

# GÜÇ KALİTESİ BOZUCULARININ BELİRLENMESİNDE DALGACIK DÖNÜŞÜMÜNÜN BAŞARIM SINAMASI

Doğan Gökhan ECE

Ömer Nezh GEREK

Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Mühendislik Mimarlık Fakültesi  
Anadolu Üniversitesi, İki Eylül Kampusu, 26470, Eskişehir  
e-posta: {dgece, ongerak}@anadolu.edu.tr}

*Anahtar sözcükler: Güç Kalitesi ,Dalgacık Dönüşümü , İstatistiksel Yöntemler*

## ÖZET

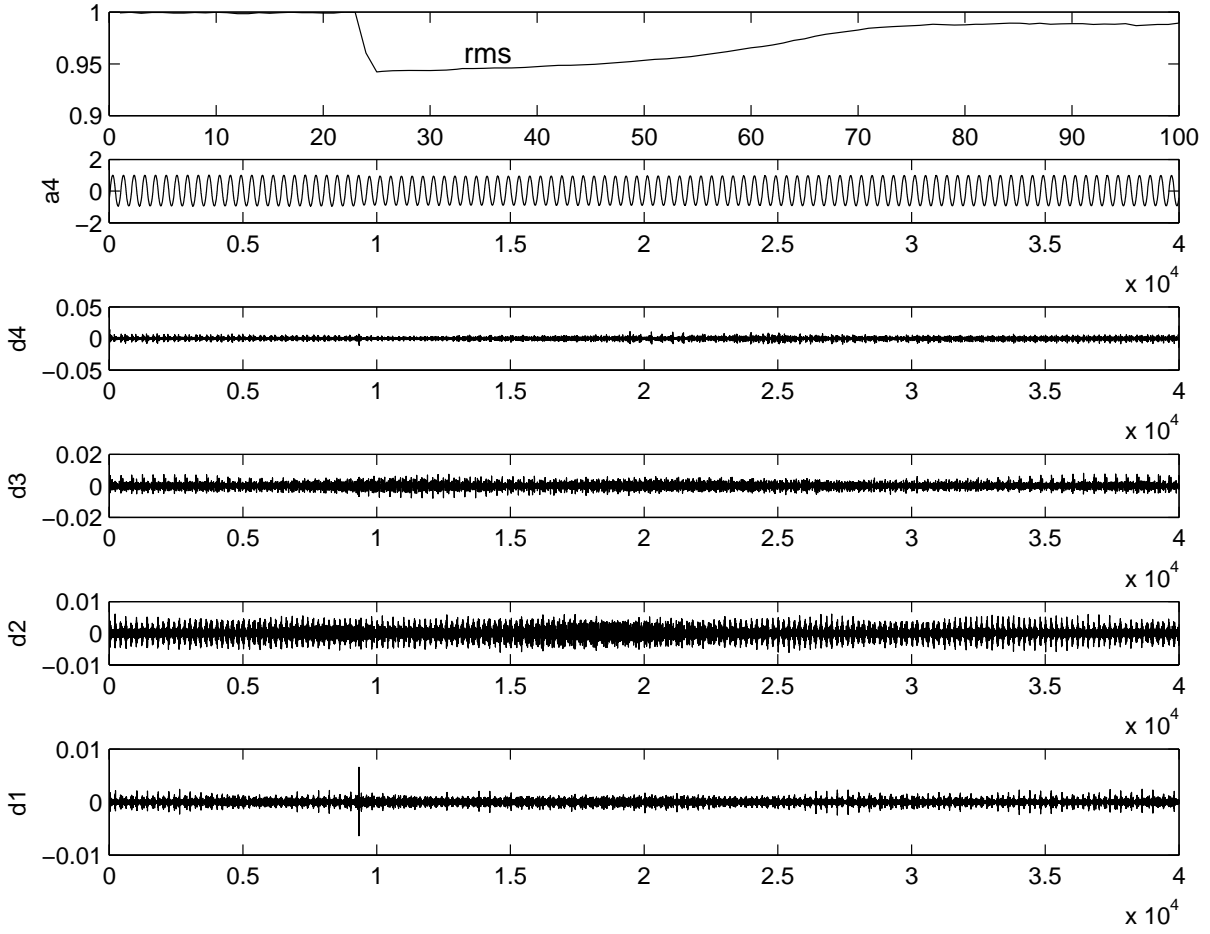
*Güç kalitesi (GK) olaylarının belirlenmesinde bir araç olarak ayrık dalgacık dönüşümü oldukça yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu çalışmada GK bozucularının belirlenmesi için kullanılan genel amaçlı dalgacık tiplerinin bazı tür bozucuların belirlenmesinde beklenildiği kadar başarılı olmadıkları gösterilmektedir. Örneğin ani bir gerilim azalması olayı sırasında eğer gerilimin dalga şeklinde yüksek frekanslı bileşenler yoksa, kullanılan dalgacık tipinden bağımsız olarak, dalgacık dönüşümü bu olayın belirlenmesinde başarısız olmaktadır. Bu durum, gerçek bir sistemden toplanan gerilim dalga şekli verileriyle bu çalışmada sunulmuş ve dalgacık dönüşümünün başarımının olmadığı durumlarda istatistiksel yöntemler kullanılarak GK bozucularının belirlenmesi önerilmiştir.*

## 1. GİRİŞ

Ayrık dalgacık dönüşümü (ADD) güç kalitesi (GK) bozucularının belirlenmesi ve sınıflandırılması amacıyla sıklıkla kullanılan bir araçtır [1,2]. GK alanında çalışan araştırmacılar, ADD'nin tasarımının ardındaki sinyal ve görüntü işleme uygulamalarında kullanılan örneğin veri sıkıştırma gibi gerçek nedeni genellikle gözardı etmişlerdir. Bunun sonucunda yapılan sadece dönüşüm katsayılarının çeşitli seviyelerde belirli eşik değerler kullanılarak analizi ve sonuçta bozucuların belirlenmesi ve sınıflandırma için çeşitli kuralların ortaya konulmasıdır. Akım ve gerilim dalga şekillerinin ADD kullanılarak analizlerinde, dalga şekillerinde çeşitli nedenlerle ortaya çıkan tüm bozulmaların dönüşüm katsayıları kullanılarak belirlenebileceği öngörüsü yada farklı bir deyişle varsayımı yapılmıştır. Bu varsayım, genellikle GK olaylarının başlangıç ve bitiş anlarında akımın veya gerilimin dalga şeklinde yüksek frekanslı bozulmaların görülmesi nedeniyle kısmen doğru bir yaklaşımdır. Bunun sonucunda, yüksek frekanslı bozulmalara karşılık gelen anlarda ADD'nin ayrıntı katsayıları olayın başlangıç ve bitişinde sinyalin

enerjisinde bir artış gösterecekler ve bu şekilde bozucu belirlenecektir. Buna karşın, bir GK olayının başlangıcı veya bitiş sırasında herhangi bir yüksek frekanslı bozulma yoksa, genel amaçlı ADD'leri bu türden bir olayı belirleyemeyecektir. Dağıtım sistemlerinde büyük güçlü asenkron motorların yük altında devreye girmeleri ve kısa devre olayları sırasında anlık gerilim azalmalarının oluştuğu bilinmektedir. Bu anlık gerilim azalmasının başlangıcında gerilimin dalga şeklinde yüksek frekanslı bileşenler oluşabilir. Dolayısıyla ADD bu GK olayını ilk birkaç dönüşüm seviyesindeki katsayılarla ortaya çıkan artışla belirleyebilir. Gerçekte gerilimin genliğinde oluşan azalma, sinyalin enerjisinde de bir azalmaya neden olacağından ADD katsayılarının genliklerinde de olay sırasında belirgin bir düşüşe neden olacak ve bu GK olayı katsayılarıdaki artışla değil azalmayla belirlenecektir. Dolayısıyla GK olaylarının belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda gösterildiğinin tersine ADD'nin başarımı tamamıyla bozucunun başlangıcında oluşabilecek yüksek frekans bileşenlerine bağlıdır ve ADD olayın kendisini değil, olayın başlangıç ve hatta bitişindeki yüksek frekans bileşenlerini belirlemektedir.

GK olaylarının belirlenmesi ve sınıflandırılmasında Daubechies sınıfı dalgacık dönüşümleri en yaygın olarak kullanılan dönüşümlerdir. Diğer genel amaçlı dalgacık dönüşümleri gibi Daubechies dönüşümünün de alçak - ve yüksek - geçiren süzgeçleri, geçirme ve durdurma bantlarında keskin spektral karakteristikleri olacak şekilde tasarlanmışlardır. Dolayısıyla bu şekilde tasarlanan dalgacık dönüşümlerinin belirgin genlikli yüksek frekans bileşenleri olmayan bozucuların belirlenmesindeki başarımları düşük olacaktır. Bu çalışmada, sıklıkla karşılaşılan GK bozucularından biri olan ani gerilim azalmaları sırasında gerilimin dalga şeklinde herhangi bir yüksek frekans bileşeni bulunmaması durumunda sıklıkla kullanılan ayrık dalgacık dönüşümlerinin bu tip bir bozucuyu belirleme başarımlarının olmadığı



Şekil 1: Asenkron motorun çalıştırılması anında oluşan gerilim azalmasının ADD analizi

örneklerle gösterilmiştir. Bununla beraber, incelenen dalga şekliyle kolaylıkla elde edilebilecek olan istatistiksel parametrelerin, bu çalışmada ele alınan yüksek frekans bileşeni bulundurmeyen bozucuların belirlenmesinde daha etkin başarıya sahip oldukları gerçek bir alçak gerilim dağıtım sisteminden elde edilen gerilim dalga şekli verileri analiz edilerek gözlemlenmiştir.

### 3. BİR GK OLAYININ ADD ANALİZİ

Sinyal işleme uygulamaları açısından ayrık dalgacık dönüşümünün tasarım amacı en az sayıda ayrışım örneği kullanılarak, incelenen sinyal geri çatıldığında orijinal sinyalin tüm dalga şekli özelliklerini taşıması ve dolayısıyla yüksek verimle veri sıkıştırma işlemini gerçekleştirmesidir [5], [6]. Bu, çok keskin spektral karakteristiklere sahip alçak – ve yüksek – geçiren süzgeçlerle sağlanmaktadır. Örneğin Daubechies dalgacık dönüşümündeki en iyileme yöntemi düşük dereceli, dik alçak – ve yüksek – geçiren süzgeçler tasarlamaktadır. Alçak – geçiren süzgeç  $G_0(e^{j\omega})$ ,  $\omega = \pi$  olduğunda sıfır değerini alarak yüksek frekans bileşenleri durdurmalıdır. Bu şekildeki

keskin süzgeçler teorik olarak ancak yüksek dereceli polinomlarla gerçekleştirilebilir ancak Daubechies süzgeç tasarımı yöntemi bu tür süzgeçlerin düşük dereceli polinomlarla gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır.  $G_0$  süzgeci tasarlandıktan sonra bunun simetriği olan aynı keskin frekans karakteristiğine sahip  $G_1$  yüksek – geçiren süzgeci de tasarlanmış olur. Bu şekilde keskin frekans karakteristiklerine sahip süzgeçler kullanılarak yüksek frekans bileşenleri olmayan örneklenmiş bir sinyale dönüşüm uygulandığında hemen ilk seviyede örneklerin yarısı ya çok küçük ya da sıfır olacak ve sonuçta etkin bir veri sıkıştırma işlemi gerçekleştirilecektir [6]. Görüldüğü üzere dalgacık dönüşümü incelenen sinyallerin en az örnek sayısı kullanılarak geri çatılması amacıyla tasarlanmıştır. Dalgacık dönüşümü incelenen sinyalin frekans bileşenlerini etkin bir şekilde ayırdığı için GK analizinde sıklıkla kullanılır hale gelmiştir. Ancak, geçici olayların incelenmesiyle doğrudan ilgili değildir ve bu nedenle bazı tür GK olaylarının belirlenmesinde etkin olamayabilirler. Şekil 1 de laboratuvar ortamında yüklü bir asenkron motorun çalıştırılması sırasında elde edilen 20 kHz ile örneklenmiş faz gerilimindeki

azalmanın 4 seviyeli Daubechies-4 dalgacık dönüşümü analizinin sonuçları verilmiştir. En üst şekilde 100 periyot süresince gerilimin rms değeri per-unit olarak verilmiştir. a1 analiz edilen gerilim dalga şeklinin yaklaşık olarak kendisi ve d1-d4 ayrıntı katsayılarını yatay eksen örnek sayısı olmak üzere vermektedir. Her bir periyotta 400 örnek bulunmakta ve 23. periyot yani 9100. örnek civarında GK olayı başlamaktadır. Şekil 1 deki düşük çözünürlük nedeniyle a1 gerilim dalga şeklinde gürülemezle birlikte gerilimin rms değerinin değişiminden anlaşılacağı üzere olayın başlangıcından 3 periyot sonra %6 gerilim düşümü gerçekleşmekte ve 75 periyot sonra bile olay öncesi değerine geri dönememektedir. Bu örnekte verilen gerilim azalmasının başlangıcında belirgin yüksek frekanslı bileşenler yoktur. Analiz sonuçları incelendiğinde d2-d4 seviyelerindeki ayrıntı katsayılarında olay öncesiyle hiçbir farklılık görülmemektedir. Sadece 5-10 kHz bandına karşılık gelen d1 seviyesinde olay anında bir genlik artışı görülmektedir. Ancak d1 seviyesindeki bu artış incelenen GK olayının ne belirlenmesini ne de sınıflandırılmasını sağlayabilecek bir parametre olarak kullanılamaz. Dağıtım sistemindeki GK olayı olarak sınıflandırılmayan herhangi bir anahtarlama da d1 bandında aynı sonucu verebilir. Bu örnekten görüldüğü üzere belirgin yüksek frekans bileşenlerinin bulunmaması durumunda bir GK olayının ADD analizi sonuçları olayın belirlenmesi ve hatta sınıflandırılması için ölçülebilir, güvenli ve eşik değer uygulanabilir bir parametre üretmemektedir. Dolayısıyla bu tür GK olaylarının belirlenmesi ve sınıflandırılmasında ADD'nün başarımının sınırlı olduğu ve bir sonraki bölümde önerilen farklı analiz yöntemlerinin gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

## 2. İSTATİSTİKSEL YÖNTEM

Diğer tüm genel amaçlı dalgacık dönüşümü çeşitlerinde olduğu gibi Daubechies dalgacık dönüşümü de kullanılan süzgeçlerin yapılarına göre farklı türlerde dir. Örneğin Daubechies – 4 dalgacık dönüşümünde kullanılan  $G_1$  yüksek – geçiren süzgeci  $z$  - polinomlarıyla modellenen ve 4. dereceye kadar olan tüm dalga şekillerini durdurur ve bu dalga şekilleri ancak  $G_0$  alçak – geçiren süzgeçten geçerler. Yüksek frekanslı bileşenler içeren GK olayları sırasındaki dalga şekilleri yüksek dereceli  $z$  - polinomlarıyla modellendiğinden dönüşüm sırasında yüksek frekans bileşenleri ayrıntı katsayılarının genliklerini etkileyecekler dolayısıyla GK olayı belirlenecektir. Yavaş değişim gösteren yani yüksek – frekans bileşenleri olmayan GK olaylarını belirlemek için yapılması gereken çok uzun yani yüksek dereceli süzgeçler kullanmak olacaktır. ADD ile GK olaylarının analizlerinde en önemli özellik olayın zaman içindeki anının belirlenmesidir. Çok uzun süzgeçler kullanıldığında GK olayının zaman

içinde belirlenmesi hassasiyeti belirgin bir şekilde azalmaktadır. ADD'nün bu çalışmada ele alınan türdeki GK olaylarını belirlemesindeki başarımının düşük olması nedeniyle alternatif istatistiksel bir yöntem önerilmiştir.

Enerji iletim veya dağıtım hattı sinyalleri üzerine eklenen gürültüler, normal çalışma sırasında pek çok farklı etkenden üretilmektedir. Merkezi limit teoremi dolayısıyla, eklenen gürültülerin toplam etkisinin Gauss dağılımı göstermesi beklenebilir. Öte yandan, sinyalin sadece üzerine eklenen gürültü miktarını göz önünde bulundurmamak gerekmektedir. Laboratuvar ortamında oluşturulan GK olaylarının dalga şekillerini örnekleyen sistemde örnekleme yapan araçların önünde bir bant durdurucu süzgeç (band reject filter, BRF) uygulanmaktadır. Süzgecin durdurduğu bant, hattın orjinal salınım frekansı olan 50Hz olarak seçilmiştir. Süzgeçlemeyi gerçekleştiren “Frequency Devices ASC-50” cihazı, birçok çeşit süzgeci dijital olarak gerçekleştirebilmektedir. Bu çalışmada, Q faktörü yüksek olacak şekilde 20nci dereceden eliptik süzgeçler kullanılmıştır. Bu şekilde, 50Hz'in dışındaki diğer bileşenlerin önlenmesi sağlanmıştır. Ana salınım frekansının engellenmesi, ayrıca sinyalin durağan olmasını, dolayısıyla da kaydırılan pencere yöntemi ile istatistiksel analiz yapılmasını sağlamaktadır.

Normal çalışma koşullarında varyansı düşük Gauss karakteristiği gösteren süzgeçlenmiş sinyal, herhangi bir hata durumunda öncelikle varyansı yüksek bir dağılım sergilemekte, ve Gauss dağılımdan sapmaktadır. Literatürde Gauss dağılıma benzerlik tespiti için pek çok yöntem önerilmiştir [9]. Histogram şeklinin uyumu (fit test), Hinich test, ve istatistiksel karakterizasyon, bunlardan bazılarıdır. Histogram şekil uyumu, çok fazla sayıda parametreye bağlıdır, dolayısıyla hassasiyetini ayarlamak güçtür. Hinich testinde 2.  $(C_{2x}(k))$  ve 3.  $(C_{3x}(k,l))$

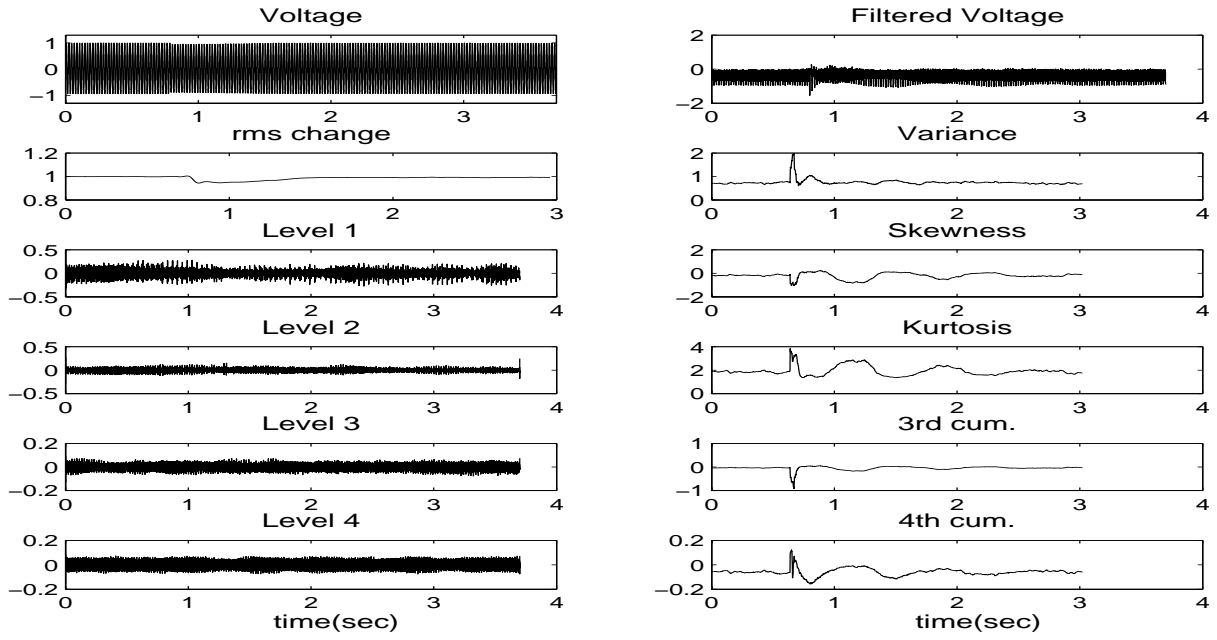
momentlerin Fourier dönüşümleri olan  $S_2(\omega)$  ve  $S_3(\omega_1, \omega_2)$  cinsinden ikili-uyum (bicoherence) ifadesi hesaplanır;

$$bic(\omega_1, \omega_2) = \frac{S_3(\omega_1, \omega_2)}{\sqrt{S_2(\omega_1)S_2(\omega_2)S_2(\omega_1 + \omega_2)}}.$$

Hesaplanan  $bic(\omega_1, \omega_2)$  ifadesi, Gauss dağılımlar için  $\chi^2$  dağılımı gösterir, ve tablolanmış karakteristiklerle karşılaştırılabilir [10].

### 2.1 Kullanılan Gauss Testi

Gerçek simetrik Gauss dağılımlı süreçlerde *kayıklık* (skewness), ve dolayısıyla da 3. momentin kendisi ve Fourier dönüşümü (trispectrum) sıfırdır. Buna benzer bir şekilde, 4. moment, ve bu momentten üretilen *savruluk* (kurtosis) değeri de, Gauss sinyaller



Şekil 2: Asenkron motorun çalıştırılması anında oluşan gerilim azalmasının ADD ve istatistiksel analizi

için sıfırdır. Bu çalışmada, Gauss dağılımına yakınlık testi olarak kayıklık ve savruluk değerlerinin büyüklükleri kullanılmıştır. Literatürde geçtiği şekliyle  $skewness = (C_{3x}(0,0)) / (C_{2x}(0)^{1.5})$

olarak tanımlanabilir. Diğer parametre ise

$$kurtosis = (C_{4x}(0,0,0)) / (C_{2x}(0)^2)$$

olarak verilir [10]. Ancak savruluk tanımındaki önyargı (bias) miktarını engellemek için ifadeden 3 çıkarılmalıdır. Her iki ifadenin,  $N$  uzunluğunda örnek veri olan  $x[i]$ 'den çıkarılmış yaklaşık değerleri şu şekilde hesaplanabilir:

$$\hat{s} = \frac{\sum_{i=1}^N (x[i] - \hat{m}_x)^3}{(N-1)\hat{\sigma}^3}$$

$$\hat{k} = \frac{\sum_{i=1}^N (x[i] - \hat{m}_x)^4}{(N-1)\hat{\sigma}^4} - 3$$

Kayıklık ve savruluk kullanarak Gauss dağılım testi yardımı ile anormallik tespiti, pek çok farklı disiplinde başarı ile kullanılmıştır [11,12]. Yukarıda bahsedilen argümanlar ışığında, herhangi bir bozulma anında istatistiksel olarak sinyalin Gauss dağılımdan sapması beklenmektedir. Bu da hem kayıklık, hem de savruluk değerlerinin büyümesine neden olacaktır. Bu çalışmada, deneysel bir alçak gerilim enerji dağıtım sistemi kullanarak laboratuvar ortamında üretilmiş çok sayıda normal ve hata içeren akım/gerilim sinyali, bölgesel pencereler içerisinde kayıklık ve savruluk hesaplamasına tabi tutulmuştur. Ayrık dalgacık dönüşümünün başarımının ve önerilen yöntemin etkinliğinin karşılaştırılması bakımından

Şekil 2 de bir asenkron motorun çalıştırılması anında ortaya çıkan gerilim azalmasının Daubechies – 4 ADD analizi ve 50 Hz bant durdurucu süzgeçten geçirilmiş gerilim dalga şeklinden elde edilen istatistiksel parametreler birlikte verilmiştir. Bu GK olayında da gerilimin genliğindeki rms azalma yaklaşık %6 oranında olmasına karşın uygulanan dalgacık dönüşümünün hiç bir seviyesinde (Level 1 – 4) eşik değer uygulanabilecek bir enerji artışı yada azalışı gözlemlenmemiştir. Bununla beraber 2 periyot uzunluğunda seçilen kayan bir pencere süresince hesaplanan yerel istatistiksel parametreler gerilim azalması olayını genliklerindeki belirgin değişimlerle belirlemekte ve zaman içindeki anı da tespit etmektedirler. Yerel istatistiksel parametrelerin genliklerindeki değişimler olayın belirlenmesi ve sınıflandırılması için bir eşik değer kullanılmasına uygundur. Benzer analizler diğer Daubechies dalgacık dönüşümü türleriyle yapıldığı gibi farklı genel amaçlı dalgacık dönüşümleri olan Coiflets, Symlets ve Meyer kullanılarak da yapılmış ve Şekil 2 de sunulana benzer başarımlar elde edilmiştir. Her bir dalgacık ailesi için burada ele alınan GK olayları incelendiğinde varılan sonuç yerel istatistiksel parametrelerin belirleme ve sınıflandırma başarımlarının daha üstün olduğudur. Ayrıca gerçek bir asenkron motorun çalıştırılması sırasındaki gerilim azalmalarının analizlerine ek olarak [8] de belirtilen GK bozucusu cihazı kullanılarak deneyler de yapılmıştır. Güç kalitesi bozucu cihaz gerilim azalması yada artışı üretecek şekilde ayarlandıktan sonra olayın başlangıcı anında tetikleme yapmakta ve bunun sonucunda dalga şeklinde yüksek – frekans bileşenleri oluşmaktadır. Ancak bu cihazla gerilimin sıfır geçişinin  $\pm 10^\circ$  civarında yapılan gerilim azalması testlerinin sonuçları ADD ile incelendiğinde

yine hata belirleme ve sınıflandırma başarımının düşük olduğu gözlemlenmiştir.

### 3. SONUÇ

Literatürdeki GK olaylarının belirlenmesi ve sınıflandırılması için ayrık dalgacık dönüşümünün kullanıldığı çoğu çalışmada olayların başlangıç ve bitişlerindeki yüksek frekans bileşenlerinin ayrıştırma katsayılarında tesadüfen oluşturduğu genlik artışı bir parametre olarak kullanılmıştır. Oysa bu çalışmada ele alınanlar gibi yüksek frekans bileşenleri oluşturmayan GK olaylarının belirlenmesinde ADD'nin başarımı oldukça düşüktür. Önerilen alternatif yöntem olan yerel istatistiksel parametrelerin kullanımı daha etkin olarak GK olaylarını belirlemektedir. Bu durum ileriye dönük çalışmalar açısından sadece GK olaylarını belirlemek ve sınıflandırmak amacıyla yeni süzgeç sistemlerinin ve dalgacık dönüşümlerinin tasarımını gerektirmektedir.

### KAYNAKLAR

- [1] Wael R, Ibrahim A, and Morcos M. M., Artificial Intelligence and Advanced Mathematical Tools for Power Quality Applications: A Survey, IEEE TRANS. POWER DELIVERY Vol. 17, No. 2, April 2002.
- [2] Wang M and Mamishev A. V., Classification of Power Quality Events Using Optimal Time-Frequency Representations--Part 1: Theory, IEEE TRANS. POWER DELIVERY, Vol. 19, No. 3, July 2004.
- [3] Yang H. T., and Liao C. C., A De-Noising Scheme for Enhancing Wavelet-Based Power Quality Monitoring System, IEEE TRANS. POWER DELIVERY, Vol. 19, No. 1, January 2004.
- [4] Youssef A. M., Abdel-Galil T. K., El-Saadany E. F., and Salama M. A., Disturbance Classification Utilizing Dynamic Time Warping Classifier, IEEE TRANS. POWER DELIVERY, Vol. 16, No. 3, July 2001.
- [5] Akansu A. N., and Haddad R. A Multiresolution Signal Decomposition, 2nd Edition, Academic Press, 2001.
- [6] Daubechies I, Orthonormal Bases of Compactly Supported Wavelets, Communications on Pure and Applied Math., Vol. XLI, pp. 909-996, 1988.
- [7] Chen S, Feature selection for identification and classification of power quality disturbances, IEEE POWER ENGINEERING SOCIETY GENERAL MEETING Vol. 3, pp.2301 - 2306, 12-16 June 2005.
- [8] Power Standards Lab, 1201 Marina Village Parkway 101, Alameda, California 94501 U.S.A.
- [9] M. J. Hinich, Testing for Gaussianity and linearity of a stationary time series, JOURNAL of TIME SERIES ANALYSIS, Vol. 3, pp.169-176, 1982.
- [10] C. L. Nikias, A. Petropulu, *Higher Order Statistical Analysis*, Prentice Hall, 1994.
- [11] A. M. Zoubir, D. R. Iskander, Bootstrapping bispectra: an application to testing for departure from gaussianity of stationary signals, IEEE TRANS. on SIGNAL PROCESSING, Vol. 47, No. 3, pp. 880-884, March 1999.
- [12] M. N. Gürçan, Y. Yardımcı, A. E. Çetin, R. Ansari, Detection of microcalcifications in mammograms using higher order statistics, IEEE SIGNAL PROCESSING LETTERS, Vol. 4, . 8, pp.213-216, August 1997.