

ELEKTRİK ARK OCAKLARININ ENERJİ SİSTEMİ ÜZERİNDEKİ BOZUCU ETKİLERİNİN ANALİZİ

Hacer ŞEKERCİ
hacer.oztura@deu.edu.tr

Eyüp AKPINAR
eyup.akpinar@deu.edu.tr

Dokuz Eylül Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Müh. Böl. Buca İzmir

ÖZET

Bu çalışmada, demir çelik fabrikalarının (PCC) ortak kuplaj noktasından elektrik sistemine verdikleri bozucu etkilerin net bir şekilde ayrıştırılabilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle İzmir Aliağa bölgesinde yoğun olarak bulunan demir çelik endüstrisi tesislerinde eş zamanlı olarak yapılan akım ve gerilim ölçümleri verileri kullanılarak, ark ocaklarının sisteme verdiği harmonik etkiler ayrıntılı olarak incelenmiştir. Proje kapsamında bölgedeki demir-çelik tesislerinin her birisinin içinden hem tüm fabrikalar çalışırken hem de diğer dört tanesi üretimi durdurmuş iken veri kaydedilmiştir. Ölçülen akım ve gerilim verileri PSCAD (Power System Computer Aided Design) programı kullanılarak ve IEC-61000-4-7 standardında verilen tanımlara göre analiz edilerek bölgenin ve tesislerin harmonik etkileri gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji Kalitesi; Demir ve Çelik Endüstrisi; Ark Fırınları, Harmonik akımlar

1. GİRİŞ

Ülkemizde son yıllarda demir çelik endüstrisinde çok hızlı bir gelişme gözlenmiştir. Şu anda ülke kurulu gücü olan 40GW'ın onda biri gibi bir oranı demir çelik endüstri tesisleri tarafından kullanılmaktadır. Kısa bir zaman içerisinde ise bu kullanım miktarının artmaya devam ederek iki katına çıkacağı öngörülmektedir [1]. Bu çalışmada, enerji iletim sistemi üzerinde ölçümler yapılarak sorunların tespiti ve çözümlerinin üretilmesi hedeflendiğinden, genel güç kalitesi üzerinde bu ark ocaklarının harmonik, inter-harmonik, voltaj kırışması gibi bozucu etkilerinin uluslararası standart değerlere göre incelenmesi hedeflenmiştir. Ark ocaklarının neden olduğu güç kalitesi problemlerini inceleyen birçok çalışma literatürde vardır [2-4]. Ayrıca sadece ark ocaklarından kaynaklanan harmonik ve ara-harmonikleri inceleyen çalışmalara da sıkça rastlanmaktadır [5-7].

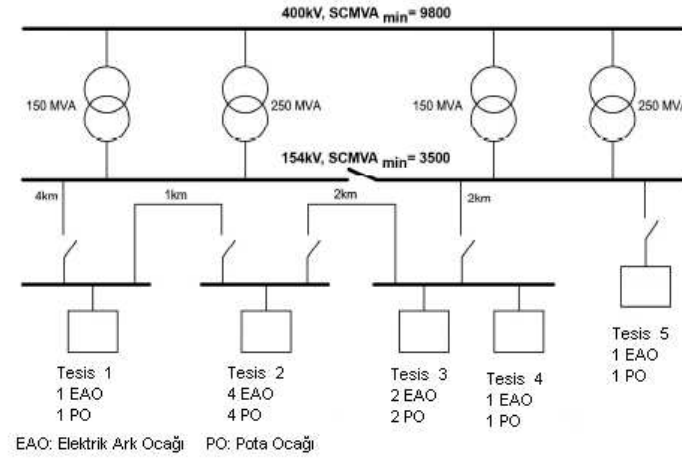
Harmonik, analiz edilen dalga şeklinin temel frekanstaki bileşenin tam katları olan frekanslarda görülen alternatif akım veya gerilim sinyalleri olarak bilinir. Ara harmonik tanımı ilk olarak 1990 yılında IEC-1000-2-1'de yapıldı. Daha sonra IEC-61000-2-2'de ve IEEE 519'da bu tanım yenilenmiştir. Ara harmonikler, alternatif gerilim ve akımın temel frekansının tam sayı olmayan katlarında görülen harmonikler olarak tanımlanmaktadır [8]. Ara harmoniklerin genliği normalde temel frekanstaki bileşenin tam katları olan harmoniklerden küçüktür ve standartlarca tanımlanmış bir limit değerleri yoktur. Ara harmonikler ağırlıklı olarak ark ocakları, kaynak makineleri, statik frekans dönüştürücüleri gibi yükler tarafından üretilir. Ara harmonikler aşırı ısınma, kullanım ömründe azalma gibi harmoniklerin neden olduğu problemlere ek olarak gerilim dalgalanmaları, alt-senkron salınımlar ve kırışma (flicker) gibi ek bazı sorunlara neden olurlar [9].

2. DEMİR - ÇELİK ENDÜSTRİ BÖLGESİNDE GÜÇ KALİTESİ ANALİZİ

İzmir Aliğa bölgesinde bulunan ve aynı hattan beslenen demir-çelik tesisleri şekil-1'de verilmiştir. Aynı bölgede değişik güçlerde beş ayrı işletme bulunmaktadır.

Demir-çelik fabrikalarını besleyen TEİAŞ'a ait Aliğa II, Almak, Alçuk ve Habaş Trafo Merkezlerinde 7 gün kesintisiz süren ölçümler alınmıştır. Bu ölçümlerden Aliğa II Trafo Merkezinde bulunan 380/154

kV'luk trafoların primer ve sekonderinde akım harmoniklerinde toplam talep bozulması (TTB) nadiren sınır değeri aşarken, gerilim toplam harmonik bozulması (THB) sınır değeri aşmamaktadır. Ancak diğer üç trafo merkezinde bulunan 154/34.5 kV'luk trafoların primer ve sekonderinde TTB'ların sürekli olarak yasal limitleri geçtiği gözlenmiştir. TEİAŞ trafo merkezlerine 7 gün boyunca alınan ölçümler sonucu elde edilen THB'lar ve yasal limitler Tablo-1'de, TTB'lar ise Tablo-2'de verilmiştir.



Şekil-1. Bölgenin tek hat şeması

Tablo-1. Gerilim THB Bozulmaları

	TR-1 Primer		TR-2 Primer	
	yasal	%2	yasal	%2
ölçülen	Sınırı aşmıyor	ölçülen	Sınırı aşmıyor	
Trafo Merkezi 1	TR-1 Sekonder		TR-3 Sekonder	
	yasal	%3	yasal	%3
ölçülen	Sınırı aşmıyor	ölçülen	Sınırı aşmıyor	
Trafo Merkezi 2	TR-A Primer		TR-B Primer	
	yasal	%3	yasal	%3
ölçülen	Sınırı aşmıyor	ölçülen	Sınırı aşmıyor	
Trafo Merkezi 3	TR-A Primer		TR-B Sekonder	
	yasal	%3	yasal	%3
ölçülen	Sınırı aşmıyor	ölçülen	Sınırı aşmıyor	
Trafo Merkezi 4	TR-C Primer		TR-C Sekonder	
	yasal	%3	yasal	%3
ölçülen	Sınırı aşmıyor Sadece 16. har. sürekli	ölçülen	%5'e ulaşıyor 2. ve 21. har. sürekli	

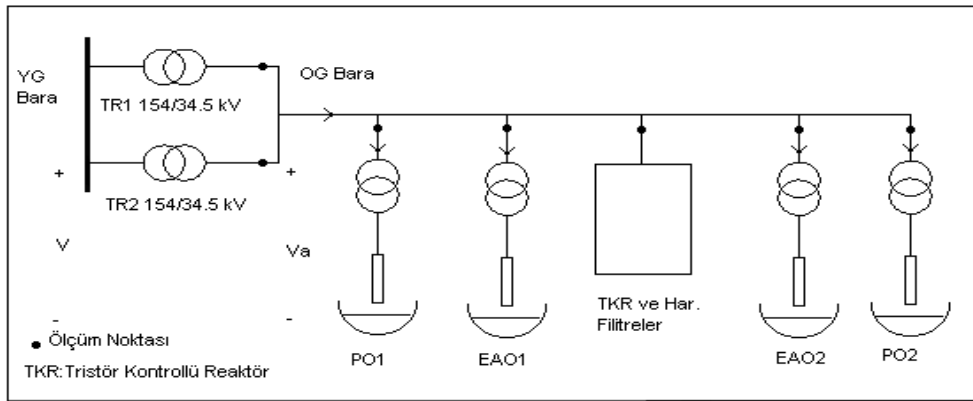
Tablo-2. Akım TTB Bozulmaları

Trafo Merkezi 1	TR-1 Primer		TR-2 Primer	
	yasal	%3	yasal	%3
	ölçülen	Yer yer %4	ölçülen	Yer yer %4
	TR-1 Sekonder		TR-3 Sekonder	
	yasal	%2.5	yasal	%2.5
Trafo Merkezi 2	TR-A Primer		TR-B Primer	
	ölçülen	Sürekli aşıyor (max %75)	ölçülen	2. ve 24. har. sürekli aşıyor
Trafo Merkezi 3	TR-A Primer		TR-B Sekonder	
	yasal	%12	yasal	%12
	ölçülen	Sürekli aşıyor (max %38)	ölçülen	Sürekli aşıyor (max %220)
Trafo Merkezi 4	TR-C Primer		TR-C Sekonder	
	yasal	%4	yasal	%8
	ölçülen	Sürekli aşıyor (max %2400)	ölçülen	Sürekli aşıyor (max %3600)

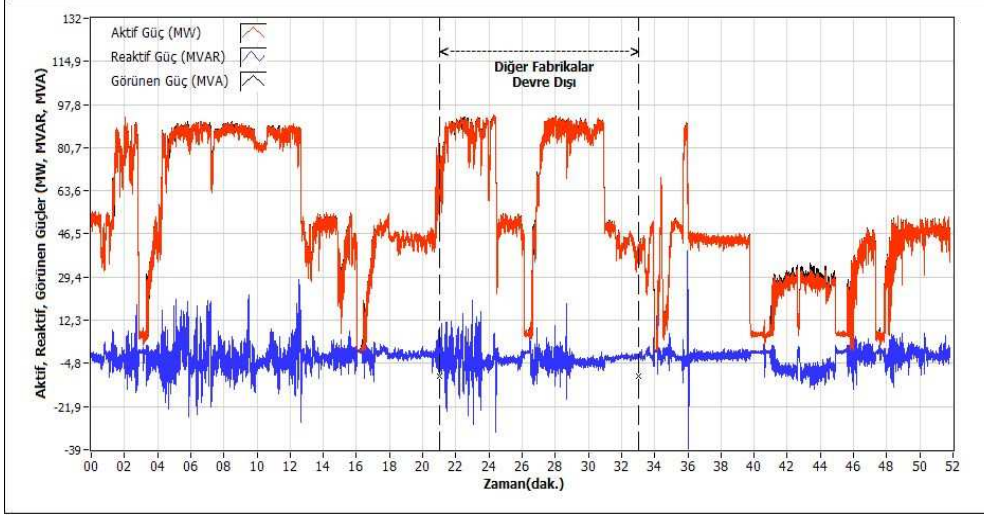
Aliağa bölgesindeki demir-çelik fabrikalarının hepsinin 2., 3. ve 4. harmonik filtreleri ve hatta bazılarının ise 5. ve 6. harmonik filtrelerinin olmasına rağmen, enerji sisteminde 7 gün süren kesintisiz ölçümler sırasında sürekli olarak yasal limitlerin üzerinde olarak gözlenen TTB'nın nedenini belirleyebilmek adına bu tesislerin içerinden ölçüm alınması planlanmıştır. Şekil-2'de ise pota ocağı ve ark ocağı sayısı değişmekle birlikte fabrikaların içerisinden ölçüm alınan genel noktaları göstermektedir.

Yüksek gerilim barasından sonra 154/34.5 kV trafonun sekonderinden ve mevcut tüm

ark ve pota ocakları ile tristör kontrollü reaktör (TKR) ve filtrelerin girişlerinden eş zamanlı olarak ölçümler alınmıştır. Genelde 60 dakika civarında süren bu ölçümlerin yaklaşık 15 dakikalık kısımlarında diğer fabrikalar üretimi durdurmuştur [1]. Bu ölçümler sırasında fabrikalardan birine ait olan ve fabrika girişindeki trafonun sekonderinde kaydedilen aktif reaktif ve görünür güç grafiği şekil-3'de verilmiştir. Bu 15 dakikalık sürede mevcut fabrikanın üretimi ve buna bağlı olarak filtreler ile TKR çalışması devam ettiğinden her bir fabrika için filtrelerin harmonikleri süzme işleminde ne kadar etkili olduğu belirlenebilir.



Şekil-2. Fabrikalarda ölçüm alınan noktalar



Şekil-3. Aliğa bölgesindeki bir fabrikanın güç dağılımı

Bölge demir-çelik fabrikalarının her birisi için diğer fabrikaların üretimi durdurduğu ve çalıştığı iki ayrı durumdan 10 saniyelik kısa örnekler alınarak güç kalitesinin en önemli parametrelerinden biri olan harmonik analizleri yapılmıştır.

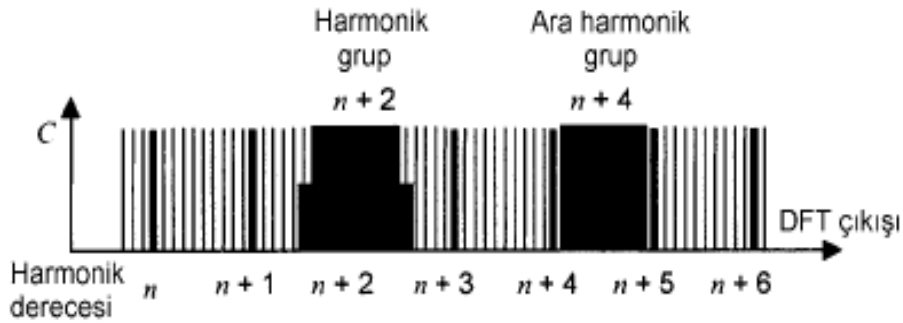
3. HARMONİK ÇEŞİTLERİ VE HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

IEC-61000-4-7 standardında harmonik ve ara harmonik değerlerinin bulunması için hesaplama yöntemleri tanımlanmıştır [10]. Birbirine yakın ama farklı sonuçlar veren

harmonik ve ara harmonik hesaplama yöntemleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Tek hat harmonik frekansı: 5 Hz çözünürlüğündeki Ayrık Fourier Dönüşümü (DFT) örneklerinden doğrudan elde edilen akım ve gerilimin 50 Hz, 100 Hz, 150 Hz, ... de olan harmonik bileşenin ölçümüdür.

Harmonik grup ve ara harmonik grupları: Bir harmoniğin kendisine bitişik olan spektral bileşenlerinin karelerinin toplamının kareköküne eşittir. Şekil-4'de görülen harmonik grup tanımı eşitlik-1'de, ara harmonik grup tanımı ise eşitlik-2'de verilmiştir



Şekil-4. Harmonik ve ara harmonik grupların gösterilimi

$$G_{g,n}^2 = \frac{(C_{k-5})^2}{2} + \sum_{i=-4}^4 C_{k+i}^2 + \frac{(C_{k+5})^2}{2} \quad (1)$$

Benzer şekilde, ara harmonik grubu da, iki harmonik (n ve n+1) arasında kalan 5 Hz çözünürlük bileşenlerini içermektedir.

$$C_{ig,n}^2 = \sum_{i=1}^9 C_{k+i}^2 \quad (2)$$

Bu denklemlerde, C_{k+i} , DFT'nin bir çıkış birimine karşılık gelen spektral bileşenin rms değeri iken, $G_{g,n}$ harmonik grubun hesaplanan rms değeridir.

Harmonik alt grup ve ara harmonik alt grup: Şekil-5'den görüleceği gibi harmonik alt gruplama, harmonik bileşenin çevresindeki DFT bileşenlerinden yalnızca bir önceki ve bir sonrakini kapsar. Ara harmonik alt grubunda ise, harmonik frekanslarına bitişik olan bileşenler dışındakiler alınarak dalgalanmaların etkisi kısmi olarak azaltılabilir:

Sistem frekansı 50 Hz iken, çözünürlük 5 Hz alınarak hesaplanan harmonik alt grup eşitlik 3'de verilirken, ara harmonik alt grup eşitlik 4'de görülmektedir.

$$G_{sg,n}^2 = \sum_{i=-1}^1 C_{k+i}^2 \quad (3)$$

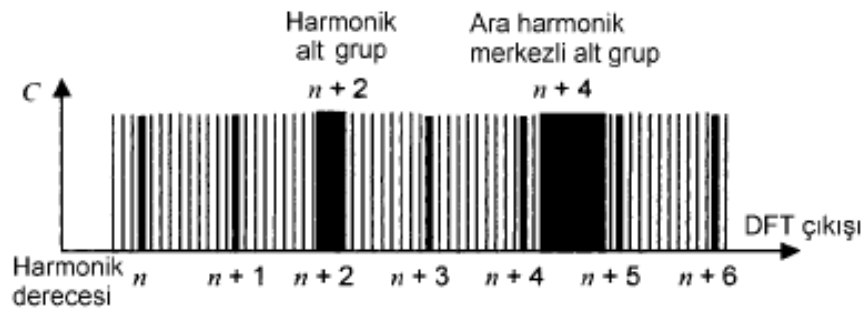
$$C_{isg,n}^2 = \sum_{i=2}^8 C_{k+i}^2 \quad (4)$$

4. HARMONİK VE ARA HARMONİK ANALİZLERİ

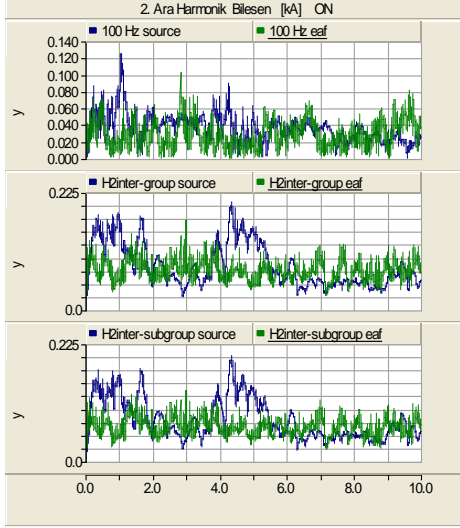
Şekil-1'de görülen tesislerden dört tanesi için diğer fabrikalarında devrede olduğu ve sadece o tesisin üretim yaptığı durumlar ayrı ayrı incelenecektir. Fabrikalardan birinde alınan ölçümler sırasında oluşan bir senkronizasyon hatası nedeniyle kayıtlı veri güvenilir kabul edilmemiş ve değerlendirilmeye alınmamıştır. Fabrikalara ait bu bilgilerin özel olması nedeniyle, Şekil-1'de görülen Tesis 2 ve 4 ark ocağı ve pota ocağı sayısına bakılarak diğerlerinden ayrılabilir. Bu nedenle artık farklı bir tanım kullanılacak ve tesisler tesisler harfler ile adlandırılacaktır.

4.1 Harmonik Grup ve Alt Grupları

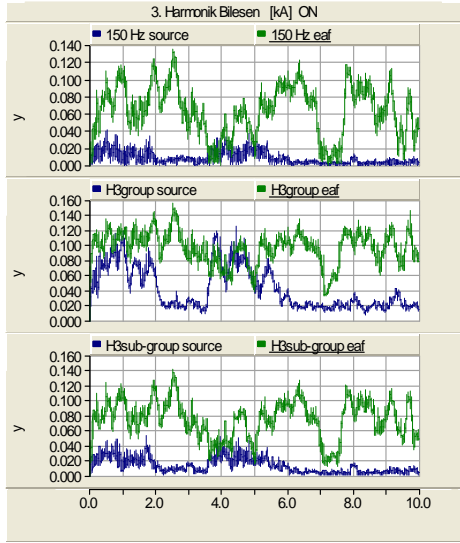
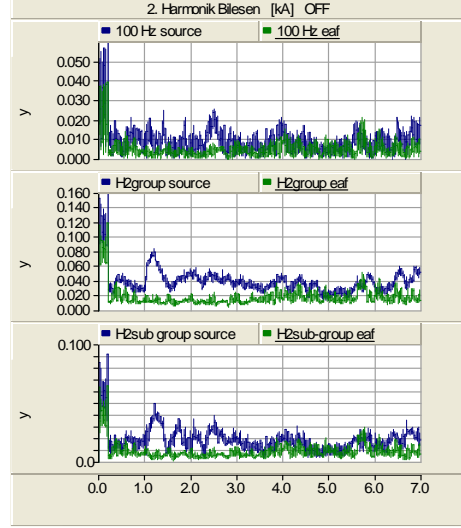
Tesis A'ya ait harmonik, harmonik grup ve alt grupların 100 Hz, 150 Hz (3. harmonik) ve 200 Hz'deki (4. harmonik) alınan 10 saniyelik zaman dilimindeki dağılımları Şekil-6'da diğer fabrikaların çalışıp çalışmama durumlarına göre ayrı ayrı verilmiştir.



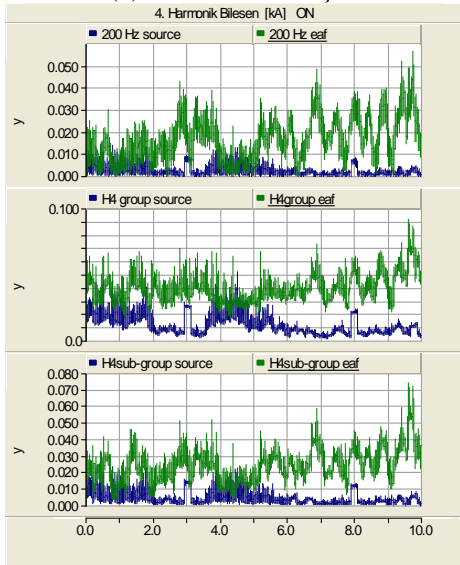
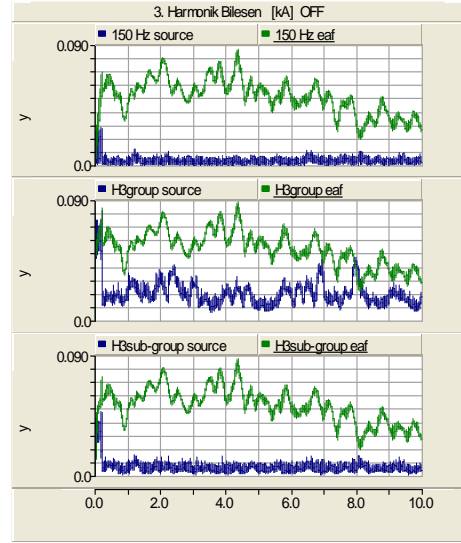
Şekil-5. Harmonik ve ara harmonik alt grupların gösterilimi



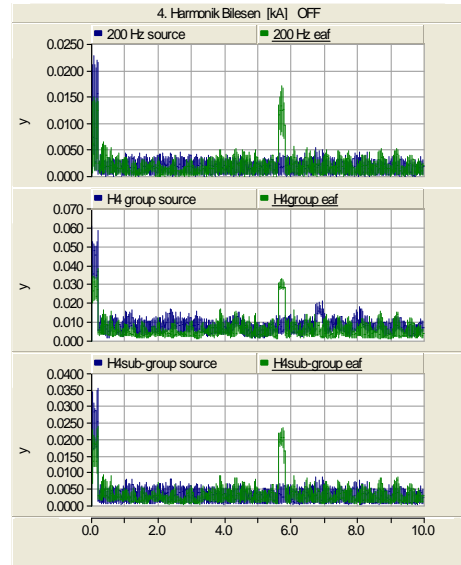
(a) 2. harmonik bileşen



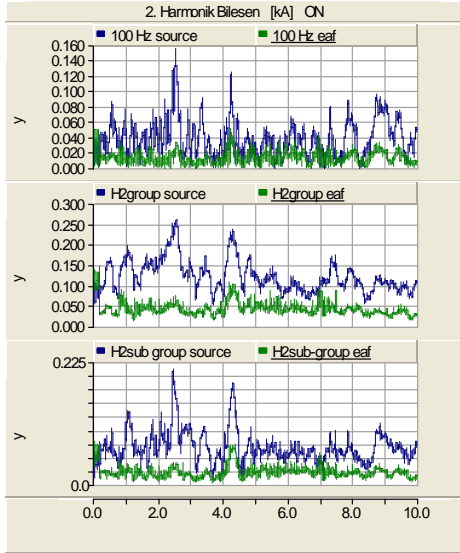
(b) 3. harmonik bileşen



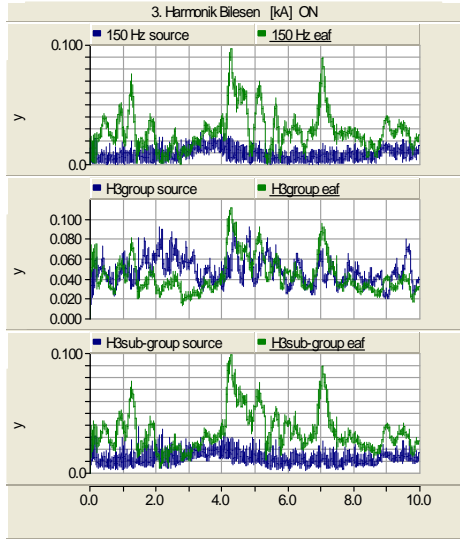
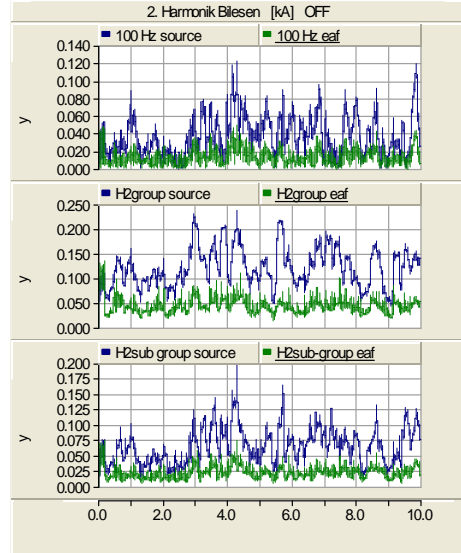
(c) 4. harmonik bileşen



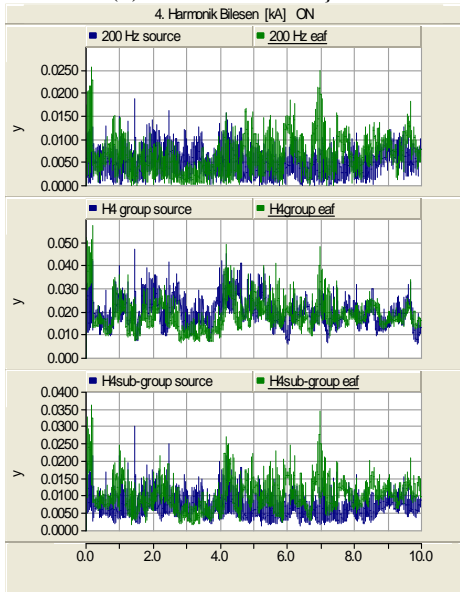
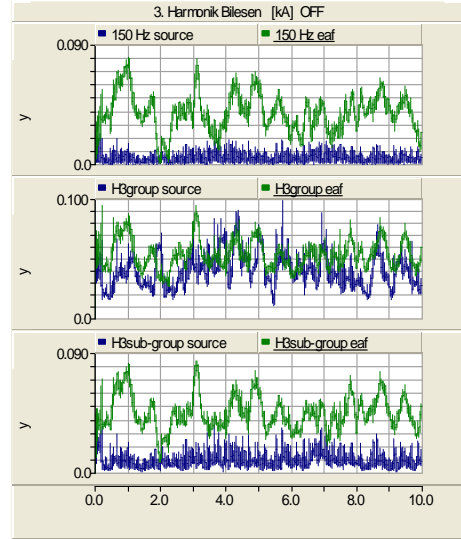
Şekil -6. Tesis A'nın farklı çalışma modları ve harmoniklerdeki grafikleri



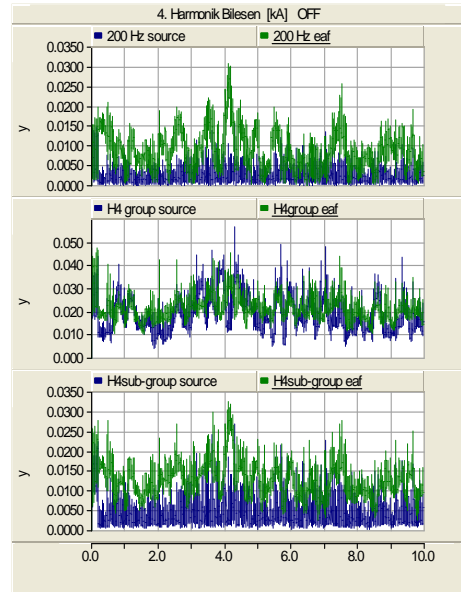
(a) 2. harmonik bileşen



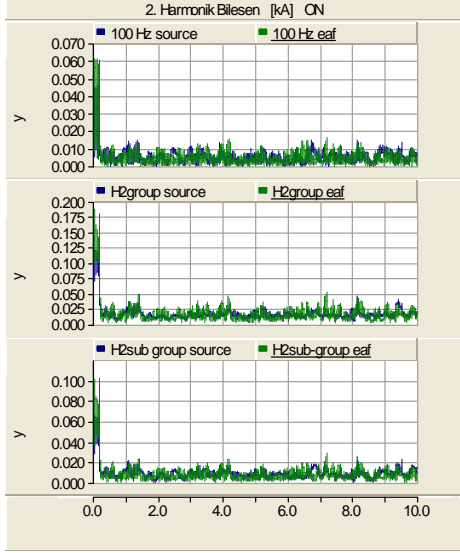
(b) 3. harmonik bileşen



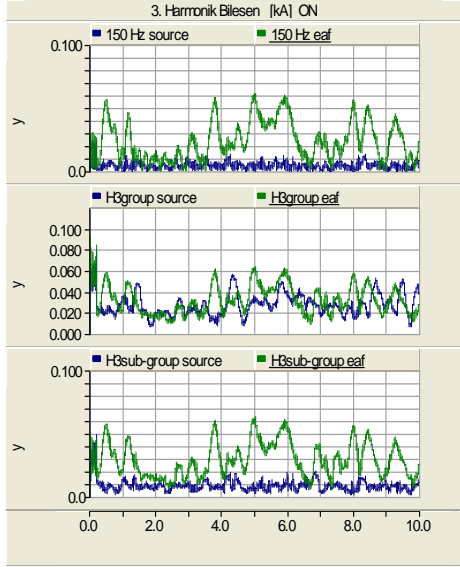
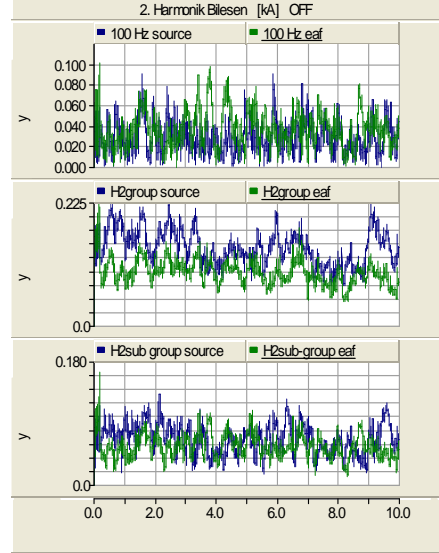
(c) 4. harmonik bileşen



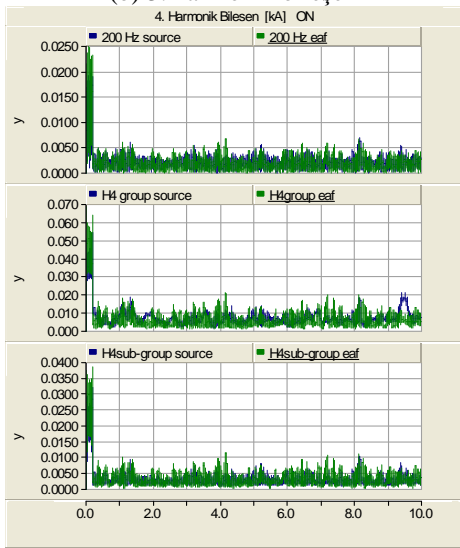
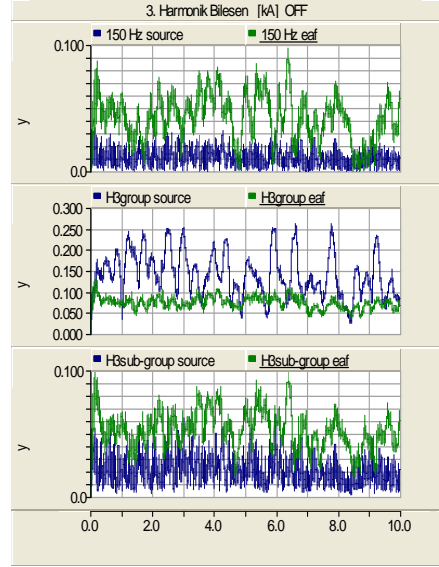
Şekil-7. Tesis B'nin farklı çalışma modları ve harmoniklerdeki grafikleri



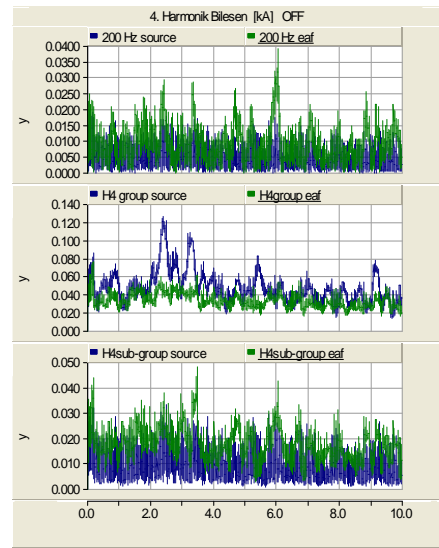
(a) 2. harmonik bileşen



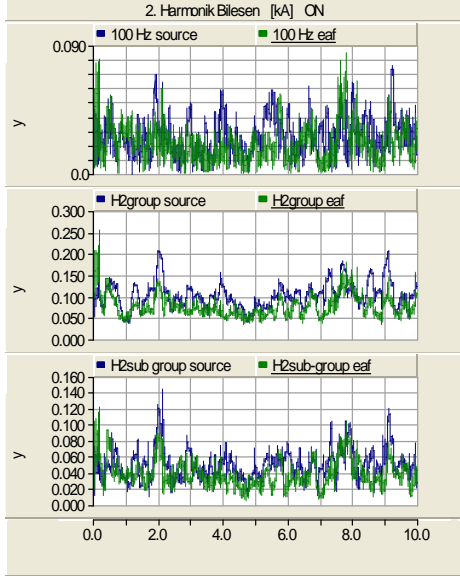
(b) 3. harmonik bileşen



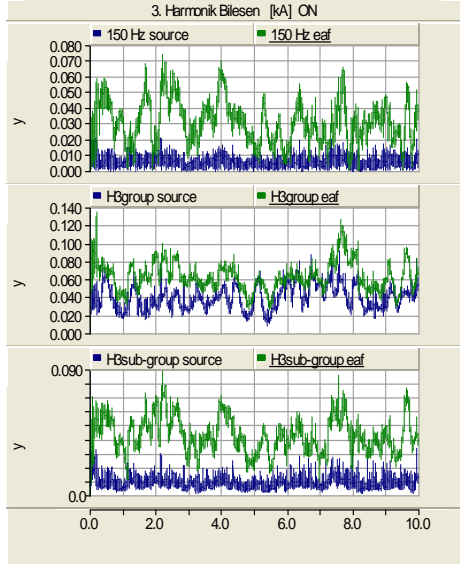
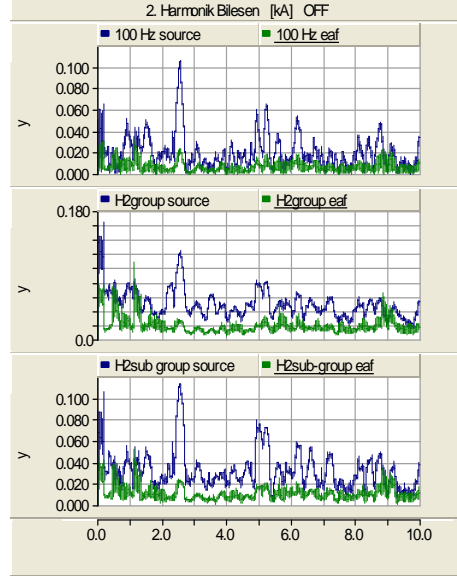
(c) 4. harmonik bileşen



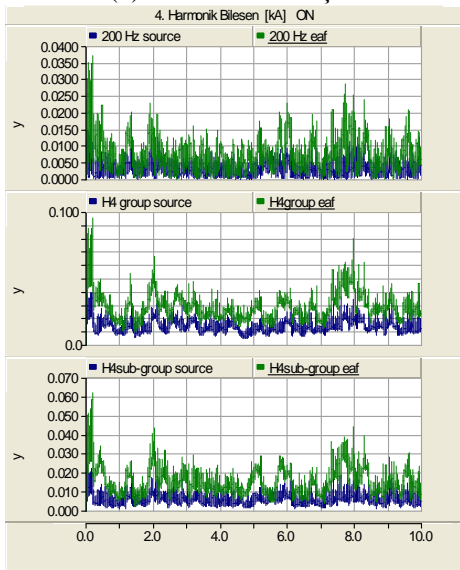
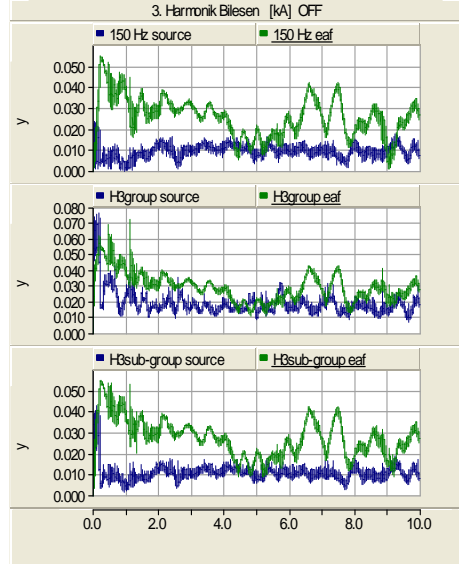
Şekil-8. Tesis C'nin farklı çalışma modları ve harmoniklerdeki grafikleri



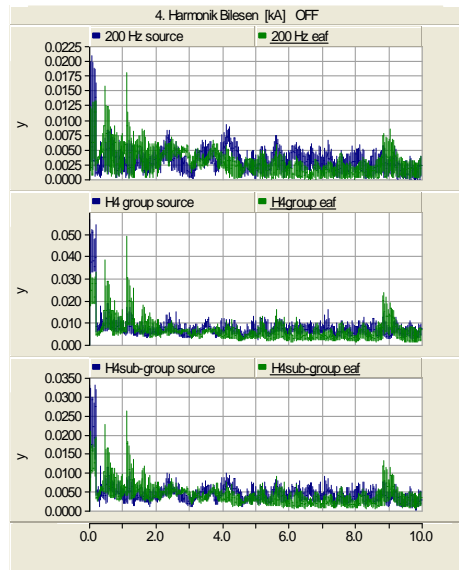
(a) 2. harmonik bileşen



(b) 3. harmonik bileşen



(c) 4. harmonik bileşen



Şekil-9. Tesis D'nin farklı çalışma modları ve harmoniklerdeki grafikleri

Tesis A'nın 2. harmoniklerinin grup ve alt gruplarının hepsinde ve diğer fabrikaların üretimde veya üretimlerini durdurmuş iken 2. harmoniklerin süzülme yerine yükseltildiği açıkça görülmektedir. Tesisin 3. harmonik filtresinin diğer fabrikalar duruş vermiş iken veya çalışırken sorunsuz olduğu Şekil-6 b'den görülmektedir. 4. Harmonik filtrenin tüm fabrikalar devrede iken görevini yaptığı anlaşılmaktadır. Şekil-7, 8 ve 9'da ise benzer grafikler diğer üç tesis için ayrı ayrı verilmiştir.

Şekil-7'den görüleceği üzere 3. ve 4. harmonik filtreler sağlıklı olarak çalışırken, bu tesisin 2. harmonik filtresi 100 Hz'deki bileşeni süzmek yerine yükseltmektedir ve bu yükseltme oranı diğer tesislere göre daha belirgindir.

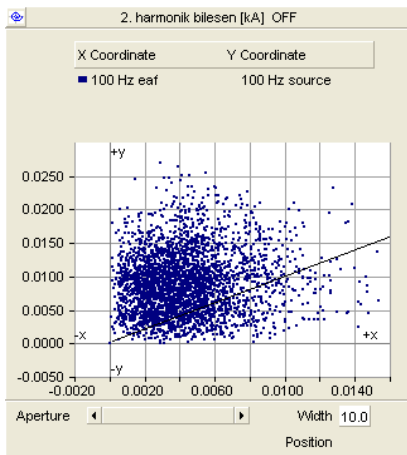
Tesis C'nin grafiklerine bakıldığında, özellikle diğer fabrikalar çalışmadığı anda 2., 3. ve 4. harmonik filtrelerin tek frekansta süzme işlemini gerçekleştirirken, harmonik gruplarında harmoniği süzemediği gibi, birde işaretin genliğini yükselttiği gözlenmektedir.

Tesis D için, diğer fabrikaların çalıştığı ve çalışmadığı durumlarda, harmonik grup ve

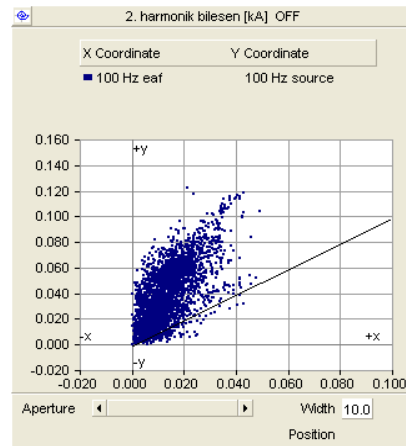
alt grupların hepsinde 2. harmonik filtrenin gerektiği gibi çalışmadığı açıkça görülmektedir. 3. ve 4. harmonikler için bir sorun olmadığı belirlenmiştir.

Harmonik alt grup denklem 3'den de görüleceği üzere temel bileşenin tam katları olan frekansların 5 Hz altı ve 5 Hz üstü olarak 3 bileşenin toplamıdır. Tüm grafiklerde gözlenen tek frekanstaki harmonik ile harmonik alt grup dalga şekilleri birbirlerine çok yakındır. Belirgin farklılık temel bileşenin tam katları olan frekansların sağında ve solunda 5 Hz aralıkla toplamda 11 harmonik bileşenden oluşan harmonik grup dalga şekillerindedir.

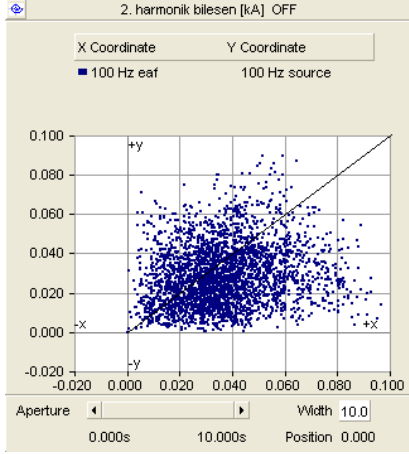
Ayrıca 2. harmonik filtreler için, diğer tesislerin çalışmadığı durumda ana giriş akımının karşı elektrik ark ocağı akımının bulut gösterilimi şekil 10'da verilerek, filtrelerin görevlerini yapıp yapmadığının farklı bir gösterilimle incelenmiştir. Bu şekillerdeki bulut gösterimlerinde doğrunun üzerinde çıkan noktalar EAO akımının 2. harmoniğinin yükselerek (amplifikasyon) basıldığı, altında çıkan noktalar ise süzülerek şebekeye basıldığını göstermektedir.



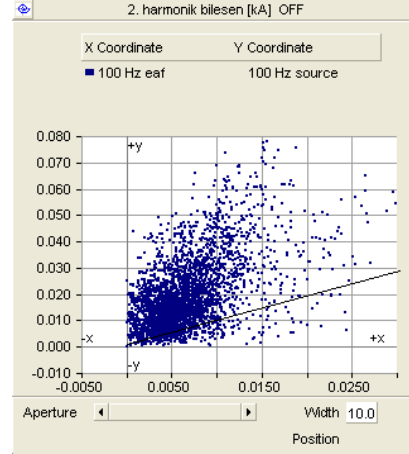
(a) Tesis A



(b) Tesis B



(c) Tesis C



(d) Tesis D

Şekil-10. Tüm tesisler için 100 Hz'de ki bulut gösterilimi

Şekil 10'dan da görüleceği üzere tesis A, B ve D'nin temel bileşenin tam katlarında olan tek bir frekandaki harmoniklerine dayanarak elde edilen bulutlarda bu üç fabrikanın 2. harmonik bileşende tasarlanan filtrelerinin görevlerini yerine getiremediği, ancak sadece bulut dağılımının eşit olması nedeniyle tesis C'nin 2. harmonik filtresinin sorunsuz çalıştığı görülmektedir.

4.2 Ara Harmonik Grup ve Alt Grupları

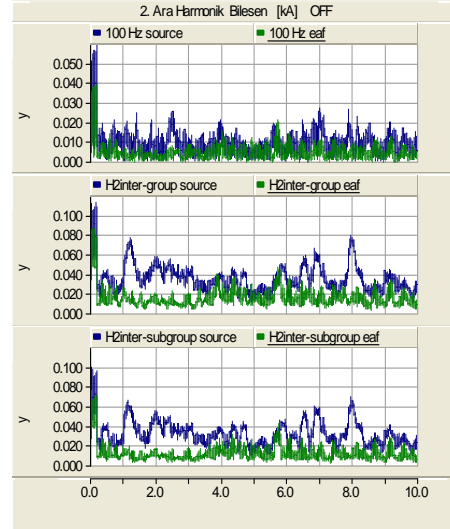
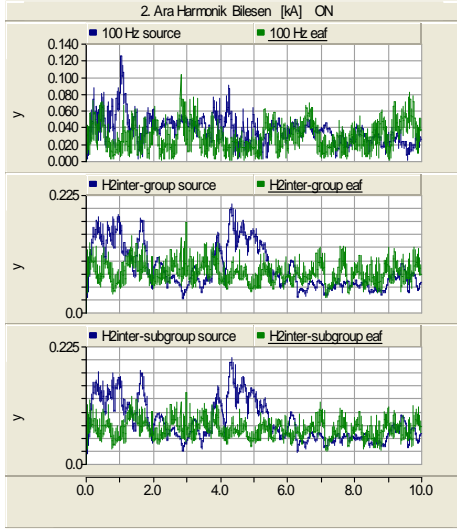
Eşitlik 2 ve 4'de tanımlandığı gibi, bu dört tesis için temel bileşenin tam katları olan frekanslar arasında kalan ara harmonik grup ve alt ara harmonik grup incelenmesi aşağıda yapılmış ve şekil- 11'den şekil-14'e sırasıyla verilmiştir.

Tesis A'nın 2. harmonik filtresinin 100 Hz ile ara grup ve alt ara grup olarak tümünde de görevini yerine getiremediği, ancak 3. ve 4. harmonik filtrelerinin normal bir şekilde çalıştığı Şekil-11'deki bu grafiklerden görülmektedir.

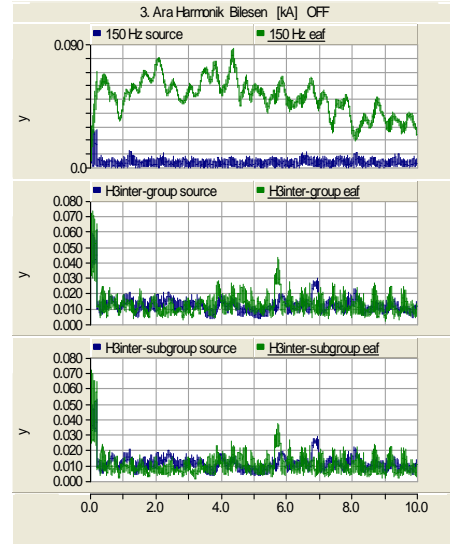
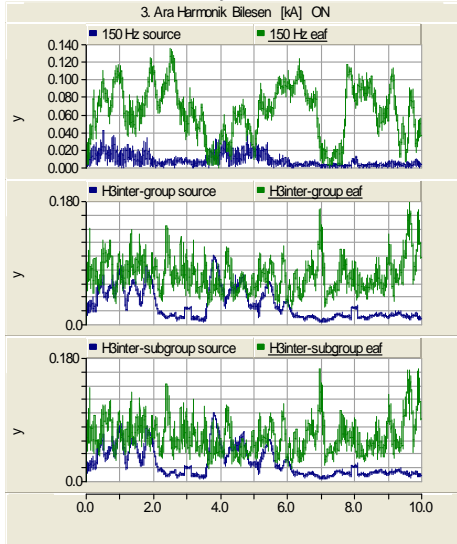
Şekil 10'da harmonik bileşenin en belirgin yükseltilmesi tesis B'de görülmekteydi. Şekil-12'in a kısmında görülen ara harmonikleri veren tüm grafiklerden 2. harmoniğin oldukça önemli oranda yükseltilerek şebekeye verildiği anlaşılmaktadır.

Şekil-8'de olduğu gibi, 13'de de 100 Hz'de yükseltilerek şebekeye verilen bir akım görülmemesine rağmen, tüm grup, alt grup, ara grup ve ara alt grup harmoniklerde özellikle de diğer fabrikalar üretimlerini durdurmuş iken şebekeye yükseltilerek verilen akım grafikleri söz konusudur.

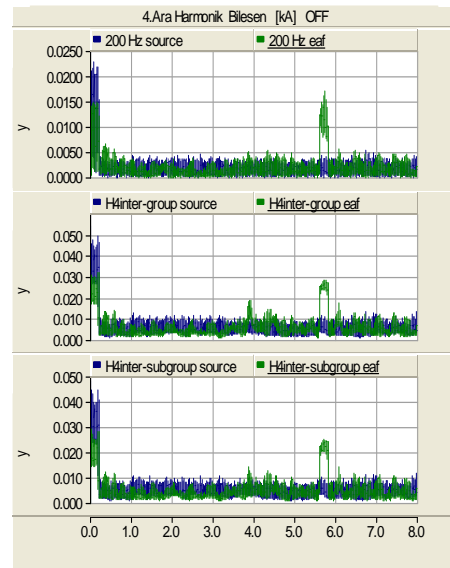
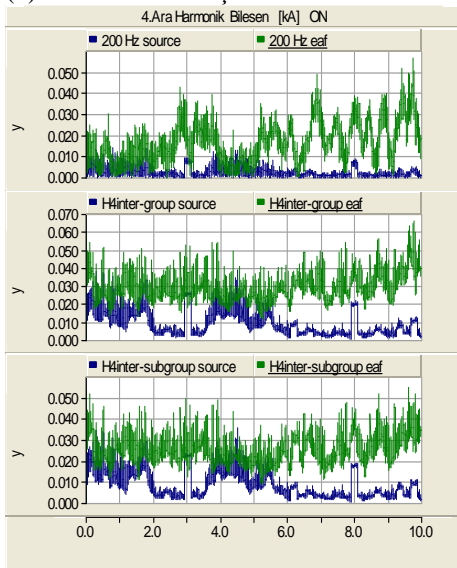
Tesis D'nin 2 harmonik filtresinin sorunlu olduğu diğer fabrikaların çalıştığı ve durduğu her iki durum içinde ara harmonik ve ara alt harmonik bileşenlerin incelendiği şekil-14'deki grafiklerde görülmektedir. 3. ve 4. harmonik ara ve alt ara bileşenlerde Tesis D için bir sorun görülmemektedir.



(a) 2. harmonik bileşen

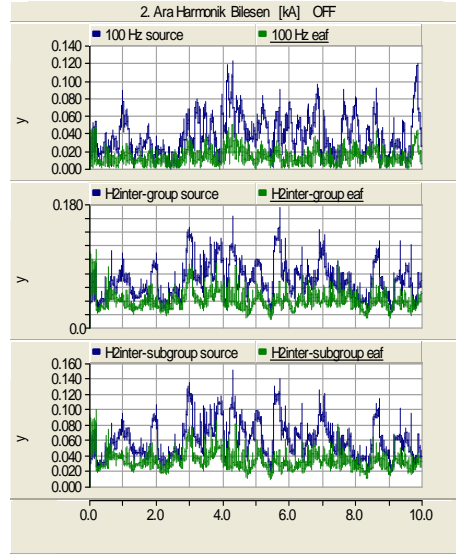
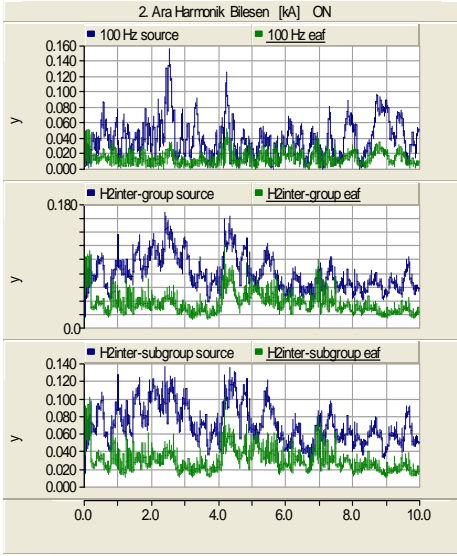


(b) 3. harmonik bileşen

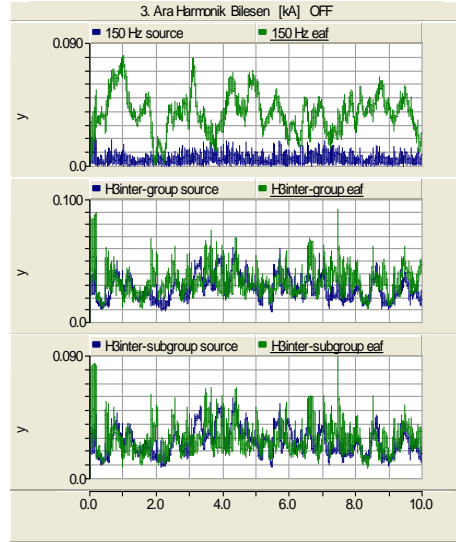
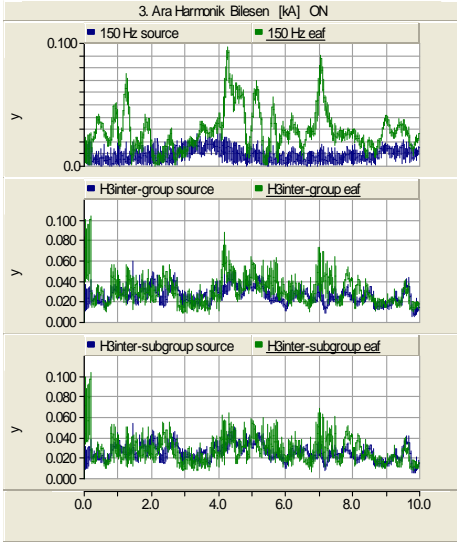


(c) 4. harmonik bileşen

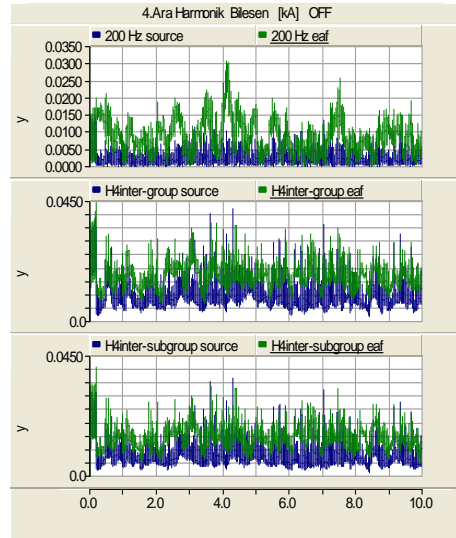
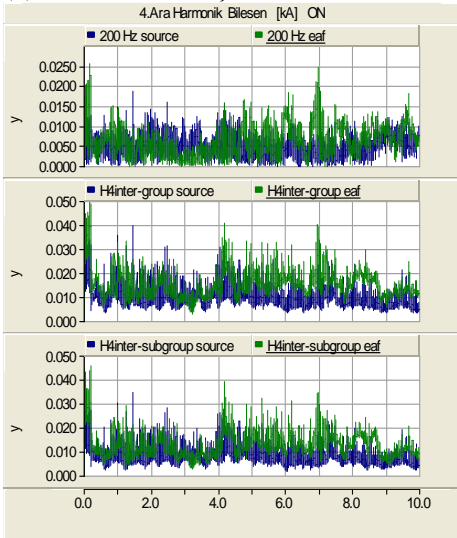
Şekil-11. Tesis A'nın farklı çalışma modları ve ara harmoniklerdeki grafikleri



(a) 2. harmonik bileşen

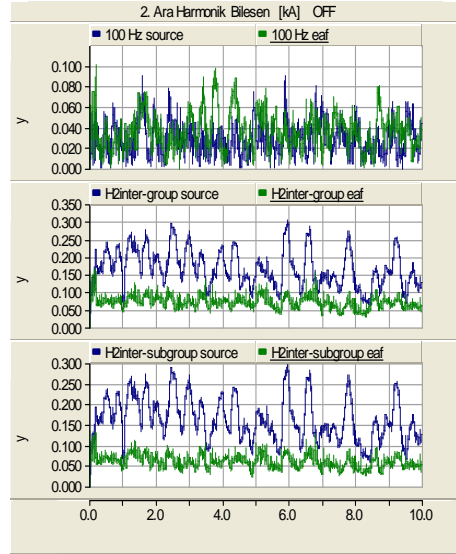
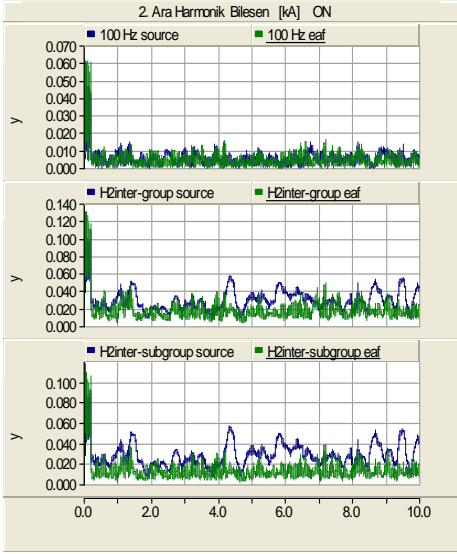


(b) 3. harmonik bileşen

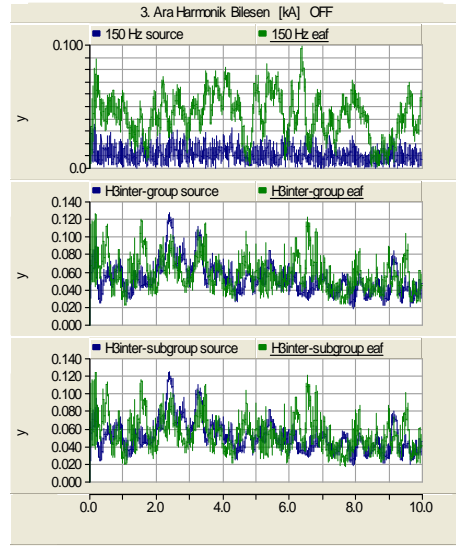
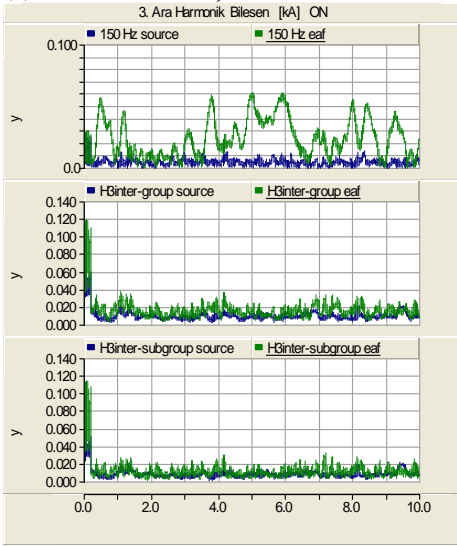


(c) 4. harmonik bileşen

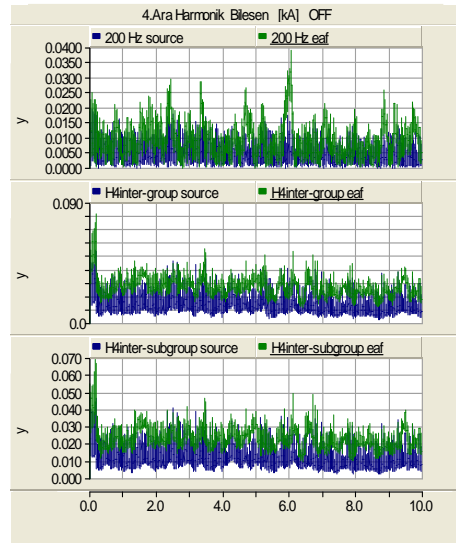
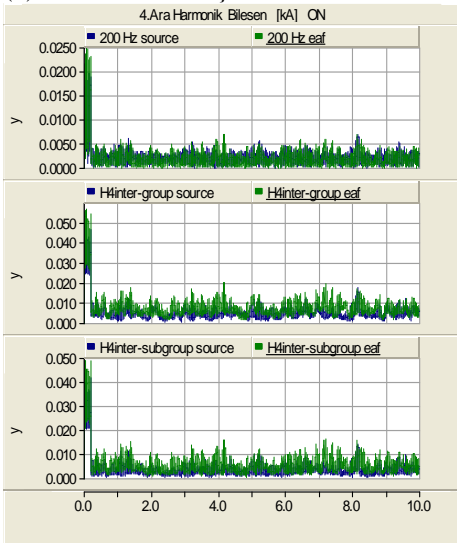
Şekil-12. Tesis B'nin farklı çalışma modları ve ara harmoniklerdeki grafikleri



(a) 2. harmonik bileşen

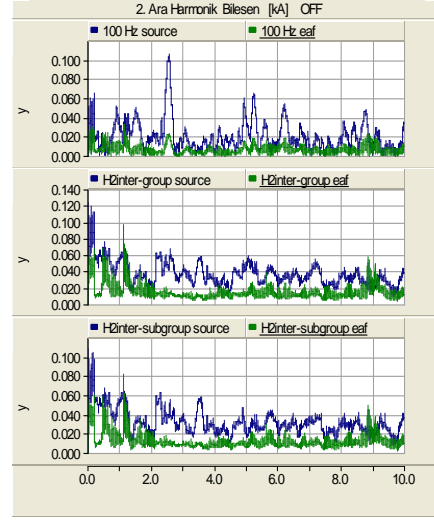
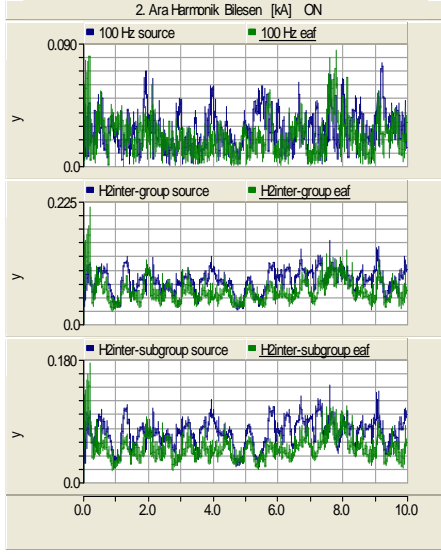


(b) 3. harmonik bileşen

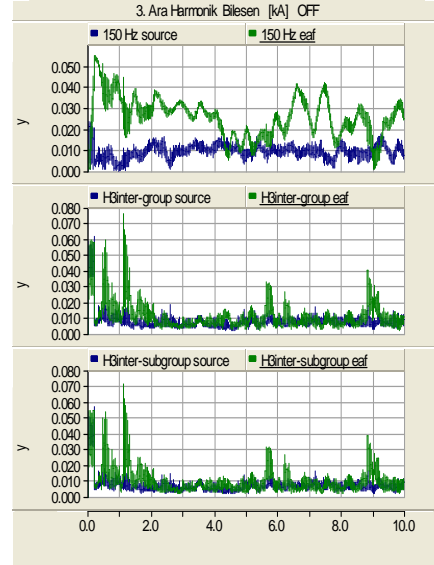
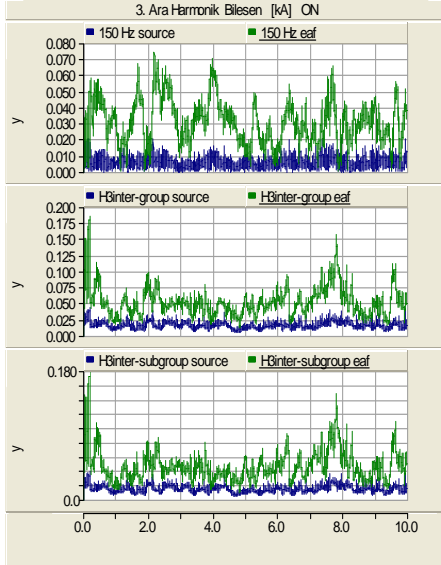


(c) 4. harmonik bileşen

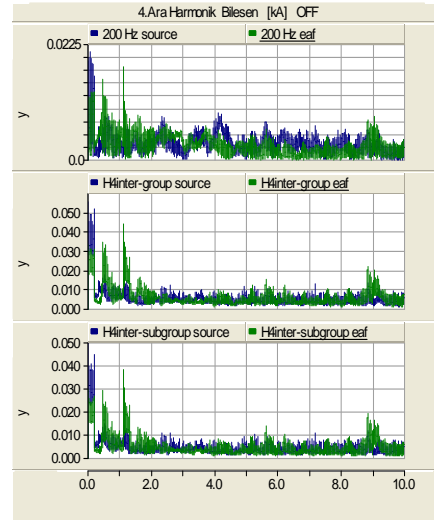
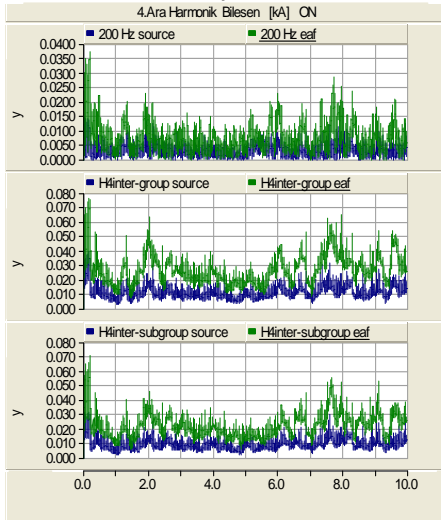
Şekil-13 Tesis C'nin farklı çalışma modları ve ara harmoniklerdeki grafikleri



(a) 2. harmonik bileşen



(b) 3. harmonik bileşen



(c) 4. harmonik bileşen

Şekil-14. Tesis D'nin farklı çalışma modları ve ara harmoniklerdeki grafikleri

5. SONUÇ

Fabrikaların içlerinde yapılan tüm ölçümlerden özellikle diğer fabrikaların çalışmadığı zaman dilimlerine ait olanlardan gözlenen şudur ki; tüm fabrikaların genelde 3. ve 4. harmonik bileşenleri normal olarak çalışmasına rağmen, 2. harmonik filtreler tamamıyla sorunludur. Tesislerin 2. harmonik frekansında görülen harmonikleri neden süzemediğini belirlemek için her tesisin filtre grubunun frekans tepkisini incelemek ve filtrenin doğru tasarlandığından emin olmak gerekir.

Tesis C dışında diğerlerinde 100 Hz'deki harmonik bileşenin süzülmediği çok net olarak gözlenirken, tesis C'de ki sorun daha ağırlıklı olarak grup, alt grup, ara grup ve ara alt grup bileşenlere ortaya çıkmaktadır.

Harmonik grup, harmonik alt grup, harmonik ara grup ve harmonik alt ara grup olarak 5 Hz aralıklı diğer birçok harmonik bileşenlerde hesaplamaya girmektedir. Genelde harmonik filtreler sadece o frekansı süzmek üzere göre dizayn edildiğinden, temel frekansın hemen altında ve üstünde olan diğer frekanslardaki harmonikleri süzmeyi başaramamaktadır.

Elektrik ark ocakları tarafından üretilen akımın 2. harmonik bileşeni filtre tarafından süzülerek azaltılması beklenirken, filtrenin etkili olmadığı ölçüm sonuçlarından anlaşılmaktadır. Hatta şebeke tarafında yapılan ölçümlerde ark ocağı akımındaki 2. harmonik değeri şebeke akımındaki değerden daha düşük çıkmaktadır. Bu durumda 2 harmonik kaynağı olarak TKR de şebekeye harmonik akımlar gönderdiği belirlenmiştir. Sistemin harmonik frekans karakteristiklerine ve ark ocağının rejimine bağlı olarak 2. harmonik bileşenin birkaç kat kadar yükseltilecek sisteme bastığı anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

[1] Salor O., Gültekin B., Buhan S., et.al., "Electrical Power Quality of Iron and Steel Industry in Turkey" Industry Applications Conference, 42. IAS Annual Meeting, p: 403-423, 23-27 September 2007

[2] Issouribehere P.E., Issouribehere F., Barbera G.A., "Power Quality and Operating Characteristics of Electric Arc Furnaces", IEEE PES General Meeting, p: 784-791, 12-16 June 2005.

[3] Issouribehere P.E., Barbero J.C., Barbera G.A., et.al., "Compatibility between Disturbance Emission and Argentinian Power Quality Regulations in Iron and Steel Industries", IEEE/PES Transmission & Distribution Conference and Exposition: Latin America, p:1-6, August 2006

[4] Andrews D., Bishop M. T. & Witte F. J., "Harmonic Measurements, Analysis, and Power Factor Correction in a Modern Steel Manufacturing Facility", IEEE Transactions On Industry Applications, Vol. 32, No. 3, p:617-624, May- June 1996

[5] Carpinelli G., Di Manno M., Verde P., Tironi E., Zaninelli D. "AC and DC Arc Furnaces: a Comparison on Some Power Quality Aspects" IEEE p:499-506, 1999

[6] Barros J., Perez E., Pigazo A., Diego R. I., "Simultaneous Measurement of Harmonics, Interharmonics and Flicker in Power System for Power Quality Analysis", Conference of Power System Management and Control, 17-19 April 2002, IEE 2002, p:100-105

[7] Keppler T., Watson N. R., Arrillaga J., Chen S., "Theoretical Assessment of Light Flicker Caused by Sub- and Interharmonic Frequencies", IEEE Tran. On Power Delivery, Vol:18, No:1 Jan. 2003, p: 329-333

[8] Chun L., Wilsun X., Thavatchai T., “Interharmonic: basic concepts and techniques for their detection and measurement”, Electric Power Systems Research 00 (2003) , p:1-10

[9] Gallo D., Langella R., Testa A., “Interharmonic Part 1: Aspect Related to Modeling and Simulation”, L' Energia Elettrica- Vol:81 (2004), p:168-173

[10] IEC 61000-4-7, Testing and Measurement Techniques- General Guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected there to.

TEŞEKKÜR:

Bu çalışmada kullanılan tüm verilerin elde edildiği 106G012 nolu projeyi desteklediği için TÜBİTAK ve TEİAŞ'a teşekkür ederiz.