

## Güç Sistem Harmoniklerinin Ayrık Hartley Dönüşümü ile Analizi

Mustafa TEKİN<sup>1\*</sup>, A. Serdar YILMAZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kahramanmaraş, Türkiye

**ÖZET:** Güç kalitesi olayları içinde, özellikle dağıtım şebekeleri içinde, en çok karşılaşılan problemlerin başında harmonikler gelir. Doğrusal olmayan yük karakteristikleri harmonik oluşumunun en önemli kaynağıdır. Harmonik bozulmalarının ölçülmesinde toplam harmonik bozulma (THB) parametresi kullanılır. Bu parametre sinyaldeki kirlenmenin göstergesidir. Bunun yanında gerek frekans ve gerekse zaman- frekans düzleminde pek çok yöntem kullanılmıştır. Bu çalışmada Ayrık Hartley Dönüşümü (AHD) ile harmonik analizi ve THB hesaplaması yapılmıştır. Kaydedilmiş ve simüle edilmiş örnek dalga şekillerinin içerdiği temel bileşenin tam katı harmonikler analiz edilmiştir. Ayrıca zaman-frekans düzleminde analizler yapılmıştır. Yapılan analizlerin sonuçları AFD ile karşılaştırılmış ve AHD'nin AFD kadar doğru sonuç verdiği görülmüştür. Sonuç olarak, AHD'nin AFD kadar başarılı olduğu ve kullanıma uygun olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** *Ayrık Hartley Dönüşümü, Güç Kalitesi, Harmonik Bozunum*

## The Analysis of Power System Harmonics via Hartley Transform

**ABSTRACT:** Harmonics are the most meeting problems in the power quality events. Harmonic distortions which affects safety of plant, productivity and continuity of energy on the line, are problems. Harmonics are the most one be came across power quality events on the distribution networks. The most reason of harmonic formation is non-linear characteristic of loads. At the same time, non-linear generators can be reason of harmonic formation. Total Harmonic Distortion (THD) parameter is used for measurement of harmonic distortions. This parameter shows amount of signal corruption. THD parameter which be considered on power quality devices and standard, generally is calculated via Discrete Fourier Transform (DFT). In addition to DFT, plenty of method have been used frequency and time-frequency plane for years. At this study, Discrete Hartley Transform (DHT) and Discrete Fourier Transform (DFT) were used for measurement of harmonic distortions. Produced and real wave that was recorded one system, sample figures were analyzed in terms of 50 Hz and integer multiplication of 50 Hz frequencies. Frequency and time-frequency analyses were performed. End of the analyses, was experienced that obtained results via DHT as right as DFT and speed of DHT around the DFT's speed.

**Keywords:** *Discrete Hartley Transform, Power Quality, Harmonic Distortion*

### 1.Giriş

Sanayi yükleri, konut, ofis, alış-veriş merkezleri gibi tüketicilerin büyük bir kısmında güç elektroniği esaslı yüklerin kullanımı artmaktadır. Led'li aydınlatmanın artması ile doğrultucuların kullanımı da artmaktadır.[1,2] Klimalar, elektrikli ev eşyaları ve ofis cihazlarının hem harmonikler hem de güç faktörü üzerinde etkileri olmaktadır. Bunun yanında endüstriyel tüketicilerin kullandığı hız kontrol cihazları ve kesintisiz güç kaynakları harmonik kirlenmenin artmasına yol açmaktadır.[3] Yukarıda sayılan bu cihazların çektiği akımın dalga şeklinin sinüs formdan uzak olması sonucunda akım harmonikleri ciddi seviyelere çıkabilmektedir. Bu cihazların yaygın kullanımı gerilim harmoniklerini de etkilemektedir. Harmonikler dalga şekillerini bozmakla kalmayıp, transformatör, motor ve iletkenlerin aşırı ısınmalarına yol açmaktadır. Bunun yanı sıra kablo ve kondansatör gibi dielektrik

malzemelerde bozulma, ağır hasarlar, verimlilik azalması, yüksek kayıplar ve ekonomik kullanım sürelerinin azalması gibi problemlere de sebep olabilmektedirler. Bununla birlikte, enerji hatlarındaki kayıpların artması, elektronik tabanlı kontrol sistemlerinin hatalı çalışması, enerji hatlarının yakınından geçen haberleşme sistemlerinin olumsuz yönde etkilenmesi, elektrik makinelerinde aşırı ısınma, gürültülü çalışma ve mekanik salınımlara yol açabilmektedirler. [4,5] Güç kalitesi araştırmaları üzerine yapılan çalışmalar; ölçüm, analiz, güç kalitesinin artırılması gibi alanlarda yoğunlaşmaktadır. Ölçüm ve analiz çalışmalarında güç kalitesizliğinin bilinen yöntemlerin dışında yeni yöntemler ile incelenmesi ve değerlendirilmesine yönelik araştırmalar artmaktadır. İşaret işleme, ses ve görüntü işleme ile biyomedikal uygulamalarda kullanılan yöntemlerin elektrik güç kalitesi işaretlerinin analiz ve değerlendirmesinde kullanılması son yıllarda artmıştır.

\*Sorumlu Yazar: Mustafa TEKİN, [mustafatekin@ksu.edu.tr](mailto:mustafatekin@ksu.edu.tr)

Güç kalitesi işaretlerinin incelenmesinde frekans düzlemi ile zaman-frekans düzlemi olmak üzere iki tür analiz gerçekleştirilebilir. Frekans düzlemi analizlerinin en temeli ve bilineni ayrık Fourier dönüşümüdür. Frekans düzlemi analizlerinde durağan bozulmaların analizi yapılır. Sürekli haldeki bozulmaların tespiti frekans düzlemi analizleri ile sağlanır. Harmonikler buna başlıca örnek olarak gösterilebilir. Çünkü harmonikler kısa süreli olmayıp biten geçici bir olay değil, sürekli var olan bir olaydır. Harmonikler yüklerin normal çalışma durumlarında bile görülen bir olaydır. Dolayısıyla durağan bir işaret olarak kabul edilir. Zaman-frekans düzlemi analizleri ise geçici, kısa süreli olayları da analiz etmek için önerilir. Kısa sürede olup biten bir salınım, gerilim düşmesi ya da yükselmesi, in-rush akımı, açma-kapama geçici olayları bu tür analiz yöntemleri ile incelenir. İşaretin içindeki temel bileşen dışındaki bileşenleri ve başlangıç-bitiş zamanlarının tespiti zaman-frekans analizi ile mümkündür. Kısa Zaman Fourier Dönüşümü ve Dalgacık Dönüşümü bu tür yöntemlerin başlıcalarıdır [6,7].

Bu çalışmada hem frekans hem de zaman-frekans düzlemlerinde analiz ve değerlendirme yapılmıştır. Frekans düzlemi analizlerinde ayrık Hartley dönüşümü kullanılmıştır. AHD, temel olarak AFD'ye çok benzemektedir. AHD'nin AFD'den farkı gerçek zamanlı bir dönüşüm olmasıdır. Yani; AHD'de sanal bileşen bulunmamaktadır.

Bu çalışmada; toplam 5 adet örnek üzerinde inceleme yapılmıştır. Örneklerden bir tanesi gerçek bir şebekeden kaydedilen akım verisidir. Diğer örnekler ise bilgisayar ortamında üretilen dalga şekillerinden oluşturulmuştur. Gerçek akım verisi ve bilgisayar ortamında üretilen verilerden biri hem AHD hem de AFD kullanılarak analiz edilmiştir. Üretilen diğer işaretler zaman-frekans düzleminde AHD kullanılarak analiz edilmiştir ve hangi zaman aralığında hangi harmoniğin olduğunu görülmesi sağlanmıştır. İşaretlerin analiz işlemlerinde Matlab program kodları kullanılmıştır.

## 2. YÖNTEM: AYRIK ZAMANLI HARTLEY DÖNÜŞÜMÜ

Hartley Dönüşümü, Fourier Dönüşümü ile benzerlik gösteren gerçek değerli bir dönüşümdür. Bu dönüşüm 1942 yılında R.V.L. Hartley tarafından Fourier Dönüşümüne alternatif olarak ortaya konulmuştur. Hartley Dönüşümü gerçek değerli fonksiyondan gerçek değerli fonksiyona bir dönüşümdür. Yani; Fourier Dönüşümünün aksine Hartley Dönüşümünde sanal bileşenlere ihtiyaç yoktur. Hartley Dönüşümünün Fourier Dönüşümünde olduğu gibi ayrık dönüşümü mevcuttur. Hartley Dönüşümü, Fourier Dönüşümüyle temelde aynı sonuçları vermesine karşın aralarında hız açısından

fark olduğu belirtilmektedir [9]. Ayrık formdaki Hartley Dönüşümü ise Bracewell tarafından ortaya konulmuştur [10]. Hartley Dönüşümünün hızlı formu da mevcuttur. AHD ifadesi eşitlik 1'de verilmiştir.

$$H(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot \text{cas}\left(\frac{2\pi \cdot k \cdot n}{N}\right) \quad (1)$$

$$0 \leq k \leq N-1, \quad 0 \leq n \leq N-1$$

Burada cas ifadesi eşitlik 2'deki gibi reel kosinüs ve sinüs fonksiyonlarının toplamından ibarettir.

$$\text{cas}(x) = \cos(x) + \sin(x) \quad (2)$$

Eşitlik 1'deki  $x(n)$ , gerçek zamanlı bir işareti temsil etmektedir. Görüldüğü gibi, AHD, reel değişkenleri kullanmaktadır. Farklı olarak, eşitlik 3'te görüldüğü üzere AFD ise karmaşık üstel bir dönüşüm fonksiyonu kullanmaktadır.

$$F(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot \left[ e^{-j \frac{2\pi \cdot k \cdot n}{N}} \right] \quad (3)$$

$$0 \leq k \leq N-1, \quad 0 \leq n \leq N-1$$

Dönüşümün çekirdeği olan üstel karmaşık fonksiyonun eşitlik 4'deki gibi, reel bileşeni kosinüs, sanal bileşeni ise sinüs fonksiyonudur.

$$e^{-jx} = \cos(x) - j \cdot \sin(x) \quad (4)$$

Bu farklılık, literatürde AHD'nin AFD'den daha hızlı ve basit olacağı şeklinde ifade edilmektedir.[11]. AFD'de iki karmaşık değişkenin çarpımı söz konusudur. AHD'de AFD'deki işlem karmaşasından daha az işlem ve değişken söz konusudur. Yukarıdaki denklemlerde; k harmonik sırasını, n işaretten alınan örnek sırasını ve N ise toplam örnek sayısını anlatmaktadır. Yukarıdaki eşitliklerden görüldüğü gibi Fourier ve Hartley Dönüşümleri arasındaki fark, Fourier Dönüşümünde sanal kısmın var olmasıdır. Her iki dönüşüm de işaret işlemede alternatif çözüm yolları sunmaktadır. AHD'nin ters dönüşümü ise eşitlik 5'deki gibidir.

$$x(n) = \sum_{k=0}^{N-1} H(k) \cdot \text{cas}\left(\frac{2\pi \cdot k \cdot n}{N}\right) \quad (5)$$

$$0 \leq k \leq N-1, \quad 0 \leq n \leq N-1$$

Eşitlik 1 ve 5'te verilen dönüşüm ve ters dönüşüm bağıntıları ölçekleme faktörü dışında özdeşdir. Bu özellik, hesaplamalarda daha az hafıza kullanımı demektir. Oysa AFD'deki karmaşık aritmetik kullanımı, işlemlerdeki hafıza kullanımını arttırmaktadır. Genel olarak aslında iki yöntem benzer karmaşıklığa sahiptir. Ancak bu küçük fark, AHD'nin bir üstünlüğü olarak ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte, incelenen işaretin faz farkı içermesi durumunda, Hartley Dönüşümünün doğruluğu

azalmaktadır. Bu durumda parçalı Hartley Dönüşümü kullanılmalıdır. Parçalı Hartley Dönüşümü aşağıdaki gibidir [11].

$$H_1(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot k \cdot n}{N}\right) \quad (6)$$

$$0 \leq k \leq N-1, \quad 0 \leq n \leq N-1$$

$$H_2(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot \sin\left(\frac{2\pi \cdot k \cdot n}{N}\right) \quad (7)$$

$$0 \leq k \leq N-1, \quad 0 \leq n \leq N-1$$

$$H(k) = \sqrt{H_1(k)^2 + H_2(k)^2} \quad (8)$$

Görüldüğü gibi iki aşamalı bir hesaplama gerekmektedir. Bu zorunluluk AHD'nin hesaplama hızına olumsuz etki etmekte ancak sonuçlar doğru olmaktadır.

## 2.1. Toplam Harmonik Bozunumu (THB)

THB, harmonik büyüklüklerin belli değerlerde tutularak kontrol altında tutulması için önerilmiş bir büyüklüktür. Akım ve gerilim için ayrı ayrı THB hesaplanmalıdır. Aşağıdaki eşitliklerde hem akım hem de gerilim için THB eşitlikleri verilmiştir.

Gerilimdeki Toplam Harmonik Bozulma aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$THB_V = \frac{1}{U_1} \sqrt{\sum_{n=2}^{N-1} U_n^2} \quad (9)$$

Akımdaki Toplam Harmonik Bozulma ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$THB_I = \frac{1}{I_1} \sqrt{\sum_{n=2}^{N-1} I_n^2} \quad (10)$$

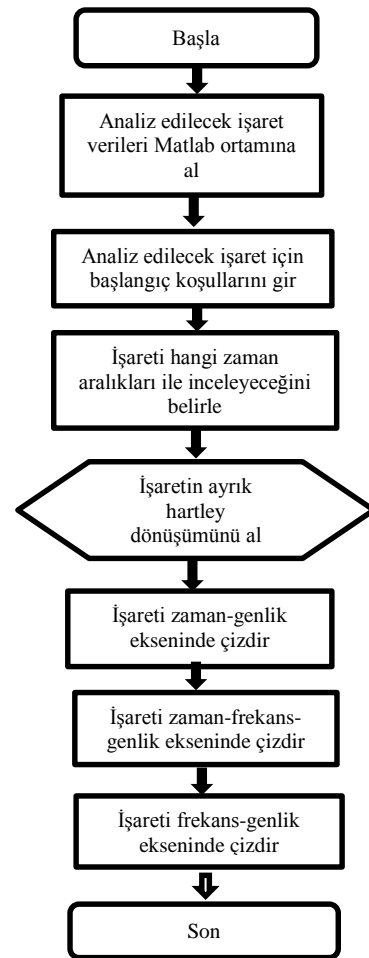
THB formüllerinden de anlaşıldığı üzere THB ifadesi işaretteki bozulmanın miktarını belirlemektedir.

## 3. BULGULAR

Çalışmanın bu aşamasında; gerçek bir şebekeden alınan akım ve gerilim değerleri ile bilgisayar ortamında üretilen işaretler Matlab programlama dili kullanılarak analiz edilmiştir. İşaretler, frekans düzleminde AHD ve AFD kullanılarak; zaman-frekans düzleminde ise AHD kullanılarak analiz edilmiştir. Toplamda 5 ayrı örnek incelenmiştir. İşaretleri analiz etmek için kullanılan program algoritmasının akış diyagramı şekil-1'de verilmiştir.

## 3.1. Frekans Düzlemi Analizleri

Frekans düzlemi analizlerinde 2 ayrı örnek incelenmiştir. Analiz işlemlerinde; gerçek veri için AHD, AFD ve Powerlogic ION 7650 analizörü kullanılmıştır. Diğer durum için ise AHD ve AFD kullanılmıştır. Analiz sonucu elde edilen sonuçlar iki boyutlu grafiklerde gösterilmiştir. Harmonik analizi grafiklerinde x eksenini harmonik sırasını y eksenini ise harmonik genliğini temsil etmektedir. Böylece hangi frekanslarda ve hangi genlikte harmoniklerin oluştuğu tespit edilmiştir.

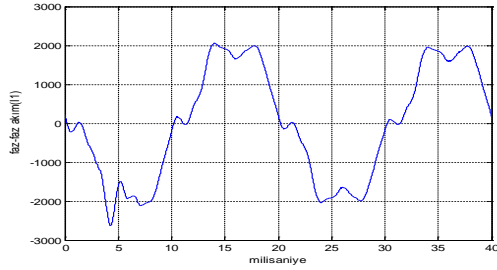


Şekil 1. Akış şeması

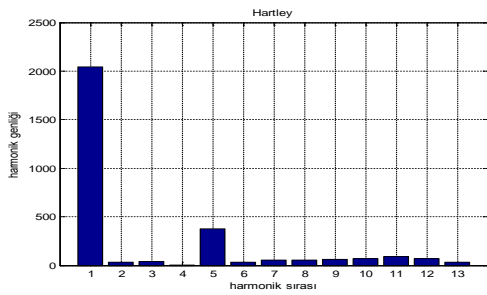
### 3.1.1. Örnek1

Birinci durumda 2008 yılında Kahramanmaraş'taki bir tekstil fabrikasının dokuma kısmından alınan birinci faz akımına ait veriler üzerinde analiz işlemleri yapılmıştır. Bu gerçek veriler Powerlogic ION 7650 analizörü yardımıyla alınmıştır. Analiz işlemleri hem AFD hem AHD hem de Powerlogic ION 7650 analizörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerçek şebekeden alınan sinyalin bir periyodu için 1024 örnek alınmış ve buna bağlı

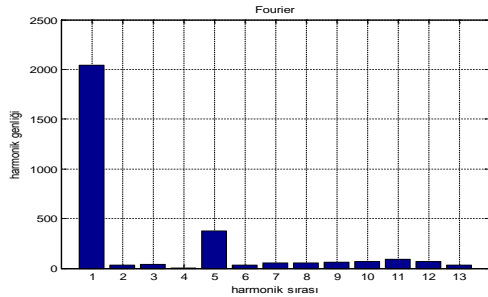
olarak örnekleme frekansı 51200 Hz olmuştur. Aşağıda zaman ve frekans düzleminde elde edilen grafikler verilmiştir.



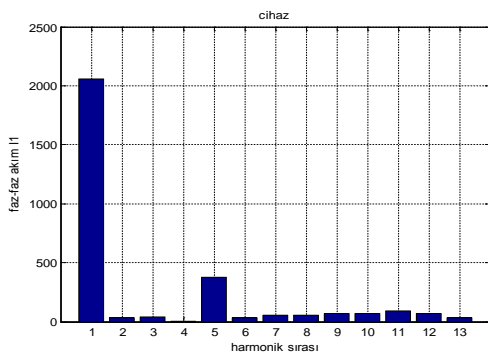
Şekil 2. Örnek1'nin zaman düzlemindeki grafiği



Şekil 3. Örnek1'nin Hartley analizi



Şekil 4. Örnek1'in Fourier analizi



Şekil 5. Örnek1'in güç analizörü ile analizi

Şekil 3, şekil 4 ve şekil 5'teki grafiklere bakıldığında akım işaretinde 5. harmoniğin baskın olduğu görülmektedir. Buna ek olarak 11. harmonik ve 11. harmoniğin çevresindeki harmoniklerde belirginleşme söz konusudur. AHD ile yapılan analizler sonucunda akımdaki THB'nin % 20,7 olduğu tespit edilmiştir.

### Çizelge 1. Örnek1'e ait analizler

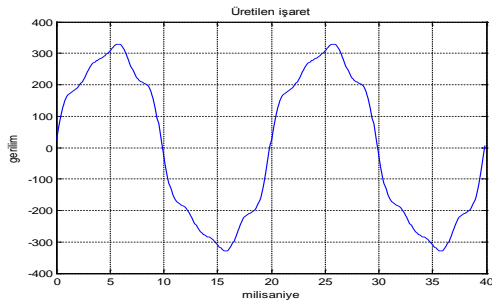
Harmonik Bileşen	Analizör	AHD	AFD	Fark
Temel	2060	2040	2040	20
2	35,5	35,3	35,3	0,2
3	37,3	37,1	37,1	0,2
4	3,89	3,9	3,9	0,03
5	380	377	377	3
6	30,9	30,6	30,6	0,3
7	52,2	51,8	51,8	0,4
8	56,8	56,4	56,4	0,4
9	66	65,6	65,6	0,4
10	66,3	65,9	65,9	0,4
11	93,1	92,4	92,4	0,7
12	67,2	66,7	66,7	0,5
13	31,4	31,1	31,1	0,3

Çizelge 1'de gerçek bir şebekeden alınan akım verileri için hem analizör hem AHD hem de AFD ile elde edilen harmonik genlikleri ve harmonik sıraları verilmiştir. Tablodaki sonuçlar incelendiğinde AHD'nin AFD ile aynı sonuçları verdiği, analizörle de çok yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Analizör ile AHD arasındaki en yüksek farkın temel harmonikte olduğu gözlemlenmiştir.

### 3.1.2. Örnek2 (Case2)

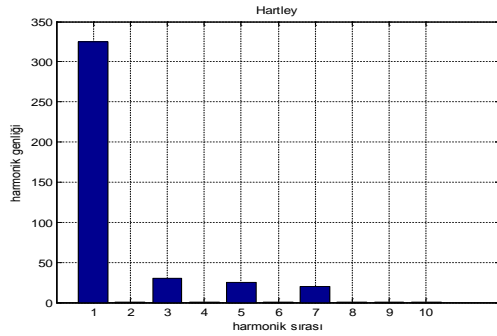
İkinci durumda bilgisayar ortamında üretilen bir işaret analiz edilmiştir. İşaretin periyodu 20 milisaniye, örnekleme frekansı 1 kHz seçilmiş ve bir periyot için analiz yapılmıştır. İşaretin denklemi aşağıda verilmiştir.

$$u(t) = 230\sqrt{2}\sin(2\pi ft) + 30 \cos\left(2\pi 3ft - \frac{\pi}{4}\right) + 25 \sin(2\pi 5ft) + 20 \sin\left(2\pi 7f + \frac{2\pi}{3}\right) \quad (11)$$

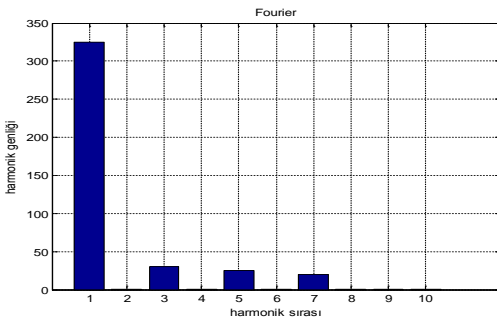


Şekil 6. Bilgisayar ortamında üretilen işaretinin dalga şekli

Şekil 6'da bilgisayar ortamında üretilen işaretin, 2 periyot için oluşturulmuş, grafiği görülmektedir. İşarete bilinçli olarak eşitlik 11'de görüldüğü gibi 3. 5. ve 7. harmonikler eklenmiştir. Aynı zamanda işarete faz farkı da oluşturulmuştur. İşaretin gerçek zamanlı grafiğine bakıldığında eklenen bu harmoniklerden dolayı tam bir sinüs görülememektedir.



Şekil 7. Örnek2'nin Hartley analizi



Şekil 8. Örnek2'nin Fourier analizi

Şekil 7 ve şekil 8'de AHD ve AFD kullanılarak yapılan analizler sonucunda eşitlik 11'deki işarete oluşturulan harmoniklerin frekans analizleri sonucu başarılı bir şekilde tespit edildiği görülmüştür ve üretilen bu işarettaki THB'nin % 13,5 olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 2. Örnek2'ye ait analizler

Harmonik Bileşen	Gerçek Genlik	AHD	AFD	Fark
Temel	32,27	325,2691	325,2691	0,0009
3	30	30	30	0
5	25	25	25	0
7	20	20	20	0

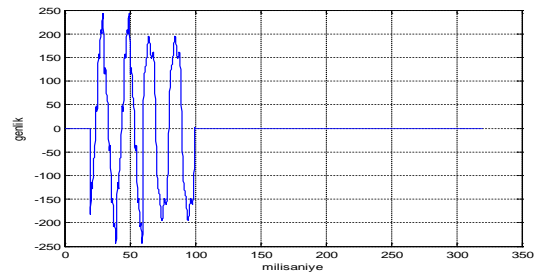
Çizelge 2'de bilgisayar ortamında üretilen işaret için AHD ve AFD ile elde edilen sonuçlar ile girilen değerler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma 1, 3, 5 ve 7. harmonikler için yapılmıştır. Sonuç olarak; AHD'nin AFD ile aynı sonuçları verdiği ve % 100'e yakın bir başarı sağladığı görülmüştür. Temel harmonikte ise AHD çok küçük bir farkla genliği yakalamıştır.

### 3.2. Zaman-Frekans Düzlemi Analizleri

Çalışmanın bu bölümünde değişik türdeki işaretlerin AHD kullanılarak harmonik analizi yapılmıştır. Harmonik analizi yapılırken işaretler birer periyotluk parçalara ayrılmıştır. Her bir işaret parçası için ayrı ayrı AHD uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar üç boyutlu bar grafik olarak çizdirilmiştir. Grafiklerde x eksenini zamanı y eksenini harmonik sırasını ve z eksenini de harmonik genliğini temsil etmektedir. 3 ayrı örnek işaret üzerinde harmonik analizleri yapılmıştır. İşaretler bilgisayar ortamında üretilmiştir.

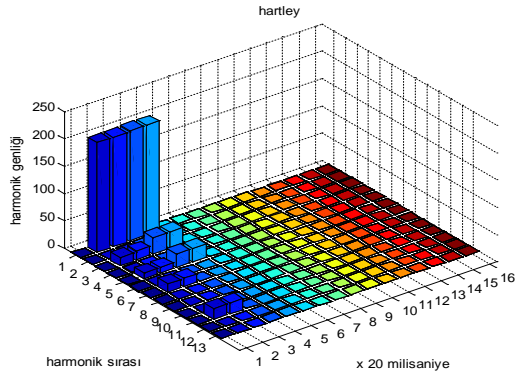
#### 3.2.1. Örnek3 (Case3)

Üçüncü örnekte 16 periyotluk bir işaret üretilmiştir. İşaretin her bir periyodu 20 milisaniye, örnekleme frekansı 10 kHz olarak seçilmiştir. İşaret için yapılan harmonik analizler sonucu elde edilen grafikler aşağıda verilmiştir.



Şekil 9. Örnek3'ün zaman eksenindeki grafiği

Şekil 9'da işaret ilk olarak sıfırdan başlatılmıştır. Daha sonra işaretin 2 periyoduna değişik harmonikler uygulanmış, 4 ve 5. periyotlarda daha farklı harmonikler uygulanmış ve işaret tekrar sıfır yapılmıştır.



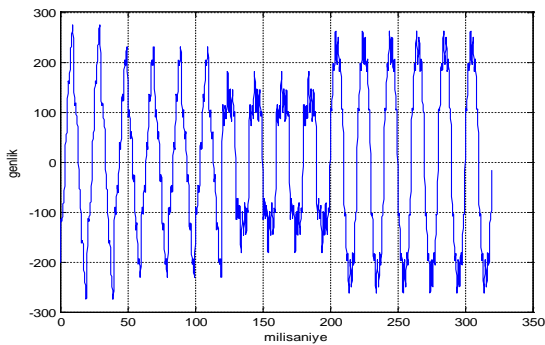
Şekil 10. Örnek3'ün zaman-frekans düzlemindeki analizi

Şekil 10'de görüldüğü gibi oluşan harmoniklerin hangi periyotlarda ve hangi frekanslarda ve hangi genliklerde oluştuğu görülmektedir. İlk periyotta harmonik olmadığı, 2 ve 3. periyotlarda 1, 3, 5, 7 ve 11. harmoniklerin olduğu; 4 ve 5. periyotlarda ise 1, 3 ve 5. harmoniklerin olduğu görülmektedir.

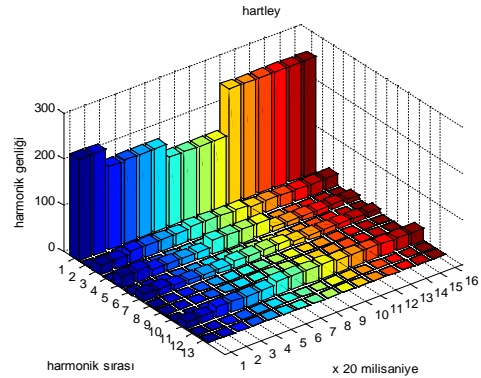
### 3.2.2. Örnek4 (Case4)

Dördüncü örnekte 16 periyotluk bir işaret üretilmiştir. İşaretin her bir periyodu 20 milisaniye, örnekleme frekansı 10 kHz olarak seçilmiştir. İşaret için yapılan harmonik analizler sonucu elde edilen grafikler aşağıda verilmiştir.

Şekil 11'de görüldüğü gibi 16 periyotluk bu işaret değişik periyotlarda değişik frekanstaki harmoniklerle bozulmuştur ve şekil 12'de bu harmoniklerin hangi frekanslar ve hangi zaman aralıklarında oluştuğu AHD kullanılarak analiz edilmiştir.



Şekil 11. Örnek4'ün zaman eksenindeki grafiği

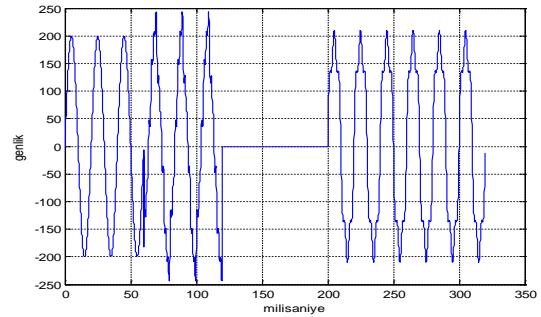


Şekil 12. Örnek4'ün zaman-frekans düzleminde analizi

Şekil 12'ye bakıldığında temel harmoniğin belli zaman aralıklarında farklı genliklerde olduğu görülmektedir. Bütün işaret boyunca 3, 5, 7 ve 11. harmoniklerin olduğu ancak bu harmoniklerin genliklerinin genelde birbirinden farklı olduğu gözlemlenmektedir.

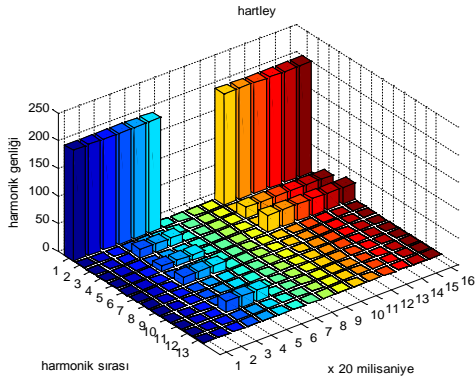
### 3.2.3. Örnek5 (Case5)

Beşinci örnekte 16 periyotluk bir işaret üretilmiştir. İşaretin her bir periyodu 20 milisaniye, örnekleme frekansı 10 kHz olarak seçilmiştir. İşaret için yapılan harmonik analizler sonucu elde edilen grafikler aşağıda verilmiştir.



Şekil 13. Örnek5'in zaman eksenindeki grafiği

Şekil 13'te görüldüğü gibi 16 periyotluk işaretin ilk 3 periyotluk bölümü tam bir sinüs işareti daha sonraki 3 periyotluk bölümü harmonik bozulmaya tabi tutulmuş, takip eden 4 periyotluk kısım sıfır yapılmış ve 11. periyottan 16. periyoda kadar yine harmonik bozulmalara tabi tutulmuştur.



**Şekil 14.** . Örnek5'in zaman-frekans düzleminde analizi

Şekil 14'e bakıldığında işaretin ilk 60 milisaniyelik kısmında temel harmonik dışında bir harmoniğe rastlanmamış; ama takip eden 60 milisaniyelik kısımda temel harmoniğin yanında 3, 5, 7 ve 11. harmoniğin olduğu gözlemlenmiştir. Daha sonraki 80 milisaniyelik kısımda temel harmonik dahil hiçbir harmoniğin olmadığı; ancak son 6 periyotta temel harmoniğin yanı sıra 3 ve 5. harmoniklerin olduğu görülmüştür.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada toplamda 5 adet örnek üzerinde analiz işlemleri yapılmıştır. Bu örneklerden 3 tanesi değişik sinüs dalgalarını içermektedir. Bu işaretler AHD kullanılarak analiz edilmiş ve sonuçlar zaman-frekans düzleminde üç boyutlu olarak analiz edilmiştir. Böylece işaretin hangi zamanlarda hangi frekanslarda ve hangi genliklerde harmonik barındırdığı anlaşılmıştır. Diğer 2 örnek ise frekans düzleminde analiz edilmiş ve iki boyutlu grafiklerde hangi frekanslarda ve hangi genliklerde harmonik oluştuğu tespit edilmiştir. Bu 2 örnekten birincisi Kahramanmaraş'ta bir tekstil fabrikasının dokuma bölümünden alınan akım verisidir. Diğer örnek ise bilgisayar ortamında üretilmiş bir örnektir.

Bu çalışmayla AHD'nin bilgisayar ortamında üretilen işaretler için harmonik analizinde başarı sağladığı anlaşılmıştır. Frekans düzlemi analizlerinde Örnek2 için Çizelge 2'ye bakıldığında AHD'nin %100'e yakın bir başarı sağladığı görülmektedir. Örnek1 için yapılan harmonik analizinde ise temel harmoniğin katı harmoniklerde doğruluğunun temel harmonik analizindeki doğruluğa göre yüksek olduğu Çizelge 1'den gözlemlenmiş ve AHD'nin gerçek verileri de analiz etmede başarılı olduğu görülmüştür. Bu sonuçlardan da anlaşıldığı üzere AHD'nin harmonik analizinde kullanılan yöntemlere ek olarak iyi bir alternatif olduğu söylenebilir.

Tekstil dokuma fabrikasından alınan kayıtlarda çift harmonikler de ölçülmüştür. Bu ölçüm Fourier

Dönüşümüne göre hesap yapan güç analizörünün sonuçlarında da vardır. İşletmedeki çok sayıda asenkron motor ve hız kontrol cihazlarının etkisi yanında sistemde olası ara harmonik ihtimali de belirlemektedir. Gerek AFD ve gerekse AHD ile ara harmonikleri yakalamak pratikte mümkün değildir. Bu tür hesaplamalarda bu çalışmadaki örneklerde de görüldüğü gibi yayılmış bir dağılım gözlenmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda ara harmonikleri AHD ile tespit eden yöntem ve algoritmalar önerilmektedir.

#### 5. KAYNAKLAR

- [1]. Baptista, J. ve Moura, A.M., "A Computer Tool for Harmonic Distortion Prediction in Low Voltage Power Systems", Electrical Power Quality and Utilisation (EPQU), 2011 11th International Conference on, Lisbon, 1-6, 2011.
- [2]. Wenbo, T., Jianming, Y. ve Ji, L., "Power System Harmonic Detection Based on Bartlett-Hann Windowed FFT Interpolation", Power And Energy Engineering Conference (APPEEC), 2012 Asia-Pacific, Shanghai, 1-3, 2012.
- [3]. Ray, P.K. ve Sudubhi, B., "Ensemble-Kalman-Filter-Based Power System Harmonic Estimation", IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement, Cilt 61, No 12, 3216-3224, 2012.
- [4]. Bayrak, M. ve Yılmaz, A.S., "Enerji Analizörlerinin Ölçüm Standartlarına Uygunluğunun İncelenmesi", 3. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Kocaeli, 242-246, 2009.
- [5]. Tanaka, T. ve Ark., "Reducing Supply Current Harmonics", IEEE Industry Application Magazine, Cilt 4, No 5, 31-37, 1998.
- [6]. Yılmaz, A.S. Alkan, A. ve Asyali M.H., "Applications of Parametric Spectral Estimation Methods on Detection of Power System Harmonics", Electric Power Systems Research, Cilt 78, No 4, 683-693, 2008.
- [7]. Yılmaz, A.S. ve Alkan, A., "Frequency Domain Analysis of Power System Transients Using Welch And Yule-Walker AR Methods", Energy Conversion and Management, Cilt 48, No 7, 2129-2135, 2007.
- [8]. Tekin, M. ve Yılmaz, A.S., "Güç Sistem Harmoniklerinin Ayrık Hartley Dönüşümü İle İncelenmesi", 5. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Kocaeli, 93-97, 2013.
- [9]. Hou, H.S., "The Fast Hartley Transform Algorithm", IEEE Transactions on Computer, Cilt C-36, No 2, 147 - 156, 1987.
- [10]. Bracewell, R.N., "The Fast Hartley Transform", Proceedings of the IEEE, Cilt 72, No 8, 1010 - 1018, 1984.
- [11]. Piccinin, F., "The Fast Hartley Transform As An Alternative To The Fast Fourier Transform",

- Technical Memorandum, Department of Defence Defence Science and Technology Organisation, Salisbury Surveillance Research Laboratory South Australia.
- [12]. Demirbaş, Ş. ve Bayhan, S., “Güç Sistemlerinde Harmoniklerin Gerçek Zamanlı Ölçüm ve Analizi”, J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ., Cilt 24, No 3, 461-468, 2009.
- [13]. Heydt, G.T., “The Fast Hartley Transform Used in the Analysis of Electrical Transients in Power Systems”, Electrical and Communications Systems National Science Foundation, Washington (USA), 1813 - 1817, 1990.
- [14]. Domijan, A., Heydt, G. T., Meliopoulos, A. P. S., Venkata, S. S. ve West, S. “Directions of Research on Electric Power Quality”, IEEE Transactions on Power Delivery, Cilt 8, No 1, 429 – 436, 1993.
- [15]. Gu, Y. ve Bollen, H. J., “Time-Frequency and Time-Scale Domain Analysis of Voltage Disturbances”, IEEE Transactions on Power Delivery, Cilt 15, No 4, 1279 - 1284 , 2000.
- [16]. Cho, S.H., Jang, G. ve Kwon, S.H., “Time-Frequency Analysis of Power-Quality Disturbances via the Gabor–Wigner Transform”, IEEE Transactions on Power Delivery, Cilt 25, No 1, 494 – 499, 2010.
- [17]. Sorensen, H.V., Jones, D.L., Burrus, C.S. ve Heideman, M.T., “On Computing the Discrete Hartley Transform”, IEEE Transactions On Acoustics, Speech, and Signal Processing, Cilt 33, No 5, 1231 - 1238 , 1985.
- [18]. Malvar, H.S., “Fast Computation of the Discrete Cosine Transform and the Discrete Hartley Transform”, IEEE Transactions On Acoustics, Speech, And Signal Processing, Cilt 35, No 10, 1484 – 1485, 1987.
- [19]. Kocatepe, C., Uzunoğlu, M., Yumurtacı, R., Karakaş, A. ve Arıkan, O. Elektrik Tesislerinde Harmonikler, İstanbul, TÜRKİYE, 2003.
- [20]. Wikipedia. “Hartley Transform”, en.wikipedia.org/wiki/Hartley\_transform.(03.06.2013).