

GÜÇ SİSTEM HARMONİKLERİNİN AYRIK HARTLEY DÖNÜŞÜMÜ İLE İNCELENMESİ

Mustafa TEKİN^{1*}, Ahmet Serdar YILMAZ^{*}

¹ Sorumlu yazar, mustafa_tekin40@hotmail.com

* Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi,
Elektrik Elektronik Müh. Bölümü, Kahramanmaraş

Özet

Güç kalitesi olayları içinde en çok karşılaşılan problemlerin başında harmonikler gelir. Harmonik bozulmalar, şebekelerde işletme güvenliği, enerji verimliliği ve enerjinin sürekliliğini etkileyen problemlerdir. Dağıtım şebekelerinde en sık rastlanan güç kalitesi olaylarındandır. Yüklerin doğrusal olmayan karakteristikleri harmonik oluşumunun en önemli kaynağıdır. Harmonik bozulmalarının ölçülmesinde toplam harmonik bozulma (THB) parametresi kullanılır. Güç kalitesi cihazlarında ve standartlarda dikkate alınan THB parametresi genellikle Fourier Dönüşümlerinin yardımıyla hesaplanır. Bunun yanında gerek frekans ve gerekse zaman frekans düzleminde pek çok yöntem kullanılmıştır. Bu çalışmada Ayrık Hartley Dönüşümü ile harmonik bozulmaların ölçülmesi gerçekleştirilmiştir. Üretilmiş ve gerçek bir sistemden kaydedilmiş örnek dalga şekillerinin içerdiği temel bileşenin tam katı harmonikler analiz edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Ayrık Hartley Dönüşümü, Harmonik Bozulmalar, Güç Kalitesi.

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. 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. Yukarıda sayılan bu cihazların çektiği akımın dalga şeklinin sinüs formundan 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. [1,2]

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 .

Güç kalitesi işaretlerinin incelenmesinde frekans düzlemi ile zaman-frekans düzlemi olmak üzere iki tür analiz gerçekleştirilebilir. Frekans düzlemi analizlerin en temeli ve bilineni Ayrık Fourier Dönüşümü (AFD)'dür. Frekans düzlemi analizlerinde durağan bozulmaların analizi yapılır. Sürekli haldeki bozulmaların frekans düzlemi analizleri ile tespiti sağlanır. Harmonikler buna verilebilecek ilk sıradaki örnektir. 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 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 [3,4].

Bu çalışmada frekans düzleminde bir analiz ve değerlendirme yapılmıştır. Fourier dönüşümüne alternatif olarak önerilen Ayrık Hartley Dönüşümü (AHD) bu çalışmada kullanılmıştır. AHD, temel

olarak Fourier Dönüşümüne çok benzemektedir. Üç adet örnek dalga şekli üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Yöntemin doğruluğu üretilmiş işarette; işareti oluşturan harmoniklerin genlikleri ile, kaydedilmiş işaretlerde ise analizör cihazının Fourier Dönüşümü ile hesapladığı değerler ile karşılaştırılmıştır. Örneklerden iki tanesi gerçek bir işletmeden alınmış gerçek dalga şekillerine aittir. Yapılan benzetimlerde Matlab programlama dili kullanılmıştır.

2. Ayırık Zamanlı 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 ayırık dönüşümü mevcuttur. Hartley Dönüşümü Fourier Dönüşümüyle temelde aynı sonuçları vermesine karşın aralarında hız açısından fark olduğu belirtilmektedir [5]. Ayırık formdaki Hartley Dönüşümü ise Bracewell tarafından önerilmiştir [6]. AHD ifadesi eşitlik (1) de verilmiştir.

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

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

Burada cas ifadesi (2) deki gibi reel kosinüs ve sinüs fonksiyonlarının toplamından ibarettir.

$$\cos(x) = \cos(x) + \sin(x) \quad (2)$$

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

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

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

Dönüşümün çekirdeği olan üstel karmaşık fonksiyonun (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. [7]. 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 işareten 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.

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

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

(1) ve (5)'te verilen dönüşüm ve ters dönüşüm bağıntıları ölçekleme faktörü dışında özdeştir. 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.

Ancak, bununla birlikte, incelenen işaretin faz farkı içermesi durumunda, Hartley Dönüşümünün doğruluğu azalmaktadır. Bu durumda parçalı Hartley Dönüşümü kullanılmalıdır. Parçalı Hartley Dönüşümü aşağıdaki gibidir [7].

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

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

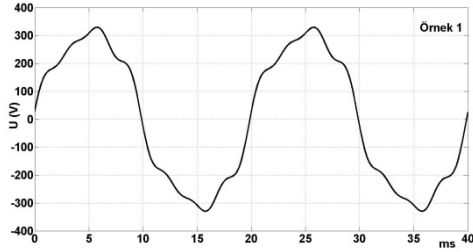
$$0 \leq k \leq N-1, \quad 0 \leq n \leq N-1$$

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

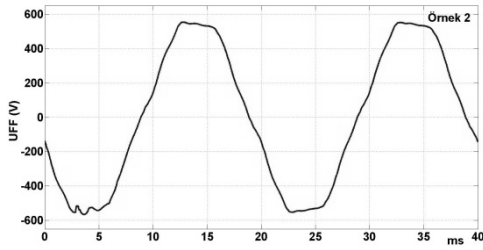
Görüldüğü gibi iki aşamalı bir hesaplama gerekmektedir. Bu zorunluluk AHD' nin hesaplama hızına olumsuz etki etmekte ancak sonuçların doğruluğu kesin olmaktadır.

3. Uygulamalar

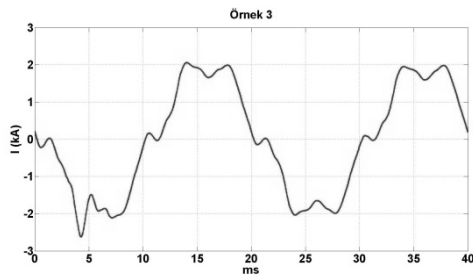
Bu çalışmada gerçek bir şebekeden alınan sürekli sinyal bilgileri 51200 Hz frekansla bir peryotluk anlık değerden 1024 adet örnek alınarak analog işaret dijital bir işarete dönüştürülmüştür. Ayrıca bilgisayar ortamında sanal bir işaret üretilmiş ve analiz edilmiştir. Üretilen işaretin örnekleme frekansı 1000 Hz olup bir peryot için işaret analizi yapılmıştır. Gerçek şebekeden alınan işaretin birinci fazının akım ve gerilim değerleri için inceleme yapılmıştır. Matlab'ta Hartley için kodlar yazılarak işarettaki harmoniklerin hangi frekanslarda oluştuğu ve genliklerinin ne olduğu belirlenmiştir. Üç adet örnek dalga, şekiller 1, 2 ve 3'de görülmektedir. Örnek-1 ile tanımlanan dalga şekli Matlab ortamında üretilen ve eşitlik (9) de bağıntısı verilen dalga şeklindedir. Temel bileşen frekansı 50Hz olup, 1kHz örnekleme frekansı ile üretilmiştir. Örnek-2 ve Örnek-3 olarak adlandırılan dalga şekilleri ise gerçek bir işletmeden kaydedilen dalga şekilleridir. Bu veriler 2008 yılında Kahramanmaraş'taki bir tekstil fabrikasının dokuma kısmından alınmıştır. Kayıtlar Powerlogic ION 7650 analizörü yardımıyla alınmıştır ve örnekleme frekansı 51200Hz'dir. Birinci örnekteki işaret için toplam harmonik bozulma %13.49, ikinci örnekteki işaret için toplam harmonik bozulma %5.46 ve üçüncü örnekteki işaret için toplam harmonik bozulma %20.72'dir. Bu değerler AHD ile elde edilen genliklerden hesaplanmıştır.



Şekil 1. Örnek 1 dalga şekli



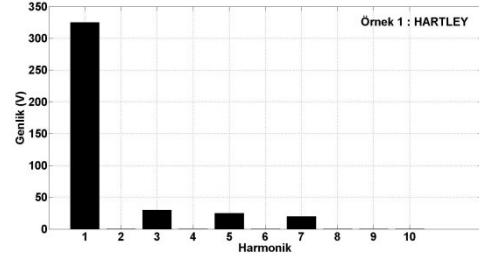
Şekil 2. Örnek 2 dalga şekli



Şekil 3. Örnek 3 dalga şekli

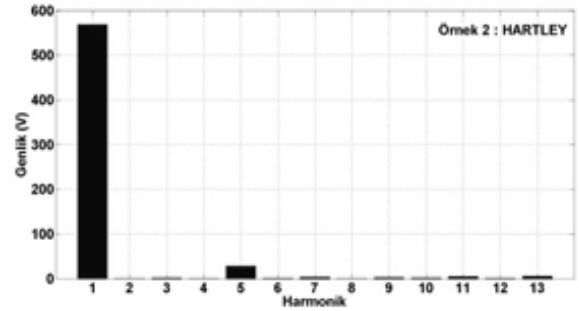
$$u(t) = 230\sqrt{2} \sin(2\pi ft) + 30 \cos\left(2\pi 3ft - \frac{\pi}{4}\right) + 25 \sin(2\pi 5ft) + 20 \sin\left(2\pi 7f + \frac{2\pi}{3}\right) \quad (9)$$

Yapılan analizler sonucunda, Örnek-1'deki üretilmiş işaretin AHD kullanılarak yapılan frekans bileşeni analizleri karşılaştırılmıştır. Şekil-4.'te AHD ile yapılan harmonik analiz sonuçları gösterilmektedir. Sonuçlardan görüleceği gibi AHD ile bulunan harmonik bileşenleri ile genlikleri eşitlik (9)'da verilen genlikler ile birebir aynıdır.

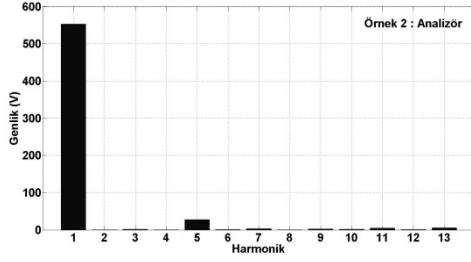


Şekil-4. AHD ile Birinci İşaretinin Harmonik Analizi

Birinci örnek üretilmiş bir veri olduğundan çok gerçekçi olup olmadığı sorgulanabilir. Bu nedenle gerçek bir işletmeden alınmış 2 ve 3 nolu örneklerin analizleri de gerçekleştirilmiştir. Şekil-5'te ikinci örnek işaretinin analizleri yapılarak, ölçümlerin yapıldığı cihaz tarafından kaydedilen (Şekil-6) değerler ile karşılaştırma imkânı olmaktadır. Bu sonuçlardan anlaşılabileceği gibi her iki yöntemde analizörün yaptığı hesaplamalarda aynı oranda çıkmıştır. Gerçek sistemde analizör 63. harmoniğe kadar ölçüm yapabilmektedir; ancak 13. harmonikten sonraki harmoniklerin değerleri oldukça düşük olduğundan şekillerde gösterilmemiştir. Bu ölçümlerde gerilimde 5. harmoniğin diğerlerine göre daha baskın olduğu gözlenmiştir.

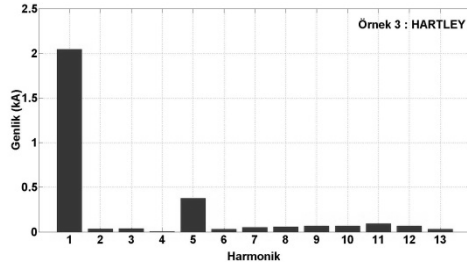


Şekil-5. AHD ile İkinci İşaretinin Harmonik Analizi

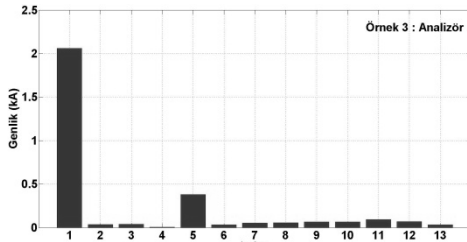


Şekil-6. İkinci işaretin Analizördeki Harmonik Analizi

Son olarak, aynı işletmede aynı noktadan aynı anda kaydedilmiş bir akım dalga şekli kullanılmıştır. Örnek-3 olarak adlandırılan bu örnekte harmoniklerin genliği ve sayısı gerilime göre yüksektir. Ayrıca özellikle 11. harmonik ve yakınındaki harmoniklerin genliklerinde bir yükselme görülmektedir. İki yöntemi karşılaştırdığımızda elde edilen sonuçların birbiri ile örtüştüğünü söylemek mümkündür.



Şekil-7. AHD ile Üçüncü İşaretinin Harmonik Analizi



Şekil-8. Üçüncü İşaretin Analizördeki Harmonik Analizi

Yapılan analizlerde AHD'nin başarılı şekilde sonuç verdiği gözlenmiştir. Birinci örnekteki üretilmiş işaret ile diğer iki işaretin Hartley ile harmonik analizi Tablo.1 ve Tablo.2'de genlik bakımından karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu sonuçlardan AHD'nin harmonikli bileşenlerin tespit ve analizinde başarılı olduğu ve doğru sonuçlar verdiği gerçeğini ortaya çıkarmıştır.

Tablo.1 Birinci örnek için hesaplanan harmoniklerin genlikleri

Harmonik	Gerçek Genlik	AHD	Fark
Temel	325.27	325.2691	0.0009
3	30	30	0
5	25	25	0
7	20	20	0

Tablo.2 İkinci örnek için hesaplanan harmoniklerin genlikleri

Harmonik	Analizör	AHD	Fark
Temel	553.70	568.79	15.09
2	0.31	0.32	0.01
3	1.82	1.87	0.05
4	0.26	0.27	0.01
5	27.74	28.50	0.76
6	1.01	1.04	0.03
7	3.18	3.26	0.08
8	0.61	0.63	0.02
9	2.89	2.97	0.08
10	2.13	2.19	0.06
11	5.17	5.31	0.14
12	0.97	0.99	0.02
13	5.80	5.96	0.16

Tablo.3 Üçüncü örnek için hesaplanan harmoniklerin genlikleri

Harmonik	Analizör	AHD	Fark
Temel	2060	2040	20
2	35.5	35.3	0.2
3	37.3	37.1	0.2
4	3.89	3.86	0.03
5	380	377	3
6	30.9	30.6	0.3
7	52.2	51.8	0.4
8	56.8	56.4	0.4
9	66	65.6	0.4
10	66.3	65.9	0.4
11	93.1	92.4	0.7
12	67.2	66.7	0.5
13	31.4	31.1	0.3

4. Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan bu çalışmayla AHD'nin örnek-1 yani bilgisayar ortamında üretilen işaret için harmonik analizinde %100'e yakın bir başarı sağladığı Tablo.1'den anlaşılmaktadır. Örnek-2 ve örnek-3 için yapılan harmonik analizinde ise temel harmoniğin katı harmoniklerde doğruluğunun temel harmonik analizindeki doğruluğa göre yüksek olduğu gözlemlenmiş ve AHD'nin gerçek verileri de analiz etmekte 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 sayıdaki 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 de tespit eden yöntem ve algoritmalar önerilmektedir. Ayrıca zaman ve frekans düzlemi analizleri için pencere fonksiyonlarının Fourier'de olduğu gibi Hartley Dönüşümüne uygulanması hedeflenmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda zaman-frekans düzlemi analizlerinde Hartley'in kullanılabilirliği ve ara harmoniklerin tespiti amaçlanmaktadır.

Kaynaklar

- [1] M.Bayrak, A.S.Yılmaz, Enerji Analizörlerinin Ölçüm Standartlarına Uygunluğunun İncelenmesi, III. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Sayfa 242-246, Kocaeli, 2009.
- [2] T.Tanaka ve ark., Reducing Supply Current Harmonics, IEEE Industry Application Magazine, pp. 31-37, Sept/Oct 1998.
- [3] A.S.Yılmaz, A.Alkan, M.H.Asyali, Applications of Parametric Spectral Estimation Methods on Detection of Power System Harmonics, Electric Power Systems Research 78 (2008) 683–693.
- [4] A.S.Yılmaz, A. Alkan, Frequency Domain Analysis of Power System Transients Using Welch And Yule–Walker AR Methods, Energy Conversion and Management 48 (2007) 2129–2135.

[5] H.S.Hou, The Fast Hartley Transform Algorithm, IEEE Transactions on Computers, Vol. C-36, No. 2, February 1987.

[6] R.N.Bracewell, The Fast Hartley Transform, Proceedings Of The IEEE, Vol. 72, No. 8, August 1984.

[7] F. Piccinin, 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