

# Dalgacık Yaklaşımının Ve Dalgacık Katsayılarından Enerji Yöntemiyle Özellik Çıkarımı Yöntemlerinin Bazı Güç Kalitesi Bozucularının Belirlenmesinde Kullanılması

<sup>1</sup>Çağrı KOCAMAN, <sup>2</sup>Muammer ÖZDEMİR

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

<sup>1</sup>ckocaman@omu.edu.tr, <sup>2</sup>ozdemirm@omu.edu.tr

## Özet

*Bu çalışma iki kısımdan oluşmaktadır. Çalışmanın ilk kısmında, güç kalitesi bozunumu içeren işaretlerin analizi sadece ayrık dalgacık dönüşümü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerilim yükselmesi, gerilim çökmesi, harmonikli gerilim, geçici olay ve kırışma içeren işaret olmak üzere beş farklı bozunum toplam on sekiz dönem sürecek şekilde oluşturulmuştur. Örneklem sıklığı 12.8 kHz olarak alınmıştır. Oluşturulan işaretlerin analizlerinde Daubechies – 4 ayrık dalgacık dönüşümü kullanılmıştır. Yapılan analizlerden bazı bozucuların belirlenmesinde ayrık dalgacık dönüşümünün tatmin edici sonuçlar vermediği görülmüştür. Güç kalitesi bozunumu içeren işaret yüksek sıklıklı bileşen içermiyorsa dalgacık dönüşümünün yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir. Daha sonra dalgacık katsayıları işaretteki önemli bilgileri içerdiğinden bu katsayılar özellik vektörü olarak ele alınmıştır. Farklı çözünürlük seviyelerindeki bozunuma uğramış işaretin enerji dağılım özelliklerini çıkarmak için Parseval Teoremi dalgacık katsayılarına uygulanmıştır. Bu yöntem bozunum içeren işaretlerin asıl özelliklerini kaybetmeden özelliklerinin büyük bir kısmını azalttığı için daha az hesaplama zamanına ve hafıza alanına ihtiyaç duymaktadır. Bu yöntemle oluşturulan beş farklı bozunumun enerji dağılım özelliklerine bakarak görsel olarak birbirinden ayırt edilebileceği gözlemlenmiştir.*

Anahtar sözcükler: Güç kalitesi, dalgacık dönüşümü, enerji dağılım özelliği, Parseval teoremi

## 1.Giriş

Güç kalitesi problemi son yıllarda araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir. [1] Güç kalitesi bozunumları, yüklerde arıza, kararsızlık ve kısa ömür gibi birtakım problemleri beraberinde getirmektedir. [2] Güç kalitesini düzeltmek için gerekli önlemleri almadan önce, bu tür bozucuların kaynakları ve sebepleri bilinmelidir. Eğer bozucular doğru olarak sınıflandırılabilirlerse bozucuların etkileri belirlenebilir ve bozucuların kaynağı analiz edilebilir. Böylece o tür bozunmaya ilişkin önlemler

alınabilir. [3]

Ayrık dalgacık dönüşümü güç kalitesi bozunumu içeren işaretlerin analizinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrık dalgacık dönüşümünün detay katsayıları bozunumların başladığı ve bittiği noktalarda işaretin enerjisinde bir artış gösterecekler ve bu şekilde bozunumun başlayıp bittiği anlaşılacaktır. Ancak bozunumun başlangıcında ve bitişinde herhangi bir yüksek sıklıklı bileşen yoksa ayrık dalgacık dönüşümü bu türden bir olayı belirleyemeyecektir. [4]

Bu çalışmada, MATLAB’ da ilk olarak beş farklı bozunum (gerilim yükselmesi, gerilim çökmesi, harmonik, geçici olay ve kırışma içeren gerilim) oluşturulmuştur. Çalışmanın ilk aşamasında bu bozunumların sadece ayrık dalgacık dönüşümüyle ayrımının yapılıp yapılmadığına bakabilmek amacıyla 3. seviyeden Daubechies-4 ayrık dalgacık fonksiyonu kullanılarak bozunumların analizleri gerçekleştirilmiştir. Hesaplama zamanını kısa tutmak amacıyla sadece 3. seviyeden ayrık dalgacık dönüşümüyle analizler yapılmıştır. Daubechies- 4 fonksiyonu ayrık dalgacık dönüşümüne uygun olduğu ve güç kalitesi bozucularının sınıflandırılmasında yaygın olarak kullanıldığı için seçilmiştir. Gerçekleştirilen analizlerden eğer bozunumlar yüksek sıklıklı bileşenler içermiyorsa elde edilen detay katsayılarından bozunumların olduğu ve bittiği anların tam olarak kestirilemediği görülmüştür. Eğer yüksek sıklıklı bileşenler içeriyorsa bozunumların başlangıç ve bitiş anları kestirilebilmekte ancak bozunumların türü hakkında bilgi elde edilememiştir. Bu nedenle çalışmanın ikinci aşamasında farklı çözünürlük seviyelerindeki bozunuma uğramış işaretin enerji dağılım özelliklerini çıkarmak için Parseval Teoremi dalgacık katsayılarına uygulanmıştır. Oluşturulan bozunumlarındaki örnek sayısı 4096 olduğu için her bir bozunum için ayrışım seviyesi 12 seçilmiştir. Bu yöntemle oluşturulan beş farklı bozunumun enerji dağılım özelliklerine bakarak görsel olarak birbirinden ayırt edilebileceği gözlemlenmiştir.

## 2.Dalgacıklar Ve Güç Kalitesi Uygulamaları

Tanım olarak, bir dalgacık, ortalama değeri sıfır olan ve zamanla sınırlı bir dalga şeklidir. Zaman ekseninde kaydırma ve ölçekleme parametreleri dalgacıkların temelinin oluşturmaktadır. Dalgacık dönüşümü değişik uzunluktaki bölgeleri kapsayan pencereleri içeren yeni bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır. Dalgacık dönüşümü ile her bir zaman aralığında işaretin hem alçak (A) hem de yüksek sıklık bileşenlerini (D) hesaplamak mümkündür.[5]

Dalgacık dönüşümü sürekli ve ayrık dalgacık dönüşümü olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir. Sürekli dalgacık dönüşümünde işaretin tamamına bakıldığı için, ayrık dalgacık dönüşümü bilgisayar analizleri açısından daha az zaman almaktadır. Bu nedenle bu çalışmada ayrık dalgacık dönüşümü kullanılmıştır. Ayrık dalgacık dönüşümünde işaret belli sayıda ölçeklere ayrılır. Her bir ölçek örnekleme sıklığına bağlı olarak belirli sıklık aralığına denk düşmektedir.

Eşitlik (1)'de sürekli dalgacık dönüşümü görülmektedir.

$$W_{(a,b)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \int \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right) f(t) dt \quad (1)$$

Eşitlik (1)'de  $\varphi(t)$  ana dalgacık fonksiyonu,  $a$  ölçek (sıklık) parametresi ve  $b$  de zaman (konum) parametresidir. Yüksek sıklık analizlerinde kısa pencere seçimleri yeterli olup, alçak sıklık analizlerinde ise uzun pencere aralıkları seçilmelidir. Bilgisayar analizleri için eşitlik (2)'de görülen ayrık dalgacık dönüşümü (ADD) kullanılır.

$$Wf(m,n) = 2^{-m/2} \int f(t) \varphi(2^{-m}t - n) dt \quad (2)$$

Eşitlik (2)'de,  $m$  parametresi sıklığı belirler ve  $n$  parametresi ise konumu (zamanı) belirler.

Pratik uygulamalarda dalgacık serileri aşağıdaki gibidir:

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} C_k \phi(t-k) + \sum_{k=-\infty}^{+\infty} d_{j,k} \varphi(2^j t - k) \quad (3)$$

$$\phi(x) = \sqrt{2} \sum_n h_0 \phi(2x - n), \text{ ölçek fonksiyonu}$$

$$\varphi(x) = \sqrt{2} \sum_n h_1 \varphi(2x - n), \text{ dalgacık fonksiyonudur. } h_0$$

ve  $h_1$  ise sırasıyla alçak ve yüksek geçiren süzgeç katsayılarıdır.

### 3. Enerji Yöntemiyle Özellik Çıkarımı

Parseval teoremine göre,  $1/\Omega$  luk direnç üzerinden akan akım ayrık bir  $f \in \mathbb{L}^2$  işareti olarak düşünüldüğünde direncin üzerinde harcanan enerji sıklık bölgesinde Fourier dönüşümünün spektrum katsayılarının karelerinin toplamına eşittir [3].

$$\frac{1}{N} \sum_n |f \in \mathbb{L}^2|^2 = \sum_k |a_k|^2 \quad (4) [2, 3]$$

(4) eşitliğinde  $N$  örnekleme dönemini,  $a_k$  ise Fourier dönüşümünün spektrum katsayılarını göstermektedir [2,

3]. Bu teoremi (4) eşitliğini kullanarak ayrık dalgacık dönüşümüne uyguladığımızda eşitlik (5) elde edilir:

$$\frac{1}{N} \sum_n |f \in \mathbb{L}^2|^2 = \frac{1}{N_j} \sum_k |a_{j,k} \in \mathbb{L}^2|^2 + \sum_{j=1}^J \left( \frac{1}{N_j} \sum_k |d_{j,k} \in \mathbb{L}^2|^2 \right) \quad (5)$$

[2, 3]

Bu denklem ile bozunuma uğramış işaretin enerjisi elde edilmektedir [2]. (5) eşitliğinin sağdaki ilk terim ayrıştırılmış işaretin yaklaşım seviyesini, ikinci terim ise ayrıştırılmış işaretin detay seviyesini belirlemektedir. Bozunuma uğramış işaretin ayrıştırma seviyelerinin enerji dağılımını veren ikinci terim güç kalitesi bozunumlarına ait özellikleri çıkarmak için kullanılacaktır [2, 3]. Bu süreç matematiksel olarak (6) eşitliğiyle açıklanabilmektedir[2]:

$$P_j = \frac{1}{N_j} \sum_k |d_{j,k}|^2 = \frac{\|d_j\|^2}{N_j} \quad (6)$$

(6) eşitliğinde,  $\|d_j\|$ ,  $d_j$  katsayılarının normalize edilmiş halidir. Bu çalışmada da Daubechies-4 dalgacık fonksiyonu kullanılmıştır.

(6) Eşitliği (7) eşitliği yardımıyla normalize edilmektedir.

$$P_j^D = \left( \frac{P_j}{N_j} \right)^{1/2} \quad (7)$$

### 4. Güç Kalitesi Bozunumlarının Dalgacık Yöntemiyle Analizi

MATLAB ortamında ilk olarak gerilim yükselmesi, gerilim çökmesi, harmonikli gerilim, geçici olay içeren gerilim ve kırışmalı gerilim sinüsün sıfır geçiş noktasında oluşturulmuştur. Örnekleme sıklığı 12.8 kHz alınmıştır. Toplam on sekiz dönemlik bir çalışma aralığı kabul edilmiş olup on sekiz dönemin ilk dördü sağlıklı, sonra gelen beş dönem bozunum içeren (gerilim yükselmesi, gerilim çökmesi ve harmonikli işareten herhangi biri), daha sonra gelen dokuz dönem de yine sağlıklı olarak kabul edilmiştir. Oluşturulan gerilim yükselmesinin genliği %120, gerilim çökmesinin genliği %80 olarak alınmıştır ve genliği %40 olan 3. harmonik ve genliği %30 olan 5. harmonik saf sinüse eklenerek belirtilen aralıklarda harmonikli işaret oluşturulmuştur. 1.5 pu' lik 4 kHz sıklığa sahip geçici olay ise, 0.08 ve 0.18' inci sn' lerde iki kez oluşturularak her defasında 30 ms sürdürülmüştür. Genliği %10 olan ve 58 Hz ara harmoniğe sahip kırışma ise saf sinüse iki dönem sonra eklenmiş, on dört dönem sonra çıkarılmıştır.

Şekil 1, 2, 3, 4 ve 5'te oluşturulan bozunumlar ve 3 seviyeli Daubechies-4 dalgacık dönüşümünün analizi sonucunda elde edilen yaklaşım ve detay katsayılarının sonuçları verilmiştir. Şekillerdeki a3 analiz edilen gerilim dalga şekillerinin yaklaşık olarak kendisini ve d1-d3 detay katsayılarını göstermekte, yatay eksen ise sn cinsinden zaman olarak verilmektedir.

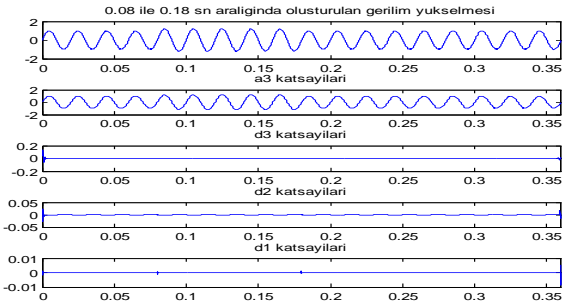
Bilindiği gibi gerilim yükselmesi ve gerilim çökmesinin başlangıçlarında yüksek sıklık bileşenleri yoktur. Şekil 1 ve şekil 2' den görüleceği gibi d3 ve d2 katsayılarında

değişim olmamaktadır. d1 katsayılarında olayın başladığı ve bittiği noktalarda çok az bir artış olmuştur. Bozunumun başladığı ve bittiği noktalar kestirilebilmekte ancak bozunumun türü hakkında bir bilgi alamamaktayız. Ayrıca d katsayılarındaki artış miktarı çok az olduğu için bozunumun olduğu ve bittiği andaki yükselme değeri eşik değeri olarak kullanılamamaktadır.

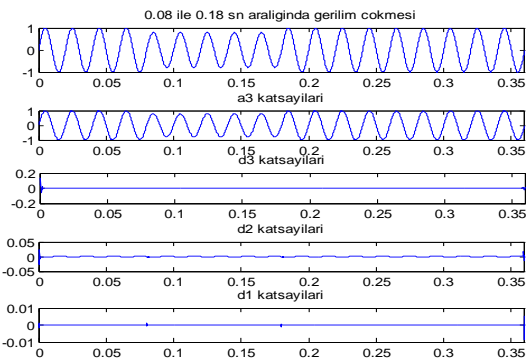
Yine şekil 5' den kırışmalı işaret alçak sıklıklı (8 Hz) bileşen içerdiğinden detay katsayıları ayırt edici özellik taşımamaktadır.

Şekil 3 ve şekil 4'e baktığımızda ise harmonik içeren işaret ve geçici olay içeren işaret yüksek sıklıklı bileşenler içerdiğinden d1-d2-d3 katsayılarından bozunumun başladığı ve bittiği anlar görülebilmektedir.

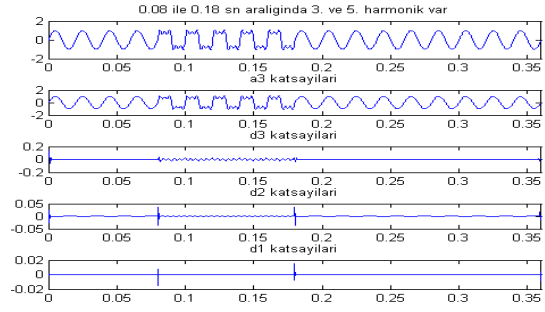
Ancak bozucunun tipine sadece ayrı dalgacık dönüşümü ile karar verilememektedir. Kullanılan düşük seviyeli dalgacık dönüşümleri ile bozucuların ayırt edilmesi sağlanamadığı için çalışmanın diğer aşamasında bozunumların sınıflandırılması için dalgacık dönüşümüyle elde edilen detay katsayılarının enerjilerine bakılarak bozucular birbirinden ayırt edilmeye çalışılmıştır.



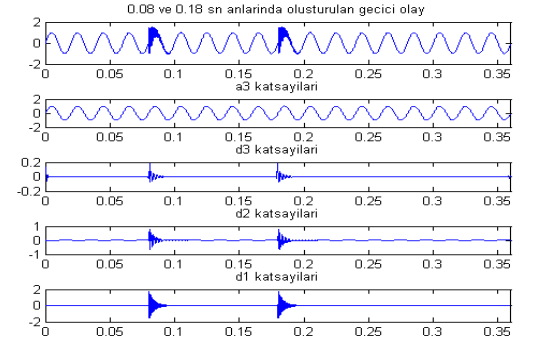
Şekil 1: Benzetimi yapılan gerilim yükselmesi içeren işaret ve ayrı dalgacık dönüşümü analizi



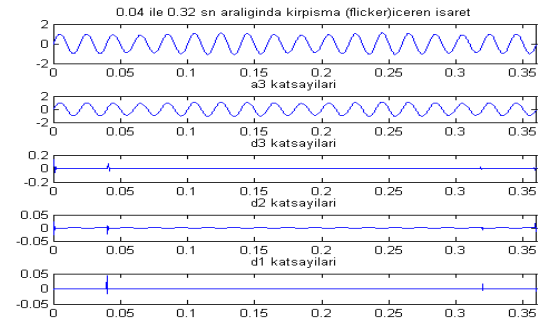
Şekil 2: Benzetimi yapılan gerilim çökmesi içeren işaret ve ayrı dalgacık dönüşümü analizi



Şekil 3: Benzetimi yapılan harmonikli gerilim içeren işaret ve ayrı dalgacık dönüşümü analizi



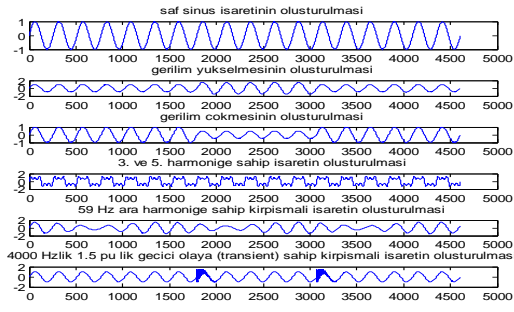
Şekil 4: Benzetimi yapılan geçici olay içeren işaret ve ayrı dalgacık dönüşümü analizi



Şekil 5: Benzetimi yapılan kırışma içeren işaret ve ayrı dalgacık dönüşümü analizi

## 5. Güç Kalitesi Bozucularının Enerji Yöntemiyle Özellik Çıkarımı

Farklı tipteki güç kalitesi bozucularını sınıflandırabilmek amacıyla referans olarak alınan normal sinüs gerilimi, gerilim yükselmesi, gerilim çökmesi, harmonikli gerilim, kırışma içeren gerilim ve geçici olay (transient) içeren gerilim dalga şekilleri MATLAB' da oluşturulmuşlardır. Oluşturulan bozunumlara ait dalga şekilleri ise şekil 6' da verilmiştir. Her bir işaretin örnekleme sıklığı 12.8 kHz ve 18 dönem olarak oluşturulmuştur. Her bir bozunum işareti 12 seviye olarak Daubechies-4 ayrı dalgacık süzgeci ile ayrıştırılarak 7 eşitliğindeki detay katsayılarına ait enerji dağılımları elde edilmiştir.



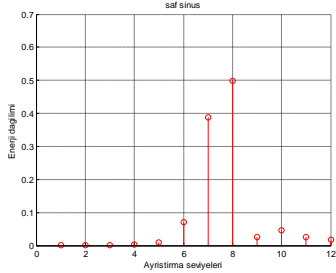
**Şekil 6:** Benzetimi yapılan güç kalitesi bozucularının dalga şekilleri

Dalgacık dönüşümünün çok çözünürlük ayrışımındaki sıklık bantlarının aralıkları Çizelge 1’de verilmektedir.

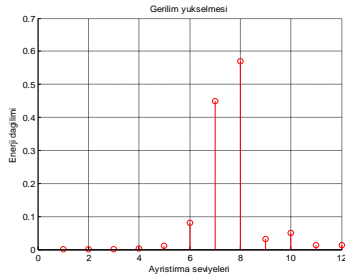
**Çizelge 1:** Çok çözünürlük ayrışımındaki sıklık bant aralıkları

Ayrıştırma	Sıklık Aralığı
d1	3200-6400
d2	1600-3200
d3	800-1600
d4	400-800
d5	200-400
d6	100-200
d7	50-100
d8	25-50
d9	12.5-25
d10	6.25-12.5
d11	3.125-6.25
d12	1.5625-3.125
a12	0-1.5625

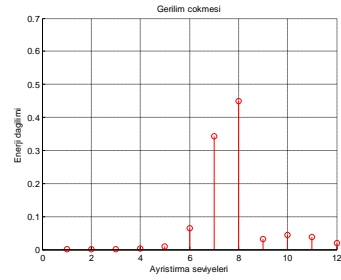
Şekil 8-12, güç kalitesi bozunumu içeren işaretlerin enerji dağılım özelliklerini göstermektedir ve hiç bozunum olmayan durumla kıyaslama yapılabilmesi için saf sinüs işaretinin de enerji dağılım özelliği Şekil 7’de elde edilmiştir.



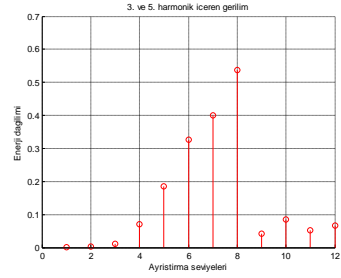
**Şekil 7:** Saf sinüs geriliminin detay katsayılarına ait enerji dağılımı



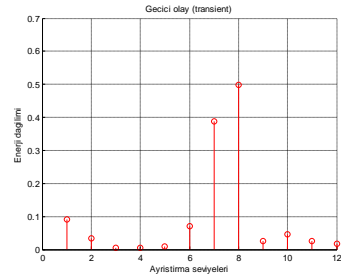
**Şekil 8:** Gerilim yükselmesi işaretinin detay katsayılarına ait enerji dağılımı



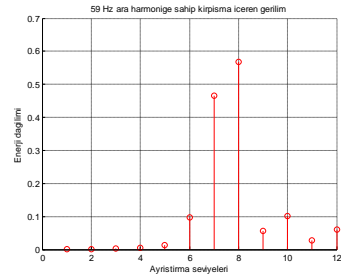
**Şekil 9:** Gerilim çökmesi işaretinin detay katsayılarına ait enerji dağılımı



**Şekil 10:** 3. ve 5. harmoniğe sahip gerilim işaretinin detay katsayılarına ait enerji dağılımı



**Şekil 11:** 4000 Hz, 1.5 pu ‘lık geçici olay içeren gerilim işaretinin detay katsayılarına ait enerji dağılımı



**Şekil 12:** 59 Hz ara harmoniğe sahip kırışma içeren gerilim işaretinin detay katsayılarına ait enerji dağılımı

Her bir bozunum için elde etmiş olduğumuz bu enerji dağılımı grafiklerine baktığımızda, gerilim çökmesi ve gerilim yükselmesi işaretlerinin sıklığında herhangi bir değişim olmadığı için, Çizelge 1’ e göre temel sıklık bileşenine yakın seviye değeri olan 7. ve 8. seviyelerde enerji değerleri değişmiştir. Referans işaret olarak aldığımız 50 Hz, 1 pu’ luk saf sinüs işaretinin enerji dağılımı ile karşılaştırıldıklarında çökme işaretinin özellikle 7. ve 8. seviye değerindeki belirgin azalış, yükselme

işaretinin 7. ve 8. seviyesinde ise belirgin bir artış gözlenmiştir.

İçerisinde 3. ve 5. harmonik bileşenini bulunduran harmonikli gerilim işaretinin enerji dağılımı incelendiğinde, bu gerilim işaretinde yüksek sıklıklı bileşenler bulunduğu için temel sıklığa yakın enerji seviyelerindeki artışın yanında, 4., 5. ve 6. seviyelerdeki enerji dağılımında da bir farklılık görülmektedir. Çizelge 1' e göre özellikle 5. ve 6. seviyedeki artış oluşturulan işaretin içerisinde 3. ve 5. harmonik bileşenlerinin bulunmasından ileri gelmektedir.

59 Hz ara harmonik içeren kırpışmalı işarete ise 9 Hz ' lik kırpışma sıklığı bulunduğu için özellikle 10. seviyedeki artış ayırt edici bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca işaret 59 Hz'lik ara harmonik içerdiğinden dolayı saf sinüsün enerji dağılımıyla karşılaştırıldığında 7. seviyesindeki artış göze çarpmaktadır. Ancak kırpışmalı işaretin 10. seviyesindeki artış, 3. ve 5. harmonik içeren işaretin 10. seviyesindeki artış miktarı kadardır. Kırpışmalı ve harmonikli işaret içeren iki işaretin enerji dağılımlarındaki fark ise harmonikli gerilimler yüksek sıklık içerdiğinden harmonikli gerilimde 4., 5. ve 6. seviyelerdeki artış kırpışmalı işarete yüksek sıklık olmadığından kırpışmalı işarete gözlemlenememektedir. 4 kHz' lik geçici olaya ait enerji dağılımı incelendiğinde ise yüksek sıklık bileşen aralığını ifade eden özellikle d1 ve d2 katsayılarındaki belirgin artış göze çarpmaktadır.

## 6. Sonuçlar

Kullanılan genel amaçlı dalgacık tiplerinin güç kalitesi bozucularının bazı türlerinde beklenildiği kadar başarılı olmadıkları görülmektedir. Bu çalışmada incelenen gerilim yükselmesi, gerilim çökmesi ve kırpışmalı gerilim alçak sıklıklı bileşenler içerdiğinden ayrık dalgacık dönüşümü bu olayların belirlenmesinde başarısız olmaktadır. Eğer yüksek sıklıklı bileşen içermeyen güç kalitesi olayları oluşursa bu durumda çok uzun yani yüksek dereceli süzgeçler kullanılarak analizler yapılmalıdır. Bu da işlem zamanının artmasına neden olacağından bu bildiri için sadece 3. seviyeden ayrışım yapıp sonuçlar irdelenmiştir. Ayrık dalgacık dönüşümünün başarımlı tamamen bozucunun başlangıcında oluşabilecek yüksek sıklık bileşenlerine bağlıdır ve ayrık dalgacık dönüşümü olayın kendisini değil, olayın başlangıç ve bitişindeki yüksek sıklık bileşenlerini belirlemektedir. [4] Harmonikli gerilim ve geçici olay içeren gerilim işaretlerinin başlangıç ve bitiş anlarında yüksek sıklıklı bileşenler bulunduğundan bu bozucuların başlangıç ve bitiş noktaları kestirilebilmekte ancak bozucunun tipine sadece ayrık dalgacık dönüşümü ile karar verilememektedir. Güç kalitesi bozucularının ayırt edilebilmesinde Daubechies sınıfı dalgacık dönüşümleri sıkça kullanıldığı için Daubechies-4 dalgacık fonksiyonunu 3. seviyede kullanılmış ve yapılan işaretlerin analizleri burada gösterilmiştir. Kullanılan

düşük seviyeli dalgacık dönüşümleri ile bozucuların ayırt edilmesi sağlanamadığı için çalışmanın bir sonraki aşamasında bozunumların sınıflandırılması için dalgacık dönüşümüyle elde edilen detay katsayılarının enerjilerine bakılarak bozucular birbirinden ayırt edilmeye çalışılmıştır.

Oluşturulan bozunumların enerji dağılım grafiklerine baktığımızda oluşturduğumuz beş farklı bozunumun görsel olarak birbirinden ayırt edilebildiği ve veri boyutunun da çok düşük değerlere indirilebildiği görülmektedir. Elde edilen bu özelliklerle akıllı sistemlere dayalı yöntemler ile bozulmaların türü iyi bir şekilde sınıflandırılabilir.

## Teşekkür

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi Araştırma Fonu "Yapay Us Yöntemleri Kullanılarak Kırpışmanın (Flicker) Belirlenmesi ve Giderilmesi" MF 143 nolu projesi kapsamında desteklenmiştir.

## 7.Kaynaklar

- [1] Talat, N., İbrahim, W. R., Kusic, L.G., "New Technique For Categorization of Power Quality Disturbances", Power Quality Conference, August 27-29 2008, Parnu.
- [2] Zve-Le Gaing and Hou-Sheng Huang: "Wavelet-Based Neural Network for Power Disturbance Classification", *IEEE* 2003.
- [3] Uyar, M., Yıldırım, S., Gençoğlu, T., "Güç Kalitesi Bozulmalarının Sınıflandırılmasında Dalgacık Dönüşümüyle Enerji Dağılımına Dayalı Özelliklerin İncelenmesi", *Elektrik Elektronik Bilgisayar Biyomedikal Mühendisliği 12. Ulusal Kongre Ve Sergisi*, 14-18 Kasım 2007, Eskişehir.
- [4] Ece, D.G., "Güç Kalitesi Bozucularının Belirlenmesinde Dalgacık Dönüşümünün Başarım Sınaması" *ELECO 2007*, Aralık, Bursa.
- [5] Kocaman, Ç., "Dalgacık Tabanlı Transformator Koruma Algoritması", Ondokuz Mayıs Üniversitesi, fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2003, Samsun.