

Güç Sistemlerindeki Dalga Şekli Bozukluklarının Tespiti

Detection of The Waveform Disturbances in Power Systems

Sertaç BAYHAN ve Derya YILMAZ

Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu
Başkent Üniversitesi
serbay@baskent.edu.tr, derya@baskent.edu.tr

Özet

Enerji kalitesi ve enerji kalitesini etkileyen faktörler son yıllarda önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Bu çalışmada güç sistemlerindeki akım ve gerilim dalga şekillerindeki bozukluklar, ayrık dalgacık dönüşümü yardımıyla tespit edilmeye çalışılmıştır. Harmonikler, çentik etkisi, gürültü, anlık olaylar gibi akım ve gerilimde meydana gelen dalga şekli bozuklukları Matlab&Simulink ortamında tasarlanan çeşitli güç sistemleri üzerinde benzetim tekniği ile elde edilmiştir. Tasarlanan benzetim sistemleri yardımıyla elde edilen akım ve gerilim dalga şekilleri sabit diskte saklanmıştır. Matlab ortamında hazırlanan yazılım yardımıyla dalga şekli bozukluklarının türüne göre 2 veya 3 seviyede db4 dalgacığı ile ayrıştırılarak, analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları, ayrık dalgacık dönüşümünün güç sistemlerinde meydana gelen akım ve gerilim dalga şekli bozukluklarının tespiti için yararlı sonuçlar üreten bir metod olduğunu göstermektedir.

Abstract

The power quality and the factors affected to the power quality is an important research area nowadays. In this study the disturbances of current and voltage waveforms have been detected by using the discrete wavelet transform. The disturbances of current and voltage waveforms such as harmonics, notches, noise and instantaneous events have been obtained by simulation technique from various power systems designed at Matlab&Simulink. The current and voltage waveforms data occurred by using the simulated systems have been saved in hard disk. This data have been analyzed by using a Matlab. In this analysis 2 or 3 decomposition levels and db4 wavelet have been used. The analysis results show that the discrete wavelet transform is useful method for detection of current and voltage waveform disturbances in power systems.

1. Giriş

Enerji kalitesi kavramı hem elektrik enerjisi üreticileri hem de tüketicileri açısından önemli bir konudur. Enerji kalitesi problemlerinden biri olan dalga şekli bozukluğu temel frekanstaki gerilim veya akımın tam sinüsoidalden uzaklaşması olarak tanımlanabileceği gibi dalga şekli üzerinde istenmeyen gürültülerin bulunması olarak ta tanımlanmaktadır. Dalga şeklinin sinüsoidalden uzaklaşması,

doğrusal olmayan yüklerin elektrik iletim sisteminden çektikleri akımın sinüsoidal olmamasından kaynaklanmaktadır. Son yıllarda modern ve hassas yüklerin üretim ve tüketim süreçlerinde kullanımının artmasına paralel olarak, dalga şeklinde yaşanan bu bozulmaların sistemler üzerindeki etkisi artmıştır. Harmonikler, çentik etkisi, gerilim azalması, gerilim yükselmesi, kesintiler ve darbesel olaylar güç sistemlerinde yaşanan enerji kalitesi bozukluklarına örnek olarak gösterilebilir ve bunlar özellikle hassas yüklerin arızalanmasına, transformatör ve motorlar üzerindeki enerji kayıplarının artmasına ve devre koruma elemanlarının yanlış çalışmasına neden olmaktadır. Gerekli önlemler alınmadan önce, bu tür bozulmaların kaynakları ve sebepleri belirlenmelidir. Özellikle bozulmanın türü doğru şekilde sınıflandırılırsa bozulmanın etkileri tanımlanabilir, bozulmanın kaynağı analiz edilebilir ve böylece uygun çözüm yöntemleri geliştirilebilir.

İşaret işleme yöntemlerindeki gelişmelere paralel olarak, enerji kalitesi bozulmalarının tespitinde farklı yöntemler önerilmektedir [1-4]. Bu yöntemlerden hızlı Fourier dönüşümü ve ayrık Fourier dönüşümü bazı çalışmalarda harmoniklerin analizi için önerilirken [5-9], özellikle son yıllarda dalgacık dönüşümü birçok enerji kalitesi probleminin analizi için yeni bir zaman-frekans dönüşüm yöntemi olarak önerilmiştir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde dalgacık dönüşümü: güç sistemlerinde yaşanan geçici olayların tespitinde [10], enerji kalitesi bozulmalarının eşzamanlı tespiti için hazırlanan yazılımlarda [11], enerji kalitesi bozulmalarının tespiti ve sınıflandırılmasında [12-14], güç sistemlerinde meydana gelen harmoniklerin analizinde [15-17] ve güç sistemlerinde meydana gelen fliker olayının analizinde [18] kullanılmaktadır.

Gerçekleştirilen bu çalışmada, güç sistemlerinde meydana gelen anlık olaylar, çentik etkisi, harmonikler ve gürültü gibi dalga şekli bozuklukları dalgacık dönüşüm yöntemi yardımıyla tespit edilmiştir. Akım ve gerilim dalga şekillerindeki bozukluklar (harmonikler, çentik etkisi, gürültü, darbesel olaylar), Matlab&Simulink ortamında tasarlanan çeşitli güç sistemleri üzerinde benzetim tekniği ile elde edilmiştir. Tasarlanan benzetim sistemleri yardımıyla elde edilen akım ve gerilim dalga şekilleri sabit diskte saklanmıştır. Daha sonra Matlab ortamında hazırlanan yazılım yardımıyla dalga şekli bozukluklarının analizleri 2 veya 3 seviyeli ayrıştırma ve db4 dalgacığı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına bakıldığında, dalgacık dönüşümü

yönteminin güç sistemlerinde meydana gelen dalga şekli bozukluğunun tespitinde başarılı olduğu görülmektedir.

2. Dalgacık Dönüşümü

Fourier dönüşümü zaman içinde durağan kabul edilen işaretlerin analizleri için uygunken, Dalgacık dönüşümü, durağan olmayan işaretlerin analizinde kullanılan ve bir işareti farklı ölçeklerdeki çözünürlük seviyelerinde tek bir fonksiyona genişleterek ayırtan, önemli bir matematiksel yöntemdir [19]. Fourier dönüşümü bir işaretin harmonik bileşenleri hakkında bilgi verirken herhangi bir zaman bilgisi içermemektedir. Dolayısıyla herhangi bir anda meydana gelen özel durumları gözlemlemek mümkün değildir [20]. Dalgacık dönüşümünde ise verilen bir işaretin aynı anda hem zaman hem de frekans bilgisi elde edilmekte ve bunun sonucu olarak frekansı zamanla değişen sistemlerin analizi ve geçici durum analizleri oldukça hassas bir şekilde yapılmaktadır. Bu nedenle dalgacık dönüşümünün enerji kalitesindeki bozulmaları belirleyebilme ve onlara ait özellikleri çıkarmada önemli üstünlükleri vardır [10-18].

Dalgacık dönüşümü sürekli ve ayrık olmak üzere iki farklı şekilde incelenebilir. Sürekli dalgacık dönüşümünün, hesaplamada bütün ölçekleri kullandığından, hesaplama zamanı büyümektedir. Ayrık dalgacık dönüşümünde ise bütün ölçekler yerine ayrık zaman aralıkları ve ölçekleri için dalgacık katsayıları hesaplanmakta, bu sayede sürekli dalgacık dönüşümüne göre daha az zaman harcanmaktadır. Buna karşın detay kaybı fazla değildir. Bu nedenle ayrık dalgacık dönüşümü tercih edilmektedir.

Verilen bir $f(t)$ işaretinin K seviye ayrık dalgacık dönüşümü, hem ölçek hem de dalgacık fonksiyonu terimleriyle aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

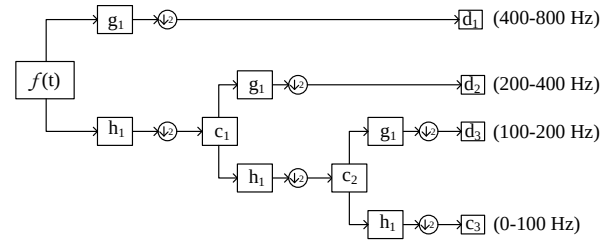
$$f(t) = \sum_n c_K(n) \varphi(t - n) + \sum_n \sum_{k=0}^{K-1} d_k(n) 2^{k/2} \psi(2^k t - n) \quad (1)$$

Burada c_K , K seviye ölçekleme katsayısını, d_k , k seviye dalgacık katsayısını, $\varphi(t)$, ölçek fonksiyonunu, $\psi(t)$ dalgacık fonksiyonunu, K dalgacık dönüşümünün en yüksek seviyesini ve t zamanı temsil etmektedir. Ölçek fonksiyonu ve dalgacık fonksiyonu, çok çözünürlük ayrışımında farklı çözünürlük seviyelerinde işareti ayırtmak için kullanılmaktadır. Ayırılmış işaretin dalgacık fonksiyonu detay katsayılarını (d_k), ölçek fonksiyonu ise yaklaşım katsayılarını (c_k) oluşturmaktadır.

$$c_{k+1}(n) = \sum_m h(m - 2n) c_k(n) \quad (2)$$

$$d_{k+1}(n) = \sum_m g(m - 2n) c_k(n) \quad (3)$$

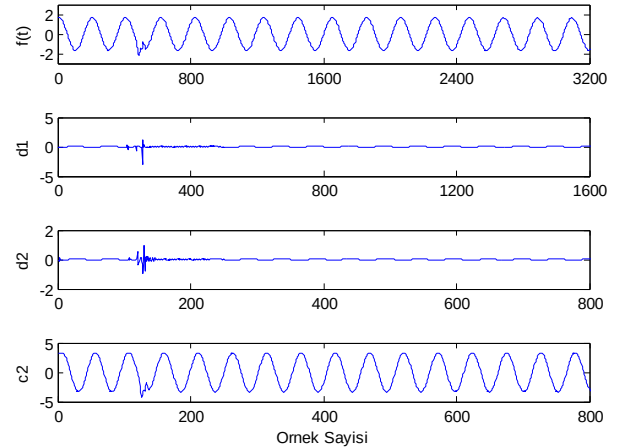
Burada h ve g sırasıyla alçak geçiren ve yüksek geçiren filtrelerin filtre katsayılarıdır. Şekil 1 bu çalışmada kullanılmış olan 3 seviyeli çok çözünürlük ayrışımını göstermektedir. Burada c_3 , en düşük frekans bandının yaklaşım katsayısını ve d_1 - d_3 ise yüksek frekans bantlarının detay katsayılarını temsil etmektedir. İşaretin bu şekilde farklı ölçeklere ayrılması ile her frekans bandı ayrı bir şekilde analiz edilebilmektedir. Ayrıca ayrık dalgacık dönüşümü sonucunda elde edilen yaklaşım ve detay katsayıları, yeniden birleştirilerek ana işaret elde edilebilmektedir. Bu işlem ters dalgacık dönüşümü olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 1: Üç seviyeli çok çözünürlük ayrışımı

3. Benzetim Çalışmaları

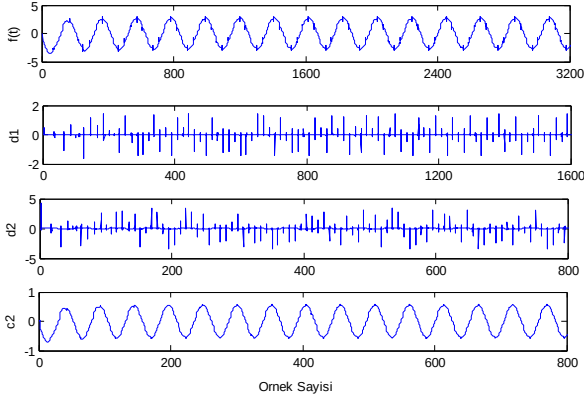
Gerçekleştirilen benzetim uygulamasında Matlab&Simulink ortamında değişik elektriksel sistemler benzetim tekniği ile oluşturulmuş ve bu sistemler üzerinde çeşitli dalga şekli bozuklukları meydana getirilmiştir. Dalga şekli bozukluğu meydana getirilen akım ve gerilim dalga şekilleri sabit diske kaydedilmiş ve Matlab yardımıyla analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen işaretlerin örnekleme frekansı 1.6 kHz ve benzetim süresi 2 sn olarak belirlenmiştir. Dalga şekli bozukluklarının, türüne göre 2 veya 3 seviyede db4 dalgacığı ile ayrıştırılarak, analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de kısa süreli bir kapasitör bankının anahtarlanması sonucu oluşan dalga şekli bozukluğu görülmektedir. Orijinal işaret için örnek sayısının beş yüze yaklaştığı bir anda meydana gelen bozulma db4 dalgacığı kullanılarak iki seviyede ayrıştırılmış ve o andaki bozulma d_1 ve d_2 detay katsayılarında rahatlıkla görülmüştür.



Şekil 2: Bir kapasitör bankının anahtarlanması sonucu meydana gelen dalga şekli bozukluğu ve ayrık dalgacık dönüşümü sonuçları

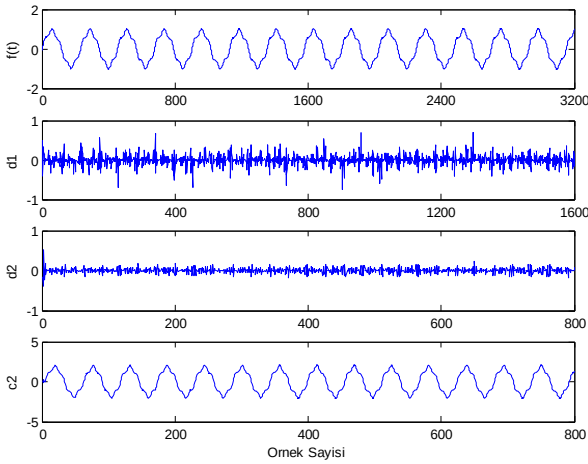
Burada meydana gelen bozulma orijinal işarete de fark edilmektedir. Ancak enerji kalitesi uygulamalarında yapılan ölçüm ve analizlerin güvenilir olması, kullanılan ölçüm cihazlarının ve analiz yönteminin kaliteli ve doğru olmasının yanında, ölçüm ve analiz sürecini de gerektirmektedir. Bu nedenle, ölçüm yapılan sistem sürekli olarak gözlem altında tutulduğu için enerji kalitesi uygulamalarında kaydedilen veriler büyük boyutlarda olmaktadır. Kaydedilen verinin büyük boyutlu olması meydana gelen bu bozulmaların orijinal işaret üzerinden göz ile takibini zorlaştırmaktadır. Ayrık dalgacık dönüşümü kullanılarak, gerçek zamanda yapılan uygulamalarda da dalga şeklinde yaşanan bu bozulmalar anlık olarak rahatlıkla tespit edilebilir.

Şekil 3'te benzetim tekniği ile elde edilen üç faz altı darbeleri bir doğrultucunun şebeke gerilimi üzerindeki çentik etkisi görülmektedir. Bu işaret db4 dalgacı kullanılarak iki seviyede ayrıştırılmıştır. İşaretin d_1 ve d_2 detay katsayıları, çentik etkisi sebebiyle oluşan bu yüksek frekanslı bozulmaları rahatlıkla tespit edebilmektedir. Burada iki seviye kullanılmakla birlikte, tek seviyeli ayrıştırmanın da bu tür bozulmaların tespitinde yeterli olacağı görülmektedir.



Şekil 3: Üç faz altı darbeleri doğrultucunun şebeke gerilimi üzerindeki etkisi ve ayrık dalgacık dönüşümü sonuçları

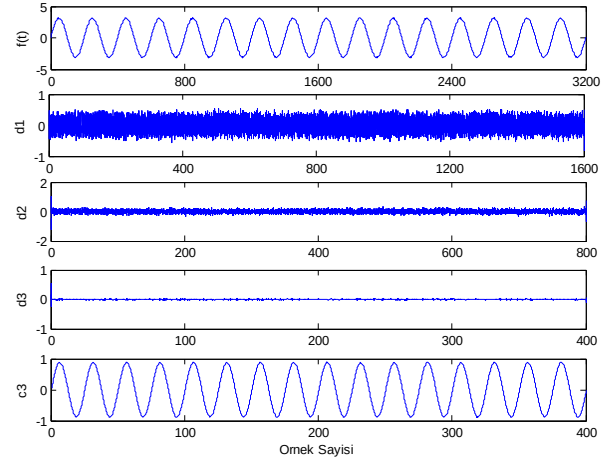
Şekil 4'te bir fazlı, doğrusal olmayan bir güç sisteminin benzetimi sonucu elde edilen gerilim dalga şekli görülmektedir. Gerilim dalga şeklinin, temel bileşen ile harmonik bileşenlerin toplamından oluştuğu görülmektedir. Bunun sonucunda gerilim dalga şekli tam sinüsoidalden uzaklaşmıştır. Harmonikler orijinal işaretin tam katı frekansa sahip işaret bileşenleridir ve değişik frekanslara sahiptirler. Burada yapılan 2 seviyeli ayrıştırma ile sadece harmoniklerin güç sistemlerindeki varlığı tespit edilmiştir. Eğer bir güç sisteminde harmoniklerin ölçümü gerçekleştirilecekse daha çok seviyeli ayrıştırma tercih edilmelidir ki farklı frekanslara sahip harmonik bileşenleri elde edilebilsin.



Şekil 4: Bir fazlı doğrusal olmayan güç sistemindeki gerilim dalga şekli ve ayrık dalgacık dönüşümü sonuçları

Şekil 5'te gürültü bindirilmiş bir gerilim dalga şekli görülmektedir. Bu dalga şekli db4 dalgacı kullanılarak üç

seviyede ayrıştırılmış ve orijinal işaret üzerindeki gürültüler tespit edilmiştir.



Şekil 5: Gürültü bindirilmiş gerilim dalga şekli ve ayrık dalgacık dönüşümü sonuçları

Dalgacık analizi yalnızca gürültünün varlığını belirlemekle kalmaz, istenirse gürültüyü bastırmak amacıyla da kullanılabilir. Gürültü çok geniş bir frekans spektrumuna sahiptir. Gürültü bastırma amacıyla yapılmış olan birçok dalgacık uygulamasında işaretin birinci detay katsayısı (d_1) işaretten çıkarılarak gürültüyü gösteren yüksek frekanslı kısım kaldırılmış olur. Şekil 5'te işaretin birinci detay katsayısı (d_1) işaret üzerindeki gürültünün neredeyse tamamını oluşturmaktadır. Daha düşük frekans bantlarındaki gürültü ise (d_2 , d_3) daha düşük genlikli olarak yer almaktadır. Buradaki uygulamada işaret üzerindeki gürültünün varlığının tespiti amaçlanmıştır. Eğer kaynağı belli olan, belirli bir frekansa sahip bir gürültü bileşeni araştırılacak olunursa, ayrıştırma seviyesi ilgilenilen frekansın bulunduğu aralığın elde edilmesini sağlayacak şekilde artırılabilir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, bir güç sistemindeki anlık olaylar, harmonikler, çentik etkisi ve gürültü bozulmalarına sahip akım ve gerilim dalga şekilleri benzetim yoluyla elde edilerek, dalgacık dönüşümü ile incelenmiştir. Tüm bu bozulmalar kolaylıkla tespit edilebilmiştir. Çalışmanın sonuçları dalgacık dönüşümünün zaman ve frekans bilgisini bir arada vermesi, yazılımının oluşturulmasında sağladığı kolaylıklar sebebiyle güç sistemlerindeki bozulmaların tespitinde kullanılmasının yararlı olacağını göstermiştir. Bu analize ait sonuçlar özellikle uzun süreli kayıtların alındığı, enerji kalitesinin belirlenmesine yönelik ölçümlerin yapıldığı sistemlerde dalgacık dönüşümünün kullanılabileceğini göstermektedir. Çalışma gerçek bir güç sisteminden elde edilecek gerilim ve akım dalga şekli bozuklukları üzerine de uygulanmalı ve başarısı değerlendirilmelidir.

5. Kaynaklar

- [1] Poisson, O., Rioual, P., Meunier, M. "New Signal Processing Tools Applied to Power Quality Analysis", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.14, No.2, P.561-566, 1999

- [2] Vega, Y.T., Roig, F.V., Segundo, H., "Evolution of Signal Processing Techniques in Power Quality", *9th International Conference Electrical Power Quality and Utilisation*, 2007, P.1-5
- [3] Katsaprakakis, D., Christakis D., Zervos, A., Voutsinas, S., "A Power-Quality Measure", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.23, No.2, P.553-561, 2008
- [4] Shin, Y., Powers, E., Grady, M., Arapostathis, A., "Power Quality Indices for Transient Disturbances", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.21, No.1, P.253-261, 2006
- [5] Boyrazoğlu, B., Ünsar, Ö., Polat, B., "Elektrik İletim Sisteminde Akım ve Gerilimdeki Harmonik Bileşenlerin Gerçek Zamanlı Ölçülmesi", *II.Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, 2007, S.453-457
- [6] Haliloğlu, B., Buhan, S., Boyrazoğlu, B., "Elektrik İletim Sisteminde Güç Kalitesi Bozulmalarının Tespiti ve Ölçülmesi", *II.Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, 2007, S.334-339
- [7] Lin, H., "Remote Power System Harmonics Measurement and Monitor via the Internet", *IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems*, 2004, P.474-479,
- [8] Lin, H., "An Internet-Based Graphical Programming Tool for Teaching Power System Harmonic Measurement", *IEEE Transactions on Education*, Vol.49, No.3, P.404-414, 2006
- [9] Sutherland, P., "Harmonic Measurements in Industrial Power Systems", *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol 31, No 1, P.175-183, 1995
- [10] Wilkinson W.A., Cox, M.D., "Discrete Wavelet Analysis of Power System Transients", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.11, No.4, P.2038-2044, 1996
- [11] Radil, T., Matz, V., Janeiro, F., Ramos, P., Serra, A., "On-line Detection and Classification of Power Quality Disturbances in a Single-phase Power System", *POWERENG*, 2007, P.713-718
- [12] Hua, L., Yuguo, W., Wei, Z., "Power Quality Disturbances Detection and Classification Using Complex Wavelet Transformation and Artificial Neural Network", *Proceedings of the 26th Chinese Control Conference*, 2007, P.208-212
- [13] Poisson, O., Rioual, P., Meunier, M., "Detection and Measurement of Power Quality Disturbances Using Wavelet Transform", *8th International Conference on Harmonics and Quality of Power*, 1998, P:1125-1130
- [14] Gaouda, A., Salana, M., Sultan, M., Chikhani, A., "Power Quality Detection and Classification Using Wavelet-Multiresolution Signal Decomposition", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 14, No. 4, P.1469-1476, 1999
- [15] Diego, R., Barros J. "A Two-Stage Method for Harmonic Measurement Using the Wavelet-Packet Transform", *Electrotechnical Conference*, 2006, P.1083-1085
- [16] Barros, J., Diego, R., "Analysis of Harmonic in Power Systems Using the Wavelet-Packet Transform", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol.57, No.1, P.63-69, 2008
- [17] Eren, L., Unal, M., Devaney, M., "Harmonic Analysis Via Wavelet Packet Decomposition Using Special Elliptic Half-Band Filters", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 56, No. 6, P.2289-2293, 2007
- [18] Wen, X., Chen, Y., "Measurement of Voltage Fluctuation and Flicker in Electric Power System Based on Wavelet Transform", *Proceedings of the 2007 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition*, 2007, P.1822-1826
- [19] Uyar, M., Yıldırım, S., Gençoğlu, M.T., "Güç Kalitesi Bozulmalarının Sınıflandırılmasında Dalgacık Dönüşümüyle Enerji Dağılımına Dayalı Özelliklerin İncelenmesi", *12. Elektrik, Elektronik, Bilgisayar, Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Kongresi*, 2007, S:596-600,
- [20] Özgenel, O., Önbilgin, G. Kocaman, Ç., "Wavelets and Its Applications of Power System Protection" *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, Sayı:17, No:2, S.77-90, 2004