompanzasyon sistemi iki adet 40 kVAr'lık sabit grup, reaktif güç kontrol rölesi ile kontrol edilen 50 kVAr'lık 12 adet otomatik gruptan oluşmaktadır.

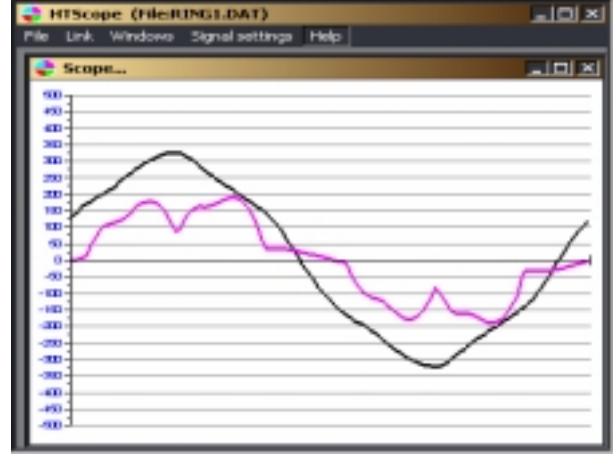
İşletmedeki makinelerde 0,18 kW'tan 90 kW'a kadar değişik güçlerde motorlar ve 0,18 kW'tan 45 kW'a kadar değişik güçlerde inverterler kullanılmaktadır. Doğrultucu ekipmanlar, bilgisayarlar ve yan ürünleri de yoğun olarak mevcuttur. Ancak bunların içerisinde en çok kullanılanı ve en fazla sayıda olanı inverterlerdir.

İşletmede kullanılan bu ekipmanlar harmonik akımlara sebep olmaktadır. Özellikle de RİNG, bobin ve tarak makinelerinde sıklıkla kullanılmışlardır.

Bir ring makinesinde; 45 kW'lık, ve 0,18 kW'lık iki adet inverter mevcuttur. Birer adet 37 kW, 5,9 kW, 5,5 kW, 0,18 kW'lık ve 2 adet 3,2 kW'lık 3 fazlı asenkron motorlar kullanılmaktadır. 45 kW'lık inverter 37 kW'lık ve 5,9 kW'lık iki motorun hız kontrolünü yapmaktadır. Diğer motorlarda hız kontrolü mevcut değildir. Bunun yanı sıra 24 V_{DC} ile çalışan PLC ve PLC üniteleri, kontaktörler, röleler, sensörler ve valfler mevcuttur. Bu ekipmanların ihtiyacı olan gerilimi elde etmek için makinede 1 adet 10 A – 220 V_{AC}/24 V_{DC} regüleli AC/DC konverter ve 1 adet 10 A – 600 V_{DC}/24 V_{DC} DC/DC konverter mevcuttur. İşletmede 25 adet Ring Makinesi bulunmaktadır. İşletmede lineer olmayan ekipmanları bünyesinde en fazla bulunduran makineler sırasıyla Ring, Bobin, ve Taraklardır. Bu çalışmada makine adedinin diğerlerine oranla fazla olması açısından Ring Makinesi incelenmiştir. İşletmede harcanan enerjinin yaklaşık % 40'ını Ring Makineleri tüketmektedir.

4. ÖLÇÜM SONUÇLARI

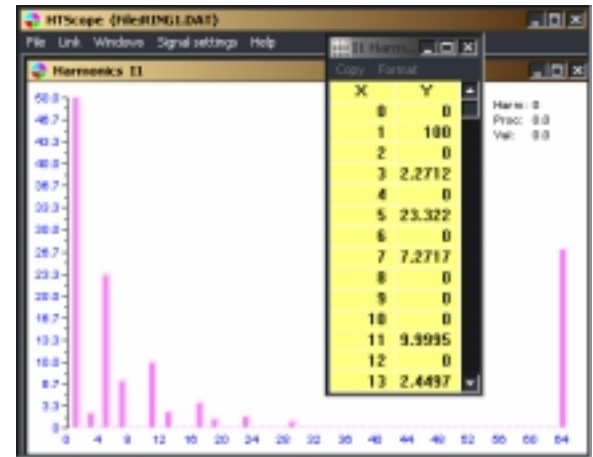
TR-2 trafosundan beslenen Ring-1 hattı üzerinde enerji analizörü ile yapılan ölçümlerde aşağıdaki şekiller elde edilmiştir. Şekil 2, R fazına ait akım ve gerilimin dalga şeklini göstermektedir. Şekilden de görüleceği üzere akım dalga formu sinüsoidal dalga şeklinden fazlasıyla uzaklaşmıştır. Bu da bu hatta ait akımın harmonikler içerdiğini göstermektedir.



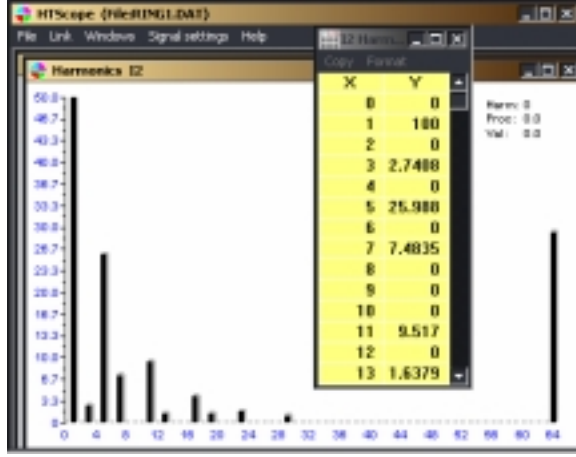
Şekil 2. R fazına akım ve gerilim dalga şekli

Şekil 3, 4 ve 5 ise sırasıyla R, S ve T faz akımlarına ilişkin harmonik spektrumlarını ve veri tablolarını göstermektedir. Temel harmonik bileşeni her faz için 100 A olmak üzere en yüksek genliğe sahiptir. Bu şekillerden de görüleceği üzere belirgin harmonikler 3.-5.-7.-11. ve 13. harmonikler olup, bunlardan THD'ye en fazla katkısı olan harmonik bileşeni 5. harmoniktir. Görüldüğü üzere bu harmoniğin genliği yaklaşık olarak temel harmoniğin 1/4'ü kadardır. Şekillerdeki en son sütun ise THD'yi belirtmektedir.

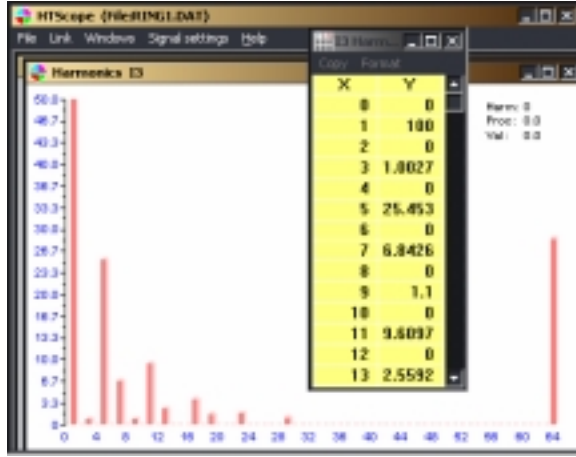
Tablo 1'de her faza ait akım (I), gerilim (U), aktif güç (P), reaktif güç (Q), görünür güç (S), gerilim-akım toplam harmonik distorsiyonu (THD_v - THD_i), cos φ, distorsiyon güç faktörü (dP_f) ve nötr akımının rms değeri (Inull) değerleri verilmektedir. THD_i'ya her faz için oldukça yüksek değerdedir ve bu da güç sistemleri ve fabrika otomasyonu için istenmeyen bir durumdur.



Şekil 3. R fazına ait akım harmonik spektrumu ve sayısal değerleri



Şekil 4. S fazına ait akım harmonik spektrumu ve sayısal değerleri



Şekil 5. T fazına ait akım harmonik spektrumu ve sayısal değerleri

Tablo 1. Her faza ait ölçülen değerler

	R Fazı	S Fazı	T Fazı
Urms (V)	216,62	216,3	217,48
Irms (A)	119,91	120,29	122,85
P(kW)	24,16	24,25	24,73
Q(kVAR)	9,53	9,50	10,11
S(kVA)	25,97	26,05	26,72
THD(U)	5,77	5,50	5,74
THD(I)	27,10	29,36	28,68
Cos φ	0,93	0,93	0,93
dPf	0,98	0,98	0,98
Inull(A)	7,86		

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada bir tekstil fabrikasının harmonik ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümler; fabrikada fazlasiyla kullanılan inverterlerden dolayı meydana gelen büyük miktarda harmonik kirliliğinin varlığını göstermiştir. Ölçümler sonucu elde edilen THD(I) değeri dünya standartlarıncı izin verilen değerlerin

olduğu üzerindedir. Bu yüksek harmonikler zamanla kondansatör tahribatına, elektronik kart arızalarına, gereksiz şalter açmalarına, motor arızalarına ve operasyonel sorunlara neden olacaktır. Özellikle kondansatör tahribatı sırasında ortaya çıkabilecek patlamalar yangın gibi çok büyük bir riski de beraberinde getirecektir.

Bu tesiste bulunan TR-2 hattı için mevcut kompanzasyon panelinin yerinden çıkarılarak harmonik filtre paneline geçilmesi yukarıda bahsedilen tüm riskleri ortadan kaldıracaktır.

6. KAYNAKLAR

- [1] Kocatepe C., Uzunoğlu M., Yumurtacı M., Karakaş A., Arıkan O., Elektrik Tesislerinde Harmonikler, Birsen yayınevi, İstanbul, Kasım 2003
- [2] Rastegar S.M.R., Jewell W.T., A New Approach For Suppressing Harmonic Disturbances in Distribution System Based on Regression Analysis, Electric Power Systems Research, Vol. 59, pp. 165-184, 2001
- [3] Gencer Ö.Ö., Alboyacı B., Öztürk S., Çetinkaya H. B., Harmoniklerin Güç Faktörü Üzerine Etkileri, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi, pp. 9-12, İstanbul, 2003
- [4] Abdel Aziz M.M., Abou Elzahab E.E., Ibrahim A.M., Zobaa A.F., Electric Power Systems Research, Vol. 63, pp. 197-201, 2002
- [5] Ekiz A., Tümay M., Fabrikalarda Meydana Gelen Harmoniklerin MATLAB/SIMULINK Kullanılarak Modellenmesi, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi, pp. 99-102, İstanbul, 2003
- [6] Dugan R.C., McGranaghan M.F., Santoso S., Beaty H.W., Electrical Power Systems Quality, McGraw-Hill, USA, 2003