

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜÇ SİSTEMLERİNDE GÜÇ KALİTESİNİN
AYRIK DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ KULLANILARAK
İNCELENMESİ**

Murat BERDİBEK

Tez Yöneticisi:
Yrd.Doç.Dr. Selçuk YILDIRIM

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2009

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜÇ SİSTEMLERİNDE GÜÇ KALİTESİNİN
AYRIK DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ KULLANILARAK
İNCELENMESİ**

Murat BERDİBEK

Yüksek Lisans Tezi
Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı

Bu tez, tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Selçuk YILDIRIM

Üye: Yrd.Doç.Dr. Zafer AYDOĞMUŞ

Üye: Yrd.Doç.Dr. Abdulkadir ŞENGÜR

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması süresince, beni destekleyen ve sürekli yol gösteren değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Selçuk YILDIRIM'a teşekkür ederim.

Yine, bu çalışmada benimle bilgilerini paylaşan ve gerektiğinde kendi işlerini bir tarafa bırakıp yardımına koşan Arş.Gör.Dr. Murat UYAR hocama teşekkür ederim.

Son olarak, çalışmalarım süresince sabırla ve hoşgörüyle bana destek veren aileme ve yakın çevreme teşekkür ederim.

MURAT BERDİBEK

ELAZIĞ - 2009

İÇİNDEKİLER

ŞEKİLLER LİSTESİ.....	III
TABLolar LİSTESİ.....	V
SİMGELER.....	VI
KISALTMALAR	VII
ÖZET	VIII
ABSTRACT.....	X
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç.....	3
1.2. Güç Kalitesi Üzerine Yapılmış Çalışmalar	3
1.3. Tezin Kapsamı	5
2. GÜÇ KALİTESİ	7
2.1. Güç Kalitesinin Tanımı.....	7
2.2. Güç Kalitesinin Önemi	8
2.2.1. Güç Kalitesinin Ekonomik Açıdan Önemi	9
3. GÜÇ KALİTESİ PROBLEMLERİ.....	11
3.1. Güç Kalitesi Problemlerinin Kaynakları ve Genel Etkileri	11
3.2. Güç Kalitesi Problemlerinin Sınıflandırılması.....	13
3.3. Güç Kalitesi Bozulma Türleri.....	14
3.3.1. Geçici Durumlar	14
3.3.1.1. Darbeli Geçici Durumlar	15
3.3.1.2. Salınımlı Geçici Durumlar.....	16
3.3.2. Kısa Süreli Gerilim Değişimleri	17
3.3.2.1. Gerilim Çökmesi.....	18
3.3.2.2. Gerilim Sıçraması	21
3.3.2.3. Gerilim Kesintisi.....	22
3.3.3. Uzun Süreli Gerilim Değişimleri.....	22
3.3.3.1. Aşırı Gerilim.....	23
3.3.3.2. Düşük Gerilim	23
3.3.3.3. Kalıcı Gerilim Kesintileri	23
3.3.4. Gerilim Dengesizliği.....	23
3.3.5. Dalga Şekli Bozulmaları	24
3.3.5.1. Doğru Akım Bileşeni	25
3.3.5.2. Harmonikler	25

3.3.5.3. Ara Harmonikler	26
3.3.5.4. Çentik.....	27
3.3.5.5. Gürültü	28
3.3.6. Gerilim Salınımları (Kırpışma).....	28
3.3.7. Frekans Değişimleri	29
4. GÜÇ KALİTESİ PROBLEMLERİNİN ANALİZİNDE KULLANILAN İŞARET	
İŞLEME YÖNTEMLERİ	30
4.1. Fourier Dönüşümü	30
4.2. Dalgacık Dönüşümü	32
4.2.1. Sürekli Dalgacık Dönüşümü	36
4.2.2. Ayrık Dalgacık Dönüşümü	38
4.2.3. Çok Çözünürlüklü Ayırıştırma	40
5. DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ TEMELLİ ÖZELLİK ÇIKARIMI	42
5.1. Enerji Yöntemiyle Özellik Çıkarma	43
5.2. Entropi Yöntemiyle Özellik Çıkarma	44
6. UYGULAMALAR	47
6.1. Saf Sinüs İşareti	48
6.2. Kısa Süreli Gerilim Değişimleri	50
6.3. Geçici Durumlar	55
6.4. Harmonik İçerikli Bozulmalar	57
6.5. Çok Sayıda GKB İşaretinin Karakteristiğinin İncelenmesi	61
7. SONUÇLAR	65
KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ.....	72

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Elektrik şebekesi.....	1
Şekil 1.2. Tezin kapsamını gösteren blok diyagram	5
Şekil 2.1. Güç kalitesi tarafları arasındaki ilişki	9
Şekil 3.1. Pozitif yönlü darbeli geçici durum	16
Şekil 3.2. Orta frekanslı salınımlı geçici durum	17
Şekil 3.3. Kapasitör anahtarlanması sonucu oluşan düşük frekanslı salınımlı geçici durum...	18
Şekil 3.4. Kısa süreli gerilim değişimleri (çökme, sıçrama ve kesinti).....	18
Şekil 3.5. Simetrik bir arızanın sebep olduğu gerilim çökmesi (a) Gerilimin dalga şekli (b) Gerilimin etkin değeri.....	19
Şekil 3.6. Simetrik olmayan bir arızanın sebep olduğu gerilim çökmesi (a) Gerilimin dalga şekli (b) Gerilimin etkin değeri.....	20
Şekil 3.7. Asenkron motorun sebep olduğu gerilim çökmesi (a) Gerilimin dalga şekli (b) Gerilimin etkin değeri.....	20
Şekil 3.8. Kısa devre arızası sonucu oluşan ani gerilim sıçraması (a) Gerilimin dalga şekli (b) Gerilimin etkin değeri.....	21
Şekil 3.9. Kısa süreli gerilim kesintisi (a) Gerilimin dalga şekli (b) Gerilimin etkin değeri.....	22
Şekil 3.10. Gerilimde oluşan dengesizlik.....	24
Şekil 3.11. Bozulmuş bir dalga örneği.....	24
Şekil 3.12. Harmonik içeren gerilim dalga şekli	26
Şekil 3.13. Gerilim çentiği olayının dalga şekli.....	27
Şekil 3.14. Bir gerilim dalgası üzerine binmiş gürültü.....	28
Şekil 3.15. Gerilim kırışması olayı.....	29
Şekil 4.1. Fourier dönüşümü.....	31
Şekil 4.2. Ters Fourier dönüşümü.....	31
Şekil 4.3. İşaret örnekleri: a) Durağan, b) Durağan olmayan işaret	31
Şekil 4.4. Kısa-zamanlı Fourier dönüşümü.....	32
Şekil 4.5. Bir $f(t)$ işaretine $g(t)$ kayan pencere işaretinin etkisi.....	33
Şekil 4.6. Dalgacık dönüşümü zaman frekans gösterimi.....	34
Şekil 4.7. İşaretin zaman-frekans tabanlı ve çeşitli şekillerde alınan dönüşümlerinin gösterilmesi: (a) Shannon, (b) Fourier, (c) KZFD, (d) Dalgacık dönüşümü.....	34
Şekil 4.8. Dalgacık dönüşümü	35
Şekil 4.9. Zaman-Frekans gösterimi	35
Şekil 4.10. Yaygın olarak kullanılan dalgacık ve ölçekleme fonksiyonları.....	36
Şekil 4.11. Dalgacığın ölçeklendirilmesi.....	37

Şekil 4.12. (a) Ana dalgacık $\psi(t)$ (b) Ana dalgacığın kaydırılmış şekli $\psi(t-k)$	38
Şekil 4.13. Ayırık dalgacık dönüşümünün tek seviyeli filtre algoritması.....	39
Şekil 4.14. İşaretin yaklaşık ve detay bileşenlerine ayrıştırılması.....	39
Şekil 4.15. İki kat veri ortaya çıkmasını engelleyen filtre yapısı.....	40
Şekil 6.1. (a) Saf sinüs işareti ve 8 seviyeli ADD analizi (b) Enerji özellik eğrisi (c) Norm entropi özellik eğrisi.....	49
Şekil 6.2. (a) Gerilim çökmesi işareti ve 8 seviyeli ADD analizi (b) Enerji özellik eğrisi (c) Norm entropi özellik eğrisi.....	52
Şekil 6.3. (a) Gerilim sıçraması işareti ve 8 seviyeli ADD analizi (b) Enerji özellik eğrisi (c) Norm entropi özellik eğrisi.....	53
Şekil 6.4. (a) Gerilim kesintisi işareti ve 8 seviyeli ADD analizi (b) Enerji özellik eğrisi (c) Norm entropi özellik eğrisi.....	54
Şekil 6.5. (a) Salınlı geçici durum işareti ve 8 seviyeli ADD analizi (b) Enerji özellik eğrisi (c) Norm entropi özellik eğrisi.....	56
Şekil 6.6. (a) Harmonik işareti ve 8 seviyeli ADD analizi (b) Enerji özellik eğrisi (c) Norm entropi özellik eğrisi.....	58
Şekil 6.7. (a) Harmonikli gerilim çökmesi işareti ve 8 seviyeli ADD analizi (b) Enerji özellik eğrisi (c) Norm entropi özellik eğrisi... ..	59
Şekil 6.8. (a) Harmonikli gerilim sıçraması işareti ve 8 seviyeli ADD analizi (b) Enerji özellik eğrisi (c) Norm entropi özellik eğrisi... ..	60
Şekil 6.9. ADD-Enerji özellik çıkarım yöntemiyle GKB türlerinin ayırt edici karakteristiğini yansıtan özelliklerin dağılımı.....	61
Şekil 6.10. ADD-Entropi özellik çıkarım yöntemiyle GKB türlerinin ayırt edici karakteristiğini yansıtan özelliklerin dağılımı.....	63

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Güç kalitesizliği nedeniyle oluşan işletme maliyetleri Kayseri örneği	10
Tablo 3.1. Güç kalitesi problemleri ve koruma ekipmanları	12
Tablo 3.2. Güç kalitesini bozan etkenlerin tipik değerleri.....	15
Tablo 6.1. Matematiksel modele dayalı veri üretimi için kullanılan denklemler ve parametreleri	47
Tablo 6.2. ADD ayrışımındaki frekans bant aralıkları	50

SİMGELER

ψ	: Dalgacık fonksiyonu
a	: Yaklaşık katsayısı
d	: Detay katsayısı
s	: Ölçekleme parametresi
b	: Öteleme parametresi
f	: Frekans
$E(f)$	: Entropi ifadesi
ε	: Entropi eşik değeri
p	: Norm entropi parametresi
J	: Dalgacık ayrışım seviyesi
W_d	: Dalgacık ayrışımının yaklaşım katsayısından elde edilen norm entropi değerleri
W_a	: Dalgacık ayrışımının yaklaşım katsayısından elde edilen norm entropi değeri
$W_{\text{işaret}}$	: Bozulmuş işaretin özellik vektörü
W_{ref}	: Referans (bozulmamış) işaretin özellik vektörü
ΔW	: Sonuç özellik vektörü

KISALTMALAR

IEEE	: Institute of Electrical and Electronic Engineering
IEC	: International Electrotechnical Commission
ANSI	: American National Standards Institute
CBEMA	: Computer and Business Equipment Manufacturers Association
GKB	: Güç Kalitesi Bozulmaları
THB	: Toplam Harmonik Bozulma
TTB	: Toplam Talep Bozulma
FD	: Fourier Dönüşüm
TFD	: Ters Fourier Dönüşümü
KZFD	: Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü
DD	: Dalgacık Dönüşümü
SDD	: Sürekli Dalgacık Dönüşümü
ADD	: Ayrık Dalgacık Dönüşümü
KGK	: Kesintisiz güç kaynağı

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜÇ SİSTEMLERİNDE GÜÇ KALİTESİNİN AYRIK DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ KULLANILARAK İNCELENMESİ

Murat BERDİBEK

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı

2009, Sayfa: 72

Bu tezde, teknolojinin gelişmesine paralel olarak büyük bir önem kazanan güç kalitesinin tanımı yapılmış; güç kalitesini etkileyen faktörler ve bunların sonucunda güç sisteminde meydana gelen güç kalitesi bozulma türleri incelenmiştir. Güç sistemlerinde meydana gelen başlıca güç kalitesi bozulma işaretlerinin analizinin yapılabilmesi için gerekli olan veriler, matematiksel denklemler kullanılarak Matlab programında üretilmiştir. Güç kalitesi bozulma işaretleri genellikle durağan olmayan bir yapıya sahip olduklarından, bu işaretler dengesizlikleri, farklı frekans bileşenlerini ve farklı enerji dağılımlarını içerdiklerinden, matematiksel denklemlerden elde edilen güç kalitesi bozulma işaretleri ayrık dalgacık dönüşümünün işaret ayrıştırma özelliği kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarından, işaretlerin bozulmaya başladığı an, bozulmanın bittiği an ve olay süresi gibi önemli bilgiler çıkartılmıştır. Daha sonra, güç kalitesi bozulma işaretlerinin ayırt edici özelliklerini kaybetmeksizin veri boyutunu indirgeyen enerji ve norm entropi özellik çıkarım yöntemleri

kullanılarak iki farklı özellik eğrisi elde edilmiştir. Bu özellik eğrileri, bir referans işaretle görsel olarak karşılaştırılarak, bozulma işaretlerine özgü ayırt edici özellikler çıkartılmıştır. Her iki özellik çıkarım yönteminden elde edilen özellik eğrileri analiz edilerek, norm entropi özellik çıkarım yönteminin bozuk işaretleri ayırt etme yeteneğinin daha iyi olduğu ve bu yöntemle bozuk işaretlerin görsel olarak bile sınıflandırılabilceğı görölmüşür.

Anahtar Kelimeler: Güç sistemleri, Güç kalitesi bozulmaları, Dalgacık dönüşümü, Özellik çıkarımı.

ABSTRACT

Masters Thesis

THE INVESTIGATION OF POWER QUALITY IN POWER SYSTEMS BY USING DISCRETE WAVELET TRANSFORM

Murat BERDİBEK

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical Education

2009, Page: 72

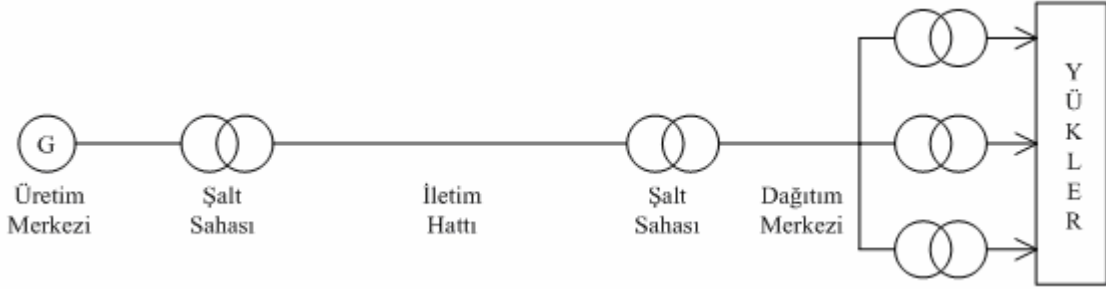
In this thesis, the description of power quality which has a great importance due to the technological developments is introduced; the factors affecting the power quality and the types of power quality disturbances occurred as a result of these factors in power systems are investigated. The data set which is needed for the analysis of principal power quality disturbances occurred in power systems is obtained by using the mathematical equations in Matlab software. Power quality disturbance signals obtained from the mathematical equations are analyzed by using the signal decomposition feature of discrete wavelet transform due to the fact that power quality disturbance signals are not stationary structure and these signals contain disturbances, different frequency components and energy distributions. From the results of analysis, important informations including starting and finishing times of disturbances and the elapsed time during the disturbances occurred are obtained. Then, two different feature curves are obtained by using the energy and norm entropy feature extraction methods which reduce the

data set in size without losing the distinctive features of power quality disturbance signals. The distinctive features of the disturbance signals are extracted by comparing these feature curves with a reference signals visually. By analyzing the feature curves, it is shown that norm entropy feature extraction method has a better ability of distinction and the disturbance signals can be classified easily even naked eye.

Key Words: Power systems, Power quality disturbances, Wavelet transform Feature extraction.

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi, kullanımı ve kontrolü kolay enerji türlerinden olup su gücü (hidrolik), rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklardan üretilbildiği gibi fosil ya da nükleer yakıtlardan da elde edilebilmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte teknolojiyi besleyecek enerjiye olan talep de hızlı bir şekilde artmaktadır. Elektrik enerjisinin tüketicilere ulaşmasını sağlayan elektrik şebekesi Şekil 1.1’de görüldüğü gibi genel olarak; generatör, iletim hatları, dağıtım hatları, yükler ve bunların arasındaki transformatörlerden oluşur. Genelde yerleşim yerlerinden uzakta bulunan kaynaklardan üretilen elektrik enerjisi, kayıpları azaltmak amacıyla yüksek gerilimlere çıkarılarak iletilir ve dağıtım noktalarında alçak gerilimlere indirilerek dağıtılır.



Şekil 1.1. Elektrik şebekesi

Elektrik enerjisini üreten, ileten ve dağıtan kuruluşlar; kesintisiz, ucuz ve kaliteli bir enerjiyi tüketicilerine sunmayı amaçlamaktadır. Güç kalite kavramından maksat, sabit şebeke frekansında, sabit genlikli ve sinüs şeklinde bir yük geriliminin sağlanmasıdır. Ancak güç sistemi arızalara ve dinamik durumlara maruz kaldığında veya doğrusal olmayan yüklerin etkisinde kaldığında gerilim dalga şekilleri genellikle saf sinüs şeklinden uzaklaşır. Gerilimin, akımın ve şebeke frekansının verilen sınırlar dışına çıkması, "güç kalitesi problemleri" veya "güç kalitesi bozulmaları" olarak değerlendirilmektedir (Dugan vd., 2002; Uyar, 2008).

Güç sistemlerinde meydana gelen arızalar; doğrusal olmayan yüklerin anahtarlanması, transformatör deşarjları, sisteme bağlı doğrusal olmayan yükler ve tabii olaylar (yıldırım etkisi vb.), gerilim çukurları, gerilim tepeleri, gerilim kesintileri, geçici durum olayları, kırışmalar ve harmonikler gibi güç kalitesi bozulmalarının ortaya çıkmasına sebep olur.

Elektrik şebekesindeki gerilim ve frekans değişimlerine karşı hassas elektronik cihazların yaygın olarak kullanılmaya başlanması tüketicilerin kaliteli güç talebini artırmıştır. Bu talebin artmasının temel sebepleri şu şekilde sıralanabilir (Ağalar, 2003):

- Kullanılan enerjideki kalitesizlik problemlerine bağlı olarak maliyet artmakta, bu ise elektrik enerjisi kullanan işletmeleri zor durumda bırakmaktadır.

- Enerjinin sık sık kesintiye uğraması, işletmelerde üretim kayıplarına, üretilen ürünlerde kalitesizliğe, ürünlerin dağıtımında gecikmelere neden olduğu için üretim maliyetleri biraz daha artmaktadır.
- Günlük yaşamda çok büyük önem taşıyan, aydınlatma, bilgisayar ve güvenlik sistemlerinde ortaya çıkabilecek arızalar, bu sistemleri olumsuz etkilediği gibi insan hayatını da tehlikeye atmaktadır.
- Güç kalitesini yüksek seviyede tutmak amacıyla uygulanan koruyucu bakım önlemleri ise hem cihaz üreticilerine hem de elektrik dağıtıcısına ek maliyetler getirmektedir.
- Endüstriyel alanda, hizmet sektöründe ve yerel sektörlerde kullanılan otomasyon sistemleri, bilişim sistemleri ve hız kontrol cihazları enerji kesintilerine karşı çok hassas oldukları gibi, bazen de güç kalitesindeki bozulmaları kendileri tetiklemektedirler. Bu tip cihazların birkaçının beraber kullanılması sonucunda, süreklilik ve kalite anlamında yüksek performanslı enerji kaynaklarına ve dağıtım hatlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Zincirin sadece tek bir halkasının bile geçici bir süreyle devre dışı kalması, tüm üretim tesislerinin veya hizmetlerin durmasına sebep olabilmektedir.

Üretici ya da tüketiciden kaynaklanan ve güç kalitesini olumsuz yönde etkileyen faktörler ortadan kaldırılmaya çalışılmadan önce, standartlarda belirtilen ölçütler doğrultusunda sistemdeki bozulmalar hızlı ve verimli bir şekilde tespit edilmelidir. Daha sonra bu bozulmaların temel karakteristikleri belirlenerek hangi bozulmaların meydana geldiğine karar verilmelidir. Böyle bir çalışma yapıldığı takdirde, sistem hakkında durum tespiti ve değerlendirme yapılarak bozulmaların kaynağı ve sebepleri araştırılabilir. Belirli bir baradan beslenen mevcut tesisler veya belirli bir baradan beslenilmesi planlanan yapım veya tasarım halindeki tesisler, ölçümler sonucu elde edilen güç kalitesi verileri doğrultusunda bilinçli yer seçimi ve doğru ekipman seçimi yapma imkanına kavuşturulabilir. Son olarak, bu veriler doğrultusunda hangi bölgelere hangi özellikte bir güç kalitesi iyileştirme cihazının (aktif güç filtreleri, gerilim düzenleyiciler, kesintisiz güç kaynakları vb.) konulması gerektiğine karar verilebilir. Bu bilgiler ışığında önerilen çözümler sistemin sürekliliğini ve güvenilirliğini artırmanın yanında sistemin kontrolünü de kolaylaştırır. Bu amaç için, güç kalitesi izleme cihazları veya sayısal arıza kaydediciler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Uyar, 2008).

Son yıllarda, güç sistemlerinde meydana gelen güç kalitesi bozulma işaretleri Fourier ve Dalgacık Dönüşümü yöntemleriyle analiz edilmiştir. Günümüzde işareti sınırlı olarak sadece frekans bölgesinde analiz eden Fourier Dönüşümü yerine zamanla durağan ve durağan olmayan işaretleri hem zaman hem de frekans bölgesinde analiz eden Dalgacık Dönüşümü tercih edilmeye başlanmıştır. Yapılan çalışmalarda gerçek sistem verileri, bilgisayar benzetim model verileri ve matematiksel model verileri ile elde edilen güç kalitesi bozulma işaretleri, Dalgacık

Dönüşümü işaret işleme yöntemiyle analiz edilerek, güç kalitesi bozulmalarının özellikleri çıkartılmıştır.

1.1. Amaç

Bir sistemin analizinin yapılabilmesi için ölçülebilir verilere sahip olması gerekmektedir. Ölçülemeyen veriler sistemin kontrol altına alınmasını ve sistemde ortaya çıkabilecek sorunların çözümü için öneriler geliştirilmesini zorlaştırmaktadır. Güç sistemlerindeki kalite sorunlarını ortadan kaldıracı için öncelikle sistemdeki bozulmalar tespit edilerek, bu bozulmaların temel özelliklerinin çıkartılması gerekmektedir. Sistemden elde edilen veriler doğrultusunda güç kalitesi iyileştirme cihazları (gerilim düzenleyiciler, kesintisiz güç kaynakları vb.) kullanılarak sistemin sürekliliği, güvenilirliği ve kontrolü sağlanmış olur. Bu tezde, güç sistemlerinde meydana gelen güç kalitesi bozulmaları tanımlanarak, güç sistemlerinde ortaya çıkan bozulma işaretleri Dalgacık Dönüşümü yöntemiyle analiz edilecektir. Bozulmaların meydana geldiği an, bozulmanın devam süresi tespit edilerek, bozulma türlerine özgü ayırt edici özellikler elde edilecektir.

1.2. Güç Kalitesi Üzerine Yapılmış Çalışmalar

Güç kalitesi bozulmaları üzerine yapılan çalışmalar, iletim ve dağıtım sistemlerindeki kalite sorunlarını çözmeye yönelik arayışlar ve önerilerle başlamış olup, güç sistemlerinde hassas elektronik cihazların yaygın olarak kullanılmaya başlanmasıyla teorik ve uygulamaya yönelik çalışmaların sayısı süreç içerisinde hızla artmıştır. Ayrıca 1990'lı yıllardan sonra bilgisayar teknolojisinin hızla gelişmesi sonucu işaret işleme yöntemleriyle bozulma işaretlerinden elde edilen özellikler akıllı sistemler yardımıyla sınıflandırılarak güç kalitesi bozulmalarına çözüm önerileri geliştirilmeye çalışılmıştır.

1900'lerin başlarında Steinmetz, güç sistemine yayılan 3. harmonikleri durdurmak için, transformatörlerde yıldız noktasının topraklanması ve üçgen bağlantıların kullanılmasını önermiş, Schilling ise yapmış olduğu çalışmalarla sinüsoidal olmayan akım ve gerilim dalgalarının iletim hatları üzerindeki etkileri üzerinde durmuştur (Schilling, 1933). 1940'lı yıllarda enerji ve telefon devrelerinin aynı hat üzerinde kullanılması nedeniyle ses frekanslarının karışmasını önlemek için dağıtım transformatörlerinin ürettiği mıknatıslama akımı harmonikleri, gerekli yerlere filtreler yerleştirilerek önlenmeye çalışılmıştır. 1950'lerin sonlarında yarı iletken devrelerin gittikçe artan kullanımı güç kalitesi problemlerini de önemli ölçüde artırmıştır. Dalga şekline aşırı duyarlı elektronik cihazların yaygınlaşması ile birlikte, harmonikler yeniden bir ilgi alanı olmaya başlamıştır (Günay, 2002). Güç kalitesi sorunlarını modelleme ve inceleme

amacıyla 1963 yılında Münih Teknik Üniversitesi'nde Electromagnetic Transients Program (EMTP) geliştirilmiştir (Dommel, 1998). 1988 yılında Belçikalı matematikçi Ingrid Daubechies, Fourier analizinin sınırlı kaldığı durumları telafi edebilmek amacıyla dalgacık dönüşümünü bilgisayar ortamına aktarılabilirlikte şekilde formüle etmiştir (Shi vd., 2007).

Koçal, Dalgacık dönüşümünü detaylı bir şekilde inceleyerek, işaret işlemedeki uygulamalar üzerinde durmuştur (Koçal, 1991). Gemici, sistemli bir güç kalitesi araştırması için izlenmesi gereken aşamaları sıralayarak, güç kalitesi problemlerinin azaltılması için bazı önlemleri anlatmıştır (Gemici, 1995). Deniz, güç sistemlerinde meydana gelen açma-kapama olayları nedeniyle ortaya çıkan iç aşırı gerilimleri incelemiştir (Deniz, 1995). 1990'lı yıllardan itibaren güç kalitesi bozulma işaretlerinin analizinde Dalgacık Dönüşümü yaygın olarak kullanılmaya başlanmış, 1996-1999 yılları arasında yayınlanan makalelerde Fourier'den Dalgacığa doğru gelişen işaret işleme yöntemlerinin güç kalitesi analizindeki avantaj ve dezavantajları üzerinde durulmuş ve güç sistemlerinde oluşan bozuklukların tespitinde bu yöntemlerin uygulanabilirlikleri araştırılmıştır (Robertson, vd, 1996; Heydt, vd., 1999).

1999-2000 yıllarında yayımlanan makale ve kitaplarda çeşitli olaylar sonucu dalga karakteristiğinde meydana gelen bozukluk tiplerine yer verilmiştir (Liu, vd., 1999; Santoso, vd., 2000; Bollen, 2000). Atasal, güç kalitesi ve gerilim salınımlarını (flikeri) incelemiş, gerilim salınımlarının ölçülmesi, sınırlarının belirlenmesi ve çözüm yöntemleri üzerinde durmuştur (Atasal, 2000). Arrilaga tarafından çeşitli dönüşüm yöntemleri üzerine yapılan çalışmalar kitap halinde yayımlanmıştır (Arrilaga vd., 2000). Lee, güç sistemlerinde arıza tespitinde frekans yöntemlerinin kullanılmaları üzerine detaylı bir literatür taraması yapmıştır (Lee vd., 2000). Jarmillo ise tepe değeri, rms, bant genişliği ve güç faktörü gibi indislerin güç kalitesi analizi ve sınıflandırmasındaki özelliklerine değinmiştir (Jaramillo, vd., 2000).

2000 yılından itibaren işaret işleme yöntemlerinden Dalgacık Dönüşümü daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Cheok tarafından dalgacıklar incelenmiş, dalgacıkların kullanım yerleri ve özellikleri belirtilmiştir (Cheok, vd., 2002). Dalgacıkların Haar, Morlet, Daubechie, vs. gibi çeşitli tipleri bulunmakla birlikte Daubechie-4 dalgacığının oluşan bozuklukların karakteristiğine yakın bir karakteristik sergilemesi nedeniyle güç kalitesi bozukluklarının tespitinde, araştırmacılar tarafından Daubechie-4 dalgacık tipi temel dalgacık olarak yaygın olarak kullanılmıştır (Meliopoulos vd., 2000; Driesen vd., 2002). Fernandez, güç sistemlerinde dalgacık dönüşümü kullanımının literatür taramasını yaparak ve Dalgacık Dönüşümünün güç sistemini korumada, güç kalitesini belirlemede, yapay sinir ağları yardımıyla yük tahmininde ve güç sistemi verilerini ölçmede kullanıldığını ifade etmiştir. Ayrıca, bu uygulamalar yapılırken en çok EMTP/ATP ile Matlab Wavelet Toolbox kullanıldığı gösterilmiştir (Fernandez vd., 2002).

Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte güç sistemlerinde kullanılan cihazların güç sisteminde ortaya çıkan bozulmalardan nasıl etkilendikleri araştırılmaya başlanmıştır. Günay, güç kalitesi problemlerinin elektrik makineleri üzerindeki etkilerini incelenmiş (Günay, 2002). Ağalar, güç kalitesi analizi için gerekli olan verileri, laboratuvar ortamında kurulmuş deneysel setlerden LabVIEW yazılımına aktararak, bozulma işaretlerini Dalgacık dönüşümü ve Simetrik bileşenler yöntemiyle analiz etmiştir (Ağalar, 2003). Kashyap ve arkadaşları, yapay sinir ağları ve dalgacık dönüşümü yardımıyla güç sistemlerinde meydana gelebilecek bir arızanın türünün belirlenebileceği ifade etmişlerdir (Kashyap vd., 2003). Purry, ayrık dalgacık dönüşümü (ADD) kullanılarak bir transformatörün içinde veya dışında meydana gelebilecek herhangi bir arızanın türünün tespitinin mümkün olabileceğini göstermiştir (Purry vd., 2003).

Ukil, Dalgacık dönüşümü kullanılarak güç sistemlerinin arıza analizlerinde ani değişimlerin tespitinin nasıl yapılabileceği üzerinde durmuştur (Ukil vd., 2005). Fidan, dalga kılavuzunda yayılan elektromanyetik dalganın dalgacık dönüşümü ile modelleyerek, Dalgacık dönüşümünün Fourier dönüşümüne olan üstünlükleri hakkında bilgiler vermiştir (Fidan, 2006). Barut, güç sistemlerinde meydana gelen geçici durumları EMTP/ATP programıyla modelleyerek, elde edilen sinyalleri Dalgacık dönüşümü yardımıyla incelemiş, güç sistemlerinde meydana gelen geçici durumların başlangıç anı ve süresinin tespit edilebileceğini ifade etmiştir (Barut, 2007). Uyar, güç kalitesi bozulma işaretlerini gerçek sistem verileri, matematiksel model verileri ve bilgisayar benzetim model verileri olmak üzere 3 farklı veri kümesini, Dalgacık dönüşümü ve S dönüşümü yardımıyla analiz ederek bozulma işaretlerinin özelliklerini çıkartmış, Destek Vektör Makineler akıllı sistem yapısıyla bozulma işaretlerini sınıflandırarak bozulma türünü tespit etmiştir (Uyar, 2008).

1.3. Tezin Kapsamı

Bu tezin kapsamı Şekil 1.2’de verilen blok diyagramla özetlenmiştir.



Şekil 1.2. Tezin kapsamını gösteren blok diyagram

Bölüm 1’de temel bilgiler ve genel bir literatür taraması sunulmuştur.

Bölüm 2’de, güç kalitesinin tanımı yapılmış ve önemi üzerinde durulmuştur.

Bölüm 3’te, güç kalitesi bozulmalarının türleri ve bozulmalara sebep olan olaylar gözden geçirilmiştir.

Bölüm 4’te, güç kalitesi bozulma işaretlerinin analizinde kullanılan zaman-frekans gösterimlerine dayalı Fourier ve Dalgacık dönüşümü yöntemleri incelenmiştir.

Bölüm 5’te, güç kalitesi bozulma işaretlerinden özellik çıkarma yöntemleri incelenmiştir.

Bölüm 6’da güç kalitesi bozulma işaretleri Dalgacık dönüşümü yöntemiyle analiz edilerek, enerji ve entropi yöntemiyle bozulma işaretlerinden özellik çıkarımı yapılmıştır.

Bölüm 7’de, tezin sonuçları irdelenerek, ileriye dönük uygulama alanları ve öneriler tartışılmıştır.

2. GÜÇ KALİTESİ

Güç sisteminde, tüketici ve üretici donanımlarını etkileyebilen, harmonik üreten doğrusal olmayan cihazların kullanılmaya başlanmasıyla, müşteriler geçici olaylar ve diğer güç kalite problemleri hakkında daha duyarlı ve bilinçli olmaya başlamışlardır. Müşteriler cihazlarının verimli bir şekilde çalışması için yüksek kalitede elektrik enerjisi talep ederler. Bu nedenle, müşterilerin cihazlarının ya da enerji sistemindeki donanımın normal çalışması sırasında, parazitler üretebilen ve besleme geriliminin dalga şeklinde bozulmalara neden olabilen elektrikli cihazlar ve atmosferik koşullar güç kalitesini olumsuz yönde etkilemektedirler (Domijan vd., 1992).

2.1. Güç Kalitesinin Tanımı

Yapılan incelemenin türüne ve kim tarafından yapıldığına göre tamamen farklı güç kalitesi tanımları yapılabilmektedir.

- Elektrik üreticisi, güç kalitesini enerjinin güvenilir biçimde iletilmesi olarak tanımlayabilir.
- Elektrikli cihaz üreticileri ise güç kalitesini, üretilen cihazın düzgün bir şekilde çalışması için gereken güç şekli olarak tanımlayabilirler.
- Güç kalitesini gerilime bağlı açıklamak bir diğer yoldur. İdeal sinüsoidal gerilim dalga şeklinin genlik ve frekansındaki herhangi bir değişim güç kalitesi problemi olarak adlandırılabilir.

Bu tanımlar çeşitli cihazlar ve çeşitli üreticiler için farklı olabilir. Ancak elektrik üretimi kullanıcı ihtiyacından doğduğu için kullanıcının bakış açısı referans alınmalıdır. Bu nedenle, güç kalitesi probleminin tanımı "kullanıcı cihazlarında arızaya veya bu cihazların yanlış çalışmasına neden olacak gerilim, akım ve frekanstaki sapmalar" olarak yapılabilir (Dugan vd., 2002).

IEEE 1159 standardına göre güç kalitesi, kaynak geriliminin sinüsoidal dalga şeklindeki bozulma miktarı ile tanımlanmaktadır. Güç kalitesi, güç sisteminin incelenen herhangi bir noktasında ideal sinüs şeklindeki gerilimin nominal genlik ve frekans değerlerini sürdürmesi olarak da tanımlanmaktadır (Bollen, 2006).

Güç kalitesi, 4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunun 1.maddesinde “Elektriğin yeterli, kaliteli, sürekli, düşük maliyetli ve çevreyle uyumlu bir şekilde tüketicilerin kullanımına sunulması” şeklinde ifade edilmektedir.

Güç kalitesindeki bozulmalar, elektrik tüketicilerinden doğan problemlerin neden olduğu frekanstaki değişimler sebebiyle önemli ve gün geçtikçe artan bir problemdir. Son yıllarda, bilgisayarlar gibi yüksek derecede hassas cihazlar geniş bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu cihazların bir kısmı güç hattı hasarlarına karşı çok hassastır. Entegreli devreler kullanımında teknolojik ilerlemeler elektronik cihazların boyutunu küçültmüş, ancak daha çok devrenin daha kısa mesafede yerleştirilmesine yol açmıştır. Ayrıca ark fırınları, kaynak makineleri ve ayarlanabilir hız-kontrol birimleri gibi harmonik üreten donanımların kullanımındaki yükselme güç kalitesi problemlerinde artışa sebep olmuştur.

Sonuç olarak; güç kalitesi, tüketicilerin hassas elektronik donanımlarının güvenli bir şekilde çalışmasını sağlayan, gerilim düşümlerinin yaşanmadığı, 50 Hz frekansa sahip saf bir sinüsoidal dalga şeklinde gerilim ve akım kalitesi sağlamaktır.

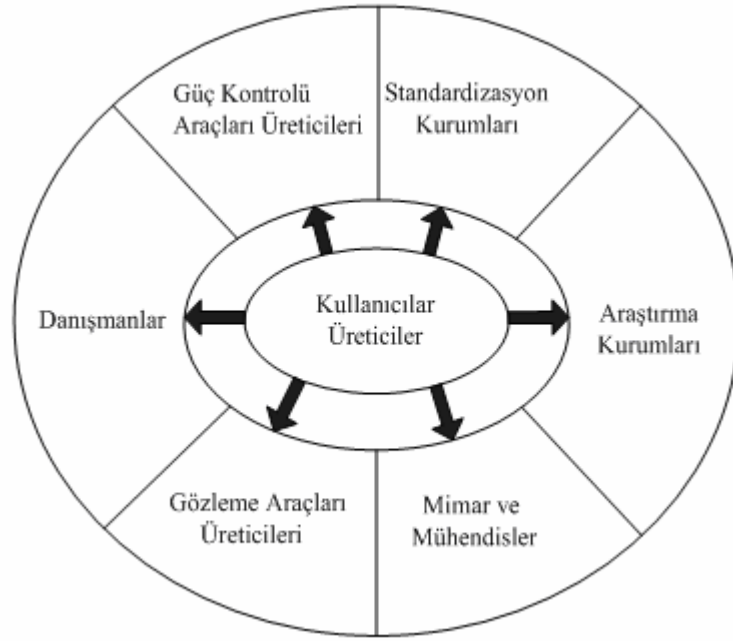
2.2. Güç Kalitesinin Önemi

Gerek üreticilerin ve gerekse tüketicilerin güç kalitesine olan ilgilerinin giderek artması bu kavramın çeşitli güç sistemi kalite bozulmalarını bir çatı altında toplayan anahtar bir kavram olmasına neden olmuştur. Bu kavramı oluşturan öğeler yeni değildir. Yeni olan bu kavramlara farklı konular olarak değil bir sistem mantığı ile bakılmasıdır.

Güç kalitesi kavramına olan ilginin artmasına dört temel neden gösterilebilir:

- Yükler eskiye oranla güç kalitesine daha duyarlıdır. Birçok yeni yük biçimi mikroişlemci kontrollü güç elektroniği elemanları içermektedir. Bu elemanlar güç kalite bozukluğu türlerinden etkilenebilirler.
- Güç sistemlerinin daha verimli kullanılmasına verilen önem, hız ayarlamalı motorlar gibi uygulamaların artmasını hızlandırmış ve bu da güç sistemlerindeki bir bozulma türü olan harmonik seviyesinin artmasına neden olmuştur.
- Kullanıcıların güç kalitesi hakkında bilgi düzeylerinin artması, üreticilerden daha kaliteli güç talep etmelerine neden olmuştur.
- Elektrik şebekesine bağlı olan kullanıcıların sayısı ve çeşiti zamanla artmaktadır. Bundan dolayı bir bileşendeki bozulma, diğer bileşenlere olan etkilerinden dolayı önemlidir.

Kullanıcıların daha hızlı ve daha verimli üretim yapmayı istemeleri ve üreticilerin de buna destek vermeleri bu nedenlerin ortaya çıkmasında etkili olmuştur. Şekil 2.1’de güç kalitesi tarafları arasındaki ilişki görülmektedir (Atasal, 2000).



Şekil 2.1. Güç kalitesi tarafları arasındaki ilişki

2.2.1. Güç Kalitesinin Ekonomik Açıdan Önemi

Elektrik enerjisi taleplerinin karşılanması için büyük yatırım maliyetlerine, ileri teknolojiye ve yetişmiş insan gücüne ihtiyaç bulunmaktadır. Standartlara uygun olmayan malzemelerin kullanılmasından veya teknolojiden yeterince faydalanılmamasından doğan kayıpların bedeli, tüketici tarafından ödendiği gibi can ve mal güvenliği açısından da büyük tehlikeler doğurmaktadır. Güç sisteminin dayanabileceği ve aynı zamanda ticari ve endüstriyel kuruluşların çekebileceği harmonikleri sınırlandıran standartların yeterli olmamasından dolayı, doğrusal olmayan yüklerin neden olduğu bozucu etkiler çok yaygındır. Bu durum, hem güç sisteminde hem de tüketicilerde güç kalitesi problemlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Kullanıcılar, mevcut güç sistemiyle uyum içinde çalışabilecek cihazları satın almak istemelerine karşılık, cihaz üreticileri ise, cihazlarının kesintisiz, geçici olayların meydana gelmediği ve sürekli bir enerji ile beslenmelerini isterler.

Işık kaynakları, sabit hızlı motorlar gibi cihazların çalışması sırasında fark edilmeyen güçteki küçük değişimler, günümüzde işletmelerin tamamen durmasına neden olabilmektedir. Örneğin, montaj hattı üzerindeki motorlu cihazlara ait hız denetim sürücülerinin kendileri gerilim harmoniklerine ve geçici olaylara karşı duyarlı oldukları için, saniyenin yalnızca %1'i kadar süren ve anma geriliminin %30'u kadar olan bir gerilim çökmesi ya da enerji kesintisi montaj hattındaki programlanabilir lojik kontrolörleri reset edebilmektedir. Bu tür parazitlerin işletmeye maliyeti yüksek olmaktadır. Örneğin, bir cam fabrikasında saniyenin onda biri kadar

süren 5 periyotluk bir elektrik kesintisinin yaklaşık olarak 200.000 \$'lık bir zarara yol açabileceği tahmin edilmektedir. Benzer şekilde, büyük bir bilgisayar merkezinde 2 saniyelik bir kesintinin yaklaşık 600.000 \$'lık bir zarara neden olabileceği tahmin edilmektedir

Büyük güçlü tüketicilere örnek olarak iki ayrı dağıtım hattından beslenen ve en büyük yükleri 20 MW ya da daha fazla olabilen otomobil fabrikaları verilebilir. Bir iletim sisteminde veya bir dağıtım transformatöründeki bir arızadan kaynaklanan kısa süreli gerilim çökmeleri ve geçici olaylar oldukça önemli maliyetlere neden olabilmektedir. Örneğin bir gerilim çökmesini takiben, montaj hatlarının tekrar çalışması için, arızalı işletme hatlarının açılması, kazanların tekrar devreye sokulması ve otomatik kontrolörlerin yeniden programlanabilmesi gerekmektedir. Burada her bir işlemin maliyeti yaklaşık olarak 10.000 \$'dır. Bir otomobil fabrikasında, geçici enerji arızalarından kaynaklanan toplam kayıpların yılda yaklaşık 10.000.000 \$'a ulaşabileceği tahmin edilmektedir (Douglas, 1944; Kennedy, 2000).

Kayseri ve Civarı Elektrik Tic. A.Ş. tarafından 2007 yılında güç kalitesi sorunlarının Kayseri sanayinde oluşturduğu etkiler ve maliyetler konusunda yapılan bir araştırmada, bölgede bulunan bazı yüksek tüketimli müşteri temsilcileri ile görüşülerek güç kalitesizliği nedeniyle oluşan maliyetler tespit edilmiştir. Bu maliyetler Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Güç kalitesizliği nedeniyle oluşan işletme maliyetleri Kayseri örneği

Firmalar	Anlık Kesinti Maliyeti	Bir Saatlik Kesinti Üretim Kaybı Maliyeti	Arızalanan Cihazların Aylık Maliyeti	Güç Kalitesine Yönelik Yatırımlar
Elektrik (A)	6.521 Euro	108.695 Euro	12.500 Euro	1.200.000 Euro
Çimento (B)	65.112 Euro	130.224 Euro	1.277 Euro	81.891 Euro
Tekstil (C)	2.800 Euro	8.400 Euro	1.158 Euro	50.216 Euro
Tekstil (D)	4.635 Euro	10.043 Euro	1.545 Euro	-
Tekstil (E)	20.000 Euro	22.000 Euro	20.000 Euro	200.000 Euro

A: Hes Kablo San. Tic. A.Ş.

B: Çimsa Çimento San. Tic. A.Ş.

C: Karsu Tekstil San. Tic. A.Ş.

D: Birlik Mensucat San. Tic. A.Ş.

E: Orta Anadolu San. Tic. A.Ş.

3. GÜÇ KALİTESİ PROBLEMLERİ

Güç kalitesi problemleri, kısa süreli arızalardan veya güç sistemindeki ani değişimlerden dolayı sürekli durum dalga şeklinden geçici bir sapma olarak tanımlanabilir (Dugan vd., 2002). Diğer bir ifadeyle, dalga şeklinin genlik veya frekansındaki herhangi bir değişiklik veya sapma, muhtemel bir güç kalitesi problemidir (Uyar, 2008).

Hassas elektronik yüklere etki eden bozucu etkilerin çok çeşitli nedenleri olabilir. Bu etkenler arasında yıldırım, fırtına gibi atmosferik olaylar, şebeke bağlama işlemleri, yanlış topraklamalar ve elektrik kesintileri sayılabilir. Ayrıca bozucu etkilere, yüklerin anahtarlama, topraklama arızaları veya cihazların normal çalışması sırasında bizzat tüketicilerin kendileri neden olmaktadır.

3.1. Güç Kalitesi Problemlerinin Kaynakları ve Genel Etkileri

Güç sistemi ve tüketici cihazlarında güç kalitesi ile ilgili problemler geniş kapsamlıdır. Bu problemler birçok devre tarafından üretilir ve hem tüketiciyi hem de güç sistemlerini etkiler. Güç sistemlerinde gerilim ve akım dalga şekilleri harmoniklerle sık sık bozulmaktadır. Bu bozulmalar nedeniyle sık karşılaşılan bazı problemler şunlardır (Günay, 2002):

- Generatör ve şebeke geriliminin bozulması,
- Gerilim düşümünün artması,
- Kompanzasyon tesislerinin aşırı reaktif yüklenme ve dielektrik zorlanma nedeniyle zarar görmesi,
- Enerji sistemindeki elemanlarda ve yüklerde kayıpların artması, verimin azalması,
- Senkron ve asenkron motorlarda moment salınımlarının ve aşırı ısınmanın oluşması,
- Endüksiyon tipi sayaçlarda yanlış ölçmeler,
- Uzaktan kumanda, yük kontrolü vb. yerlerde çalışma bozuklukları,
- Şebekede rezonans olayları, rezonansın neden olduğu aşırı gerilimler ve akımlar,
- Koruma ve kontrol düzeneklerinde işaret arızaları,
- Toprak temasında bir takım problemler,
- Yalıtım malzemesinin delinmesi,
- Elektrik cihazlarının ömürlerinin azalması,
- Güç faktörünün azalması,
- Sesli ve görüntülü iletişim araçlarında parazitler ve anormal çalışma,
- Mikroişlemcilerde hatalı çalışmalar,

- Tristör kontrollü hız kontrol cihazlarında, tristörlerin tetiklenmesinde kapı devrelerinde gecikmeler, ateşleme anlarının değişmesi gibi etkiler,
- Başta motor olmak üzere diğer cihazlarda ek gürültüler.

Tablo 3.1’de güç kalitesi problemlerinin, nedenleri, etkileri ve bu etkileri gidermek için kullanılan çözüm yolları görülmektedir (Douglas, 1994; Günay, 2002).

Tablo 3.1. Güç kalitesi problemleri ve koruma ekipmanları

Güç Kalitesi Problemi	Muhtemel Neden	Koruma Ekipmanı	Problemin Etkisi
Gerilim çökmesi	Yıldırım düşmesi, Büyük yüklerin devreye alınması, Sistem arızaları	Gerilim regülatörü, Motor-generatör grubu, KGK, Statik düzenleyici	Bilgisayar ve kontrollerde kullanılan hassas devrelerin yanlış çalışması, Ekipmanların çökmesi
Aşırı veya düşük gerilim	Zayıf gerilim regülasyonu, Aşırı devre yükleri	Gerilim regülatörü, KGK	Aşırı motor akımı, Anormal gerilimden dolayı ekipmanlarda arıza veya çökme
Geçici olaylar	Yıldırım düşmesi, Şebeke anahtarlama	Dalga bastırıcı Parafudr	Ekipmanların çökmesi
Kesinti	Güç sistem arızaları, Güç hatlarını kapsayan arızalar	KGK, Motor-generatör grubu	Elektronik cihazların yanlış veya hiç çalışmaması
Gerilim sıçraması	Büyük yüklerin azaltılması veya tamamen devreden çıkarılması	Gerilim regülatörü, KGK, Motor-generatör grubu	Cihaz yalıtımının delinmesi
Harmonik bozulma	Ark fırınları, Gaz deşarjlı aydınlatma cihazları, Güç konverterleri	Hat düzenleyici filtre	Rölelerin yanlış çalışması, Yalıtımın delinmesi, Motor-trafo nötr iletkeninde aşırı ısınma
Elektriksel gürültü	Zayıf bağlantılar, Yetersiz topraklama, Radyo ekipmanları	Yalıtım transformatörü, KGK (Kesintisiz Güç Kaynağı)	Mikroişlemci temelli ekipmanların yanlış çalışması

Güç sisteminde aşağıdaki olaylar meydana gelerek bazı kalite sorunlarının ortaya çıkmasına neden olabilirler (Günay, 2002);

- Yıldırım düşmesi geçici durumlara sebep olabilir. Gerilim çökmesi veya olası kesintilere neden olabilecek bir arızaya yol açarlar.
- Hat ve kapasitör anahtarlama geçici durumlara neden olabilir.
- İletim hatları ve transformatörlerin simetrik olmayan yapısı gerilim dengesizliğine yol açabilir.
- Fider üzerindeki arızalar gerilimin çökmesine, sıçramasına veya beslemenin tamamen kesilmesine neden olabilir.

- Müşteri üretim sahası veya yakın bir tesisten kaynaklanan problemler.
- Büyük yüklerin, özellikle motorların aniden devreye alınması, gerilim çökmesine neden olabilir.
- Tek fazlı yüklerin üç faza eşit olmayan dağıtımı gerilim dengesizliğine neden olabilir.
- Periyodik yükler kırpışma (gerilim salınımı-fliker) olayına sebep olabilir.
- Zayıf bir bağlantı veya yetersiz topraklama yüksek nötr-toprak gerilimine neden olabilir.
- Bilgisayarlar gibi güç elektroniği yükleri, ofis araçları, floresan lambalar, yüksek verimli ışıklandırma cihazları, ayarlanabilir hız sürücüler harmonik bozulmaya ve tek fazlı yük durumunda yüksek nötr akımlarına yol açabilir.
- Kontaktörlerin veya rölelerin anahtarlama geçici durumlara sebep olabilir.
- Kesintisiz güç kaynaklarının yanlış veya uygun olmayan çalışmaları, geçici durumlara, gerilim çökmelerine veya kesintilere yol açabilmektedir.

3.2. Güç Kalitesi Problemlerinin Sınıflandırılması

Güç kalitesi problemleri genel olarak üç bölümde incelenebilir:

a) Frekans Olayları

Güç sistemlerinin frekansı, sistemi besleyen generatörün dönme hızıyla doğrudan bağlantılıdır. Yük ve üretim arasında dinamik bir denge olduğundan, frekansta küçük değişiklikler meydana gelmektedir. Bu frekansın önemli bir şekilde değişim göstermesi nadir olarak görülmektedir.

b) Gerilim Olayları

Gerilim değişimleri birkaç gruba ayrılabilir:

- 1 dakikadan uzun süren değişimler; bunlar, eğer nominal gerilimin %90'ından az ise düşük gerilim, nominal gerilimin %110'undan büyük olursa aşırı gerilim olarak adlandırılır.
- 1 dakikadan kısa süren gerilim değişimleri; gerilim nominal değerin %10'u ile %90'ı arasında ise gerilim çökmesi, gerilimin %110'undan daha büyük ise gerilim sıçraması olarak adlandırılır.
- Her bir faz iletkeninde, gerilimin farklı değerler aldığı gerilim dengesizlikleri.
- Işık kırpışması olarak görülen sürekli ve değişken dalgalanmalar.
- Beslemenin tamamen kaybolduğu kesintiler.
- Yetersiz topraklamayla ortaya çıkan nötr-toprak geriliminde yükselme.

c) Dalga Şekli Durumları

Bu durumlar, temel gerilimin normal sinüsoidal dalga şeklinde bozulmalara sebep olurlar. Dalga şekli durumları aşağıdaki şekillerde görülebilir.

- Harmonik olarak isimlendirilen, temel gerilim veya akımda var olan, ana frekansın tam katı ek frekanslar olarak adlandırılır,
- Temel frekansın tam katı olmayan ara harmonikler,
- A.A-D.A konverter gibi 3 fazlı elektronik anahtarlama cihazlarının normal çalışmasından kaynaklanan çentik etkisi,
- Yıldırım düşmesi veya şebekede anahtarlama sonucunda meydana gelen büyük ve kısa süreli gerilim değişimleri olan geçici durumlar,
- 200 kHz'e kadar büyük frekanslı enerji dağıtımından kaynaklanan hasarlar.

3.3. Güç Kalitesi Bozulma Türleri

Güç kalitesi bozulma türleri ve bu bozulma türlerinin tipik değerleri Tablo 3.2'de görülmektedir (Atasal, 2000; Dugan vd., 2002).

3.3.1. Geçici Durumlar

Geçici durumlar terimi, sistemdeki değişikliklerin analizinde, istenmeyen ancak kısa süreli olan olayları ifade etmek için kullanılır.

Geçici durumlar için yaygın olarak kullanılan diğer bir tanım ise, bir sistemin sürekli durum şartından diğerine geçişi sırasında meydana gelen değişikliklerdir. Genel olarak, gerilim veya akımdaki anlık artış veya azalış, geçici durum ile ifade edilir.

Güç sisteminde, yük anahtarlama, ani yük değişimleri, yük ve şebeke arası açmalar, yıldırımlar, kontaklar arası arklar ve yalıtımda oluşan bozulmalar geçici olayların meydana gelmesine neden olurlar.

Genel olarak geçici durumlar, darbeli ve salınımlı geçici durumlar olmak üzere iki kategoride sınıflandırılır. Bu terimler akım ve gerilim geçici olayının dalga şekillerini yansıtır.

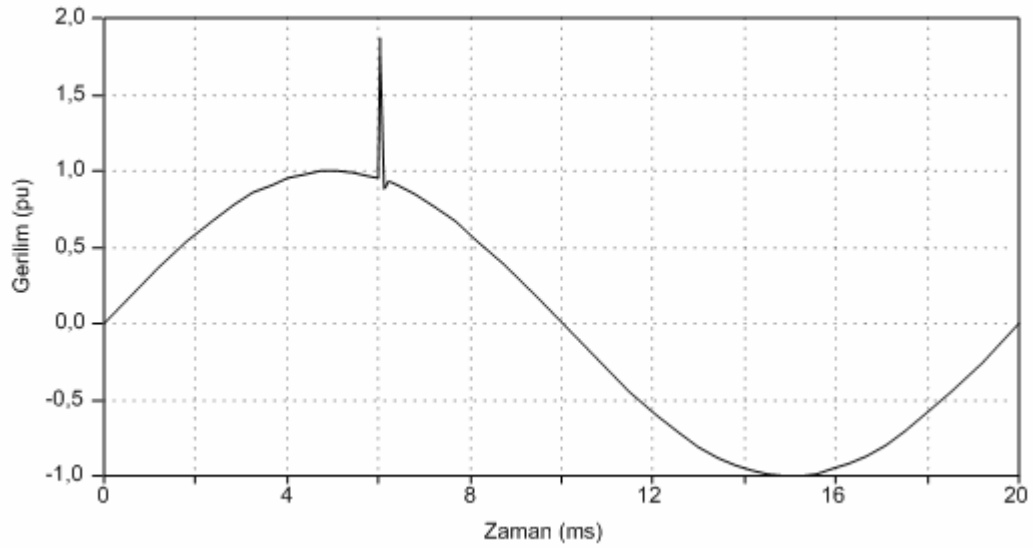
Tablo 3.2. Güç kalitesini bozan etkenlerin tipik değerleri

Bozulmanın Türü	Dalga Şekli İçeriği	Olayın Süresi	Gerilimin Genliği
Geçici Durum			
Darbeli			
Nanosaniye	5 ns yükselme	<50 ns	
Mikrosaniye	1 µs yükselme	50 ns-1 ms	
Milisaniye	0.1 ms yükselme	>1 ms	
Salınımlı			
Düşük frekans	<5 kHz	0.3-50 ms	0-4 pu
Orta frekans	5-500 kHz	20 µs	0-8 pu
Yüksek frekans	0.5-5 MHz	5 µs	0-4 pu
Kısa Süreli Değişimler			
Ani			
Kesinti		0.5-30 periyot	<0.1 pu
Çökme		0.5-30 periyot	0.1-0.9 pu
Sıçrama		0.5-30 periyot	1.1-1.8 pu
Kısa süreli			
Kesinti		30 periyot-3 s	<0.1 pu
Çökme		30 periyot-3 s	0.1-0.9 pu
Sıçrama		30 periyot-3 s	1.1-1.4 pu
Geçici			
Kesinti		3 s-1 dakika	<0.1 pu
Çökme		3 s-1 dakika	0.1-0.9 pu
Sıçrama		3 s-1 dakika	1.1-1.2 pu
Uzun Süreli Değişimler			
Kalıcı kesinti		>1 dakika	0.0 pu
Düşük gerilim		>1 dakika	0.8-0.9 pu
Yüksek gerilim		>1 dakika	1.1-1.2 pu
Gerilim Dengesizliği		Sürekli durum	% 0.5-2
Dalga şekli bozulmaları			
Doğru akım bileşeni		Sürekli durum	% 0-0.1
Harmonikler	0- 100. harmonik	Sürekli durum	% 0-20
Ara harmonikler	0-6 kHz	Sürekli durum	% 0-2
Çentik etkisi		Sürekli durum	
Gürültü	Geniş bant	Sürekli durum	% 0-1
Gerilim salınımları	<25 Hz	Kesintili	% 0.1-7
Frekans değişimleri		<10 s	

3.3.1.1. Darbeli Geçici Durumlar

Darbeli geçici durumlar, akım, gerilim veya her ikisinin sürekli durumlarında meydana gelen tek yönlü (pozitif ya da negatif) ani değişikliklerdir.

Darbeli geçici durumlar genellikle yükselme veya alçalma zamanları ile temsil edilirler. Örneğin, $1,2 \times 50 \mu s$, 2000 V olarak ifade edilen bir darbeli geçici durum, gerilimin $1,2 \mu s$ 'de 2000 V tepe değere çıktığını ve $50 \mu s$ 'de tepe değerinin yarısına düştüğünü göstermektedir. Darbeli geçici durumların en önemli nedeni yıldırım olaylarıdır. Şekil 3.1'de, gerilim dalga şeklinde oluşan darbeli geçici durum görülmektedir.



Şekil 3.1. Pozitif yönlü darbeli geçici durum

Darbeli geçici durumların şekli, oluşan yüksek frekanslardan dolayı hızlı bir şekilde değişebilir ve güç sisteminin farklı bölümlerinden izlendiğinde çok ayrı özellikler gösterebilirler. Genellikle güç sistemlerinde çok uzak mesafelere iletilmezler. Darbeli geçici durumlar güç sisteminin frekansını aşmaları halinde salınımlı geçici olaylara da neden olmaktadır.

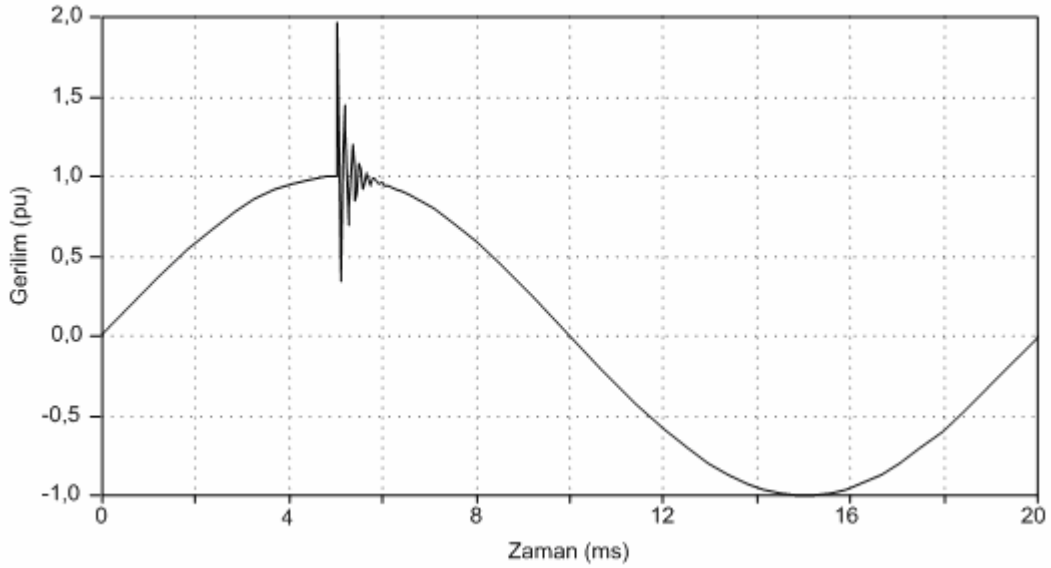
3.3.1.2. Salınımlı Geçici Durumlar

Salınımlı geçici durum; akım, gerilim veya her ikisinin sürekli durum şartlarında meydana gelen hem pozitif hem de negatif değerlerini içeren ani değişikliklerdir. Salınımlı geçici durumlar, anlık değerleri hızlı bir şekilde yön değiştiren akım ve gerilimlerden oluşur. Salınımlı geçici durumlar, dalga şekli içeriği, devamlılık süresi ve genlik değerleriyle ifade edilirler. Salınımlı geçici durumlar dalga şekli içeriğine göre düşük frekanslı, orta frekanslı ve yüksek frekanslı olarak üçe ayrılır.

Temel frekans değeri 500 kHz'den büyük frekans bileşenine ve mikrosaniye cinsinden devamlılık süresine sahip salınımlı geçici durumlar yüksek frekanslı salınımlı geçici durumlar

olarak adlandırılır. Bu tip salınımlar genelde yerel sistemlerin darbeli geçici olaylara verdiği cevap sonucunda oluşurlar.

Temel frekans değeri 5 ile 500 kHz arasında frekans bileşenine ve $10 \times \mu s$ 'ler cinsinden ifade edilen bir devamlılık süresine sahip salınımlı geçici durumlar, orta frekanslı salınımlı geçici durum olarak ifade edilir. Bu tip salınımlar genelde kapasitör anahtarlama sonucu oluşur. Şekil 3.2'de orta frekanslı salınımlı geçici durum görülmektedir.



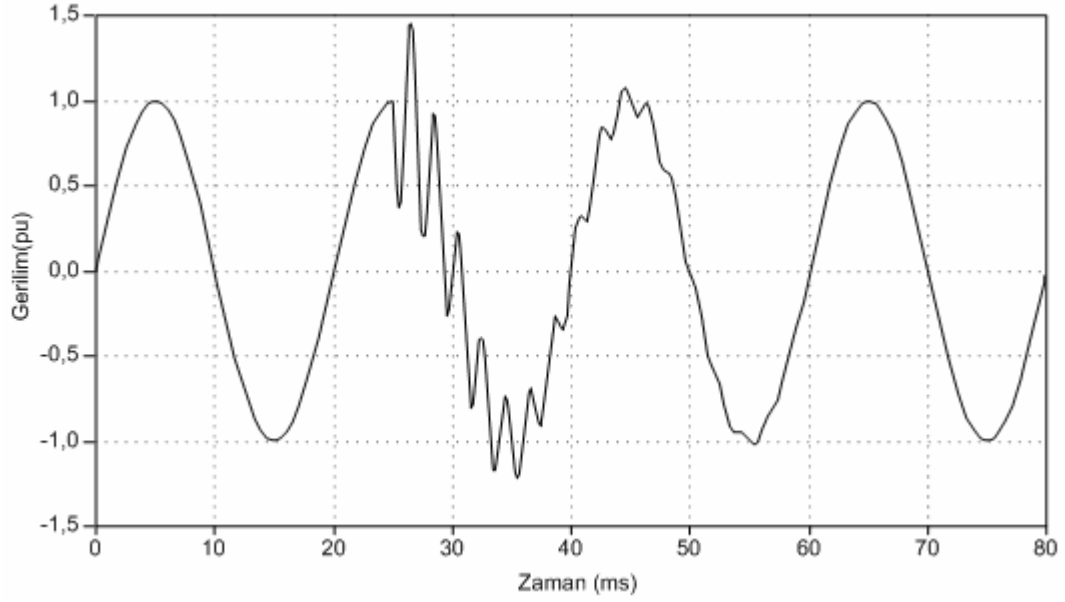
Şekil 3.2. Orta frekanslı salınımlı geçici durum

Temel frekans değeri 5 kHz'den küçük frekans bileşenine ve 0.3 ms ile 50 ms arasında bir devamlılık süresine sahip geçici olaylar ise düşük frekanslı salınımlı olaylar olarak adlandırılır. Bu tip geçici durumlarla, kapasitör gruplarının devreye alınarak enerjilenmesi sonucunda iletim ve dağıtım sistemlerinde çok sık karşılaşılmaktadır (Şekil 3.3). Genelde sistemin yapısına bağlı olarak 0,5-3 periyot sürebilir ve tepe değeri yaklaşık 2 pu'ya ulaşabilir. Temel frekans bileşeni 300 Hz'in altında olan geçici olaylarla genellikle dağıtım sistemlerinde karşılaşılmaktadır. Bu olaylar genellikle ferrezonans veya transformatörlerin devreye alınması sonucunda meydana gelirler.

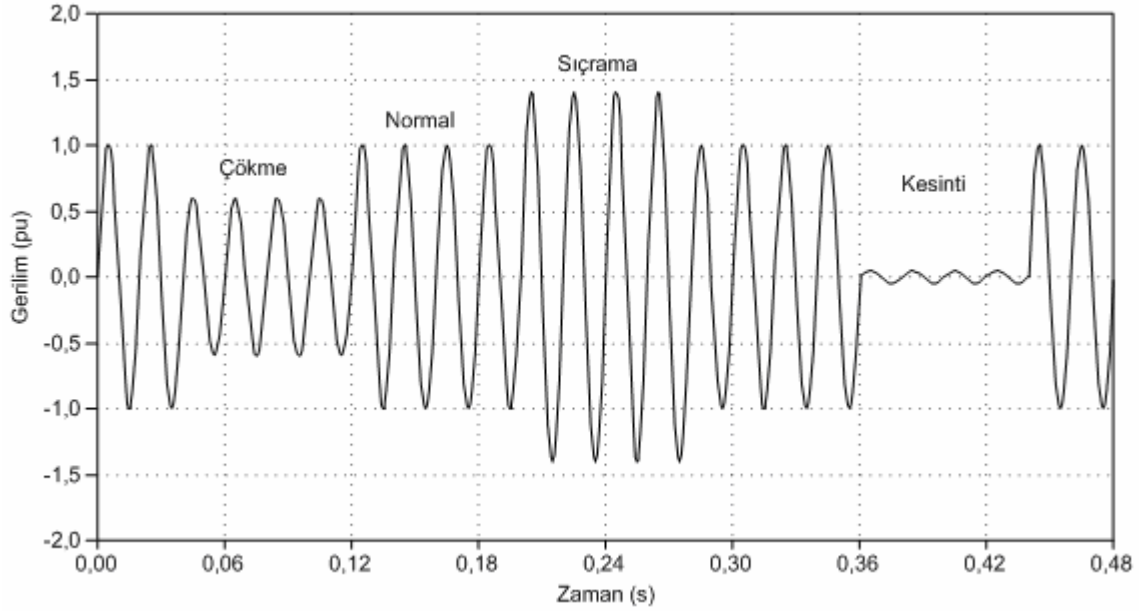
3.3.2. Kısa Süreli Gerilim Değişimleri

Bu tür geçici durumlar sürelerine göre ani, geçici ve kısa süreli olarak sınıflandırılabilir. Kısa süreli gerilim değişimleri, yüksek değerde yol alma akımı çeken büyük yüklerin devreye alınması veya güç iletkenlerinde oluşan temassızlıklar nedeniyle oluşur. Arıza yeri ve sistem şartlarına bağlı olarak arıza, geçici gerilim çökmesine, gerilim sıçramasına ya da gerilimin

tamamen kesilmesine neden olabilir. Şekil 3.4'te bu sınıflandırmaya ait dalga şekillerinin bir temsili görülmektedir (Uyar, 2008).



Şekil 3.3. Kapasitör anahtarlanması sonucu oluşan düşük frekanslı salınımlı geçici durum



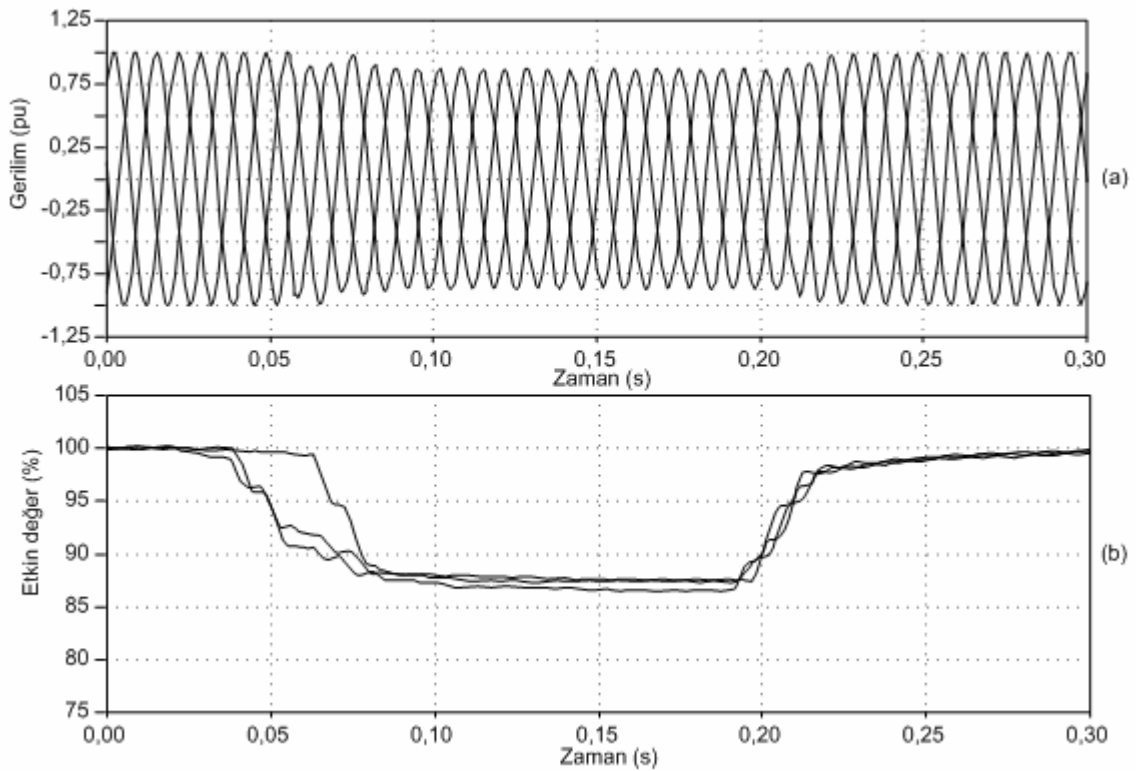
Şekil 3.4. Kısa süreli gerilim değişimleri (çökme, sıçrama ve kesinti)

3.3.2.1. Gerilim Çökmesi

Çökme, şebeke frekansında, 10 ms'den fazla ve 1 dakikadan az olmak kaydıyla, nominal gerilimin tepe değerinin(etkin değerinin) %10'u ile %90'ı arasında azalması olarak

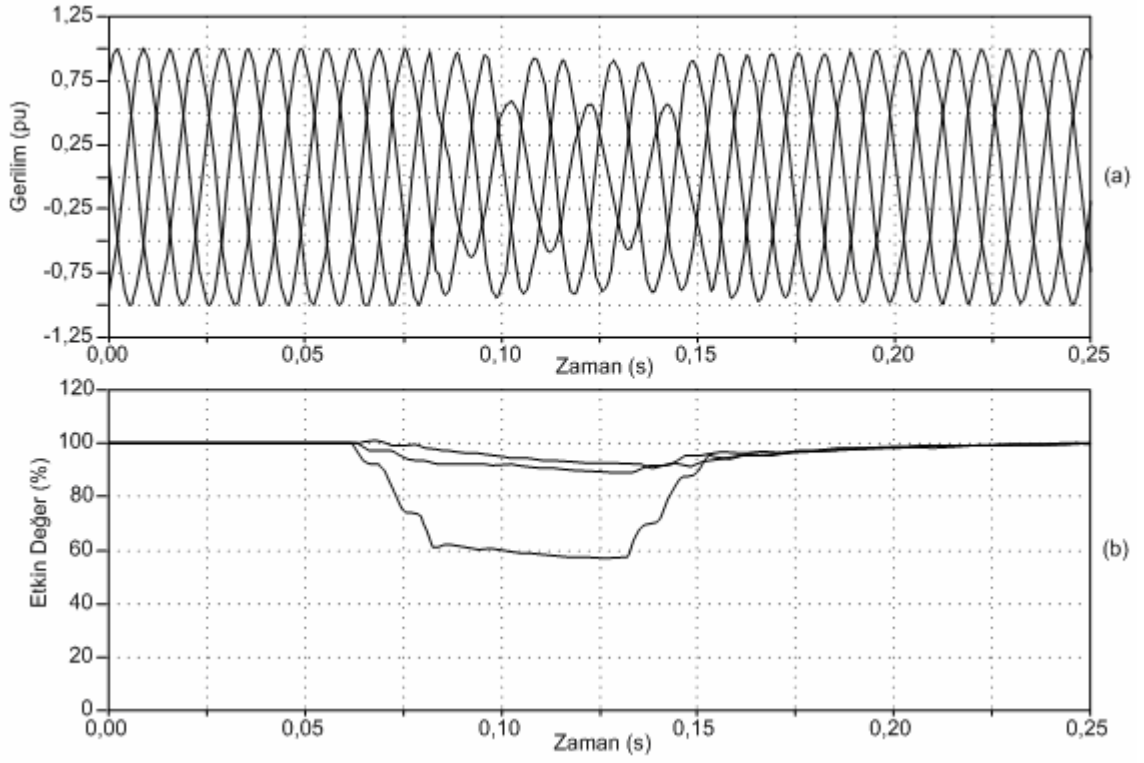
tanımlanabilir. Gerilim çökmelerine, şebeke yetersizliği, aşırı yüklenme, büyük motorlara yol verme sırasında şebekeden anlık olarak 5 ile 10 kat daha fazla akım çekilmesi, sistemde oluşan kısa devreler sonucunda arıza akımlarının şebekede dolaşması gibi sebepler neden olurlar. Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da orta gerilim hattında, simetrik (üç faz-toprak) ve simetrik olmayan (tek faz-toprak) arızalar sonucunda meydana gelen tipik gerilim çökmesi olayı görülmektedir.

Bir asenkron motor yol alma anında, tam yük akımının 6-10 kat fazlasını çekebilmektedir. Eğer asenkron motorun çektiği akımın genliği, sisteme bağlı olduğu noktadaki olası arıza akımına göre yüksek ise, ortaya çıkan gerilim çökmesi büyük olabilir. Bu durumda, gerilim çok kısa sürede nominal gerilimin %70’ine düşebilir ve yaklaşık 3 s sonra da kademeli olarak normale dönebilir. Şekil 3.7’de, asenkron motorun sebep olduğu bir gerilim çökmesi olayı görülmektedir (Uyar, 2008).



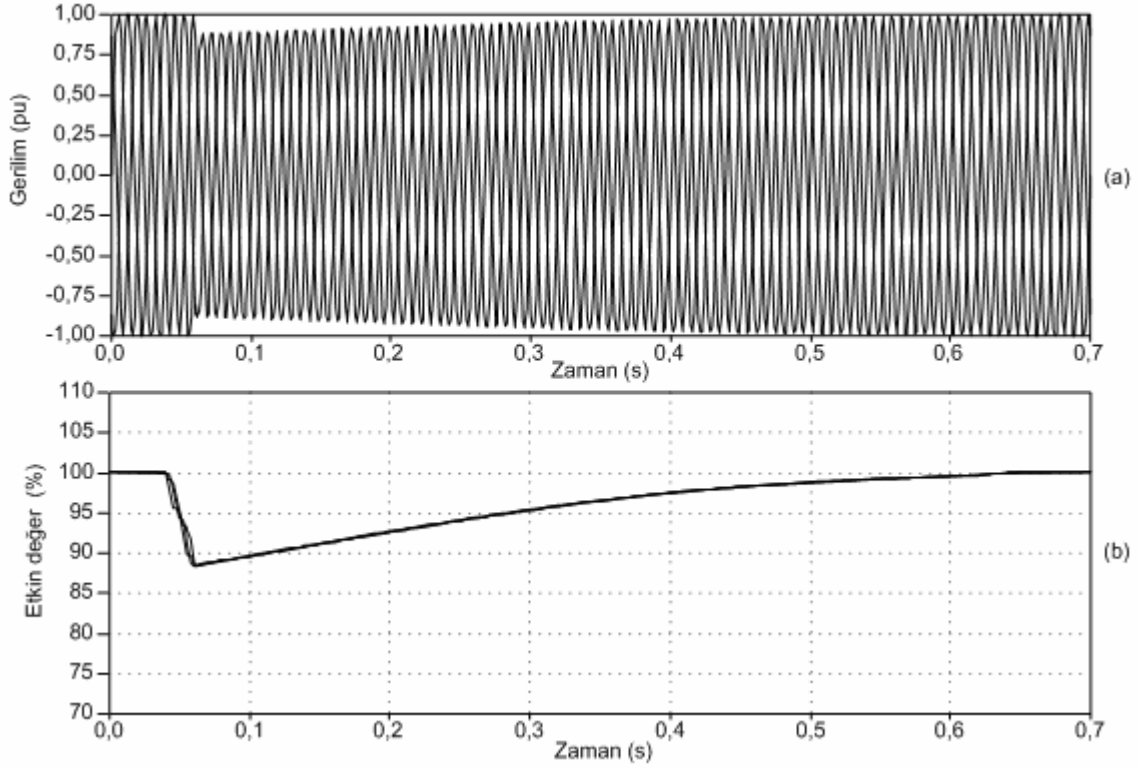
Şekil 3.5. Simetrik bir arızanın sebep olduğu gerilim çökmesi

(a) Gerilimin dalga şekli (b) Gerilimin etkin değeri



Şekil 3.6. Simetrik olmayan bir arızanın sebep olduğu gerilim çökmesi

(a) Gerilimin dalga şekli (b) Gerilimin etkin değeri



Şekil 3.7. Asenkron motorun sebep olduğu gerilim çökmesi

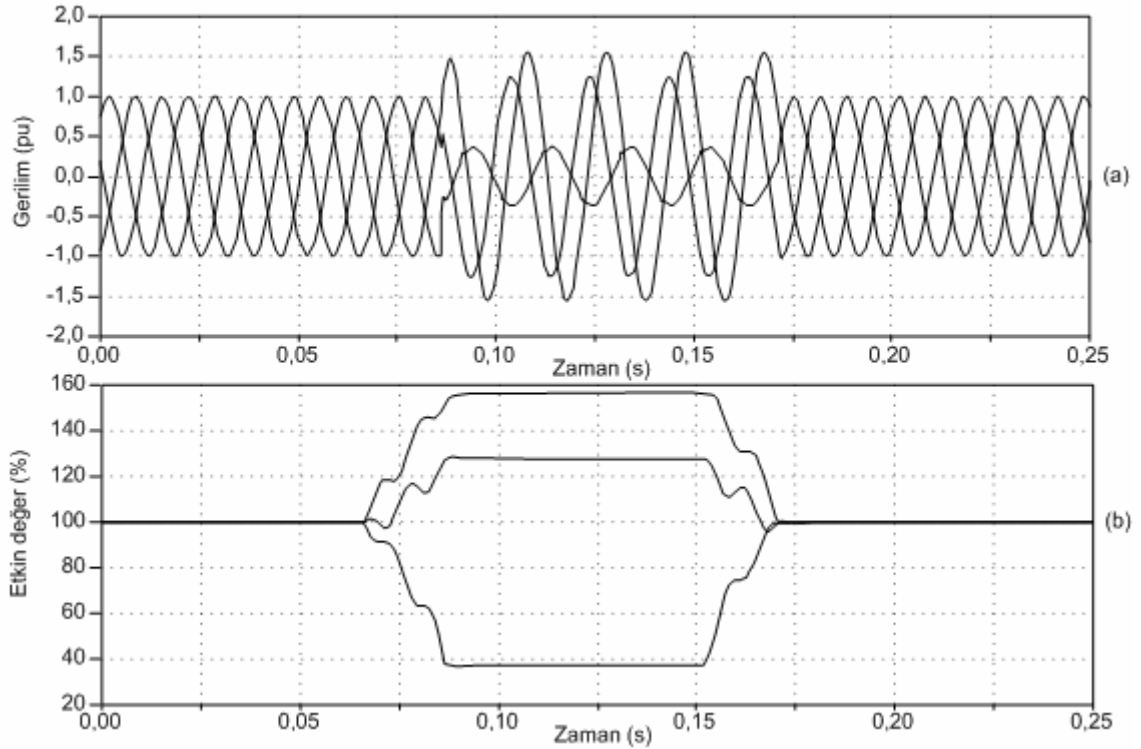
(a) Gerilimin dalga şekli (b) Gerilimin etkin değeri

3.3.2.2. Gerilim Sıçraması

Sıçrama, şebeke frekansında, 10 ms'den fazla ve 1 dakikadan az olmak kaydıyla nominal gerilim etkin değerinin %110 - %180 arasında artış göstermesi olarak tanımlanmaktadır.

Gerilim çökmesinde olduğu gibi, gerilim sıçramaları da genellikle sistem arızalarına bağlıdır. Fakat gerilim sıçramaları, gerilim çökmeleri kadar yaygın olarak görülmemektedir. Şebekede bulunan büyük güçte ve yüksek akım çeken yüklerin aniden devreden çıkması, şebekedeki düzensizlikten oluşan regülasyon zayıflıkları, üç ve daha çok fazlı devrelerde hatlar arası oluşan kısa devreler, tek faz-toprak kısa devre arızası sırasında, arıza olmayan fazda geçici bir gerilim artışı gibi arızalar, büyük yüklerin anahtarlama veya büyük kapasitörlerin devreye alınması da gerilim sıçramasının oluşmasına neden olurlar. Şekil 3.8'de, bir kısa devre arızası sonucunda orta gerilim hattında oluşan ani gerilim sıçraması olayı görülmektedir.

Gerilim sıçramaları, genlik değerine ve olayın süresine göre karakterize edilirler. Arıza durumu süresince gerilim sıçramasının şiddeti, arıza yerine, sistem empedansına ve topraklamaya bağlı olarak değişir (Uyar, 2008).

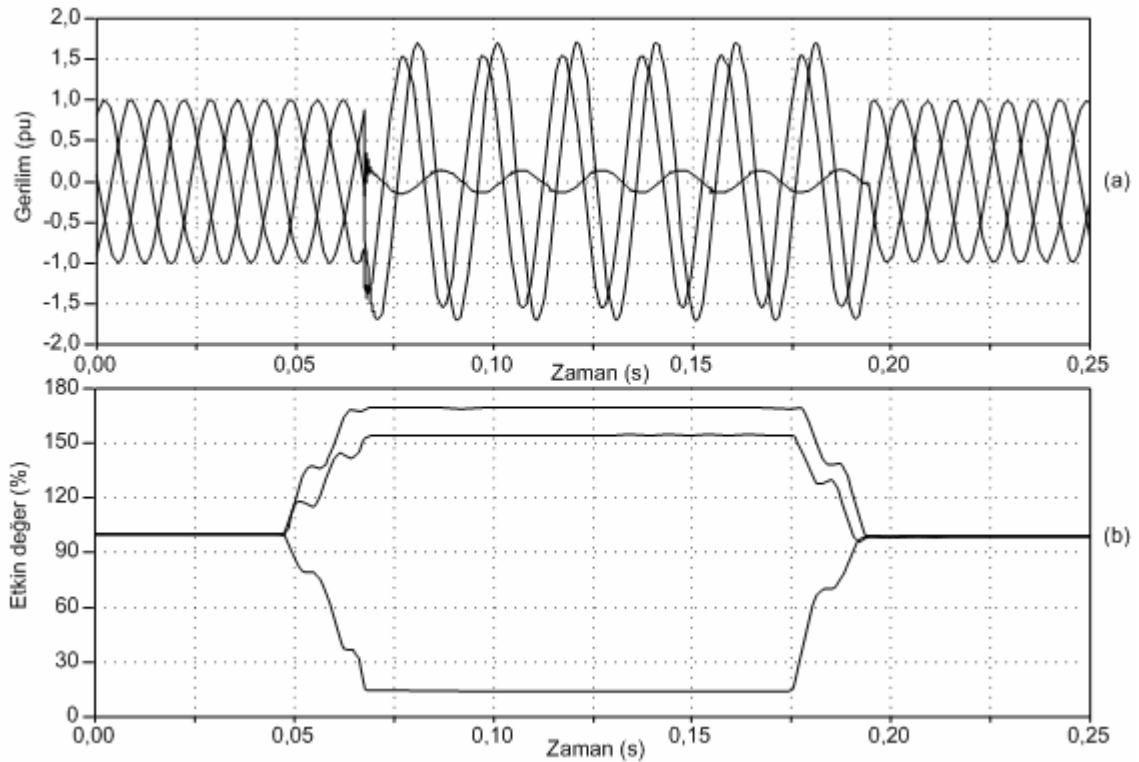


Şekil 3.8. Kısa devre arızası sonucu oluşan ani gerilim sıçraması

(a) Gerilimin dalga şekli (b) Gerilimin etkin değeri

3.3.2.3. Gerilim Kesintisi

Kaynak gerilimi veya yük akımının, 1 dakikayı aşmayan bir süre boyunca nominal değerinin %10'nun altına düşmesi sonucu kesinti meydana gelmektedir. Anlık gerilim kesintileri, güç sistemi arızaları, cihaz arızaları veya kontrol sistemlerinin yanlış çalışması sonucunda oluşabilmektedir. Kesinti esnasında, gerilimin genliği genellikle nominal gerilimin %10'unun altına düştüğünden kesintiler sürelerine göre değerlendirilir. Koruma cihazının ani tekrar kapaması, genellikle 30 periyottan az süren ve kalıcı olmayan bir arızanın sebep olduğu kesintiyi sınırlayacaktır. Koruma cihazının gecikmeli tekrar kapaması ise, anlık ve geçici kesintiye sebep olabilir. Cihazların yanlış çalışması veya bağlantılardaki temassızlıklarından kaynaklanan kesintilerin süresi düzensiz olabilir. Şekil 3.9, tek faz- toprak kısa devre arızası sonucu oluşan bir gerilim kesintisi olayını göstermektedir (Uyar, 2008).



Şekil 3.9. Kısa süreli gerilim kesintisi (a) Gerilimin dalga şekli (b) Gerilimin etkin değeri

3.3.3. Uzun Süreli Gerilim Değişimleri

Uzun süreli gerilim değişimleri, şebeke frekansında, 1 dakikadan daha uzun etkin değişimleri ifade etmektedir. Uzun süreli gerilim değişimleri aşırı gerilim veya düşük gerilimden kaynaklanabilir. Aşırı ve düşük gerilimler, genellikle şebekedeki yük değişimleri ve şebekedeki açma-kapama (anahtarlama) olayları nedeniyle oluşurlar.

3.3.3.1. Aşırı Gerilim

Aşırı gerilim, şebeke frekansında, 1 dakikadan uzun süren ve gerilimin etkin değerinin %110'unu aşacak şekilde yükselmesiyle oluşur. Aşırı gerilim genellikle, dağıtım sistemindeki büyük bir yükün veya generatör grubunun devre dışı kalması veya bir kapasitör grubunun devreye alınması sonucu ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında, gerilim kontrollerinin yetersiz olması ve transformatör kademe ayarının doğru yapılmaması sistemde aşırı gerilimlere neden olmaktadır.

3.3.3.2. Düşük Gerilim

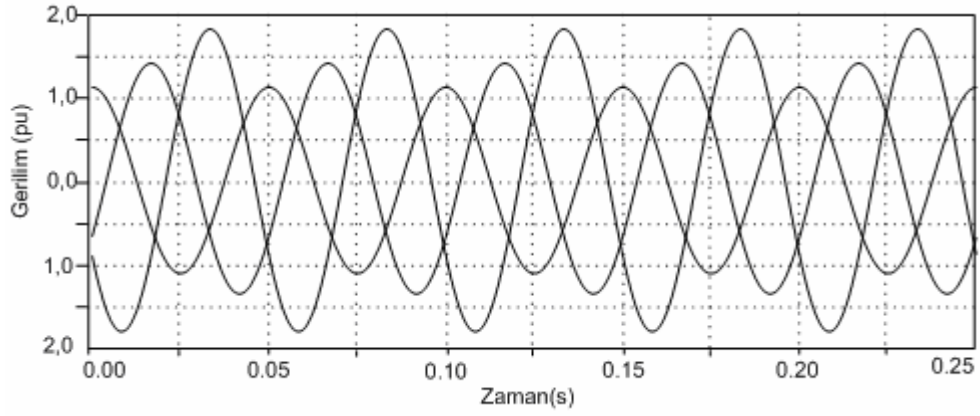
Düşük gerilim, şebeke frekansında, 1 dakikadan uzun süren ve gerilimin etkin değerinin %90'ın altına düşmesiyle oluşur. Aşırı gerilime neden olan olayların tam tersi olaylar sonucunda düşük gerilimler oluşur. Büyük yüklerin devreye alınması(yük anahtarlama), kapasitör gruplarının devreden çıkartılması, sistem üzerindeki gerilim düzenleyici cihazların gerilimi eski seviyesine geri getirinceye kadar geçen sürede düşük gerilimler oluşur. Ayrıca aşırı yüklenmiş devreler ve sistemlerde düşük gerilime neden olabilmektedir.

3.3.3.3. Kalıcı Gerilim Kesintileri

Kalıcı gerilim kesintisi, 1 dakikadan daha uzun bir süre boyunca kaynak geriliminin sıfır olarak kalması durumunda oluşmaktadır. 1 dakikadan uzun süren gerilim kesintileri genellikle kalıcı kesintiler olduğundan, sistemi onarıp eski durumuna getirebilmek için insan müdahalesi gerekmektedir (Günay, 2002).

3.3.4. Gerilim Dengesizliği

Üç fazlı dengeli sistemlerde, tüm fazlar aynı genlikte ve birbirlerini 120° lik faz açısı ile takip ederler. Şebekede meydana gelen herhangi bir arıza sonucunda fazlardan birinde veya birkaçında genlik ya da faz açısı bakımından bir sapma olursa sistem dengesiz duruma düşer (Şekil 3.10). Gerilim dengesizliği, üç fazlı gerilim veya akımın ortalamasından elde edilen maksimum sapma veya üç fazlı gerilim veya akımın ortalamasına bölümü olarak tanımlanır. Yüzde olarak ifade edilir. Oluşan gerilim dengesizliği simetrik bileşenler yöntemi kullanılarak da hesaplanmaktadır. Üç fazlı bir yükün veya üç fazlı bir kapasitör grubunun, tek faza kaldığı durumda, elektrik trenleri gibi büyük ve üç fazlı yüklerin sadece tek faza yüklenmesi durumunda meydana gelmektedir (Dugan vd., 2002; Uyar, 2008).



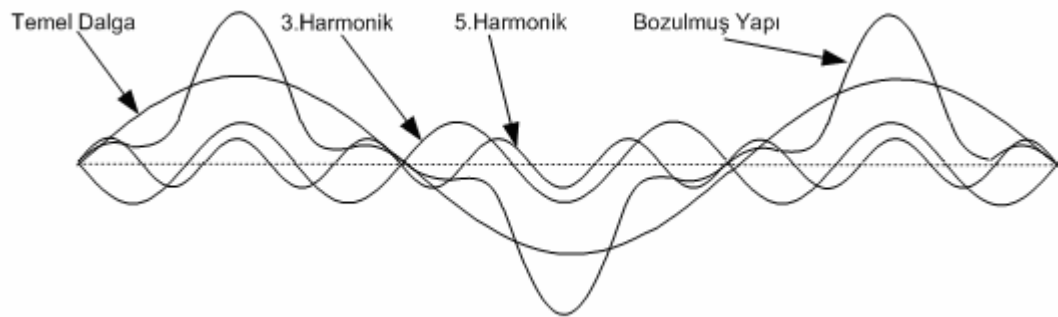
Şekil 3.10. Gerilimde oluşan dengesizlik

3.3.5. Dalga Şekli Bozulmaları

Dalga şekli bozulmaları, sürekli durumda gücün frekansının ideal sinüs dalgasından sapması olarak tanımlanır.

Şekil 3.11’de bozulmuş bir dalga örneği görülmektedir. Dalga şekli bozukluklarının beş temel türü bulunmaktadır. Bunlar;

- Doğru Akım Bileşeni
- Harmonikler
- Ara Harmonikler
- Çentikler
- Gürültü



Şekil 3.11. Bozulmuş bir dalga örneği

3.3.5.1. Doğru Akım Bileşeni

Bir alternatif akım güç sisteminde doğru akım veya gerilimin bulunması, doğru akım bileşeni olarak ifade edilir. Bu bileşen, elektronik güç dönüştürücülerinin simetrisizliğinin bir sonucu olarak meydana gelmektedir. Bir alternatif akım şebekesinde oluşan doğru akım, sistemde bulunan bir transformatörün normal çalışma şartlarında doyuma ulaşmasına neden olabilir. Bunun sonucu olarak transformatörde aşırı ısınma oluşarak, transformatör ömrünün kısılmasına sebep olur. Ayrıca doğru akım, topraklama elektrotlarında ve diğer bağlantılarda elektrolitik aşınmaya sebep olmaktadır.

3.3.5.2. Harmonikler

Harmonikler, şebeke frekansının (50 veya 60 Hz) tam katı frekanslara sahip (150 Hz, 350 Hz; 180 Hz, 420 Hz gibi) sinüsoidal gerilim veya akımlardır. Bozuk dalga şekilleri, temel bileşen ve tüm harmoniklerin toplamı olarak ifade edilebilir.

Harmonik bozulma, güç sistemindeki Tristör, IGBT, MOSFET gibi yüksek frekanslarda anahtarlama yapabilen cihazlar, ark fırınları, kaynak makineleri, frekans değiştiriciler, doğrultucular, elektroliz üniteleri, endüksiyon ısıtması gibi doğrusal olmayan özellikteki cihaz ve yükler nedeniyle oluşabilir.

Harmonik bozulma seviyeleri, her bir harmonik bileşenin genliği ve faz açılarını belirten harmonik spektrumu ile açıklanabilir. Harmonik bozulma etkin değerini bir ölçü olarak belirtmek için, Toplam Harmonik Bozulma (THB) ifadesi kullanılmaktadır. Toplam Harmonik Bozulma (THB) temel bileşen hariç olmak üzere, her bir harmonik bileşenin karelerinin toplamının karekökünün temel bileşene oranıdır. Bir gerilim dalga şeklinin toplam harmonik bozulma hesabı

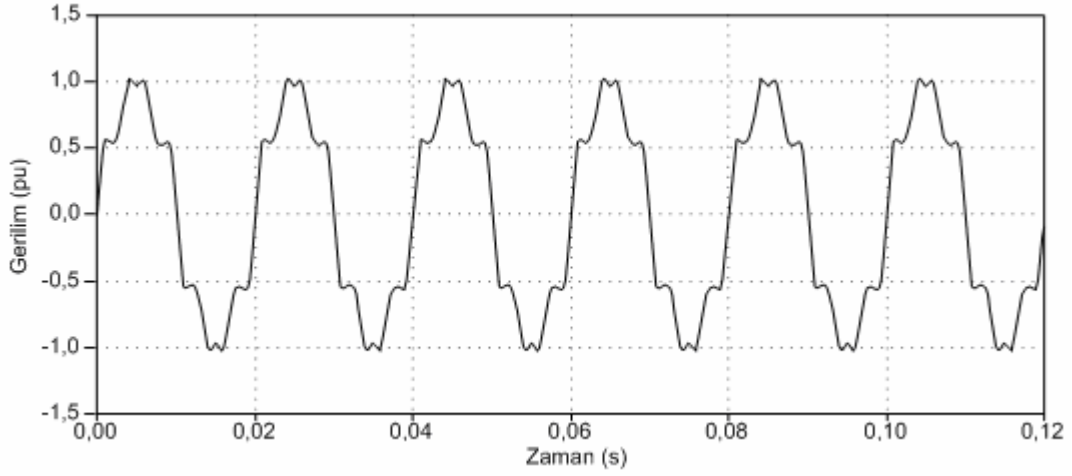
$$V_{THB} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_{effn}^2}}{V_{eff1}} = \sqrt{\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 + \left(\frac{V_3}{V_1}\right)^2 + \dots + \left(\frac{V_n}{V_1}\right)^2} \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada V_1 , şebeke frekansındaki gerilim değerini ve V_{effn} ise n. harmonik gerilim değerini temsil etmektedir. Akım dalga şeklinin toplam harmonik bozulma hesabı ise

$$I_{THB} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{effn}^2}}{I_{eff1}} = \sqrt{\left(\frac{I_2}{I_1}\right)^2 + \left(\frac{I_3}{I_1}\right)^2 + \dots + \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2} \quad (3.2)$$

şeklindedir.

Şekil 3.12’de harmoniklerin bozduğu gerilim dalga şekli gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Harmonik içeren gerilim dalga şekli

Akımın bozulma seviyeleri Toplam Harmonik Bozulma (THB) değeri ile karakterize edilebilmesine karşılık bazen bu durum yanıltıcı olabilmektedir. Örneğin, birçok ayarlanabilir hız kontrol sürücüsü düşük yüklerde çalıştıklarında giriş akımı için yüksek THB değerleri ortaya çıkar. Böyle bir durumda genlik düşük olduğundan, THB değerinin yüksek olması çok önemli değildir. Harmonikleri daha iyi karakterize edebilmek için IEEE Standartında 519 (1992), TTB (Toplam Talep Bozulma) adında yeni bir terim ifade edilmiştir.

$$TTB = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} (I_{effn})^2}}{I_{effy}} \quad (3.3)$$

Burada I_{effy} , toplam talep bozulma akımının etkin değeri, I_{effn} , n. harmonik derecesinde etkin yük akımıdır. TTB terimi toplam harmonik bozulma ile hemen hemen aynıdır. Fakat TTB’de, temel akımın değerini kullanmaktan ziyade yük akımları kullanılmıştır (Uyar,2008).

3.3.5.3. Ara Harmonikler

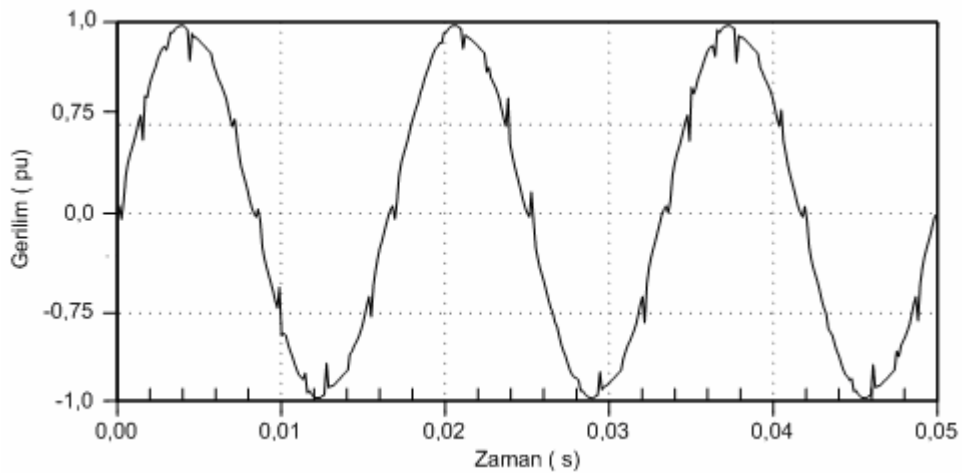
Şebeke frekansının (50 veya 60 Hz) tam katı olmayan frekans bileşenlerine sahip (153 Hz, 357 Hz; 183 Hz, 427 Hz) akım ve gerilimler ara harmonik olarak adlandırılır. Ara harmonikler, ayrık frekanslar veya geniş bant spektrumu olarak görülebilir.

Ara harmonikler, tüm gerilim kademelerinde bulunabilir. Ara harmonikleri oluşturan ana kaynaklar; statik frekans konverterleri, asenkron motorlar, indüksiyon fırınları ve ark cihazlarıdır. Bu tip harmonikler genellikle frekans değişiminin bir sonucu olarak ortaya çıkar ve yüke göre değişebilirler (Çelik, 2008).

3.3.5.4. Çentik

Çentik, şebeke geriliminin bir periyodunda doğrultucu darbe sayısı kadar tekrarlanan çökmelerden oluşan periyodik dalga bozulmasına verilen isimdir. Çentik sürekli olarak meydana geldiği için, etkilediği gerilimin harmonik spektrumu üzerinden özellikleri belirlenebilmesine rağmen, genellikle özel bir durum olarak incelenir. Çentiğin etkisi ile oluşan frekans bileşenleri çok yüksek olabilir. Bu nedenle harmonik analizleri için kullanılan klasik ölçüm cihazları ile belirgin bir şekilde tanımlanamazlar.

Çentikler, akımın bir fazdan diğerine geçiş (komutasyon) yaptığı anlarda meydana gelir. Bu geçiş işlemi sırasında çok kısa süreli faz-faz arası kısa devreler meydana gelerek, yüksek frekanslı salınımlar ortaya çıkarılırlar. Gerilimde oluşan çentikler, çok hassas elektronik elemanlara zarar verirler. Orta ve yüksek gerilim seviyelerinde kullanılan güç transformatörleri, yüksek frekanslı bileşenlerin üst seviyelere çıkışını engellendiğinden bu zararlar genellikle alçak gerilim seviyesinde kalmaktadır. Şekil 3.13'te üç fazlı bir dönüştürücünün oluşturduğu gerilim çentiği görülmektedir.



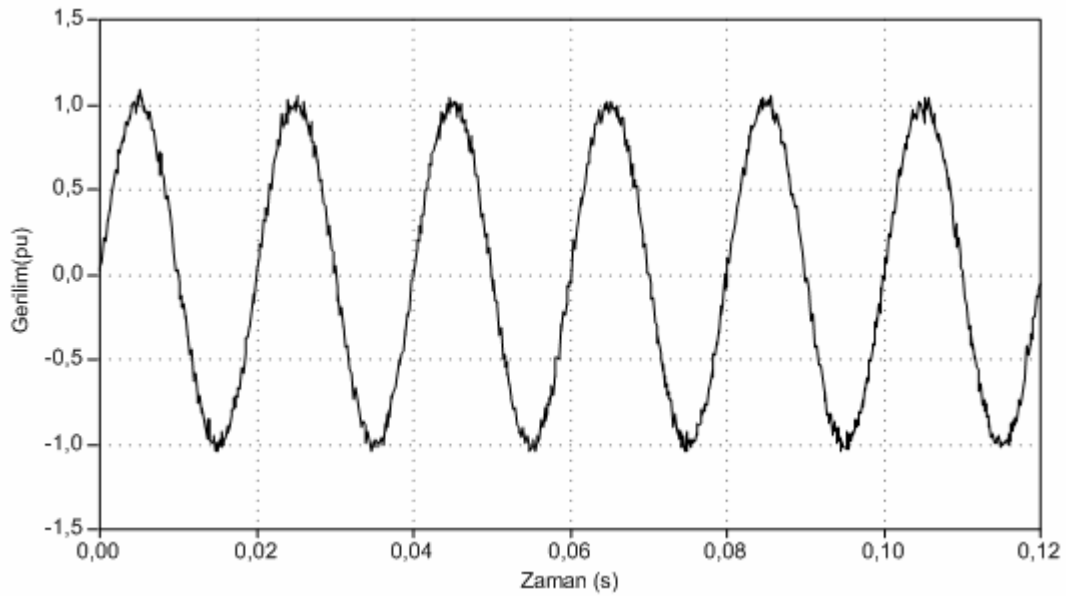
Şekil 3.13. Gerilim çentiği olayının dalga şekli

3.3.5.5. Gürültü

Gürültü, normal sinüs şeklindeki akım veya gerilim üzerine binen, 200 kHz'den küçük geniş bant frekans spektrumuna sahip, istenmeyen elektrik işareti olarak tanımlanır. Bu işaret hem faz iletkenleri hem de nötr iletkenleri üzerinden taşınabilir.

Güç sistemlerinde gürültüler, güç elektroniği cihazları, kontrol devreleri, ark cihazları, anahtarlamalı güç kaynakları gibi elemanlardan kaynaklanabilir. Ayrıca güç sistemlerinde uygun topraklama yapılmaması halinde, gürültü problemleri daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır.

Genel olarak gürültü, harmonik bozulma veya geçici durum olarak sınıflandırılmayan herhangi bir güç işaretinin bozulmasından oluşur. Şekil 3.14'te bir gerilim dalgası üzerine binmiş gürültü görülmektedir. Gürültü, mikroişlemciler veya programlanabilir kontrolörler gibi hassas elektronik cihazlarının çalışmasını olumsuz yönde etkileyebilir veya zarar verebilir. Bu problem, filtreler ve yalıtım transformatörleri kullanılarak azaltılabilir.

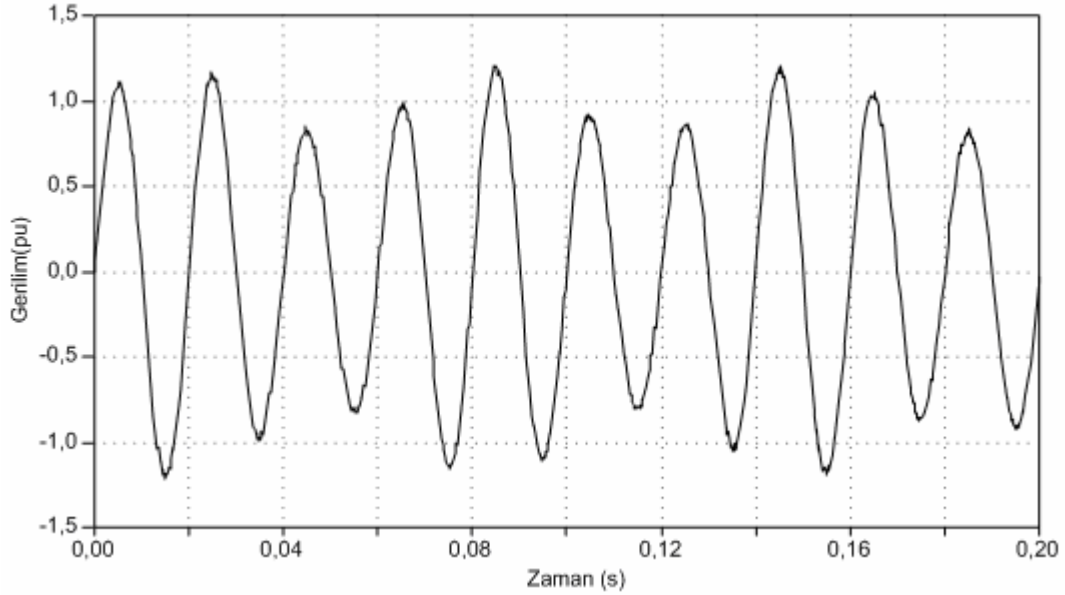


Şekil 3.14. Bir gerilim dalgası üzerine binmiş gürültü

3.3.6. Gerilim Salınımları (Kırışma)

Gerilim salınımları, genliği nominal gerilimin 0.9-1.1 p.u. değerleri arasında olan hızlı sistematik gerilim değişiklikleridir. Ark fırınları, kaynak makineleri gibi süreklilik gösteren cihazlar, yük akımında hızlı değişiklikler yaparak kırışma (flicker) etkisi olarak da isimlendirilen gerilim salınımlarına sebep olurlar. Şekil 3.15'de bir gerilim kırışması olayının dalga şekli gösterilmiştir.

Gerilim salınımlarının oluşturduğu kırışma, akkor flamanlı veya floresan lambaların hızlıca yanıp sönmesine sebep olmaktadır. Kırışma, 6-8 Hz civarında ise, ışığın şiddetindeki değişim gözle görülebilir. Kırışma, insanları hem bedensel hem de ruhsal olarak olumsuz bir şekilde etkileyebildiği gibi hassas cihazların çalışmasını da etkilemektedir.



Şekil 3.15. Gerilim kırışması olayı

3.3.7. Frekans Değişimleri

Frekans değişimleri, güç sisteminin temel frekansının nominal değerinden (50 Hz veya 60 Hz) sapması olarak tanımlanabilir.

Güç sistemlerinin frekansı, sistemi besleyen generatörlerin dönme hızlarıyla doğrudan bağlantılıdır. Yük ve üretim arasında dinamik bir denge olduğundan, frekansta küçük değişiklikler meydana gelmektedir. Frekans değişiminin boyutu ve süresi, yükün özelliklerine ve yük değişikliklerine yol açan generatör kontrol sisteminin cevabına bağlıdır.

İletim sisteminde meydana gelen arızalar, büyük yük taşıma kapasitesine sahip bir güç iletim sisteminin devre dışı kalması veya büyük güç üreten generatörlerin devre dışı kalması, bir güç sisteminin normal sürekli durum çalışması için kabul edilen sınırlar dışına çıkan frekans değişikliklerine sebep olmaktadır.

4. GÜÇ KALİTESİ PROBLEMLERİNİN ANALİZİNDE KULLANILAN İŞARET İŞLEME YÖNTEMLERİ

Güç kalitesi bozulmaları; zaman bilgisi, frekans bilgisi ve aynı anda hem zaman hem de frekans bilgisi içeren işaretleri kapsamaktadır. İşaretin temel yapısını oluşturan bu bilgileri ortaya çıkarmak için, incelenen işaretin bir analiz yöntemiyle ayrıştırılması gereklidir.

Bu yöntemlerinin temel amacı, uygun bir dönüşüm uyguladıktan sonra analiz edilen işareten istenen bilgiyi elde etmektir.

4.1. Fourier Dönüşümü

Joseph Fourier, sinüsoidal olmayan periyodik dalgaların genlik ve frekansları farklı birçok sinüsoidal dalgaların toplamından oluştuğunu, başka bir ifade ile bu tür dalgaların genlik ve frekansları farklı olan sinüsoidal dalgalara ayrılabilceğini ifade ederek, bir işaretin fonksiyonunu yaklaşık olarak temsil eden Fourier Dönüşümünü (FD) ortaya çıkarmıştır (Kocatepe vd., 2003).

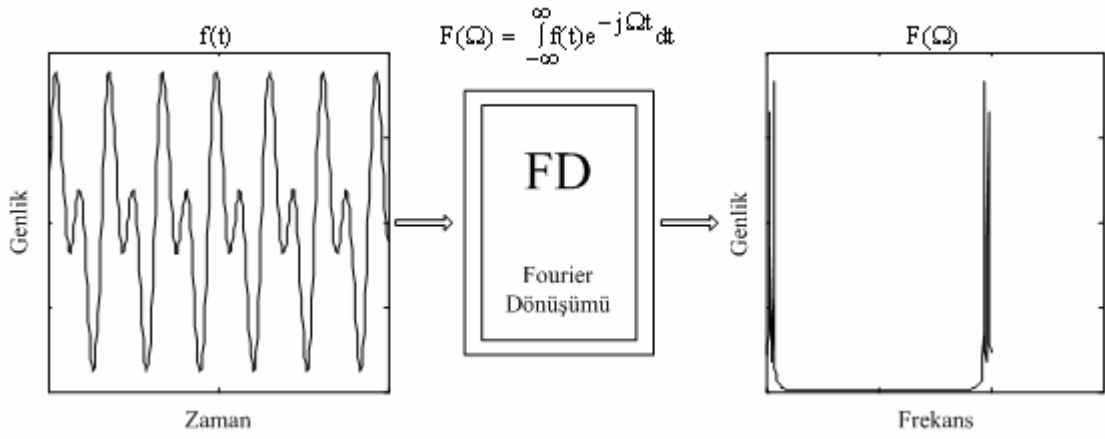
Fourier dönüşümü,

$$F(\Omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\Omega t} dt \quad (4.1)$$

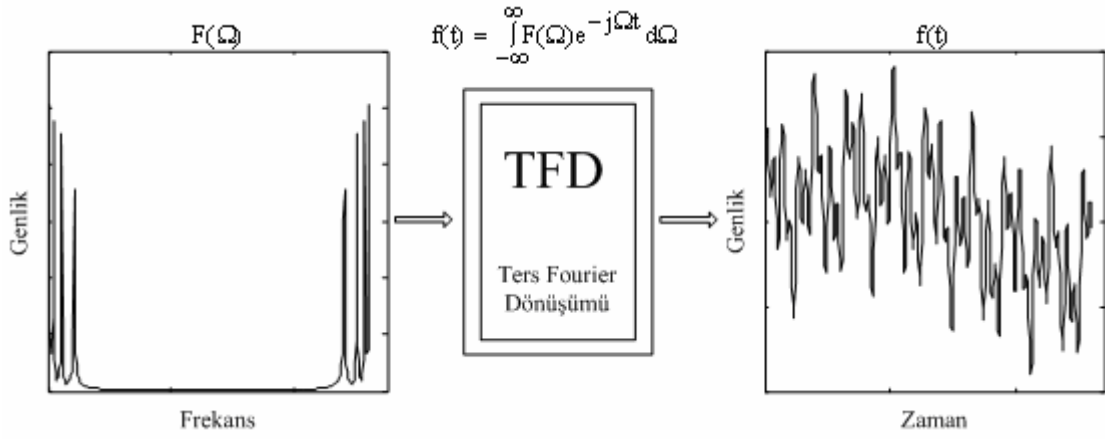
$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(\Omega)e^{j\Omega t} d\Omega \quad (4.2)$$

denk(4.1) ve denk(4.2) çifti ile tanımlanır. Bir fonksiyon $f(t)$ biçiminde zaman bölgesinde veya $F(\Omega)$ biçiminde frekans bölgesinde ifade edilebilir. Zaman bölgesinde verilen fonksiyon denk.(4.1) ile frekans bölgesine (Şekil 4.1), frekans bölgesinde verilen bir fonksiyon ise denk.(4.2) ile zaman bölgesine (Şekil 4.2) dönüştürülür.

Özellikleri zamanla değişmeyen, durağan bir $f(t)$ işarete uygulanabilecek en uygun dönüşüm, zaman-frekans bölgesi arasında bir ilişki sağlayan Fourier dönüşümüdür (Cohen, 1995). FD sadece durağan işaretin frekans bileşenleri hakkında bilgi verir, zaman bilgisi içermez. Şekil 4.3'de durağan ve durağan olmayan işaret örnekleri görülmektedir (Türkoğlu, 2002). Ancak, özellikleri zamanla değişen, durağan olmayan ve ani değişiklik gösteren işaretler söz konusu olduğunda, FD işarettaki herhangi bir anlık değişimi bütün frekans eksenine yansıtır. İşaretin dinamiklerini yakalama açısından bu istenmeyen bir durumdur (Flandrin, 1999).



Şekil 4.1. Fourier dönüşümü



Şekil 4.2. Ters Fourier dönüşümü



Şekil 4.3. İşaret örnekleri: a) Durağan, b) Durağan olmayan işaret

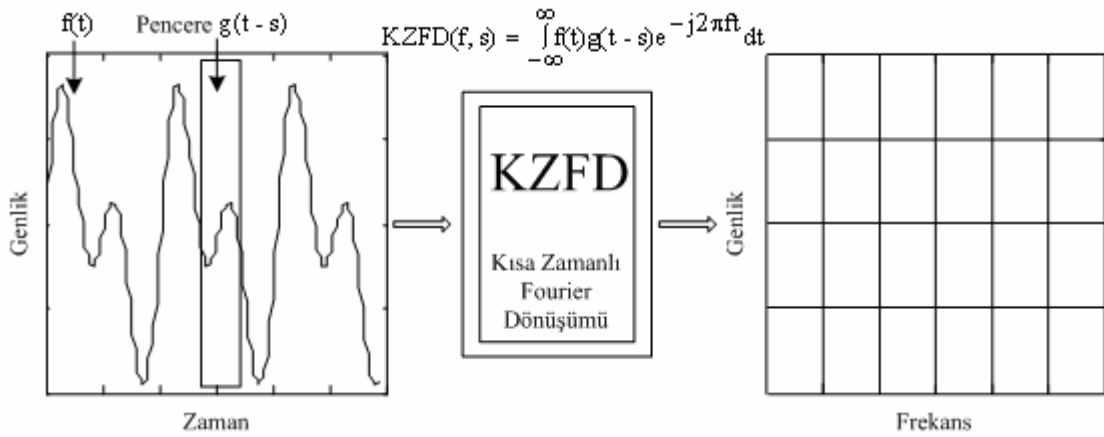
FD'deki bu eksikliği gidermek için Dennis Gabor, Fourier Dönüşümünü zamanın belli bir bölümünde, işaretin bir kısmını incelemek için kullanarak bu tekniğe işaretin pencerelemesi adını vermiştir. Bu yöntem Kısa-Zamanlı Fourier Dönüşümü (KZFD) olarak adlandırılır ve

işareti zaman ve frekansın iki boyutlu bir fonksiyonu olarak haritalar(Şekil 4.4). Durağan olmayan bir $f(t)$ işareti için KZFD

$$KZFD(f, s) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)g(t-s)e^{-j2\pi ft} dt \quad (4.3)$$

şeklinde tanımlanır. Burada $g(t-s)$ bir kayan pencere fonksiyonudur. Bu pencerenin görevi, zaman ekseninde yer tayin etmektir. Bir $f(t)$ işaretine $g(t-s)$ kayan pencere işaretinin etkisi Şekil 4.5’de görülmektedir. Bu pencereleme işlemi sabit genişlikli pencereleme olarak tanımlanır ve zaman çözünürlüğü tüm spektral içerikler için aynı değere sahiptir.

KZFD, işaretin zaman ve frekans tabanlı görünümüleri arasında köprü oluşturarak, işarete oluşan farklı durumların zamanı ve frekansı hakkında bilgi vermektedir. Fakat bu bilgilerin elde edilmesi bir koşula dayanmaktadır ve bu koşul da pencerenin genişliğiyle ilgilidir. KZFD’nin dezavantajı, zaman bölgesinde uygulanan pencerenin uzunluğunun hep sabit olmasıdır. Bu durum pencerenin bütün frekanslar için aynı kalması anlamına gelir. Sonuç olarak, hangi zamanda hangi frekans bileşenlerinin ortaya çıkacağı tam olarak kestirilemez (Daubechies, 1999; Uyar, 2008).

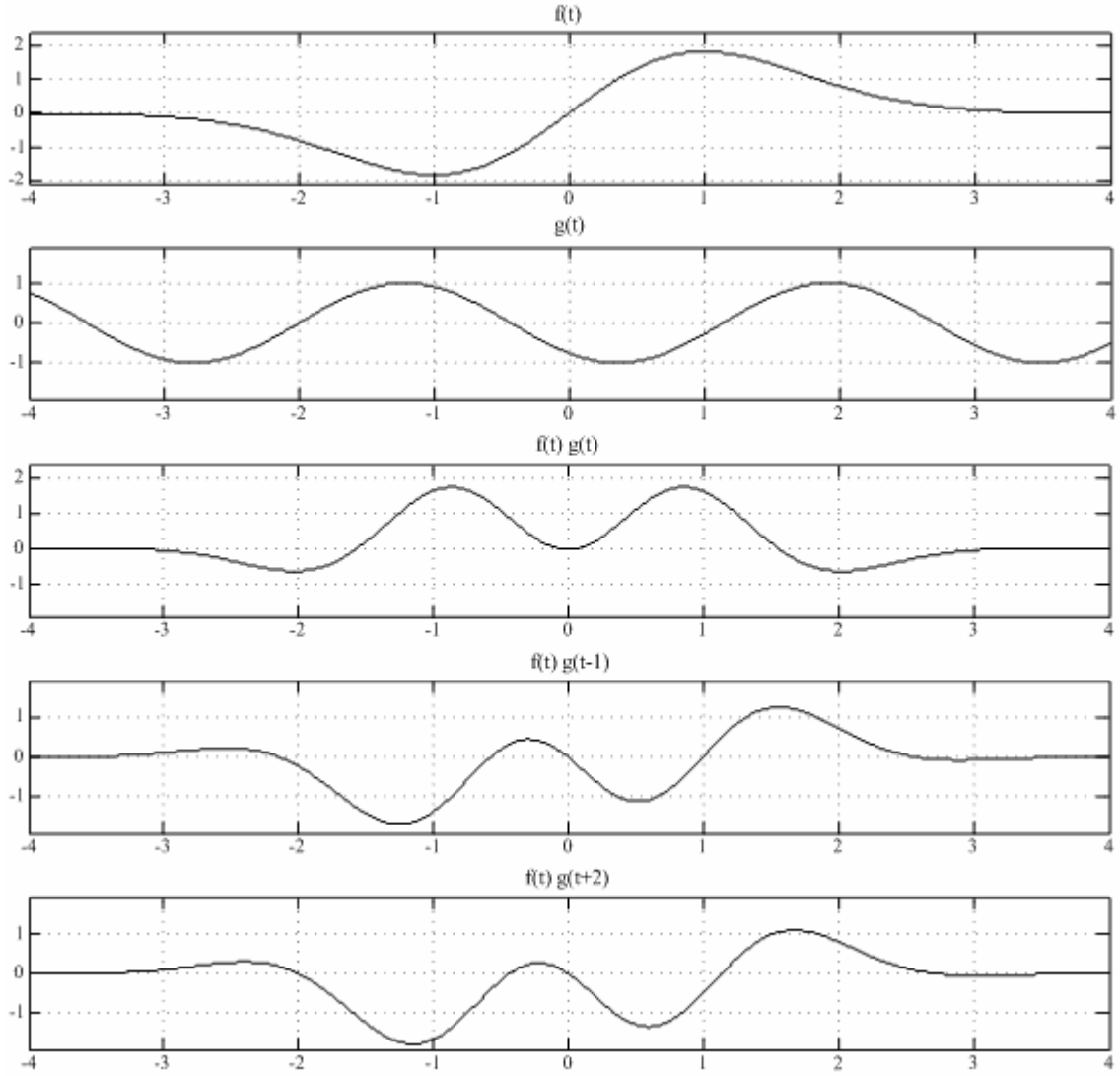


Şekil 4.4. Kısa-zamanlı Fourier dönüşümü

4.2. Dalgacık Dönüşümü

Dalgacıklar, ilk defa Alman matematikçi Alfred Haar (1909) tarafından ortaya atılmıştır. Teorik olarak ilk kez, Morlet ve Grossmann (1984) idaresindeki bilim adamları tarafından ele alınmış, daha sonraları ise temelleri Chui ve Meyer tarafından sağlamlaştırılmıştır. Fakat ana algoritma, Mallat’ın (1988) çalışmalarında ortaya çıkmıştır. Daubechies, Coifman ve

Wickerhauser öncülüğündeki çalışmalar ise Dalgacık teorisine yeni ufuklar açmıştır (Ağalar, 2003).

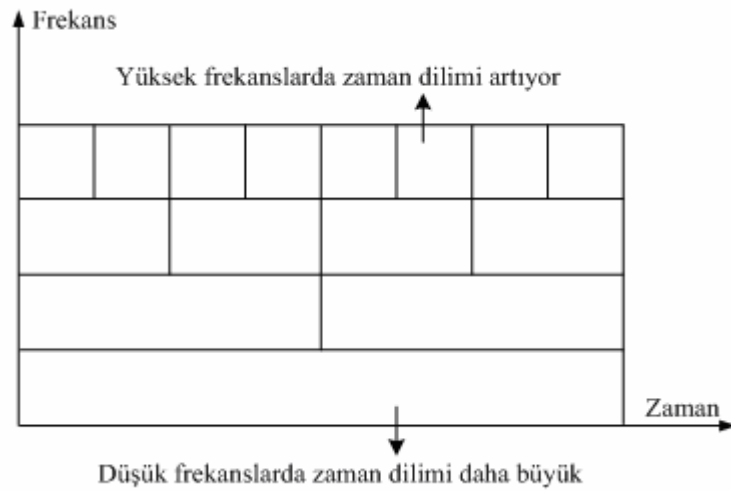


Şekil 4.5. Bir $f(t)$ işaretine $g(t)$ kayan pencere işaretinin etkisi

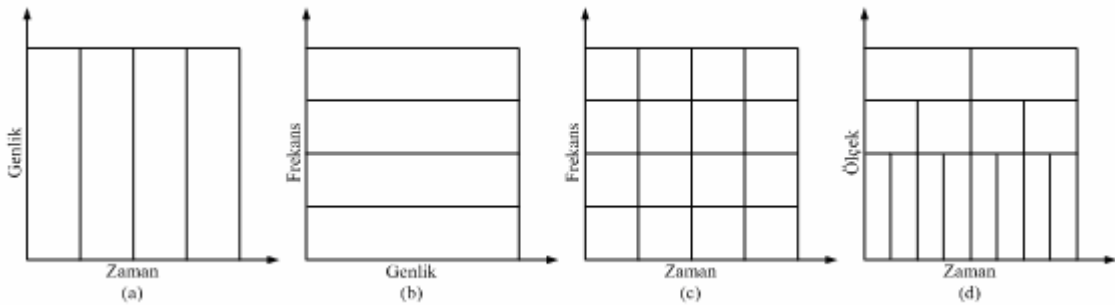
Tarihsel yönden dalgacık dönüşümü yeni bir işaret işleme yöntemi olmasına karşılık temeli Joseph Fourier'e kadar uzanmaktadır. Fourier, karmaşık işaretlerin daha basit işaretlerin toplamı şeklinde yaklaşık olarak ifade edilebileceğini belirterek, çok etkin ve çok önemli olduğu ispatlanan frekans dönüşümü ile ilgili düşüncelerini temel olarak ortaya koymuştur. Fourier dönüşümüyle verilen işaretler için frekans bölgesinde analizler yapılabilirken, zaman bölgesine sonsuz uzanan fonksiyonlar için sinyalin içeriği hakkında herhangi bir sayısal bilgi belirlenemediğinden araştırmacıların ilgisi, frekans tabanlı analizden zaman-frekans tabanlı analize zamanla kaymaya başlamıştır (Gu, 2003; Uyar, 2008).

FD, işaretteki herhangi bir anlık değişimi bütün frekans eksenine yansıtır. Bu ise işaretin dinamiklerini yakalamak açısından istenmeyen bir durumdur. Bu eksikliği gidermek için Dennis Gabor (1946), FD'yi zamanın belirli bir bölümünde işaretin bir kısmını incelemek için kullanarak KZFD'yi geliştirdi. Ancak KZFD de zaman domeninde uygulanan pencerenin uzunluğunun sabit olması, tüm frekanslar için pencerenin aynı kalmasına neden olduğu için hangi zamanda hangi frekans bileşenlerinin ortaya çıkacağı belirlenememektedir. KZFD'deki bu eksikliği gidermek içinde değişen uzunluktaki pencereleri kapsayan pencereleri içeren Dalgacık Dönüşümü(DD) yeni bir işaret işleme yöntemi olarak ortaya çıkmıştır (Ağalar, 2003).

Belirli bir zaman penceresinde değeri sıfırdan farklı özel salınımsal fonksiyona dalgacık adı verilmektedir. İncelenen işaret dalgacık fonksiyonuyla çarpılarak, her bir kısım için dönüşüm yapılmaktadır. DD'nin en önemli özelliği, Şekil 4.6'da görüldüğü gibi düşük frekans bilgilerinin istendiği yerde geniş zaman aralığında, yüksek frekans bilgilerinin istendiği yerde ise küçük zaman aralığında işlem yapmasıdır (Arı vd., 2008). İşaretin zaman tabanlı, frekans tabanlı, kısa-zamanlı Fourier ve Dalgacık dönüşümünün alındığı durumlardaki farklılıklar Şekil 4.7'de görülmektedir.



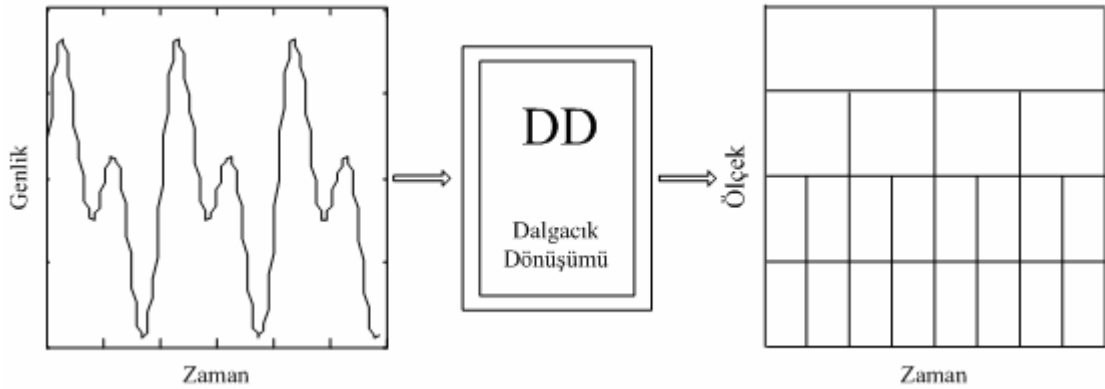
Şekil 4.6. Dalgacık Dönüşümü zaman-frekans gösterimi



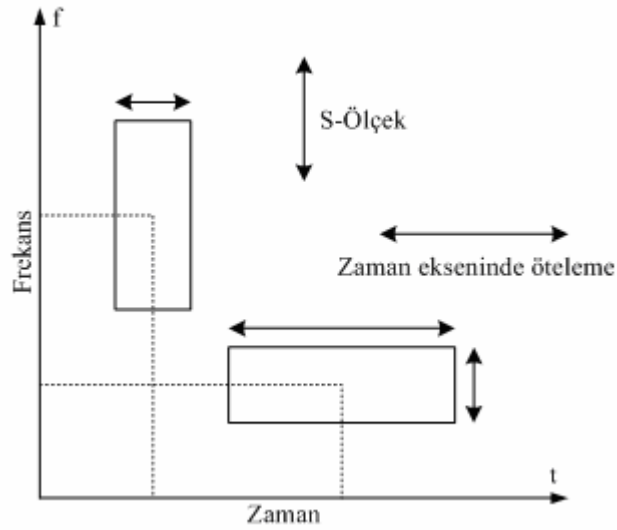
Şekil 4.7. İşaretin zaman-frekans tabanlı ve çeşitli şekillerde alınan dönüşümlerinin gösterilmesi;

(a) Shannon, (b) Fourier, (c) KZFD, (d) Dalgacık dönüşümleri

DD, Fourier dönüşümüyle incelenen durağan işaretlerin yanı sıra durağan olmayan işaretlerin incelenmesinde de kullanılan bir işaret işleme yöntemidir (Şekil 4.8). Dalgacık dönüşümünde, verilen bir işaret için düşük ve yüksek frekanslarda farklı boyutlarda pencereler kullanılarak işaretin zaman düzleminde temsili oluşturulur (Şekil 4.9) ve diğer zaman-frekans yöntemleriyle belirlenemeyen özellikleri görülebilir (Arı vd., 2008).



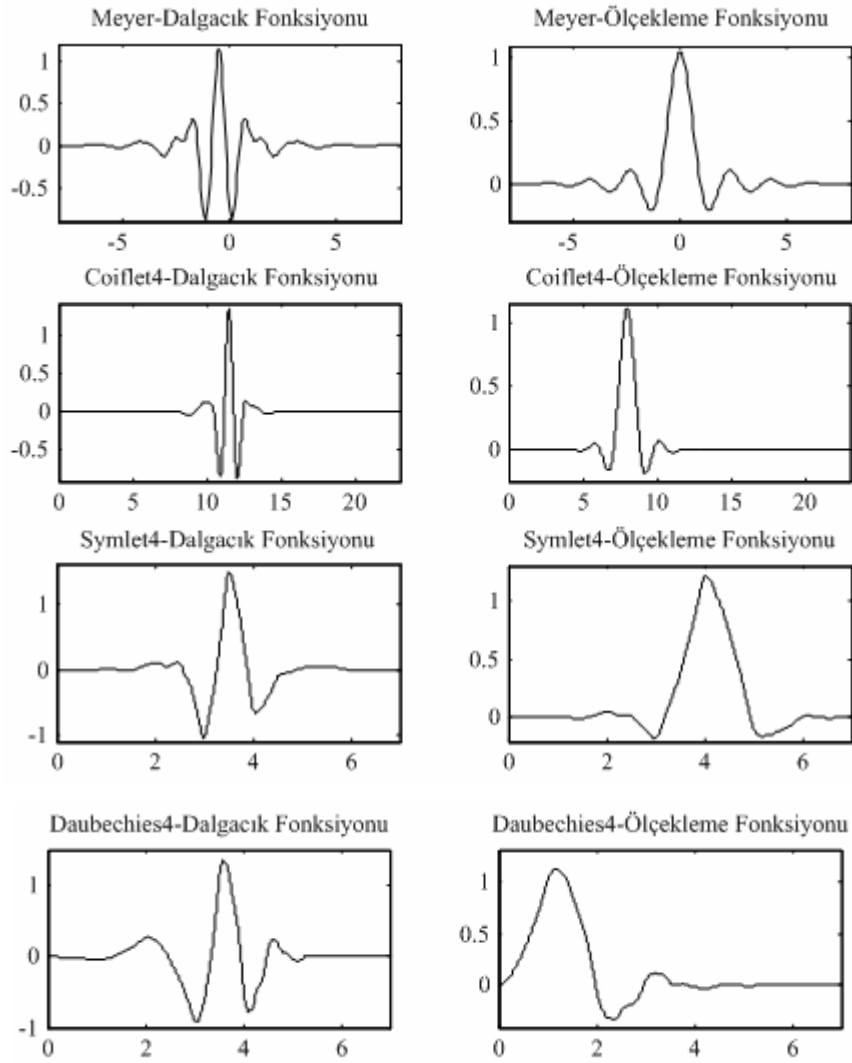
Şekil 4.8. Dalgacık dönüşümü



Şekil 4.9. Zaman-Frekans gösterimi

DD'de işarete bakmak için kullanılan ölçek dalgacık analizinde özel bir rol oynar. KZFD'nin sınırlamalarından biri olan, kullanılan pencerenin sabit olması DD'de ölçeklenebilir bir pencere ile giderilmiştir. Böylece işaret içindeki düşük frekans eğilimlerini açmak için geniş bir pencere, yüksek frekans detaylarını analiz etmek için sıkıştırılmış bir pencere kullanılır. Bunun için, DD ölçeklenebilir temel bir dalgacık fonksiyonu kullanıp sabit çözünürlük problemine çözüm getirerek, işaretin farklı çözünürlüklerde daha esnek bir zaman bölgesi analizini yapar.

DD zaman-ölçek yöntemine dayalı olduğu için, odağa tam olarak ayarlanarak işaretin farklı kısımlarını gözetleyebilen bir matematik mikroskobu gibi davranır (Gaouda, 1999). Şekil 4.10'da yaygın olarak kullanılan dalgacıkların bir kısmı verilmiştir.



Şekil 4.10. Yaygın olarak kullanılan dalgacık ve ölçekleme fonksiyonları

4.2.1. Sürekli Dalgacık Dönüşümü

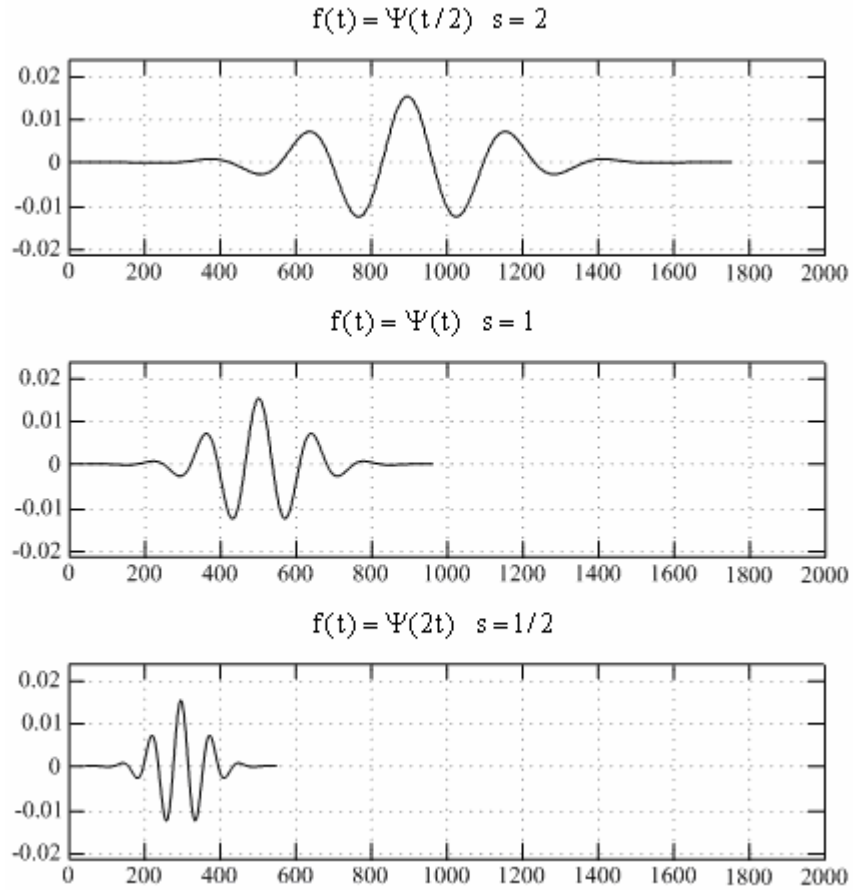
Sürekli DD (SDD), $f(t)$ giriş işaretinin Ψ ile gösterilen dalgacık fonksiyonunun ölçeklendirilmiş ve kaydırılmış haliyle çarpılıp tüm zaman boyunca toplanmasından elde edilir.

$$SDD(s, b) = - \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-b}{s}\right) dt \quad (4.4)$$

Burada $f(t)$ işaret, $\psi(t)$ dalgacıktır, b öteleme (zaman) parametresi olup, farklı frekans seviyelerinde ayrışım filtreleri tanımlar. s ise ölçekleme (frekans) parametresi olup her seviye için ayrışım filtrelerini ölçeklendirir (Arı vd., 2008).

İşaret ve dalgacık iyi eşleşmişse, işaret ve dalgacık arasındaki ilişki (korelasyon) yüksek olur. Dalgacık türü uygulamalara bağlı olarak seçilir. Dalgacık yüksek oranda sıkışık olduğunda işaretin yüksek frekans detaylarını elde eder. Dalgacık tamamen genişse dalgacığın uzunluğu, işaretin uzunluğu ile daha uygun benzerlik sağlar ve böylece işaretin düşük frekans eğilimleri ortaya çıkar (Uyar, 2008).

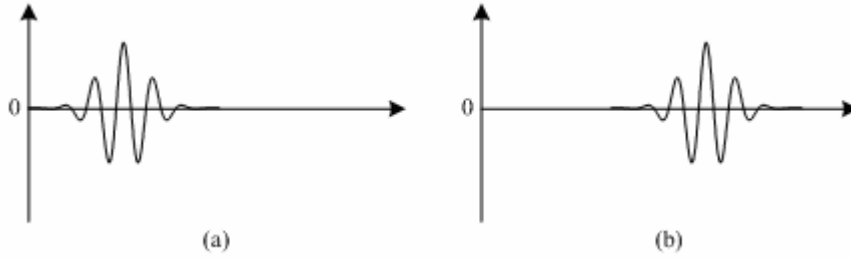
Bir dalgacığın ölçeklendirilmesi ifadesi, basitçe işaretin genişletilmesi veya daraltılması anlamına gelmektedir. Denk.(4.4)'de, ölçeklendirme (scaling) parametresi ' s ' ile gösterilmiştir. Şekil 4.11'de bir $f(t)$ işaretinin bazı ölçeklendirme değerlerine göre ölçeklendirilmesi gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Dalgacığın ölçeklendirilmesi

Bir dalgacığı öteleme, basitçe işaretin başlangıcından itibaren " k " öteleme katsayısı kadar ileri veya geri kaydırmaktır. Matematiksel olarak bir $f(t)$ fonksiyonunun k kadar

ötelenmesi $f(t-k)$ ile gösterilir. Şekil 4.12’de işaretler için kaydırma özelliğinin nasıl olduğu gösterilmiştir.



Şekil 4.12. (a) Ana dalgacık $\psi(t)$, (b) Ana dalgacığın kaydırılmış şekli $\psi(t-k)$

Sürekli DD, bir işaretin ölçeklendirilmiş ve ötelenmiş ana dalgacık ile var olduğu zaman ekseninin tümünde çarpılıp toplanmasıyla elde edilmektedir. Bu işlem, ölçek ve ötelemenin bir fonksiyonu olan dalgacık katsayılarını üretir.

4.2.2. Ayrık Dalgacık Dönüşümü

Dalgacık katsayılarını her olası ölçek için hesaplamak, çok fazla işlem yapmayı gerektirir ve bunun sonucunda da çok fazla veri elde edilir. Bunun yerine 2’nin katlarını temel alacak şekilde ölçekler ve ötelemeler seçilirse, yapılacak analizler çok daha etkin olacaktır. Dalgacık katsayılarını hesaplamada kullanılan bu tekniğe Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) denilmektedir.

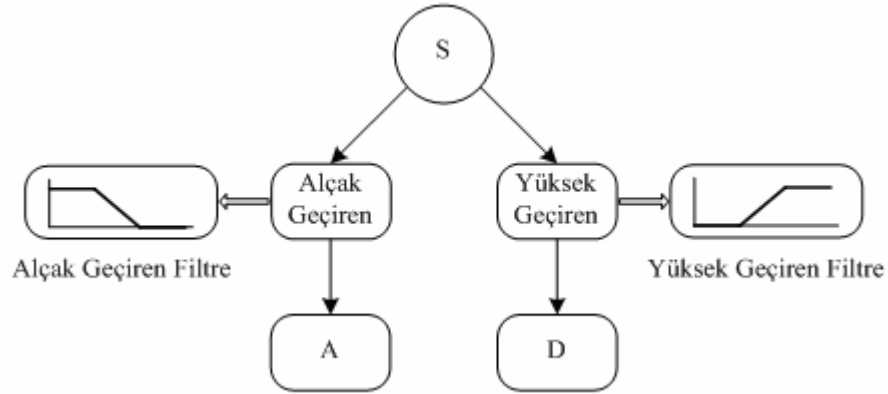
SDD, sonsuz sayıda girişe ihtiyaç duyduğundan bilgisayar analizi için uygun değildir (Gaouda, 1999). Bilgisayar analizleri için denk.(4.5)’de görülen ADD kullanılır.

$$ADD(s, n) = 2^{-s/2} \int f(t) \psi(2^{-s} t - n) dt \quad (4.5)$$

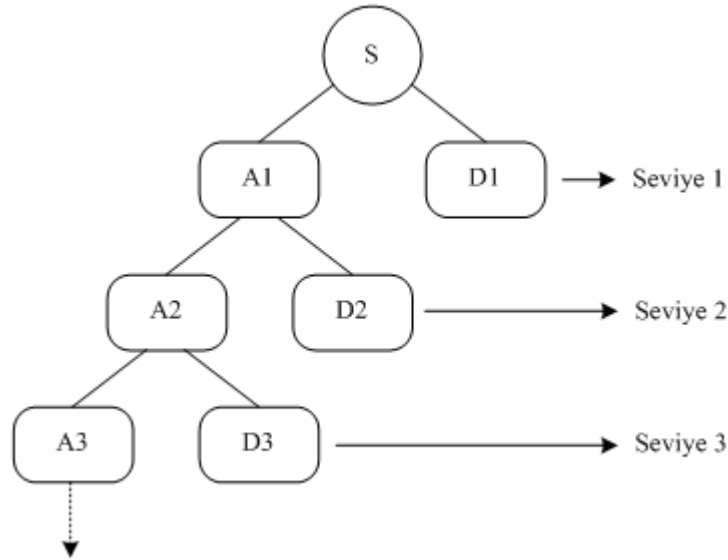
Burada s parametresi ölçeklemeyi (frekansı), n parametresi ise ötelemeyi (zamanı) belirler. Bu işlemi gerçekleştirmek için uygulanan etkin bir yol, 1988 yılında Mallat tarafından filtreler kullanılarak geliştirilmiştir. Mallat algoritması, işaret işleme yöntemleri arasında, iki-kanal alt bant kodlayıcı olarak bilinen klasik bir yoldur. Bu işlem, hızlı DD yapan çok pratik bir filtre algoritmasıdır (Strang, 1999).

Birçok işaret için, işaretin düşük frekanslı içeriği en önemli kısımdır. Düşük frekans bileşenleri, işaretler için genellikle tanıma özelliklerini içerir. Diğer taraftan yüksek frekanslı bileşenler ise işaretin kendisiyle düşük frekanslı kısım arasındaki farklı oluştururlar. Örnek olarak insan sesi ele alınacak olursa, sesin yüksek frekanslı bileşenlerinin çıkartılması

durumunda ses farklılaşır, fakat hala söylenilen şeyler duyulabilir. Oysa düşük frekanslı bileşenlerin bir kısmı çıkarılacak olursa söylenilen sözler duyulamaz. Yukarıda anlatılan kavramlardan yola çıkılarak, ADD için yaklaşık ve detay katsayılarından bahsedilir. DD kullanılan yaklaşıklar, yüksek ölçekli ve düşük frekanslı bileşenler, detaylar ise düşük ölçekli ve yüksek frekanslı bileşenlerdir. Sonuç olarak, incelenecek bir S işareti Şekil 4.13’de görüldüğü gibi birbirini tümleyen alçak ve yüksek geçiren filtrelerden geçirilerek alçak A ve yüksek D frekanslı bileşenlerine ayrıştırılır. Şekil 4.14’te ise işaretin çeşitli kademelerde ayrıştırılması gösterilmiştir.

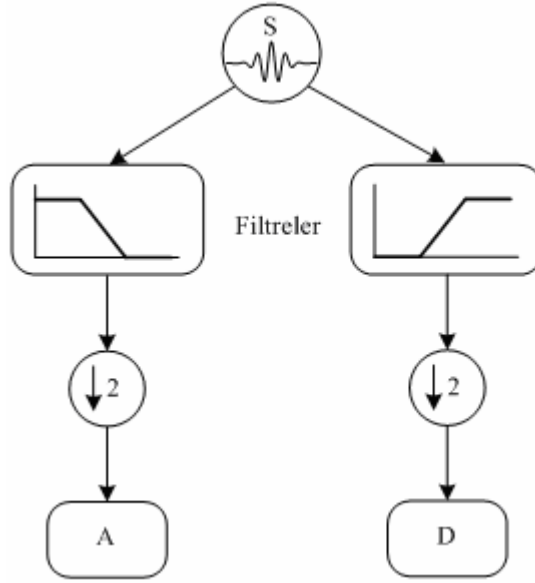


Şekil 4.13. Ayrık dalgacık dönüşümünün tek seviyeli filtre algoritması



Şekil 4.14. İşaretin yaklaşık ve detay bileşenlerine ayrıştırılması

Gerçek sayısal bir işaret üzerinde bu çalışma yapıldığında, başlangıçtaki işaretin örnek sayısından yaklaşık iki kat fazla veri ortaya çıkmaktadır. Bunu önlemek için her filtre çıkışında, örnekleme oranının frekansı yarıya düşürülmelidir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. İki kat veri ortaya çıkmasını engelleyen filtre yapısı

4.2.3. Çok Çözünürlüklü Ayırıştırma

Ayırıştırma işlemi, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de gösterildiği gibi birçok kez yapılabilir. Böylece, incelenecek işaret daha az çözünürlüklü birçok alt bileşenine ayrılacaktır. Buna çok çözünürlüklü ayırıştırma denir. Bu ayırıştırma işleminde ayırıştırmanın tekrarlamalı olmasından dolayı, teoride bu işlem sınırsız olarak devam ettirilebilir. Fakat gerçekte ayırıştırma ancak, detaylar bir tek örneğe veya bir tek piksele denk düşene kadar devam ettirilebilir. Pratikte, işaretin yapısına veya entropi gibi bazı kriterlere uygun bir seviye sayısı seçilir (Türkoğlu, 2002).

İşaretin alçak ve yüksek geçiren filtreler yardımıyla alt bant frekans bileşenlerine (yaklaşık ve detaylarına) ayrılması işlemi Şekil 4.14’de gösterilmiştir. İncelenen işaret (S), denk.(4.6)’daki gibi yaklaşık ve detay bileşenleri cinsinden ifade edilebilir. Şekil 4.14’deki gibi ayrışım algoritması ardışık olarak işletildiğinde, incelenen işaret (S), denk.(4.7), denk.(4.8) ve denk.(4.9)’daki gibi yaklaşık ve detay bileşenleri cinsinden ifade edilebilir. Yaklaşık ve detay bileşenleri cinsinden genel olarak denk.(4.10)’daki gibi formülize edilebilir.

$$S = A + D \quad (4.6)$$

$$S = A_1 + D_1 \quad (4.7)$$

$$S = A_2 + D_2 + D_1 \quad (4.8)$$

$$S = A_3 + D_3 + D_2 + D_1 \quad (4.9)$$

$$S = A(c) + D(c) + D(c-1) + D(c-2) + \dots + D_1 \quad (4.10)$$

Denk(4.10)'da A yaklaşık katsayılarını, D detay katsayılarını ve c ise seviye sayısını göstermektedir. Örneğin S işareti, denk.(4.10)'da c yerine altı sayısı yazılarak altıncı seviyede yaklaşık ve detay bileşenleri cinsinden denk.(4.11)'deki gibi ifade edilebilir.

$$S = A_6 + D_6 + D_5 + D_4 + D_3 + D_2 + D_1 \quad (4.11)$$

DD'nin, Fourier tabanlı yöntemlere avantaj sağlayacak özelliklerinin yanında bazı dezavantajları da vardır. Bu dezavantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- İşaretin frekans bilgisi, frekans bant aralıklarında sadece tahmin edilebilir.
- İşaretin frekansı, kesme frekansına veya yakınına denk geldiğinde, sızıntı etkisi olarak isimlendirilen ve gerçekte işaret içerisinde bulunmayan bir frekansın etkisi ayrıştırma katsayılarına yansır.
- Verilen işareti doğru ve hızlı bir şekilde analiz edebilen dalgacık fonksiyonu, farklı denemelerin sonunda belirlenebilir.
- Bazı işaretler için, dalgacık dönüşüm katsayılarına ilave bir yöntem uygulanmadan işaretin doğrudan görsel analizi ve bilgi çıkarımı oldukça zordur (Borras vd., 2001; Panigrahi vd., 2005; Uyar, 2008).

5. DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ TEMELLİ ÖZELLİK ÇIKARIMI

Özellik, tanımlanacak bir nesne hakkında genellikle ölçümler veya gözlemler sonucu ayırt edici bilgi taşıyan değişkenler dizisi olarak tanımlanır. Bu değişkenler, bir çıkarım yöntemiyle tanımlanacak nesneyi niteleyecek şekilde bir araya getirildiğinde, özellik vektörü olarak isimlendirilen N boyutlu bir vektör elde edilir (Polikar, 2006).

Güç sistemindeki kalite sorunlarına çözüm üretebilmek için öncelikle bozulma türlerinin temel niteliklerini yansıtan özelliklerin matematiksel yöntemlerle çıkartılarak, bu temel özellikleri kendilerine en yakın özelliklere göre çeşitli sınıflandırıcılarla sınıflandırılması gerekmektedir. Sınıflandırma işleminin başarısı bozulma türlerinin ayırt edici özelliklerinin iyi belirlenmiş olmasına bağlıdır.

Güç Kalitesi Bozulma işaretlerinden özellik çıkarmanın ana sebepleri şöyle sıralanabilir (Türkoğlu, 2002; Uyar, 2008):

- ❖ Ölçüm sonucu elde edilen verilerin daha küçük boyuta indirgenmesini sağlamaktır. Bu indirgeme, sınıflandırıcının küçük hatalarla eğitimini ve karar aşamasının daha kısa sürede gerçekleşmesini sağlayacaktır.
- ❖ Boyut olarak daha düşük olan özellik uzayı, sınıflandırıcının daha az parametreyle öğrenmesini mümkün hale getirecektir. Bunun yararı, işlenmemiş veri uzayı ile karar uzayı arasındaki dönüşüm aşamasının daha kısa sürede gerçekleşmesidir.
- ❖ Sınıflandırma sisteminin, sistem içi veya dışındaki kontrolsüz girişimlerden etkilenmemesini sağlayacak bir özellik çıkarımı, kararlı bir yapının oluşmasında etken olacaktır. Bu tür kararlı özellikler, sınıflandırıcının genelleme ve ayrışım yeteneğinin yüksek olmasında önemlidir.

GKB işaretlerinden özellik çıkarmak için genellikle ilk yapılacak işlem, işaret üzerine bir matematiksel dönüşüm uygulamaktır. Bu dönüşüm yöntemleri, işaretten etkin bir şekilde hem zaman hem de frekans bilgisi çıkarım özelliğine sahip olmalıdır. Dalgacık Dönüşümü, farklı güç kalitesi problemlerinin belirlenmesinde ve bozuk işaretin özelliklerinin çıkarılmasında etkili bir matematiksel araçtır. Dalgacık Dönüşümünün işaret ayrıştırma özelliği kullanılarak, bozulan işaretten önemli bilgiler çıkarılabilir. Bu bilgilerden, pürüzsüz bir işarete herhangi bir değişim olduğunda farklı çözünürlük seviyelerinde, işareti tanımlayan ayırt edici özellikler çıkarılabilir.

5.1. Enerji Yöntemiyle Özellik Çıkarma

Parseval teoremine göre, 1Ω 'luk direnç üzerinden akan akım ayrık bir $f(n)$ işareti olarak düşünüldüğünde, direncin üzerinde harcanan enerji frekans bölgesinde Fourier dönüşümünün spektrum katsayılarının karelerinin toplamına eşittir. Bu eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$\frac{1}{N} \sum |f(n)|^2 = \sum_k |c_k|^2 \quad (5.1)$$

Denk.(5.1)'de N örnek sayısını ve c_k Fourier dönüşümün spektrum katsayılarını temsil eder. Verilen bir $f(t)$ işaretinin j seviye ayrık dalgacık dönüşümü, hem ölçekleme hem de dalgacık fonksiyonu terimleriyle denk.(5.2)'deki gibi tanımlanabilir:

$$f(t) = \sum_n a_j(n) \phi(t-n) + \sum_n \sum_{j=0}^{j-1} d_j(n) 2^{j/2} \psi(2^j t - n) \quad (5.2)$$

Burada a_j , j seviye ölçekleme katsayısını, d_j , j seviye dalgacık katsayısını, $\phi(t)$, ölçekleme fonksiyonunu, $\psi(t)$ dalgacık fonksiyonunu, j dalgacık dönüşümün en yüksek seviyesini ve t zamanı temsil etmektedir.

Bu teoremi ADD'ye uygulamak için denk.(5.1) ve (5.2)'den yararlanarak aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\frac{1}{N} \sum_t |f(t)|^2 = \frac{1}{N_j} \sum_k |a_j(k)|^2 + \sum_{j=1}^j \left(\frac{1}{N_j} \sum_k |d_j(k)|^2 \right) \quad (5.3)$$

Böylece, denk.(5.3)'den ADD ile bozuk işaretin enerjisi elde edilir. Denk.(5.3)'den bir sinyalin bileşenlerinin enerjileri toplamının, sinyalin enerjisine eşit olduğu görülmektedir. Yani, detay katsayılarının enerjileri toplamı ile yaklaşık katsayısının enerjisinin toplamı, ana sinyalin enerjisine eşittir. Bu enerji, akımın gerilime eşit kabul edilmesiyle elde edilen bir enerjidir ve birimi joule olan gerçek enerji değildir. Denk.(5.3)'ün sağındaki ilk terim ayrıştırılmış işaretin yaklaşık seviyesini, ikinci terim ise ayrıştırılmış işaretin ayrıntı seviyelerini belirtmektedir. Bozuk işaretin ayrıntı seviyelerinin enerji dağılımını veren ikinci terim güç kalitesi bozulmalarına ait özellikleri çıkarmak için kullanılmaktadır (Uyar vd., 2007).

5.2. Entropi Yöntemiyle Özellik Çıkarma

Entropi kavramı, bir sistemin düzenliliğini ölçmek amacı ile termodinamikte iyi bilinen bir kavramdır. İşaret işlemede, özellikle de haberleşme alanında ilk olarak Shannon tarafından kullanılmıştır. Entropi tabanlı kriterler, verilen bir işaret gösteriminin özellikleri ile ilgili bilgileri tanımlar. Entropi ölçüm yöntemi, durağan olmayan bir işaretin düzensizlik derecesini ölçmek için ideal bir araç olarak görünmektedir. Ayrıca, entropi kavramı bir olayın içerdiği bilginin ortalama miktarını ölçmek amacıyla da kullanılmaktadır (Principe, 2000).

İşaret işlemede yaygın olarak kullanılan entropi hesaplama türleri; Shannon, Norm, Eşik, Logaritmik Enerji ve Sure yöntemleridir (Gray vd., 1990; Coifman vd., 1992). Bunun dışında diğer entropi hesaplama teknikleri de bulunmaktadır. Aşağıdaki entropi yöntemlerinde, f işareti, f_i ise işaretin i . katsayısını göstermektedir.

- Eşik entropi yöntemi:

ε pozitif bir eşik değeri olup $|f_i| > \varepsilon \Rightarrow E(f_i) = 1$ ve $|f_i| \leq \varepsilon \Rightarrow E(f_i) = 0$ tanımlanmak üzere

$$E(f) = \sum_i E(f_i) \quad (5.4)$$

- Norm entropi yöntemi:

$$E(f) = \sum_i |f_i|^p \quad \text{ve} \quad 1 \leq p < 2 \quad (5.5)$$

- Logaritmik Enerji entropi yöntemi:

$$E(f) = \sum_i \log_2(f_i^2) \quad \text{ve} \quad \log(0) = 0 \text{ kabul edilerek} \quad (5.6)$$

- Shannon entropi yöntemi:

$$E(f) = - \sum_i f_i^2 \cdot \log_2(f_i^2) \quad \text{ve} \quad \log(0) = 0 \text{ kabul edilerek} \quad (5.7)$$

- Sure entropi yöntemi:

ε pozitif bir eşik değeri olmak üzere

$$|f_i| \leq \varepsilon \Rightarrow E(f) = \sum_i \min(f_i^2, \varepsilon^2) \quad (5.8)$$

Bu entropi hesaplama tekniklerinin, işaret işlemedeki kesin kullanım alanları belirli olmayıp, uygulamalara göre başarımları değişmektedir. Fakat durağan olmayan işaretler için, zamana bağımlı entropi hesaplaması daha kullanışlıdır. Bunun için de işaret katsayılarının (f_i) zamana bağımlı olması gerekir (Tonga vd., 2002).

GKB işaretleri genellikle durağan olmayan bir yapıya sahip olduğundan; dengesizlikler, farklı frekanslı bileşenler ve farklı enerji dağılımları içermektedir. Böylece, bu düzensizliklerin bir ölçütü olarak farklı GKB işaretlerinden önemli özelliklerin çıkarılmasında entropi hesaplama yöntemleri kullanılabilir.

DD'nin işaret ayrışımıyla elde edilen katsayılarının entropi değerleri, yukarıda belirtilen entropi yöntemleri kullanılarak hesaplanabilir. Bu tezde, Norm entropi yöntemi kullanılacaktır.

Bir bozulma işaretinin $F = \{f_j, j = 1, 2, \dots, N\}$ şeklinde olduğu düşünüldüğünde, F işareti içerisindeki j . noktanın norm entropi değeri,

$$E_j = |f_j|^P \quad (5.9)$$

şeklinde tanımlanır: Burada P güçtür ve $1 \leq P < 2$ olmalıdır. Bu durumda, F işaretinin tamamı için norm entropi değeri ise

$$E = \sum_{j=1}^N |F_j|^P \quad (5.10)$$

şeklinde ifade edilir. ADD'ye norm entropi yöntemini uygulamak için denk.(5.10)'daki hesaplama işlemi kullanılabilir. ADD'den elde edilen her ayrıştırma seviyesindeki detay ve yaklaşık katsayılarından özellik çıkarım işlemi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Wd_j = \sum_{n=1}^J \left(\frac{1}{N_j} \sum_n |d_j[n]|^P \right) \quad Wa_J = \frac{1}{N_J} \sum_n |a_J[n]|^P \quad (j = 1, 2, \dots, J) \quad (5.11)$$

$$W_{\text{işaret}} = [Wd_1, \dots, Wd_J, Wa_J] \quad (5.12)$$

Burada, $W_{\text{işaret}}$, ADD'nin her çözünürlük seviyesindeki entropi değerlerini, J toplam çözünürlük seviyesini, a_J J seviyesinde ADD'nin yaklaşık katsayısını, d_j ise ADD'nin 1'den j 'ye kadar detay seviyeleri için işaretin katsayılarını temsil eder.

Denk. (5.11), denk.(5.13)'de görüldüğü gibi normalize edilir.

$$Wn_{d_j} = (Wd_j)^{\frac{1}{2}} \quad Wn_{a_j} = (Wa_j)^{\frac{1}{2}} \quad (5.13)$$

$$Wn_{i\text{şaret}} = [Wn_{d_1}, \dots, Wn_{d_j}, Wn_{a_j}] \quad (5.14)$$

Burada $Wn_{i\text{şaret}}$ bozulmuş işaretin normalize edilmiş özellik vektörünü temsil eder.

Çıkarılan bu özellikler bir bozulma olayını diğerinden ayırt etmeye yardım edebilir. Fakat burada entropi daima pozitif değerlere sahip olduğu için gerilim çökmesi, gerilim sıçraması gibi bozulmalarda benzer özellikler göstererek, bu işaretler için özellik vektörünün ayırt edici etkisini azaltacaktır. Bu durum, sınıflandırma aşamasında bu iki bozulmanın birbiriyle çakışmasına yol açabilir ve doğru tanıma oranını azaltabilir. Bu sorunu en aza indirmek için, bozulmuş işaretler referans olarak seçilmiş bozulmamış bir işaretle karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, referans işaret için aynı hesaplama işlemleri yapılmalıdır. Denk.(5.11) ve denk.(5.13)'deki hesaplama adımları, denk.(5.14)'de verildiği gibi referans işaret için hesaplanabilir.

$$Wn_{\text{ref}} = [Wn_{d_1}, \dots, Wn_{d_j}, Wn_{a_j}] \quad (5.15)$$

Sonuçta, bozulmayı temsil eden özellik vektörü (ΔW), denk. (5.14)'den denk. (5.15) çıkarılarak elde edilir (Uyar, 2008).

$$\Delta W = Wn_{i\text{şaret}} - Wn_{\text{ref}} \quad (5.16)$$

$$\Delta W = [\Delta W_{d_1}, \Delta W_{d_2}, \dots, \Delta W_{d_j}, \Delta W_{a_j}] \quad (5.17)$$

6. UYGULAMALAR

Uygulamalarda referans olarak verilen normal sinüs işaretinin yanında, içerisinde tek bir bozulma bulunan gerilim çökmesi, gerilim sıçraması, gerilim kesintisi, salınımlı geçici durum ve harmonik olmak üzere 5 farklı güç kalitesi olayı ve içerisinde aynı anda iki bozulmanın bulunduğu harmonikli gerilim çökmesi, harmonikli gerilim sıçraması olmak üzere toplam 7 farklı güç kalitesi olayı üzerinde incelemeler yapılmıştır. Bu işaretler, Tablo 6.1’de verilen matematiksel modellerden elde edilmiştir (Abdelgalil, vd., 2004). İşaretler şebeke frekansında 4.8 kHz örnekleme frekansına (96 örnek/periyo) ve 10 periyotluk (200 ms) pencere uzunluğuna sahiptir.

Tablo 6.1. Matematiksel modele dayalı veri üretimi için kullanılan denklemler ve parametreleri

GKB türü	Matematiksel model	Kontrol parametreleri
Normal sinüs	$y(t) = A \sin(\omega t)$	$A = 1(\text{pu}), f = 50\text{Hz}$
Gerilim çökmesi	$y(t) = A(1 - \alpha(u(t - t_1) - u(t - t_2))) \sin(\omega t)$	$0.1 \leq \alpha \leq 0.9; T \leq t_2 - t_1 \leq 9T$
Gerilim sıçraması	$y(t) = A(1 + \alpha(u(t - t_1) - u(t - t_2))) \sin(\omega t)$	$0.1 \leq \alpha \leq 0.8; T \leq t_2 - t_1 \leq 9T$ $t_1 < t_2, u(t) = \begin{cases} 1, t \geq 0 \\ 0, t < 0 \end{cases}$
Salınımlı geçici durum	$y(t) = A[\sin(\omega t) + \dots \alpha e^{-(t-t_1)/\tau} \sin \omega_n(t - t_1)(u(t_2) - u(t_1))]$	$0.1 \leq \alpha \leq 0.8; 0.5T \leq t_2 - t_1 \leq 3T$ $8 \text{ ms} \leq \tau \leq 40 \text{ ms}; 300 \leq f_n \leq 900 \text{ Hz}$
Harmonik bozulma	$y(t) = A(\alpha_1 \sin(\omega t) + \alpha_3 \sin(3\omega t) + \dots \alpha_5 \sin(5\omega t) + \alpha_7 \sin(7\omega t))$	$0.05 \leq \alpha_3 \leq 0.15, 0.05 \leq \alpha_5 \leq 0.15,$ $0.05 \leq \alpha_7 \leq 0.15; \sum \alpha_i^2 = 1$
Harmonikli gerilim çökmesi	$y(t) = A(1 - \alpha(u(t - t_1) - u(t - t_2))) (\alpha_1 \sin(\omega t) + \alpha_3 \sin(3\omega t) + \alpha_5 \sin(5\omega t))$	$0.1 \leq \alpha \leq 0.9; T \leq t_2 - t_1 \leq 9T$ $0.05 \leq \alpha_3 \leq 0.15, 0.05 \leq \alpha_5 \leq 0.15; \sum \alpha_i^2 = 1$
Harmonikli gerilim sıçraması	$y(t) = A(1 + \alpha(u(t - t_1) - u(t - t_2))) (\alpha_1 \sin(\omega t) + \alpha_3 \sin(3\omega t) + \alpha_5 \sin(5\omega t))$	$0.1 \leq \alpha \leq 0.8; T \leq t_2 - t_1 \leq 9T$ $0.05 \leq \alpha_3 \leq 0.15, 0.05 \leq \alpha_5 \leq 0.15; \sum \alpha_i^2 = 1$

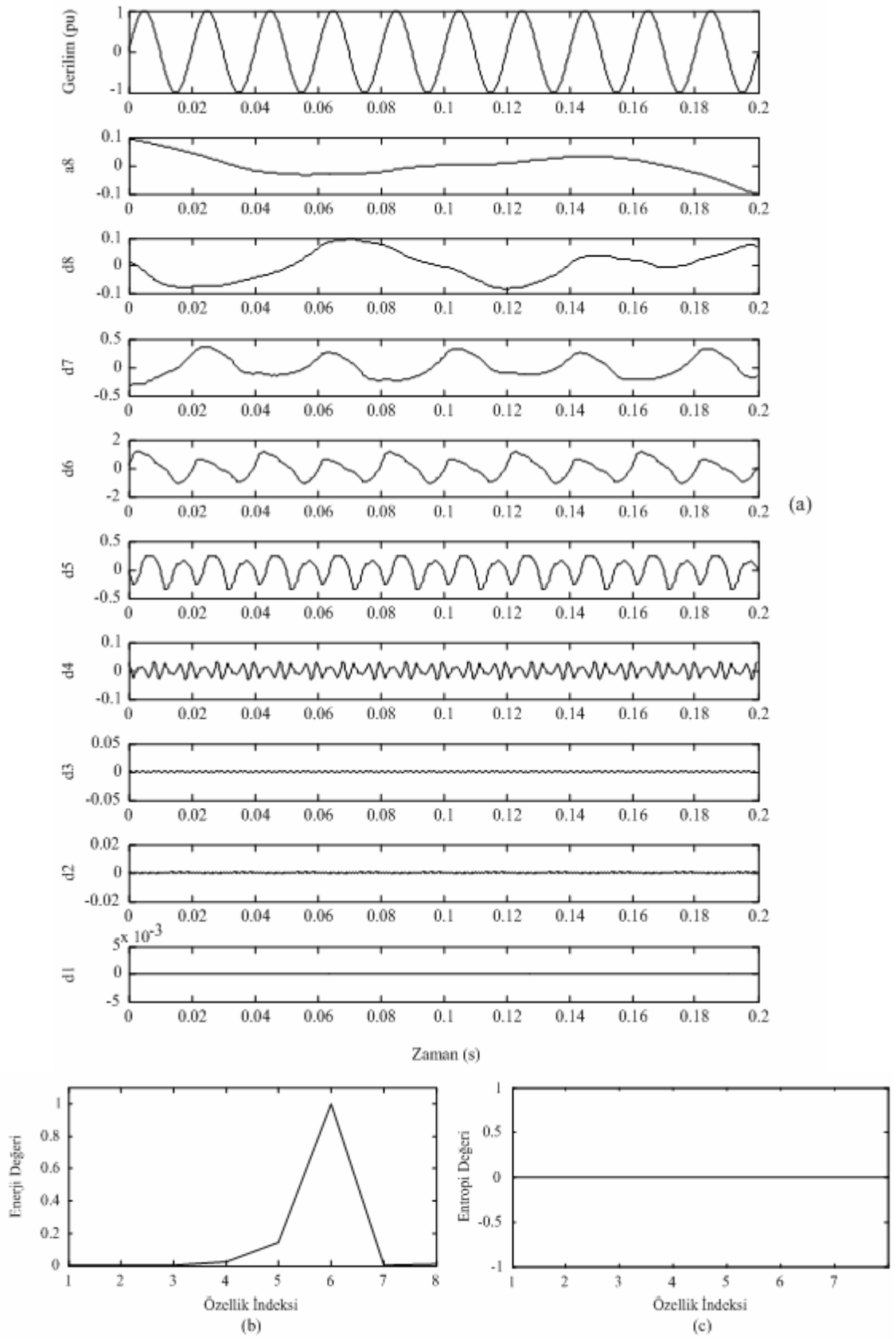
ADD temelli özellik çıkarım yönteminde, Daubaiches-4 dalgacık fonksiyonu kullanılarak 8 seviyeli ayrışım yapılmıştır. Her ayrıştırma seviyesinin detay katsayılarından enerji özellik çıkarım yöntemi ve Norm entropi çıkarım yöntemiyle özellik çıkarılmıştır. Norm entropi hesaplamalarında, P değeri 3/2 olarak seçilmiştir. ADD analizleri için Dalgacık Modülü MATLAB kütüphanesi kullanılmıştır.

Normalde bir periyodunda 96 örnek bulunan, 10 periyotluk bir işaretin veri boyutu 960x1’dir. Fakat işaretin ayırt edici özelliklerini taşıyan özellik vektörü, 8x1 boyutunda bir matrisle temsil edilmektedir. Böylece ADD temelli özellik çıkarım yöntemleriyle, sadece 8 örnekten oluşan bir özellik vektörü ile tanımlanarak veri boyutu yaklaşık 1/120 oranında indirgenmiştir.

ADD ile yapılan analizlerde, yüksek frekanslarda düşük frekans çözünürlüğü-yüksek zaman çözünürlüğü, düşük frekanslarda ise yüksek frekans çözünürlüğü-düşük zaman çözünürlüğü ortaya çıkmaktadır. Böylece işaretin yüksek frekanslı bölümüyle düşük frekanslı bölümü birbirinden çok rahat bir şekilde ayrılabilir. ADD'nin bu özelliği, özellikle şebeke frekansından farklı frekans içeriğine sahip olan geçici durum ve harmonik bozulma işaretlerinin ayırt edilmesinde önemli avantajlar sunmaktadır. Aynı zamanda ADD'nin d1 detay seviyesinden, işarete meydana gelen süreksizlikler veya kırılmalar net bir şekilde görülebilmektedir. Bu detay seviyesinin katsayıları bir eşik değeriyle karşılaştırıldığında, özellikle gerilim çökmesi ve geçici durum olayları kolaylıkla belirlenebilmektedir.

6.1. Saf Sinüs İşareti

Bu işaret, bozulmaların kolaylıkla ayırt edilebilmesi için referans olarak seçilmiştir. Şekil 6.1.(a) Saf sinüs işaretinin 8 seviyeli ADD analiz sonuçlarını, Şekil 6.1.(b) ADD sonuçlarının enerji özellik çıkarım yöntemine dayalı hesaplamalardan elde edilen enerji özellik eğrisini ve Şekil 6.1.(c) benzer şekilde Norm entropi hesaplamalarıyla elde edilen özellik eğrisini göstermektedir.



Şekil 6.1. (a) Saf sinüs işareti ve 8 seviyeli ADD analizi, (b) Enerji özellik eğrisi, (c) Norm entropi özellik eğrisi

6.2. Kısa Süreli Gerilim Değişimleri

Arıza yeri ve sistem şartlarına bağlı olarak bir arıza, gerilim çökmesine, gerilim sıçramasına ya da gerilimin tamamen kesilmesine neden olabilir.

Kısa süreli gerilim değişimleri, olay süresi ve olay anındaki genlik değerlerine göre değerlendirilir. Bu çalışmada, olay süresince gerilimin genliği 0.6 pu ve olay süresi 4 periyot olan bir gerilim çökmesi işareti, gerilimin genliği 1.6 pu ve olay süresi 4 periyot olan bir gerilim sıçraması işareti ve gerilimin genliği 0.01 pu ve olay süresi 4 periyot olan bir gerilim kesintisi işareti incelenmiştir. Bu GKB işaretlerine ait dalga şekilleri ve 8 seviyeli ADD analiz sonuçları Şekil 6.2.(a)-6.4.(a)'da gösterilmiştir. Şekil 6.2.(b)-6.4.(b) ve Şekil 6.2.(c)-6.4.(c) sırasıyla enerji özellik çıkarım yöntemine dayalı hesaplamalardan elde edilen özellik eğrisini ve Norm entropi hesaplamalarıyla elde edilen özellik eğrisini göstermektedir.

Şekil 6.2.(a)-6.4.(a)'daki ADD analiz sonuçlarına göre d1 ve d2 detay katsayılarından bozulmanın başlangıç anı 0.06 s ve bitiş anı ise 0.14 s olarak net bir şekilde görülmektedir. Böylece kısa süreli gerilim değişimleri olaylarını temsil eden önemli bilgilerden biri olan olay süresi, bu değerler arasındaki farktan 0.08 s olarak çıkarılabilmektedir. Ayrıca d1 Detay seviyesinin katsayıları bir eşik değerle karşılaştırıldığında bozulma çok rahat bir şekilde tespit edilebilmektedir.

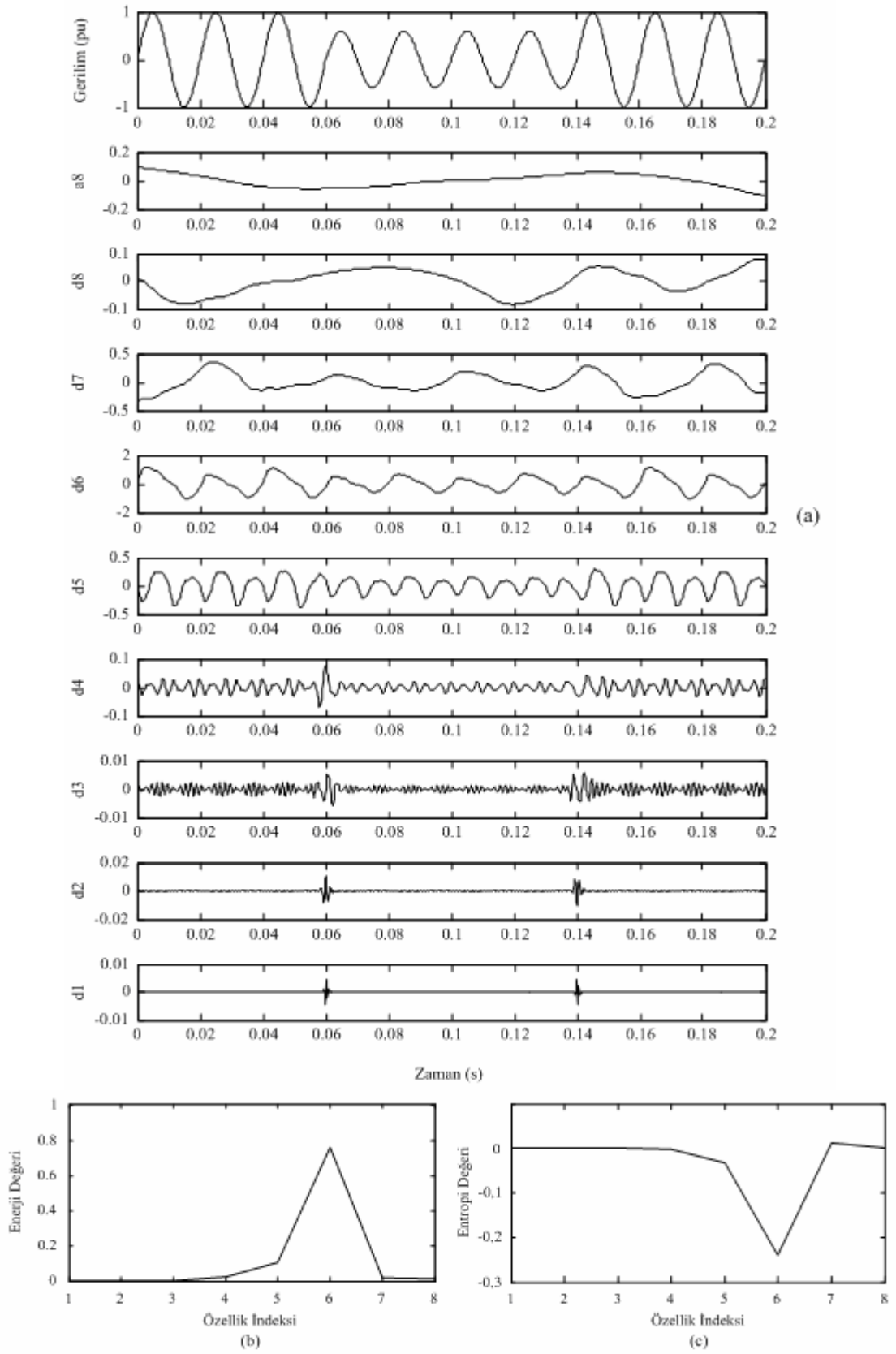
Tablo 6.2. ADD ayrışımındaki frekans bant aralıkları

Detay Seviyesi	Frekans Aralığı (Hz)	Olayın Karakteristiği		
		Başlangıç anı (sn)	Bitiş anı (sn)	Süresi (sn)
d ₁	2400-1200	0.06	0.14	0.08
d ₂	1200-600	0.06	0.14	0.08
d ₃	600-300	-	-	-
d ₄	300-150	-	-	-
d ₅	150-75	-	-	-
d ₆	75-37.5	-	-	-
d ₇	37.5-18.75	-	-	-
d ₈	18.75-9.375	-	-	-

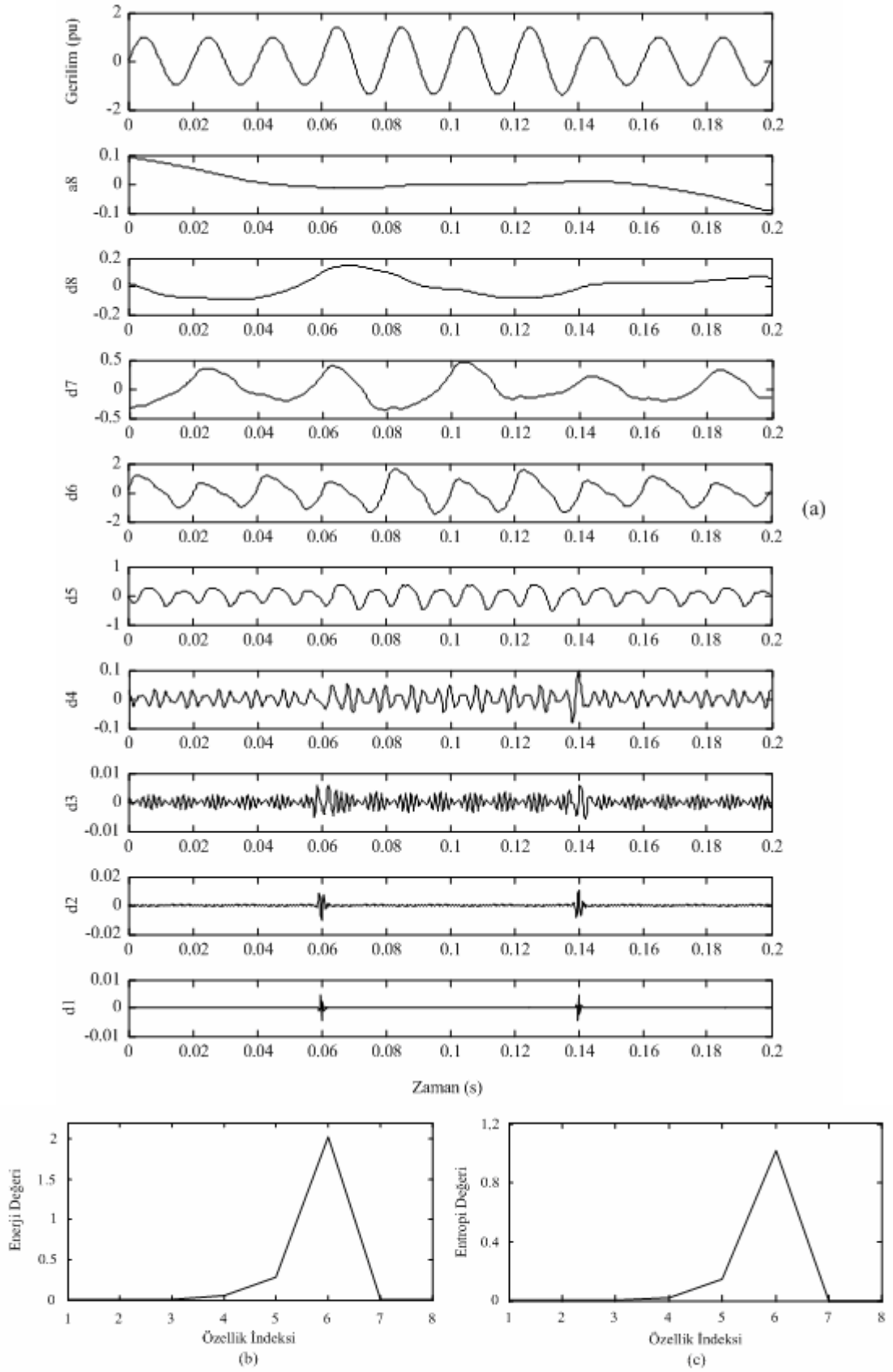
Tablo 6.2'ye göre 6. seviye detay katsayılarının frekans aralıkları şebeke frekansının frekans bandına karşılık gelen 75-37.5 Hz'dir. Buna bağlı olarak, Şekil 6.2.(b)-6.4.(b) ADD sonuçlarının enerji özellik çıkarım yöntemine dayalı hesaplamalardan elde edilen enerji özellik eğrileri incelendiğinde, her üç GKB işaretinin de 6. seviye enerji değerinde bir artış olduğu görülmektedir. Her üç GKB işaretinin 6. seviye detay katsayıları Şekil 6.1.(b)'deki saf sinüs işaretinin 6. seviye enerji değeri ile görsel olarak karşılaştırıldığında, gerilim çökmesi ve gerilim kesintisi işareti 6. seviye enerji değerinde bir azalış, gerilim sıçraması işareti enerji değerinde ise bir artış olduğu gözlemlenmektedir. Gerilim sıçraması işaretinin 6. seviye enerji değeri, gerilim

çökmesi ve gerilim kesintisi işaretine göre görsel olarak ayırt edici bir özellik taşımaktadır. Gerilim çökmesi ve gerilim kesintisi işaretleri ise 6. seviye enerji değerinin genlik değerinden görsel olarak ayırt edilebilmektedir.

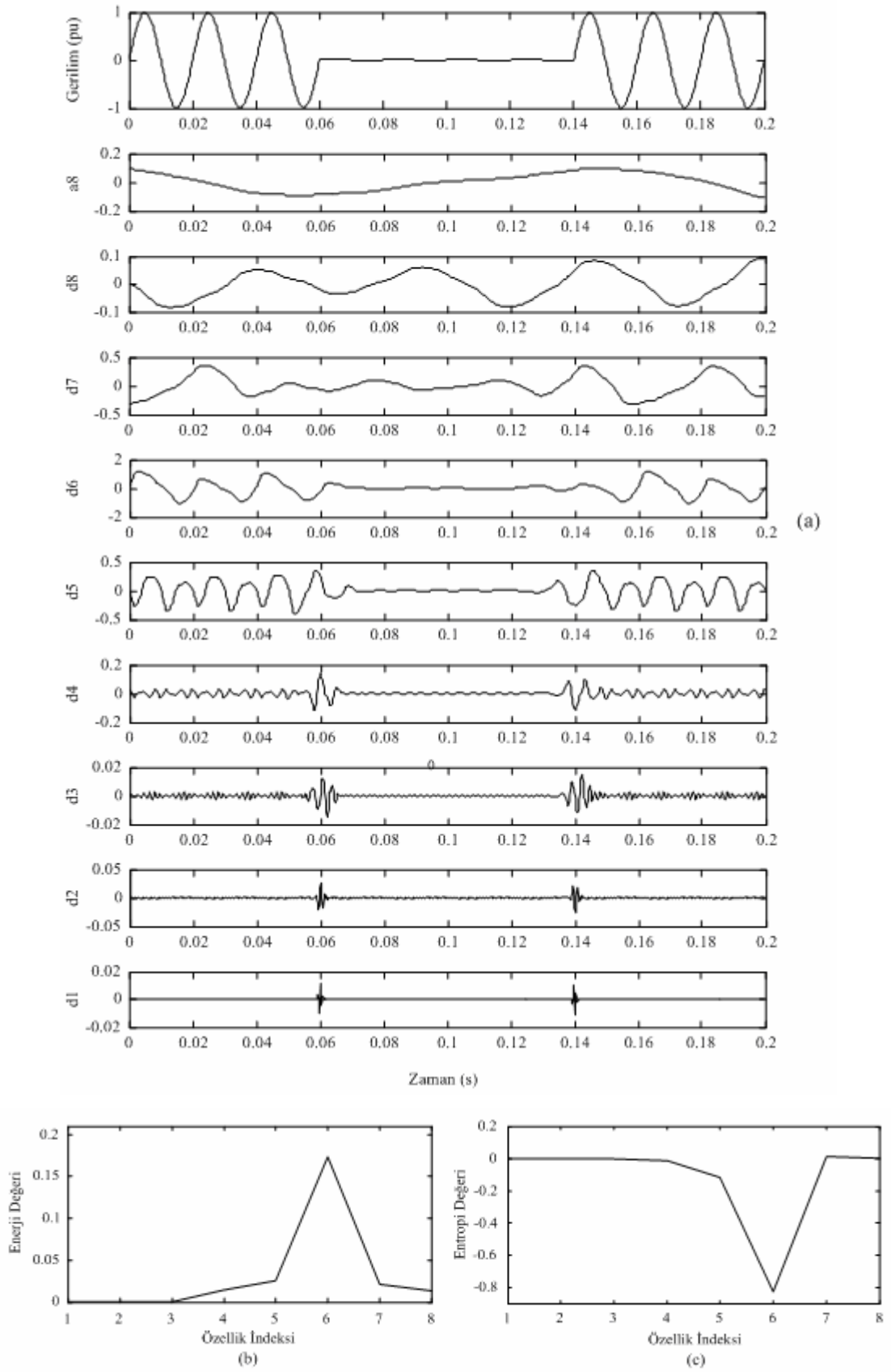
Şekil 6.2.(c)-6.4.(c)'deki Norm entropi hesaplamalarıyla elde edilen özellik eğrileri incelendiğinde, gerilim çökmesi ve gerilim kesintisi işaretinin 6. seviye entropi değerinde bir azalış, gerilim sıçrama işaretinin 6. seviye entropi değerinde ise bir artış görülmektedir. Şekil 6.2.(c)-6.4.(c)'de gösterilen özellik eğrileri Şekil 6.1.(c)'deki saf sinüs referans işaretinin 6. seviye entropi değeri ile görsel olarak karşılaştırıldığında, gerilim çökmesi ve gerilim kesintisi işaretinin 6. seviye entropi değerinin negatif, gerilim sıçrama işaretinin 6. seviye entropi değerinin ise pozitif değere sahip olduğu görülmektedir. Gerilim sıçraması işaretinin 6. seviye entropi değerinin pozitif değere sahip olması, gerilim sıçrama işaretini gerilim çökmesi işaretinden görsel olarak ayırmakta ve 6. seviye entropi değerinin gerilim sıçraması işaretini karakterize etme özelliğinin bulunduğu görülmektedir. Gerilim çökmesi ve gerilim kesintisi işaretleri ise 6. seviye entropi değerinin genlik değerinden görsel olarak kolayca ayırt edilebilmektedir.



Şekil 6.2. (a) Gerilim çökmesi işareti ve 8 seviyeli ADD analizi, (b) Enerji özellik eğrisi, (c) Norm entropi özellik eğrisi



Şekil 6.3. (a) Gerilim sıçraması işareti ve 8 seviyeli ADD analizi, (b) Enerji özellik eğrisi, (c) Norm entropi özellik eğrisi



Şekil 6.4. (a) Gerilim kesintisi işareti ve 8 seviyeli ADD analizi, (b) Enerji özellik eğrisi, (c) Norm entropi özellik eğrisi

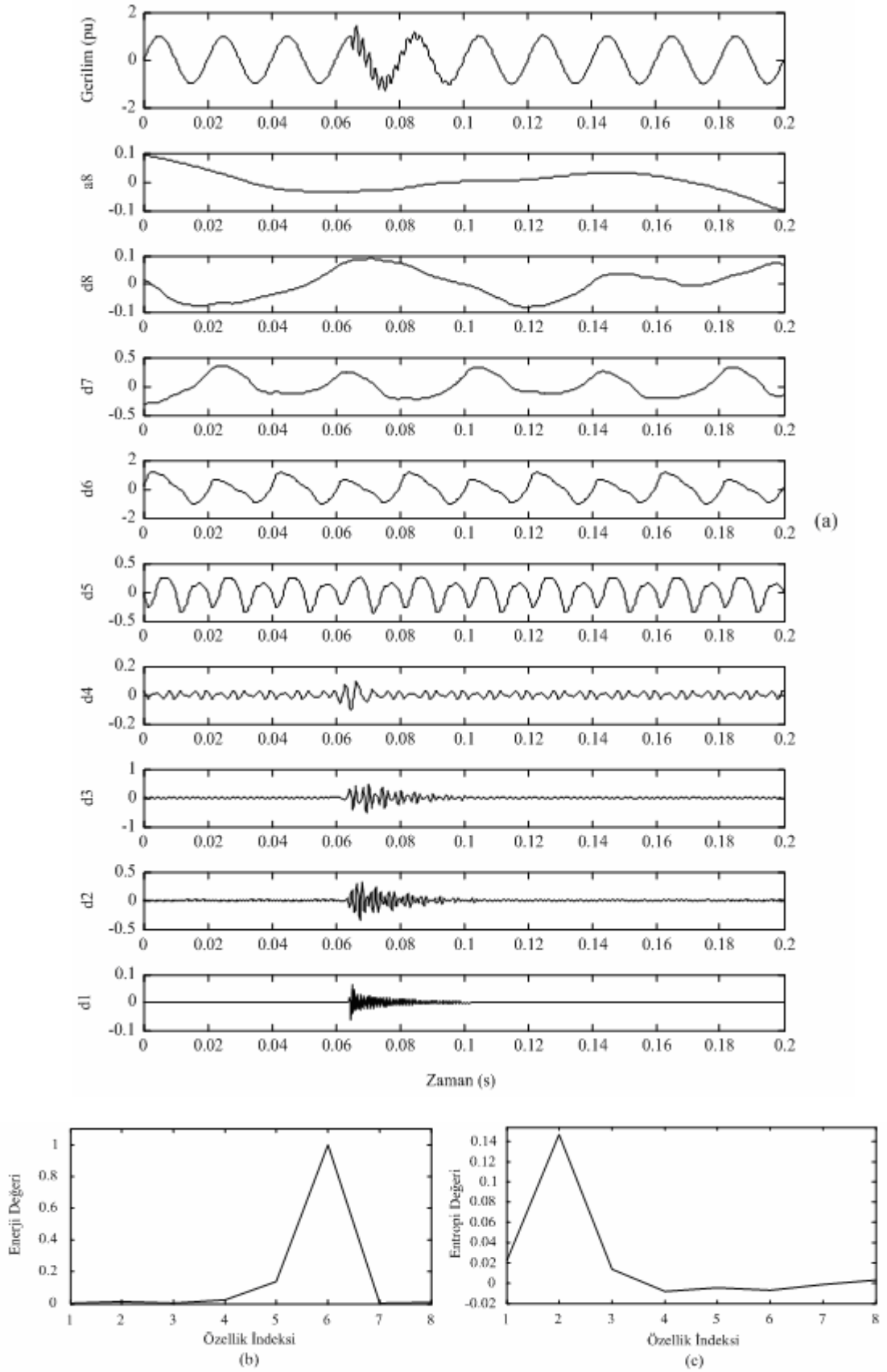
6.3. Geçici Durumlar

Bu katagoride en sık karşılaşılan geçici durum, salınımlı geçici durumdur. Salınımlı geçici durum, frekans spektrumu, olay süresi ve genlik değerlerine göre değerlendirilir. Bu çalışmada, salınım frekansı 750 Hz, olay süresi yaklaşık 2 periyot ve olay anında gerilimin genliği 1.6 pu olarak kabul edilen bir salınımlı geçici durum işareti incelenmiştir. Bu olaya ait dalga şekli ve 8 seviyeli ADD analiz sonuçları Şekil 6.5.(a)'da gösterilmiştir. Şekil 6.5.(b) ve Şekil 6.5.(c) sırasıyla enerji özellik çıkarım yöntemine dayalı hesaplamalardan elde edilen enerji özellik eğrisini ve Norm entropi hesaplamalarıyla elde edilen özellik eğrisini göstermektedir.

Şekil 6.5.(a)'daki ADD analiz sonuçlarına göre d1 ve d2 detay katsayılarından salınımlı geçici durum olayının başlangıç anının 0.065 s ve bitiş anının 0.1 s olduğu tespit edilebilmektedir. Böylece salınımlı geçici durum olayını temsil eden önemli bilgilerden biri olan olay süresi, bu değerler arasındaki farktan 0.035 s olarak çıkarılabilmektedir. Ayrıca olay süresince işaret içerisinde giderek sönümlenen bir salınımın olduğu da d1 ve d2 detay katsayılarından fark edilebilmektedir. Fakat işaretin içerisindeki frekans bileşenleri hakkında ADD ile doğrudan bilgi çıkarılamadığından ilave analize ihtiyaç vardır.

Şekil 6.5.(b)'deki enerji özellik çıkarım yöntemiyle elde edilen enerji özellik eğrisinde 2. (d2) ve 6. (d6) seviye detay katsayılarının enerji değerlerinde bir artış olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak işaretin içerisinde şebeke frekansından farklı bir içeriğin bulunduğu sonucu çıkarılabilir. Dolayısıyla Tablo 6.2'deki frekans bant aralıklarından işaretin içerisindeki bu farklı frekans içeriğinin 1200–600 Hz. arasında bir frekans değerine sahip olduğu söylenebilir.

Şekil 6.5.(c)'deki Norm entropi özellik çıkarım yöntemiyle elde edilen özellik eğrisi dağılımında salınımlı geçici durum işaretinin 1., 2. ve 3. seviye entropi değerlerinde belirgin bir artış görülmektedir. Bu işareti tanımlamada şebeke frekans bileşenin etkisi azaltılarak enerji dağılım özelliklerinden farklı olarak 2 farklı özellik ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca Şekil 6.5.(b) ve Şekil 6.5.(c)'deki özellik eğrileri incelendiğinde Norm entropi özellik çıkarım yöntemiyle elde edilen özelliklerle salınımlı geçici durum işareti görsel olarak bile ayırt etmek mümkündür.



Şekil 6.5. (a) Salınlı Geçici durum işareti ve 8 seviyeli ADD analizi, (b) Enerji özellik eğrisi, (c) Norm entropi özellik eğrisi

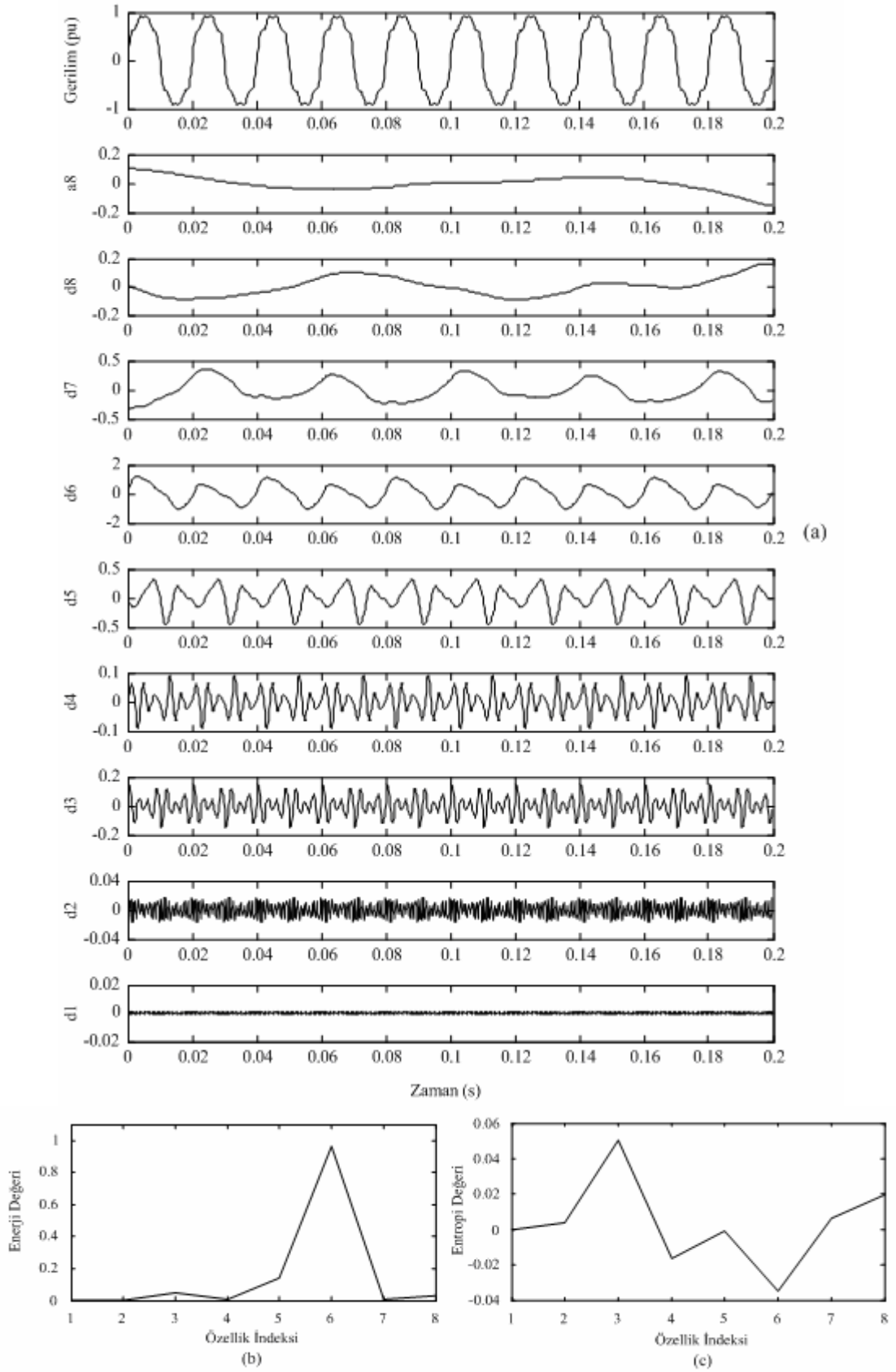
6.4. Harmonik İçerikli Bozulmalar

Harmonik, şebeke geriliminin temel frekansının tam sayı katlarındaki frekans bileşenlerini içeren sinüs şeklinde bir işaret olarak tanımlanır. Dolayısıyla harmonikler temel frekanstan daha yüksek frekanslarda periyodik örüntü olarak görülebilir.

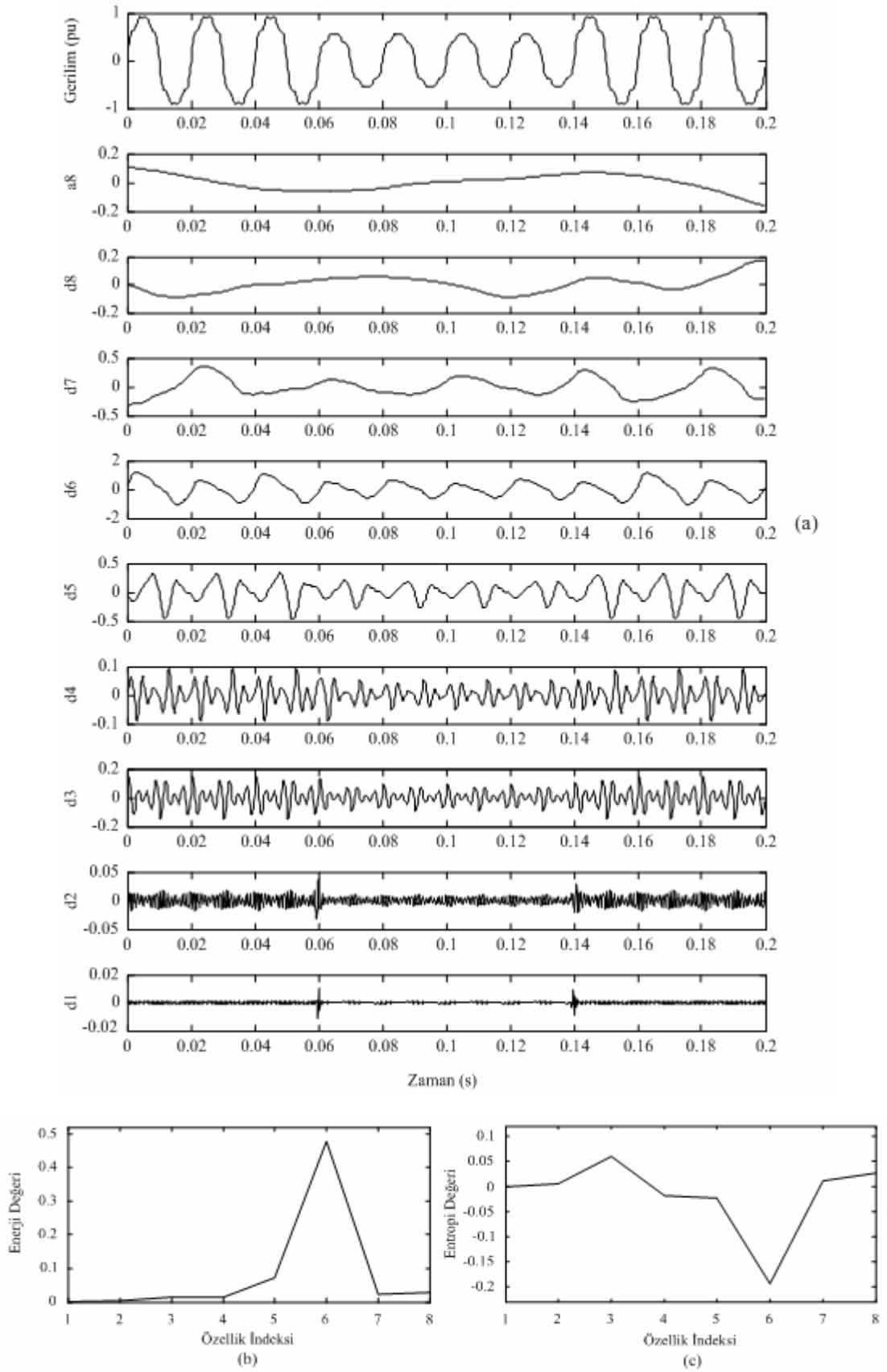
Bu çalışmada, sadece 3., 5., 7. harmonik bileşenleri içeren bir harmonik bozulma işareti, genliği 0.6 pu ve olay süresi 4 periyot olan harmonik bileşen içeren bir gerilim çökmesi işareti ve genliği 1.6 pu ve olay süresi 4 periyot olan harmonik bileşen içeren bir gerilim sıçraması işareti incelenmiştir. Bu GKB işaretlerine ait dalga şekilleri ve 8 seviyeli ADD analiz sonuçları Şekil 6.6.(a)-6.8.(a)'da gösterilmiştir. Şekil 6.6.(b)-6.8.(b) ve Şekil 6.6.(c)-6.8.(c) ise sırasıyla enerji özellik çıkarım yöntemine dayalı hesaplamalardan elde edilen özellik eğrisini ve Norm entropi hesaplamalarıyla elde edilen özellik eğrisini göstermektedir.

Şekil 6.6.(a)-6.8.(a)'daki harmonik içerikli bozulma işaretleri ADD analiz sonuçları, Şekil 6.1.(a)'daki saf sinüs referans işareti ADD analiz sonuçlarıyla karşılaştırıldığında farklı frekans içeriğine sahip katsayıların bulunduğu görülmektedir. Tablo 6.2'den harmonik bozulmanın frekans içeriklerinin d3 ve d4 frekans bantlarında olması gerektiği görülmektedir. d4 frekans bandı sadece 300-150 Hz aralığındaki frekans bileşenlerini katsayılarına yansıtırken, d3 frekans bandı 600-300 Hz aralığını temsil ettiği için, hem 5. hem de 7. harmoniğin frekans içeriğini katsayılarına yansıtmaktadır. Buna bağlı olarak, Şekil 6.6.(b)-6.8.(b) ADD sonuçlarının enerji yöntemi özellik çıkarım yöntemine dayalı hesaplamalardan elde edilen enerji özellik eğrileri incelendiğinde, her üç GKB işaretinin de 3. ve 6. seviye enerji değerinde bir artış olduğu görülmektedir. Her üç GKB işaretinin 3. ve 6. seviye detay katsayıları Şekil 6.1.(b)'deki saf sinüs işaretinin 3. ve 6. seviye enerji değerleri ile görsel olarak karşılaştırıldığında, harmonik bozulma işaretinin 6. seviye enerji değerinde önemli bir farklılık olmadığı, harmonikli çökme işaretinin 6. seviye enerji değerinin genliğinde bir azalma ve gerilim sıçraması işaretinin genlik değerinde ise bir artış olduğu görülmektedir. Her üç GKB işaretinin 3. seviye enerji değerlerinde ise saf sinüs referans işaretinin 3. seviye enerji değerine göre görsel olarak belirgin bir artış olduğu gözlemlenmektedir. Buna bağlı olarak sadece 3. seviye enerji değerinin harmonik içerikli bozulma işaretlerini karakterize etme özelliğinin bulunduğu görülmektedir.

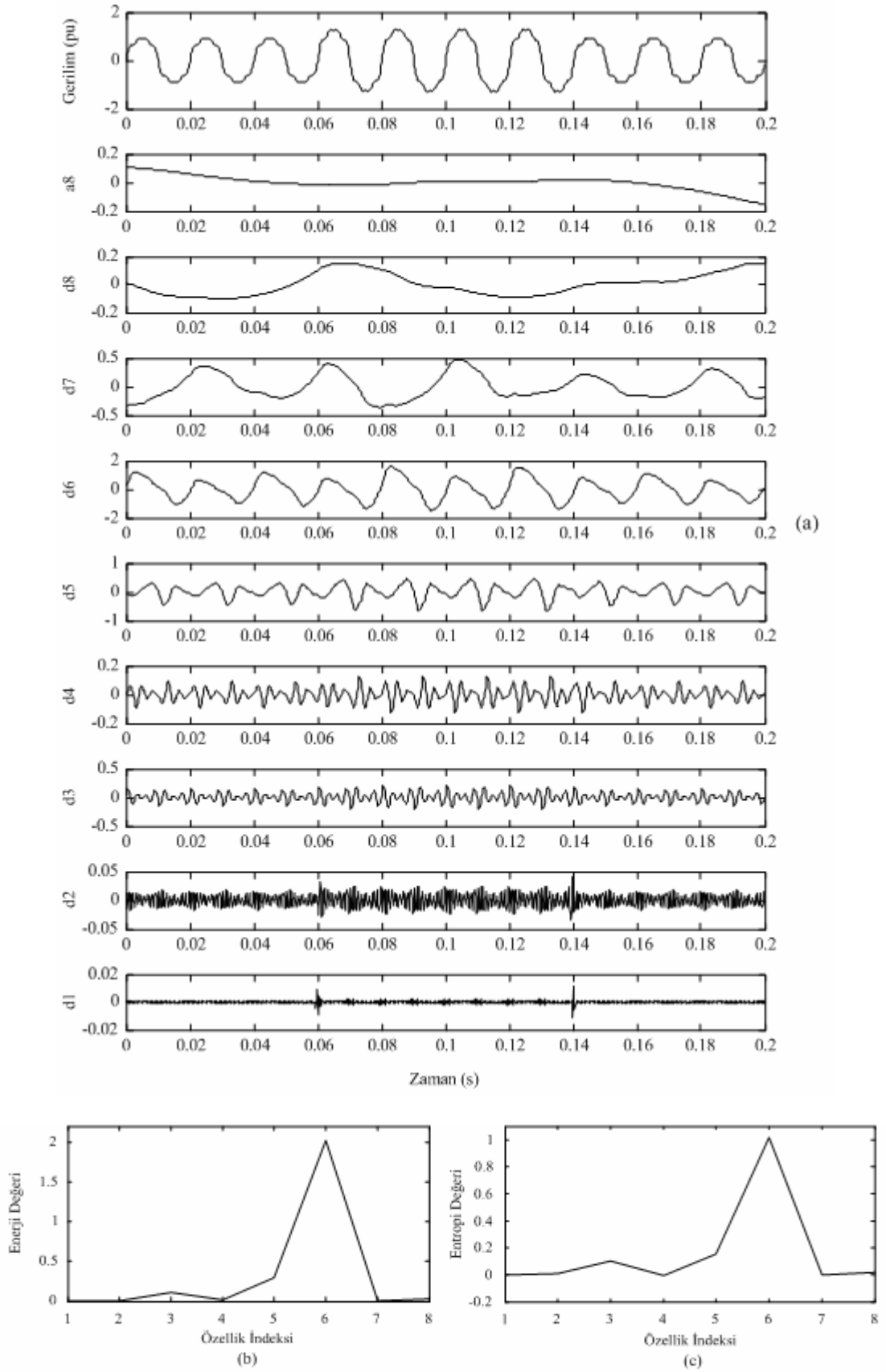
Şekil 6.6.(c)-6.8.(c)'deki Norm entropi hesaplamalarıyla elde edilen özellik eğrileri incelendiğinde, harmonik içerikli işaretler içerisinde şebeke frekansından yüksek frekanslı bileşenler bulunduğu için, 3., 4. ve 5. seviyelerdeki entropi değerlerinde bir farklılık olduğu görülmektedir. 5. ve 7. harmoniklerden dolayı özellikle 3. ve 4. seviye özelliklerinin entropi değerindeki değişim, genellikle bu işaretlerin karakteristiğini yansıtmada önemli rol oynar. Harmonik bozulmanın yanında gerilim çökmesi ve gerilim sıçraması gibi farklı bozulmalar içeren işaretler 6. seviye özellikleriyle karakterize edilebilir.



Şekil 6.6. (a) Harmonik işareti ve 8 seviyeli ADD analizi, (b) Enerji özellik eğrisi, (c) Norm entropi özellik eğrisi



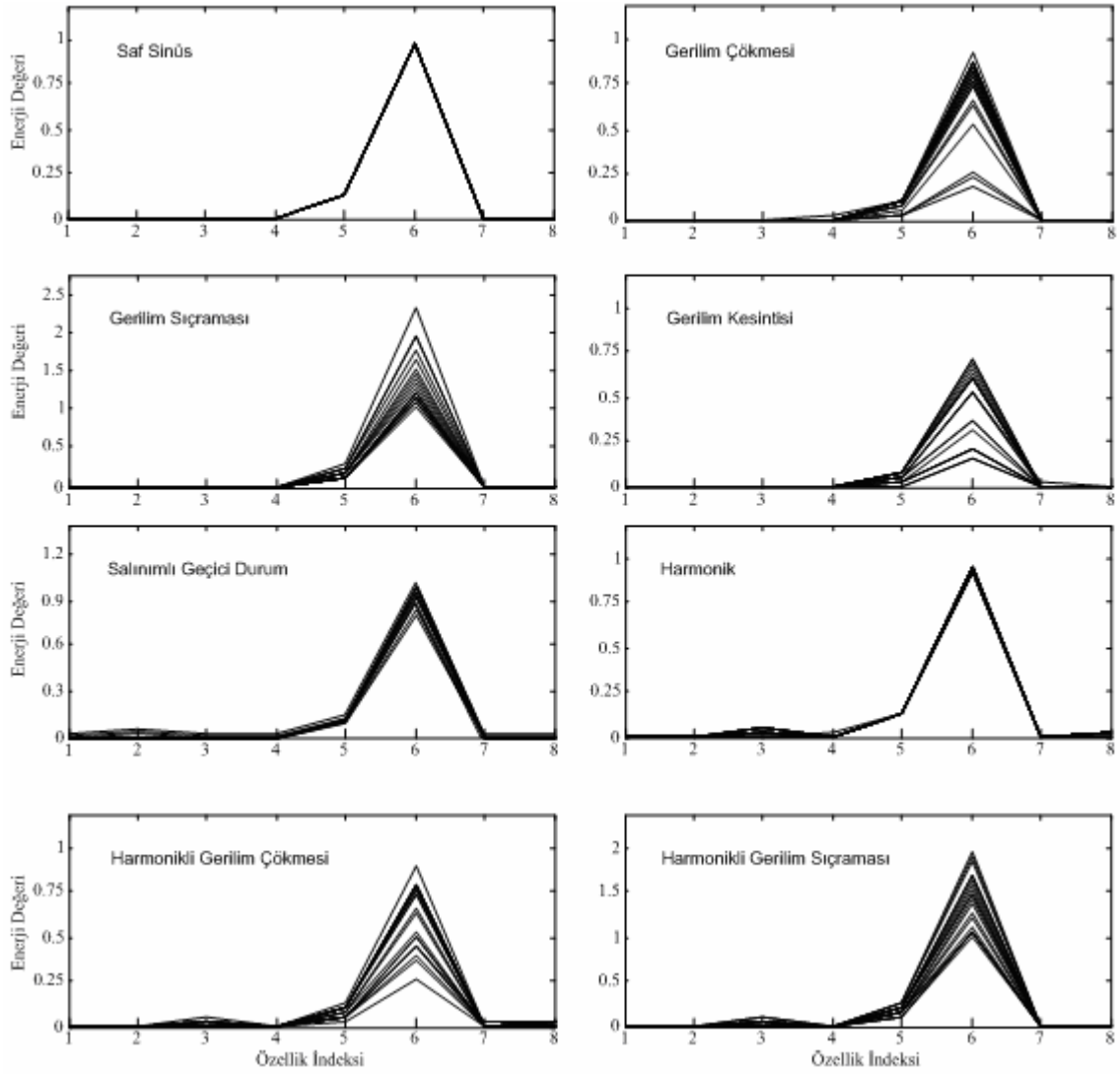
Şekil 6.7. (a) Harmonikli gerilim çökmesi işareti ve 8 seviyeli ADD analizi, (b) Enerji özellik eğrisi, (c) Norm entropi özellik eğrisi



Şekil 6.8. (a) Harmonikli gerilim sıçraması işareti ve 8 seviyeli ADD analizi, (b) Enerji özellik eğrisi, (c) Norm entropi eğrisi

6.5. Çok Sayıda GKB İşaretinin Karakteristiğinin İncelenmesi

Bozulma türleri içerisinde rastgele seçilen çok sayıda farklı örnek işaretler ile bozulma işaretlerine özgü tanımlayıcı karakteristikler çıkarılabilmektedir. Bu çalışmada incelenen her GKB işaretinden rastgele 20 farklı örnek alınarak, bozulma işaretlerinin ayırt edici özellikleri Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da gösterilmiştir. Şekil 6.9 enerji özellik çıkarım yöntemine dayalı hesaplamalardan elde edilen özellik eğrisini, Şekil 6.10'da ise Norm entropi hesaplamalarıyla elde edilen özellik eğrisini göstermektedir.



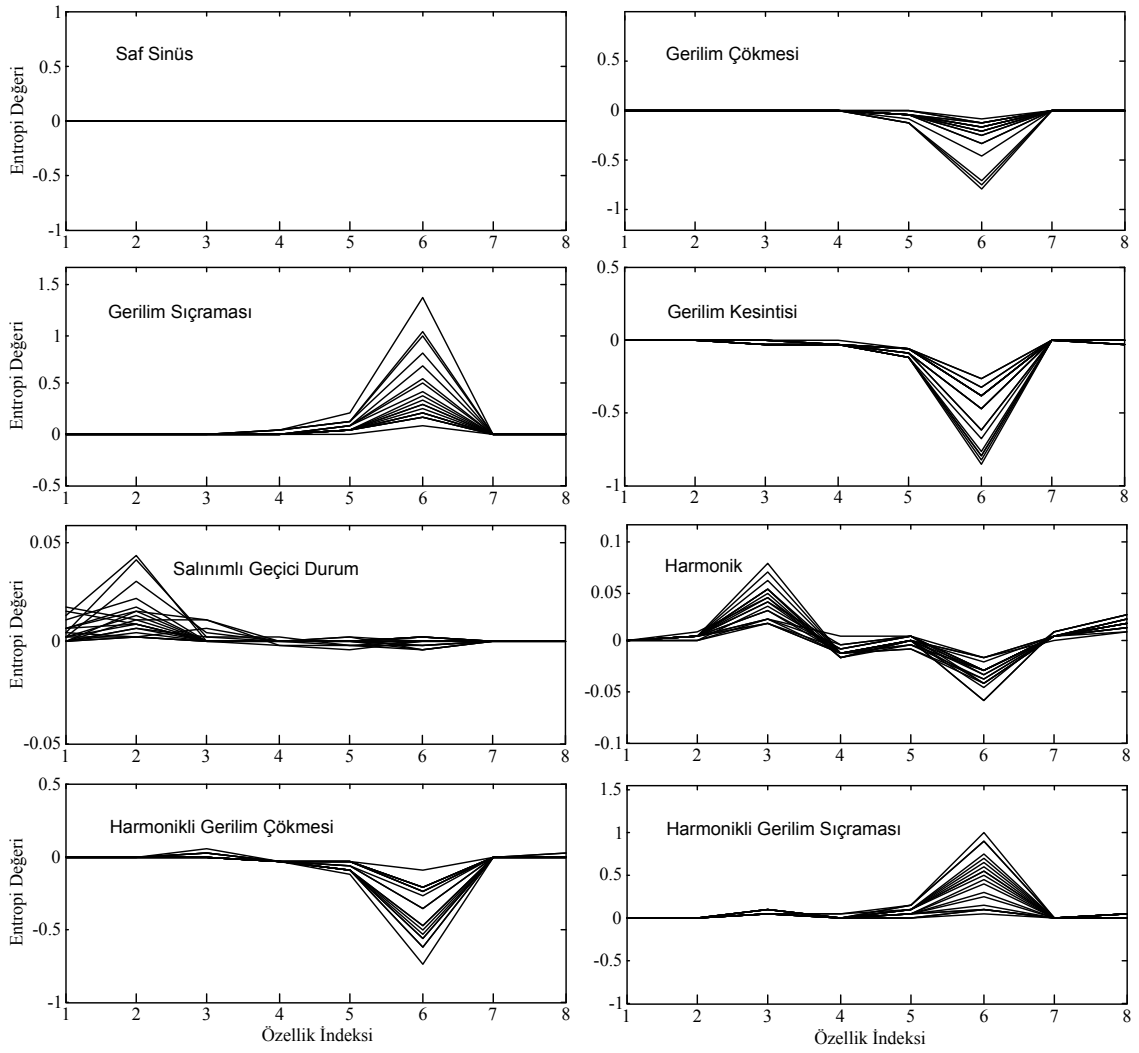
Şekil 6.9. ADD-Enerji özellik çıkarım yöntemiyle GKB türlerinin ayırt edici karakteristiğini yansıtan özelliklerin dağılımı

Gerilim çökmesi, gerilim sıçraması ve gerilim kesintisi işaretleri, genellikle şebeke frekansından farklı bir frekans bileşeni içermez. Şekil 6.9'dan görüldüğü gibi, her üç GKB

işaretinin de 6. seviye enerji değerlerinde bir artış gözlemlenmektedir. Bu işaretler saf sinüs referans işaretinin 6. seviye enerji değeri ile görsel olarak karşılaştırılarak, 6. seviye enerji değerlerinin genlik değerleriyle birbirinden ayırt edilebilmektedir. Gerilim çökmesi ve gerilim sıçraması işaretlerinin karıştırılma ihtimalinin bulunması, bu özellik çıkarım yönteminin dezavantajları arasında bulunmaktadır.

Salınımlı geçici durumlar genellikle şebeke frekansının 10-20 katı frekans içeriğine sahip olabilir. Bu nedenle referans işarete göre 2. seviye enerji değerindeki bu artış işaret üzerinde şebeke frekansından yüksek frekanslı bir bileşenin etki ettiğini göstermektedir.

Harmonik içerikli işaretler içerisinde şebeke frekansından yüksek frekanslı bileşenler bulunduğu için, özellikle 3. seviyedeki enerji dağılımında bir farklılık görölmektedir. Saf sinüs referans işaretinin 6. seviye enerji değerine göre bir farklılık olmaması, 3. seviye enerji değerinin harmonik bozulma türünü ayırt etmede önemli bir rolü olduğunu göstermektedir. Harmonikli gerilim çökmesi ve gerilim sıçraması bozulma işaretleri ise 6. seviye enerji genlik değerleriyle ise birbirinden ayırt edilebilmektedir. Bu yöntemde enerji dağılımlarının benzer örüntüler olarak görünmesi bu iki işaretin karıştırılma ihtimalini artırmaktadır.



Şekil 6.10. ADD-Entropi özellik çıkarım yöntemiyle GKB türlerinin ayırt edici karakteristiğini yansıtan özelliklerin dağılımı

Şekil 6.10’da görüldüğü gibi gerilim çökmesi ve gerilim kesintisi işaretinin 6. seviye entropi değeri negatif, gerilim sıçraması işaretinin ise pozitif değere sahiptir. Bu nedenle, şebeke frekansının frekans bandına karşılık gelen 6. seviye özelliğinin entropi değerleri gerilim çökmesi ve gerilim sıçraması işaretlerini karakterize etmede önemli bir yere sahiptir. Gerilim çökmesi ile benzer özellikler gösteren gerilim kesintisi işareti ise 6. seviye entropi değerinin genlik değeriyle birbirinden ayırt edilebilmektedir. Bu özellik çıkarım yönteminde, enerji özellik çıkarım yönteminden farklı olarak gerilim çökmesi ve gerilim sıçraması işareti görsel olarak bile birbirinden ayırt edilebilmektedir.

Salınlımlı geçici durum işaretlerinin en belirgin ayırt edici özellikleri 1. ve 2. seviye özelliklerinin entropi değerindeki değişimlerden ortaya çıkmaktadır. Bu tür işaretleri

tanımlamada, Norm entropi özellik çıkarım yönteminin, enerji özellik çıkarım yöntemine göre en önemli üstünlüğü, işareti karakterize eden birden fazla özelliğin ortaya çıkarılmış olmasıdır.

Harmonik içerikli işaretler, temel frekanstan daha yüksek frekanslarda periyodik örüntü olarak görüldüğü için 3., 4. ve 5. seviyelerdeki entropi değerlerinde bir farklılık görülmektedir. 5. ve 7. harmoniklerden dolayı özellikle 3. ve 4. seviye özelliklerinin entropi değerindeki değişim, bu işaretlerin karakteristiğini yansıtmada önemli rol oynar. Harmonik bozulmanın yanında gerilim çökmesi ve gerilim sıçraması gibi farklı bozulmalar içeren işaretler ise 6. seviye özelliklerinin entropi değerleriyle karakterize edilebilirler. Harmonikli gerilim çökmesi ve gerilim sıçraması işaretleri 6. seviye entropi değerinin pozitif veya negatif değere sahip olma özelliğiyle, birbirinden ayırt edilebilmektedir.

Sonuç olarak, Norm entropi özellik çıkarım yönteminin, enerji özellik çıkarım yöntemine göre GKB işaretlerini daha iyi karakterize edebildiği ve Norm entropi özellik çıkarım yöntemi sonuçlarına göre görsel bir sınıflandırma yapmaya imkân verdiği söylenebilir.

7. SONUÇLAR

Bu tezde, güç sistemlerinde meydana gelen çeşitli GKB (Güç Kalitesi Bozulma) işaretleri, matematiksel denklemler kullanılarak Matlab programında üretilmiştir. Sahip oldukları ayrışım yeteneklerinden dolayı matematiksel denklemlerden elde edilen GKB işaretleri, ADD işaret işleme yöntemiyle analiz edilmiştir.

GKB işaretleri genellikle durağan olmayan bir yapıya sahip olduğundan; dengesizlikler, farklı frekanslı bileşenler ve farklı enerji dağılımları içermektedir. Böylece, bu düzensizliklerin bir ölçütü olarak farklı GKB işaretlerinden önemli özelliklerin çıkarılmasında enerji ve entropi hesaplama yöntemleri kullanmıştır.

ADD analizleri sonucunda, GKB işaretlerinin detay seviyelerinden, işaretle meydana gelen süreksizlikler veya kırılmalar net bir şekilde görülebilmektedir. Gerilim çökmesi, gerilim sıçraması ve gerilim kesintisi gibi GKB işaretlerinin d1 ve d2 detay seviyelerinden işaretle bozulmanın başladığı an, bozulmanın bittiği an ve olay süresi gibi önemli bilgilerin net olarak çıkarılabileceği görülmüştür. Salınlı geçici durum işaretinin ise özellikle d1 detay seviyesinden geçici durum olayının başladığı an, bozulmanın bittiği an ve olay süresinin belirlenebileceği görülmüştür. Benzer şekilde harmonik bileşene sahip gerilim çökmesi ve gerilim sıçraması gibi GKB işaretlerinin analizi sonucunda ise yine d1 ve d2 katsayılarından çökme ve sıçrama olaylarının başlangıç anı, bitiş anı ve olay süresi hakkında bilgilerin belirlenebileceği görülmüştür. Harmonik bozulma işaretinin ise d3 ve d4 detay seviyelerinden bozulmaya ait bazı bilgilerin çıkarılabileceği görülmüştür.

GKB işaretlerinin ayırt edici özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla enerji ve entropi temelli özellik çıkarım yöntemleri kullanılmıştır. ADD analiz sonuçlarından, enerji özellik çıkarım ve Norm entropi özellik çıkarım yöntemine göre GKB işaretlerinin özellik eğrileri elde edilmiştir. Bu özellik çıkarım yöntemlerinin işaretin ayırt edici özelliklerini kaybetmeksizin veri boyutunu indirgeyen bir yapıda olduğu görülmüştür. Bir periyodunda 96 örnek bulunan, 10 periyotluk bir işaretin veri boyutu 960x1'dir. Fakat işaretin ayırt edici özelliklerini taşıyan özellik vektörü, 8x1 boyutunda bir matrisle temsil edilmektedir. Kullanılan ADD temelli Enerji ve Entropi özellik çıkarım yöntemleriyle, sadece 8 örnekten oluşan bir özellik vektörü ile tanımlanarak veri boyutu yaklaşık 1/120 oranında indirgenmiştir. Veri boyutundaki bu indirgeme, analizlerin daha hızlı yapılmasını sağladığı gibi tasarlanacak bir akıllı sistem için çıkarılan özelliklerin küçük hatalarla sınıflandırılmasını ve karar aşamasının daha kısa sürede gerçekleşmesini sağlayacaktır. Karar aşaması için en iyi sınıflandırıcı yapısı tasarlanırsa bile, eğer veriden çıkarılan özellikler veriyi uygun bir şekilde nitelendirmiyorsa, sınıflandırıcının doğru karar verme başarımı düşük olacaktır.

Enerji özellik çıkarım yöntemiyle elde edilen özellik eğrileri incelendiğinde, gerilim çökmesi, gerilim sıçraması ve gerilim kesintisi gibi GKB işaretlerinin 6. seviye enerji değerleriyle birbirinden ayırt edilebileceği görülmüştür. Salınlı geçici durum işaretinin ise özellikle 2. seviye enerji değerinin bu GKB işaretini ayırt etme yeteneğinin bulunduğu görülmüştür. Harmonik içerikli bozulmaların ise 3. ve 6. seviye enerji değerlerinin, bu bozulma türü için ayırt edici özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Fakat genel olarak bir değerlendirme yapıldığında, benzer özellik gösteren enerji özellik eğrileriyle görsel bir sınıflandırma yapmanın zor olduğu görülmektedir.

Norm entropi özellik çıkarım yöntemiyle elde edilen özellik eğrileri incelendiğinde, her üç GKB işaretinin de 6. seviye enerji değerinde belirgin bir farklılık olduğu görülmektedir. Bu özellik çıkarım yönteminde enerji özellik çıkarım yönteminden farklı olarak, gerilim çökmesi ve gerilim kesintisi işaretinin 6. seviye entropi değerinin negatif değere sahip olduğu görülmektedir. Gerilim sıçrama işaretinin 6. seviye entropi değerinin ise pozitif değere sahip olduğu görülmektedir. Gerilim sıçraması işaretinin 6. seviye entropi değerinin pozitif değere sahip olması, gerilim sıçrama işaretini gerilim çökmesi işaretinden görsel olarak ayırmakta ve 6. seviye entropi değerinin gerilim sıçraması işaretini karakterize etme özelliğinin bulunduğu görülmektedir. Gerilim çökmesi ve gerilim kesintisi işaretleri ise 6. seviye entropi değerinin genlik değerinden görsel olarak kolayca ayırt edilebilmektedir. Salınlı geçici durum işaretinin 1., 2. ve 3. seviye entropi değerlerinde belirgin bir artış görülmektedir. Bu yöntemde, enerji özellik çıkarım yöntemine göre 2 farklı özellik ortaya çıkartılmış, salınlı geçici durum işaretinin görsel olarak bile ayırt edilebileceği görülmüştür. Harmonik içerikli işaretler içerisinde şebeke frekansından yüksek frekanslı bileşenler bulunduğu için, 3., 4. ve 5. seviyelerdeki entropi değerlerinde bir farklılık olduğu görülmüştür. 5. ve 7. harmoniklerden dolayı özellikle 3. ve 4. seviye özelliklerinin entropi değerindeki değişim, genellikle bu işaretlerin karakteristiğini yansıtmada önemli rol oynamaktadır. Harmonik bozulmanın yanında gerilim çökmesi ve gerilim sıçraması gibi harmonik içerikli farklı bozulmalar içeren işaretler ise 6. seviye özellikleriyle karakterize edilebileceği görülmüştür.

GKB işaretlerinden rastgele alınan 20 farklı örnek için enerji ve entropi özellik eğrileri incelendiğinde, Norm entropi özellik çıkarım yönteminin, enerji özellik çıkarım yöntemine göre GKB işaretlerinin ayırt edici özelliklerini daha iyi karakterize edebildiği görülmüştür.

Her iki yöntemden elde edilen özellik eğrileri incelendiğinde, her iki özellik vektörünün boyutunun aynı olmasına rağmen, Norm entropi özellik çıkarım yönteminin enerji özellik çıkarım yöntemine göre GKB işaretlerini ayırt edebilme yeteneğinin daha iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca işaretin genliğindeki artış veya azalış görsel inceleme sonucunda kolayca ayırt edilebilmekte ve işaretin görsel olarak sınıflandırılabilmesi görülmektedir.

Bu alanda gelecekte yapılacak çalışmalar için Norm entropi özellik çıkarım yöntemiyle çıkarılan özelliklerin, akıllı sistem yapısıyla sınıflandırılarak, GKB bozulma türlerinin tespitini sağlayacak bir sistem geliştirilmesi önerilebilir. Ayrıca, bu veriler doğrultusunda hangi bölgelere hangi özellikte aktif güç filtreleri, gerilim düzenleyiciler, kesintisiz güç kaynakları gibi güç kalitesi iyileştirme cihazlarının konulması gerektiğine karar verilebilir. Bu bilgiler ışığında önerilen çözümler güç sisteminin sürekliğini ve güvenilirliğini artırmanın yanında kontrolünü de kolaylaştırır.

KAYNAKLAR

AbdelGalil, T.K., Kamel, M., Youssef, A.M., El-Saadany, E.F., Salama, M.M.A., 2004, Power quality disturbance classification using the inductive inference approach, IEEE Trans. Power Deliv., 19, 4, 1812–1818.

Ağalar, Ş., 2003, Alçak Gerilim Güç Sistemlerinde Enerji Kalitesinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 82s.

Arı, N., Özen, Ö., Çolak, ve Ö.H., 2008, Dalgacık Teorisi, Palme Yayınevi, Ankara.

Arrillaga, J., Watson, N.R. ve Chen, S., 2000, Power System Quality Assessment, Wiley, London.

Atasal, M., 2000, Güç Kalitesi ve Fliker, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 131s.

Barut, İ., 2007, Güç Sistemlerinde Geçici Durumların Dalgacık Dönüşümü Kullanılarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 122s.

Bollen, M.H.J., Gu, I. Y-H, 2006, Signal Processing of Power Quality Disturbances. IEEE Press Series on Power Engineering, Wiley Interscience, 861s.

Borras, D., Castilla, M., Moreno, N., ve Montano, J.C., 2001, Wavelet and Neural Structure: A New Tool for Diagnostic of Power System Disturbances, IEEE Trans. Industry Appl., 37, 1, 184–190.

Cheok, L.W., Saha, T.K. ve Dong, Z.Y., 2002, Power Quality Investigation With Wavelet Techniques, Proceedings of Australasian Universities Power Engineering Conference, Monash University, Melbourne, Australia.

Cohen, L., 1995, Time–Frequency Analysis, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.

Coifman, R.R., Wickerhauser, M.V., 1992, Entropy-Based Algorithms for Best Basis Selection, IEEE Transaction on Information Theory, 38, 2, 713–718.

Çelik, Ç., 2008, Dağıtım Sistemlerinde Enerji kalitesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 138s.

Daubechies, I., 1992, Ten Lectures on Wavelets. Philadelphia: Society of Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, 357s.

Demir, H., 1998, Wavelet Dönüşümü ve İşaret İşleme Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 53s.

Deniz, T., 1995, EMPT ile Enerji İletim Sistemlerinde Açma-Kapama Olayları Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 121s.

Domijan, A., Embriiz-Santander, E., 1992, A Novel Electric Power laboratory for Power Qtuality and Energy Studies; Training Aspects, IEEE Transactions on Power Systems, 7, 4, 1571-11578.

Dommel, H.W., 1998, Introduction to the use of MicroTran and other EMTP versions, Department of Electrical and Computer Engineering The University of British Columbia 2356 Main Mall Vancouver, B. C. Canada, 1-47.

Douglas, J., 1944, Power Quality Solutions, IEEE Power Engineering Review.

Driesen, J., Belmans, R, 2002, Time Frequency Analysis in Power Measurement using Complex Wavelets, IEEE International Symposium on Circuits and Systems Arizona, USA, 681-684.

Dugan, R.C., Mcgranaghan, M.F., Santoso, S. ve Beaty, H.W., 2002, Electrical Power Systems Quality, McGraw-Hill, New York, 528s.

Elektrik Enerjisi Kalite Enstitüsü, 2007,
http://www.elenke.org/files/panel_sunum.ppt

Elektrik Piyasası Kanunu, 2001,
http://www.epdk.org.tr/mevzuat/kanun/elektrik/elektrik_piyasalari_kanunu.pdf

Fernandez, R.M., Rojas, H.N.D., 2002, An Overview of Wavelet Transforms Application in Power Systems, 14th PSCC, Sevilla, 1-8.

Fidan, S., 2006, Dalga Kılavuzunda Yayılan Elektromanyetik Dalganın Dalgacık Dönüşümü ile Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 92s.

Flandrin, P., 1999, Time–Frequency/Time-Scale Analysis, Academic Press, San Diego.

Gaouda, A.M., Salama, M.M.A., Sultan, M.R., ve Chikhani, A.Y., 1999, Power Quality Detection and Classification Using Wavelet-Multiresolution Signal Decomposition, IEEE Trans. on Power Delivery, 14, 4, 1469-1476.

Gemici, A., 1994, Elektrik Enerji Sistemlerinde Güç Kalitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 101s.

Gray, R.M., 1990, Entropy and Information Theory, Springer-Verlag, New York.

Gu, I.Y.H., Bollen, M.H.J., 2003, Bridge The Gap: Signal Processing for Power Quality Applications, Electric Power Systems Research, 66, 1, 83–96.

Günay, Ö., 2002, Güç Kalitesi Problemleri ve Elektrik Makineleri Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 155s.

Heydt, G.T., Fjeld, P.S., Liu, C.C., Pierce, D., Tu, L. ve Hensley, G., 1999, Applications of the windowed FFT to electric power quality assessment, IEEE Trans on Power Deliv., 14, 4, 1411–1416.

IEEE Std. 1159, 1995, IEEE Recommend Practice for Monitoring Electric Power Quality.

Jaramillo, S.H., Heydt, G.T. ve Carrillo, E.O., 2000, Power Quality Indices For Aperiodic Voltages and Currents, IEEE Trans. on Power Delivery, 15, 2, 784-790.

Kashyap, K.H., Shenoy, U.J., 2003, Classification of Power System Faults Using Wavelet Transforms and Probabilistic Neural Networks, IEEE, 423-426.

Kennedy, B. W., 2000, Power Quality Primer, McGraw-Hill.

Kocatepe, C., Uzunoğlu, M., Yumurtacı, R., Karakaş, A., ve Arıkan, O., 2003, Elektrik Tesislerinde Harmonikler, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Koçal, H.O., 1991, Wavelet Dönüşümü ve İşaret İşlemedeki Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 99s.

Lee, C.H., Wang, Y.J. ve Huang, W.L., 2000, A Literature Survey of Wavelets in Power Engineering Applications, Proceedings of the National Science Council, Part A: Physical Science and Engineering, 24, 4, 249-258.

Liu, J., Pillay, P. ve Riberio, P., 1999, Wavelet Analysis of Power Systems Transient Using Scalograms and Multiresolution Analysis, Electric Machines and Power Systems Journal, 27, 12, 1331-1341.

MATLAB 6.5 version Wavelet Toolbox, MathWorks Company.

Meliopoulos, A.P.S., Lee, C.H., 2000, An Alternative Method for Transient Analysis via Wavelets, IEEE, Transactions on Power Delivery, 15, 1, 114-121.

Panigrahi, B.K., Mishra, S., 2005, Intelligent Classification of Power Quality Disturbances in a Distribution Network, IEEE TENCON'05, Melbourne, 1-4.

Polikar, R., 1999, The Story of Wavelets, Dept. of Electrical and Computer Engineering & The Biomedical Engineering Program Iowa State University 329 Durham Computation Center, IA 50011 USA, 5481-5486.

Principe, J.C., Euliano, N.R., Lefebvre, W.C., 2000, Neural and Adaptive Systems, John Wiley & Sons, New York, 656s.

Purpy, K.L.B. ve Bagriyanik, M., 2003, Characterization of Transients in Transformers Using Discrete Wavelet Transforms, IEEE Transactions on Power Systems, 18, No.2, 648-656.

Robertson, D.C., Camps, O.I., Mayer, J.S. ve Gish, W.B., 1996, Wavelets and Electromagnetic Power System Transients, IEEE Trans. on Power Delivery, 11, 2, 1050-1057.

Santoso, S., Grady, W.M., Powers, E.J., Lamoree, J. ve Bhatt, S.C., 2000, Characterization of Distribution Power Quality Events with Fourier and Wavelet Transform, IEEE Trans. on Power Delivery, 15, 1, 247-254.

Schilling, E.W., 1933, The Distortion of Current and Voltage Waves on Transmission Lines, PhD.Dissertation, Iowa State University, Ames.

Shi, F., Hughes, N.R., Roberts, G., 2007, http://www.bmva.ac.uk/bmvc/2001/papers/84/accepted_84.pdf.

Strang, G., Nguyen, T., 1996, Wavelets and Filter Banks, Cambridge Press, Wellesley, 390s.

Tonga, S., Bezerianosa, A., Paula, J., Zhub, Y., ve Thakora, N., 2002, Nonextensive Entropy Measure of EEG Following Braining Jury from Cardiac Arrest, Elsevier Physica A, 305, 619-628.

Türkoğlu, İ., 2002, Durağan Olmayan İşaretler İçin Zaman-Frekans Entropilerine Dayalı Akıllı Örüntü Tanıma, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 112s.

Ukil, A., Zivanovic, R., 2005, Abrupt Change Detection in Power System Fault Analysis Using Wavelet Transform, Presented at the International Conference on Power Systems Transients (IPST'05) in Montreal, Canada, 1-6.

Uyar, M., 2008, Güç kalitesindeki bozulmaların akıllı sistemler kullanılarak incelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 130s.

Uyar, M., Yıldırım, S., ve Gençoğlu, M.T., 2007, Güç Kalitesi Bozulmalarının Sınıflandırılmasında Dalgacık Dönüşümüyle Enerji Dağılımına Dayalı Özelliklerin İncelenmesi, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar-Biyomedikal Mühendisliği 12. Ulusal Kongresi, Eskişehir, 596-200.

ÖZGEÇMİŞ

Murat BERDİBEK

Fırat Elektrik Dağıtım A.Ş.

Elazığ İl Müdürlüğü

Elektrik Piyasası ve Müşteri Hizmetleri Müdürlüğü, 23270, Elazığ

e.posta: muratberdibek@msn.com

- | | |
|-----------|---|
| 1973 | Elazığ ilinde doğdu. |
| 1987–1990 | Elazığ Gazi Endüstri Meslek Lisesi, Elektrik Bölümünü tamamladı. |
| 1993–1998 | Anadolu Üniversitesi, İktisat Fakültesi, Kamu Yönetimi Bölümünden mezun oldu. |
| 1999 | Askerlik hizmetini tamamladı. |
| 2000–2004 | Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümünden mezun oldu. |
| 2004 | Fırat Elektrik Dağıtım A.Ş. Elazığ İl Müdürlüğünde çalışmaya başladı. |
| 2009 | Halen Fırat Elektrik Dağıtım A.Ş. Elazığ İl Müdürlüğünde raportör olarak görev yapmaktadır. |