

**GÜÇ KALİTESİ PARAMETRELERİNİN DALGACIK ÇÖZÜMLEME
YÖNTEMLERİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ**

**IDENTIFICATION OF POWER QUALITY PARAMETERS USING
WAVELET ANALYSIS**

SERKAN BUHAN

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
ELEKTRİK ve ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2009

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından **ELEKTRİK ve ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA-BİLİM DALI** 'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan :
Prof.Dr. Işık ÇADIRCI

Üye :
Doç.Dr. Atila YILMAZ

Üye :
Yrd.Doç.Dr. Emre AKTAŞ

Üye :
Yrd.Doç.Dr. Harun ARTUNER

Üye (Danışman) :
Dr. Umut SEZEN

ONAY

Bu tez/...../2009 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

......./...../2009

Prof.Dr. Erdem YAZGAN
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

GÜÇ KALİTESİ PARAMETRELERİNİN DALGACIK ÇÖZÜMLEME YÖNTEMLERİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ

SERKAN BUHAN

ÖZ

Bu tez çalışmasında, elektrik iletim ve dağıtım sisteminde meydana gelen güç kalitesi problemleri, dalgacık dönüşümü teknikleri kullanılarak analiz edilmiştir. Güç kalitesi analizinde kullanılan eski teknikler dalgacık analizi tekniği ile karşılaştırılmış ve sonuçlar raporlanmıştır. İlk olarak güç kalitesini etkileyen parametreler, önce benzetim ile oluşturulmuş veriler kullanılarak dalgacık teknikleriyle elde edilmiş daha sonra ise donanım ve yazılım alt yapısı oluşturulmuş ve gerçek zamanlı veri toplama ve analizi prosedürleri gerçekleştirilmiştir. Benzetim için kullanılan güç kalitesi olay verileri, bilgisayarda benzetimi yapılmış olaylar ile TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi) transformatör merkezlerine bağlanarak toplanmış gerçek ölçüm verilerinden oluşmuştur. Gerçek zamanlı analizlerde, ölçüm ve değerlendirme sistemi, sinyal üretici ile oluşturulan güç kalitesi olay verilerini okuyarak tasarlanmış olan algoritmaya girdi verisi toplamıştır. Bu girdilere dalgacık analizleri uygulanarak güç kalitesi parametreleri tespit edilmiş ve meydana gelen olaylar gerçek zamanlı olarak sınıflandırılmış ve kaydedilmiştir. Hem gerçek zamanlı analizlerde hem de benzetim analizlerinde Labview tabanlı olarak geliştirilmiş algoritmalar kullanılmıştır. Ayrıca gerektiğinde karşılaştırma yapabilmek için Matlab yazılımından da yararlanılmıştır. Yapılan veri analizlerinde mevcut ulusal ve uluslararası standartlar göz önünde bulundurulmuş, uygun analiz ve sınıflandırma işlemleri yapılmıştır. Bu çalışmada IEC 61000-4-7 (TS EN 61000-4-7), IEC 61000-4-30, IEC 61000-4-15 (TS EN 61000-4-15), IEEE 519-1992 ve IEEE 1159-1995 kod numaralı uluslararası güç standartları referans alınmıştır. Tasarlanan bu yazılım ve donanımlar geliştirilerek elektrik iletim ve dağıtım sisteminde ölçüm ve analiz yapmak için kolaylıkla kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Güç kalitesi, Dalgacık dönüşümü, Güç kalitesi parametrelerinin belirlenmesi, Labview.

Danışman: Dr. Umut SEZEN, Hacettepe Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

IDENTIFICATION OF POWER QUALITY PARAMETERS USING WAVELET ANALYSIS

SERKAN BUHAN

ABSTRACT

In this study, the power quality problems that have been appeared on electricity transmission and distribution systems have been analyzed by using wavelet transform techniques. The old techniques that have been used for power quality analysis are compared with wavelet analysis and results are reported. Firstly, the power quality parameters are identified from wavelet techniques by using the data of simulation, then hardware and software backgrounds are developed and real time data acquisition and analysis procedures are realized. The event data which were used for simulation consist of events simulated in computer and real measurement data that has been collected by connecting to TEİAŞ (Turkish Electricity Transmission Corporation) transformation centers. At the real time analysis, the measurement and evaluation system has collected input data by reading the power quality event data that has been generated by signal generators. By applying wavelet analysis to these inputs the power quality parameters has been determined and happened events has been classified and saved. The upgraded algorithms at the base of Labview has been used at both real timed and simulation analysis. Additionally Matlab software has been benefited in case of necessity. The current national and international standards has been taken into account at analysis of data and appropriate analysis and classify processes has been done. In this study, IEC 61000-4-7 (TS EN 61000-4-7), IEC 61000-4-30, IEC 61000-4-15 (TS EN 61000-4-15), IEEE 519-1992 and IEEE 1159-1995 code named international power quality standards are taken as reference. With upgrading these designed software and hardware can be easily used for measurement and analysis in electricity transmission and distribution systems.

Keywords: Power quality, Wavelet transform, Identification of power quality parameters, Labview.

Advisor: Dr. Umut SEZEN, Hacettepe University, Department of Electrical and Electronics Engineering

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması TÜBİTAK Kamu Kurumları Araştırma Projeleri Destekleme Programı (Program Kodu:1007) kapsamındaki 105G129 no'lu "Türkiye Elektrik Sistemi'nde Güç Kalitesine Etki Eden Değişkenleri ve Güç Akışını İzleme, Problemlerin Tespiti, Değerlendirilmesi ve Karşı Önlemlerin Hayata Geçirilmesi Projesi", kapsamında desteklenmiştir.

Bu tez çalışmasında karşılaşılan sorunların çözümünde yardımcı olan ve çalışmanın sağlıklı bir şekilde yürütülmesi için bana yol gösteren tez danışmanım Dr. Umut Sezen'e,

Tez çalışmam sırasında ve iş hayatımda sürekli destek olan başta proje yöneticimiz Prof. Dr. Muammer Ermiş ve grup kordinatörümüz Prof. Dr. Işık Çadircı olmak üzere tüm Milli Güç Kalitesi Projesi Çalışanlarına,

Değerli proje arkadaşlarım Cem Özgür Gerçek, Özgür Ünsar, Erinç Altıntaş ve Ali Burhan Haliloğlu'na,

Katkılarından dolayı değerli proje arkadaşlarım, Dr. Özgül Salor, Neslihan Köse ve Dilek Küçük'e,

Verdiği destekten dolayı değerli çalışma arkadaşım, Tevhid Atalık'a,

Bilgi ve deneyimlerini paylaşan değerli Tez İzleme Komitesi ve Tez Savunma Sınavı jüri üyelerine,

Desteğini hiç esirgemeyen aileme,

Bu çalışmamda bütün kahrımı çeken ve bana hep destek olan değerli eşim Kübra Buhan'a,

İçtenlikle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	1
1.2. Dalgacıklarla İlgili Yapılmış Çalışmalar	6
1.3. Tezin Planı	9
2. GÜÇ KALİTESİ	11
2.1. Güç Kalitesi Standart ve Yönetmelikleri	11
2.2. Ölçülen ve Analiz Edilen Güç Kalitesi Parametreleri	14
2.2.1. Gerilim Çukuru	14
2.2.2. Gerilim Tepesi	17
2.2.3. Gerilim Kesintisi	20
2.2.4. Gerilim Çentikleri	22
2.2.5. Geçici Rejim Olayları	22
2.2.6. Harmonikler	25
3. DALGACIK KURAMI VE DÖNÜŞÜMÜ	28
3.1. Dalgacık Dönüşümünün Tarihçesi	28
3.2. Dalgacık Dönüşümü (WT)	30
3.3. Dalgacık Dönüşümü Türleri	33
3.3.1. Sürekli Dalgacık Dönüşümü (CWT)	33
3.3.2. Ayrık Dalgacık Dönüşümü (DWT)	37
3.3.3. Çoklu Çözünürlüklü Analiz (MRA)	40

3.3.4. Ayırık Dalgacık Paket Dönüşümü (DWPT)	41
3.3.5. Örnek Seyreltilmemiş Dalgacık Dönüşümü (UWT).....	44
3.4. Dalgacıkların Temel Özellikleri	45
3.5. Yaygın Dalgacık Türleri	47
3.5.1. Haar Dalgacığı	47
3.5.2. Daubechies Dalgacıkları	47
3.5.3. Coiflets Dalgacıkları	48
3.5.4. Morlet Dalgacığı	48
3.5.5. Meyer Dalgacığı	49
3.5.6. Symlets Dalgacıkları	50
3.5.7. Biortogonal Dalgacıkları	50
4. BENZETİM TESTLERİ	51
4.1. Kullanılacak Dalgacık Dönüşümü Türünün Seçimi	51
4.2. Kullanılacak Dalgacık Türünün Seçimi	52
4.3. Seçilen Dalgacıkların İncelenmesi	53
4.3.1. Seçilen Dalgacıkların Frekans Tepkisi Analizi	54
4.3.2. Analizde Kullanılan Dalgacıklar İçin Filtrelerinin Grup Gecikmesi Analizi	55
4.4. Güç Kalitesi Olaylarının DWT Kullanarak Labview Yazılımı ile Testleri .	60
4.5. Güç Kalitesi Parametrelerinin Standart Sapma ve Enerji Değişimi Analizleri	66
4.6. Güç Kalitesi Olaylarının Başlangıç ve Bitiş Noktalarının Tespiti	69
4.6.1. Gerilim Çukuru Başlangıç ve Bitiş Noktalarının Tespiti	70
4.6.2. Gerilim Tepesi Başlangıç ve Bitiş Noktalarının Tespiti	73
4.6.3. Gerilim Kesintisi Başlangıç ve Bitiş Noktalarının Tespiti	75
4.6.4. Geçici Olay Başlangıç ve Bitiş Noktalarının Tespiti	77
4.7. Güç Kalitesi Olaylarının Tespit ve Sınıflandırma Analizleri	80
4.7.1. Güç Kalitesi Olaylarının Tespiti	81
4.7.2. Güç Kalitesi Olaylarının Sınıflandırılması	81

4.7.3. Gürültü Taşıyan Güç Kalitesi Olaylarının Tespit ve Sınıflandırılması	102
4.7.4. Dalgacık Tekniği ile Mevcut Tekniklerin Karşılaştırılması	106
5. GERÇEK ZAMANLI ÖLÇÜM VERİLERİ ANALİZİ VE GERÇEK ZAMANLI TESTLER	109
5.1. Ölçüm Sistemi Donanım Altyapısının Oluşturulması	109
5.1.1. Akım Sensörleri	109
5.1.2. Gerilim Sensörleri	110
5.1.3. Veri Örnekleme-Tutma Kartı (NI SC-2040)	111
5.1.4. Veri Taşıma Kablosu (NI RC68-68)	111
5.1.5. Veri Toplama Kartı (NI DAQ 6036E)	111
5.1.6. Sinyal Üretici (HP 33120A)	112
5.2. Gerçek Zamanlı Toplanmış Ölçüm Verilerinin Analizi	112
5.2.1. Gerilim Çukuru Testleri	114
5.2.2. Gerilim Tepesi Testleri	119
5.2.3. Gerilim Kesintisi Testi	124
5.2.4. Geçici Olay Testi	130
5.3. Gerçek Zamanlı Ölçüm, Analiz ve Sınıflandırma	134
5.3.1. Gerçek Zamanlı Gerilim Çukuru Olayı Tespit, Analiz ve Sınıflandırması	136
5.3.2. Gerçek Zamanlı Gerilim Tepesi Olayı Tespit, Analiz ve Sınıflandırması	138
5.3.3. Gerçek Zamanlı Gerilim Kesintisi Olayı Tespit, Analiz ve Sınıflandırması	140
6. SONUÇ	142
EKLER DİZİNİ	152
ÖZGEÇMİŞ	169

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Güç kalitesini etkileyen ve bundan etkilenen taraflar	2
Şekil 1.2. Güç kalitesini etkileyen bazı etkenler	3
Şekil 2.1. Tek fazlı sistemde örnek bir gerilim çukuru olayı	15
Şekil 2.2. Üç fazlı sistemde örnek bir gerilim çukuru olayı	16
Şekil 2.3. Üç fazlı sistemde örnek bir gerilim çukuru olayı anında akımdaki değişim	16
Şekil 2.4. Tek fazlı sistemde örnek bir gerilim tepesi olayı	18
Şekil 2.5. Üç fazlı sistemde örnek bir gerilim tepesi olayı	19
Şekil 2.6. Üç fazlı sistemde örnek bir gerilim tepesi olayı anında akımdaki değişim	19
Şekil 2.7. Tek fazlı sistemde örnek bir gerilim kesintisi	20
Şekil 2.8. Üç fazlı sistemde örnek bir gerilim kesintisi	21
Şekil 2.9. Üç fazlı sistemde örnek bir gerilim kesintisi olayı anında akımdaki değişim	21
Şekil 2.10. Gerilimde oluşan çentikler örneği	22
Şekil 2.11. Tek fazlı sistemde gerilimde oluşan örnek bir darbeleri geçici olay	23
Şekil 2.12. Üç fazlı sistemde gerilimde oluşan örnek bir darbeleri geçici olay	24
Şekil 2.13. Üç fazlı sistemde gerilimdeki örnek bir darbeleri geçici olay anında akımdaki değişim	24
Şekil 2.14. Gerilimde oluşan örnek bir salınımlı geçici olay	25
Şekil 2.15. 3. ve 5. harmonikler ile temel bileşen sinyalleri	26
Şekil 3.1. Dalgacık Dönüşümü (WT)	30
Şekil 3.2. İdeal sinüs dalgası ve örnek ana dalgacık şekli (db08)	31
Şekil 3.3. Fourier dönüşümünün Zaman-Frekans tabanlı gösterimi	32
Şekil 3.4. Dalgacık dönüşümünün Zaman-Frekans tabanlı gösterimi	32
Şekil 3.5. Db10 dalgacığı için filtre katsayıları, ölçek ve ana dalgacık fonksiyonları	33
Şekil 3.6. Dalgacıklar ve güç spektrumları	34

Şekil 3.7. Dalgacıkların zaman–frekans diyagramı	35
Şekil 3.8. CWT uygulama adımları	36
Şekil 3.9. Tek Seviyeli DWT analizi	39
Şekil 3.10. 2 kanallı mükemmel tekrar oluşturmali filtre bankaları	39
Şekil 3.11. Ayırık dalgacık dönüşümü	40
Şekil 3.12. Ters ayırık dalgacık dönüşümü	40
Şekil 3.13. 3 seviyeli çoklu çözünürlüklü analiz	41
Şekil 3.14. Ayırık dalgacık paket dönüşümü (DWPT)	42
Şekil 3.15. 3 seviyeli ayırık zamanlı dalgacık ayrıştırma ağacı	42
Şekil 3.16. Ara frekans dalgacık paket analizi	43
Şekil 3.17. 3 seviyeli çoklu çözünürlüklü dalgacık analizi	44
Şekil 3.18. 3 seviyeli çoklu çözünürlüklü dalgacık analizi eşdeğer gösterimi	44
Şekil 3.19. DWT ile UWT arasındaki farkın tespiti	45
Şekil 3.20. Gerçek sinyalde DWT ile UWT arasındaki farkın tespiti	46
Şekil 3.21. Daubechies dalgacık ailesi	48
Şekil 3.22. Morlet dalgacık fonksiyonunun gerçel ve sanal kısımları	49
Şekil 4.1. Db10 dalgacığı analiz AGF frekans tepkisi	55
Şekil 4.2. Db10 dalgacığı analiz AGF grup gecikmesi değişimi	57
Şekil 4.3. Db10 dalgacığı analiz YGF grup gecikmesi değişimi	57
Şekil 4.4. Saf sinüs ile a1 dalgacık katsayısı arasındaki gecikme	58
Şekil 4.5. Saf sinüs ile a2 dalgacık katsayısı arasındaki gecikme	59
Şekil 4.6. Saf sinüs ile a3 dalgacık katsayısı arasındaki gecikme	61
Şekil 4.7. Olayların 3 seviyeli dalgacık analizi	62
Şekil 4.8. Gerilim çukuru olayı 3-seviye dalgacık analizi	63
Şekil 4.9. Gerilim yükselmesi olayı 3-seviye dalgacık analizi	64
Şekil 4.10. Gerilim kesintisi olayı 3-seviye dalgacık analizi	64
Şekil 4.11. Geçici olay 3-seviye dalgacık analizi	65
Şekil 4.12. Harmonikli Sinyal 3-seviye dalgacık analizi	65
Şekil 4.13. Saf sinüs enerji ve standart sapma değişimi	66

Şekil 4.14. Gerilim çukuru enerji ve standart sapma değişimi	66
Şekil 4.15. Gerilim tepesi enerji ve standart sapma değişimi	66
Şekil 4.16. Gerilim kesintisi enerji ve standart sapma değişimi	67
Şekil 4.17. 3. ve 5. harmonikli sinyal enerji ve standart sapma değişimi	67
Şekil 4.18. Darbeli geçici olay enerji ve standart sapma değişimi	67
Şekil 4.19. 3 seviyeli db10 dalgacığı kullanarak UWT analizi	69
Şekil 4.20. UWT detay bileşenlerinin olay başlangıç, bitiş ve uzunluğunun tespit blok şeması	70
Şekil 4.21. Bir saniyelik veri içinde gerilim çukuru olayı	71
Şekil 4.22. Gerilim çukuru olayında bir saniyelik verinin yaklaştırılmış hali	71
Şekil 4.23. Gerilim çukuru olayının 3 seviyeli db10 dalgacığı kullanarak UWT analizi ve detay katsayıları	72
Şekil 4.24. Bir saniyelik veri içinde gerilim tepesi olayı	73
Şekil 4.25. Bir saniyelik gerilim tepesi verisinin yaklaştırılmış hali	73
Şekil 4.26. Gerilim tepesi olayının 3 seviyeli db10 dalgacığı kullanarak UWT analizi ve detay katsayıları	74
Şekil 4.27. Bir saniyelik veri içinde gerilim kesintisi olayı	75
Şekil 4.28. Gerilim kesintisi olayının yaklaştırılmış hali	76
Şekil 4.29. Gerilim kesintisi olayının 3 seviyeli db10 dalgacığı kullanarak UWT analizi ve detay katsayıları	76
Şekil 4.30. Bir saniyelik veri içinde salınımlı geçici olay	78
Şekil 4.31. Salınımlı geçici olayın yaklaştırılmış hali	78
Şekil 4.32. Salınımlı geçici olayın 3 seviyeli db10 dalgacığı kullanarak UWT analizi ve detay katsayıları	79
Şekil 4.33. Olay tespit kodu blok şeması	81
Şekil 4.34. Sınıflandırmaya tabi tutulan %40'lık gerilim çukuru olayı	82
Şekil 4.35. Gerilim çukuru olayı 3 seviyeli db10 dalgacıklı UWT yaklaşım katsayısı	82
Şekil 4.36. Gerilim çukuru sınıflandırma algoritması blok şeması	83
Şekil 4.37. Sınıflandırmaya tabi tutulan %120'lik gerilim tepesi olayı	84

Şekil 4.38. Gerilim tepesi olayı 3 seviyeli db10 dalgacıklı UWT yaklaşım katsayısı	85
Şekil 4.39. Gerilim tepesi sınıflandırma algoritması blok şeması	85
Şekil 4.40. Sınıflandırmaya tabi tutulan %0'lık gerilim kesintisi olayı	87
Şekil 4.41. Gerilim kesintisi olayı 3 seviyeli db10 dalgacıklı UWT yaklaşım katsayısı	87
Şekil 4.42. Gerilim kesintisi sınıflandırma algoritması blok şeması	88
Şekil 4.43. Sınıflandırmaya tabi tutulan salınımlı geçici olay	89
Şekil 4.44. Geçici olay 3 seviyeli db10 dalgacıklı UWT yaklaşım katsayısı	90
Şekil 4.45. Geçici olay sınıflandırma algoritması blok şeması	90
Şekil 4.46. Olay tespit çıkış ekranı	91
Şekil 4.47. Gerilim çukuru ve gerilim tepesi olayları uzunluk sınıflandırma blok şeması	93
Şekil 4.48. Gerilim kesintisi olayları uzunluk sınıflandırma blok şeması	93
Şekil 4.49. 3. 5. ve 7. harmonik bindirilmiş 50 Hz temel frekanslı sinyal	94
Şekil 4.50. Morlet harmonik analiz blok şeması	95
Şekil 4.51. 50 Hz için CWT analizi sonucu elde edilen katsayı	95
Şekil 4.52. 50 Hz sinyali ayırtırmak için kullanılan Morlet dalgacığı frekans bant genişliği (fts=6)	98
Şekil 4.53. 50 Hz sinyali ayırtırmak için kullanılan Morlet dalgacığı frekans bant genişliği(fts=11,2)	98
Şekil 4.54. Fts değerine göre frekans bant genişliği değişim eğrisi	99
Şekil 4.55. Gürültüsüz gerilim çukuru olayı için UWT detay-1 katsayısı	103
Şekil 4.56. Gürültülü gerilim çukuru olayı için UWT detay-1 katsayısı	103
Şekil 4.57. Gürültü süzme işlemi akış şeması	104
Şekil 4.58. Gürültü seviyesi belirleme blok şeması	104
Şekil 4.59. Dalgacık analizi ile gürültüsü giderilmiş detay-1 bileşeni	105
Şekil 5.1. Gerçek zamanlı veri toplayan ölçüm sistemi mimarisi	110
Şekil 5.2. Güç kalitesi mobil ölçüm sisteminin genel görünümü	113
Şekil 5.3. Mobil ölçüm sisteminin örnek bağlantı şeması	113

Şekil 5.4. Kangal TM şantiye fiderinde meydana gelmiş gerilim çukuru olayı ve 3 seviyeli UWT detay katsayıları	114
Şekil 5.5. Adapazarı TM trafo-A sekonder tarafında meydana gelmiş gerilim çukuru olayı ve 3 seviyeli UWT detay katsayıları	116
Şekil 5.6. Bares TM trafo primer tarafında meydana gelmiş gerilim çukuru olayı ve 3 seviyeli UWT detay katsayıları	117
Şekil 5.7. Kangal TM’de meydana gelmiş gerilim tepesi olayı ve 3 seviyeli UWT detay katsayıları	120
Şekil 5.8. Aydın TM trafo-3 sekonder tarafında meydana gelmiş gerilim tepesi olayı ve 3 seviyeli UWT detay katsayıları	121
Şekil 5.9. Baştaş TM çimento-1 fiderinde meydana gelmiş gerilim tepesi olayı ve 3 seviyeli UWT detay katsayıları	122
Şekil 5.10. Kangal TM’de meydana gelmiş gerilim kesintisi olayı ve 3 seviyeli UWT detay katsayıları	125
Şekil 5.11. Çan TM trafo-A sekonder tarafında meydana gelmiş gerilim kesintisi olayı ve 3 seviyeli UWT detay katsayıları	127
Şekil 5.12. Kangal TM şantiye fiderinde meydana gelmiş gerilim kesintisi olayı ve 3 seviyeli UWT detay katsayıları	128
Şekil 5.13. Alçuk TM egeçelik fiderinde meydana gelmiş darbeli geçici olay ve 3 seviyeli UWT detay katsayıları (test 1)	131
Şekil 5.14. Alçuk TM egeçelik fiderinde meydana gelmiş darbeli geçici olayı ve 3 seviyeli UWT detay katsayıları (test 2)	132
Şekil 5.15. Alçuk TM egeçelik fiderinde meydana gelmiş darbeli geçici olay ve 3 seviyeli UWT detay katsayıları (test 3)	133
Şekil 5.16. Gerçek zamanlı dalgacık tabanlı ölçüm sistemi genel görünümü . . .	134
Şekil 5.17. Gerçek zamanlı, gürültülü sinyal detay bileşenleri	135
Şekil 5.18. 3 Seviye UWT gürültü süzme blok şeması	136
Şekil 5.19. Gerçek zamanlı, gürültüsü süzölmüş detay bileşenleri	137
Şekil 5.20. Sinyal üretici ile üretilmiş %50’lik örnek gerilim çukuru	137
Şekil 5.21. Gerilim çukuru olay tespit ve sınıflandırma ön panel görünümü	138
Şekil 5.22. Sinyal üretici ile üretilmiş %120’lik örnek gerilim tepesi	139
Şekil 5.23. Gerilim tepesi olay tespit ve sınıflandırma ön panel görünümü	139

Şekil 5.24. Sinyal üretici ile üretilmiş %0'lık örnek gerilim kesintisi	141
Şekil 5.25. Gerilim kesintisi olay tespit ve sınıflandırma ön panel görünümü . . .	141
Şekil 6.1. Fourier dönüşümü	155
Şekil 6.2. STFT kullanılarak bir sinyalin pencerelenmesi	157
Şekil 6.3. Güç kalitesi olaylarının CWT analizleri ve skalogram gösterimleri . . .	159
Şekil 6.4. Harmonikli sinyal CWT analizi ve skalogram gösterimi	160
Şekil 6.5. Saf sinüs ve gerilim çukuru olayının db10 dalgacıklı 3 seviyeli DWT analizi	162
Şekil 6.6. Gerilim kesintisi ve darbeli geçici olayın db10 dalgacıklı 3 seviyeli DWT analizi	162
Şekil 6.7. Harmonikli sinyalin db10 dalgacıklı 3 seviyeli DWT analizi	163

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Güç kalitesi parametrelerinin sınıflandırılması ve limit değerleri . .	13
Çizelge 4.1. CWT ve DWT işlem sürelerini karşılaştırılması	51
Çizelge 4.2. Gerilim çukuru olayının tespitinde farklı dalgacık türlerinin kullanımı	54
Çizelge 4.3. 3 seviyeli db10 dalgacıklı UWT analizi gecikme miktarları	61
Çizelge 4.4. DWT çıkışı frekans aralıkları	68
Çizelge 4.5. 3 seviyeli UWT analizi detay bileşenleri frekans aralıkları	70
Çizelge 4.6. Gerilim çukuru olayının detay-2 sınır değerine göre tepe ve dip değerleri	71
Çizelge 4.7. Gerilim çukuru olayının detay-2 sınır değerine göre başlangıç, bitiş, uzunluk ve gecikme değerleri	72
Çizelge 4.8. Gerilim tepesi olayının detay-2 sınır değerine göre tepe ve dip değerleri	74
Çizelge 4.9. Gerilim tepesi olayının detay-2 sınır değerine göre başlangıç, bitiş, uzunluk ve gecikme değerleri	75
Çizelge 4.10. Gerilim kesintisi olayının detay-2 sınır değerine göre tepe ve dip değerleri	77
Çizelge 4.11. Gerilim kesintisi olayının detay-2 sınır değerine göre başlangıç, bitiş, uzunluk ve gecikme değerleri	77
Çizelge 4.12. Salınımlı geçici olayın detay-2 sınır değerine göre tepe ve dip değerleri	79
Çizelge 4.13. Salınımlı geçici olayın detay-2 sınır değerine göre başlangıç, bitiş, uzunluk ve gecikme değerleri	80
Çizelge 4.14. Gerilim çukuru olayı büyüklük ve sınıflandırma testleri	84
Çizelge 4.15. Gerilim tepesi olayı büyüklük ve sınıflandırma testleri	86
Çizelge 4.16. Gerilim kesintisi olayı büyüklük ve sınıflandırma testleri	88
Çizelge 4.17. Geçici olay büyüklük ve sınıflandırma testleri	91
Çizelge 4.18. Test için kullanılan güç kalitesi olayları	92
Çizelge 4.19. Farklı örnekleme frekanslarında 50-500 Hz aralığında harmonik analizi	96

Çizelge 4.20.Ara harmonik analizi	97
Çizelge 4.21.3200 Hz örnekleme frekansında 50 Hz için fts değerlerine göre bant genişlikleri	99
Çizelge 4.22.25600 Hz örnekleme frekansında harmonik analiz testleri	100
Çizelge 4.23.3200 Hz örnekleme frekansında harmonik analiz testleri	100
Çizelge 4.24.THD sonuçlarının karşılaştırılması	101
Çizelge 4.25.Frekansın değişimine FFT ve CWT yöntemlerinin tepkisi	102
Çizelge 4.26.Farklı büyüklükte gürültü türleri için elde edilen analizler	106
Çizelge 4.27.Rms ve dalgacık yöntemleri için olay başlangıç bitiş ve uzunluk analizleri	107
Çizelge 5.1. Kangal TM şantiye fiderinde meydana gelmiş gerilim çukurunun dalgacık yöntemiyle tespit edilen özellikleri	115
Çizelge 5.2. Adapazarı TM trafo-A sekonder tarafında meydana gelmiş gerilim çukurunun dalgacık yöntemiyle tespit edilen özellikleri	115
Çizelge 5.3. Bares TM trafo primer tarafında meydana geimiş gerilim çukurunun dalgacık yöntemiyle tespit edilen özellikleri	117
Çizelge 5.4. Farklı ölçüm noktalarından elde edilen gerilim çukuru olaylarının WT yöntemiyle analizleri	118
Çizelge 5.5. Gerilim çukuru için WT yöntemiyle elde analizlerin hata değerleri	118
Çizelge 5.6. Gerilim çukuru için ölçüm noktaları listesi	119
Çizelge 5.7. Kangal TM şantiye fiderindeki gerilim tepesi olayının dalgacık yöntemiyle tespit edilen özellikleri	119
Çizelge 5.8. Aydın TM trafo-3 sekonder tarafında meydana gelmiş gerilim tepesinin dalgacık yöntemiyle tespit edilen özellikleri	121
Çizelge 5.9. Baştaş TM çimento-1 fiderindeki gerilim tepesinin dalgacık yöntemiyle tespit edilen özellikleri	123
Çizelge 5.10.Farklı ölçüm noktalarından elde edilen gerilim tepesi olaylarının WT yöntemiyle analizleri	123
Çizelge 5.11.Gerilim tepesi için WT yöntemiyle elde analizlerin hata değerleri .	124
Çizelge 5.12.Gerilim tepesi için ölçüm noktaları listesi	124
Çizelge 5.13.Kangal TM şantiye fiderindeki gerilim kesintisi olayının dalgacık yöntemiyle tespit edilen özellikleri	126

Çizelge 5.14.Çan TM trafo-A sekonder tarafındaki gerilim kesintisi olayının dalgacık yöntemiyle tespit edilen özellikleri	126
Çizelge 5.15.Kangal TM şantiye fiderinde meydana gelmiş gerilim kesintisinin dalgacık yöntemiyle tespit edilen özellikleri	128
Çizelge 5.16.Farklı ölçüm noktalarından elde edilen gerilim kesintisi olaylarının WT yöntemiyle analizleri	129
Çizelge 5.17.Gerilim kesintisi için WT yöntemiyle elde analizlerin hata değerleri	129
Çizelge 5.18.Gerilim kesintisi için ölçüm noktaları listesi	129
Çizelge 5.19.Egeçelik fiderindeki darbeli geçici olayın dalgacık yöntemiyle tespit edilen özellikleri (test-1)	130
Çizelge 5.20.Egeçelik fiderindeki darbeli geçici olayın dalgacık yöntemiyle tespit edilen özellikleri (test-2)	132
Çizelge 5.21.Egeçelik fiderindeki darbeli geçici olayın dalgacık yöntemiyle tespit edilen özellikleri (test-3)	134
Çizelge 5.22.Gerçek zamanlı ölçüm için gerilim çukuru olay tespit ve sınıflandırma testleri	138
Çizelge 5.23.Gerçek zamanlı ölçüm için gerilim tepesi olay tespit ve sınıflandırma testleri	140
Çizelge 5.24.Gerçek zamanlı ölçüm için gerilim kesintisi olay tespit ve sınıflandırma testleri	141
Çizelge 6.1. Harmonikli Sinyal frekans ve genlik değerleri	160
Çizelge 6.2. Olaylı güç kalitesi sinyallerinin enerji dağılımı	163

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

WT	: Dalgacık Dönüşümü (Wavelet Transform)
FT	: Fourier Dönüşümü (Fourier Transform)
DFT	: Ayrık Fourier Dönüşümü (Discrete Fourier Transform)
FFT	: Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform)
CWT	: Sürekli Dalgacık Dönüşümü (Continuous Wavelet Transform)
DWT	: Ayrık Dalgacık Dönüşümü (Discrete Wavelet Transform)
MRA	: Çoklu Çözünürlüklü Analiz (Multi Resolution Analysis)
DWPT	: Ayrık Dalgacık Paket Dönüşümü (Discrete Wavelet Packet Transform)
UWT	: Örnek Seyreltilmemiş Dalgacık Dönüşümü (Undecimated Wavelet Transform)
db	: Daubechies Dalgacı
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
AG	: Alçak Gerilim
OG	: Orta Gerilim
YG	: Yüksek Gerilim
TM	: Trafo Merkezi
AC	: Alternatif Akım (Alternative Current)
DC	: Doğru Akım (Direct Current)
V	: Gerilim (Voltage)
I	: Akım (Current)
EKG	: Elektriksel Kalp Grafisi
KGK	: Kesintisiz Güç Kaynakları
THD	: Toplam Harmonik Bozulma (Total Harmonic Distortion)
rms	: Karelerin Ortalamasının Kökü (Root Mean Square)
pu	: Birim Büyüklük (Per Unit)
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

1. GİRİŞ

Son yıllarda güç elektroniği alanında teknolojinin gelişmesiyle, ark ve pota ocakları, motor sürücüleri, AA/DA dönüştürücüler ve çevirgeçler gibi doğrusal olmayan yüklerin kullanımı artmıştır. Bu yüklerin kullanımındaki artış, iletim ve dağıtım sistemlerinde güç kalitesinin düşmesine ve bundan kaynaklı problemlerin artmasına neden olmaktadır. Her yıl, iletimdeki güç kalitesinin yetersizliğinden kaynaklanan üretim kayıpları ve cihaz ekipman bozulmalarının ülke ekonomilerine verdikleri kayıplar tartışılmaz bir gerçektir. Bu nedenle kullanılan enerjinin kalitesinin, mevcut standartlar çerçevesinde ölçülebilmesi son yıllarda en önemli sorunlardan biri haline gelmiştir. Ülkemizde de mevcut standartları referans alan çalışmalar yapılmakta ve bu alanda yeni gelişmeler takip edilmektedir [1], [2].

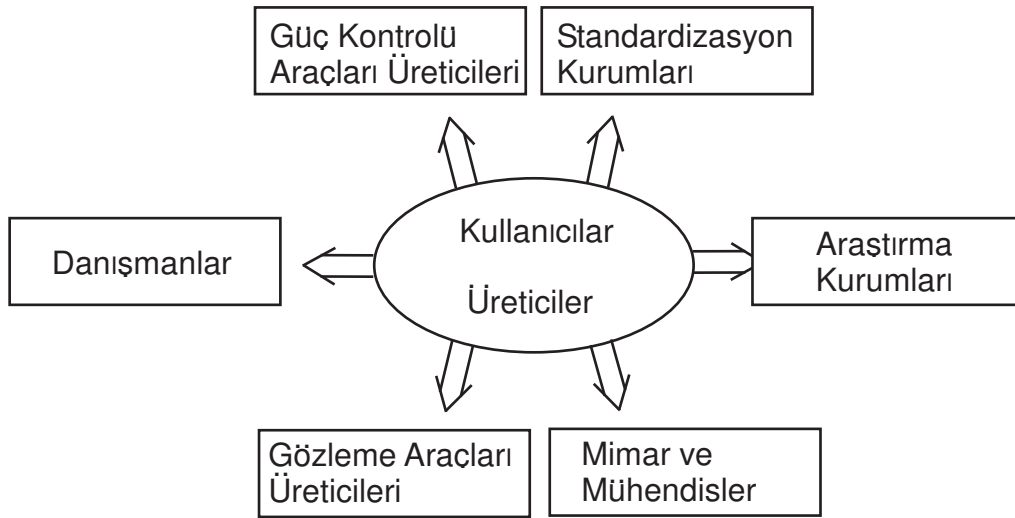
1.1 Tezin Amacı

Üreticiden tüketiciye kadar kaliteli bir gücün ulaştırılabilmesi için gücün bu yolculuğunun her aşamasında bozulmaya uğramadan ilerleyebilmesi gerekmektedir. Üretilen gücü tüketiciye ulaştıran elektrik şebekesi kısaca; jeneratörler, iletim hatları, dağıtım hatları, yükler ve bunlar arasındaki transformatörlerden oluşmaktadır. Üretilen gücün iletim ve dağıtım hatlarıyla dış etkenlere maruz kalmadan kaliteli şekilde tüketiciye ulaşması günümüz koşullarında çok önemlidir. Üreticinin sağladığı kaliteli elektrik enerjisinin yanında, iletim ve dağıtım sistemine bağlı yüklerin de bu kaliteli enerjiyi elektriksel olarak kirletmemeleri gerekmektedir. Aksi halde yüklerden birinin elektrik şebekesinde oluşturacağı kirlilik o şebekeden beslenen diğer yüklerin de bu problemten etkilenmelerine neden olabilecektir. Bütün bu durumlar göz önünde tutulduğunda şebekede sürekli kaliteli bir gücün olması bu sisteme bağlı her yük için hayati önem taşımaktadır. Özellikle güç kalitesi, üretim yapan demir çelik fabrikaları için çok önemli bir konudur. Bu konuyla ilgili ülkemizde yaptığımız çalışmalar bunu ortaya koymaktadır [3].

90'lı yıllara kadar güç kalitesi problemleri ne bu gücü kullanan sanayiciler tarafından ne de araştırma kurumları tarafından fark edilememişti. Çünkü kullanılan cihazlar daha basitti ve güç kalitesindeki birçok bozulmadan etkilenmemekteydi. Teknolojideki gelişmeler kullanılan cihaz ve ekipmanların şebeke gerilimine (V) ve dolayısıyla güç kalitesi problemlerine duyarlılıklarının artmasına neden olmuştur. Bu hassas cihazların şebekedeki elektriksel kirlilikten etkilenmeleri sonucunda bozulmaları çok

büyük maddi kayıplara yol açmıştır. Kimi zaman sanayi kuruluşlarının üretimlerinin durmasına ve dolayısıyla üretim kayıplarına yol açan bu problemlerin tespit ve çözümüne yönelik çalışmalar sanayi ve araştırma kurumlarınca önemli bir konu olmuştur [4].

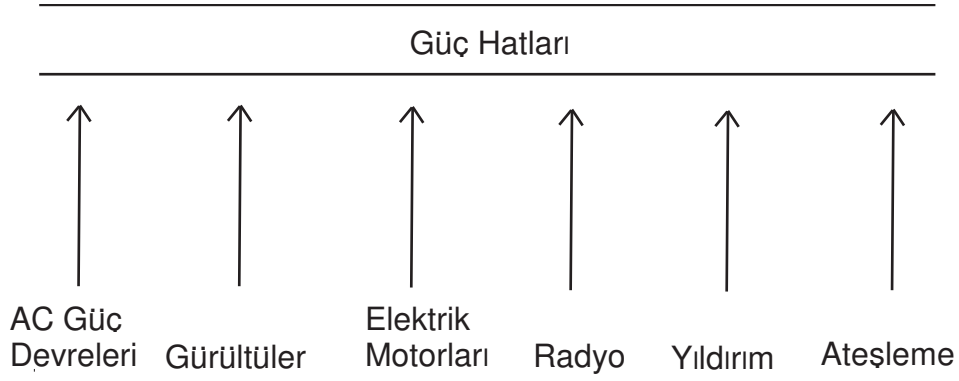
Güç kalitesi ya da diğer bir ifadeyle enerji kalitesi, şebekenin tanımlanan herhangi bir noktasındaki gerilimin genlik ve frekans olarak anma değerini koruması olarak tanımlanabilir. Aynı zamanda güç kalitesinden bahsederken şebekedeki gerilim ve akım (I) dalgasının uluslararası standartlarda belirtilen sınırlar dahilinde ideal sinüs dalgasına yakın, kesintisiz ve sürekli olmasıdır. Mevcut elektrik şebekesinden güç talep eden tüm yüklerin talep etmiş oldukları akımların şebeke frekansında, saf sinüs dalgasında ilgili harmonik standartlarında belirtilen limitler ölçüsüne yakın olmalıdır. Güç kalitesini etkileyen ve bundan etkilenen taraflar Şekil 1.1'de gösterilmektedir. Burada yer alan her bir taraf mevcut güç kalitesini kullanan ve beraberinde bunları etkileyen ayrıca sonuçlarından etkilenen taraflardır [5].



Şekil 1.1. Güç kalitesini etkileyen ve bundan etkilenen taraflar

Güç üretim sistemleri ancak üretilen enerjinin gerilimine etkide bulunabileceği düşünüldüğünde güç kalitesi kavramı üzerinde yapılan belirlemelerin büyük çoğunlukla sistem gerilimi hakkında olduğu görülür. Her ne kadar kısa devre olayında olduğu gibi büyük akım değişimleri gerilimde de önemli farklılaşmalara neden olsa da temel ölçüt gerilim olmalıdır. Elektrik şebekesindeki güç kalitesini etkileyen birçok etken vardır. Bu etkenlerin bir kısmı Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Buradan da anlaşıldığı üzere güç hatları üzerinde çok çeşitli yüklerin ve dış etkenlerin etkileri olduğu ve

her bir etkenin Şebeke üzerindeki gerilimi ve akımı etkilediği böylece gc kalitesinde bozulmalara yol açtığı anlaşılmaktadır [6].



Şekil 1.2. Gc kalitesini etkileyen bazı etkenler

Elektriğin üretildiği noktada kaliteli olarak Őebekeye iletilmesi en temel kaliteli gc yaklaŐımlarından birini ifade eder. Ülkemizde son zamanlarda temiz enerji kaynakları olarak rüzgar santrallerinin sayısı artmakta ve bu santrallerden yükleri beslemek için kurulu yüke paralel olarak elektrik enerjisi üretilmektedir. Yapılan çalışmalarda bu santrallerde üretilen elektriğin kalitesi lmŐ ve bu sistemlerin Őebekeye bağlantıları ve enerji kalitesine etkileri hakkında araŐtırmalarda bulunulmuştur [7].

Bu tez çalışmasında gc kalitesi parametreleri olarak tanımlanan, üzerinde çalışmalar yapılan parametreler ise; gerilim çukuru, gerilim tepesi, gerilim kesintisi, geçici rejim olayları ve gerilim ve akım harmonikleri olarak sıralanabilir. Bu parametrelerden gerilim ve akım harmonikleri dışında kalanlar gerilim üzerinde görülen çok çeşitli nedenlerden dolayı oluşabilecek ani gc kalitesi olayı değişimleri olarak adlandırılabilirler. Bu ani değişimler periyodik olmayan karakteristikteki gc kalitesi parametreleridir. Gerilim ve akım harmonikleri ise Şebekedeki gerilim akım dalga Őeklini deđiŐtiren ve periyodik olarak değişen gc kalitesi parametreleridir.

Gc kalitesi parametrelerinden harmonik analizinde genellikle Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılmıştır. Ancak bu yöntemde sadece frekans temelinde çalıŐmak mümkün olduğundan ve sabit bir pencere genişliği kullanma sınırlılıklarından dolayı giriş sinyalini sürekli kontrol edebilmek ve meydana gelebilecek gc kalitesi bozulmalarının ne zaman meydana geldiklerini belirleyebilmek mümkün olamamaktadır. Uluslararası standartlarda (IEC 61000-4-7 (TS EN 61000-4-7), IEC 61000-4-30, IEC 61000-4-15 (TS EN 61000-4-15), IEEE 519-1992 ve IEEE 1159-1995) elektrik iletim ve dağıtım hatlarındaki gc kalitesi parametrelerinin tespitinde ve sı-

nıflandırılmasında harmonik analizleri için FFT yöntemi önerilmişken, kısa süreli olay analizlerinde ise sinyalin karelerin ortalamasının kökü (rms) değerlerine göre analizler önerilmiştir [8, 9, 10, 11, 12].

Bu tezin esas amacı, elektrik iletim ve dağıtım şebekeleri için güç sistem analizcilerine hızlı ve doğru yol gösterebilecek yeni bir bakış açısı kazandırmaktır. Böyle bir sistem geliştirirken kritik görev, güç kalitesi olaylarının altında yatan özellikleri incelemek ve bunları belirlemek için kullanılacak uygun sinyal analizi tekniğinin seçilmesi ve sonrasında tanıma ve sınıflandırmanın gerçekleştirilmesidir. Böyle bir sistemi geliştirmek için gereken adımlar şöyle sıralanabilir.

- Benzetim yöntemiyle bilgisayar ortamında hata senaryoları oluşturarak dalga şekilleri elde edilmesi.
- Oluşturulan sinyallerin altında yatan geçici olayları ortaya koyabilecek güvenilir ve kararlı bir yöntemin elde edilmesi ve uygulanması
- Güç kalitesi olaylarının hızlı bir biçimde sınıflandırılması, analiz yapacak kişileri, ilgili olayın ne sebeple olduğunun anlatılması için sınıflandırma yönteminin tespit edilip uygulanması.

Bu önemli görevler hakkında bazı detaylar bu bölümde anlatılacak olsa da, konuların ayrıntılı incelemesi tezin daha sonraki bölümlerine bırakılmıştır.

Güç kalitesi olaylarının dalgacık çözümlene tekniği ile analizini gerçekleştirmek için, karşılaşılabilecek ve uluslararası standartlarda tanımları verilmiş parametrelerin bilgisayar ortamında benzetimlerinin yapılması gerekmektedir. Bu tezde, analizi yapılan güç kalitesi parametreleri bilgisayar ortamında Labview programı ile oluşturulmuş ve yine analiz ve sınıflandırmalarda bu program kullanılmıştır. Gerekli görülen analiz safhalarında Matlab programından da yararlanılmıştır. Gerçek zamanlı veri okuma ve analiz çalışmalarında da yine Labview yazılımı ile geliştirilen programlar kullanılmıştır.

Her bir güç kalitesi parametresi için dalga şekli özellikleri, sinyallerin birbirlerinden ayırt edilmelerini sağlayan karakteristik değerleridir. Sinyalleri özelliklerine göre belirlemek için mümkün olduğu kadar az sayıda özellik kullanımı esastır. Özellik çıkartma ya da belirleme algoritması, analiz edilen sinyallerin doğasına bağlı olarak

değişir. Güç sistemlerindeki geçici olaylar kısa süreli, sabit olmayan ve normalde periyodik olmayan dalga şekilleridir. Geleneksel sinyal analiz yöntemleri, Fourier analizi gibi, farklı sinyallerin analizinde sayısız uygulamalara sahip olsa da, geçici olaylarda etkinlikleri kısıtlıdır. Bunun sebebi geçici olayların periyodik olmamalarıdır. Çünkü Fourier yöntemleri temel olarak periyodik dalga şekillerini ele alır. Güç sistem geçici olaylarının analizi, çoğunlukla hem zaman hem de frekans analizi içermektedir ve daha gelişmiş sinyal işleme tekniklerinin uygulanmasını gerektirmektedir. Çünkü doğada olmadığı gibi güç sistemlerinde de, sadece tek frekanslı sinyaller yoktur, frekansları zamanla değişebilen geçici durumlar vardır. Genellikle frekans, bir sinyalin sıfırdan geçme periyodunun tüm zamanlar için aynı olması gerçeğine göre tanımlanır ve frekans periyotla ilişkilendirilir [13]. Ancak sinyalleri tanımlarken bir de "anlık frekans" vardır ki bu değer zamanın veya sinyal sürekliliğinin bir fonksiyonu olarak ifade edilir. Buna, insan sesinin 20Hz ile yaklaşık 32kHz arasında anlık frekans üretmesi örnek gösterilebilir [14]. İşte dalgacık, diğer adıyla dalgacık analizi böyle sinyalleri analiz etmek için geliştirilmiş oldukça etkili bir yöntemdir.

Bu tezde ileri sinyal işleme tekniği olarak bu nedenle dalgacık analizi kullanılmıştır. Bu yöntem sabit olmayan sinyallerin incelenmesi için faydalı yöntemler sunmaktadır ve hem zaman hem de frekans boyutu bilgilerini korumaktadır.

Dalgacık analizinin araştırmaları 1930'lara kadar dayanmaktadır. Birbirinden farklı araştırmalar bir bütün oluşturmaktan uzak olmuştur. Dalgacıklara aralanan kapı ilk olarak 1807 yılında Joseph Fourier tarafından yapılan frekans analizi ile başlamıştır. Fourier'in yaptığı bu çalışmalar çok önemli sonuçlara ulaşmıştır. Zaman içinde sinyal analizlerinin frekans temelinden gürültüden daha az etkilenen ölçek temeline kaymasıyla artık dalgacık analizi yönteminin literatürde yer edinmesi mümkün olmuştur. Dalgacıklar adı altında ilk yayın 1909 yılında Alfred Haar tarafından yapılan tez çalışması olmuştur. Dalgacık kavramı ise kuramsal şekline ilk olarak Jean Morlet ve Marseille Teorik Fizik Merkezi'nde Alex Grossmann ile ekibi tarafından ulaşmıştır. Bu analiz türünün yöntemleri genel olarak Y. Meyer ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir [15]. 1988 yılında ise dalgacık analizi için ana algoritma Stephane Mallat'ın araştırmalarına kadar uzanmaktadır. Daha sonra, dalgacıklar üzerinde yapılan araştırmalar uluslararası alanda yapılmaya başlanmıştır. Bu araştırmalar özellikle Amerika Birleşik Devletlerinde (ABD) aktif olarak yapılmakta ve yeni yöntemlerin bulunmasına olanak sağlanmaktadır. Bu araştırmaların öncüleri ise Ingrid Daubechies,

Ronald Coifman ve Victor Wickerhauser 'dir [16].

Bu tez çalışmasında mevcut ulusal ve uluslararası standartlara uygun olarak güç kalitesi parametrelerini dalgacık çözümlene tekniği ile ölçen ve analiz eden ölçme ve değerlendirme sistemi anlatılmaktadır. Bu çalışma TÜBİTAK Kamu Kurumları Araştırma Projeleri Destekleme Programı (Program Kodu:1007) kapsamındaki 105G129 no'lu "Türkiye Elektrik Sistemi'nde Güç Kalitesine Etki Eden Değişkenleri ve Güç Akışını İzleme, Problemlerin Tespiti, Değerlendirilmesi ve Karşı Önlemlerin Hayata Geçirilmesi Projesi" kapsamında desteklenmektedir.

1.2 Dalgacıklarla İlgili Yapılmış Çalışmalar

Güç kalitesinin son yıllarda kazandığı öneme paralel olarak, güç kalitesi parametrelerinin tespitine yönelik yapılan uluslararası çalışmaların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Ayrıca yakın zamanda dalgacık dönüşümünün sinyal işlemedeki rolünün artmasıyla dalgacık dönüşümü eksenli çalışmaların sayısı artmıştır.

Sinyal analizlerinde kullanılacak dalgacık türünün seçimi oldukça önemlidir. Bu alanda yapılmış bir çalışmada, sinyal analizlerinde kullanılan dalgacık türlerinin frekans karakteristiklerinden bahsedilmiştir. Hangi dalgacık türünün seçileceğine dair kullanılan faktörlerden bahsedilmiş ve dalgacık katsayılarının enerji dağılım kaçığında ve çıkış sinyal ayrıştırmasında önemli bir etken olduğu üzerinde durulmuştur. Yapılan sinyal analizlerinde en önemli noktalardan biri olan önemli frekans bileşenlerinin ayrıştırma filtrelerinin kesişim bandında olmaması sonucu üzerinde durulmuştur [17].

Güç kalitesi olay analizlerinde çoklu çözünürlüklü dalgacık analizi kullanılmış ve sınıflandırma yapılmıştır. Gerilim çukuru, gerilim tepesi, harmonikler ve geçici rejim olayları enerji ve standart dağılım özellikleri ile sınıflandırılmıştır [18]. Bir başka çalışmada çoklu çözünürlüklü analiz yapılırken gürültü problemi de dikkate alınmıştır. Analiz sonucu elde edilen katsayıların kareleri alınarak her bir problem çeşidi için özellik çıkarımı yapılmıştır [19]. Çoklu çözünürlüklü dalgacık analizi yöntemi geliştirilerek S-dönüşümüne çevrilmiştir. Bu yöntemle birlikte Parseval enerji teoremi kullanılarak otomatik bir güç kalitesi olayları görüntüleme sistemi geliştirilmiştir [20].

Tek boyutlu yapılan analizlerin yanında iki boyutlu güç kalitesi analizleri de yapıl-

miştir. Gerçek zamanlı güç kalitesi olay verileri iki boyutlu ayrık zamanlı dalgacık dönüşümü analizine tabi tutulmuş ve tek boyutlu dalgacık analizi ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Aynı zamanda bu olaylar iki boyutlu ayrık zamanlı dalgacık dönüşümü analizi ile veri sıkıştırmasına tabi tutulmuştur [21].

Sürekli dalgacık dönüşümü (CWT) kullanılarak yapılan çalışmalarda güç kalitesi probleminin tespiti ve uzunluk analizleri yapılmıştır. Aynı zamanda analiz edilen sinyalin genlik değeri ayrık dalgacık dönüşümü (DWT) kullanılarak tahmin edilmiştir. Daha az sayıda özellik karşılaştırması yapılarak gürültülü ortamda olay analizi yapılmıştır [22]. Bir başka çalışmada ise güç kalitesi parametrelerinin tespiti ve sınıflandırılması için bir algoritma geliştirilmiştir. Güç kalitesi olayları önce dalgacık katsayılarına ayrılmış, limit değerlerle karşılaştırılarak sinyal dürtülere dönüştürülmüş ve her bir güç kalitesi problem sınıfı için farklı dalgacıklar kullanılarak analizler yapılmıştır [23].

Yaygın olarak güç kalitesi analizlerinde kullanılan hızlı Fourier dönüşümü (FFT) tekniğine ile birlikte dalgacık dönüşümü (WT) tekniği kullanılmış ve problemin karakterize edilmesinde kullanılan özellikler elde edilmiştir. Daha önce kullanılan sinir ağları sınıflandırma yöntemleri geliştirilerek elde edilen özelliklerde bulanık uzman sistemleriyle olayın sınıflandırılmasının sağlandığından bahsedilmiştir. Yayımlanan bu makalede örnek olarak gerilim çukuru olayı üzerinde yoğun analizler yapılmıştır [24]. Benzer şekilde bir başka makalede harmonik analizleri için ayrık dalgacık paket dönüşümü kullanılmıştır. Geliştirilen algoritmayla olay sinyali frekans paketlerine dönüştürülerek tek harmonikler elde edilmiştir. Kullanılan filtrelerin ideal olmamasından kaynaklanan spektral sızmaların giderilmesi için çalışılmıştır. Bu makalede analizde kullanılacak ana dalgacığın, örnekleme frekansının ve filtre bankasının seçimine değinilmiş ve ayrık Fourier dönüşümü (DFT) ile karşılaştırmalara yer verilmiştir [25]. Dalgacık paketlerini kullanarak yapılan bir başka çalışmada ise gerçek zamanlı ölçümlerle güç kalitesi parametrelerinden harmoniklerin analizi çalışmalarına yer verilmiştir. FFT analizine alternatif bir yöntem olarak dalgacıkların kullanımından bahsedilmiş ve akım ve gerilim harmoniklerinin tespitinde gerçek zamanlı ölçümler için karşılaşılan hesaplama karmaşıklığından kurtulma çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda Butterworth IIR filtreleri kullanılarak dalgacıklarda kullanılan FIR filtrelerinden daha az işlem yapıldığından bahsedilmiştir. Ancak yapılan analizler dalgacık paketlerinin sadece tek harmoniklerinin tespitinde kullanılabileceğinden

bahsedilmiştir. Bu durum ise diğer çift harmoniklerin bu yöntemlerle analizinin yapılamadığını göstermiştir [26]. Yine bir başka makalede cep telefonunun Elektriksel Kalp Grafisi (EKG) sinyalini kaydederken oluşturduğu gürültünün dalgacık dönüşümü analizi ile süzülmesi incelenmiştir. Çeşitli dalgacık türleri ile yapılan analizlerle gürültü süzme işleminde en az hata yapan dalgacık türü belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları, FFT yöntemi ile karşılaştırılmış ve bu iki yöntemin üstünlük ve eksikliklerinden bahsedilmiştir [27].

Elektrik şebekesinde bulunan temel bileşen frekansından farklı istenmeyen harmonik sinyalleri önemli araştırma konularından birini oluşturmaktadır. Özellikle harmoniklerin analizinde dalgacık paketlerinden farklı olarak sürekli zamanlı Morlet dönüşümü kullanılmıştır. Yayımlanan bir makalede, gerilim çukuru, gerilim tepesi, anlık gerilim kesintisi, salınımlı geçici rejim olayları ve harmonikler Morlet dönüşümü ile analizlere tabi tutulmuştur. Harmonik analizinde kullanılmış olan veriler ark ocaklarından elde edilmiş saha verileri kullanılmıştır [28]. Yayımlanan bir başka makalede geçici kısa süreli sinüzoidallerin genliklerinin tespitinde Morlet dalgacıklarının kullanılması çalışmasından bahsedilmiştir. Geçici olay sinyallerinin genliklerinin hesabında sürekli dalgacık dönüşümü sonucunda elde edilen genlik değerleri oranının ölçek değerlerinin ters oranının karekökü ile çarpılarak daha doğru genlik değerleri elde edilmeye çalışılmıştır. Yapılan hesaplamaların doğrulukları için yeterince test sonuçlarına yer verilmemiş ve Morlet analizinde seçilecek bant genişliği hakkında yeterli bilgidен bahsedilmemiştir [29]. Harmonik tespitinin örnek deneme verileri ile elde edilen ortalama mutlak dağılım değerlerinin girdi sinyallerine uygulanmasıyla elde edildiği çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada analizi yapılan veriler diyot köprü doğrultucu ve 6 darbeli çevirgeç ile oluşturulmuştur [30]. Ana dalgacık fonksiyonunun değişken bant genişlikleri kullanarak dalgacık dönüşümü sonrası elde edilen frekans spektumlarının daha doğru elde edildiğinden bahseden çalışmalar yapılmıştır. Yayımlanan bu makalede Morlet dalgacık türü ile yapılan analizlerde dalgacığın bant genişliği sabitken değişken hale getirilerek yüksek frekanslarda daha iyi frekans çözünürlüğü elde edilmiştir. Örnek harmonikli sinyaller üretilerek değişken bant genişliği ile bu harmonik frekanslardaki sinyaller ana sinyalden ayrıştırılmaya çalışılmıştır [31].

Bu tez çalışması daha önce yapılan çalışmalara yeni bir bakış açısı getirerek güç kalitesi olay tespit ve süresi hakkında bilgilere hem bilgisayar ortamında benzetim

çalışmalarıyla hem de gerçek zamanlı analizlerle ulaşılmıştır. Üzerinde gürültü bulunan sinyallerin olay olduğu anda sınıflandırılması çalışmalarına yer verilmiştir. Gürültünün bu tespitlere etkisi hakkında testler yapılmıştır. Anlık güç kalitesi olaylarının yanında harmonik analizlerine yer verilmiş Morlet dalgacığı analizi ile yeni bir harmonik hesaplama yöntemi oluşturulmuştur. Gerçek veriler ve benzetim verilerinin analizinin yanında tasarlanan sistem gerçek zamanlı ölçüm ve analiz testlerine uygun hale getirilmiş ve bu testler diğer çalışmalardan farklı olarak Labview yazılımı tabanında gerçekleştirilmiştir.

1.3 Tezin Planı

Bu tez çalışmasında elektrik iletim ve dağıtım sisteminde meydana gelen güç kalitesi problemlerinin dalgacık çözümlene tekniği ile benzetim ve gerçek zamanlı veriler kullanılarak tespiti ve sınıflandırılması anlatılmaktadır. Ayrıca analiz ve sınıflandırma için oluşturulmuş yazılımın donanım alt yapısı oluşturularak gerçek zamanlı ölçüm ve analiz sistemi haline dönüştürülmesine yer verilmektedir. Tez altı ana bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölüm tezin amacı hakkında genel olarak bilgiler içermektedir. Bu bölümde ayrıca güç kalitesinin önemi ve güç kalitesi kavramları ile dalgacık kavramları ile ilgili tarihsel ve temel bilgiler anlatılmıştır.

İkinci bölümde ise güç kalitesi kavramının tanımı yapılmış, bu tezde kullanılan güç kalitesi parametreleri hakkında teorik bilgiler verilmiştir. Kullanılan her bir güç kalitesi parametresi; gerilim çukuru, gerilim tepesi, gerilim kesintisi, geçici rejim olayları ve gerilim ve akım harmonikleri gibi parametreler ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Ayrıca ikinci bölümde bu güç kalitesi parametrelerinin standartlarda tanımlanan sınır değerleri ve tespit ve sınıflandırma tanımları anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, dalgacık dönüşümü hakkında teorik bilgi verilmiştir. Dalgacık dönüşümünün tanımı yapılmış türleri hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir. Her bir dalgacık dönüşümü türünün özellikleri anlatılmış kullanım alanları hakkında bilgiler verilmiştir. Filtreler ve dalgacıklar arasındaki ilişkilerden bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde, geliştirilen Labview tabanlı benzetim yazılımının dalgacık analizi testlerinin sonuçlarına yer verilmiştir. Bu bölümde benzetimle oluşturulan test

verilerinin analizi yapılırken aynı zamanda daha önce Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) transformatör merkezlerinden mobil ölçüm cihazları bağlanarak alınmış olan gerçek veriler de analize tabi tutulmuştur. Dalgacık analizi için kullanılan filtrelerin grup gecikme değerleri hesaplanmış ve olay analizlerinde kullanılmıştır. Ayrıca harmonikler, FFT yöntemine alternatif oluşturacak Morlet dalgacık dönüşümleri ile analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir.

Beşinci bölümde ise geliştirilen Labview tabanlı dalgacık yöntemini kullanan analiz ve sınıflandırma yazılımı ile gerçek zamanlı ölçümler ve analiz sonuçları anlatılmıştır. Analizi yapılan veriler ilk bölümde TEİAŞ transformatör merkezlerinden elde edilmiş ölçüm verilerinden oluşmuşken, ikinci bölümde gerçek zamanlı olarak donanım ve yazılım ekipmanlarıyla elde edilen verilerden oluşturulmuştur. Bu bölümde ayrıca gerçek zamanlı ölçümler için oluşturulan ölçüm sistemi donanımından bahsedilmiştir. Her bir donanımın özellikleri hakkında ayrıntılı bilgiler verilerek elde edilen ölçüm sonuçları hakkında karşılaştırma ve değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Altıncı bölümde ise elde edilen tüm sonuçlar değerlendirilmiş ve diğer analiz yöntemleriyle karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu kullanılan yazılım ve donanımın geliştirilmesi ve daha ileri çalışmalar için önerilerden bahsedilmiş, dalgacık analizi yönteminin ileriki safhalarda gelişimi ile ilgili değerlendirmelerde bulunulmuştur.

2. GÜÇ KALİTESİ

Elektrik iletim ya da dağıtım sistemine bağlı doğrusal olmayan yüklerden kaynaklanan güç kalitesi problemleri, temel olarak gerilim dalga formundaki idealde beklenen saf sinüs formundan uzaklaşıp genliğin anlık olarak düşüş ya da yükseliş göstermesiyle meydana gelir. Ayrıca sistemden beslenen yüklerin temel bileşen frekansı olan 50 Hz dışında harmonik üretmeleri ya da sistemde zaten var olan bu harmoniklerin tespit edilmesi de anlık değişebilen gerilim üzerindeki güç kalitesi problemleri gibi oldukça önemlidir [32].

Tezin bu bölümünde öncelikle ölçülen ve analiz edilen güç kalitesi parametreleri hakkında bilgiler verilecek ve ulusal ve uluslararası standartlarda verilen tanım ve sınırlamalardan bahsedilecektir.

2.1 Güç Kalitesi Standart ve Yönetmelikleri

Ulusal ve uluslararası alanda güç kalitesi konusunda ölçüm yöntemlerini ve sınır değerlerini belirleyen standart ve yönetmelikler oluşturulmuştur. Bunlar:

1. IEC 61000-4-30 Test ve Ölçüm Teknikleri. Güç Kalitesi Ölçüm Yöntemleri [10]
2. IEEE Std 1159-1995 Elektrik Güç Kalitesi İzleme İçin Pratik Tavsiye [12]
3. IEEE Std 519-1992 Elektrik Güç Sistemlerinde Önerilen Uygulama ve Gereksinimler [11]
4. TS EN 61000-4-7 Deneyler ve Ölçme Teknikleri - Güç Kaynağı Sistemlerinde ve Bunlara Bağlı Cihazlardaki Harmonik ve Ara Harmoniklerin Ölçmeleri ve Ölçme Cihazı için Genel Kılavuz [8]
5. TS EN 61000-4-15 Kırpışma Ölçer - Fonksiyon ve Tasarım Özellikleri [9]
6. Türkiye Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliği [33]
7. Türkiye Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği [34]

Bu standart ve yönetmeliklerden IEEE 1159-1995 uluslararası standardında güç kalitesi parametrelerinin sınıflandırılması ve limit değerleri yer almaktadır. Güç kalitesi parametreleri ve limit değerleri Çizelge 2.1'de gösterilmektedir [12].

Her bir güç kalitesi parametresi için Çizelge 2.1'de genlik değeri ve süresiyle ilgili bilgilere yer verilmiştir. Yine harmonikler, ara harmonikler ve geçici olaylar ile ilgili frekans bileşenleri de belirtilmiştir. Bu bilgiler ışığında güç kalitesi parametrelerinin sınıflandırılması gerektiği uluslararası düzeyde belirlenmiştir. Bu çizelgede yer alan *ns* nano saniyeyi, *μs* mikro saniyeyi, *ms* mili saniyeyi, *kHz* kilo hertzi, *MHz* mega hertzi ve *pu* birim büyüklüğü ifade etmektedir.

Çizelge 2.1. Güç kalitesi parametrelerinin sınıflandırılması ve limit değerleri

Kategoriler	Spektral İçerik	Süre	Gerilim Genliği
1. Geçici olaylar			
1.1 Darbeli			
- Nanosaniye	5 ns yükseliş	<50 ns	
- Mikrosaniye	1 μs yükseliş	50 ns-1 ms	
- Milisaniye	0.1 ms yükseliş	>1 ms	
1.2 Titreşimli			
- Alçak frekans	<5 kHz	0.3-50 ms	0-4 pu
- Orta frekans	5-500 kHz yükseliş	20 μs	0-8 pu
- Yüksek frekans	0.5-5 MHz yükseliş	5 μs	0-4 pu
2. Kısa süreli değişimler			
2.1 Ani			
- Çukur		0.5-30 çevrim	0.1-0.9 pu
- Tepe		0.5-30 çevrim	1.1-1.8 pu
2.2 Anlık			
- Kesinti		0.5-3 s	<0.1 pu
- Çukur		30 çevrim-3 s	0.1-0.9 pu
- Tepe		30 çevrim-3 s	1.1-1.4 pu
2.3 Geçici			
- Kesinti		3 s-1 dakika	<0.1 pu
- Çukur		3 s-1 dakika	0.1-0.9 pu
- Tepe		3 s-1 dakika	1.1-1.2 pu
3. Uzun süreli değişimler			
3.1 Kesinti		>1 dakika	0.0 pu
3.2 Gerilim Düşmesi		>1 dakika	0.8-0.9 pu
3.3 Gerilim Yükselmesi		>1 dakika	1.1-1.2 pu
4. Dalga şekli bozuklukları			
4.1 DC ofset		Sürekli hal	%0 – 0.1
4.2 Harmonikler	0-100. harmonik	Sürekli hal	%0 – 20
4.3 Ara harmonikler	0-6 kHz	Sürekli hal	%0 – 2
4.4 Çentik		Sürekli hal	
4.5 Gürültü	Geniş Bant	Sürekli hal	%0 – 1

2.2 Ölçülen ve Analiz Edilen Güç Kalitesi Parametreleri

Elektrik iletim ve dağıtım sistemlerinde meydana gelen güç kalitesi problemlerinin çözülebilmesi için öncelikle bu problemlerin tespit edilmesi gerekir. Bu tespit işlemi için problemlerin ölçülebilmesi ve standartlara uygun olarak sınıflandırılması esastır [35]. Bu tezde kullanılan güç kalitesi problemleri 5 başlık altında incelenebilir. Bunlar;

1. Gerilim Çukuru
2. Gerilim Tepesi
3. Gerilim Kesintisi
4. Geçici Rejim Olayları
5. Gerilim ve Akım Harmonikleri

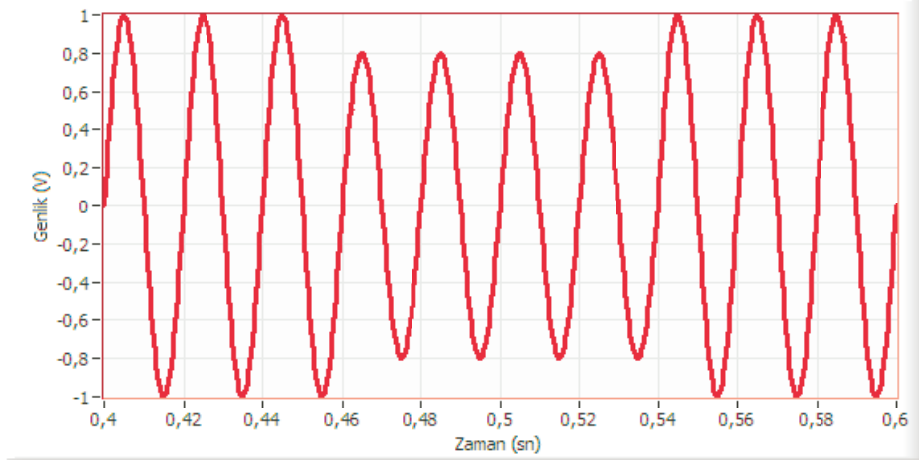
olarak ifade edilebilir.

2.2.1 Gerilim Çukuru

Uluslararası standartlarda tanımlanmış olan gerilim çukuru, bir elektrik güç sisteminde meydana gelen anlık düşüş olup, birkaç çevrim ile birkaç saniye arasında kısa bir süre sonra gerilimin düzelmesiyle sonuçlanır. Gerilim çukuru her yarım çevrimde bir çevrim üzerinden karelerin ortalamasının kökü, "rms (1/2)", değeri hesaplanarak karakterize edilir ve her bir periyot bir öncekini yarım çevrim aşar [10].

Gerilim Çukurunun Tespiti

Gerilim çukur eşiği ya verilen giriş geriliminin (U_{din}) ya da kayan gerilim referansının (U_{sr}) yüzdelik kısmı olarak ifade edilir. U_{sr} tanımlanan bir zaman aralığındaki ortalama gerilim büyüklüğüdür ve bir çukur veya tepe boyunca gerilimde meydana gelen değişimleri tanımlamak için kullanılır [10]. Şekil 2.1'de tek fazlı bir sistem için gerilim çukuru dalga şekli gösterilmektedir. Buradan da görülebildiği gibi gerilim çukuru olayı başladığı anda sinyal olması gereken değerlerin altında salınmaya başlar. Bu gerilim değerinin olması gereken değerden düşük olması demektir.

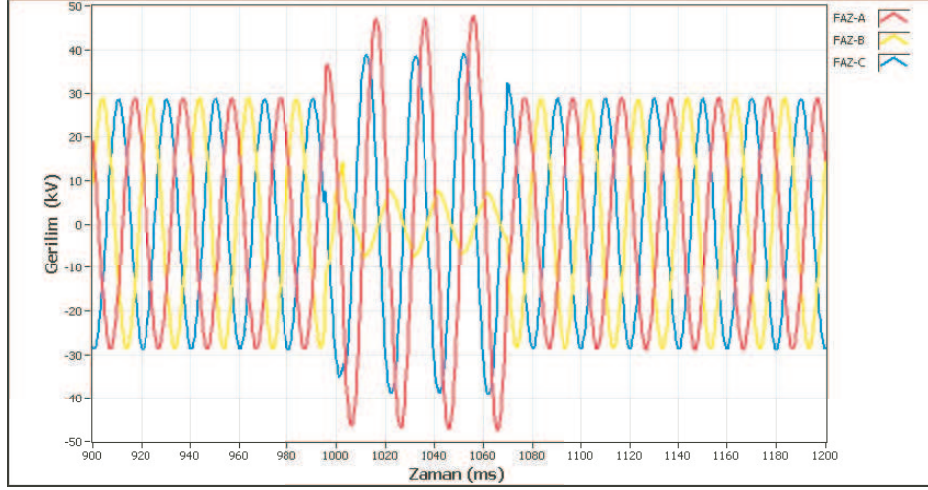


Şekil 2.1. Tek fazlı sistemde örnek bir gerilim çukuru olayı

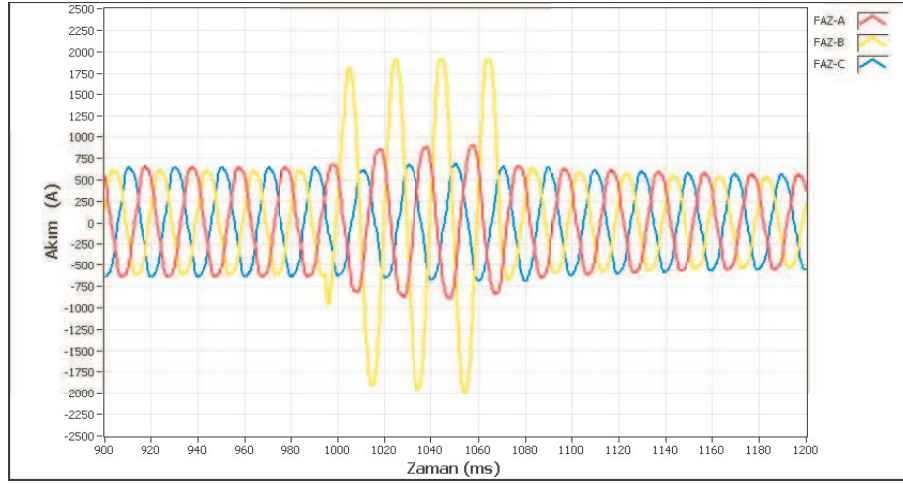
IEEE 61000-4-30 standardında tek faz ve üç fazlı sistemler için gerilim çukuru farklı tespit edilmektedir. Tek fazlı sistemlerde gerilim çukuru $U_{rms}(1/2)$ değerinin gerilim çukur eşiğinin altına düşmesiyle başlar ve $U_{rms}(1/2)$ değerinin gerilim çukur eşik değeri ve histerezis geriliminin toplamına eşit veya bu değerden büyük olması halinde biter. Çok fazlı sistemlerde gerilim çukuru bir veya birden fazla kanalın $U_{rms}(1/2)$ değerinin gerilim çukur eşiğinin altına düşmesiyle başlar ve ölçülen her kanalın $U_{rms}(1/2)$ değerinin gerilim çukur eşik değeri ve histerezis geriliminin toplamına eşit veya bu değerden büyük olması halinde biter. Histerezis değeri başlangıç ve bitiş eşik değerleri arasındaki farkı ifade etmektedir. Buradaki amaç eşik değeri civarında salınan olayları fazladan olay olarak değerlendirmeyi engellemektir [10].

Gerilim çukur eşiği ve histerezis gerilimi kullanıcı tarafından seçilir. Şekil 2.2'de üç fazlı bir sistemde karşılaşılan gerilim çukurunun gerçek ölçüm verisinden elde edilmiş dalga şekli gösterilmektedir. Şekil 2.3'te ise üç faz gerilim çukuru anındaki sistemdeki üç faz akım değişimi gösterilmektedir. Bunlar gerçek zamanlı bir ölçüm sistemi sayesinde elde edilmiş verileri içermektedir. Bu grafikten de görülebildiği gibi gerilim çukuru olayı fazlardan birinde meydana gelen bir problemten dolayı o fazın genlik değerinin olması gereken değer altına düşmesiyle başlamıştır. Olayın başladığı anda diğer 2 faz ise olması gereken değerden yukarı çıkmıştır. Akımdaki değişim grafiğinde ise gerilimi düşen faza ait akımın yükseldiği görülmektedir. Diğer iki faz akımdan biri de olması gereken değerden yüksek iken diğeri yaklaşık aynı kalmıştır [36].

Gerilim çukuru olayı olduğu durumlarda bir fazdaki gerilim düşmesi diğer fazlarda



Şekil 2.2. Üç fazlı sistemde örnek bir gerilim çukuru olayı



Şekil 2.3. Üç fazlı sistemde örnek bir gerilim çukuru olayı anında akımdaki değişim

gerilim yükselmesini tetiklediğinden şebekeden çekilen akımın da üç faz için değişmesine neden olmaktadır [37].

Gerilim çukuru olaylarına çok çeşitli olaylar neden olabilir. Bunlar arasında; şebeke yetersizliği aşırı yüklenme, büyük motorlara yol verme sırasında şebekeden anlık olarak çok fazla akım çekilmesi, sistemde oluşabilecek kısa devre problemlerinden hata akımlarının şebekede dolaşması sayılabilir. Bu sayılan durumlar sonucunda şebekede gerilim düşer ve gerilim çukuru olayı meydana gelir. Sonuçta bu problem-den kaynaklı zararlı etkiler oluşabilmektedir [38].

Mevcut elektrik şebekesinde iletim yani yüksek gerilim (YG) veya dağıtım yani alçak gerilim (AG) veya orta gerilim (OG) şebekelerinde veya tesisatın kendisinde meydana gelen hatalar tüm kullanıcılarda gerilimin düşmesine neden olur. Gerilim çu-

kuru olayının uzunluğu genellikle koruyucu cihazların çalışma suresiyle gulendirilir. Hataların koruyucu cihazlarla (devre kesiciler, sigortalar) izolasyonu, gu sisteminin hatalı bolumunden beslenen kullanıcıların kesintilere (kısa veya uzun) maruz kalmasına neden olur. Gu kaynağı artık mevcut olmasa bile; şebeke gerilimi, asenkron veya senkron motorların yavaşlamasıyla (0.3s'den 1s'ye) elde edilen gerilim veya gu kaynağına bağlı kondansatör bankalarının deşarj edilmesiyle açığa çıkan gerilimle de sağlanabilir [39].

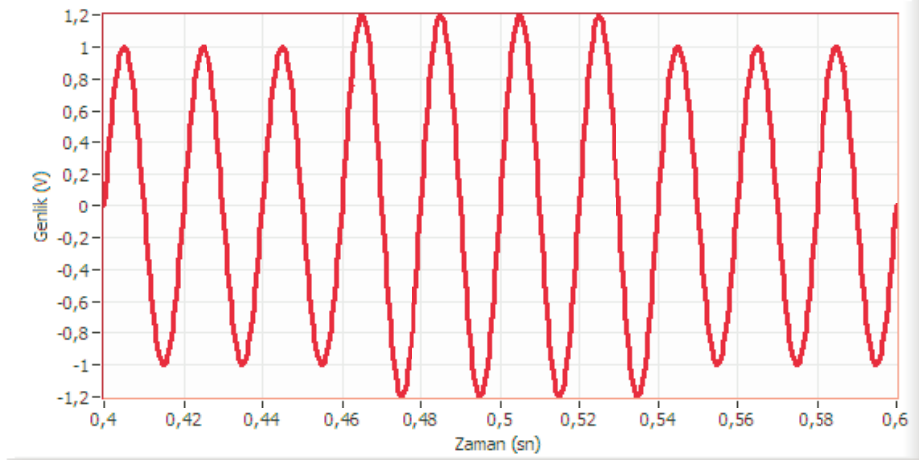
Gerilim ukuru olayları, trafo kullanılarak daha alçak gerilim seviyelerine aktarılır. Etkilenen faz sayısı ve gerilim duşukluklerinin derinliği hata tipine ve trafo kuplajına bağlıdır. Kötü hava şartlarına maruz kalan havai şebekelerde, yeraltı şebekelerine oranla daha fazla sayıda gerilim duşmesine rastlanır. Ancak, havai veya karışık şebekeler gibi aynı hat sistemine bağlı bir yeraltı kaynağı da havai iletim hatlarını etkileyen hatalar nedeniyle gerilim duşmesinden etkilenecektir. Gerilim duşuşleri, tesisata bağlı birçok hassas elektronik cihazda problem yaratmaktadır. Bunlar, çok sık olarak gu kalitesi problemlerine neden olmaktadır. Birkaç yüz milisaniyelik bir gerilim çukuru veya kesintisi, birkaç saat suren zararlı sonuçlar yaratabilir [40].

Gerilim ukurunun Değerlendirilmesi

Bir gerilim çukuru bir çift veri ile karakterize edilir. Bu veriler rezidüel gerilim, derinlik ve suredir. Rezidüel gerilim herhangi bir kanaldaki gerilim çukuru sırasında ölçülen en küçük $U_{rms(1/2)}$ değeridir. Derinlik referans gerilimiyle (U_{din} veya U_{sr}) llen en küçük gerilim arasındaki farktır. Bu genellikle referans geriliminin yüzdesi olarak ifade edilir. Gerilim çukurunun suresi ise gerilim çukurunun başlangıyla bitişi arasındaki farktır. Sorun özme veya istatistiksel uygulamalarda gerilim çukuru eşikleri genellikle referans geriliminin %85'i ile %90'ı arasındadır [41].

2.2.2 Gerilim Tepesi

Uluslararası standartlarda tanımlanmış olan gerilim tepesi, bir elektrik gu sisteminde meydana gelen anlık yükseliş olup, birkaç çevrim ile birkaç saniye arasında kısa bir sure sonra gerilimin düzelmesiyle sonuçlanır. Gerilim çukurunun tersi olarak burada gerilim nominal değerinden daha yüksek seviyelere çıkmaktadır. Gerilim tepesi, gerilimin bir tam dalgadan daha uzun bir sure %110'dan daha büyük bir değere çıkmasıdır [10].



Şekil 2.4. Tek fazlı sistemde örnek bir gerilim tepesi olayı

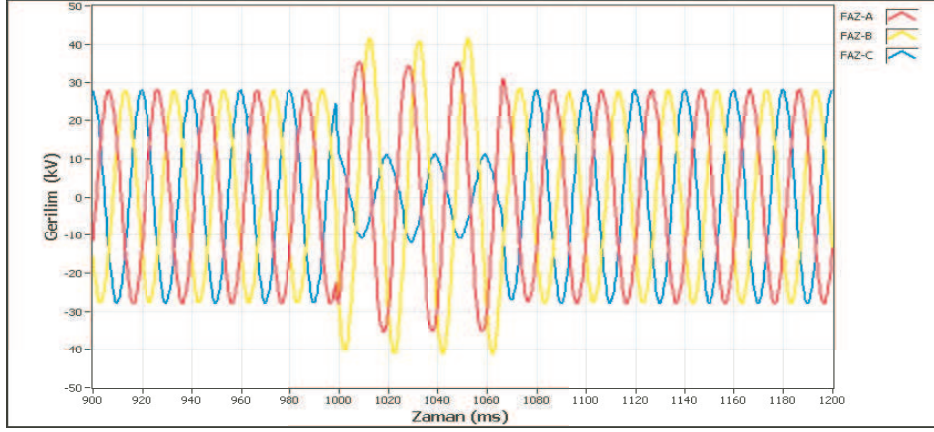
Gerilim Tepesinin Tespiti

Gerilim tepe eşiği ya U_{din} 'in ya da U_{sr} 'nin yüzdelik kısmı olarak ifade edilir. Tek fazlı sistemlerde gerilim tepesi $U_{rms}(1/2)$ değerinin gerilim tepe eşiğinin üstüne çıkmasıyla başlar ve $U_{rms}(1/2)$ değerinin gerilim tepe eşik değerinden histerezis geriliminin çıkarılmasına eşit veya bu değerden küçük olması halinde biter. Çok fazlı sistemlerde gerilim tepesi bir veya birden fazla kanalın $U_{rms}(1/2)$ değerinin gerilim tepe eşiğinin üstüne çıkmasıyla başlar ve ölçülen her kanalın $U_{rms}(1/2)$ değerinin gerilim tepe eşik değerinden histerezis geriliminin çıkarılmasına eşit veya bu değerden küçük olması halinde biter [10].

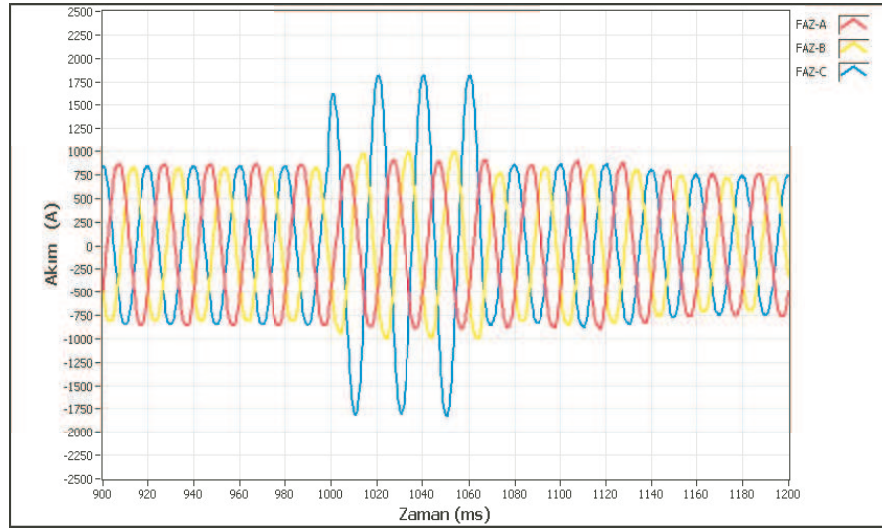
Şekil 2.4'te tek fazlı bir sistemde karşılaşılabilecek bir gerilim tepesi olayı gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılabilirdiği gibi gerilim çukurunun tersi bir şekilde gerilim tepesi olayı anında sinyalin genlik değeri olması gereken değerden yukarı çıkar. Olay süresi kısadır ve bir kaç çevrim sonrasında tekrar gerilim değeri eski seviyesine döner.

Gerilim Tepesinin Değerlendirilmesi

Bir gerilim tepesi bir çift veri ile karakterize edilir. Bu veriler en büyük tepe gerilim büyüklüğü ve süresidir. En büyük tepe gerilimi büyüklüğü herhangi bir kanaldaki gerilim tepesi sırasında ölçülen en büyük $U_{rms}(1/2)$ değeridir. Gerilim tepesi süresi ise gerilim tepesinin başlangıcıyla bitişi arasındaki farktır. Gerilim tepesi eşiği genellikle U_{din} değerinin %110'undan daha büyüktür [10].



Şekil 2.5. Üç fazlı sistemde örnek bir gerilim tepesi olayı



Şekil 2.6. Üç fazlı sistemde örnek bir gerilim tepesi olayı anında akımdaki değişim

Gerilim tepesi durumunun nedenleri arasında yük azalması ve şebekedeki ayar zayıflığı sayılabilir. Bir arıza süresince oluşan anlık gerilim yükselmesi sistem empedansına, arızanın yerine ve topraklamaya bağlıdır. Aşırı ısınmadan dolayı birçok cihazda arıza meydana gelmektedir [42].

Gerilim tepesi gerilim çukurunda olduğu gibi sistem hatası ile ilişkilidir. Gerilim tepesine tek faz-toprak kısa devresi sırasında hatasız olan fazda rastlanır. Gerilim tepesi büyük yüklerin anahtarlanması veya büyük kapasitörlerin devreye alınmasında oluşabilir. Gerilim çukurunda olduğu gibi gerilim tepesi olayında da çeşitli zararlı etkileri vardır. Bunlar, elektrik kontrol ünitelerinin bozulması, motor sürücülerinin düzensiz çalışması, hassas elektronik parçaların etkilenip ömürlerinin kısılmasıdır. Bu tip arızaların düzeltilebilmesi için güç iyileştiricileri, gerilim regülatörleri, dinamik

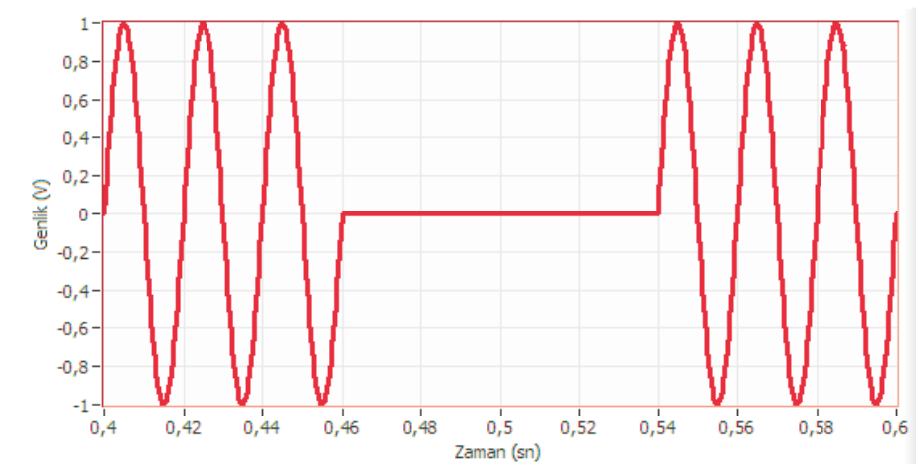
gerilim düzelticileri ve Kesintisiz Güç Kaynakları (KGK) kullanılabilir [42].

2.2.3 Gerilim Kesintisi

Gerilim kesintilerinde temel ölçüm her kanaldan $U_{rms}(1/2)$ değerinin ölçülmesidir. Tek fazlı sistemlerde gerilim kesilmesi $U_{rms}(1/2)$ değerinin gerilim kesilme eşiğinin altına düşmesiyle başlar ve $U_{rms}(1/2)$ değerinin gerilim kesilme eşik değeri ve histerezis geriliminin toplamına eşit veya bu değerden büyük olması halinde biter. Çok fazlı sistemlerde gerilim kesilmesi bir veya birden fazla kanalın $U_{rms}(1/2)$ değerinin gerilim kesilme eşiğinin altına düşmesiyle başlar ve ölçülen her kanalın $U_{rms}(1/2)$ değerinin gerilim kesilme eşik değeri ve histerezis geriliminin toplamına eşit veya bu değerden büyük olması halinde biter.

Gerilim kesilme eşiği ve histerezis gerilimi kullanıcı tarafından seçilir. Gerilim kesilme eşiği rezidüel gerilim ve histerezis geriliminin toplamından küçük seçilmemelidir. Genellikle histerezis U_{din} 'in %2'sine eşittir. Gerilim kesilme eşiği de U_{din} 'in %10'u olarak seçilebilir [10].

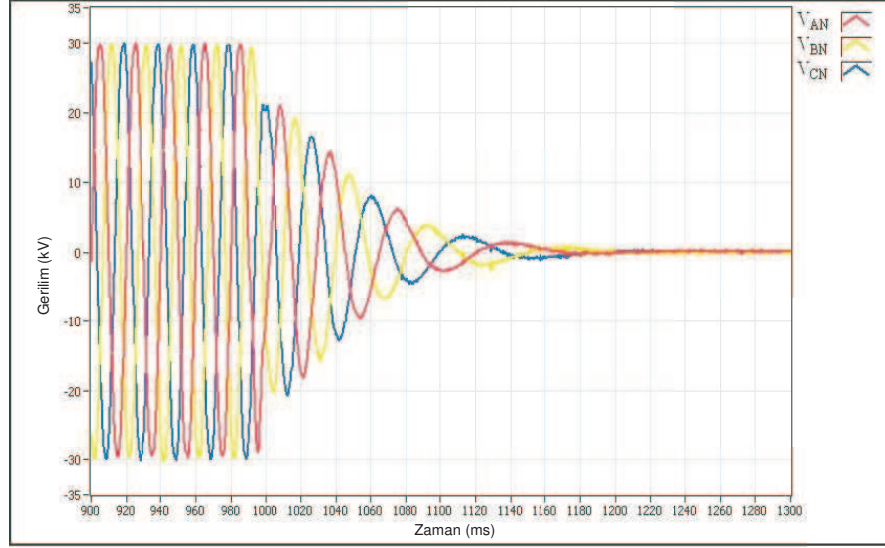
Şekil 2.7'de tek fazlı bir sistemde karşılaşılabilecek gerilim kesintisi dalga şekli gösterilmektedir. Görüldüğü gibi gerilim çukuruna benzer şekilde gerilim kesintisinin olduğu anda sinyalin gerilim genlik değeri olması gereken değerden çok aşağılara inmektedir. Bu değer olması gereken değerden %10'undan daha aşağılara düştüğünü göstermektedir.



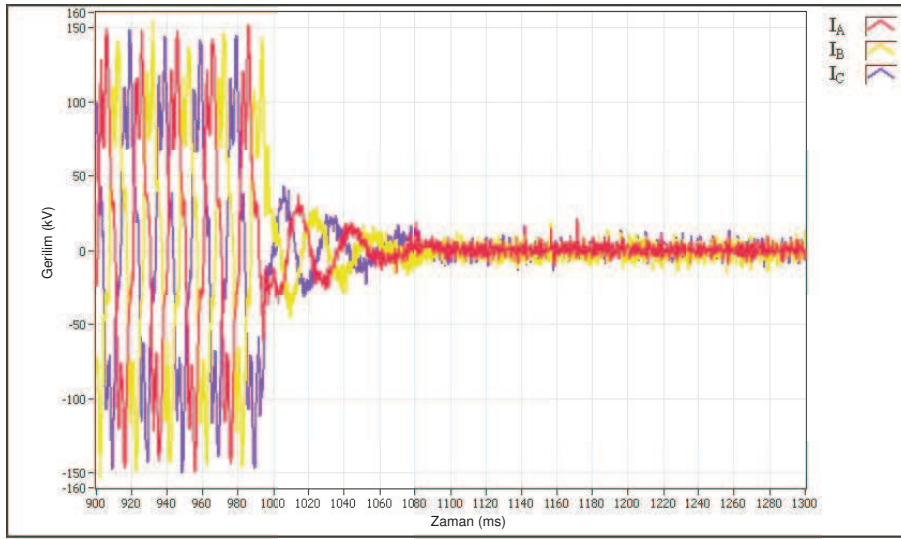
Şekil 2.7. Tek fazlı sistemde örnek bir gerilim kesintisi

Üç fazlı bir sistemde ise her faz ayrı ayrı eşik değerinin altına düşmektedir. Şekil 2.8 ve Şekil 2.9'da sırasıyla üç fazlı bir sistem için örnek bir akım ve gerilim değişimi

grafikleri yer almaktadır. Bu grafiklerden de görülebildiği gibi kesinti anında üç fazın da hızlı bir şekilde genlik değeri düşer ve gerilim kesintisi olayı süresince bu altına düşülen eşik değerin üzerine çıkamazlar. Sistemin tekrar toparlanması ve problemin giderilmesiyle gerilim kesintisi olayından çıkmış olur [10].



Şekil 2.8. Üç fazlı sistemde örnek bir gerilim kesintisi



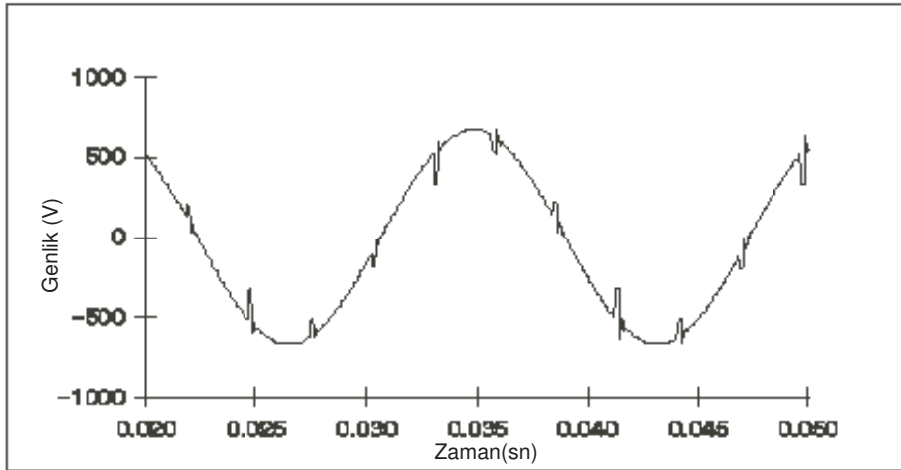
Şekil 2.9. Üç fazlı sistemde örnek bir gerilim kesintisi olayı anında akımdaki değişim

Gerilim kesintisine neden olan etkenler arasında; sisteme enerji sağlayan kaynaklardaki kesintiler, şebekedeki koruyucu sigortaların yanması, aşırı yüklenmeler sonucunda kesicilerin devreye girmesi gibi olaylar sayılabilir. Bu tür kesintiler sanayide üretim ve iş gücü kayıplarına neden olmaktadır. Mevcut elektronik sistemlerde ani kesinti ve tekrar enerjilenme sırasında çekilen fazla akımdan kaynaklanan zararlara da çok fazla rastlanabilmektedir [43].

2.2.4 Gerilim Çentikleri

Gerilimde meydana gelen çentikler, güç elektroniğinde çoğunlukla ac/dc (alternatif akım/doğru akım) çeviricilerin yol açtığı problemlerdir. Her bir çevrimde çeviricide oluşan darbe sayısı kadar gerilimde çökme meydana gelir. Bunun nedeni komütasyon sırasında meydana gelen anlık faz-faz kısa devreleridir. Yüksek frekanslı gerilim çentiklerinin düzeltilmesinde bastırıcı devreler kullanılır. Ayrıca doğrultucuları besleyen trafo ve hat endüktansının anahtarlama akımını geciktirmesi nedeniyle de çentikler oluşabilir. Doğrultucuların darbe sayısına göre gerilim üzerindeki çentik sayısı da değişmektedir. Özellikle alçak gerilimlerde bu çentiklerin hassas cihazlara etkileri fazladır [44].

Yüksek gerilimlere doğru gidildikçe güç transformatörleri yüksek frekanslı bu bozuklukları engeller. Bu gerilim seviyelerinde gerilim çentikleri çoğunlukla görülmez. Şekil 2.10'da gerilimde meydana gelen çentik grafiği gösterilmektedir. Grafikten de görülebildiği gibi gerilim çentikleri sinyal üzerine binmiş çok kısa süreli yüksek frekanslı olaylardır. Her bir çentiğin bir çevrim içerisinde gerilimin anlık genlik değerini değiştirdiği yine grafikten görülmektedir.



Şekil 2.10. Gerilimde oluşan çentikler örneği

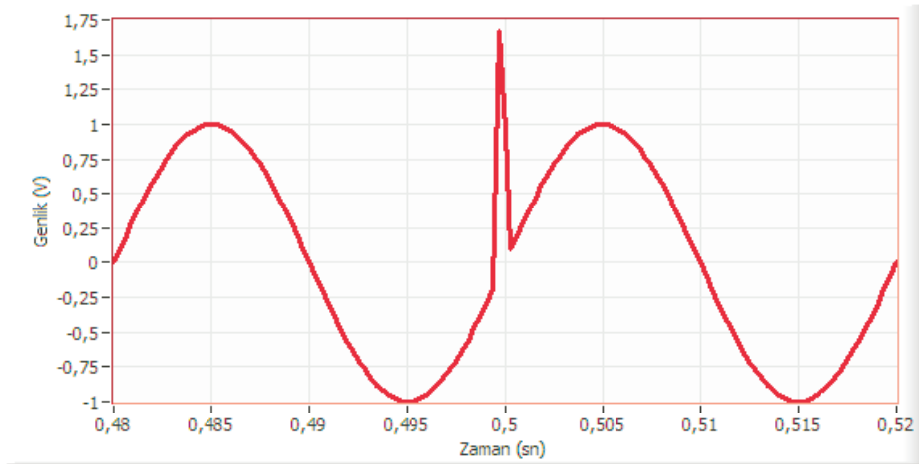
2.2.5 Geçici Rejim Olayları

Geçici rejim olayları, iletim ve dağıtım sisteminde karşılaşılan gerilim çukuru, gerilim tepesi ve gerilim kesintisi olaylarından farklı olarak daha kısa süreli ve yüksek

frekans içerikli güç kalitesi bozulması olarak tanımlanabilir. Süre olarak yarım çevrimden daha kısa sürede meydana gelen bozukluklara geçici olay denir. Bu sürede gerilim nominal değerinden 8 kat fazla değerlere ulaşabilir. İki çeşit geçici olaydan bahsedilebilir. Bunlar; darbeli geçici olay ve salınımlı geçici olay olarak adlandırılırlar [12].

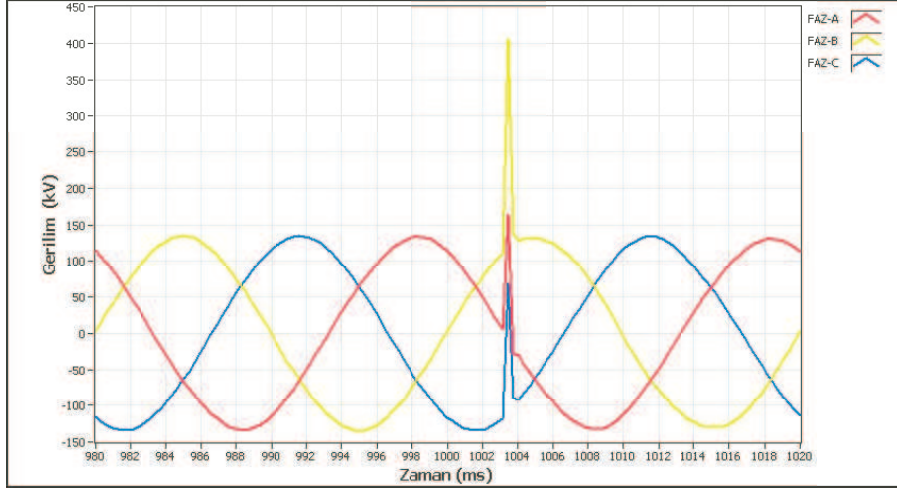
Darbeli Geçici Rejim Olayları

Polarite bakımından tek yönlü (pozitif veya negatif) gerilim, akım veya bunların ikisinin sürekli hal koşulunda meydana gelen yüksek frekanslı ani değişimlerdir. Standart ve yönetmeliklerde bu tür geçici olayların sınıflandırılmasında frekans içeriği ve olayın süresi önemlidir [12]. Bu tür olayların en temel nedeni olarak yıldırımlar görülebilir. Şekil 2.11'de gerilimde oluşan bir darbeli geçici olay grafiği görülmektedir. Bu grafikten de görüldüğü gibi darbeli geçici olay sinyal üzerinde çok kısa süreli olarak genliğin anlık değerini değiştirmektedir. Gerilim çentiklerine benzer özellikler gösterse de en önemli farklarından biri çok yüksek frekanslara kadar çıkabilmesi ve genliğinin de normal sinyal genliğinden çok daha büyük değerlere çıkabilmesidir.

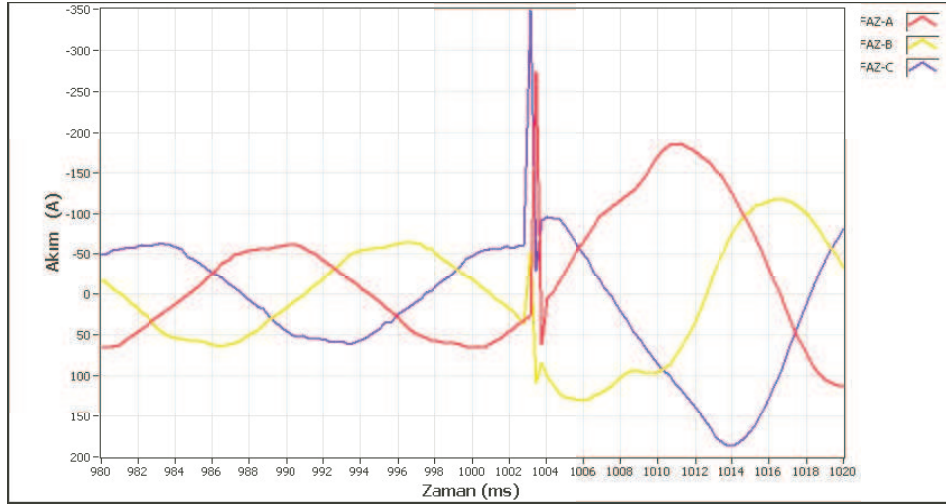


Şekil 2.11. Tek fazlı sistemde gerilimde oluşan örnek bir darbeli geçici olay

Üç fazlı sistemde ise geçici olay her fazda görülmektedir. Şekil 2.12'de üç fazlı sistemde gerilim dalgası grafiğinde meydana gelen darbeli geçici olay gösterilmektedir. Şekil 2.13'de ise bu gerilim üzerinde meydana gelen darbeli geçici olay anında sistemdeki üç faz akım değişimi gösterilmektedir. Her iki grafik yorumlandığında, gerilimde bir fazda sinyal üzerinde görülen darbe olayı aynı anda diğer fazlarda da görülmektedir. Gerilimdeki bu değişikliğe akım da aynı anda ve yönde tepki vermektedir. Her üç faz akım için de darbeli geçici olay anında akım genlikleri yükselmiştir.



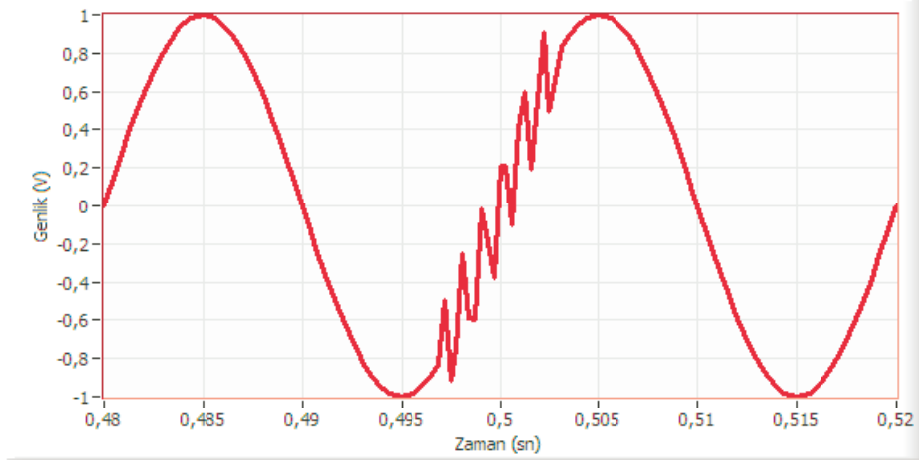
Şekil 2.12. Üç fazlı sistemde gerilimde oluşan örnek bir darbeli geçici olay



Şekil 2.13. Üç fazlı sistemde gerilimdeki örnek bir darbeli geçici olay anında akımdaki değişim

Salınımlı Geçici Rejim Olayları

Darbeli geçici rejim olayından farklı olarak polarite bakımından çift yönlü (pozitif ve negatif) gerilim, akım veya bunların ikisinin sürekli hal koşulunda meydana gelen yüksek frekanslı salınımlı ani değişimlerdir. Standart ve yönetmeliklerde bu tür geçici olayların sınıflandırılmasında frekans içeriği ve olayın süresinin yanında genlik değerleri de önemlidir [12]. Şekil 2.14'de gerilimde oluşan bir salınımlı geçici olay grafiği görülmektedir. Görüldüğü gibi darbeli geçici olaya göre daha uzun süreli olarak sinyal üzerinde yüksek frekanslı ve çift yönlü değişimler görülmektedir. Yaklaşık yarım çevrim kadar süren bu örnek salınımlı geçici olay o anki gerilimin normal genlik değerini değiştirmektedir.



Şekil 2.14. Gerilimde oluşan örnek bir salınımlı geçici olay

Salınımlı geçici olayların nedenleri arasında; yerel sistemlerin darbeli geçici olaylara tepkisi, kapasitör anahtarlama, kondansatör gruplarının arka arkaya devreye alınması sayılabilir [45].

Geçici olay sonucunda oluşan problemler, gerilim çukuru ve tepesi olaylarında karşılaşılan durumlara çok benzerdir. Böyle bir olay durumunda çok hassas elektronik cihazlar bozulabilmektedir. Bu tür arızaları önlemek için yüksek gerilimde, aşırı gerilim yönlendiricileri ve ark hücreleri kullanılabilir. Alçak gerilimde ise, çığ diyotlar kullanılmaktadır ¹.

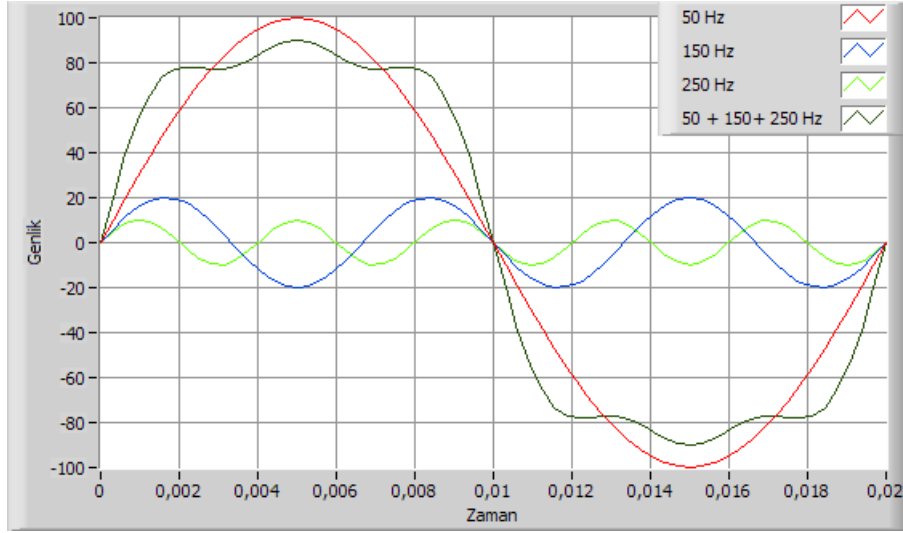
2.2.6 Harmonikler

Elektrik sisteminde normal olarak gerilim 50 Hz frekansla saf sinüs eğrisi şeklinde üretilmesi, iletilmesi, dağıtılması ve tüketime sunulması, elektrik sisteminin ve elektrikle çalıştırılan her türlü cihazın doğru, düzenli, verimli ve sorunsuz çalıştırılması açısından önemlidir. Ancak elektrik sisteminde bulunan anahtarlama güç kaynakları, ark ve pota ocakları, motor sürücüler, ac/dc dönüştürücüler ve çevirgeçer gibi doğrusal olmayan yüklerden veya sistemden beslenmekte olan tüketicilerden kaynaklı yan etkiler yüzünden akım ve gerilim gibi temel elektriksel büyüklüklerin sinüzoidal dalga şekli bozularak temel frekans olan 50 Hz'in dışında 50 Hz'in tam katlarıyla orantılı frekansa sahip olan, yani harmonik içeren dalga şekillerine dönüşür [46].

Şekil 2.15'te bazı harmonikler, temel bileşen ve harmonik binmiş sinyal gösteril-

¹<http://en.wikipedia.org/wiki/Transient-voltage-suppression-diode>

mehtir ². Grldg gibi 150 Hz yani 3. harmonik bileŖen 50 Hz temel bileŖen sinyalinden 3 kat daha hızlı ve daha küçük genlikli bir sinyaldir. Yine 250 Hz yani 5. harmonik bileŖen 50 Hz temel bileŖen sinyalinden 5 kat daha hızlı ve daha küçük genlikli bir sinyaldir. Gerçek sistemde de burada gösterildiği gibi frekans temel bileŖenden büyük ve genlikleri daha küçük istenmeyen sinyaller vardır. Bu sinyaller temel bileŖen üzerine eklendiğinde istenen saf sinüs dalgası kaybedilmiŖ olmaktadır.



Ŗekil 2.15. 3. ve 5. harmonikler ile temel bileŖen sinyalleri

Harmonik bileŖen içeren gerilim ve akımın ani değerleri,

$$i(t) = I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} I_{mn} \sin(n\omega t + \gamma_n) \quad (2.1)$$

$$v(t) = V_0 + \sum_{n=1}^{\infty} V_{mn} \sin(n\omega t + \delta_n) \quad (2.2)$$

Ŗeklinde ifade edilir. Akım ve gerilimde etkin değerler (rms) kullanılır. Bu değerler n'inci harmonik için,

$$I_{rmsn} = \frac{I_{mn}}{\sqrt{2}}, V_{rmsn} = \frac{V_{mn}}{\sqrt{2}} \quad (2.3)$$

Ŗeklinde ifade edilir. Harmonikli akım ve gerilim sinyalinin etkin değerleri,

²<http://www.pensampermetre.com/harmonik.htm>

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{n=0}^{\infty} I_{rmsn}^2} = \sqrt{I_{rms0}^2 + I_{rms1}^2 + I_{rms2}^2 + \dots + I_{rmsn}^2} \quad (2.4)$$

$$V_{rms} = \sqrt{\sum_{n=0}^{\infty} V_{rmsn}^2} = \sqrt{V_{rms0}^2 + V_{rms1}^2 + V_{rms2}^2 + \dots + V_{rmsn}^2} \quad (2.5)$$

denklemleriyle elde edilir. Bu denklemlerde, I_{rms0} akımın doğru bileşenini, V_{rms0} gerilimin doğru bileşenini, n harmonik derecesini, I_{mn} n 'inci akım harmoniği için tepe değerini, V_{mn} n 'inci gerilim harmoniği için tepe değerini, γ_n n 'inci akım harmoniği için faz açısını ve δ_n n 'inci gerilim harmoniği için faz açısını ifade etmektedir.

Uluslararası standartlardan IEC 61000-4-7 genel olarak 50 Hz ve 60 Hz'deki güç besleme sistemlerinin temel bileşenlerinin üzerine bindirilen, 9 kHz'e kadar olan frekans aralığındaki spektral bileşenlerin ölçülmesi ve test edilmesi için hazırlanmış bir standarttır [8].

Harmoniklerden dolayı elektrik sisteminde bulunan temel bileşenin genlik ve frekansından farklı olan sinyaller hassas elektronik cihazlara zarar verir. Manyetik devrenin doğrusal olmaması durumu, demir çelikli bobin, transformatör ve jeneratör gibi elemanların doyuma girerek manyetik bakımdan doğrusal olmayan bir olayın meydana gelmesidir. Elektrik devredeki doğrusal olmayan durum ise, akımı ile gerilimi arasında doğrusal olmayan ilişki olan elemanda, arka çalışın işletme araçlarında yarı iletken elemanlar kullanılarak sinüzoidal dalganın bazı kısımlarının kırılması sonucunda meydana gelir. İşte bu doğrusal olmayan durumlar, elektrik şebekesinin akım ve geriliminin ideal sinüs dalgasından uzaklaşmasına neden olmaktadır. Bu elemanlara, motor kontrol devreleri, anahtarlamalı güç kaynakları, dc çevirici ve eviriciler gibi güç elektroniği devre elemanları örnek olarak gösterilebilir [47].

3. DALGACIK KURAMI VE DÖNÜŞÜMÜ

Bu kısımda dalgacık dönüşümü hakkında ayrıntılı tarihsel ve teknik bilgiler verilmiştir. Kullanılan dalgacık dönüşümü türlerinden ve dalgacık çeşitlerinden ayrıntılı olarak bahsedilmiştir.

3.1 Dalgacık Dönüşümünün Tarihçesi

Tarihsel olarak sinyal analizlerinde birçok çalışma yapılmış ve çeşitli sonuçlara ulaştırılan yöntemler geliştirilmiştir. Bu sonuçların en önemlisi ve önderi sayılabileceklerden biri Fourier dönüşümüdür [48]. 1807 yılında Fransız matematikçisi Joseph Fourier her periyodik fonksiyonun, periyodik karmaşık üstel fonksiyonların sonlu toplamı şeklinde ifade edilebildiğini; diğer bir deyişle her periyodik fonksiyonun, sinüs ve kosinüslerden oluşan yapı bloklarına ayrıştırılabildiğini kanıtlamıştır. Fourier'in fonksiyonları sinüs ve kosinüsün bir doğrusal bileşimi olarak temsil etmesi, hem diferansiyel denklemlerin analitik ve sayısal çözümlerinde hem de haberleşme sinyallerinin analizi ve düzeltilmesinde yaygın olarak kullanılmıştır [49].

Fourier dönüşümüne benzer olarak dalgacık dönüşümü de durağan sinyallerin incelenmesinde kullanılabilen bir tekniktir. Bunun yanında durağan olmayan sinyallerin incelenmesinde de kullanılabilir. Yöntem sayesinde verilen bir sinyalin, seçilen temel bir fonksiyonun farklı (sonsuz potansiyelde) ölçekleri (düşük frekanslar için geniş, yüksek frekanslar için dar olacak şekilde değişen pencere boyutları) kullanılarak genliğinin zaman-ölçek düzlemine göre değişimi elde edilir. Geçici durumların incelenmesinde bu değişim verileri başarılı sonuçlar verir [50].

Dalgacık dönüşümünün tarihsel gelişimine bakıldığında dalgacık temel fonksiyonlarını ilk olarak 1909 yılında Alman matematikçi Alfred Haar'ın bulduğu görülür. Fakat Haar analizlerinde bulduğu fonksiyonları dalgacık olarak adlandırmamıştır. Bu dalgacıklar tüm zamanların en basit dalgacıkları olarak bilinmektedir [51]. Bu basitliklerinden dolayı da sadece zayıf frekans yeri belirlemede kısmen kullanılabilirler. Daha sonra Paul Levey 1930 yılında bu ortonormal temel fonksiyonlarını biraz daha geliştirmiştir [48].

Sinyal analiz yöntemlerinin gelişmesiyle durağan olmayan sinyallerin analizinin mümkün olması için Fourier dönüşümünde yapılan ilk değişiklik sonucu kısa zaman Fo-

urier dönüşümü ortaya çıkmıştır. Bu yöntem, zamanla sınırlandırılmış bir pencere kullanarak sinyali parçalara bölmek ve her bir parça için analizi gerçekleştirmektir. Bu alanda çalışmalar yapan Dennis Gabor, zaman-frekans düzleminde salınımlı temel fonksiyonlar kullanarak bir iletişim sinyalini temsil etmeye çalışmış ve Fourier dönüşümünü kısa zaman Fourier dönüşümü haline çeviren kişi olmuştur [52].

1947 yılında ise Jean Ville zaman-frekans düzlemindeki bir sinyalin enerjisini temsil etmek için benzer bir zaman-frekans temsili (Wigner-Ville dönüşümü) geliştirmiştir. 1940 ile 1970 yılları arasında pek çok zaman-frekans temsili geliştirilmiştir. Ancak, bunların hepsi de aynı pencere yöntemini kullanmıştır [48].

1970'ten itibaren J. Morlet, uzun zaman genişlikli düşük frekans bileşenleri ve kısa zaman genişlikli yüksek frekans bileşenlerine sahip olan analiz sinyalleri problemine yöneldi. Kısa zaman Fourier dönüşümü, geniş pencereler kullanarak düşük frekans bileşenlerini (dar bant frekans analizi) veya dar pencereler kullanarak yüksek frekans bileşenlerini (geniş bant frekans analizi) analiz etmeye uygundur. Yalnız, aynı anda her ikisi de gerçekleştirilemez. Bu yüzden farklı frekans bantlarının analizi için farklı bir pencere fonksiyonu kullanma fikri geliştirilmiştir. Pencere fonksiyonları hem zaman hem de frekans desteklidir. Morlet, "küçük ve salınımlı" yapılarından dolayı bu pencere fonksiyonlarını sabit şekilli dalgacıklar olarak isimlendirmiştir. Morlet bu konudaki fikirlerinden dolayı, kendi koleji tarafından bile eleştirilerek Fourier'den daha fazla eleştiri almıştır. Bu nedenle Morlet, A. Grossman'ın yardımlarıyla yaklaşımına bir matematik temeli bulmuştur. Kuantum mekaniği üzerinde çalışan teorik fizikçi A. Grossman, dönüşümü resmileştirmede ve ters dönüşümü geliştirmede büyük katkılarda bulunmuştur. Fransız matematikçi Yves Meyer, Morlet'in ve Calderon'un 1964'deki çalışmaları arasındaki benzerliğe dikkati çekmiş ve 1984 yılında da Morlet'in temel fonksiyonlarının seçiminde artıklığın çok fazla olduğunu belirtmiştir. Meyer, daha iyi yer belirleme özellikleri ile gelişen dalgacıklar üzerinde çalışmaya başlamış ve 1985 yılında çok iyi zaman ve frekans yeri belirleme ile ortogonal dalgacık temel fonksiyonlarını oluşturmuştur [53].

Yapılan çalışmalara en önemli katkılardan biri de Ingrid Daubechies tarafından yapılmıştır. Daubechies dalgacık dönüşümünün zaman ve ölçek parametrelerini ayırıklaştırmak için dalgacık çerçevelerini geliştirmiştir. Bununla temel fonksiyonların seçiminde daha fazla özgürlük ve daha az artıklık sağlanmıştır. Daubechies ve

Stephane Mallat birlikte çalışarak sürekli sinyal analizinden ayrık sinyal analizine geçişi bulmuşlardır. Özellikle 1986'da Mallat ile Meyer, ayrık dalgacık dönüşümünden (DWT) çoklu çözünürlük analizi (MRA) yöntemini geliştirmişlerdir. Fikir, çeşitli ölçeklerdeki yaklaşımlardan DWT'yi hesaplamak için yüksek geçirgen ve alçak geçirgen filtrelerin bir serisiyle ikinin katları şeklinde artan frekans bantlarında bir ayrık dalga ayrıştırma işlemidir. Son yıllarda, MRA algoritmasının ve diğer dalgacık temel fonksiyonlarının geliştirilmesine yönelik çalışmalar olduğu görülmektedir. Albert Cohen, Jean Feauveau ve Daubechies 1992 yılında tamamen destekli biortogonal dalgacıkları oluşturmuşlardır. Bunlar, ortonormal temel fonksiyonları üzerinde çalışan çoğu araştırmacı tarafından tercih edilmiştir. R. Coifman, Meyer ve Victor Wickerhauser de MRA'nın doğal bir uzantısı olan dalgacık paketlerini geliştirmişlerdir [48].

3.2 Dalgacık Dönüşümü (WT)

Dalgacık dönüşümü (WT), analiz edilen sinyali değişken bir pencere kullanarak frekans bileşenlerine ayıran ve bu bileşenleri o ölçekteki çözünürlüğüyle inceleyen bir tekniktir. Şekil 3.1'de WT analiz tekniği gösterilmiştir ¹. Bu grafikten de anlaşılacağı gibi girdi sinyali üzerine WT uygulandığında zaman ve ölçek bilgisi elde edilir. Bu bilgiler sinyalin zaman ve frekans bilgilerinin elde edildiği anlamına gelir. Duran olmayan yani zaman ekseninde değişken frekansa sahip sinyaller dalgacık analizi sayesinde hem frekans bilgisine hem de zaman bilgisine ayrıştırılırlar. Bu da WT tekniğini diğer analiz tekniklerine göre üstün nitelikler kazandırır.



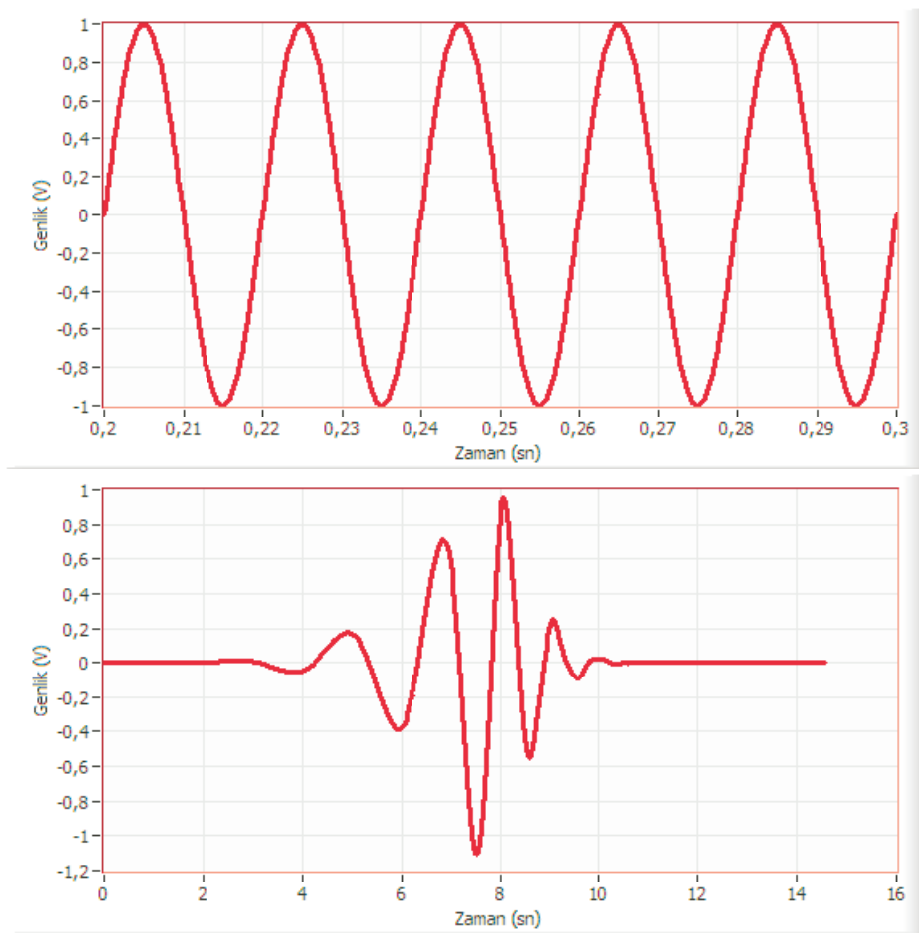
Şekil 3.1. Dalgacık Dönüşümü (WT)

Fourier dönüşümü, bir sinyal sinüs ve kosinüs toplamı ile ifade edilebilir ilkesi temelinde dayanmaktadır. Bu ilkeye göre sinyaller bir seri şeklinde ifade edilerek, daha kolay analiz edilebilir [54]. Fourier teoremi ve dönüşümünün teknik özellikleri ve tür-

¹ <http://www.sop.inria.fr/ariana/DEMOS/classif-texture/node3.html>

leri hakkında ayrıntılı bilgiler Ek 2'de verilmiştir. WT yönteminde ise bir $\psi(t)$ ana dalgacığının ötelenme ve yayılma işlemleriyle oluşturulan baz fonksiyonlarına sinyalin iz düşümünün alınması ile elde edilir. Kullanılan bu baz fonksiyonları sinyal analizinde doğru sonuçlara ulaşabilmek için yüksek frekanslarda kısa süreli düşük frekanslarda ise uzun sürelidir. Dalgacık dönüşümüne uğrayan bir sinyal artık dalgacıklardan oluşan temel bir fonksiyon kümesine dönüşmüş olur.

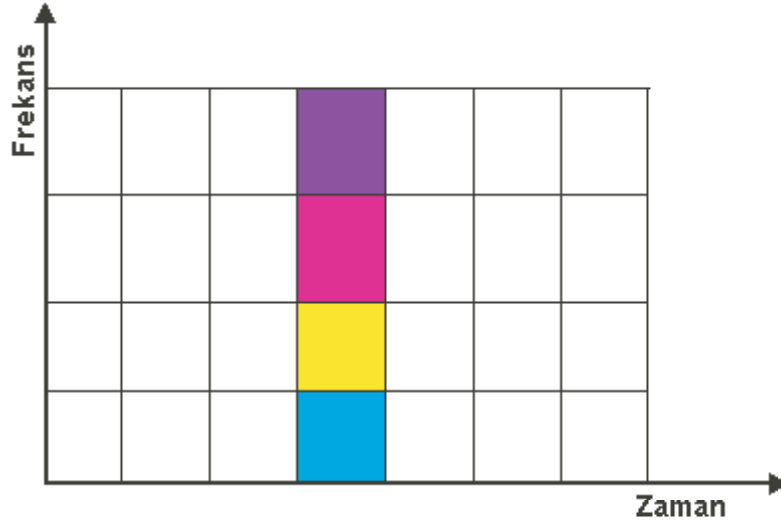
Şekil 3.2'de örnek ideal bir sinüs dalgası ile dalgacık fonksiyonunun grafikleri gösterilmiştir. Burada db08 dalgacığı örnek olarak zaman ekseninde dalgacıkların nasıl dağıldığını ortaya koymaktadır.



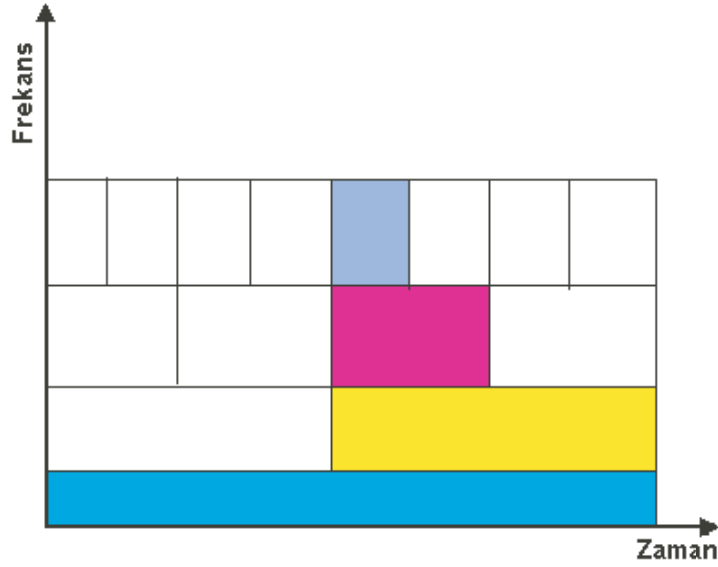
Şekil 3.2. İdeal sinüs dalgası ve örnek ana dalgacık şekli (db08)

Fourier dönüşümü ile dalgacık dönüşümü karşılaştırıldığında zaman ve frekans bilgilerini elde etme aralıkları değişmektedir. Şekil 3.3'de Fourier dönüşümünün zaman-frekans düzlemi gösterilirken, bu düzlem dalgacık dönüşümü tekniğinde Şekil 3.4'da gösterilmektedir. Buradan görüldüğü gibi Fourier tekniği ancak belirli bir zaman aralığı için frekans bilgisine sahip olabiliyorken dalgacık tekniği farklı zaman aralıkları

için frekans bilgisine sahiptir.



Şekil 3.3. Fourier dönüşümünün Zaman-Frekans tabanlı gösterimi



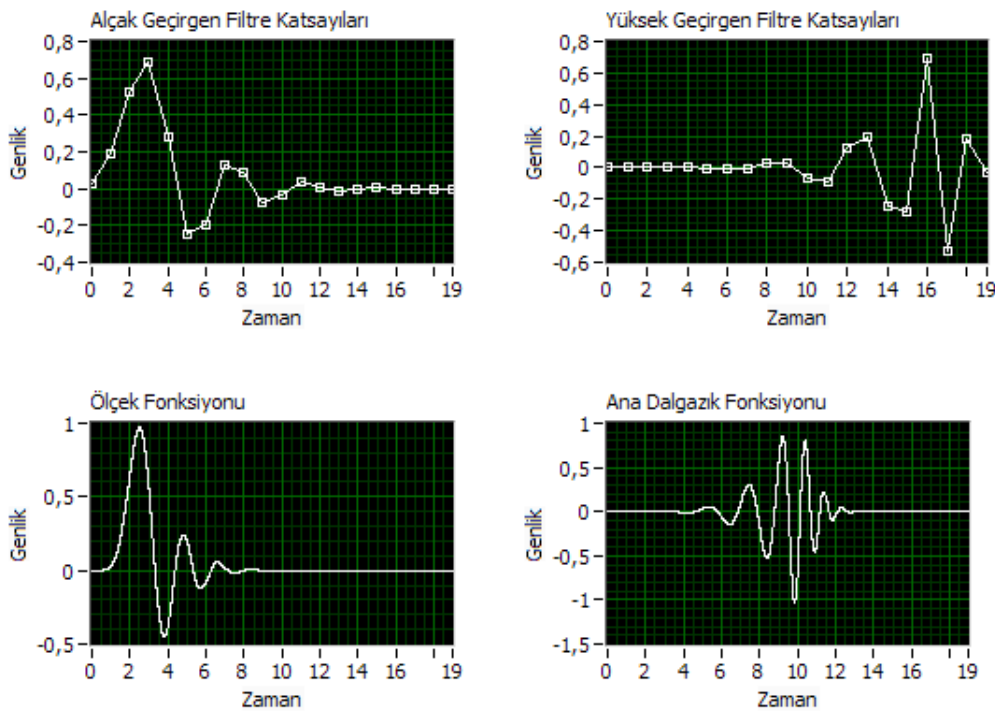
Şekil 3.4. Dalgacık dönüşümünün Zaman-Frekans tabanlı gösterimi

WT tekniği diğer sinyal işleme yöntemlerinin belirleyemediği hata noktalarını, yüksek türevlerdeki süreksizlikleri ve benzerlikleri ortaya çıkarır. Güç kalitesi parametrelerinin de bu hata noktaları ve süreksizliklerden oldukları düşünülürse bu parametrelerinin doğru şekilde analizlerine olanak sağlar. Diğer yöntemlere göre daha az kayıptan bahsedebileceğimiz dalgacık dönüşümü tekniği gürültü süzgeci ve veri sıkıştırma işlemlerinde de sıkça kullanılabilir [55].

Dalgacık, sınırlı bir sürede ortalama değeri sıfır olan bir dalga şeklindedir. Fourier çözümünün temeli olan sinüs dalgasıyla dalgacıkları karşılaştırdığımızda, sinüs dal-

gası eksi sonsuzdan artı sonsuza sonlu olmayan bir durumda bulunurken dalgacıklar düzensiz ve asimetrik bir eğilimindedirler.

Dalgacıkların ve sinüs dalgalarının resmine bakılırsa, keskin değişen sinyallerin çözümlenmesi düzensiz dalgacıklar ile düzgün sinüsten daha iyi çözümlenebileceği kes-tirilebilir. Dalgacık dönüşümünde kullanılan filtre katsayıları ile ölçek ve ana dalgacık fonksiyonu grafikleri Şekil 3.5'te gösterilmektedir. Bu grafiklerde örnek olarak db10 dalgacığı seçilmiş ve bu dalgacık için filtre katsayıları, ölçek ve ana dalgacık fonksiyonları gösterilmiştir. Buradaki ana dalgacık fonksiyonu yüksek geçirgen filtre olarak, ölçek fonksiyonu ise alçak geçirgen filtre olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.5. Db10 dalgacığı için filtre katsayıları, ölçek ve ana dalgacık fonksiyonları

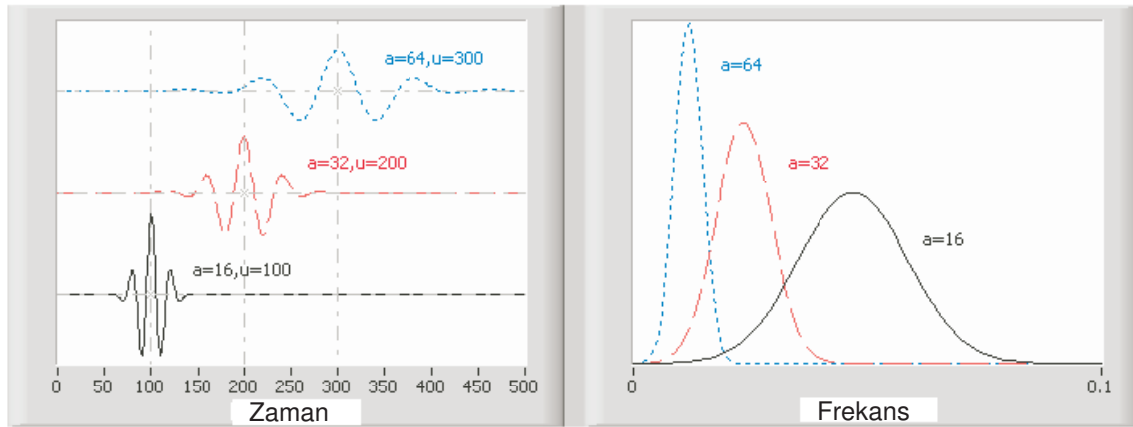
3.3 Dalgacık Dönüşümü Türleri

Bu kısımda dalgacık dönüşümü türlerinden bahsedilmiştir. Her bir dönüşüm için ayrıntılı bilgiler verilmiş ve dalgacık dönüşümlerinin birbirlerinden farklı olan özelliklerine değinilmiştir.

3.3.1 Sürekli Dalgacık Dönüşümü (CWT)

Sürekli dalgacık dönüşümü, eldeki sinyalin tamamının ölçeklenmiş ve ötelenmiş dalgacık fonksiyonu ile çarpılarak tüm zaman boyunca toplanması şeklinde tanımlana-

bilir. Dönüşüm sonucunda sinyalin zaman ve frekans bilgisi elde edilmiş olur. Bazı dalgacıklar ve güç spektrumları Şekil 3.6'de gösterilmektedir. Buradaki dalgacık grafiği 3 farklı dalgacık için değişik ölçek ve kayıklıkları göstermektedir. Güç spektrumları grafiği ise 3 farklı dalgacığın güç spektrumlarını göstermektedir. Buradaki u ve a değişkenleri sırasıyla ölçek ve kayıklık miktarlarını ifade etmektedir. Bir dalgacık için küçük ölçek, kısa zaman sürekliliği, büyük bir frekans bantgenişliği ve yüksek merkez frekansı demektir. Diğer durumda yani büyük ölçekli bir dalgacık, uzun zaman sürekliliği ve dar bir frekans bant genişliğine sahiptir [56].

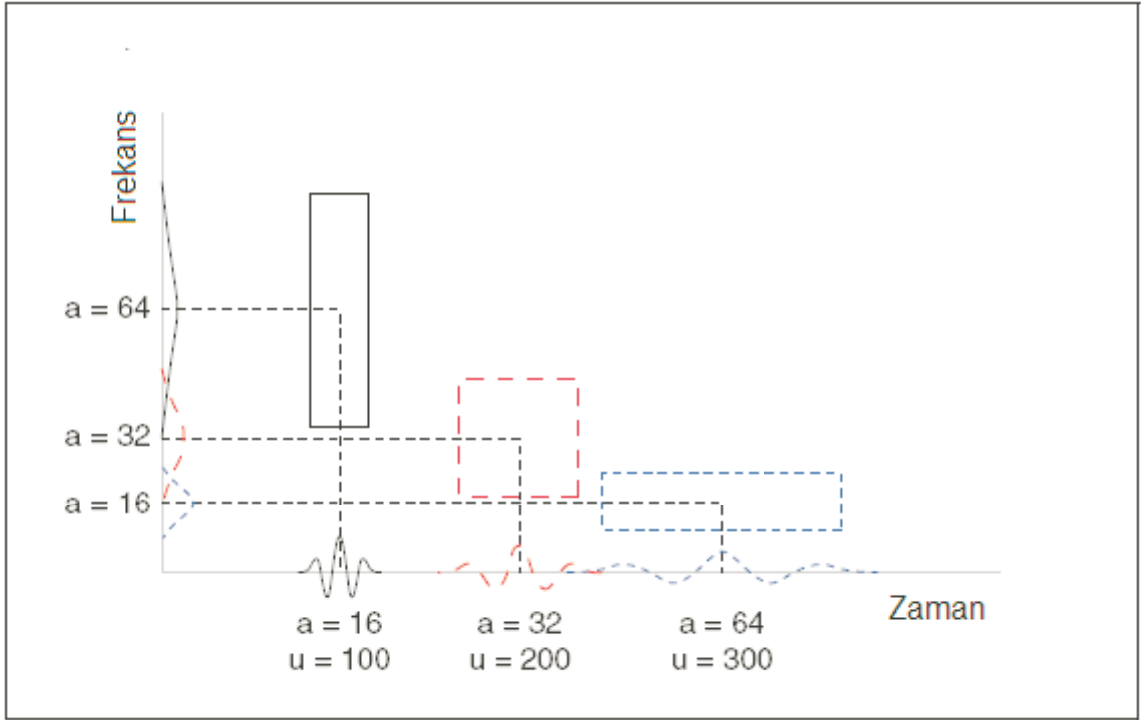


Şekil 3.6. Dalgacıklar ve güç spektrumları

Bir dalgacık için zaman sürekliliği ve frekans bant genişliği o dalgacık için sırasıyla zaman ve frekans çözünürlüğünü belirler. Uzun zaman sürekliliği kötü zaman çözünürlüğü demektir. Ayrıca geniş frekans bant genişliği kötü frekans çözünürlüğü demektir. Şekil 3.7'deki gibi bir zaman–frekans diyagramı yardımıyla bir sinyalin yüksek ve alçak geçiren bileşenleri açık olarak elde edilir. Burada 3 farklı dalgacık için zaman–frekans ekseninde 3 farklı dikdörtgen ile zaman ve frekans çözünürlüğü gösterilmektedir. Bu şekilden anlaşıldığı gibi küçük ölçeğe sahip bir dalgacık, iyi zaman çözünürlüğünü ifade ederken diğer taraftan kötü frekans çözünürlüğünü ifade eder. Yine büyük ölçekli bir dalgacık, iyi frekans çözünürlüğünü ifade ederken diğer taraftan kötü zaman çözünürlüğünü ifade eder [57].

İyi bir frekans çözünürlüğü bir sinyal üzerindeki yavaş değişen frekans bileşenlerini ölçebilmeyi sağlar. İyi bir zaman çözünürlüğü ise sinyal üzerindeki hızlı frekans değişimlerini belirleyebilmeyi sağlar.

Matematiksel olarak sürekli dalgacık dönüşümü;



Şekil 3.7. Dalgacıkların zaman–frekans diyagramı

$$CWT_{u,a} = (f, \Psi_{u,a}) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi_{u,a}^*(t) dt \quad (3.1)$$

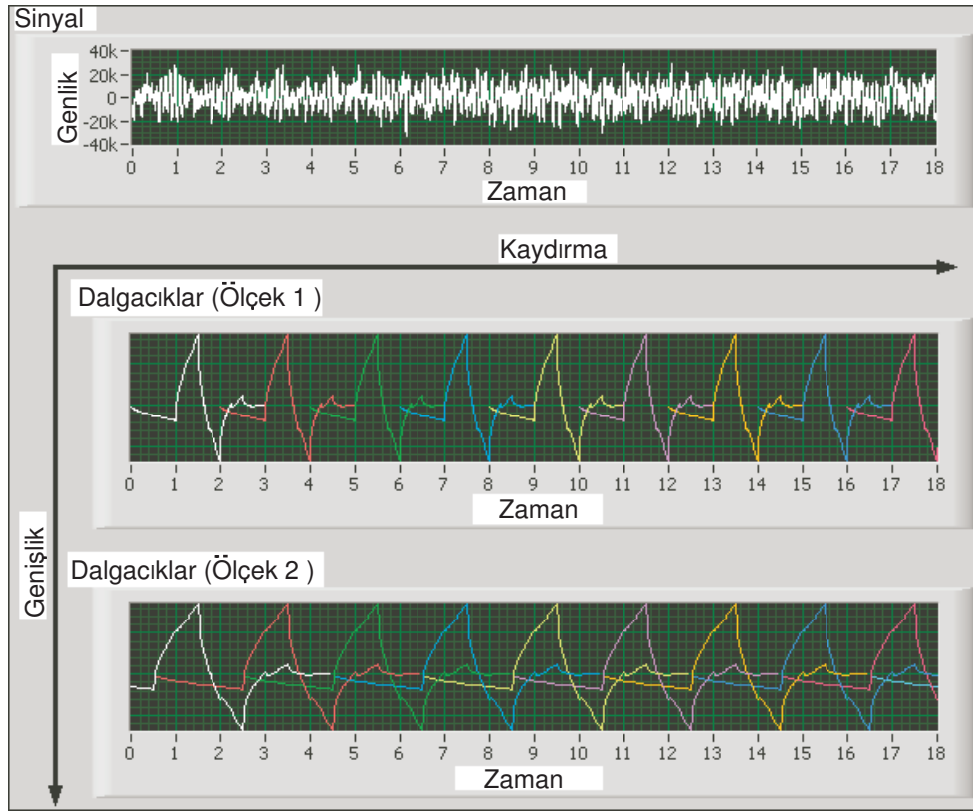
burada,

$$\Psi_{u,a} = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-u}{a}\right) \quad (3.2)$$

olarak ifade edilir. Yine eşitlikteki $CWT_{u,a}$ elde edilen dalgacık katsayılarını, $\Psi_{u,a}$ sürekli dalgacığı, u kayıklık faktörünü, a ölçek faktörünü tanımlamaktadır. $\Psi_{u,a}^*$ ise $\Psi_{u,a}$ 'ın karmaşık eşleniğidir. Sürekli–zamanlı $f(t)$ sinyali için ölçek faktörü pozitif gerçel sayı olmalıdır. Kayıklık faktörü ise herhangi bir gerçel sayı olabilir. Eşitlik 3.1 nadiren sürekli dalgacık dönüşümü hesaplamaları için kullanılır. Çünkü;

- Günlük hayatta karşılaşılan sinyallerin çoğunluğu ayrık zamanlı sinyallerdir. $f(t)$ sinyalinin analitik formu kolay elde edilebilir değildir.
- İntegralin kapalı formunun çözümü çok özel durumlar dışında elde edilemez

Bu nedenlerden dolayı genellikle ayırık zamanlı olarak elde edilen değerler ile sürekli dalgacıkların ölçek ve kayıklık değerleri oluşturulur ve buradan sürekli dalgacık dönüşümü için sayısal sonuçlar elde edilir [58].



Şekil 3.8. CWT uygulama adımları

Bir sinyale CWT uygulanma adımları Şekil 3.8 gösterilmektedir. Bu prosedür şu adımlardan oluşur:

- Belirlenen bir dalgacık zaman eksenini boyunca kaydırılır.
- Analiz edilen sinyal ile her bir kaydırılmış dalgacığın iç çarpımı hesaplanır.
- Belirlenmiş ölçeğe göre dalgacık genişletilir.
- Belirlenen en büyük ölçek değerine kadar ilk üç adım tekrarlanır.

CWT analizinin sonucunda CWT katsayıları elde edilmiş olur. Bu katsayılar analiz edilen sinyal ile dalgacık arasındaki benzerlikleri yansıtır. Hem büyüklük bilgisini hem de faz bilgisini zaman-ölçek yada zaman-frekans ekseninde görmeye olanak sağlayan bir dalgacık dönüşümü tekniğidir. CWT tarafından elde edilen büyüklük

değeri sinyalin zarfını ifade eder. Faz bilgisi sinyalin zaman ilişkisi bilgilerini taşır [59].

3.3.2 Ayırık Dalgacık Dönüşümü (DWT)

Ayrık dalgacık dönüşümü, sürekli dalgacık dönüşümünün her ölçek için hesapladığı dalgacık katsayılarını hesaplamadığından gereksiz bilgi ve işlem yükünden kurtaran bir yöntem olarak karşımıza çıkar. Bu yöntemde seçilen ölçek ve pozisyonları ikinin üstleri biçiminde seçilir ve yapılan analiz daha etkili ve hızlı olur [60].

Ayrık dalgacık dönüşümü filtreleri kullanarak gerçekleşen bir yöntemdir. 1988 yılında Mallat tarafından gerçekleştirilen bir algoritmadır. Bu çok pratik filtreleme algoritması, dalgacık dönüşüm yöntemini CWT'ye göre daha hızlı ve verimli yapar. Ana sinyal detay ve yaklaşım katsayılarına ayrıştırılır [61].

Ayrık dalgacıklar sürekli dalgacıklara benzerdir ancak ölçek (a) ve pozisyon (b) parametreleri ayırık aralıklardan oluşur. Kullanılan dalgacıklar kendi içinde ve genişlemede ortogonal dönüşümlü olmalıdır. Ayırık dalgacıklar:

$$\Psi_{m,n}(t) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \Psi\left(\frac{t - nb_0 a_0^m}{a_0^m}\right) \quad (3.3)$$

şeklinde tanımlanır. Ayırık dalgacıklar bir ölçekleme fonksiyonu içerirler. Bu fonksiyon 'baba dalgacık' olarak da tanımlanır. Bu fonksiyon dönüşümde ve kendi ailesindeki diğer dalgacıklarla ortogonal olmalıdır. Ölçekleme fonksiyonu:

$$\Phi_{m,n}(t) = 2^{-\frac{m}{n}} \Phi((2^{-m})t - n) \quad (3.4)$$

şeklinde ifade edilir. İç çarpım yapılarak bir fonksiyonun dalgacıklar üzerine izdüşümü elde edilir. Aynı kural ölçekleme fonksiyonu için de uygulanır. Bu dönüşümler Eşitlik 3.5 ve 3.6 ile elde edilir.

$$T_{m,n} = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi_{m,n}(t) dt \quad (3.5)$$

$$s_{m,n} = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\Phi_{m,n}(t)dt \quad (3.6)$$

Dalgacıklar ve ölçkleme fonksiyonu ortogonaldır ve uygun bir temel oluştururlar. Girdi sinyali dalgacık ve ölçkleme fonksiyonun doğrusal olarak kombinasyonu kullanılarak:

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s_{m,n}\Phi_{m,n}(t) + \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} T_{m,n}\Psi_{m,n}(t) \quad (3.7)$$

şeklinde ifade edilir.

Buradaki n zamandaki kaymayı, m ise genişlemeyi ifade etmektedir. Gerçekte dalgacıklar bant geçirgen filtre olarak davranırken ölçkleme fonksiyonu ise alçak geçirgen bir filtre gibi davranır.

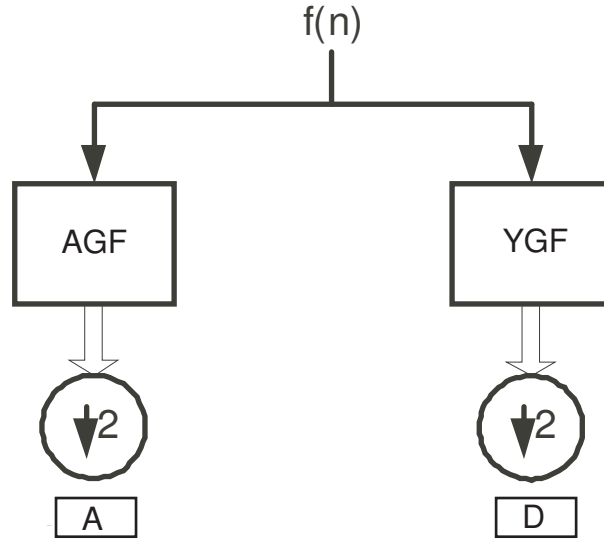
$$d_m(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} T_{m,n}\Psi_{m,n}(t) \quad (3.8)$$

$$a_m(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s_{m,n}\Phi_{m,n}(t) \quad (3.9)$$

Eşitlik 3.8 ve 3.9 dalgacık dönüşümü sonrasında elde edilen yaklaşım ve detay katsayılarını ifade eder. Burada m değeri arttıkça, yani dalgacık dönüşüm seviyesi büyüdükçe, dalgacık daha sıkıştırılır ve daha hızlı dalgalanma hareketini tamamlar. Bu tıpkı frekansı artan bir sinüs sinyali gibi de düşünülebilir.

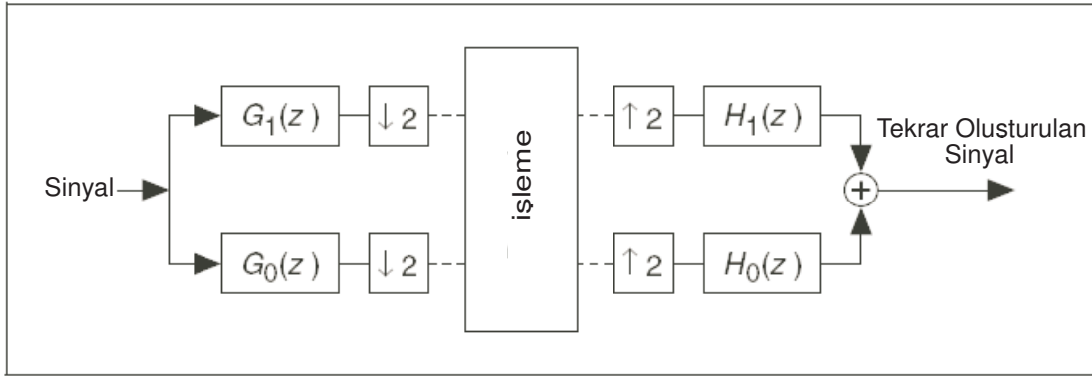
Şekil 3.9'de görülen 'alt bant kodlama' olarak adlandırılan analizde girdi sinyalinin dalgacık eksenine dönüşümünde çıktı olarak; A yaklaşım dalgacık katsayılarını, D ise detay dalgacık katsayılarını ifade etmektedir. Yaklaşım dalgacık katsayıları girdi sinyalinin alçak frekans bilgisini içerirken, detay katsayıları ise girdi sinyalinin yüksek frekans bilgisini içerir.

DWT'nin temel mantığı şu şekilde tanımlanabilir: Öncelikle zaman boyutundaki bir sinyal dalgacık boyutuna çevrilir. Bu işlemler sayısal filtre teknikleri kullanılarak yapılır. Burada ana sinyal bir taraftan alçak geçirgen bir filtreden (AGF) diğer taraftan da



Şekil 3.9. Tek Seviyeli DWT analizi

yüksek geçirgen bir filtreden (YGF) geçirilir. Ardından sinyalin örnek sayısı yarıya indirgenir. Sinyalin alçak frekans bilgileri alçak geçirgen filtrenin çıkışında elde edilebilirken yüksek frekans bilgisi ise yüksek geçirgen filtrenin çıkışında elde edilebilir.

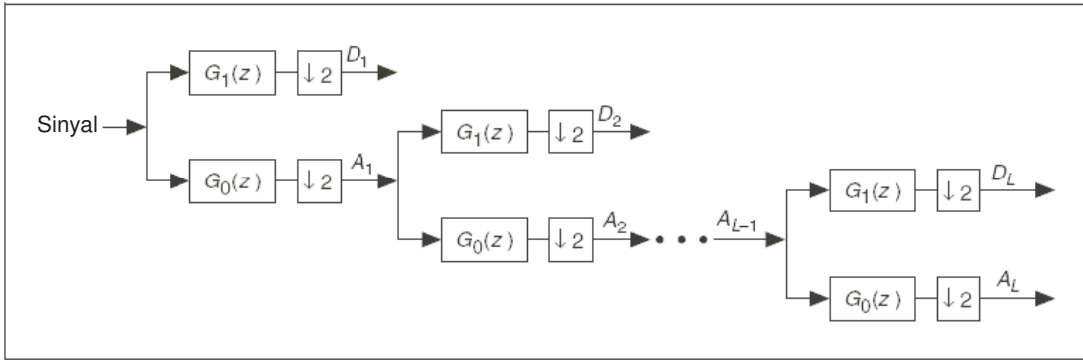


Şekil 3.10. 2 kanallı mükemmel tekrar oluşturmali filtre bankaları

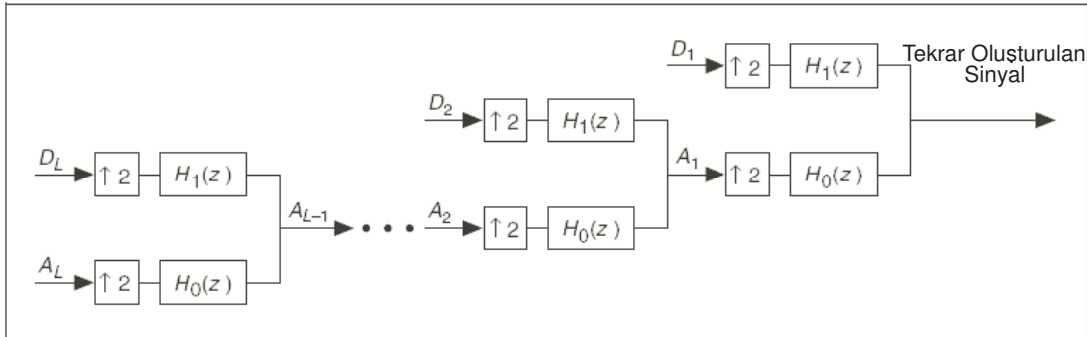
2 kanallı mükemmel tekrar oluşturma filtre bankaları Şekil 3.10'de görüldüğü gibi ayrık dalgacık analizi ile dalgacık katsayılarına ulaşmayı sağlarken diğer taraftan yapılan bazı işlemler sonrasında tekrar ters ayrık dalgacık dönüşümü uygulayarak girdi sinyalini çıkışta elde edebilmektedir [53].

Analiz filtrelemesi ve örnek sayısının yarıya indirilmesinden sonra herhangi bir işlem uygulanmazsa sentez filtre bankası olan $H_1(z)$ ve $H_0(z)$ 'in toplamları girdi sinyali ile zaman kayması dışında eşdeğerdir. Buradaki 2 seviyeli analizde $G_0(z)$ ve $G_1(z)$

analiz filtre bankası olarak ifade edilirken, $H_0(z)$ ve $H_1(z)$ sentez filtre bankası olarak ifade edilir. Geleneksel olarak $G_0(z)$ ve $H_0(z)$ alçak geçiren filtreler, $G_1(z)$ ve $H_1(z)$ yüksek geçiren filtrelerdir. Buradaki $\downarrow 2$ örnek sayısını yarıya indirmeyi ifade eder. Ayrık dalgacık dönüşümünün katsayıların gösterimi ile birlikte çok seviyeli olarak analizi ve bu katsayılardan tekrar girdi sinyalinin elde edilmesi işlemi olan sentez işlemi sırasıyla Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de gösterilmektedir. Analiz işleminde her seviyede sinyal alçak ve yüksek geçiren filtrelerden geçirildikten sonra örnek sayısı yarıya indirilirken sentez işleminde bu durumun tam tersi işlem uygulanır.



Şekil 3.11. Ayrık dalgacık dönüşümü

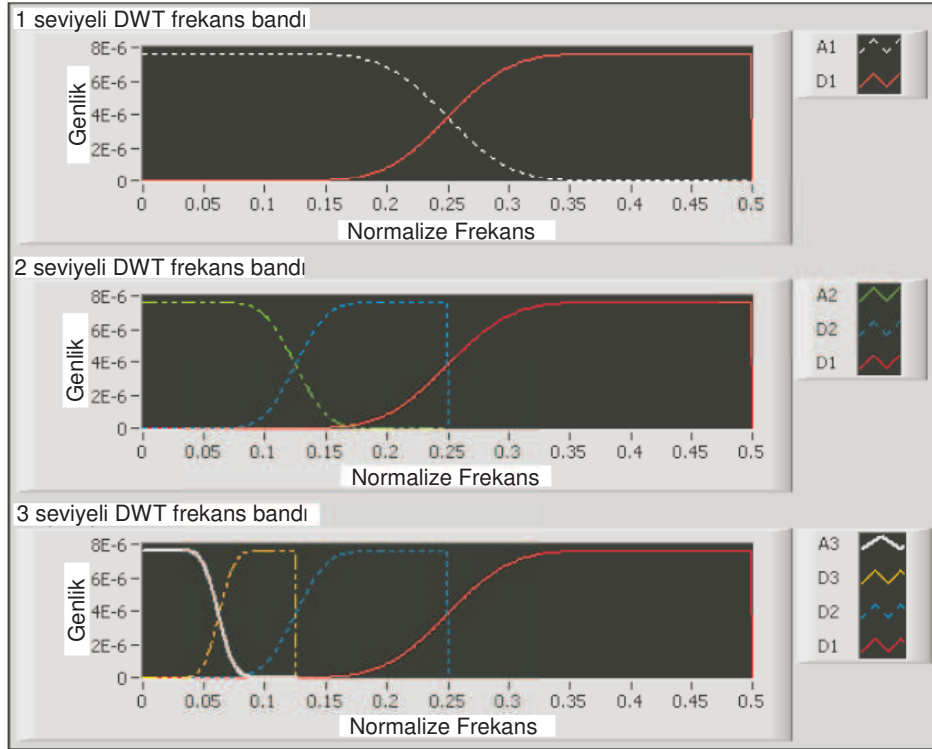


Şekil 3.12. Ters ayrık dalgacık dönüşümü

3.3.3 Çoklu Çözünürlüklü Analiz (MRA)

Ayrık dalgacık dönüşümündeki gibi bir sinyal her seviyede önce bir alçak geçiren filtre ve bir de yüksek geçiren filtreden geçirilir ve bu durum alçak geçiren filtre çıkışındaki sinyale her seviyede uygulanırsa çoklu çözünürlüklü analiz yöntemi uygulanmış olur. Birçok sinyal için sinyalin düşük frekanslı kısmı en önemli kısımdır. Yüksek frekanslı kısım ise sinyalin kendisiyle düşük frekanslı kısmı arasındaki farkı oluşturur. DWT ile elde edilen yaklaşım katsayıları yüksek ölçekli düşük frekanslı bileşenleri, detay katsayıları ise düşük ölçekli yüksek frekanslı bileşenleri içermektedir.

Yaklaşım ve detay katsayılarını çoklu seviyede analiz etmek için kullanılan MRA analizi istenen seviyeye kadar her seviyede aynı analiz filtrelerini kullanır. Çoklu çözünürlük kullanarak sinyalin frekans bilgisi üzerinde oluşabilecek herhangi bir güç kalitesi olayı için sinyal bileşenlerine ayrıştırılır.



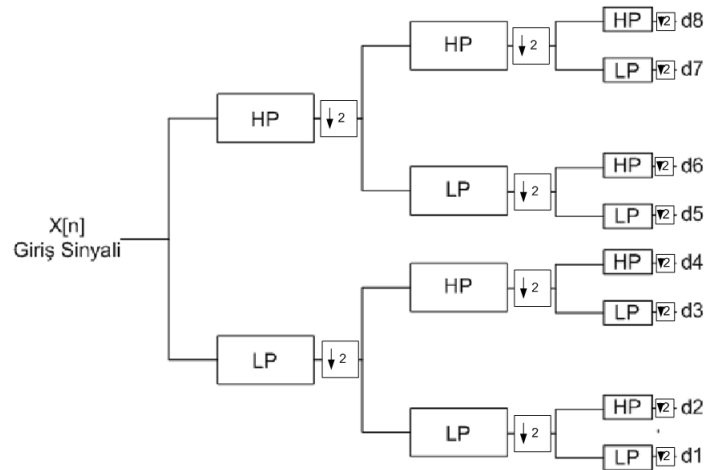
Şekil 3.13. 3 seviyeli çoklu çözünürlüklü analiz

Şekil 3.13'da db08 türü dalgacık ile çok çözünürlü DWT analizi gösterilmektedir. Burada ayrışma seviyesinin her artırımında detay katsayılarının frekans bandı yarıya inmektedir. Mesela D2'nin merkez frekansı ve frekans bant genişliği D1 için olan değerlerin yarısıdır. Ayrıca düşük sayılı seviyelerdeki yaklaşım katsayıları kendisinden önceki seviyenin tüm bilgisini taşır. Mesela A2'nin frekans bandı A3 ve D3'ün frekans bandını kapsamaktadır. DWT tabanlı çoklu çözünürlüklü analiz bir sinyalin anlaşılmasında ve özelliklerinin çıkarımında daha iyi sonuçlar verir. Özellikle sinyal analizlerinin tepe ve kenar tespiti işlemleri gibi işlemlerde sıklıkla kullanılır. Yine sinyal üzerindeki gürültü ve trend gideriminde kullanılan bir yöntemdir.

3.3.4 Ayırık Dalgacık Paket Dönüşümü (DWPT)

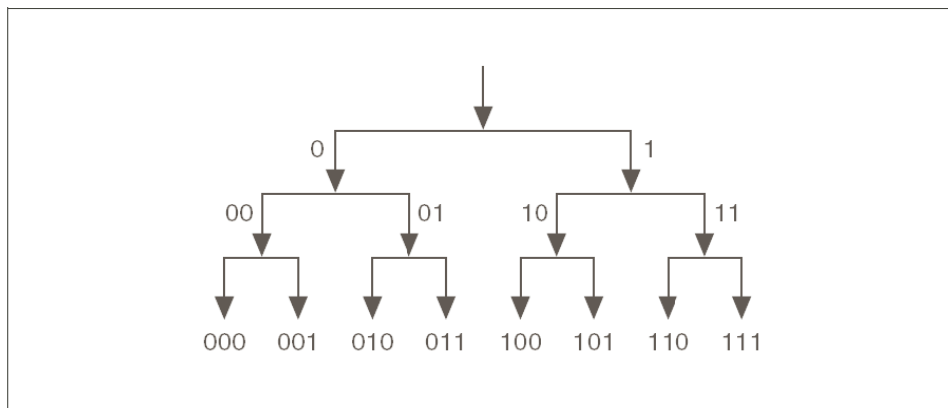
Ayrık dalgacık paket dönüşümü (DWPT) dalgacık dönüşümü yöntemlerinden biridir. Bu yöntemle asıl sinyal paketler halinde frekans parçalarına bölünerek sinyalin

üzerindeki farklı frekanslı bozulma bilgisinin elde edilmesi sağlanır. Daha çok harmonik analizlerinde kullanılır, çünkü frekans aralıkları analiz seviyesine göre çok küçük parçacıklara ayrılabilir. Kullanılacak seviyeye göre giriş sinyali düzgün dağılmış frekanslı katsayılarına dönüştürülebilir. Örneğin 3 seviyeli bir DWPT analizi Şekil 3.14'de gösterilmiştir. Örnekleme hızı 1600 örnek/saniye olarak alınırsa 3 seviyeli DWPT analizinde 100 Hz'lik bant genişliği olan 8 adet dalgacık katsayısı elde edilir. Bu da tek harmonikleri ana sinyalden ayırabilmek için iyi tasarlanmış filtreler sayesinde kullanılabilen iyi bir analiz yöntemidir.



Şekil 3.14. Ayrık dalgacık paket dönüşümü (DWPT)

DWPT ile ana sinyal ilk seviyeden başlayarak her seviyede hem detay hem de yaklaşım katsayıları tekrar ayrıştırılır. Böylece her seviyedeki frekans bandı bir sonraki seviyede ikiye bölünmüş olur. Şekil 3.15'de görülebildiği gibi ana sinyal ağaç görünümünde her bir seviyede ayrıştırmaya uğrar ve sonunda n seviye sayısı olmak üzere 2^n tane dalgacık katsayısı elde edilir.

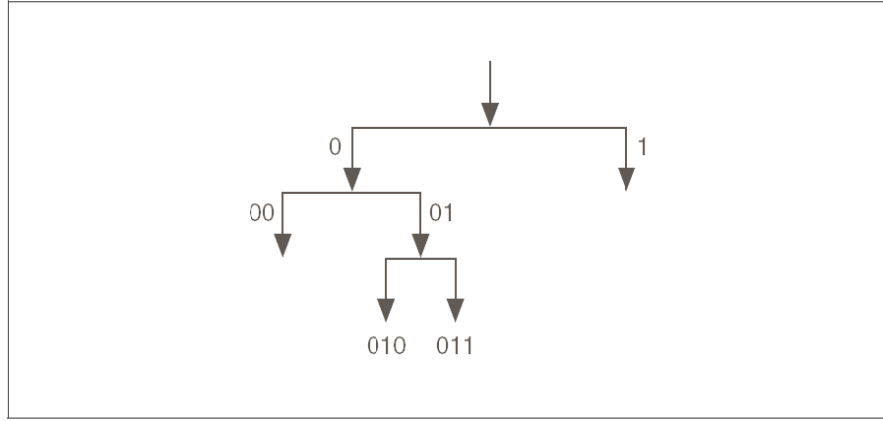


Şekil 3.15. 3 seviyeli ayrık zamanlı dalgacık ayrıştırma ağacı

Şekil 3.15'deki sayılar her bir seviyedeki dalgacık katsayıları için adresleri belirlemektedir. Adresler '0' ve '1' karakterlerinden oluşmakta, '0' karakteri alçak geçiren filtreden sonra örnek sayısının yarıya indirildiğini, '1' karakteri ise yüksek geçiren filtreden sonra örnek sayısının yarıya indirildiğini göstermektedir. DWPT ayrışmasına uğrayan her bir sinyal bu karakterler yardımıyla tanımlanabilir (Örneğin, 01,001,011 gibi).

Ara Frekans Sinyal Ayrıştırılması

Klasik DWPT analiz yönteminde sinyal ardışık olarak her seviyede hem alçak geçiren hem de yüksek geçiren filtrelerden geçirilir. Ancak ara frekans sinyal ayrıştırma yönteminde ana sinyal her seviyede ister alçak ister yüksek geçiren filtre olsun, istenilen sinyal katsayısına bağlı olarak analiz yapılır.



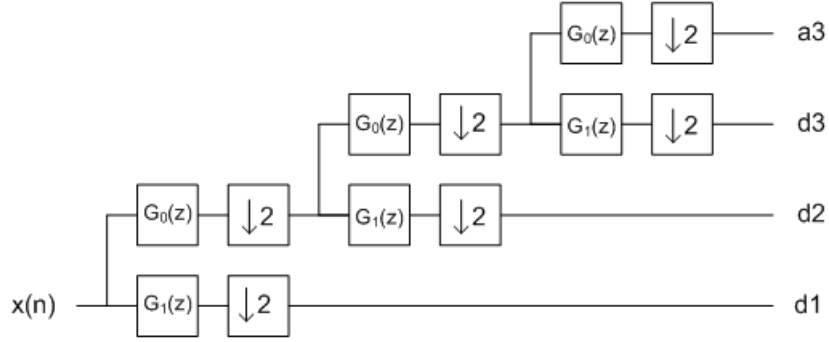
Şekil 3.16. Ara frekans dalgacık paket analizi

Örneğin Şekil 3.16'da 3 seviyeli bir DWPT yapılmış ancak bütün dalgacık katsayıları yerine istenilen ara frekanstaki dalgacık katsayısına ulaşma analizi yapılmıştır. Burada 011 adresli olan dalgacık katsayısına ulaşmak için ana sinyal önce bir alçak geçiren filtreden geçirilir (0), sonra bir yüksek geçiren filtreden geçirilir (1) ve en sonda da bir yüksek geçiren filtreden geçirilir (1). Her bir filtrelemeden sonra ara frekanstaki katsayılara ulaşmak harmonik analizi açısından önemli bir yöntemdir. Çünkü bu durumda istenilen harmonik bileşeni, sinyali doğru analiz seviyesiyle analiz ederek ve doğru katsayıya ulaşarak elde etmek mümkündür.

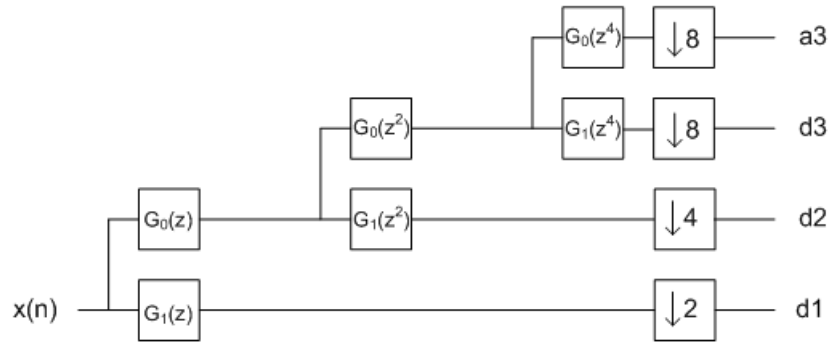
3.3.5 Örnek Seyreltilmemiş Dalgacık Dönüşümü (UWT)

DWT tekniğinde her bir ayrışma seviyesinde yaklaşım ve detay katsayılarının örnek sayısının ikiye indirilmesi işlemi örnek seyreltilmemiş dalgacık dönüşümü (UWT) tekniğinde yapılmayarak her seviyedeki sinyal uzunluğunun birbirine eşit olması sağlanmaktadır. Yani sinyalin örnek sayısı filtre çıkışlarından sonra yarıya indirilmemiştir.

Çoklu çözünürlüklü 3 seviyeli dalgacık analizi Şekil 3.17'deki gibi gösterilebilir. Burada her filtre çıkışı ister AGF ister YGF olsun örnek sayısı yarıya düşürülmektedir. Bu analizde her seviye sonunda uygulanan örnek sayısını yarıya düşürme işlemi son işlem olarak uygulandığında ise Şekil 3.18'da gösterilmiştir. UWT analizinde bu gösterim ele alındığında sonlarda uygulanan örnek seyreltme işlemlerinin olmadığı ve sadece girdi sinyalinin filtrelerden oluşan bir sitemden geçtiği düşünülebilir.



Şekil 3.17. 3 seviyeli çoklu çözünürlüklü dalgacık analizi

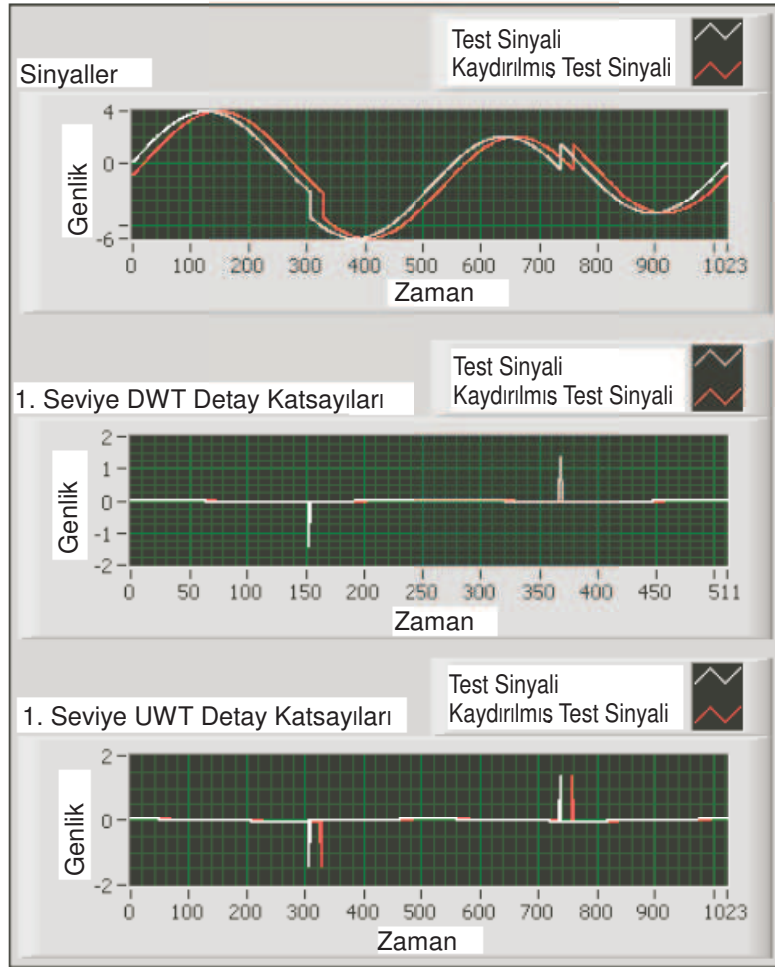


Şekil 3.18. 3 seviyeli çoklu çözünürlüklü dalgacık analizi eşdeğer gösterimi

Örüntü tanıma ve özellik belirleme işlemlerinde yeterli bir transfer yöntemidir. En büyük avantajı bu dönüşüm yöntemiyle dönüşüm zamanda kaymadan bağımsızdır. Yani giriş sinyalinde meydana gelen bir kayma çıkışta da tespit edilebilmektedir.

Şekil 3.19'te UWT ile DWT arasındaki farkı açık bir şekilde görmek mümkündür. Bu

şekilde kaymış sinyalden UWT etkilenmiyorken DWT olayların oldukları noktalarda bir değişiklik göstermemektedir.



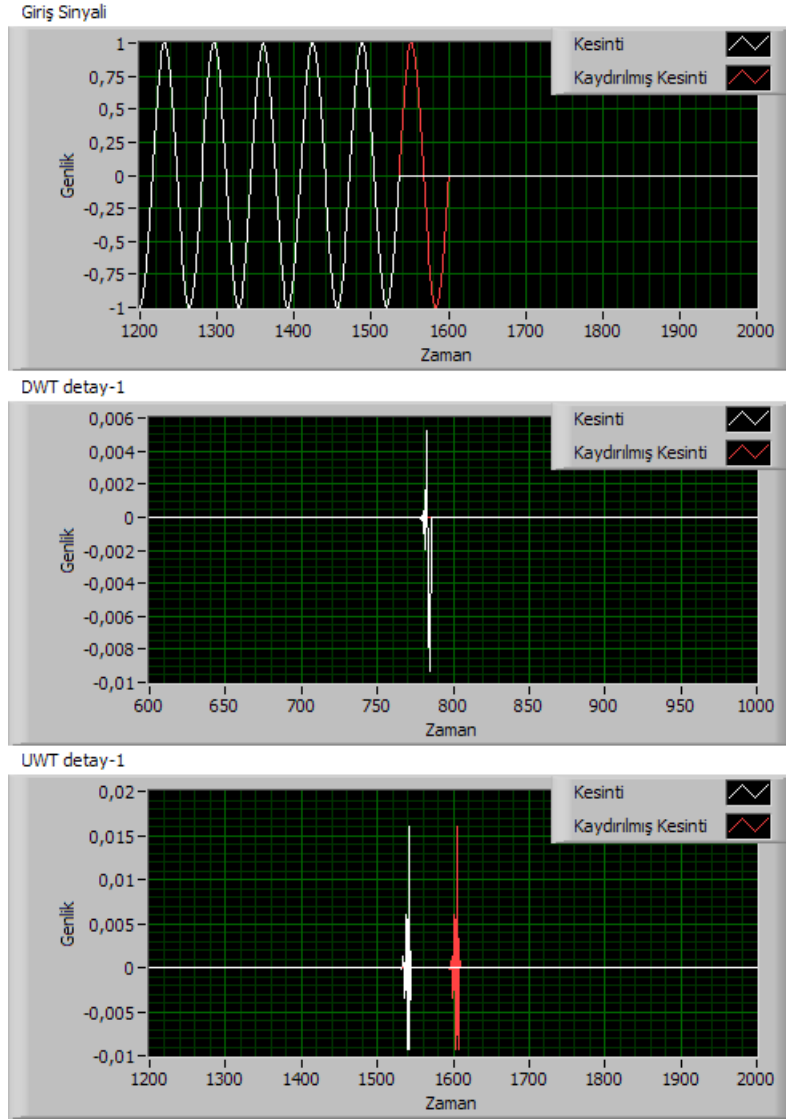
Şekil 3.19. DWT ile UWT arasındaki farkın tespiti

DWT'de 1. seviyedeki detay katsayısı sinyal üzerinde süreksizliği fark etmektedir. Ancak eğer giriş sinyali Şekil 3.19'da olduğu gibi zaman ekseninde kayarsa bu kez DWT'nin 1. seviye detay katsayıları çok küçük olduğundan fark edilmemektedir. Oysa aynı durumda giriş sinyaline tabi tutulan UWT ise sinyalin kayık halindeki süreksizlikleri de rahatlıkla tespit edebilmektedir. Benzer şekilde bir tek fazlı gerilim kesintisi olayı için Şekil 3.20'de her iki yöntemin farkı açık şekilde gösterilmiştir.

3.4 Dalgacıkların Temel Özellikleri

Dalgacıkların en temel özelliklerinden ikisi kabul edilebilir durum özelliği ve düzgünlük özelliği olarak söylenebilir.

Kabul edilebilir durum özelliği Eşitlik 3.10'de de gösterildiği gibi dalgacık fonksiyo-



Şekil 3.20. Gerçek sinyalde DWT ile UWT arasındaki farkın tespiti

nunun karesinin integrallenebilirlik özelliğiyle ilgilidir. Her bir dalgacık fonksiyonunun Fourier dönüşümünün genliklerinin karesinin o frekans değerine oranının integrali sonludur.

$$\int \frac{|\psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < +\infty \quad (3.10)$$

Bu özellik bir sinyali dalgacık ile analiz edip sinyali kaybetmeden tekrar oluşturabilmek anlamını taşır. İkinci özellik olan düzgünlük durumu özelliği ise dalgacığın Fourier dönüşümünün sıfır frekansında sıfır değerinin olduğu demektir. 3.11'de bu durum gösterilmiştir.

$$\|\psi(\omega)^2\|_{\omega=0} = 0 \quad (3.11)$$

Bu da dalgacığın salınan bir dalga şekli olması gerektiğini kanıtlar.

3.5 Yaygın Dalgacık Türleri

Bu kısımda, literatürde ve bu çalışmada sıkça kullanılan dalgacık türlerinden bahsedilmiştir. Her bir dalgacık türü için kullanım alanları ve örneklerinden bahsedilmiştir.

3.5.1 Haar Dalgacığı

Bilinen ilk dalgacık türü olarak değerlendirilebilir. Haar dalgacığı kesin bir fonksiyon serisi olarak tanımlanır. 1909 yılında Alfred Haar tarafından oluşturulmuştur. Haar bu fonksiyon serisini gerçek doğru üzerinde iki kez integrallenebilir fonksiyonlar uzayındaki fonksiyonlar için sayılabilir ortonormal sistem örneği oluşturmak için kullanmıştır. Haar dalgacığı Daubechies dalgacığının özel bir durumu olarak tanımlanır. Db01 dalgacığı olarak da tanımlanabilir. Haar ana dalgacığı:

$$\psi(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < 1/2, \\ -1 & 1/2 \leq t < 1, \\ 0 & \text{diğer durumlarda.} \end{cases} \quad (3.12)$$

şeklinde tanımlanır. Ölçekleme fonksiyonu ise:

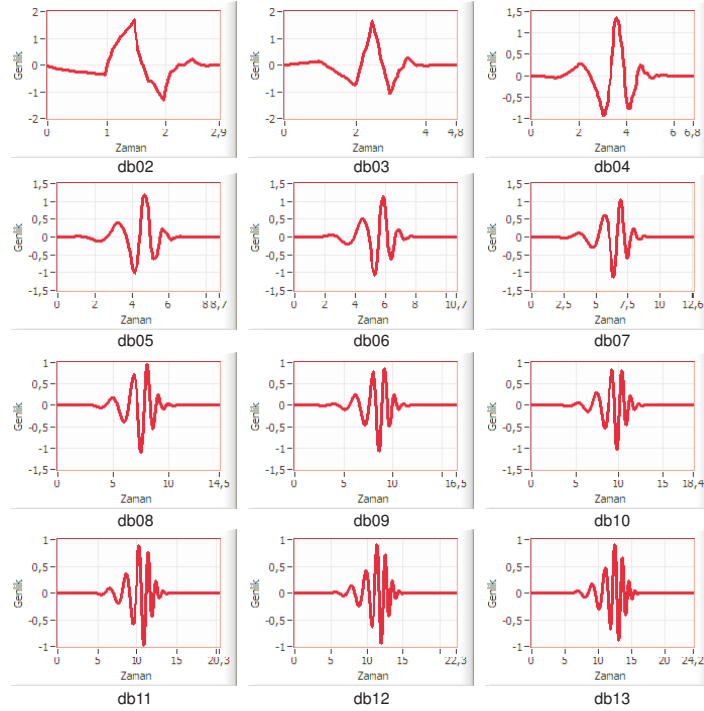
$$\phi(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < 1, \\ 0 & \text{diğer durumlarda.} \end{cases} \quad (3.13)$$

şeklinde tanımlanır. Haar dalgacığı mümkün olan en basit dalgacıktır. Teknik olarak bu dalgacığın dezavantajı süreksiz olması ve dolayısıyla türevlenebilir olmamasıdır [51].

3.5.2 Daubechies Dalgacıkları

Bu dalgacık türünü Ingrid Daubechies bulmuştur. Sıkı desteklenen ortonormal dalgacıklar olarak adlandırılır. Daubechies dalgacıkları ayrık dalgacık dönüşümünde

en sık kullanılan dalgacık türleri olarak bilinir. Şekil 3.21'de Daubechies dalgacık ailesi gösterilmiştir. Bu dalgacık ailesi dbN olarak gösterilir. Buradaki N sayısı sırayı, db ise dalgacığın soyadını ifade etmektedir [16]. Bu grafiklerden de anlaşıldığı gibi dalgacığın numarası büyüdükçe zaman ekseninde daha sık görülür. Bu özellik ani ve yüksek frekanslı değişimleri tespit etmede çok önemlidir.



Şekil 3.21. Daubechies dalgacık ailesi

3.5.3 Coiflets Dalgacıkları

Coiflet dalgacıkları, Ronald Coifman isteği ile Ingrid Daubechies tarafından tasarlanan Daubechies dalgacıklarına oranla daha simetrik olan dalgacıklardır. Daubechies dalgacıkları $N/2 - 1$ tane sıfır momenti varken, Coiflet ölçekleme fonksiyonunun $N/3 - 1$ ve dalgacık fonksiyonunun $N/3$ sıfır momenti vardır ².

3.5.4 Morlet Dalgacığı

Morlet dalgacığı literatürde çoğunlukla harmonikli sinyallerin analizlerinde kullanılan ve karmaşık sürekli zamanlı dalgacık türüdür. Şu şekilde tanımlanmaktadır:

$$\psi(t) = ce^{-At^2} e^{j\omega_0 t} \quad (3.14)$$

²<http://en.wikipedia.org/wiki/Coiflet>

Morlet dalgacığının kaydırılmış ve ölçeklendirilmiş hali kullanıldığında, Eşitlik 3.14

$$\psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) = ce^{-A\left(\frac{t-\tau}{a}\right)^2} e^{j\omega_0\left(\frac{t-\tau}{a}\right)} \quad (3.15)$$

şeklinde ifade edilir. Burada c sabit katsayıyı, ω_0 merkez frekansı, A ise bant genişliği parametresini, τ zamandaki kaymayı ve a ölçekleme değerini ifade etmektedir. Eşitlik 3.15'i sadeleştirmek için $\tau = 0$ alınırsa,

$$\psi\left(\frac{t}{a}\right) = ce^{-A\left(\frac{t}{a}\right)^2} e^{j\omega_0\left(\frac{t}{a}\right)} \quad (3.16)$$

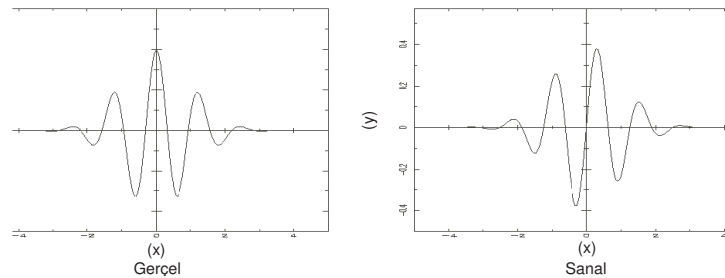
olarak elde edilir. Eşitlik 3.16'in Fourier dönüşümü ise,

$$\psi_a(\omega) = c \frac{a}{\sqrt{2A}} e^{-\frac{a^2}{4A}\left(\omega - \frac{\omega_0}{a}\right)} \quad (3.17)$$

olarak ifade edilir. Bant genişliği ise,

$$B = \frac{2\sqrt{A}}{a} \quad (3.18)$$

olarak elde edilmektedir. Şekil 3.22'de Morlet dalgacık fonksiyonu gösterilmektedir. Grafiklerden de görüldüğü gibi karmaşık bir dalgacık türü olduğu için hem gerçel hem de sanal bileşenlere sahiptir [62].



Şekil 3.22. Morlet dalgacık fonksiyonunun gerçel ve sanal kısımları

3.5.5 Meyer Dalgacığı

Frekans düzleminde tanımlanan Meyer dalgacığı literatürde görüntü işlemede kullanılan bir dalgacık türüdür. Özellikle son 15 yıldır, Meyer dalgacığı farklı ölçekteki

olayları belirlemedeki üstünlüğü nedeni ile çevre, fizik, matematik alanlarında verilerin analizinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [63].

3.5.6 Symlets Dalgacıkları

Symlets dalgacıkları Daubechies ailesi dalgacıklarıyla benzer özellikleri taşıyan dalgacıklardır. Daubechies dalgacıklarıyla simetriktir ve bu dalgacıkların şekillendirilmiş hali olarak karşılaşılr [61].

3.5.7 Biortogonal Dalgacıkları

Kullanıldığı dalgacık dönüşümünde dönüşüm terslenebilir olmalıyken ortogonal olma zorunluluğu taşımaz. İki dalgacık kullanılarak ilginç özellikler elde edilir. Biortogonal dalgacıklar üretmek ortogonal dalgacıklardan daha geniş imkanlar sunar. Mesela bu dalgacıkların üretilmesi simetrik dalgacık fonksiyonları üretmek için kullanılır [64].

4. BENZETİM TESTLERİ

Elektrik iletim ve dağıtım sisteminde meydana gelen güç kalitesi parametrelerinin bilgisayar ortamında benzetimi, analizi ve sınıflandırılması bu bölümde anlatılmaktadır. Bundan önceki başlıklar altında güç kalitesi parametreleri ve dalgacıklar incelenmiş ve bu dalgacıkların matematiksel ve grafiksel ifadeleri ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Yapılan analizlerde Labview ve Matlab yazılımları kullanılarak benzetimler yapılmıştır.

4.1 Kullanılacak Dalgacık Dönüşümü Türünün Seçimi

CWT bir sinyal verisi için belirlenen bir zaman aralığında tüm zaman boyunca işlem yapmaktadır. DWT ise örneklenen veri sinyali üzerinde adım adım rakamsal işlem uygulamaktadır. Bu işlem örneklenmiş bir sinyal verisi için uygulanmaktadır. Her iki tür dönüşümde de db10 türü dalgacık kullanılmıştır. Örnek bir giriş sinyali için işlem süreleri incelendiğinde Çizelge 4.1'de görülebildiği gibi CWT işlem süresi DWT işlem süresinin yaklaşık 17 katı kadar fazla bir işlem süresine sahiptir. Bu da CWT yönteminin bilgi fazlalığı yarattığını ve bu durumun daha fazla işlem ve hafıza gerektirdiğini göstermektedir. Bu nedenlerden dolayı bu tez çalışmasında anlık güç kalitesi parametrelerinin analizlerinde bu durum göz önünde tutularak DWT analiz yöntemi tercih edilmiştir.

Çizelge 4.1. CWT ve DWT işlem sürelerini karşılaştırılması

Dalgacık Dönüşüm Türü	İşlem Süresi
CWT	237 ms
DWT	14 ms

DWT analizi ile olayların tespit ve sınıflandırma yapılmasına karar verildikten sonra bu dönüşümün olay analizi sırasında yeterli olup olmadığının tespit edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle DWT analiz türlerinden uygun olanının seçilerek olay zaman ve süre tespiti ile olay tepe ve diplerinin tespitinde en iyi sonucu veren yöntemin bulunması çalışmaları yapılmıştır. Burada öncelikle UWT analiz yöntemi ile DWT analiz yöntemi karşılaştırmaları yapılmış ve en iyi sonucu veren yöntemin analizlerde kullanılmasına karar verilmiştir.

UWT ile DWT Analiz Yöntemlerinin Karşılaştırılması

DWT tekniğinde sinyal alçak geçirgen ve yüksek geçirgen filtrelere tabi tutulduktan sonra örnek sayısı yarıya indirilerek bir sonraki analiz seviyesine geçmektedir. UWT tekniğinde ise bu örnek sayısının yarıya indirilmesi işlemi uygulanmadan bir sonraki analiz seviyesine geçmektedir. UWT yöntemi kayma-bağımsızlığı özelliğine sahip bir dönüşüm yöntemidir. Yani sinyal üzerinde zaman ekseninde kaymış bir olaydan bağımsız olarak o olayın tespitinde başarılıdır [64].

Şekil 3.19'te UWT ile DWT analizlerine girdi olarak gönderilmiş bir olay sinyalinin olay noktalarının nasıl tespit edildiği gösterilmektedir. UWT çıkışında elde edilen detay-1 dalgacık katsayısı olay sinyalinin 21 örnek kaydırılmış halinin tespitinde de oldukça başarılıdır. Ancak DWT analizi detay-1 dalgacık katsayıları kaydırılmış sinyal için çok küçük değerlere dönüşmekte ve detay-1 katsayılarıyla bu olayın tespit edilmesi mümkün olmamaktadır. Bu nedenlerle bu tez çalışmasında anlık güç kalitesi olaylarının tespitinde UWT yöntemi kullanılmıştır.

4.2 Kullanılacak Dalgacık Türünün Seçimi

Kısa süreli güç kalitesi olayları olayın olduğu anda yüksek frekanslı bilgiler içermektedirler. Bu yüksek frekanslı bilgiler olayın tespit ve sınıflandırmasında önemli bir yer tutmaktadır. Seçilecek analiz seviyesi sayısı bu yüksek frekans bilgilerini 50 Hz'lik ana sinyalden ayırt edebilecek ve örnekleme frekansını göz önünde tutarak bu dalgacık analiz seviyelerinde her bir dalgacık katsayısının frekans bandına göre olay bilgisinin ne kadarını içerdiklerini belirleyebilecek düzeyde olmalıdır.

Bu tez çalışmasında geçici süreli güç kalitesi olaylarında 3 seviyeli dalgacık analizi 3200 Hz örnekleme frekansında olay tespit ve sınıflandırma işlemleri için yeterlidir. 3 seviyeli analizin detay-1, detay-2 ve detay-3 dalgacık katsayıları ile sırasıyla 800-1600 Hz, 400-800 Hz ve 200-400 Hz aralıklarındaki bilgileri taşımaktadır. Yaklaşım-3 dalgacık katsayısı ise 0-200 Hz'lik bilgiyi taşımaktadır. Daha küçük bir analiz seviyesi seçmek detay bileşenlerinin az sayıda olması ve tüm yüksek frekans bilgisinin daha az sayıda katsayı içerisinde yer almasına neden olmaktadır. Ayrıca yaklaşım katsayısı da daha yüksek bir aralığı içerdiğinden orjinal girdi sinyali yapısından farklılık gösterme eğiliminde olmaktadır. 50 Hz'lik sinyalin analizlerde kullanıldığı düşünüldüğünde orjinal 50 Hz girdi sinyaline yakın özellik göstermesi önemlidir. 3 sevi-

yeden daha fazla olarak mümkün olabilecek analiz seviyesi 4'dür. Bunun üzerindeki seviyelerde 50 Hz bileşeni diğerlerinden ayırt edilemediğinden daha yüksek seviye seçilmesi analiz ve sınıflandırma işlemlerini güçleştirmektedir. 4 seviyeli bir analiz ise 3 seviyeli bir analize göre daha fazla filtre içerdiğinden zaman ve hafıza bakımından daha olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Bu nedenlerle analiz ve sınıflandırma işlemlerinde 3 seviyeli UWT tekniği yeterli görülmüş ve kısa süreli değişimlerde bu teknik ve seviyeler kullanılmıştır.

Analiz seviyesine karar verildikten sonra hangi dalgacık türünün güç kalitesi olaylarının tespitinde daha etkin sonuçlar verdiği belirlenmiş ve bu sonuçlar ışığında analizlerde kullanılacak dalgacık türüne karar verilmiştir. Öncelikle örnek bir olay sinyali referans alınarak bu sinyal üzerindeki olayın tespitinde 3 seviyeli bir analizde hangi dalgacık türünün ne tür sonuçlar ürettikleri incelenmiştir. Referans gerilimine göre %50'lik bir gerilim çukuru sinyalinin farklı dalgacık türleri kullanılarak olay başlangıç, bitiş ve uzunluklarının tespit ve analiz sonuçları Çizelge 4.2'de gösterilmektedir. Buradaki TE, tespit edilemedi anlamında kullanılmıştır. Girdi sinyali 320 ms uzunluğunda olarak tasarlanmış ve analiz işlemine tabi tutulmuştur. Olay uzunlukları dikkate alındığında db10, bior1-5, bior3-7 ve coif2 dalgacıkları ile yapılan analizler hatasız olarak olay uzunluğunu tespit edebilmişlerdir.

Yapılan analizler ışığında en iyi sonucu veren iki dalgacık türü olarak db10 ve coif2 dalgacıkları belirlenmiştir. Literatürde yapılmış çalışmalarda da olay analiz ve sınıflandırmasında en iyi sonucu db türü dalgacıkların verdiği tespit edilmiştir. Özellikle yavaş değişim gösteren güç kalitesi olaylarının analizinde db10 türü dalgacık kullanılmıştır [23]. Bu durumlar göz önünde tutularak yapılan analizlerde db10 türü dalgacığın kullanılmasına karar verilmiştir.

4.3 Seçilen Dalgacıkların İncelenmesi

Bu kısımda bu tez çalışmasında güç kalitesi parametrelerinin analizinde kullanılan dalgacık filtrelerinin frekans tepkisi ve grup gecikmesi gibi özellikleri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar olay tespit ve sınıflandırma analizlerinde kullanılmıştır.

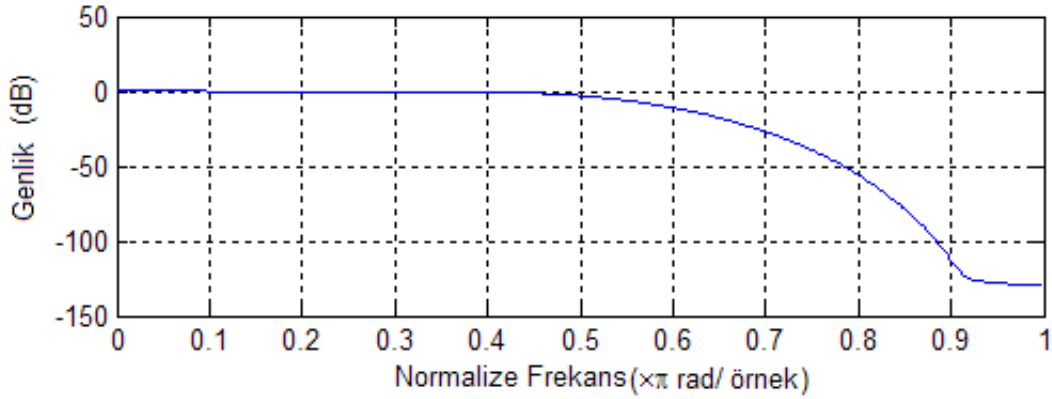
Çizelge 4.2. Gerilim çukuru olayının tespitinde farklı dalgacık türlerinin kullanımı

Dalgacık Türü	Olay Başlangıç	Olay Bitiş	Uzunluk
Haar	TE	TE	TE
db02	TE	TE	TE
db03	TE	TE	TE
db04	155,31 ms	476,88 ms	321,57 ms
db05	155,94 ms	477,19 ms	321,25 ms
db06	155,31 ms	475,31 ms	320 ms
db08	156,56 ms	477,50 ms	320,94 ms
db10	156,25 ms	476,25 ms	320 ms
bior 1 – 3	TE	TE	TE
bior 1 – 5	156,25 ms	476,25 ms	320 ms
bior 2 – 2	TE	TE	TE
bior 2 – 4	155,63 ms	476,88 ms	321,25 ms
bior 2 – 6	155,63 ms	476,88 ms	321,25 ms
bior 2 – 8	155,94 ms	476,88 ms	320,94 ms
bior 3 – 1	TE	TE	TE
bior 3 – 3	TE	TE	TE
bior 3 – 7	156,25 ms	476,25 ms	320 ms
coif1	TE	TE	TE
coif2	157,19 ms	477,19 ms	320 ms
coif4	156,88ms	477,81 ms	320,93 ms
coif5	157,19 ms	478,13 ms	320,94 ms
sym2	TE	TE	TE
sym4	155,63 ms	476,56 ms	320,93 ms
sym6	155,63 ms	476,56 ms	320,93 ms
sym8	155,63 ms	476,56 ms	320,93 ms
TE: Tespit Edilemedi			

4.3.1 Seçilen Dalgacıkların Frekans Tepkisi Analizi

Daha önce yapılan analizler ışığında db10 dalgacık türünün güç kalitesi parametrelerinin analizlerde kullanılmasına karar verilmişti. Bu dalgacık türü için analiz alçak

geçirgen filtrenin frekans tepkisi değişimi Şekil 4.1'de gösterildiği gibidir. Genlik değeri geçiş frekans aralığında $\sqrt{2}$ değerine bölünmüş ve gerçek değer elde edilmiştir. Böylece y ekseninde ifade edilen genlik değeri 0 decibel (dB) değerinden başlatılmıştır. $0.5 \times \pi$ rad/örnek filtrenin kesim frekansıdır. Bu frekans değerinde filtre -3 dB değerine ulaşmıştır. Buradaki genlik tepkisi AGF ölçekleme fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 4.1. Db10 dalgacığın analiz AGF frekans tepkisi

Gerçek ve benzetim analizlerinde kullanılan db10 dalgacığının için filtre katsayıları Matlab programı ile frekans tepkisi analizlerinde kullanılmıştır. 3200 Hz örnekleme ile yapılan analizlerde AGF için ve YGF için kesim frekansı 800 Hz'dir. YGF db10 için ana dalgacık fonksiyonu olarak ifade edilebilmektedir.

4.3.2 Analizde Kullanılan Dalgacıklar İçin Filtrelerinin Grup Gecikmesi Analizi

Analizler sırasında kullanılan dalgacık filtreleri gerçek sinyal verisini gecikmiş olarak çıkışa gönderirler. Grup gecikmesi olarak adlandırılan bu değer olay verilerinin başlangıç ve bitiş noktalarının tespitinde doğru değer elde edebilmek için oldukça önemlidir.

Sayısal bir filtre için faz tepkisi $\Theta(\omega)$ olarak tanımlanmaktadır. Burada girdi sinyalinin her bir sinüzoidal bileşeni radyan cinsinden bir faz kaymasına maruz kalır. Bu durum faz gecikmesi olarak adlandırılmaktadır [65].

Doğrusal zamandan bağımsız (LTI) bir filtre için $\Theta(\omega)$ faz tepkisi cinsinden grup gecikmesi,

$$\tau(\omega) = -\frac{d}{d\omega}\Theta(\omega) \quad (4.1)$$

şeklinde ya da,

$$\tau(\omega) = -\Im\left\{\frac{H'(\omega)}{H(\omega)}\right\} = -\Im\left\{\frac{\partial H(\omega)}{\partial \omega} \frac{1}{H(\omega)}\right\} \quad (4.2)$$

şeklinde tanımlanır. Burada \Im sanal kısım olarak tanımlanmaktadır. Eşitlik 4.2'de,

$$H'(\omega) = \frac{\partial H(\omega)}{\partial \omega} \quad (4.3)$$

olarak ifade edilmektedir. Farklı frekans değerleri için grup gecikmesi Eşitlik 4.2 kullanılarak hesaplanabilir.

Nedensel filtrelerin çıkışları geçmiş ve şimdiki girdilere bağılıyken nedensel olmayan filtrelerin çıkışları gelecek girdilere de bağılıdır. Bu kısımdaki grup gecikmesi değerlerinde nedensel olmayan kaymalar dikkate alınarak orjinal grup gecikmelerinden 10 örnek çıkarılarak grafikler çizilmiştir. Kullanılan nedensel olmayan filtreler,

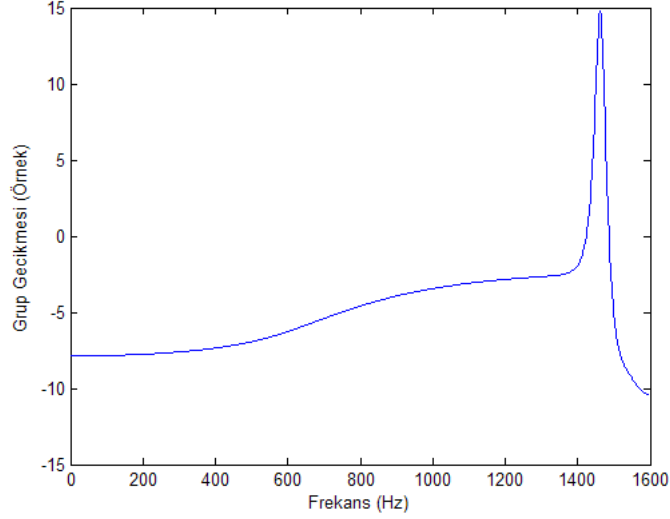
$$G_0(z) = z^{\frac{N}{2}} \sum_{n=0}^N g_{0n} z^{-n} \quad (4.4)$$

$$G_1(z) = z^{\frac{N}{2}} \sum_{n=0}^N g_{1n} z^{-n} \quad (4.5)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada N örnek sayısını ifade etmektedir.

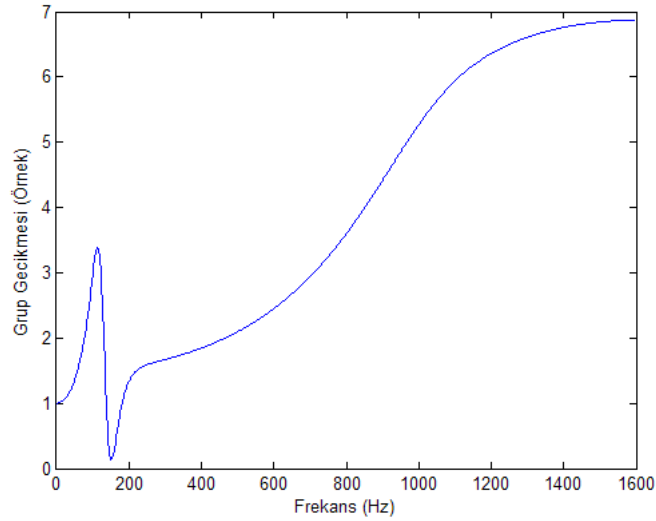
UWT analizlerinde kullanılan db10 dalgacı için filtrelerin grup gecikmesi hesaplanarak elde edilen olay başlangıç ve bitiş noktalarını hesaplarken dikkate alınmaktadır. Matlab programı ile Labview'de analizlerde kullanılan filtre katsayıları yardımıyla grup gecikmesi hesaplanmaktadır.

Şekil 4.2'de db10 dalgacı için AGF'si için frekansa göre grup gecikmesi miktarı verilmiştir. Grup gecikmesi değerlerinde Her bir frekans değeri için grup gecikmesi miktarı değişmektedir. UWT analizinde her seviyede hem detay bileşenler hem de



Şekil 4.2. Db10 dalgacığı analiz AGF grup gecikmesi değişimi

yaklaşım bileşenleri farklı grup gecikmesi değerlerine sahip olmaktadır. Bu nedenle elde edilen katsayının gecikme miktarında hangi seviyede olduğuna dikkat etmek gerekmektedir.



Şekil 4.3. Db10 dalgacığı analiz YGF grup gecikmesi değişimi

Dalgacık analizinde yüksek geçirgen filtrenin grup gecikmesi miktarı ise Şekil 4.3'de verilmiştir. Alçak geçirgen filtre gecikmesine oranla daha yüksek bir gecikme getiren YGF, her bir frekans değerinde farklı bir gecikme getirmektedir. Analizlerde kullanılan detay-1, detay-2, detay-3 ve yaklaşım-3 dalgacık katsayılarının grup gecikmesi miktarları birbirinden farklıdır.

Birinci Seviyede Grup Gecikmesi Değerleri

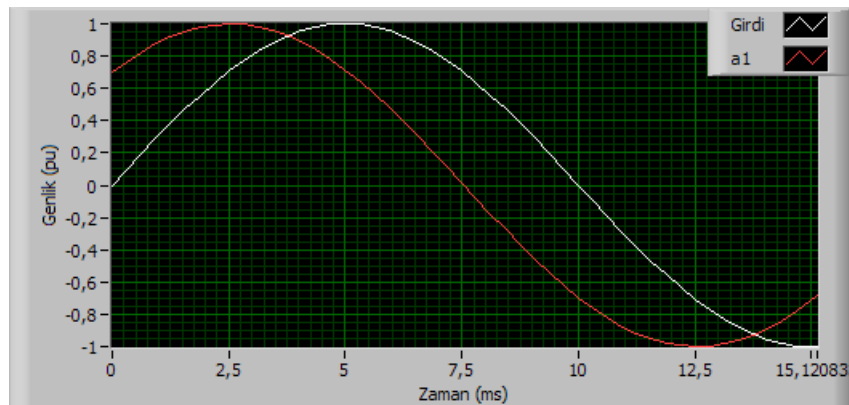
UWT analizi birinci seviyesinde elde edilen yaklaşım-1 (a1) ve detay-1 (d1) bileşenleri için ayrı ayrı grup gecikmesi hesaplanmaktadır. Yaklaşım-1 katsayısı için 0-800 Hz bandı, detay-1 katsayısı için ise 800-1600 Hz aralığındaki frekans bandı dikkate alınmaktadır. Şekil 3.18'den örnek seyreltmeler yok sayılarak her iki dalgacık katsayısını elde edebilmek için,

$$G_{a1}(z) = G_0(z) \quad (4.6)$$

$$G_{d1}(z) = G_1(z) \quad (4.7)$$

filtreleri kullanılmaktadır. Burada $G_{a1}(z)$ a1'i elde etmek için, $G_{d1}(z)$ ise d1'i elde edebilmek için kullanılır. Elde edilen a1 dalgacık katsayısı için yaklaşık olarak -2,46 ms ve d1 dalgacık katsayısı için yaklaşık olarak 1,85 ms grup gecikmesi değerleri bulunmuştur.

Bu durum benzer şekilde girdi sinyali olarak sinüs verilerek tek seviyeli db10 dalgacıklı UWT analizinden elde edilen a1 katsayısı incelenerek bulunmuştur. Yukarıda hesaplanan -2,46 ms değerinin negatif olması zamanda ilerde olmayı ifade etmektedir. Şekil 4.4'de de görülebildiği gibi a1 katsayısı girişteki saf sinüsten zaman ekseninde yaklaşık 2,5 ms daha öndedir. Bu iki değer arasındaki fark grup gecikmesi hesaplanırken ortalama ve yaklaşık değer alındığındandır. Bu gecikme olay analizlerinde dikkate alınmış ve gecikmeler elde edilen analiz sonuçlarına eklenmiştir.



Şekil 4.4. Saf sinüs ile a1 dalgacık katsayısı arasındaki gecikme

İkinci Seviyede Grup Gecikmesi Değerleri

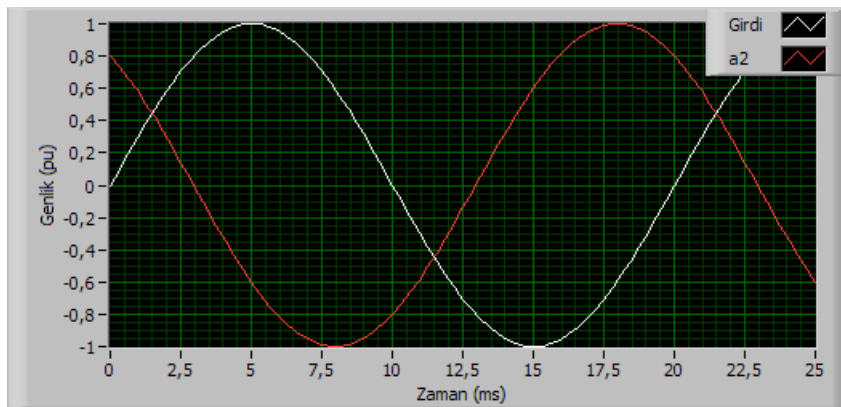
UWT analizi ikinci seviyesinde elde edilen yaklaşım-2 (a2) ve detay-2 (d2) bileşenleri için ayrı ayrı grup gecikmesi hesaplanmaktadır. Yaklaşım-2 katsayısı için 0-400 Hz bandı, detay-2 katsayısı için ise 400-800 Hz aralığındaki frekans bandı dikkate alınmaktadır. Şekil 3.18'den örnek seyreltmeler yok sayılarak her iki dalgacık katsayısını elde edebilmek için,

$$G_{a2}(z) = G_0(z)G_0(z^2) \quad (4.8)$$

$$G_{d2}(z) = G_0(z)G_1(z^2) \quad (4.9)$$

filtreleri kullanılmaktadır. Burada $G_{a2}(z)$ a2'yi elde etmek için, $G_{d2}(z)$ ise d2'yi elde edebilmek için kullanılır. Elde edilen a2 dalgacık katsayısı için yaklaşık olarak -7,36 ms ve d2 dalgacık katsayısı için yaklaşık olarak 1,78 ms grup gecikmesi değerleri bulunmuştur.

Bu durum benzer şekilde girdi sinyali olarak sinüs verilerek 2 seviyeli db10 dalgacıklı UWT analizinden elde edilen a2 katsayısı incelenerek bulunmuştur. Yukarıda hesaplanan -7,36 ms değerinin negatif olması zamanda ilerde olmayı ifade etmektedir. Şekil 4.5'de de görülebildiği gibi a2 katsayısı girişteki saf sinüsten zaman ekseninde yaklaşık 7,5 ms daha öndedir. Hesaplanan değer ortalama ve yaklaşık değerler olduğundan gözlemlenen değer arasında fark vardır.



Şekil 4.5. Saf sinüs ile a2 dalgacık katsayısı arasındaki gecikme

Üçüncü Seviyede Grup Gecikmesi Değerleri

UWT analizi üçüncü seviyesinde elde edilen yaklaşım-3 (a3) ve detay-3 (d3) bileşenleri için ayrı ayrı grup gecikmesi hesaplanmıştır. Yaklaşım-3 katsayısı için 0-200 Hz bandı, detay-2 katsayısı için ise 200-400 Hz aralığındaki frekans bandı dikkate alınmıştır. Şekil 3.18'den örnek seyreltmeler yok sayılarak her iki dalgacık katsayısını elde edebilmek için,

$$G_{a3}(z) = G_0(z)G_0(z^2)G_0(z^4) \quad (4.10)$$

$$G_{d3}(z) = G_0(z)G_0(z^2)G_1(z^4) \quad (4.11)$$

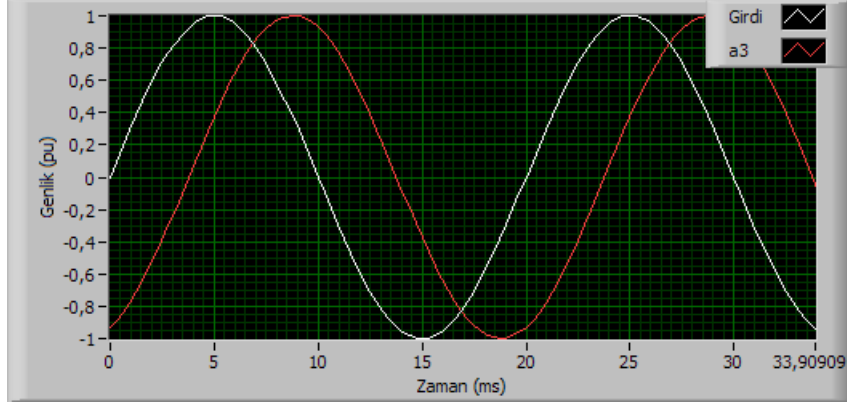
filtreleri kullanılmaktadır. Burada $G_{a3}(z)$ a3'ü elde etmek için, $G_{d3}(z)$ ise d3'ü elde edebilmek için kullanılır. Elde edilen a3 dalgacık katsayısı için yaklaşık olarak -17,06 ms ve d3 dalgacık katsayısı için yaklaşık olarak 1,19 ms grup gecikmesi değerleri bulunmuştur.

Bu durum benzer şekilde girdi sinyali olarak sinüs verilerek 3 seviyeli db10 dalgacıklı UWT analizinden elde edilen a3 katsayısı incelenerek bulunmuştur. Yukarıda hesaplanan -17,06 ms değerinin negatif olması zamanda ilerde olmayı ifade etmektedir. Şekil 4.6'da da görülebildiği gibi a3 katsayısı girişteki saf sinüsten zaman ekseninde yaklaşık 16,5 ms daha öndedir. Girdi sinyalinin frekansı 50 Hz olduğundan 20 ms 1 çevrim zamanını ifade etmektedir. Burada zaman ekseninde a3 katsayısı yaklaşık $20 - 16,5 = 3,5$ ms geride görülmektedir. Diğer seviyelerdeki farklara benzer şekilde hesaplanan ile gözlemlenen değer arasındaki fark grup gecikmesi olarak ortalama ve yaklaşık değerler kullanıldığındandır.

3 seviyeli UWT analizi sonucunda filtrelerden kaynaklanan grup gecikmesi miktarları Çizelge 4.3'de verilmiştir. Görüldüğü gibi seviye sayısı arttıkça yaklaşım katsayılarının gecikme miktarları da artmıştır.

4.4 Güç Kalitesi Olaylarının DWT Kullanarak Labview Yazılımı ile Testleri

Uluslararası IEEE 1159-1995 standardıyla belirlenmiş olan güç kalitesi parametrelerinin sınır değerleri referans alınarak oluşturulan güç kalitesi bozulma türlerinin Labview yazılımıyla analizleri yapılmıştır. Burada farklı bozulma oranlarına sahip



Şekil 4.6. Saf sinüs ile a3 dalgacık katsayısı arasındaki gecikme

Çizelge 4.3. 3 seviyeli db10 dalgacıklı UWT analizi gecikme miktarları

Seviye	Dalgacık Katsayısı	Grup Gecikmesi
1	Yaklaşım-1	-2,46 ms
1	Detay-1	1,85 ms
2	Yaklaşım-2	-7.36 ms
2	Detay-2	1.78 ms
3	Yaklaşım-3	-17,06 ms
3	Detay-3	1.19 ms

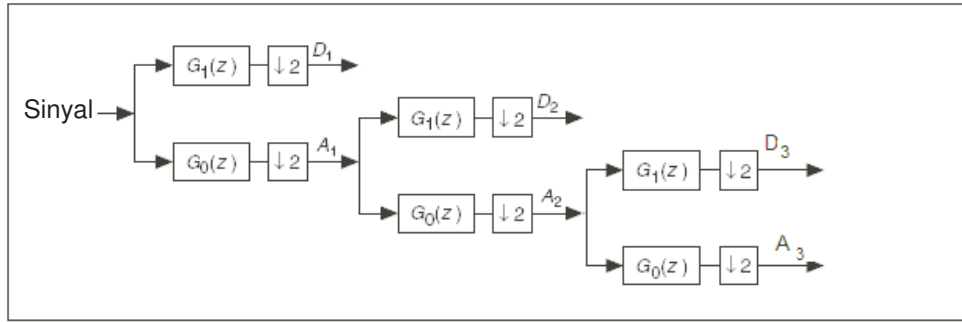
olan güç kalitesi bozulma türlerinin DWT sonrası nasıl analiz edilerek ayırt edildiği ve bu sinyallerin bu analizlerde gösterdikleri tepkilere yer verilmiştir. Bu kısımdaki bütün sinyaller 3200 Hz örnekleme hızında örneklenecek db10 dalgacık fonksiyonu kullanılarak 3 seviyeden analiz yapılmıştır.

Her bir güç kalitesi olayının dalgacık analizi ile elde edilen dalgacık katsayılarının enerji miktarları o olaylar hakkında bilgiler vermektedir. Matlab programı yazılımı ile olay sinyallerinin dalgacık katsayılarının davranışı ve enerji miktarları hakkındaki analizlere Ek 4'de yer verilmiştir. Elde edilen sonuçlar olay sınıflandırılmasında fikir edinmek için önemlidir.

Alçak geçiren ve yüksek geçiren filtrelerin çıkışlarında örnekleme sayısını yarıya indirerek ani değişimlerden kurtulup daha durağan bir çıkış elde etmek mümkündür.

Güç kalitesi parametreleri olarak tanımlanmış olan olaylar temel olarak 50 Hz'lik ana bileşen üzerine binmiş yüksek frekanslı sinyalleri barındıran olaylardır. Çoğun-

lukla sinyal üzerindeki ani değişimleri inceleyen dalgacık dönüşümü tekniğiyle yüksek frekanslı bileşenlerin ayırt edilmesi mümkündür. Olay sinyali üzerindeki düşük frekanslı bileşenlerin zamana göre değişimleri yavaş olduğundan çok da kritik olmayan zaman analizi gerekirken, frekans çözünürlüğü iyi bir analizden geçmeleri gerekir. Yüksek frekanslı sinyaller içinse tersi durum söz konusudur. Bunlar için zamanla sinyalin değişimi hızlı olduğundan iyi bir zaman analizi gerekirken çok da kritik olmayan frekans analizi yeterli olur. İşte bu gereklilikleri sağlayacak yöntem çoklu çözünürlük yöntemidir. Bu yöntem sayesinde düşük frekanslı ve yüksek frekanslı sinyallerin birbirinden kolayca ayrılması sağlanabilmektedir. Şekil 4.7'de yer alan olayların tümünde analiz yöntemi olarak Labview8.0 programının çoklu analiz kodlama blokları oluşturulan algoritmalar için kullanılmıştır.



Şekil 4.7. Olayların 3 seviyeli dalgacık analizi

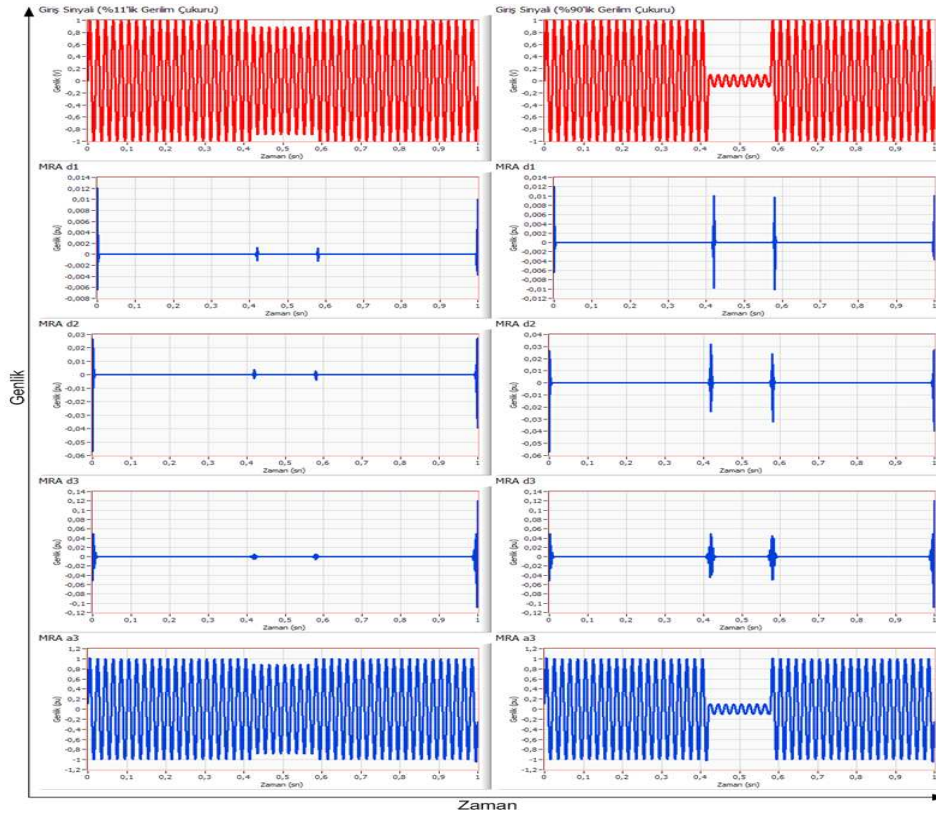
Şekil 4.7'de elde edilen dalgacık katsayılarının frekans aralıkları şu şekildedir:

- D1 = 800-1600 Hz aralığındaki sinyal bileşenlerini taşır
- A1 = 0-800 Hz aralığındaki sinyal bileşenlerini taşır
- D2 = 400-800 Hz aralığındaki sinyal bileşenlerini taşır
- A2 = 0-400 Hz aralığındaki sinyal bileşenlerini taşır
- D3 = 200-400 Hz aralığındaki sinyal bileşenlerini taşır
- A3 = 0-200 Hz aralığındaki sinyal bileşenlerini taşır

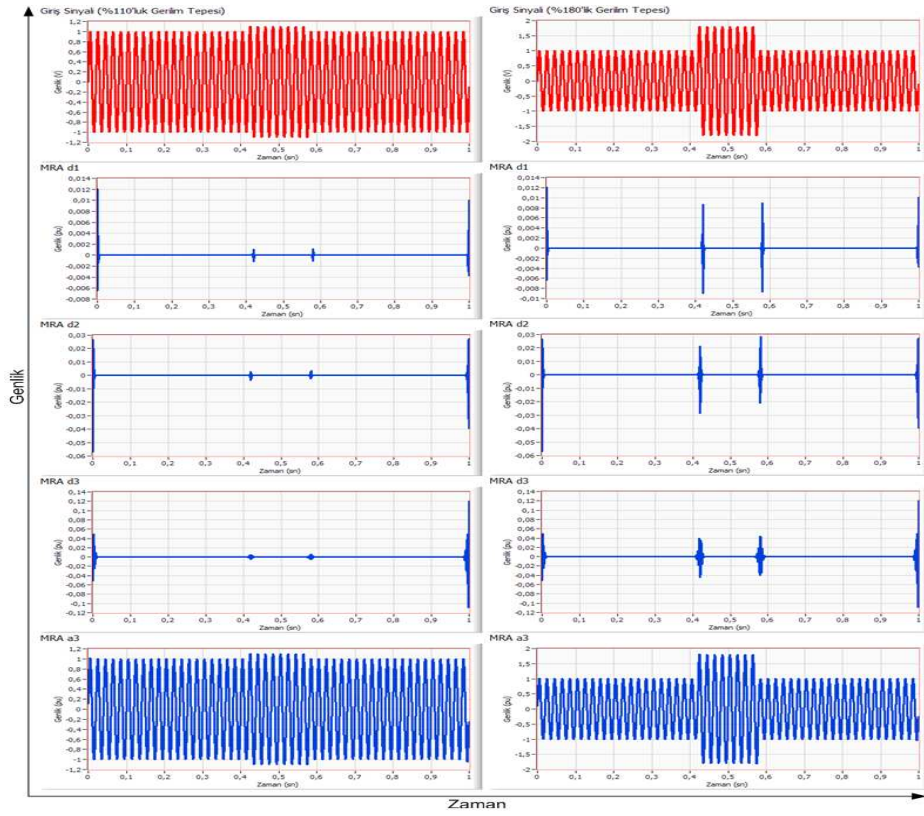
Yukarıdaki her bir dalgacık katsayısının taşıdığı frekans bileşenleri sayesinde olayların meydana geldikleri andaki katsayı genlikleri de çok yüksek olmaktadır. Bu ani

genlik değişimleri olayın meydana geldiği zaman bilgisinin yanında olayın türü hakkında da bilgi vermektedir. Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de olayların db10 dalgacık fonksiyonu ile 3 seviyeli çoklu çözünürlük analizleri görölmektedir. Şekil 4.12’de ise harmonikli bir sinyalin 3 seviyeli dalgacık analizi gösterilmektedir.

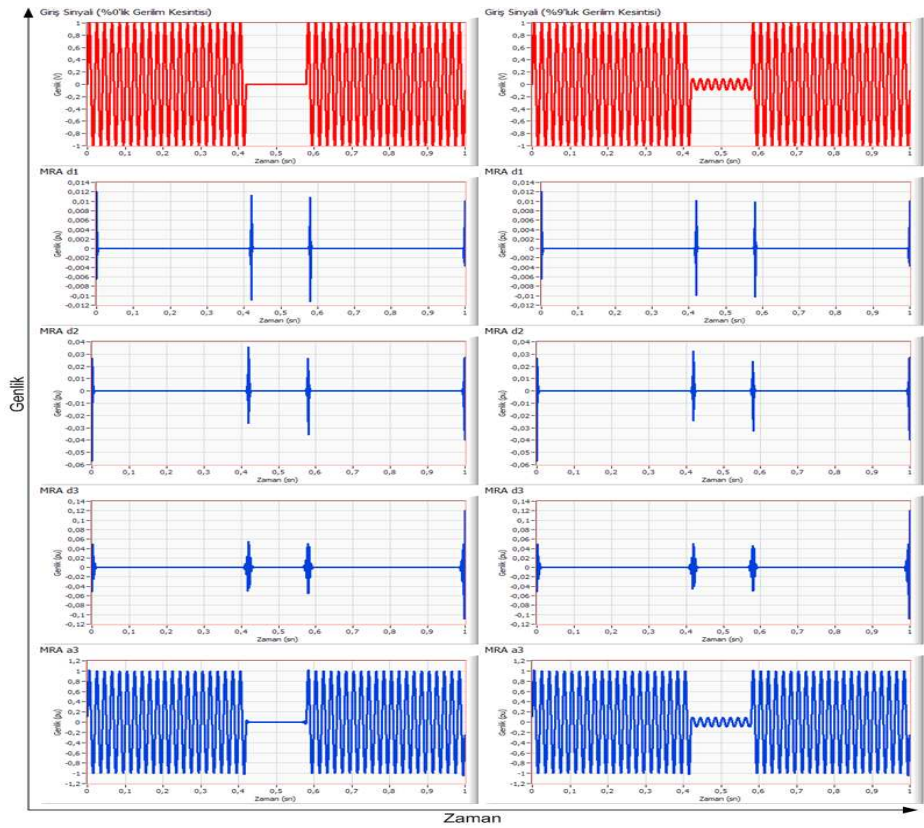
Harmonik analizinde 50 Hz’lik ana sinyal üzerine bindirilmiş % 20’lik 300 Hz ve % 30’luk 600 Hz’lik toplam harmonikli sinyal analiz edilmiştir. Detay-2 dalgacık katsayısı 400-800 Hz aralığındaki frekans bilgisini taşıdığından girdi olarak ana sinyal üzerine bindirilmiş 300 Hz’lik sinyali ayrıştırmaktadır. Benzer şekilde detay-3 dalgacık katsayısı da 200-400 Hz aralığındaki frekans bilgisini taşıdığından % 30’luk 600 Hz’lik sinyali ayrıştırmaktadır. Filtrelerin ideal olmamasından dolayı sönümlendirme kısımlarının keskinliklerindeki yataylık üst üste bindiğinden çıkış sinyallerinin genliklerinde değişiklikler meydana gelmektedir. Aslında temel olarak sinyali dalgacık katsayılarına ayırırken elde edilen sinyallerden özellikle yüksek geçirgen filtrenin çıkışlarını da tekrar filtreleyerek ve örnek sayısını yarıya indirerek istenilen frekans aralığı ayırt edilebilir. Harmonik analizinde temel alınacak yöntem bu olmalıdır.



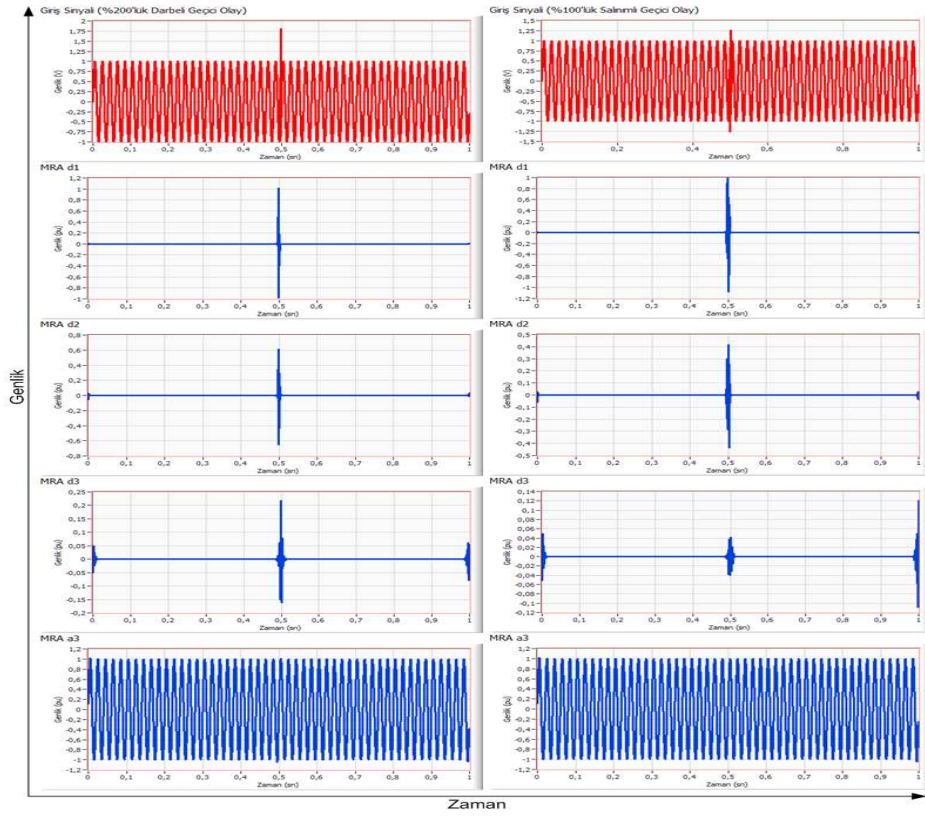
Şekil 4.8. Gerilim çukuru olayı 3-seviye dalgacık analizi



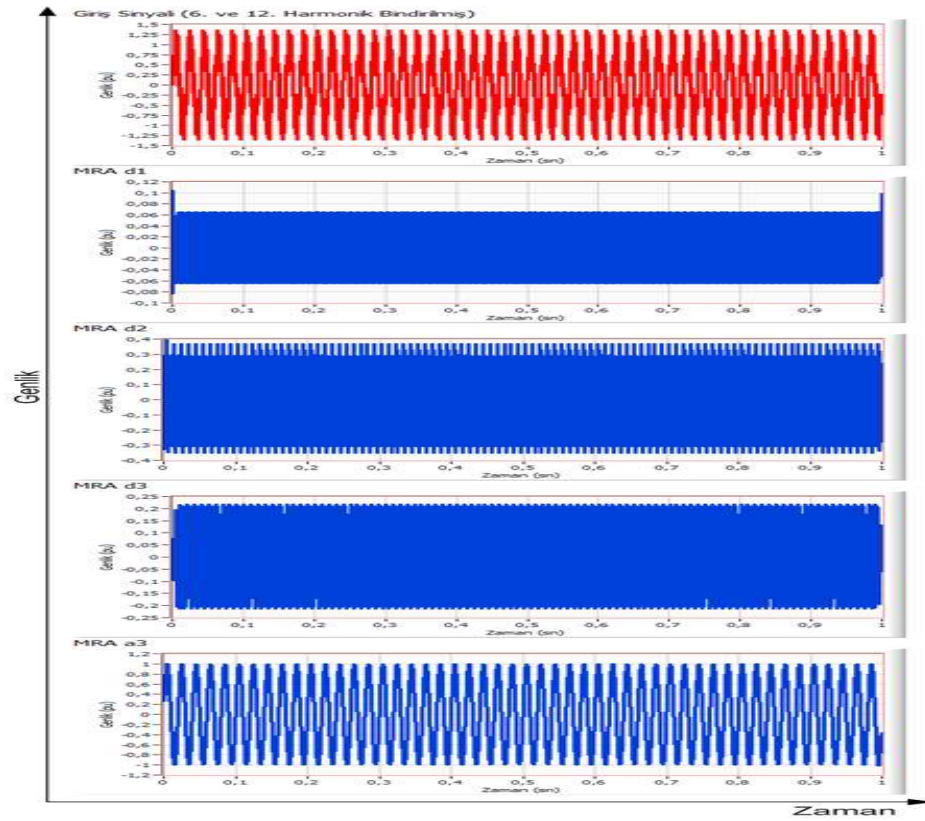
Şekil 4.9. Gerilim yükselmesi olayı 3-seviye dalgacık analizi



Şekil 4.10. Gerilim kesintisi olayı 3-seviye dalgacık analizi



Şekil 4.11. Geçici olay 3-seviye dalgacık analizi



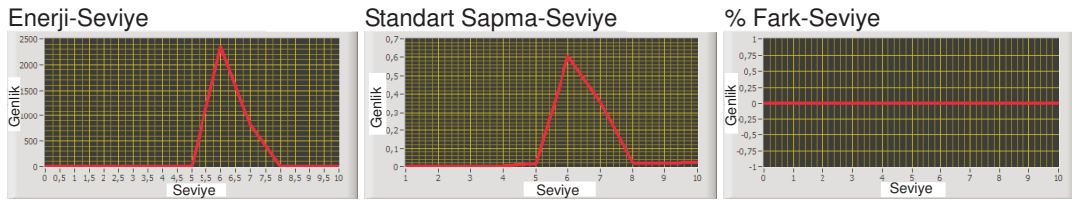
Şekil 4.12. Harmonikli Sinyal 3-seviye dalgacık analizi

4.5 Güç Kalitesi Parametrelerinin Standart Sapma ve Enerji Değişimi Analizleri

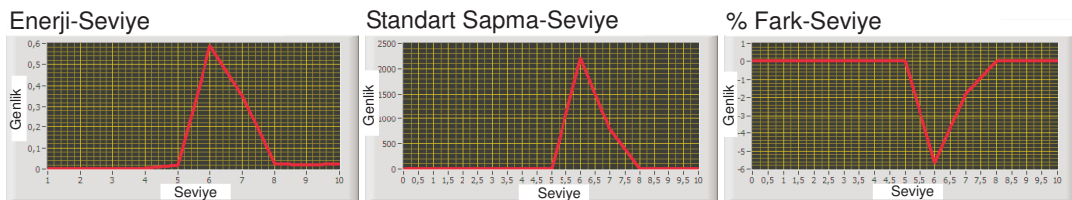
Teorik olarak dalgacık da sınırlı enerjiye sahip sinyallerin ana dalgacık ve ölçek fonksiyonları türünden ifadelerinde çalışabilen bir analiz ve dönüşüm yöntemidir. Sinyalin bu özellikte olmasıyla meydana gelen olayın analizi de daha kolay hale gelmektedir. Bu durumda olay sinyallerinin nasıl analiz çıktılarının olduğunu Şekil 4.13'den Şekil 4.18'ye kadarki grafiklerde ayrıntılı olarak görülmektedir. Saf sinüsten başlamak üzere her bir olayın sırasıyla;

a) Standart Sapma-Seviye b) Enerji-Seviye c) Enerji Dağılımındaki % Sapma

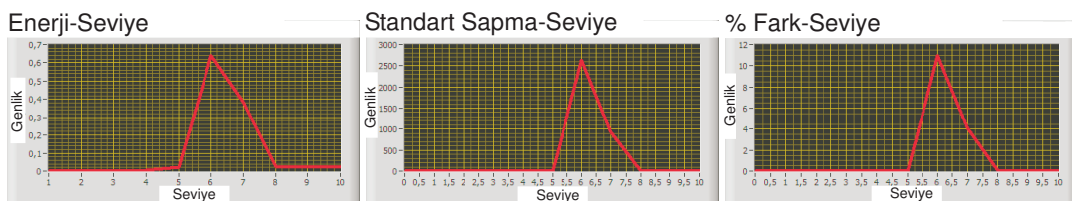
grafikleri çizilmiştir. Her bir olayda bu grafikler kendisine has nitelikler taşımaktadır.



Şekil 4.13. Saf sinüs enerji ve standart sapma değişimi



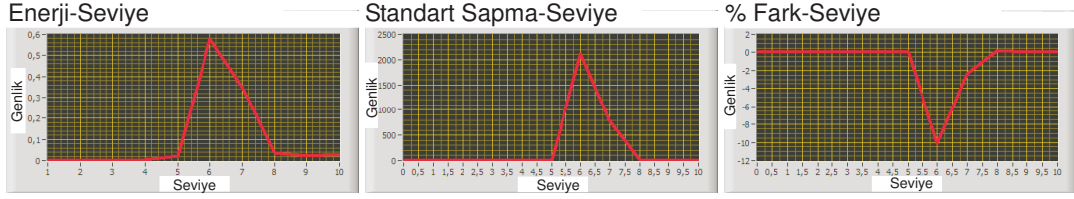
Şekil 4.14. Gerilim çukuru enerji ve standart sapma değişimi



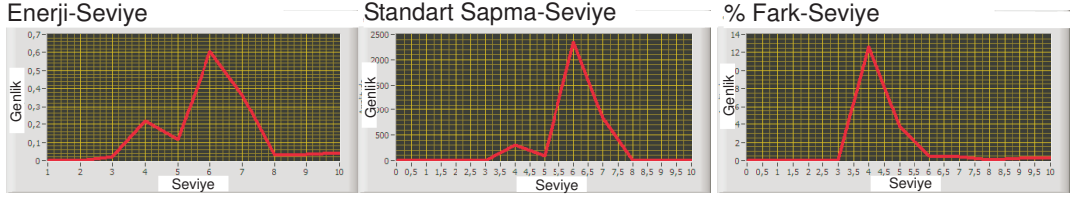
Şekil 4.15. Gerilim tepesi enerji ve standart sapma değişimi

Bu analizlerde çoklu çözünürlüklü analiz yöntemiyle 10 seviyede db10 DWT kullanılmıştır.

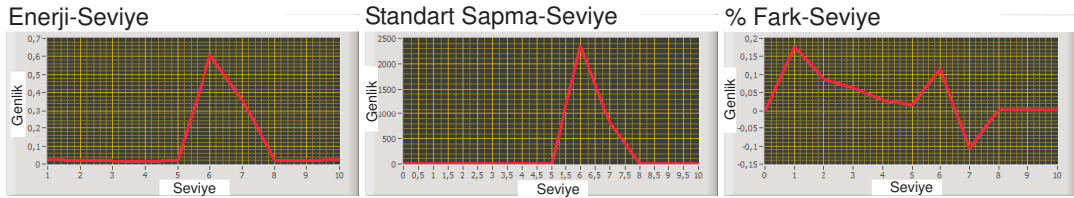
Giriş sinyali bu kısımda örnekleme frekansı 6400 Hz örnekleme hızına çıkarak örneklendiğinden, Nyquist kriterine göre:



Şekil 4.16. Gerilim kesintisi enerji ve standart sapma değişimi



Şekil 4.17. 3. ve 5. harmonikli sinyal enerji ve standart sapma değişimi



Şekil 4.18. Darbeli geçici olay enerji ve standart sapma değişimi

$$B < \frac{f_s}{2} = \frac{6400}{2} = 3200\text{Hz} \quad (4.12)$$

elde bozulmadan örneklenebilecek maksimum frekans değeri 3200 Hz'dir. Burada; B bant genişliğini, f_s ise örnekleme frekansını ifade etmektedir. Bu frekans bandı 10 seviyelik bir analizde Çizelge 4.4'deki gibi frekans bilgilerine ayrılmıştır.

Görüldüğü gibi ana bileşen olan 50 Hz'lik sinyal filtrelerin geçiş bantlarının arasında kalmıştır. Bu seçtiğimiz örnekleme frekansından kaynaklanmaktadır. Bu örnekleme frekansının kullanımına devam edilmesinin nedeni ise daha önce gerçek zamanlı olarak alınmış olan ölçümlerin bu frekansta olması ve kullanılan yazılımın maksimum olarak bu örnekleme frekansına uyumlu olabilmesidir.

Enerji dağılımındaki % sapma değerinin hesaplanmasında referans enerji seviyesi detay-6 dalgacık katsayısının enerji seviyesi olarak alınmıştır. Bu seviye sinyalin ana bileşeni olan 50 Hz'in büyük kısmını barındıran dolayısıyla sinyalin en yüksek enerjisini barındıran seviyedir. Her bir olay için ilk grafik olan standart sapma grafiği olay bilgisini barındıran bütün bir sinyalin seviyelere göre standart sapma değeridir.

Çizelge 4.4. DWT çıkışı frekans aralıkları

Seviye	Yaklaşım Bileşen Frekans Aralığı	Detay Bileşen Frekans Aralığı
1	0-1600 Hz	1600-3200 Hz
2	0-800 Hz	800-1600 Hz
3	0-400 Hz	400-800 Hz
4	0-200 Hz	200-400 Hz
5	0-100 Hz	100-200 Hz
6	0-50 Hz	50-100 Hz
7	0-25 Hz	25-50 Hz
8	0-12,5 Hz	12,5-25 Hz
9	0-6,25 Hz	6,25-12.5 Hz
10	0-3,125 Hz	3,125-6,25 Hz

Buradan da anlaşılabilirdiği gibi en yüksek enerjiyi barındıran 6. seviye en yüksek genliğe sahiptir.

Enerji-seviye grafikleri incelediğinde enerjinin en çok barındığı 6. seviyenin en yüksek genliğe sahip olduğu görülmektedir. Son grafik olan enerji dağılımındaki % sapma-seviye grafikleri incelediğinde ise her bir olayın karakteristiğinin farklı olduğu ve birbirinden farklı çıktılar elde edildiği görülmektedir.

Gerilim çukuru ile gerilim kesintisi arasındaki enerji dağılımındaki % sapma-seviye grafiklerindeki fark ise görülebildiği gibi genliklerinin farklılıklarından ileri gelmektedir. Gerilim çukuru yaklaşık -6'lık bir genlik değerine kadar düşerken, gerilim kesintisi ise -10'luk bir genlik değerine kadar düşmektedir.

Enerji dağılımı yöntemiyle güç kalitesi olaylarının ilk bakışta ne tür bir olay olduğu hakkında fikir yürütülebilse de olayların genlikleri başlangıç, bitiş ve uzunlukları gibi çok önemli noktalarda yetersiz kalmaktadır. Ayrıca birbirine yakın genliği olan ancak farklı güç kalitesi olaylarının sınıflandırılmasında sadece sinyal enerjisine ya da standart sapma miktarlarına bakarak bu olayların birbirinden ayrılması mümkün değildir. Zaten IEEE 1159-1995 standardında verilen sınır değerlere göre meydana gelen bir gerilim çukuru ile gerilim kesintisi arasındaki küçük genlik farkları sinyallerin genlik değerlerini dikkate almadan böyle bir yöntemle anlaşılması mümkün değildir.

4.6 Güç Kalitesi Olaylarının Başlangıç ve Bitiş Noktalarının Tespiti

Her bir olayın dalgacık analizinde yüksek frekanslı detay bileşeninin anlık olarak genlik değerinin çok yükseldiği saptanmıştır. Bu değer belli bir sınır değeri verilerek bunun üzerine çıkıldığında o olayın başlangıcının ve bitişinin belirlenebildiği söylenebilmektedir. Zaten olaylardan gerilim çukuru, gerilim tepesi, gerilim kesintisi, ani gerilim yükselmesi gibi anlık olarak genlik değerindeki açık yükselmeler bu olayların başlangıç ve bitiş noktalarının belirlenen bir sınır değerine uygun olarak saptanması mümkündür.

Güç kalitesi olayları; gerilim çukuru, gerilim tepesi, geçici olay, gerilim kesintisi olaylarına ait yüksek frekans bilgisini içeren detay dalgacık katsayısı grafikleri incelenmiştir. Buradaki analizlerde UWT yöntemi kullanılmıştır. Yani sinyalin örnek sayısı filtre çıkışlarından sonra yarıya indirilmemiştir. Aynı zamanda bu dönüşümün zamandaki kaymayı tespitteki başarısından dolayı bu tür olayların başlangıç ve bitiş noktalarının analizlerinde kullanılmıştır.

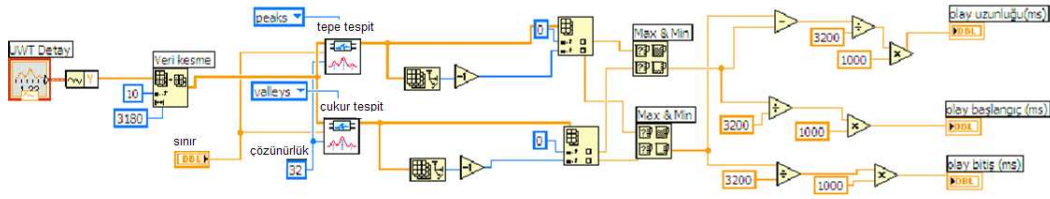
Şekil 4.19'de 3 seviyeli db10 dalgacığı kullanılarak yapılmış UWT analizi blok şeması gösterilmektedir. UWT analizi çıkışlarında detay ve yaklaşım katsayılarından güç kalitesi bozulmasının karakteristiğine göre uygun olanlar kullanılmıştır.



Şekil 4.19. 3 seviyeli db10 dalgacığı kullanarak UWT analizi

Güç kalitesi olayının UWT katsayılarından uygun olan detay katsayısı ele alındığında belirli bir sınır değeri konularak bu sınır değerinin altında olan katsayı değerlerinden arınarak önemli olan büyük katsayı değerleri kullanılır. Bu sınır değerinin üzerindeki değerler ile olayın başlangıç ve bitiş noktalarının tespiti mümkün olabilmektedir. Elde edilen detay katsayısının sınır değerleriyle karşılaştırılarak olay uzunluğu, olay başlangıç ve bitiş anlarının tespitinde kullanılması Şekil 4.20'de gösterilmektedir. Öncelikle kullanılan UWT detay bileşenlerinin başlangıç ve bitiş kısımlarından filtrelerden kaynaklanan bozulmaları gidermek için kırpılmaktadır. Daha sonra belirlenen uygun sınır değerleriyle bu detay katsayıları karşılaştırılmaktadır. Bu sınır de-

ğerinin üzerindeki değerler elde edilerek minimum ve maksimum değerlerden 3200 Hz olan örnekleme frekansını kullanarak olay başlangıç, bitiş ve uzunluk değerleri elde edilmektedir.



Şekil 4.20. UWT detay bileşenlerinin olay başlangıç, bitiş ve uzunluğunun tespit blok şeması

Çizelge 4.5. 3 seviyeli UWT analizi detay bileşenleri frekans aralıkları

Detay-1	800-1600 Hz
Detay-2	400-800 Hz
Detay-3	200-400 Hz

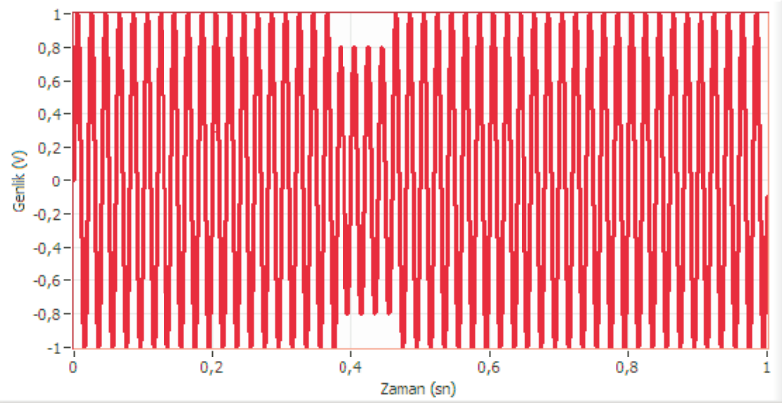
UWT analizi sonucunda her bir olay sinyalinin analizinde elde edilen ve kullanılan detay katsayılarının frekans aralıkları Çizelge 4.5'de gösterilmektedir. Farklı güç kalitesi olayları için kullanılacak detay katsayısı değişebilmektedir. Seçilen katsayılar olay sinyalinin özelliklerini yansıtacak ve değişim noktalarının tespitinde kolaylık sağlayacak şekilde olmalıdır.

4.6.1 Gerilim Çukuru Başlangıç ve Bitiş Noktalarının Tespiti

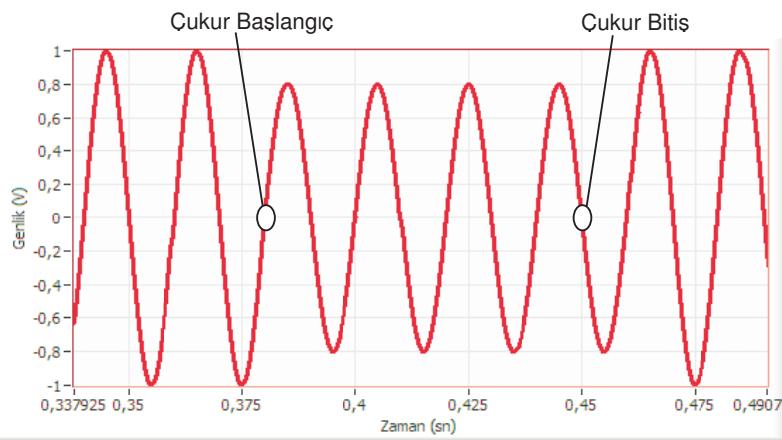
Ani olarak elektrik sisteminde meydana gelen bir gerilim çukurunun tespit edilmesi ancak bu olayın başlangıç ve bitiş anı bilgilerinin zaman ekseninde elde edilmesiyle mümkündür. Elde edilen bu bilgiler olayın türü hakkında yapılan sınıflandırmada da yardımcı olmaktadır. Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de bir gerilim çukuru ve o gerilim çukuru olayının yaklaştırılmış hali ile çukur olayının başlangıç-bitiş noktaları gösterilmektedir.

Bu gerilim çukuru olayının 3 seviyeli db10 dalgacığı kullanılarak yapılan UWT analizi ile güç kalitesi olayının detay ve yaklaşım katsayıları elde edilmektedir (Şekil 4.23).

Gerilim çukurunun olay sinyali üzerinde başlangıç ve bitiş noktasında yüksek frekanslı değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler UWT analizi ile elde edilen katsayılarda elde edilmiştir. Sınır değeri olarak 0,002 değeri alındığında detay-2



Şekil 4.21. Bir saniyelik veri içinde gerilim çukuru olayı



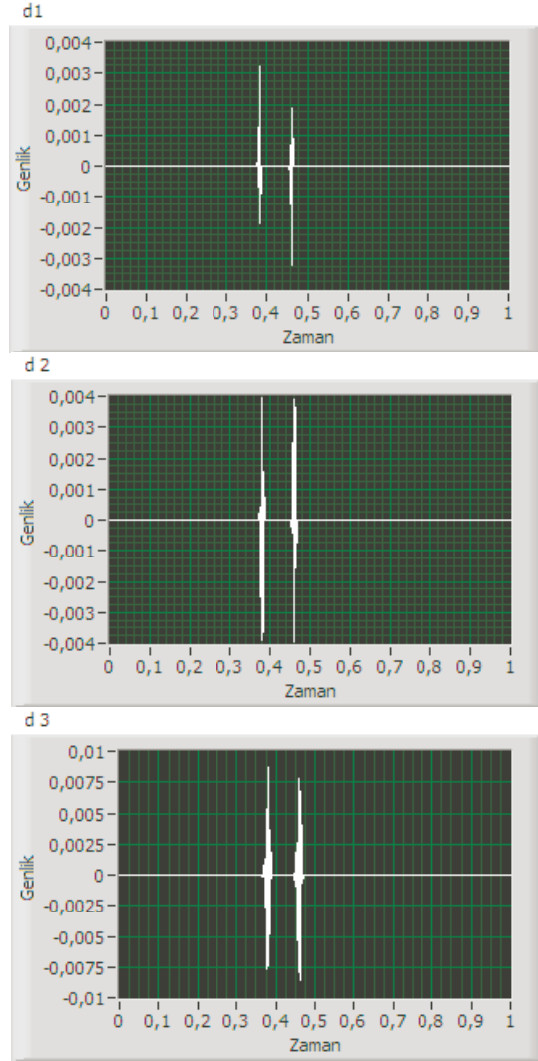
Şekil 4.22. Gerilim çukuru olayında bir saniyelik verinin yaklaşılmış hali

bileşenin yaptığı tepe ve dipler sırasıyla 3200 örnek içerisinde Çizelge 4.6'da yer almaktadır.

Çizelge 4.6. Gerilim çukuru olayının detay-2 sınır değerine göre tepe ve dip değerleri

Tepe-Dip	Örnek Numarası
Tepe 1	1204
Tepe 2	1464
Dip 1	1208
Dip 2	1460

Elde edilen tepe ve dip noktalarından gerilim çukuru olayının başlangıç noktası, bitiş noktası ve süresi hakkında bilgi elde edilebilmektedir. Olayın başlangıç anında detay-2 bileşenin 1204. ve 1460. örnek numaraları kullanılarak bu noktalar için 3200 Hz örnekleme frekansındaki zaman bilgilerine ulaşılır. Çizelge 4.7'de bu zaman bil-



Şekil 4.23. Gerilim çukuru olayının 3 seviyeli db10 dalgacığ kullanılarak UWT analizi ve detay katsayıları

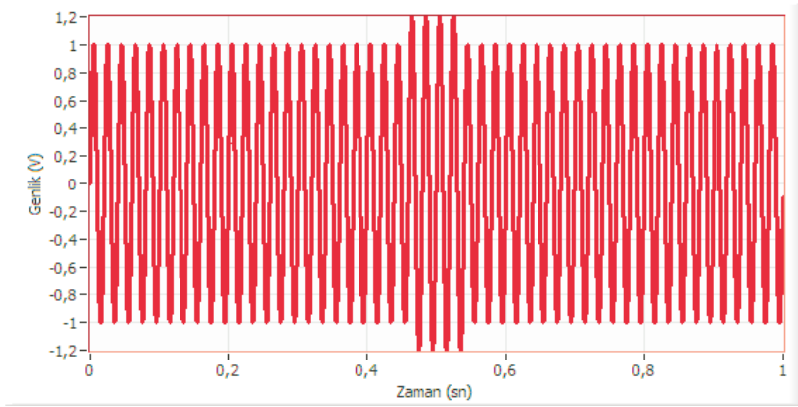
gilerine yer verilmiştir. Zaman bilgilerinin yanında detay-2 bileşenini elde ederken karşılaşılan grup gecikmesi miktarı da vurgulanmıştır. Bu gecikme değeri olayın zaman özelliklerini değerlendirirken dikkate alınmalı elde edilen zaman değerlerinden gecikme miktarı çıkarılmalıdır. Gerilim çukuru olayının sinyal üzerinde herhangi bir noktada meydana gelmesi durumunda o başlangıç noktasının ve bitiş noktasının bulunması ve olayın böylece ne kadar sürdüğünün tespit edilmesi mümkün olabilmektedir.

Çizelge 4.7. Gerilim çukuru olayının detay-2 sınır değerine göre başlangıç, bitiş, uzunluk ve gecikme değerleri

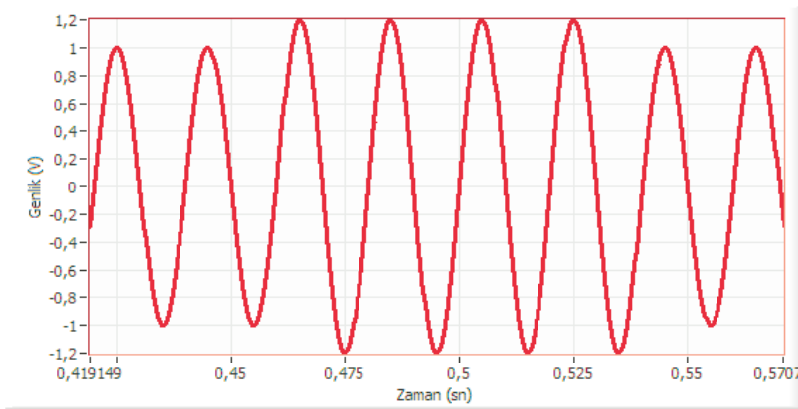
Olay	Başlangıç	Bitiş	Uzunluk	Grup Gecikmesi
Çukur	376,25. ms	456,25. ms	80 ms	1,78 ms

4.6.2 Gerilim Tepesi Başlangıç ve Bitiş Noktalarının Tespiti

Elektrik sisteminde meydana gelen bir gerilim tepesi olayının tespit edilmesi ancak bu olayın başlangıç ve bitiş anı bilgilerinin zaman ekseninde elde edilmesiyle mümkündür. Bu şekilde elde edilen bilgiler olayın analiz ve sınıflandırılmasında yardımcı olabilecektir. Şekil 4.24 ve Şekil 4.25’de bir gerilim tepesi ve o gerilim tepesi olayının yakınlştırılmış hali ile tepe olayının başlangıç ve bitiş noktaları gösterilmektedir.

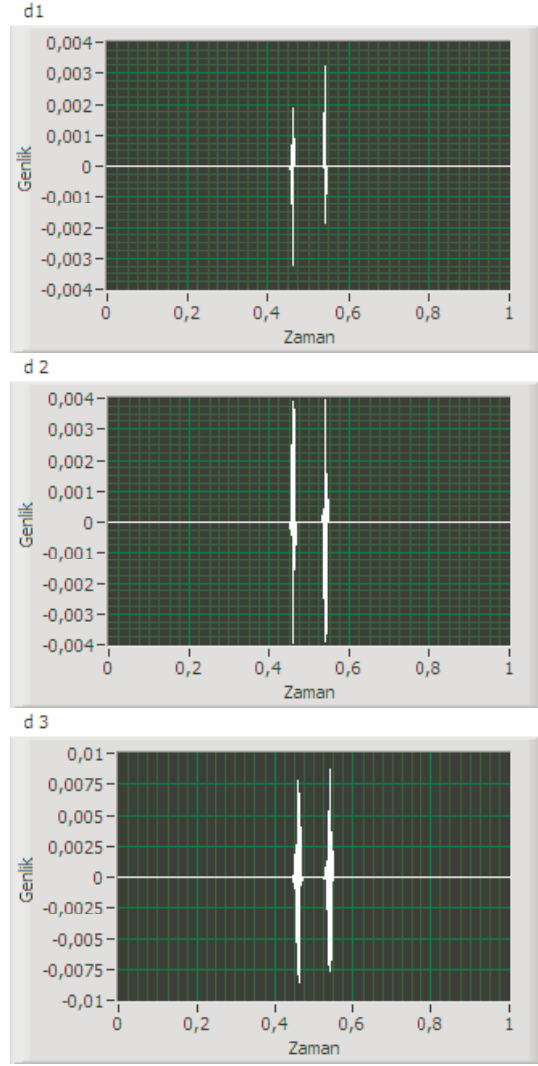


Şekil 4.24. Bir saniyelik veri içinde gerilim tepesi olayı



Şekil 4.25. Bir saniyelik gerilim tepesi verisinin yakınlştırılmış hali

Bu gerilim tepesi olayının 3 seviyeli db10 dalgacığı kullanılarak yapılan UWT analizi ile güç kalitesi olayının detay ve yaklaşım katsayıları elde edilmektedir (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. Gerilim tepesi olayının 3 seviyeli db10 dalgacığı kullanarak UWT analizi ve detay katsayıları

Gerilim tepesinin olay sinyali üzerinde başlangıç ve bitiş noktasında yüksek frekanslı değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler UWT analizi ile elde edilen katsayılarla elde edilmiştir. Sınır değeri olarak 0,002 değeri alındığında detay-2 bileşenin yaptığı tepe ve dipler sırasıyla 3200 örnek içerisinde Çizelge 4.8'de yer almaktadır.

Çizelge 4.8. Gerilim tepesi olayının detay-2 sınır değerine göre tepe ve dip değerleri

Tepe-Dip	Örnek Numarası
Tepe 1	1464
Tepe 2	1716
Dip 1	1460
Dip 2	1720

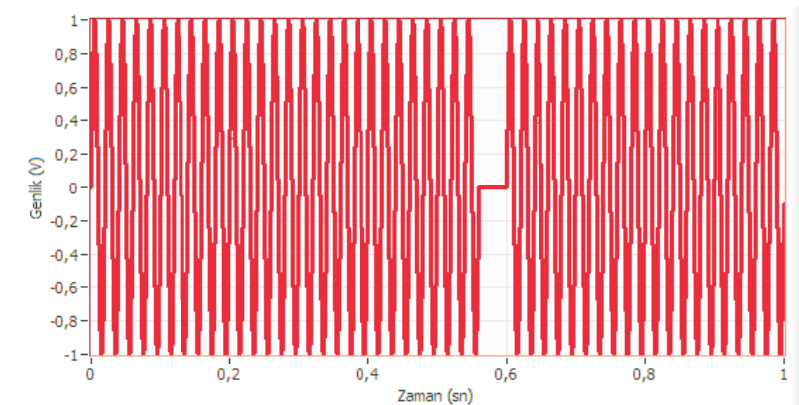
Elde edilen tepe ve dip noktalarından gerilim tepesi olayının başlangıç noktası, bitiş noktası ve süresi hakkında bilgi elde edilebilmektedir. Olayın başlangıç anında detay-2 bileşenin 1460. ve 1716. örnek numaraları kullanılarak bu noktalar için 3200 Hz örnekleme frekansındaki zaman bilgilerine ulaşılır. Çizelge 4.9'de bu zaman bilgilerine yer verilmiştir. Zaman bilgilerinin yanında detay-2 bileşenini elde ederken karşılaşılan grup gecikmesi miktarı da vurgulanmıştır. Bu gecikme değeri olayın zaman özelliklerini değerlendirirken dikkate alınmalı elde edilen zaman değerlerinden gecikme miktarı çıkarılmalıdır. Gerilim tepesi olayının sinyal üzerinde herhangi bir noktada meydana gelmesi durumunda o başlangıç noktasının ve bitiş noktasının bulunması ve olayın böylece ne kadar sürdüğünün tespit edilmesi mümkün olabilmektedir.

Çizelge 4.9. Gerilim tepesi olayının detay-2 sınır değerine göre başlangıç, bitiş, uzunluk ve gecikme değerleri

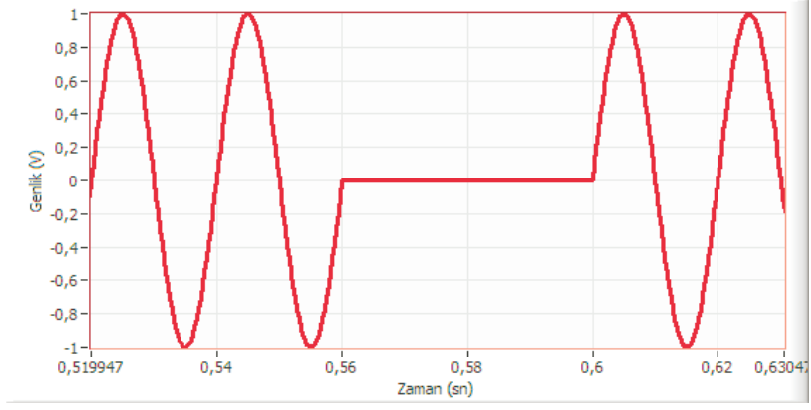
Olay	Başlangıç	Bitiş	Uzunluk	Grup Gecikmesi
Tepe	456,25. ms	536,25. ms	80 ms	1,78 ms

4.6.3 Gerilim Kesintisi Başlangıç ve Bitiş Noktalarının Tespiti

Anlık olarak iletim ve dağıtım sisteminde meydana gelen bir gerilim kesintisi olayının tespit edilmesi ancak bu olayın başlangıç ve bitiş anı bilgilerinin zaman ekseninde elde edilmesiyle mümkündür. Bu şekilde elde edilen bilgiler olayın analiz ve sınıflandırılmasında yardımcı olabilecektir. Şekil 4.27 ve Şekil 4.28'da bir gerilim kesintisi ve o gerilim kesintisi olayının yakınlaştırılmış hali ile kesinti olayının başlangıç ve bitiş noktaları gösterilmektedir.

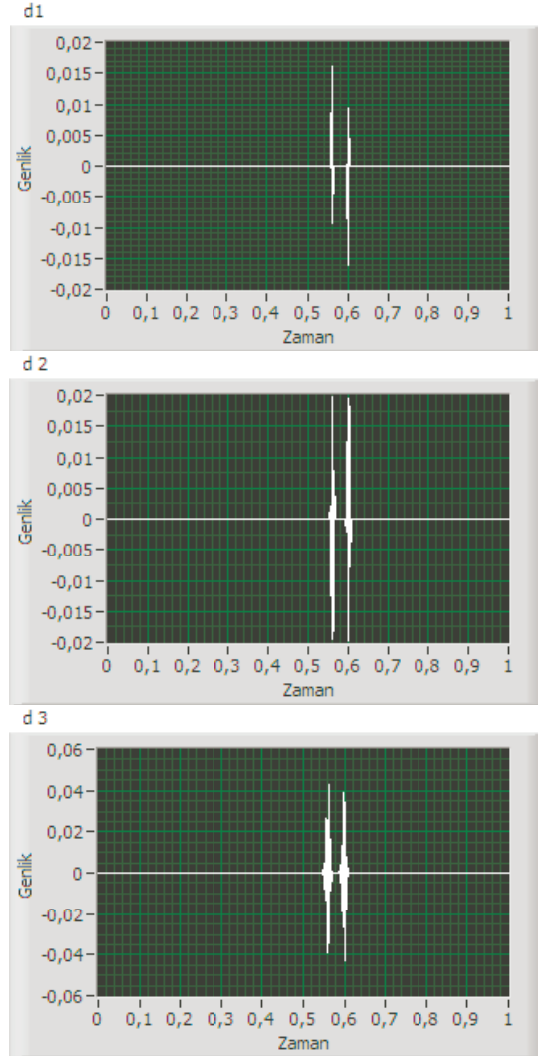


Şekil 4.27. Bir saniyelik veri içinde gerilim kesintisi olayı



Şekil 4.28. Gerilim kesintisi olayının yakınlaştırılmış hali

Bu gerilim kesintisi olayının 3 seviyeli db10 dalgacığ kullanılarak yapılan UWT analizi ile güç kalitesi olayının detay ve yaklaşım katsayıları elde edilmektedir (Şekil 4.29).



Şekil 4.29. Gerilim kesintisi olayının 3 seviyeli db10 dalgacığ kullanılarak UWT analizi ve detay katsayıları

Gerilim kesintisi olay sinyali üzerinde başlangıç ve bitiş noktasında yüksek frekanslı değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler UWT analizi ile elde edilen katsayılarla elde edilmiştir. Sınır değeri olarak 0,01 değeri alındığında detay-2 bileşenin yaptığı tepe ve dipler sırasıyla 3200 örnek içerisinde Çizelge 4.10'de yer almaktadır.

Çizelge 4.10. Gerilim kesintisi olayının detay-2 sınır değerine göre tepe ve dip değerleri

Tepe-Dip	Örnek Numarası
Tepe 1	1780
Tepe 2	1912
Dip 1	1784
Dip 2	1908

Elde edilen tepe ve dip noktalarından gerilim kesintisi olayının başlangıç noktası, bitiş noktası ve süresi hakkında bilgi elde edilebilmektedir. Olayın başlangıç anında detay-2 bileşenin 1780. ve 1908. örnek numaraları kullanılarak bu noktalar için 3200 Hz örnekleme frekansındaki zaman bilgilerine ulaşılır. Çizelge 4.11'de bu zaman bilgilerine yer verilmiştir. Zaman bilgilerinin yanında detay-2 bileşenini elde ederken karşılaşılan grup gecikmesi miktarı da vurgulanmıştır. Bu gecikme değeri olayın zaman özelliklerini değerlendirirken dikkate alınmalı elde edilen zaman değerlerinden gecikme miktarı çıkarılmalıdır. Gerilim kesintisi olayının sinyal üzerinde herhangi bir noktada meydana gelmesi durumunda o başlangıç noktasının ve bitiş noktasının bulunması ve olayın böylece ne kadar sürdüğünün tespit edilmesi mümkün olabilmektedir.

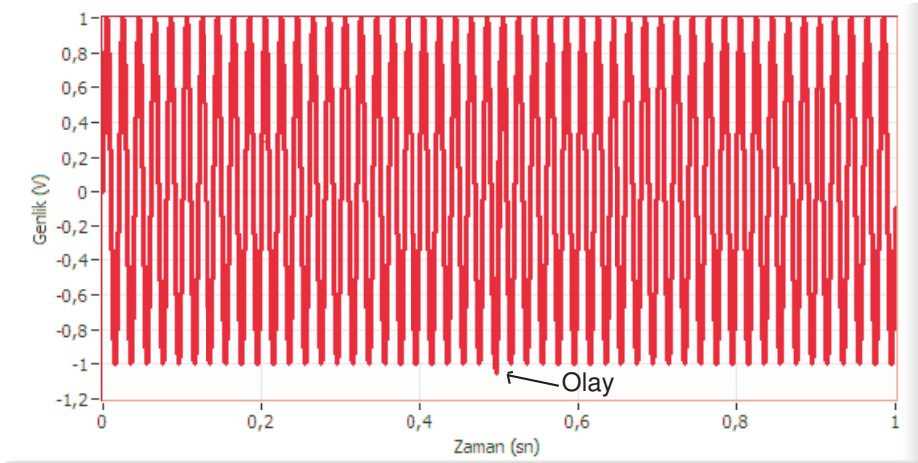
Çizelge 4.11. Gerilim kesintisi olayının detay-2 sınır değerine göre başlangıç, bitiş, uzunluk ve gecikme değerleri

Olay	Başlangıç	Bitiş	Uzunluk	Grup Gecikmesi
Kesinti	556,25. ms	596,25. ms	40 ms	1,78 ms

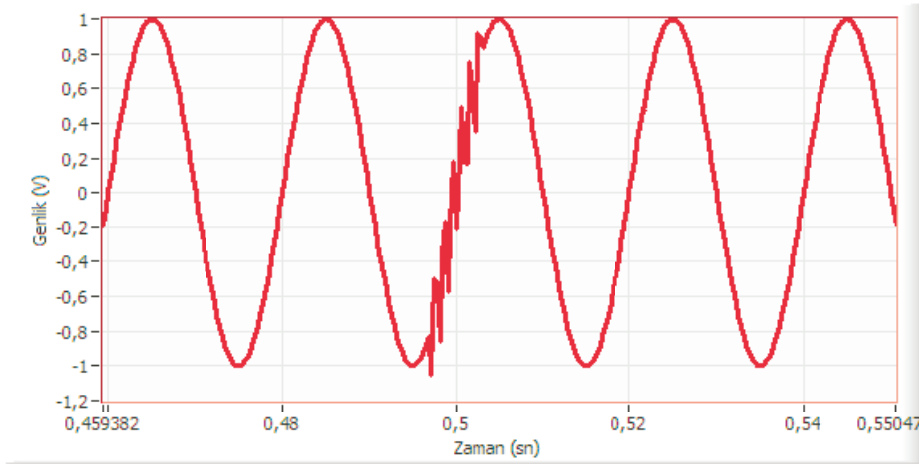
4.6.4 Geçici Olay Başlangıç ve Bitiş Noktalarının Tespiti

Bu kısımda anlık olarak iletim ve dağıtım sisteminde meydana gelebilecek bir salınlı geçici olayın tespit edilmesi ve bu olayın başlangıç ve bitiş anı bilgilerinin zaman ekseninde elde edilmesiyle amaçlanmıştır. Bu şekilde elde edilen bilgiler olayın analiz ve sınıflandırılmasında yardımcı olabilecektir. Şekil 4.30 ve Şekil 4.31'de bir

salınımlı geçici olay ve bu olayın yaklaştırılmış hali gösterilmektedir.



Şekil 4.30. Bir saniyelik veri içinde salınımlı geçici olay

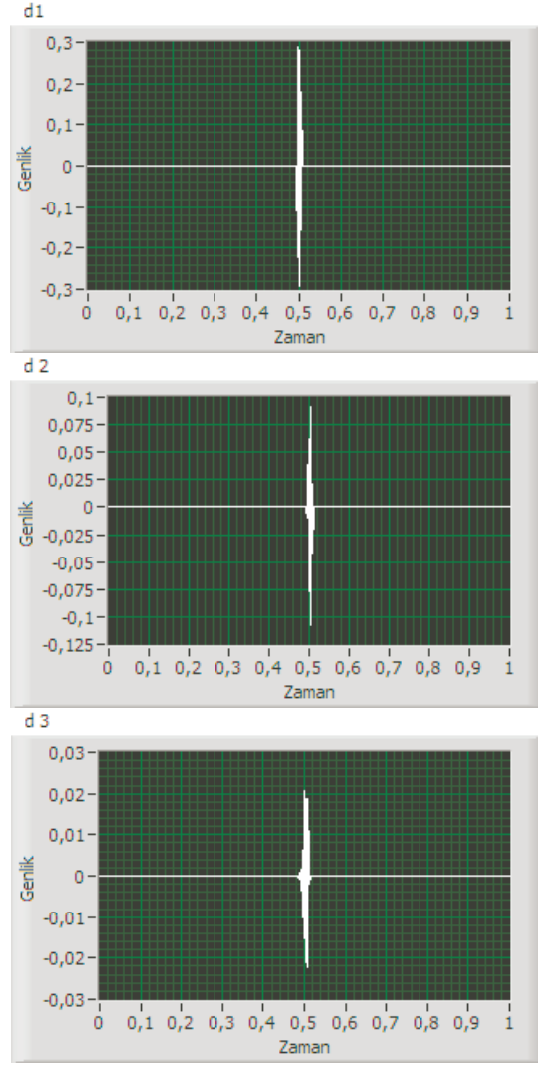


Şekil 4.31. Salınımlı geçici olayın yaklaştırılmış hali

Bu salınımlı geçici olayın 3 seviyeli db10 dalgacığı kullanılarak yapılan UWT analizi ile güç kalitesi olayının detay ve yaklaşım katsayıları elde edilmektedir (Şekil 4.32).

Geçici olay sinyali üzerinde başlangıç ve bitiş noktasında yüksek frekanslı değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler UWT analizi ile elde edilen katsayılar da elde edilmiştir. Sınır değeri olarak 0,05 değeri alındığında detay-2 bileşenin yaptığı tepe ve dipler sırasıyla 3200 örnek içerisinde Çizelge 4.12'de yer almaktadır.

Elde edilen tepe ve dip noktalarından geçici olayın başlangıç noktası, bitiş noktası ve süresi hakkında bilgi elde edilebilmektedir. Olayın başlangıç anında detay-2 bileşenin 1588. ve 1608. örnek numaraları kullanılarak bu noktalar için 3200 Hz örnekleme frekansındaki zaman bilgilerine ulaşılır. Çizelge 4.13'de bu zaman bilgilerine



Şekil 4.32. Salınlı geçici olayın 3 seviyeli db10 dalgacığı kullanarak UWT analizi ve detay katsayıları

Çizelge 4.12. Salınlı geçici olayın detay-2 sınır değerine göre tepe ve dip değerleri

Tepe-Dip	Örnek Numarası
Tepe 1	1590
Tepe 2	1606
Tepe 3	1610
Dip 1	1588
Dip 2	1595
Dip 3	1601
Dip 4	1608

yer verilmiştir. Zaman bilgilerinin yanında detay-2 bileşenini elde ederken karşılaşılan grup gecikmesi miktarı da vurgulanmıştır. Bu gecikme değeri olayın zaman özelliklerini değerlendirirken dikkate alınmalı elde edilen zaman değerlerinden gecikme miktarı çıkarılmalıdır. Salınımlı geçici olayın sinyal üzerinde herhangi bir noktada meydana gelmesi durumunda o başlangıç noktasının ve bitiş noktasının bulunması ve olayın böylece ne kadar sürdüğünün tespit edilmesi mümkün olabilmektedir.

Çizelge 4.13. Salınımlı geçici olayın detay-2 sınır değerine göre başlangıç, bitiş, uzunluk ve gecikme değerleri

Olay	Başlangıç	Bitiş	Uzunluk	Grup Gecikmesi
Geçici Olay	496,25. ms	502,5. ms	6,25 ms	1,78 ms

4.7 Güç Kalitesi Olaylarının Tespit ve Sınıflandırma Analizleri

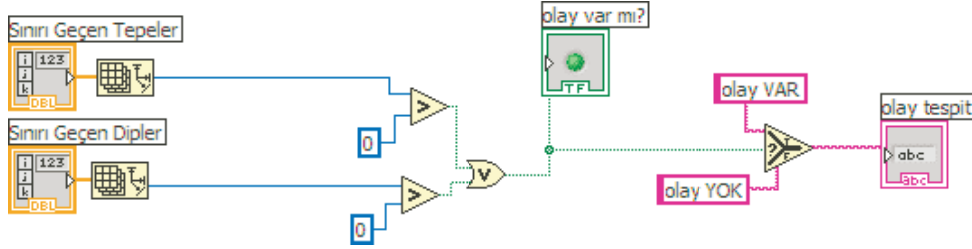
Güç kalitesi olaylarının analiz ve sınıflandırılmasında her bir olayın ayırt edici özelliklerinin tespiti ve bunların doğru değerlendirilmesi çok önemlidir. Bu kısımda farklı dalgacık analizi teknikleri ve yöntemleriyle güç kalitesi parametrelerinin özelliklerinin çıkarımı çalışmalarına yer verilmiş ve bu özelliklerle her bir olay parametresinin sınıflandırılması sağlanmıştır.

Güç kalitesi olay sinyallerinin sürekli dalgacık dönüşümü analizleri sonucunda elde edilen sürekli dalgacık katsayıları, skalogram kullanılarak frekans ve zaman bilgisi hakkında bilgiler elde edilmesi sağlanmaktadır. Skalogram yöntemi dalgacık uygulamalarında pratik çıktıların daha iyi anlaşılması için sıkça kullanılan bir grafikleme metodudur. Ek 3'de yapılan skalogram yöntemi analizlerine yer verilmiştir.

Bu bölümde elektrik şebekesinde meydana gelebilecek anlık güç kalitesi olaylarının ortaya çıktıkları anda tespit edilmesi ve bu olayların dalgacık analizi ile elde edilen özelliklerine göre sınıflandırma çalışmalarından bahsedilmiştir. Öncelikle sistemde gürültü olmadan benzetimi yapılmış olay sinyallerinin tespit edilmesi için yapılan analizlere yer verilmiş daha sonra olayın olmasıyla dalgacık analizi yöntemleri kullanılarak sınıflandırmalar yapılmıştır. Bu sınıflandırma yöntemi ile analizi yapılan güç kalitesi olay sinyallerinin gerçek zamanlı olarak ölçüm analiz ve sınıflandırılması mümkün olabilmektedir.

4.7.1 Güç Kalitesi Olaylarının Tespiti

Gerilim sinyali üzerinde meydana gelen anlık olayların tespit edilmesi ve saklanması güç kalitesi problemlerini aşmak için atılması gereken ilk adımlardan biridir. Benzetimi yapılan güç kalitesi olayları girdi olarak kullanılır. Olay başlangıç ve bitiş noktalarının tespiti başlığında incelenen olayların db10 dalgacığı kullanılarak UWT analizi çıkışıdaki katsayı değerlerinin sınır değerleri aşıp aşmadığı kontrol edilmektedir. Sınır değeri dip yada tepe olarak aşıldığında Şekil 4.33'da gösterildiği gibi girdi olarak program doğru kontrolünü üretmektedir ve sonuçta ekrana olayın meydana geldiğini belirten olay kontrol ışığını yakmaktadır. Olay tespit çıkışında da bu durum not edilmektedir.



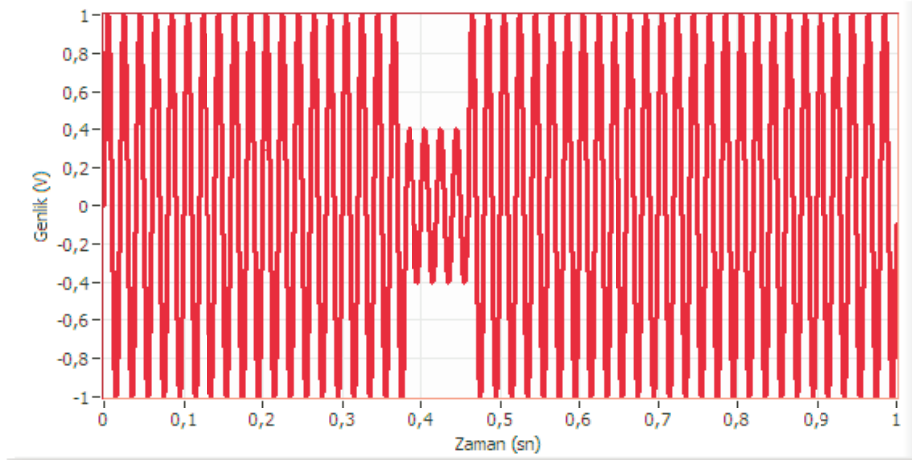
Şekil 4.33. Olay tespit kodu blok şeması

4.7.2 Güç Kalitesi Olaylarının Sınıflandırılması

Tespit edilen güç kalitesi olaylarının sınıflandırılarak birbirinden ayrılması olayın yorumlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Her bir olay için frekans içerikleri ile enerji dağılımları, standart sapmaları, dalgacık katsayılarının maksimum ve ortalama değerleri analiz edilmiştir. Olaylara özgü davranışlar dikkate alınarak sınıflandırma algoritması geliştirilmiştir ve bu sınıflandırmaların doğruluk testleri yapılmıştır. Sınıflandırma işleminde detay-2 dalgacık katsayısı kullanılmıştır ve bu dalgacık katsayısının elde edilmesinde filtrelerden kaynaklanan gecikme miktarı dikkate alınmaktadır.

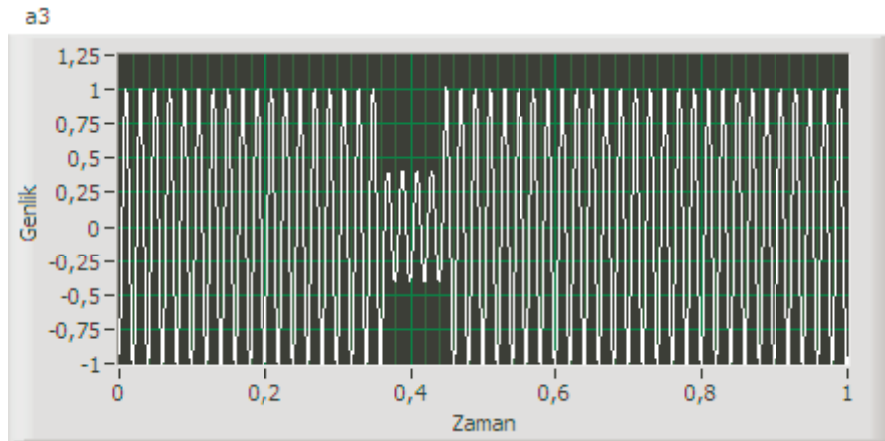
Gerilim Çukuru Olaylarının Sınıflandırılması

Ulusal ve uluslararası standartlar referans alınarak elektrik şebekesinde karşılaşılabilecek gerilim kesintisi olayları çok farklı şekillerde ortaya çıkabilmektedir. Şekil 4.34'de örnek olarak oluşturulan %40'lık bir gerilim çukuru olayının sınıflandırma algoritması ile sınıflandırılması ve sonuçları analiz edilmektedir.



Şekil 4.34. Sınıflandırmaya tabi tutulan %40'lık gerilim çukuru olayı

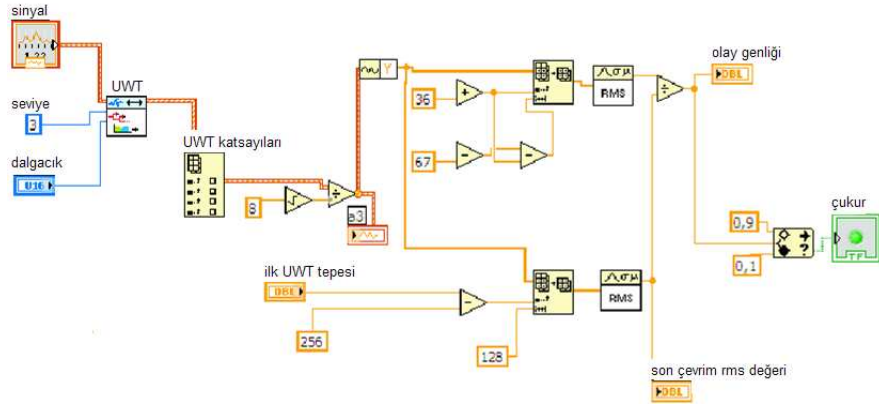
Öncelikle 3 seviyeli db10 dalgacığı ile UWT analizi yapılarak sinyal dalgacık katsayıları şeklinde ifade edilir. Çizelge 4.5'de yapılan frekans aralıklarına göre yaklaşım3 katsayısı (a_3) 0-200 Hz'lik frekans bilgisini taşımaktadır. Bu frekans bilgisi gerilim çukuru olayını da içinde barındıran bir çıktı olarak elde edilir. Yani UWT analizinde 2. seviyede elde edilen alçak geçirgen filtre çıkışı tekrar alçak geçirgen filtrelemeye tabi tutularak a_3 yaklaşım katsayısı elde edilir. Şekil 4.35'de bu yaklaşım katsayısı gösterilmektedir.



Şekil 4.35. Gerilim çukuru olayı 3 seviyeli db10 dalgacıklı UWT yaklaşım katsayısı

Girdi sinyalinden olayın gerilim çukuru olup olmadığı testine kadar oluşturulan algoritmanın blok şeması Şekil 4.36'de gösterilmektedir. Giriş sinyali öncelikle olayın tespit edilmesinden sonra bu algoritma sayesinde gerilim çukuru olayını sınıflandırmakta ve büyüklüğünü hesaplamaktadır.

Olayın tespit edilmesinden sonra elde edilen olay başlangıç ve bitiş noktaları kulla-



Şekil 4.36. Gerilim çukuru sınıflandırma algoritması blok şeması

nı olarak olayın olduğu aralıkta diğer bileşenlere göre düşük frekanslı yaklaşım³ (a3) katsayısı analiz edilir. Bu olay aralığındaki sinyalin rms değeri hesaplanır. Bu olayın başlangıç anından önceki çevrimin de rms değeri alınır. Bu iki değer oranlanarak olayın 50 Hz'lik referans gerilim sinyaline göre büyüklüğü elde edilir. Bir sinyal için rms değeri;

$$\chi_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \chi_i^2} \quad (4.13)$$

şeklinde ifade edilmektedir [66].

Analiz edilen gerilim çukuru olayının standartlarda belirtilen sınırlar arasında olup olmadığının kontrolü için bu oranlama gereklidir. Daha sonra bu sınır değeri içinde olduğu tespit edilen olay gerilim çukuru olayı olarak sınıflandırma işleminden çıkar.

Burada 6'te oluşturulan gerilim çukuru olayları için hesaplanan değerler ve doğruluk yüzdelerine yer verilmiştir. Burada; OB olay büyüklüğünü, OU olay uzunluğunu, HEB hesaplanan büyüklüğü, HEU hesaplanan uzunluğu, BH ise büyüklük hatasını ifade etmektedir. Girilen gerçek olay uzunluğu analiz sonucunda hatasız tespit edilmiştir. Genlik büyüklüğünün hata oranları incelendiğinde en büyük hatanın %1,9 olduğu görülmektedir.

Gerilim Tepesi Olaylarının Sınıflandırılması

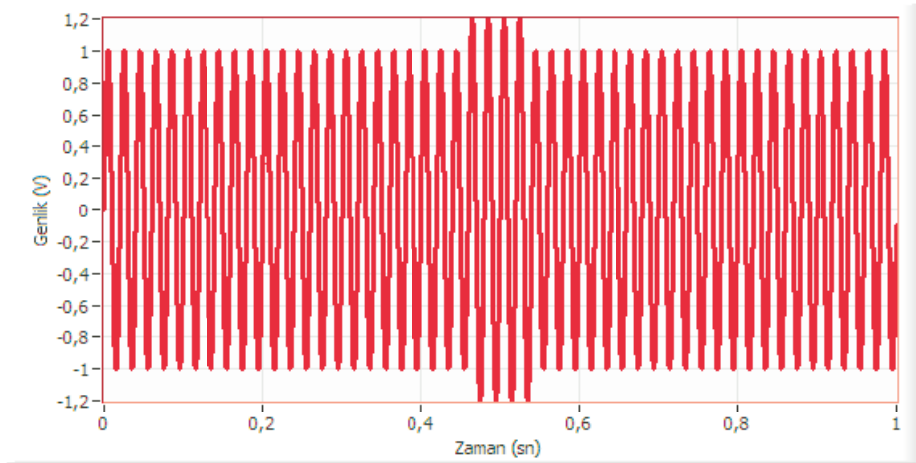
Gerilim tepesi olayı gerilim çukuru olayındakinin tersi olarak gerilimde kısa süreli yükselmelere neden olan olaylardır. Her bir gerilim tepesi olayı özelliklerine göre

Çizelge 4.14. Gerilim çukuru olayı büyüklük ve sınıflandırma testleri

OB (%)	OU (ms)	HEB (%)	HEU (ms)	BH (%)
85	80	84,70	80	0,35
80	40	78,48	40	1,90
70	120	69,87	120	0,19
60	240	59,95	240	0,08
30	480	29,99	480	0,03
20	120	19,96	480	0,20

OB: Olay Büyüklüğü, OU: Olay Uzunluğu, HEB: Hesaplanan Büyüklük
HEU: Hesaplanan Uzunluk, BH: Büyüklük Hatası

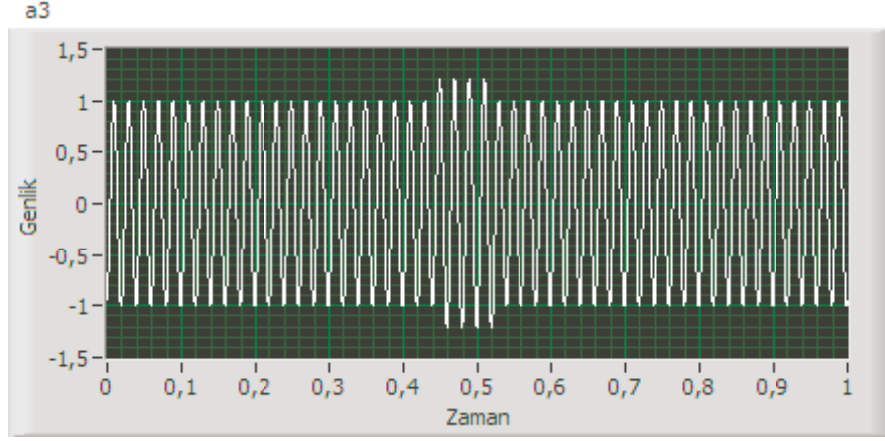
farklılık göstermektedir. Burada Şekil 4.37'de örnek olarak oluşturulan %120'lik bir gerilim tepesi olayının sınıflandırma algoritması ile sınıflandırılması ve sonuçları analiz edilmektedir.



Şekil 4.37. Sınıflandırmaya tabi tutulan %120'lik gerilim tepesi olayı

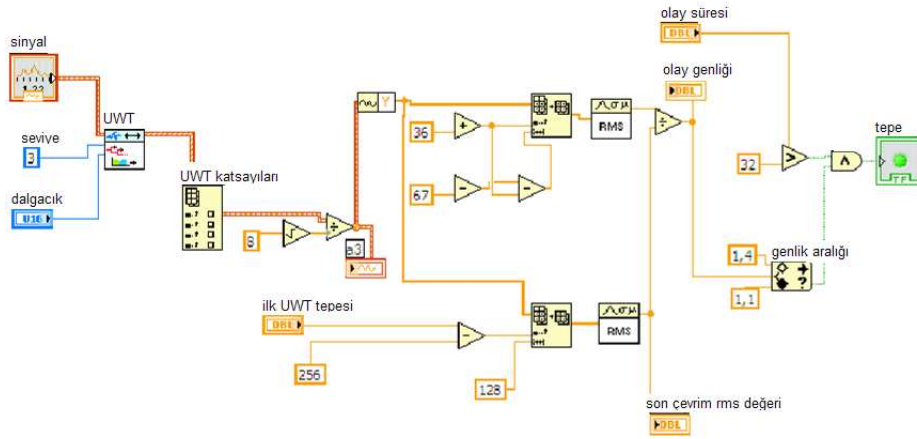
Gerilim çukuru sınıflandırmasına benzer olarak 3 seviyeli db10 dalgacığı ile UWT analizi yapılarak sinyal dalgacık katsayıları şeklinde ifade edilir. Burada a3 katsayısı 0-200 Hz'lik frekans bilgisini taşımaktadır. Bu frekans bilgisi gerilim tepesi olayını da içinde barındıran bir çıktı olarak elde edilir. Yani UWT analizinde 2. seviyede elde edilen alçak geçiren filtre çıkışı tekrar alçak geçiren filtrelemeye tabi tutularak a3 yaklaşım katsayısı elde edilir. Şekil 4.38'de bu yaklaşım katsayısı gösterilmektedir.

Gerilim çukuru olayına benzer şekilde gerilim çukur olayı sınıflandırma algoritması da girdi sinyalini bir takım testlere tabi tutmaktadır. Bu test algoritmasının blok şe-



Şekil 4.38. Gerilim tepesi olayı 3 seviyeli db10 dalgacıklı UWT yaklaşım katsayısı

Şekil 4.39'da gösterilmektedir. Giriş sinyali öncelikle olayın tespit edilmesinden sonra bu algoritma sayesinde gerilim tepesi olayını sınıflandırmakta ve büyüklüğünü hesaplamaktadır.



Şekil 4.39. Gerilim tepesi sınıflandırma algoritması blok şeması

Gerilim tepesinin tespit edilmesinden sonra elde edilen olay başlangıç ve bitiş noktaları kullanılarak olayın olduğu aralıkta diğer bileşenlere göre düşük frekanslı yaklaşım³ (a3) katsayısı analiz edilir. Bu olay aralığındaki sinyalin rms değeri hesaplanır. Bu olayın başlangıç anından önceki çevrimin de rms değeri alınır. Bu iki değer oranlanarak olayın 50 Hz'lik referans gerilim sinyaline göre büyüklüğü elde edilir. Bu gerilim tepesi olayının standartlarda belirtilen sınırlar arasında olup olmadığının kontrolü için gereklidir. Daha sonra bu sınır değeri içinde olduğu tespit edilen olay gerilim tepesi olayı olarak sınıflandırma işleminden çıkar.

Çizelge 4.15'de oluşturulan gerilim tepesi olayları için hesaplanan değerler ve doğru-

Çizelge 4.15. Gerilim tepesi olayı büyüklük ve sınıflandırma testleri

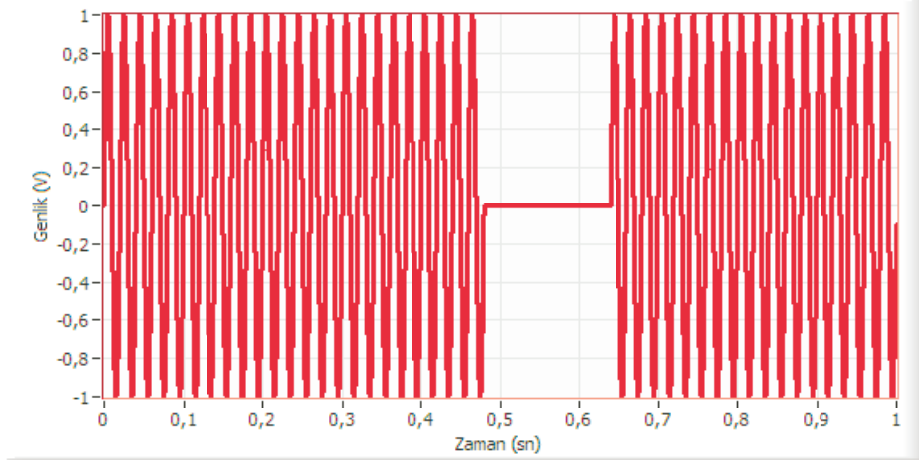
OB (%)	OU (ms)	HEB (%)	HEU (ms)	BH (%)
120	80	118,66	80	1,11
125	160	124,49	160	0,41
130	160	129,47	160	0,41
135	320	134,76	320	0,69
140	320	139,75	320	0,18

luk yüzdelerine yer verilmiştir. Hata oranları incelendiğinde en büyük hatanın %1,11 olduğu görülmektedir. Gelen hata olay büyüklüğünün hesabında gelmiş ancak kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmıştır. Girilen gerçek olay uzunluğu analiz sonucunda hatasız tespit edilmiştir.

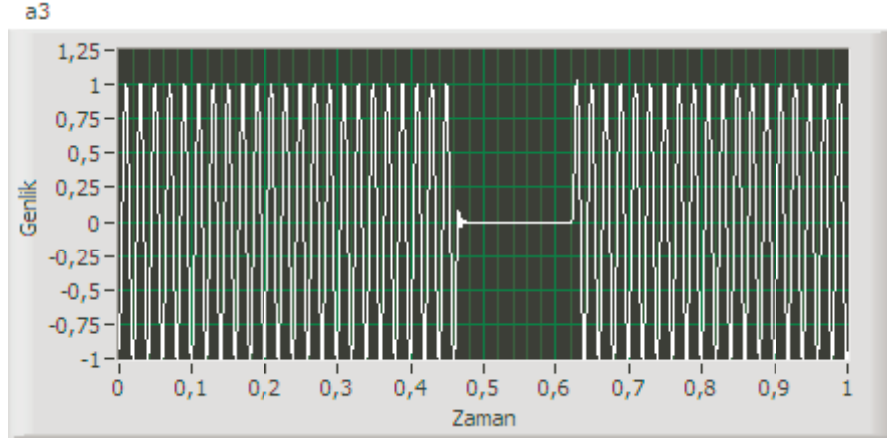
Gerilim Kesintisi Olaylarının Sınıflandırılması

Gerilim kesintisi olayının analizi gerilim çukuru olayına benzerliği nedeniyle sınıflandırılmasında bazı zorluklarla karşılaşmaktadır. Gerilimde %10'nun altında bir düşme artık çukur olarak tanımlanmamakta gerilim kesintisi olarak tanımlanmaktadır. Sistemde gürültünün varlığı düşünüldüğünde bu iki olayın %10'luk sınır çevresinde birbirinden ayrılması oldukça güçleşmektedir. Bu zorlukları ortadan kaldırmak için literatürdeki mevcut yöntemlerden farklı olarak her bir olay tespitinden sonra olayın sinyal içindeki zaman eksenindeki bölgesi iyi incelenmeli ve bu bölgedeki özelliklerin gerilim çukuru olayının özelliklerinden ayrıştırılması gerekmektedir. Her bir gerilim kesintisi olayı özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Burada Şekil 4.40'de örnek olarak oluşturulan %0'luk bir gerilim kesintisi olayının sınıflandırma algoritması ile sınıflandırılması ve sonuçları analiz edilmektedir.

Gerilim kesintisi sınıflandırmasında yine 3 seviyeli db10 dalgacığı ile UWT analizi yapılarak sinyal dalgacık katsayıları şeklinde ifade edilir. Burada a3 katsayısı aynı şekilde 0-200 Hz'lik frekans bilgisini taşımaktadır. Bu frekans bilgisi gerilim tepesi olayını da içinde barındıran bir çıktı olarak elde edilir. Yani UWT analizinde 2. seviyede elde edilen alçak geçiren filtre çıkışı tekrar alçak geçiren filtrelemeye tabi tutularak a3 yaklaşım katsayısı elde edilir. Şekil 4.41'de bu yaklaşım katsayısı gösterilmektedir.



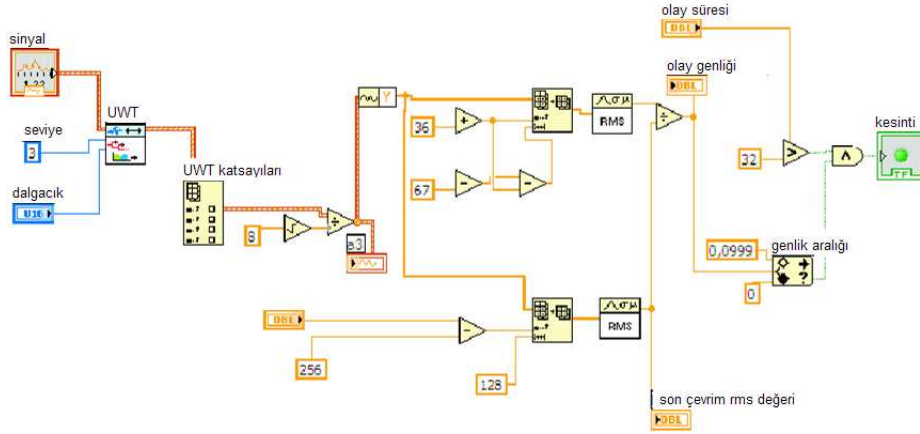
Şekil 4.40. Sınıflandırmaya tabi tutulan %0'lık gerilim kesintisi olayı



Şekil 4.41. Gerilim kesintisi olayı 3 seviyeli db10 dalgacıklı UWT yaklaşım katsayısı

Gerilim çukuru olayına benzer şekilde gerilim kesintisi olayı sınıflandırma algoritması da girdi sinyalini bir takım testlere tabi tutmaktadır. Bu test algoritmasının blok şeması Şekil 4.42'da gösterilmektedir. Giriş sinyali öncelikle olayın tespit edilmesinden sonra bu algoritma sayesinde gerilim tepesi olayını sınıflandırmakta ve büyüklüğünü hesaplamaktadır.

Düşük frekanslı yaklaşım3 (a3) katsayısı öncelikle analiz edilir. Olayın olduğu aralık diğer olay sınıflandırmalarına benzer olarak, olay aralığındaki sinyalin rms (kök-ortalama-kare) değeri hesaplanır. Bu olayın başlangıç anından önceki çevrimin de rms değeri alınır. Bu iki değer oranlanarak olayın 50 Hz'lik referans gerilim sinyaline göre büyüklüğü elde edilir. Bu gerilim kesintisi olayının standartlarda belirtilen sınırlar arasında olup olmadığının kontrolü için gereklidir. Daha sonra bu sınır değeri içinde olduğu tespit edilen olay gerilim kesintisi olayı olarak sınıflandırma işleminden



Şekil 4.42. Gerilim kesintisi sınıflandırma algoritması blok şeması

çıkar.

Çizelge 4.16. Gerilim kesintisi olayı büyüklük ve sınıflandırma testleri

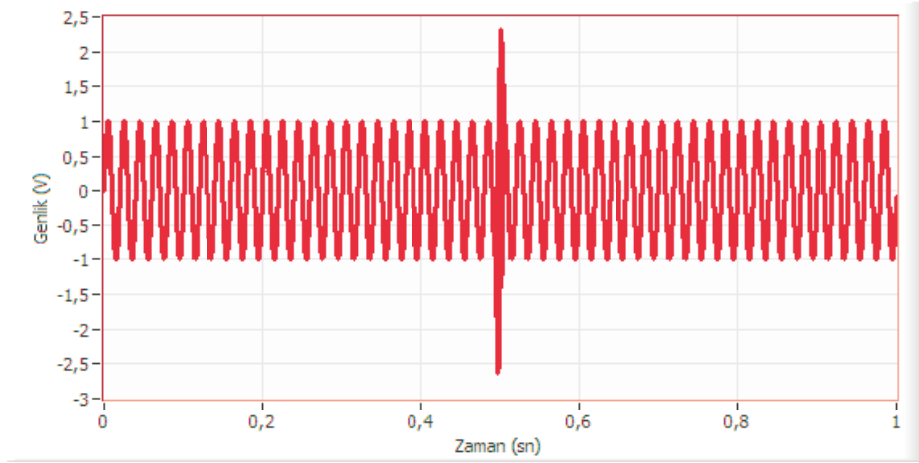
OB (%)	OU (ms)	HEB (%)	HEU (ms)	BH (%)
8	160	7,99	160	0,13
6	80	5,99	80	0,17
4	120	3,99	120	0,25
2	240	1,99	40	0,50
0	320	0,00	320	0,00

Çizelge 4.16’da oluşturulan gerilim kesintisi olayları için hesaplanan değerler ve doğruluk yüzdelerine yer verilmiştir. Hata oranları incelendiğinde en büyük hatanın %0,50 olduğu görülmektedir. Gelen hata olay büyüklüğünün hesabında gelmekte ancak kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmaktadır. Girilen gerçek olay uzunluğu analiz sonucunda hatasız tespit edilmiştir.

Geçici Olaylarının Sınıflandırılması

Bundan önce incelenmiş olaylar kısa süreli yüksek frekans bilgisinin yanında alçak frekans bilgilerini taşımaktaydı. Ancak geçici olaylar çok daha kısa süreli ani değişimler olmakla birlikte çok daha yüksek frekanstaki bilgilerden meydana gelmektedirler. Ulusal ve uluslararası standartlarda çizilen sınırlara göre geçici rejim olaylarının diğer olaylardan farklı özelliklerinin elde edilerek sınıflandırılması esastır. Özellikle diğer olaylara göre geçici olayın süresi çok kısadır. Bu farklılık geçici olayın sınıflandırılmasını sağlamaktadır. Bu sınıflandırma işleminde kullanılan geçici

olaylardan örnek salınımlı bir olay Şekil 4.43'de gösterilmektedir.

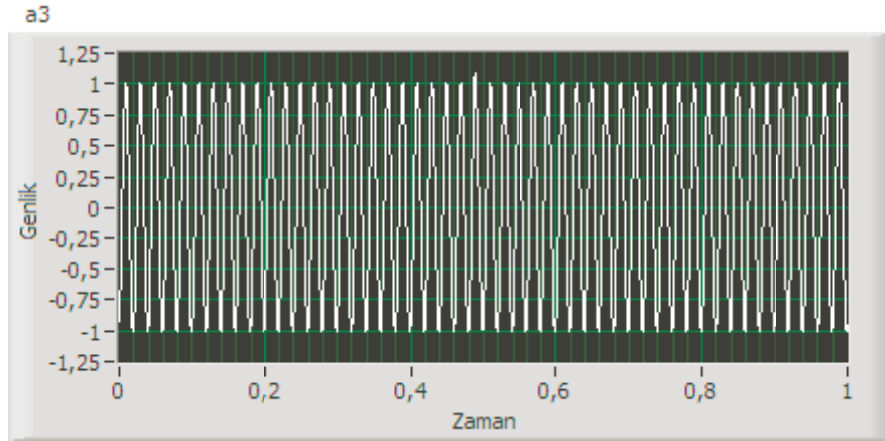


Şekil 4.43. Sınıflandırmaya tabi tutulan salınımlı geçici olay

IEEE 1159-1995 uluslararası standardında yer alan veriler ışığında geçici olayların türüne bağlı olmakla birlikte uzunlukları 50 ms ya da daha az olduğu görülmektedir. Ayrıca yine olayın türüne bağlı olarak geçici olayın genlik değeri 0-8 pu olarak tanımlanmaktadır. Bu veriler ışığında geçici olayı diğer kısa süreli güç kalitesi olaylarından ayırmak ve sınıflandırmak gerekmektedir. Geçici olaylar diğer olaylara göre daha kısa süreli ve daha yüksek frekans içerikli olaylardır. 3 seviyeli db10 dalgacıklı UWT analizi ile edilen a3 yaklaşım katsayısı 0-200 Hz aralığındaki frekans bilgisini taşıdığından geçici olay gibi yüksek frekanslı olay analizinde kullanılması mümkün olamamaktadır. Detay katsayıları yüksek frekans bilgilerini taşıdıklarından bu tür olayların sınıflandırılmasında kullanılabilirler. Şekil 4.44'de görülebildiği gibi a3 katsayısı 50 Hz ana sinyalden sadece olayın genlik değerine bağlı olarak olay bölgesinde küçük farklılıklar göstermektedir.

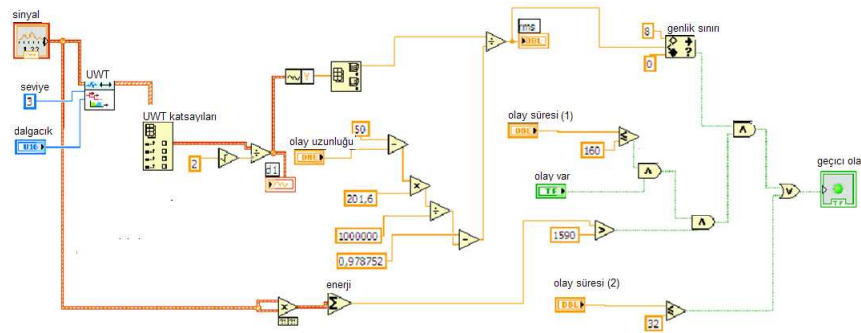
Olay sinyalinin taşıdığı enerji miktarından yola çıkarak yüksek frekanslı geçici olayın UWT analizi ile detay-1 bileşeninin enerjisi oldukça yüksek olmaktadır. Olaylı girdi sinyalinin toplam enerjisinin hem de detay-1 bileşeninin enerjilerinin hesaplanarak değerlendirmeye konulması geçici olayın diğer olaylardan ayrılmasına neden olmaktadır.

Geçici güç kalitesi olayının sınıflandırılmasında sinyalin enerjisi ve süresi ile büyüklük değerleri kullanılmaktadır. Sadece bir sinüs dalgası için 3200 Hz örnekleme ile 1600 birimlik enerji değeri elde edilir. Yapılan testlerde 50 Hz bileşeninin 1590 birimlik enerjiden daha büyük değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Olay sınıflandır-



Şekil 4.44. Geçici olay 3 seviyeli db10 dalgacıklı UWT yaklaşım katsayısı

masında geçici olayın diğer olaylardan ayrılması işlemini gerçekleştiren blok şeması Şekil 4.45'da gösterilmektedir.



Şekil 4.45. Geçici olay sınıflandırma algoritması blok şeması

Öncelikle IEEE 1159-1995 uluslararası standardında yer alan veriler referans alındığında olay sinyalinin uzunluğunun belirlenmesi çok önemlidir. Diğer olaylar için 0,5 çevrim olarak belirlenen en küçük olay uzunluğu geçici olay için geçerli değildir. Geçici olay yüksek frekanslı ve en fazla 50 ms uzunluğu olan anlık olaylardır. Sınıflandırmada 50 ms'nin altında uzunluğa sahip belirlenen güç kalitesi olayları büyüklükleri de hesaplanarak geçici olay olarak sınıflandırılmaktadır. 0,5 çevrimden (3200 Hz örnekleme frekansında 32 örnek) küçük uzunlukta olaylar da diğer olaylardan ayrılarak geçici olay olarak değerlendirilmektedir. Olay büyüklüğünün hesaplanmasında daha önceki yöntemlerden farklı olarak yapılan test sonuçlarını kullanarak belirlenen sabitler yardımıyla hesaplamalar yapılmaktadır. Detay-1 katsayısının maksimum değerini girdi sinyali üzerindeki yüksek frekanslı geçici olay büyüklüğüne oranladığımızda elde ettiğimiz değer referans değeri olarak kullanılmaktadır. Bu referans değere göre olay uzunluğu değiştikçe değişen sabit bir katsayı elde edilir. Bu

katsayının her bir analizde detay-1 bileşenin maksimum değeriyle çarpılmasıyla olay sinyalinin büyüklüğü elde edilir.

Çizelge 4.17’de oluşturulan geçici olaylar için hesaplanan değerler ve doğruluk yüzdelerine yer verilmiştir. Burada, SE1 geçici olay bindirilmiş sinyal enerjisini, SE2 ise yaklaşım³ (a₃) katsayısı sinyal enerjisini ifade etmektedir.

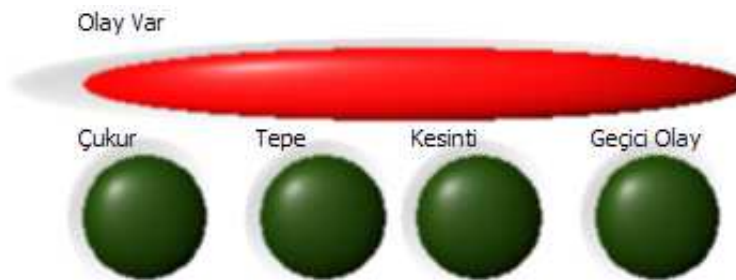
Çizelge 4.17. Geçici olay büyüklük ve sınıflandırma testleri

OB (%)	OU (ms)	HEB (%)	HEU (ms)	SE1	SE2	BH (%)	UH (%)
1	43,75	1,00	43,13	1669,6	1599,1	0,00	1,42
2	40,00	2,00	39,69	1856,0	1600,1	0,00	0,78
4	20,00	4,02	19,69	2112,0	1600,5	0,50	1,55
6	5,00	6,05	5,00	1882,3	1595,4	8,33	0,00

SE1: Sinyal Enerjisi, SE2: a₃ Enerjisi, UH: Uzunluk Hatası

Geçici olaylar çok kısa süreli ve büyük genlikli olaylar olduklarından özelliklerinin doğru olarak belirlenmesi nispeten daha zordur. Çizelge 4.17’de hata oranlarına baktığımızda büyüklükteki maksimum hata sinyal uzunluğu azaldıkça artmıştır. Uzunluk tespitindeki hata sinyalin özelliğine göre değişiklik göstermektedir.

Yapılan tespit ve sınıflandırma analizleri sonucunda Labview programı çıkışında kullanıcı panelinde olay olduğu anda karşılaşılan durum Şekil 4.46’de gösterilmektedir. Her bir olay için bir çıkış ekranı olduğundan ilgili olay için o olayın olduğuna dair uyarı verilmektedir.



Şekil 4.46. Olay tespit çıkış ekranı

Analiz edilen her bir olay için sınır değerlerinin belirlenmesinde test sonuçları önemli bir yer tutar her bir olay için olayın meydana geldiği zamana ve olayın büyüklüğüne göre UWT detay katsayı değerleri değişmektedir.

Çizelge 4.18. Test için kullanılan güç kalitesi olayları

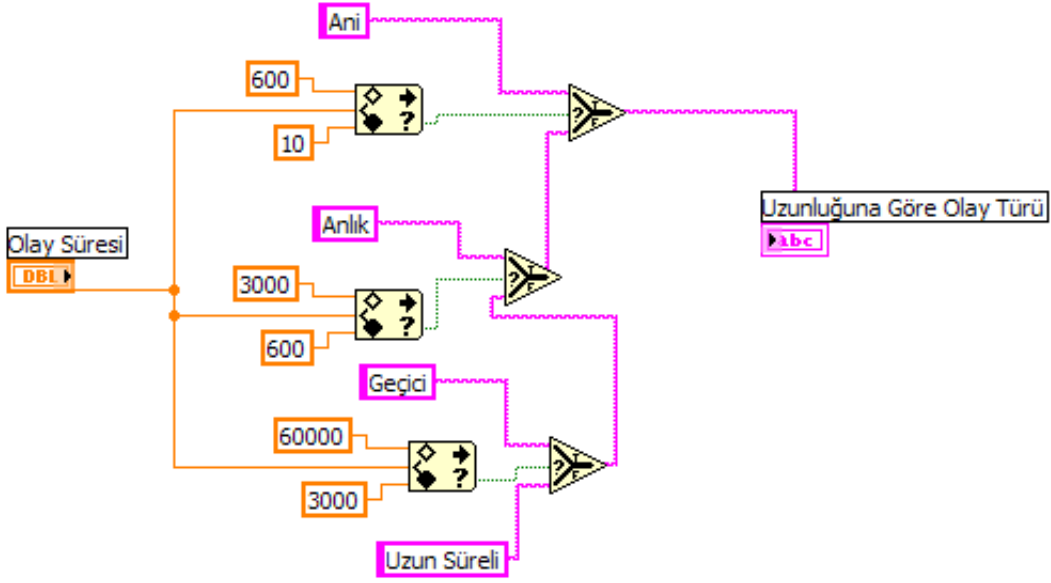
Olay Türü
%80'lik Gerilim Çukuru
%40'lık Gerilim Çukuru
%20'lik Gerilim Çukuru
%120'lik Gerilim Tepesi
%135'lik Gerilim Tepesi
%5'lik Gerilim Kesintisi
%3'lük Gerilim Kesintisi
%0'lık Gerilim Kesintisi
6,25 ms'lik Salınlı Geçici Olay
2 ms'lik Darbeli Geçici Olay
3. ve 5. Harmonikli Sinyal
2. ve 4. Harmonikli Sinyal

Yapılan güç kalitesi olay tespit testlerinde birçok güç kalitesi olayının benzetimi yapılmış ve bu olayların tasarlanan algoritmayla tespit edilip edilemediği sınınanmıştır. Bu analizlerde kullanılan olay türleri Çizelge 4.18'de gösterilmiştir. Bu kısımda oluşturulan test olaylarının tamamı algoritma tarafından gerçek zamanlı olarak tespit edilmiş ve sınıflandırılmıştır.

Kısa Süreli Olayların Uzunluklarına Göre Sınıflandırılması

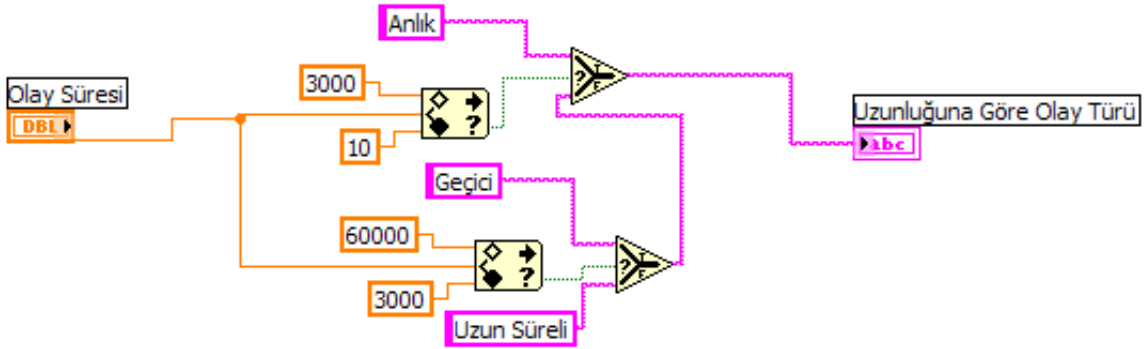
Gerilim sinyali üzerinde geçici süreli olarak meydana gelen gerilim çukuru ve gerilim tepesi olayları uzunluklarına göre sınıflara ayrılmaktadırlar [12]. Bu sınıflandırma işlemi tespit edilen güç kalitesi olayları uzunlukları ile birlikte sınıflandırma işleminde kullanılmaktadır. Çizelge 2.1'de de görüldüğü gibi 1 dakika uzunluğa kadarki kısa süreli gerilim çukuru olayları sırasıyla ani, anlık ve geçici çukur olarak adlandırılmaktadırlar. 1 dakikadan fazla olan gerilim çukur olayı ise artık uzun süreli gerilim düşümü olarak adlandırılırlar.

Gerilim tepesi olayı da benzer şekilde 1 dakika uzunluğa kadarki uzunluklarda sırasıyla ani, anlık ve geçici tepe olarak adlandırılmaktadırlar. 1 dakikadan fazla olan gerilim tepesi olayları ise artık uzun süreli gerilim yükselmesi olarak adlandırılırlar. Gerilim kesintisi olayları ise Şekil 4.48'deki gibi *ms* cinsinden tespit edilen olay sü-



Şekil 4.47. Gerilim çukuru ve gerilim tepesi olayları uzunluk sınıflandırma blok şeması

resi limitler ile karşılaştırılır ve sırasıyla anlık, geçici ve uzun süreli gerilim kesintisi olarak sınıflandırılırlar. Geçici olaylar için ise yine benzer şekilde hesaplanan geçici olay uzunluğu 50 ms'nin altında süren olaylar frekans ve genlik bilgilerine göre darbeli veya titreşimli geçici olay olarak adlandırılmaktadırlar.



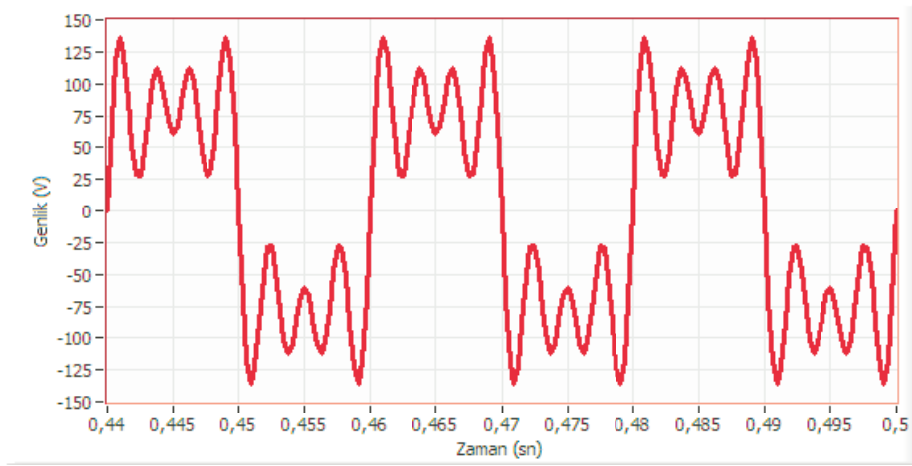
Şekil 4.48. Gerilim kesintisi olayları uzunluk sınıflandırma blok şeması

Akım ve Gerilim Harmoniklerinin Analiz ve Hesaplanması

Daha önce analiz ve sınıflandırılması yapılan güç kalitesi parametrelerinden farklı olarak akım ve gerilim harmonikleri daha uzun süreli olarak elektrik sisteminde yer alan parametrelerdir. Periyodik olarak 50 Hz temel bileşenin yanında sistemde bulunan 50 Hz'in tam katı olan harmoniklerin değerlerinin tespit edilmesi çok önemlidir. Harmoniklerin hesaplanma yöntemleri ve sınır değerleri uluslararası standartlarda

yer almaktadır. Sistemde bu sınırların dışında harmonik olup olmadığının tespiti için harmoniklerin belirlenen yöntemlerle hesaplanıp değerlendirilmesi gerekmektedir. IEC 61000-4-7 ve IEEE 519-1992 standartlarında bu sınır değerler ve hesaplama yöntemlerine yer verilmektedir. Harmonik hesaplama yöntemlerinde FFT tekniği kullanılarak harmonik hesabı yapılmakta ve sınır değerlerle karşılaştırılmaktadır.

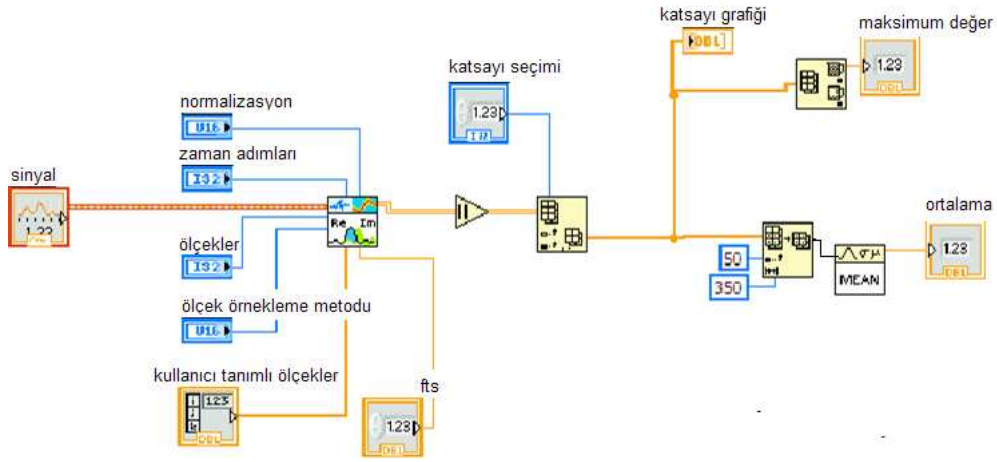
Bu kısımda harmonik analizi ve hesaplamaları dalgacık dönüşümü tekniği kullanılarak yapılmıştır. Karmaşık sürekli zamanlı dalgacık olan Morlet dalgacığı ile üzerine harmonik bindirilmiş sinyallerin analiz ve testleri yapılmıştır. CWT ile sürekli karmaşık Morlet dalgacığı kullanılarak, Şekil 4.49'de gösterildiği gibi harmonikli sinyallerin analizinde kullanılmaktadır.



Şekil 4.49. 3. 5. ve 7. harmonik bindirilmiş 50 Hz temel frekanslı sinyal

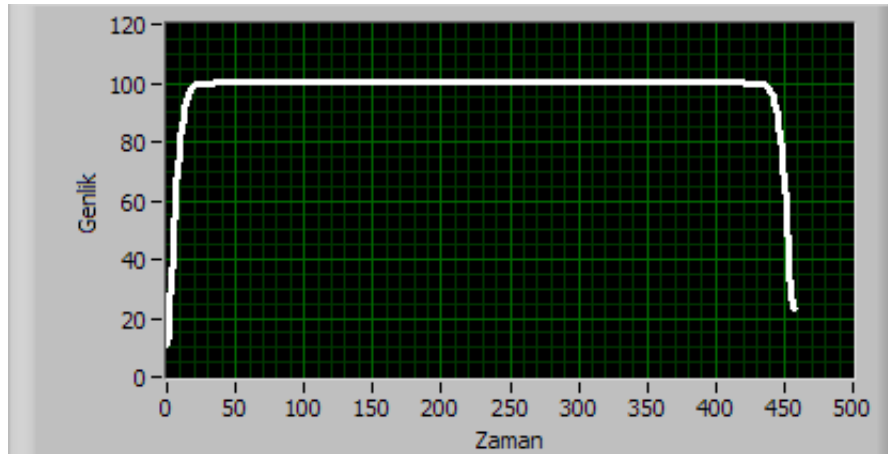
Frekans ekseninde frekansın sigmaya oranı analiz işlemlerinde fts olarak kullanılmaktadır. Bu oranın değiştirilmesiyle sinyal üzerindeki frekans bilgilerine ulaşılmaktadır. Fts oranı ana Morlet dalgacığının bant genişliğini ifade etmektedir. Ayrıca harmonik analizlerinde zaman ve frekans eksenlerinde çözünürlük olarak da kullanılmıştır. Büyük fts oranı yüksek frekans çözünürlüğü ve düşük zaman çözünürlüğü demektir.

Morlet dalgacığı ile sinyallerin frekans bileşenlerini istenilen ölçeklere göre elde edebilmek mümkündür. Harmonik analizinde kullanılan blok şema Şekil 4.50'de gösterilmektedir. Harmonikli sinyal CWT analizi ile dalgacıklarına ayrılmakta ve bu dalgacıkların maksimum ve ortalama değerleri ile harmoniklerin oldukları ölçekler analiz edilmektedir.



Şekil 4.50. Morlet harmonik analiz blok şeması

CWT analizi ile bütün ölçekler için analizler yapmak gereksiz işlem çokluğu getirmektedir. Bu nedenle sürekli zamanlı analiz ile sadece harmoniklerin yer aldığı ölçek değerlerinin analizi yapılmaktadır. Şekil 4.51'de 50 Hz analizinde elde edilen CWT katsayısı gösterilmektedir.



Şekil 4.51. 50 Hz için CWT analizi sonucu elde edilen katsayı

Bant genişliği olarak tanımlanan fts değerini değiştirerek yani ana Morlet dalgacığının bant genişliğini değiştirerek uygun değerde harmoniklerin değerlerinin doğru hesaplanmasına çalışılmıştır. İyi frekans çözünürlüğü için bu değer analizlerde yüksek seviyelerde tutulmuştur.

Morlet dalgacığı ile analizi yapılacak girdi sinyali üzerinde sadece tek bir frekans bileşeninin olduğu durumda fts oranının genlik değerini doğru tespit ederken nasıl değiştiğini incelemek önemlidir. Bu kısımda sırasıyla 50 Hz ve tamsayı katlarında frekansa sahip saf sinyaller analiz edilerek fts değerleri tespit edilmektedir. Bu de-

ğerlerin farklı olması farklı bant genişlikleri kullanmak manasına gelmektedir. Yüksek frekanslara kadar daha iyi analizler yapabilmek için sinyalin örnekleme frekansı da yüksek seçilebilir. 25600 Hz ve 3200 Hz örnekleme frekansında ve örneklenen sinyalin analizinde 50 Hz ile 500 Hz arasında 50 Hz'lik adımlarla oluşturulan farklı frekansta sinyallerin Morlet dalgacık analizi yöntemi ile genlik değerlerinin tespit edilmesi Çizelge 4.19'de yer almaktadır. Kullanılan fts değerleri her ölçek değerinde hatasız analiz için girilebilen maksimum değerler olarak elde edilmiştir. Burada analiz edilen sinyalin frekans bileşeninin tek olması o frekansın genlik değerinin hatasız elde edilmesini nispeten kolaylaştırmıştır. Tespit edilmesi istenen frekans değerine karşılık gelen ölçek seviyesi analiz edilerek doğru genlik değerleri elde edilmiştir. Görüldüğü gibi örnekleme sayısı arttıkça fts oranı da küçük bir farkla daha az büyümektedir. Her bir frekansa göre seçilen ölçek değerleriyle o frekanstaki harmonik bileşenin değeri hatasız elde edilebilmiştir. Fts değerleri görüldüğü gibi frekansla doğru orantılı olarak artmıştır.

Çizelge 4.19. Farklı örnekleme frekanslarında 50-500 Hz aralığında harmonik analizi

f (Hz)	25600 Hz		3200 Hz	
	maksimum fts	ÖD	maksimum fts	ÖD
50	30	384,00	30	48,00
100	60	192,00	60	24,00
150	92	128,00	92	16,00
200	121	96,00	121	12,00
250	152	76,80	152	9,60
300	182	64,00	183	8,00
350	213	54,86	214	6,86
400	243	48,00	245	6,00
450	274	42,67	276	5,33
500	304	38,40	307	4,80

f: Frekans, fts: Frekansın Sigmaya Oranı, ÖD: Ölçek Değeri

Fts değeriyle bant genişliği yada diğer ifadeyle frekans penceresi değiştirilerek istenen frekanstaki sinyal elde edilirken bu sinyalin genlik değeri de değişmektedir. Elde edilen genlik değerinin girdi sinyalindekiyle eşit elde edilebilmesi için genlik düzeltilmesi yapılmıştır. Bu düzeltme elde edilen ölçek noktasındaki maksimum genlik

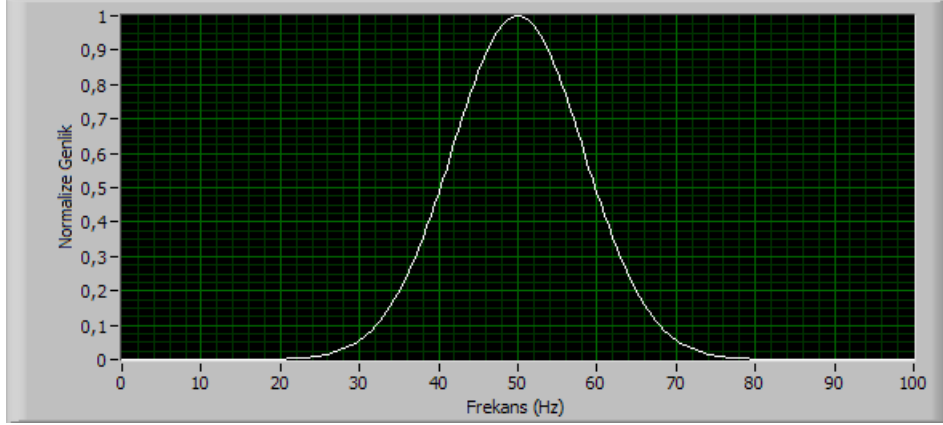
değerini kullanılan frekans penceresinin genliğine bölerek 2 katını almakla yapılmıştır. Böylece frekans penceresinin getirdiği genlik hatası giderilmiştir.

Temel bileşen frekansı olan 50 Hz'in tam katı değerlerinden farklı olarak sistemde ara harmonik olduğu durumda analizler genişletilerek Morlet dalgacıklarıyla CWT analizinin sonuçları tekrar değerlendirilmiştir. Bu durumda rastgele seçilen frekans ve genlik değerleri CWT analizinden geçirilerek doğruluk yüzdeleri belirlenmiştir. Çizelge 4.20'de tespit edilmesi amaçlanan sinyalin frekansına göre değişen fts oranı ve genlik analizleri gösterilmiştir. Bu analizlerde çok yüksek doğrulukta ara harmonik tespit edilmiştir. 5,3 değerindeki bir fts değeri tam doğrulukta analiz için yeterli olmuştur.

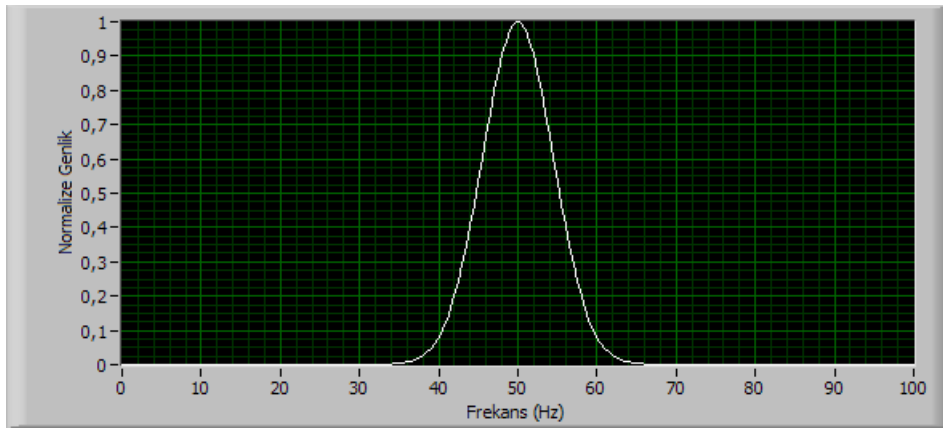
Çizelge 4.20. Ara harmonik analizi

f (Hz)	fts	ÖD	GB	HEB
24	5,3	800,00	15	15
43	5,3	446,51	134	134
68	5,3	282,35	99	100
127	5,3	151,18	357	357
285	5,3	67,37	23	23
430	5,3	44,65	270	100

Tek bir frekansta bulunan sinyal analizlerinden sonra 50 Hz sinyal üzerinde 2. harmonikten 10. harmoniğe kadar harmonikler varken bu harmonik değerlerinin tespit edilmesi gerçek sistemlerde karşılaşılan sistemlerin analizi anlamına gelmektedir. Her bir frekans yada diğer ifadeyle ölçek değeri için farklı fts değerleri kullanılmıştır. Çünkü frekans arttıkça frekanstaki çözünürlüğü arttırmak gerekmektedir. Aksi halde elde edilen sinyaller birbirine komşu frekansların filtrelenmesinde üst üste binen sinyallerden dolayı genlik değeri hatalı çıkmaktadır. Fts değeri 6 alındığında 50 Hz sinyalini ayırtmak için kullanılan bant genişliği Şekil 4.52'de gösterilmiştir. Buradaki bant genişliği 50 Hz'lik sinyali diğer tam katlı harmoniklerden ayırmak için yeterli olmuştur. Buradaki fts değeri 11,2 değerine çıkarıldığında elde edilen bant genişliği Şekil 4.53'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi fts değeri büyüdükçe frekans bandı daralmaktadır. Bu yöntemle istenilen frekanstaki genlik değeri diğer frekanslardaki sinyallerden etkilenmeden doğru olarak elde edilebilir.



Şekil 4.52. 50 Hz sinyali ayırtırmak için kullanılan Morlet dalgacığfı frekans bant genişliğı (fts=6)



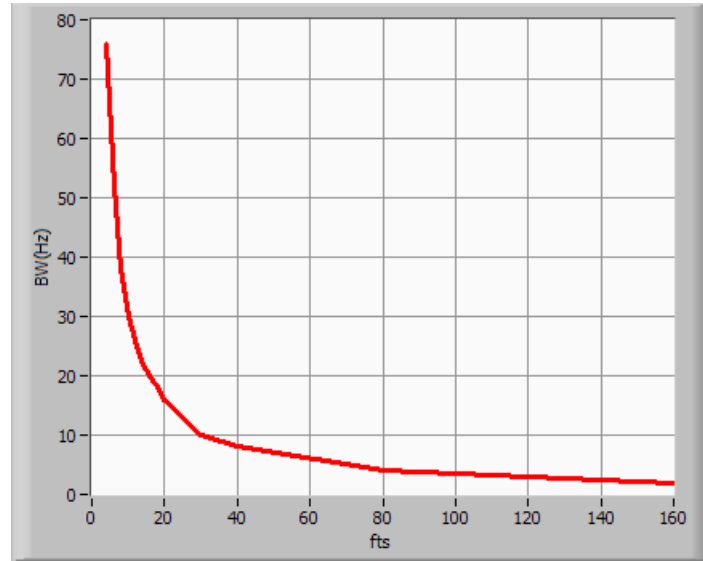
Şekil 4.53. 50 Hz sinyali ayırtırmak için kullanılan Morlet dalgacığfı frekans bant genişliğı(fts=11,2)

Morlet dalgacığfı için frekans bant genişlikleri farklı fts değerleri için farklıdır. Fts değeri yükseldikçe frekans bant genişliğı daralır ve diğer frekanslardaki sinyallerden etkilenme miktarı azalır. Bu durumu farklı fts değerleri ile 50 Hz sinyal için kullanılan bant genişlikleri değişimleri Çizelge 4.21'de gösterilmiştir. Burada Morlet dalgacığfının genliğinin %1'e düştüğü frekans bant genişliğı alınmıştır. Bu çizelgeye göre çizilen fts'ye göre bant genişliğı değişim eğrisi Şekil 4.54'de gösterilmiştir.

Öncelikle 25600 Hz örnekleme frekansı ile harmonik analizi yapılmış, daha sonra gerçek zamanlı ölçüm verileri ve analizinde kullanılan 3200 Hz örnekleme ile analizler tekrarlanmıştır. 25600 Hz frekansındaki analiz sonuçları Çizelge 4.22'de gösterilmektedir. Her bir frekans için uygun fts değeri seçilmiş ve genlikler hatasız elde edilmiştir. Çizelge 4.23'de ise 3200 Hz için yapılan tam doğrulukta analizler için kullanılan fts değerleri gösterilmiştir. Analizlerde fts değerleri aynı alındığında doğru genlik analizlerinin örnekleme frekansından bağımsız oldukları anlaşılmıştır.

Çizelge 4.21. 3200 Hz örnekleme frekansında 50 Hz için fts değerlerine göre bant genişlikleri

fts	BW (Hz)
4	76
6	52
8	38
10	30
12	26
14	22
16	20
18	18
20	16
30	10
40	8
80	4
160	2



Şekil 4.54. Fts değerine göre frekans bant genişliği değişim eğrisi

Burada, HN harmonik numarasını, f frekansı, ÖD ölçek değerini, GB girilen büyüklüğü ifade etmektedir.

Harmonik analizlerinde sinyal üzerindeki tüm harmoniklerin etkisini gösteren Toplam Harmonik Bozulma (THD) olarak adlandırılan bir bozulma faktörü tanımlanmış-

Çizelge 4.22. 25600 Hz örnekleme frekansında harmonik analiz testleri

HN	f (Hz)	fts	ÖD
1	50	11,2	384,00
2	100	22,4	192,00
3	150	33,6	128,00
4	200	44,8	96,00
5	250	56,0	76,80
6	300	67,2	64,00
7	350	78,4	54,86
8	400	89,6	48,00
9	450	100,8	42,67
10	500	112,0	38,40

Çizelge 4.23. 3200 Hz örnekleme frekansında harmonik analiz testleri

HN	f (Hz)	fts	ÖD	GB
1	50	11,2	48,00	100
2	100	22,4	24,00	20
3	150	33,6	16,00	30
4	200	44,8	12,00	10
5	250	56,0	9,60	40
6	300	67,2	8,00	20
7	350	78,4	6,86	25
8	400	89,6	6,00	15
9	450	100,8	5,33	8
10	500	112,0	4,80	5

tır. THD, belirlenen bir dereceye kadar tüm harmonik bileşenlerin toplamının rms değerinin temel bileşenin rms değerine oranıdır ve Eşitlik 4.14'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır [8].

$$THD = \sqrt{\sum_{n=2}^H \left(\frac{G_n}{G_1}\right)^2} \quad (4.14)$$

Burada, H , belirlenen dereceyi, G_n harmonik bileşenleri, G_1 temel bileşeni ifade etmektedir.

Uluslararası 61000-4-7 standardında harmonik bileşenlerin FFT yöntemiyle hesaplanmasından bahsedilmiştir. Buna bağlı olarak THD değerinin de bu yöntemle bulunduğu ifade edilmiştir [8].

Bu kısımda ise CWT analizi ile Morlet dalgacığı kullanarak elde edilen harmonik değerlerden THD hesabı yapılmış ve bu sonuçlar teorik ve FFT sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma Çizelge 4.24'de gösterilmektedir. Görüldüğü gibi hem FFT yöntemi hem de dalgacık yöntemi 500 Hz'e kadar olan harmonikler için tam doğru sonuçlar vermiştir.

Çizelge 4.24. THD sonuçlarının karşılaştırılması

Analizler	Teorik	FFT	Dalgacık
THD	65,871	65,871	65,871

FFT yöntemine alternatif olarak dalgacık yönteminin tam doğru şekilde kullanılabilceği bu analizler sonucunda anlaşılmıştır. Her çözünürlük değeri için uygun fts değeri seçilmeli ve analizler bu değer ile uygulanmalıdır.

Harmonik analizlerde IEC 61000-4-7 standardında frekans çözünürlüğü nedeniyle FFT yönteminde 3200 Hz örnekleme frekansı için 640 örnek girdi olarak kullanılmaktadır. Bu hafızada tutulan örnekler daha sonra FFT yöntemiyle analize tabi tutulmaktadır. Ancak dalgacık tekniğinde böyle bir veri hafızasına ihtiyaç yoktur. Uygun ölçek değeriyle istenilen frekans bölgesi sinyal verisi üzerinden kayan değişken frekans bant genişliği sayesinde analiz edilmektedir. Tek bir harmonik frekansı için diğer verilere ihtiyaç olmadığından bu verileri de kullanmak zorunda olmak FFT yönteminin fazladan veri hafızasına ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Ancak Morlet dalgacık tekniğinde böyle bir zorunluluk yoktur.

Elektrik şebekesinde temel frekansı 50 Hz olan akım ve gerilim sinyalleri her zaman bu durumu sağlayamamaktadır. Temel bileşen frekansının 50 Hz'den kayması hesaplanan harmoniklerin değerlerinin değişmesi anlamına gelmektedir. Böyle bir durumda FFT yöntemiyle Morlet dalgacıklı CWT yönteminin Çizelge 4.23'deki değerler fts ve ölçek değerleri kullanılarak karşılaştırılması Çizelge 4.25'de gösterilmiştir. Gi-

rilen gerçek genlik değeri burada 100 olarak alınmıştır. Görüldüğü gibi dalgacık yöntemiyle yapılan analizlerde doğru değerlere çok daha yakın değerler elde edilirken FFT daha kötü sonuçlar vermiştir. Bu yöntem tek frekansların tespit edilmesinde daha hızlı şekilde daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. FFT yönteminde 5 Hz çözünürlükte (bant genişliği 10 Hz) analizler yapılırken, benzer şekilde CWT yönteminde frekans bantları normalize edilmiş genliğin 0,707 değerine indiği aralıklarda 10 Hz'lik bant genişliği sağlanacak şekilde analizler yapılmıştır. Fts değerleri bu bant genişliklerini oluşturacak şekilde seçilmiştir.

Çizelge 4.25. Frekansın değişimine FFT ve CWT yöntemlerinin tepkisi

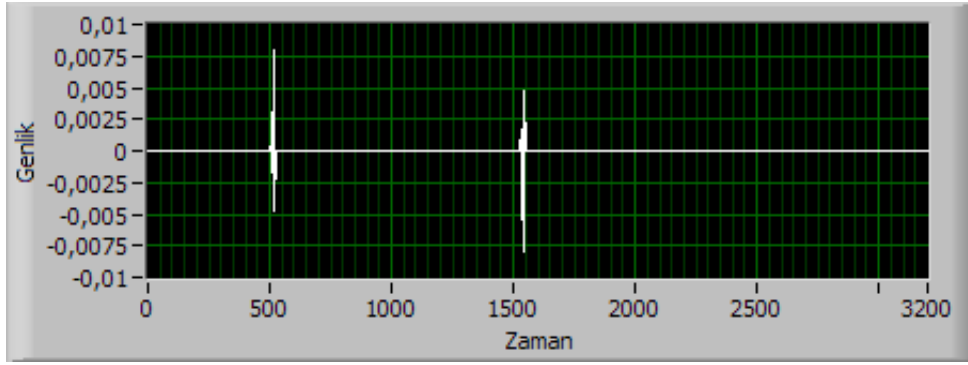
HN	f (Hz)	CWT	FFT
1	49,5	99,6394	99,3557
2	99,0	98,5654	97,4467
3	148,5	96,8010	94,3290
4	198,0	94,3839	90,0985
5	247,5	91,3646	84,8827
6	297,0	87,8052	78,8361
7	346,5	83,7758	72,1339
8	396,0	79,3581	64,9645
9	445,5	74,6285	57,5253
10	495,0	69,6805	50,0000

CWT ile elde edilen değerler FFT'ye oranla daha doğru değerlerdir. Temel frekans-taki değişim ölçek değeri değiştirilerek kolayca tespit edilebilir ve yeni duruma uygun analiz yapılabilirken, FFT yönteminde sabit bant genişliğini değiştirmek için tekrar bir bant genişliği tanımlayıp analizleri yeni duruma göre yapmak gerekmektedir. Bu sonuçlar sayesinde elektrik iletim ve dağıtım sistemindeki harmoniklerin analizinin yüksek doğrulukta FFT analizi yöntemi dışında bir yöntemle analizi mümkün olabileceği gösterilmiştir.

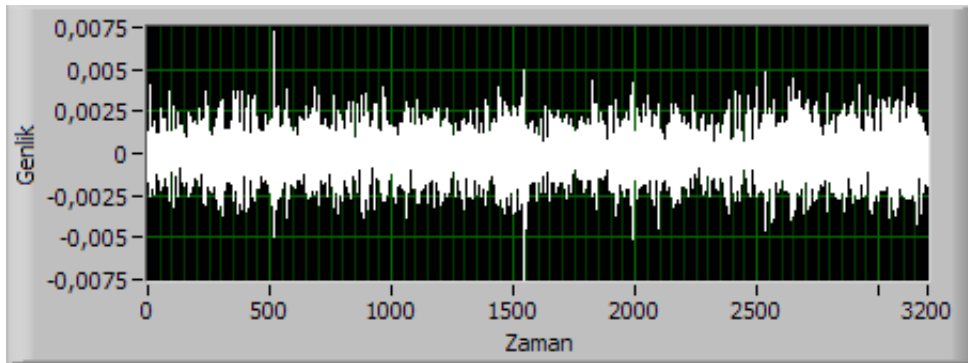
4.7.3 Gürültü Taşıyan Güç Kalitesi Olaylarının Tespit ve Sınıflandırılması

Buraya kadar yapılan benzetim testleri güç kalitesi olay sinyalleri üzerinde gürültünün olmadığı varsayımından hareketle analizler yapılmıştı. Ancak gerçek bir iletim ya da dağıtım sisteminde gerilim ve akım sinyalleri üzerinde gürültüler mevcuttur.

Bu gürültülerin dikkate alınarak süzülmesi ve olay tespit ve sınıflandırma işlemlerine bu süzme işlemlerinden sonra başlanması gerekmektedir. Aksi halde sistem üzerindeki yüksek frekanslı gürültü sinyalleri dalgacık analizinde olayların başlangıç ve bitiş noktalarının tespitini zorlaştırmaktadır. Beraberinde olayların sınıflandırılması işlemlerinin de uygulanması mümkün olamamaktadır. Gürültüsüz bir sistemde elde edilen detay-1 dalgacık katsayısı ile gürültülü bir sistemde elde edilen detay-1 dalgacık katsayısı arasındaki fark Şekil 4.55 ve Şekil 4.56'da görülebilmektedir. Burada %50 gerilim çukuru olayı analiz edilmiştir. Gürültü sinyali, standart sapması 0,002 pu olan Gauss beyaz gürültüsü eklenerek elde edilmiştir. Burada elde edilen her iki detay-1 katsayısı incelendiğinde gürültüsüz gerilim çukuru olayının tespit ve sınıflandırılmasında detay-1 dalgacık katsayısının kullanılabileceği ancak gürültülü sinyalin detay-1 dalgacık katsayısında analiz yapmanın mümkün olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.55. Gürültüsüz gerilim çukuru olayı için UWT detay-1 katsayısı



Şekil 4.56. Gürültülü gerilim çukuru olayı için UWT detay-1 katsayısı

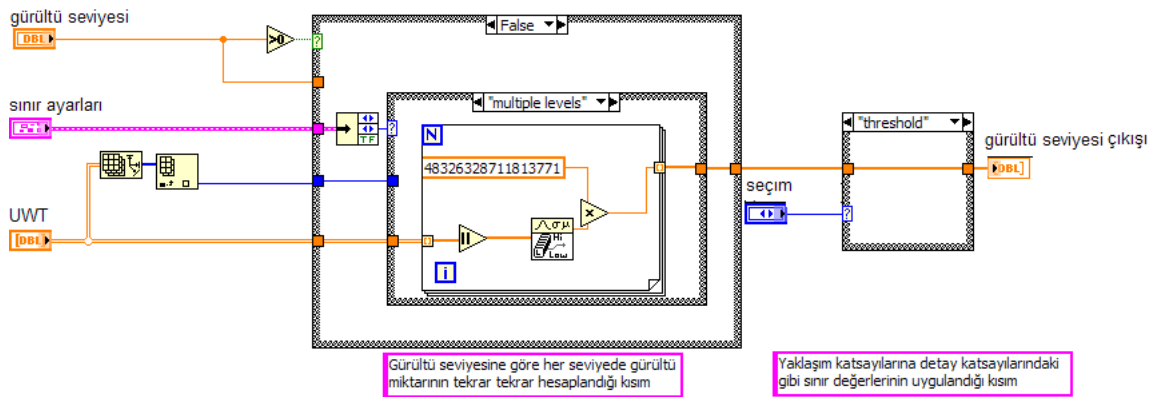
Sinyaller üzerinde bulunan gürültünün olayın tespit ve sınıflandırmasını en düşük seviyede etkiler hale getirebilmek için öncelikle sinyalin dalgacık tekniği ile gürültülerinden ayrıştırılması ve gürültüsü süzölmüş sinyal üzerinden dalgacık analizi yapılması gerekmektedir. Literatürde dalgacık tekniği gürültü süzme işlemlerinde sıkça kullanılan bir yöntemdir [67].

Gürültüyü süzmek için UWT çıkışındaki her bir dalgacık katsayısı ayrı ayrı gürültü süzme işleminden geçirilmektedir. Gürültü süzme işleminde öncelikle sinyalin 3 seviyeli UWT katsayılarının her biri süzme işlemi için 2 seviyeli db10 UWT analizine tabi tutulur. 2 seviyeli analiz kullanmak gürültüyü gidermek ve sinyalin üzerindeki olayları belirlemekte yeterli olmaktadır. Şekil 4.57'de gürültü süzme işlemi akış şeması gösterilmiştir. Buradan da görülebildiği gibi gürültü süzmede temel mantık önce sinyal üzerindeki gürültü seviyesini belirlemek daha sonra ise bu gürültü seviyelerine göre sınır değerler belirleyerek gürültüyü gidermektir. Sınır değerlerin altında kalan katsayıları sıfıra eşitleyerek sınırı geçen değerleri ise çıkışta elde ederek sinyal üzerindeki olayların tespitine imkan verilmektedir.



Şekil 4.57. Gürültü süzme işlemi akış şeması

Her bir UWT dalgacık katsayısının gürültü seviyesi bulunurken bu gürültünün beyaz gürültü türünde bütün frekans bandında enerjiye sahip bir gürültü olma zorunluluğu olmadığı düşünülerek Şekil 4.58'de de görüldüğü gibi her bir UWT analiz seviyesinde gürültünün standart sapması tekrar hesaplanmaktadır. Yaklaşım katsayıları için de detay katsayıları için belirlenen gürültü sınır değerleri kullanılmaktadır.



Şekil 4.58. Gürültü seviyesi belirleme blok şeması

Gürültü sınır değerleri,

$$\lambda_u = \sqrt{2 \log n \sigma} \quad (4.15)$$

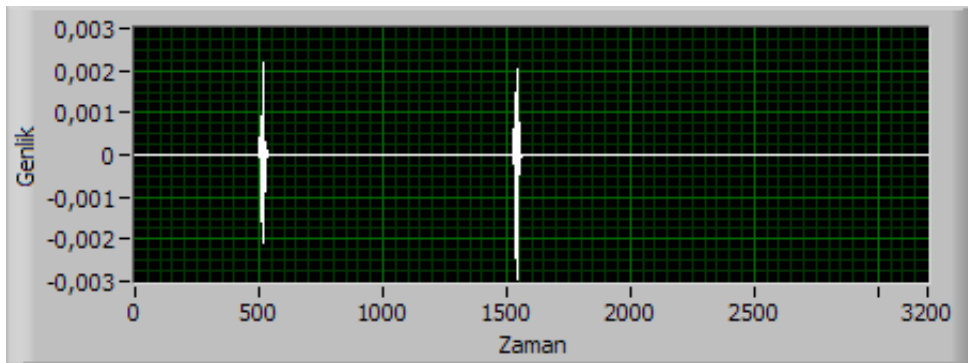
şeklinde elde edilir. Burada λ_u sınır değeri, n sinyal uzunluğunu, σ gürültünün standart sapmasını ifade etmektedir. Bu yöntem evrensel metod olarak adlandırılır [68]. Burada analiz edilmek istenen veri,

$$y_i = f(t_i) + e_i, i = 1, \dots, n \quad (4.16)$$

olarak düşünüldüğünde $t_i = i/n$, e_i ise $N(0, \sigma^2)$ şeklinde bağımsız dağılımlı beyaz Gauss gürültüsü olarak tanımlanır. Burada $f(.)$ ise analiz sonunda tekrar elde edilmek istenen fonksiyonu ifade etmektedir. Yaklaşımı yapılan gürültü tüm dalgacık katsayılarına eşit şekilde bulaştığı düşünülerek sınır değeri elde edilmiştir.

Daha önce bulunmuş olan gürültü seviyeleri elde edilen sınır değeriyle karşılaştırılır. Sınır değerini aşan katsayılar diğer katsayılardan ayırt edilerek gürültülü güç kalitesi olayının tespit edilmesi mümkün kılınmaktadır. Belirlenen sınır değerinin altında kalan dalgacık katsayıları gürültü olarak görülür ve sinyal gürültüden süzölmüş olur.

3 seviyeli UWT analizi ile db10 dalgacığı kullanılarak gürültüsü giderilmiş detay-1 katsayısından olay sinyalinin tespit edilmesi mümkün olmaktadır. Şekil 4.59'da açık şekilde olay anlarında detay katsayı değerinde ani yükselmeler olduğu görülmektedir. Bu ani yükselmeler o anda sistem üzerindeki gürültünün genlik değerlerinden büyük olduklarında tespitleri daha kolay iken genlikleri gürültü genliklerine yakın olan olayın tespit edilmesi daha zorlaşmaktadır. Bu tür olaylar için frekans içeriği daha küçük frekanslar olan diğer katsayılar kullanılmaktadır.



Şekil 4.59. Dalgacık analizi ile gürültüsü giderilmiş detay-1 bileşeni

Benzetimde oluşturulan farklı büyüklükte gürültüler için analiz sonuçları değişmektedir. Gürültü miktarı arttıkça güç kalitesi olaylarının belirlenmesi zorlaşmaktadır.

Çizelge 4.26'da farklı genlik değerlerine sahip gürültüler için elde edilen analiz sonuçlarına yer verilmiştir. Burada kullanılan güç kalitesi olayı test sinyali %40'lık gerilim çukurudur. Nominal gerilim olarak 1 pu genlikli sinyal kullanılmıştır. Beyaz Gauss gürültüsü beklenen ortalama değeri 0 olan Gauss dağılımına sahiptir.

Çizelge 4.26. Farklı büyüklükte gürültü türleri için elde edilen analizler

Gürültü	Gerçek Olay	Tespit Edilen Olay
standart sapması 0,001 olan Beyaz Gauss	10	10
standart sapması 0,002 olan Beyaz Gauss	10	10
standart sapması 0,010 olan Beyaz Gauss	10	9
standart sapması 0,015 olan Beyaz Gauss	10	5
standart sapması 0,020 olan Beyaz Gauss	10	2
standart sapması 0,030 olan Beyaz Gauss	10	0

Güç kalitesi sinyalleri üzerindeki gürültünün beyaz Gauss gürültüsü olduğu düşünülerek analizler yapılmıştır [69, 70].

4.7.4 Dalgacık Tekniği ile Mevcut Tekniklerin Karşılaştırılması

Uluslararası standartlarda belirtilen güç kalitesi ölçme teknikleri dalgacık tekniğinden farklı yöntemler önermektedir. Bu tekniklerde temel nokta sinyallerin zaman ekseninde bir çevrimlik pencerelerle yarım çevrim kaydırılarak kayan referans gerilimine göre sınır değerleri aşp aşmadığının kontrol edilmesine dayanmaktadır. Klasik yöntem olarak adlandırabileceğimiz bu yöntem bu çalışmada daha önce değinilmişti. Bu kısımda ise güç kalitesi olaylarının tespitinde klasik yöntem ile dalgacık yönteminin karşılaştırılması çalışmalarına değinilmektedir.

Mevcut IEC 61000-4-30 uluslararası standardında gerilim çukuru, gerilim tepesi ve gerilim kesintisi olayları kayan referans gerilimine göre anlık 1 çevrimlik rms değerlerin karşılaştırılması ile tespit edilmesi önerilmiştir [10]. Yarım çevrimlik kayma yöntemiyle hesaplanan rms değerleri güç kalitesi olayının başlangıç noktasının ve bitişinin tespitinde yeterli olmamaktadır. Çünkü olay olduğu anda olayın başlangıç noktası bilgisi yarım çevrimlik bir hata miktarıyla ancak tespit edilebilir. Dalgacık analizi yöntemi ise olayın olduğu anda çok daha düşük hata oranıyla olayı tespit edebilir. Bu durum olayın bitiş anı ve olayın uzunluğu analizlerinde de geçerlidir. Yani klasik rms yöntemi bir güç kalitesi olayı tespiti esnasında toplamda 1 çevrimlik

hata getirebilmektedir. Oysaki dalgacık analizi yöntemi çok daha küçük hatalarla bu analizleri yapabilmektedir. Çizelge 4.27’de olay başlangıç ve bitişleri olayın olduğu anda sırasıyla o anki saat dakika ve saniye bilgileri kaydedilmektedir. Bu durumda milisaniye uzunluğundaki olayların başlangıç ve bitişlerinin tespit edilmesi mümkün değildir. Olayın başından ve sonundan 1’er saniyelik verilerin de olay verisiyle birlikte kaydedilmesinden dolayı olay uzunlukları sonuçlarına ulaşılabilenmektedir. Ancak Çizelge 4.27’de dalgacık analizi ile olay başlangıç, bitiş ve uzunlukları yüksek doğrulukta bulunmuştur.

Çizelge 4.27. Rms ve dalgacık yöntemleri için olay başlangıç bitiş ve uzunluk analizleri

Olay	GS(ms)	GE(ms)	GD(ms)	WS(ms)	WE(ms)	RD(ms)	WD(ms)
Tepe	160.	480.	320	156,25.	476,25.	330	320
Tepe	160.	320.	160	156,25.	316,25.	170	160
Tepe	80.	480.	400	76,25.	476,25.	410	400
Çukur	320.	400.	80	316,25.	396,25.	90	80
Çukur	480.	680.	200	476,25.	676,25.	210	200
Çukur	640.	940.	300	636,25.	736,25.	310	300
Kesinti	80.	940.	860	76,25.	936,25.	10	860
Kesinti	240.	480.	240	236,25.	476,25.	10	240
Kesinti	720.	800.	80	716,25.	796,25.	10	80

GS: Girilen Başlangıç, GE: Girilen Bitiş, RD: Rms Uzunluk
WS: Dalgacık Başlangıç, WE: Dalgacık Bitiş, WD: Dalgacık Uzunluk

Güç kalitesi olaylarının rms yöntemiyle hesaplama yapan mobil ölçüm yazılımı ile analizi dalgacık tekniği ile karşılaştırıldığında olay başlangıç, bitiş ve uzunluk tespitinde doğruluk oranının dalgacık tekniğinde daha yüksek olduğu görülmektedir. Rms yöntemi ile gerilim çukur ve tepesi olaylarının tespit işlemi olay uzunluk değerleri gerçek değerlerinden 10 ms daha büyük olarak elde edilmektedir. Oysa dalgacık tekniğinde sabit olarak filtrelerin getirdiği gecikme ve yapılan analiz hatalarıyla daha düşük hata değerleri elde edilmektedir. Dalgacığın hızlı tepkimeli ve çabuk sönmelenmeli olması bu fark değerini en aza indirmektedir. Dalgacık analizi ile elde edilen olay başlangıç ve bitiş değerlerindeki farklar analizde kullanılan filtre gecikmelerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca analiz sırasında ölçüm ve tespitten gelen hatalar da vardır. Gecikmeden gelen fark olay tespit analizlerinde algoritmaya eklenerek daha

iyi doğrulukta sonuçlar elde etmek mümkündür.

Rms yöntemiyle elde edilen geçici olaylar olmadığından bu iki yöntemin geçici olaylarda karşılaştırılması yapılmamıştır. Ancak rms yöntemiyle yarım çevrimde bir değişen rms değerlerine bakarak bir kaç ms'lik geçici olayların tespit edilmesi çok zordur. Yüksek genlikteki geçici olaylar ancak bu yöntemle tespit edilebilir. Dalgacık yöntemi ise yüksek frekanslı geçici olayları tek seviyede analizlerde bile tespit edebilmektedir. IEC 6100-4-30 standardında elektrik şebekesinde meydana gelen geçici olayların ölçüm sistemleriyle tespit edilebilmesi için farklı bir kaç yöntem uygulanabileceğinden bahsedilmiştir. Bu yöntemler çoğunlukla her bir ölçüm verisi örneğinin belirli koşullarla incelenmesini gerektirmektedir [10]. Bu da analizlerde oldukça fazla işlem yükü ve hafıza kullanmak anlamına gelir. Dalgacık tekniğinde ise değişen bant genişlikleriyle geçici olayların analizi çok daha az işlem yükü ve hafıza demektir.

5. GERÇEK ZAMANLI ÖLÇÜM VERİLERİ ANALİZİ VE GERÇEK ZAMANLI TESTLER

Güç kalitesi parametreleri tezin bu bölümünde dalgacık analizi tekniğiyle gerçek zamanlı ölçüm ve analizlerle incelenmiş ve değerlendirmeler yapılmıştır. Benzetim testleri bölümünde oluşturulan sinyaller ve analizleri bu kısımda da kullanılabilir olduğu yerlerde uygulanmıştır. Ölçüm ekipmanının ve çevresel etkenlerin yol açtığı gürültülerden kaynaklı sorunlar için yine dalgacık yöntemleriyle gürültü giderme teknikleri uygulanmış daha sonra bu sinyallerin analizi yapılarak olay tespit ve sınıflandırmalarına geçilmiştir. Gerçek zamanlı olarak uluslararası standartlara uygun TEİAŞ trafo merkezlerinde (TM) fider ve baralardan alınmış ölçüm verileri de bu bölümde dalgacık analizi ve testlerine tabi tutulmuştur.

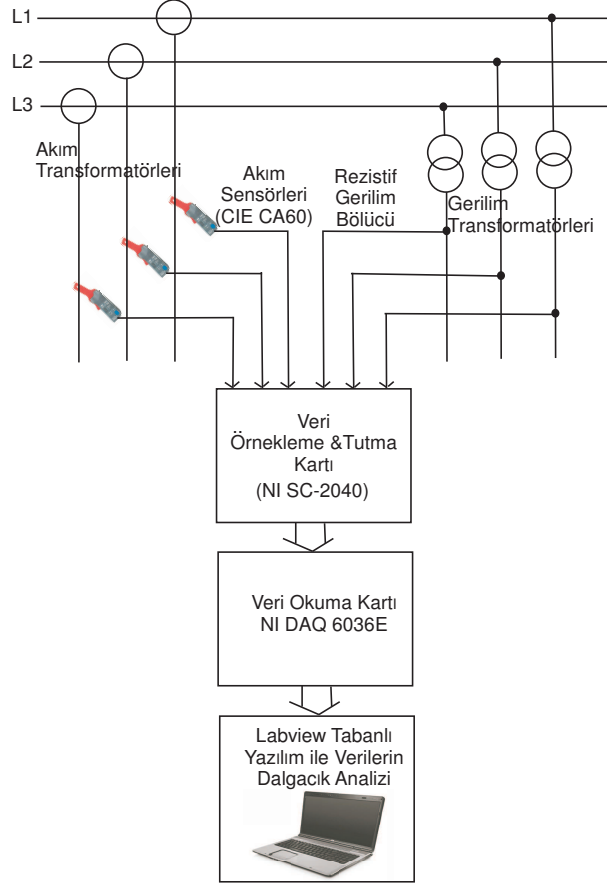
5.1 Ölçüm Sistemi Donanım Altyapısının Oluşturulması

Gerçek zamanlı ölçüm ve dalgacık analizinin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle sistemin donanım altyapısının oluşturulması gerekmektedir. Bu nedenle hareketli olarak veri toplanacak noktaya bağlanabilecek bir sistemin ve uygun ekipmanlarının tasarlanmasına çalışılmıştır. Gerçek veriler ile yapılan ölçüm ve analiz çalışmalarında elektrik iletim ya da dağıtım sistemlerinden gerçek zamanlı veri toplama işlemini gerçekleştiren donanım altyapısının mimari şeması Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Bu mimaride yer alan her bir ekipmanın saha şartlarına uygun olarak tasarlanmış olması çok önemlidir.

Bu bölümde ölçüm sistemi için seçilen donanım ekipmanlarının genel yapısı ve teknik özellikleri hakkında bilgiler verilmiş ve bu ekipmanların mevcut elektrik sistemine bağlanabilirliklerine değinilmiştir.

5.1.1 Akım Sensörleri

Elektrik sisteminde 3 faz akım bilgisini ölçüm sistemine uygun hale getirebilmek için akım sensörleri kullanılmıştır. Bu akım sensörleri aktif akım sensörleri olmalıdır. Bu aktif akım sensörleri sayesinde iletim ve dağıtım sistemindeki fider, bara veya transformatör sekonderlerine bağlı 1A ile 5A çıkışlı ölçü akım transformatörlerinin bilgilerine ulaşılmış olmaktadır. Bu yüksek akım seviyelerinden 1A ve 5A seviyelerine inilmesine rağmen bunların ölçüm sistemine uygun hale gelebilmesi için sensörler kullanılmıştır.



Şekil 5.1. Gerçek zamanlı veri toplayan ölçüm sistemi mimarisi

Gerçek zamanlı ölçüm analizleri için seçilen akım sensörü CIE CA60 aktif akım sensördür. Bu sensör aldığı akım bilgisini gerilime dönüştürerek kullanılabilir hale getirmektedir. Bu akım değerleri ± 10 V sınır değerlerinin arasına indirilmektedir. Bu sensörler % 2'den daha iyi doğruluk hassasiyetine sahip beslemesini dışarıdan alabilen aktif akım sensörleridir. Akım sönörlerinin teknik özellikleri Ek 5'de verilmiştir. Kullanılan akım sensörleri 1mV/10mV dönüştürme ölçeğinde kullanılmıştır ¹.

5.1.2 Gerilim Sensörleri

Elektrik sisteminde 3 faz gerilim bilgileri ölçü ve koruma transformatörleri yardımıyla daha düşük gerilim değerlerine indirilirler. Bu değerler sıklıkla faz–faz 100V (faz–nötr yaklaşık 57V) değeri seviyelerinde olur. Gerçek zamanlı ölçüm sistemi gerilim bölücü kabloları da bu değerleri veri okuma kartına uygun ± 10 V sınır değerlerinin arasına indirmektedir. Kullanılan gerilim bölücü kablo rezistif niteliktedir.

¹<http://obiat.com.au>

5.1.3 Veri Örnekleme-Tutma Kartı (NI SC-2040)

Gerilim ve akım sensörlerinden gelen ve +/- 10V sınırları içinde olan analog akım gerilim verisi sinyalleri eşzamanlı örnekleme işlemine tabi tutularak ölçüm sisteminin diğer ekipmanlarına girdi olarak gönderilir. Eşzamanlı örnekle için National Instruments firmasına ait SC-2040 örnekleme tutma kartı kullanılmıştır. Veri örnekleme-tutma kartının teknik özellikleri Ek 6'da verilmiştir. Bu kart 8 kanallı diferansiyel girdi sinyallerini alarak bunları eşzamanlı örnekleme tabi tutmaktadır. Her bir kanal için genlik çarpan ayarı mevcuttur. Bu özellik ile akım sensörlerinden gelen 1mV/10mV oranının etkisini ortadan kaldırmak için akım girdisi kullanan kanallar 10 ile çarpılarak diğer ölçüm sistemi ekipmanlarına girdi olarak gönderilir. Bu eşzamanlı örnekleme analog akım gerilim sinyalleri veri toplama kartına girdi olmaktadır ².

5.1.4 Veri Taşıma Kablosu (NI RC68-68)

Gerilim ve akım verilerinin, veri örnekleme-tutma kartından sonra ölçüm sisteminde taşınmasını sağlayan kablolardır. SC-2040'tan gelen analog verilerinin DAQ karta geçmesini sağlayan sistem elemanıdır. Bu kablolar E serisi DAQ kartlar ile 68 pine uyumlu ekipmanların bağlantılarında kullanılmaktadırlar. SC-2040 tarafı erkek konnektörlü DAQ kart tarafı ise dişi konnektörlü yapıdadır. Veri taşıma kablosunun teknik özellikleri Ek 7'de verilmiştir. Bu ölçüm sisteminde veri taşıma işlemi için 1 metrelik kablo kullanılmıştır ³.

5.1.5 Veri Toplama Kartı (NI DAQ 6036E)

SC-2040'tan gelen veri taşıma kablosuyla taşınan analog veriler 16 bit'lik sayısal verilere dönüştürülerek bilgisayara aktarılır. 8 kanallı 200 kS/s örnekleme hızına sahip bu kartlar dizüstü bilgisayarların PCMCIA girişlerinde kullanılarak veriyi işlemekte ve analize uygun hale getirmektedirler. 16 bit'lik çözünürlük yüksek doğrulukta veri okumak için yeterlidir. Kullanılan veri toplama kartının teknik özellikleri Ek 8'de verilmiştir. Kartın taşınabilir olması ve dizüstü bilgisayarlarında kullanılmaya elverişli olması sayesinde herhangi bir nokta ve sürede veri toplamak mümkündür ⁴.

²<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/1728>

³<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/11810>

⁴<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/11914>

5.1.6 Sinyal Üretici (HP 33120A)

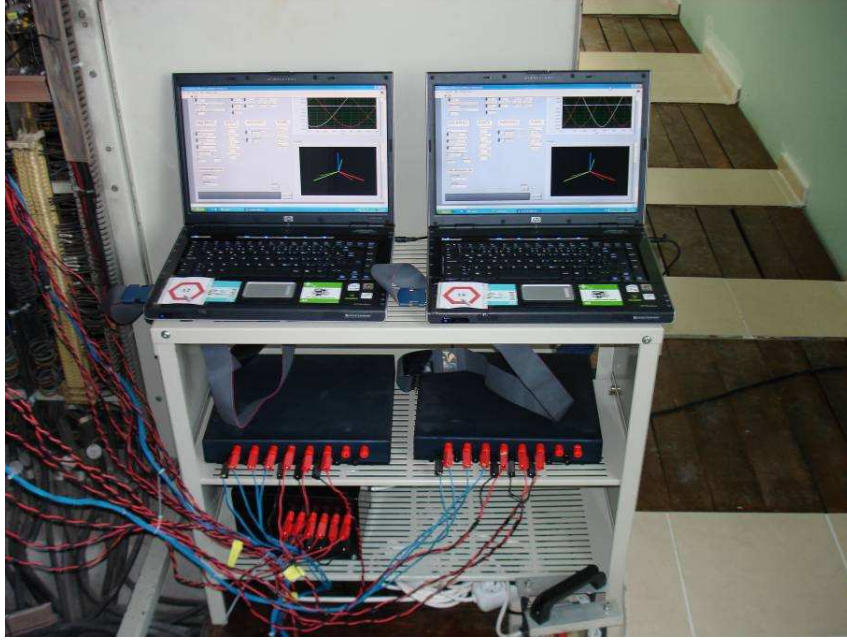
Gerçek zamanlı ölçüm sistemine gerilim üzerinde meydana gelen güç kalitesi olaylarını üreterek bu olay sinyallerinin yine gerçek zamanlı analiz test ve sınıflandırılmasında kullanılmaktadır. Kullanılan sinyal üreticinin sayısal ekranı oluşturulan olay sinyallerinin izlenmesine elverişli olarak seçilmiştir. Bir bilgisayar yardımı ile arayüz uygulama programı sayesinde istenilen genlik ve uzunlukta olay sinyalleri üretilerek veri okuma sistemi üzerinden dalgacık analizi yapan yazılımın yüklü olduğu bilgisayara aktarılmaktadır. Aktarılan veriler gerçek zamanlı olarak dalgacık analizi ve sınıflandırılması işlemlerine tabi tutulmaktadır. Bu işlemleri yapabilecek kabiliyette olan 15 MHz HP 33120A marka sinyal üretici kullanılmıştır. Bu sinyal üreticinin teknik özellikleri Ek 9'da verilmiştir. Seri iletişim özelliği sayesinde istenilen sinyallerin oluşturulduğu bilgisayara bağlanarak çıkışta özel üretilmiş güç kalitesi olay parametreleri içeren sinyaller vermektedir⁵.

5.2 Gerçek Zamanlı Toplanmış Ölçüm Verilerinin Analizi

Bu kısımda gerçek zamanlı ölçüm testlerinde kullanılan veriler TEİAŞ trafo merkezlerinden mobil ölçüm sistemleri ile alınmış ölçüm verilerinden ve anlık olarak oluşturulan donanım ve yazılım altyapısıyla elde edilen sinyal üretici verilerinden oluşmaktadır. Her iki tür veri için de analiz ve test çalışmaları yapılmış ve gerçek güç kalitesi olay parametreleri için dalgacık yöntemi ile tespit ve sınıflandırma analizleri yapılmıştır. Gerçek zamanlı olarak ölçüm yapılarak elde edilmiş olan veriler tasarlanan dalgacık analiz yöntemleriyle test edilmiştir ve bu test sonuçları da kullanılan klasik rms yöntemiyle karşılaştırmalı olarak anlatılmıştır. Bir haftalık kesintisiz ölçümler, mobil ölçüm sistemi ile yapılmış ve güç kalitesi parametreleri standartlara göre analiz edilerek bilgisayarlara kaydedilmiştir. Bu ölçüm sistemi ekipmanlarının genel görünümü Şekil 5.2'de gösterilmektedir. TEİAŞ trafo merkezlerine bağlanan bu mobil ölçüm sistemleri her bir ölçüm noktası için 3 faz akım ve 3 faz gerilim bilgisi toplamaktadırlar [1]. Gerilim üzerinden hesaplanan kısa süreli güç kalitesi olay parametreleri bu sistem sayesinde gerçek zamanlı olarak uluslararası standartlara uygun güç kalitesi ölçümü yapabilmektedirler.

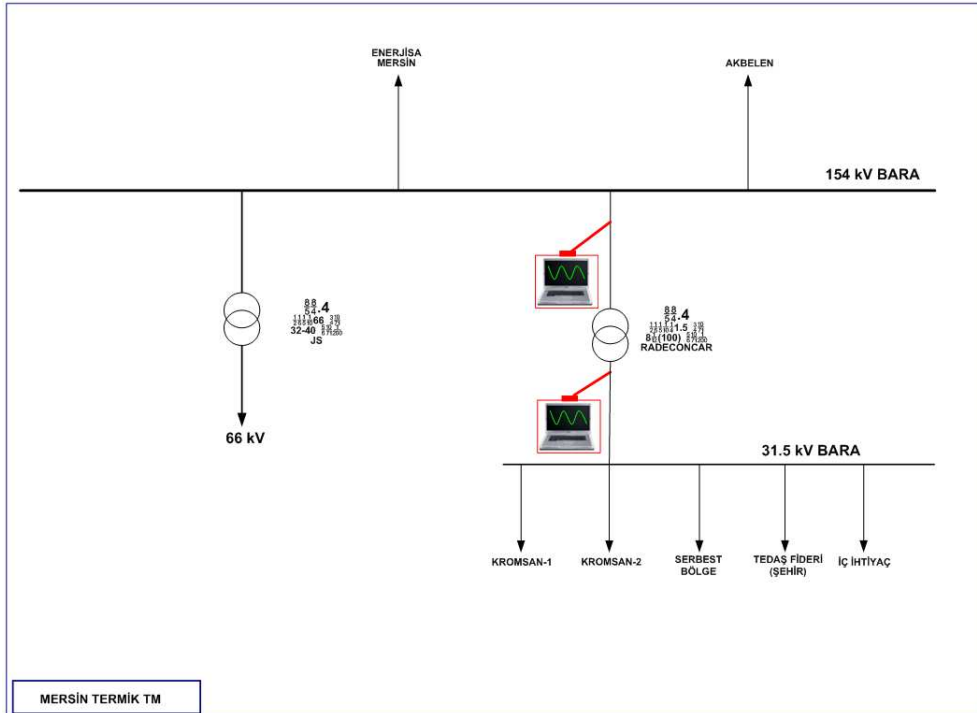
Mobil ölçüm sisteminin TEİAŞ trafo merkezlerindeki bara ve fiderlere örnek bağlantı

⁵<http://www.valuetronics.com>



Şekil 5.2. Güç kalitesi mobil ölçüm sisteminin genel görünümü

şeması ise Şekil 5.3'de gösterilmektedir. Burada örnek olarak Mersin Termik Trafo Merkezi (TM) tek hat şeması ve mobil ölçüm sistemi bağlantıları gösterilmiştir. Klasik yöntemle bu koşul ve uygulamalarla yapılan analiz verilerinin bir kısmı bu bölümde dalgacık analizine tabi tutulmuş ve sonuçlar irdelenmiştir.

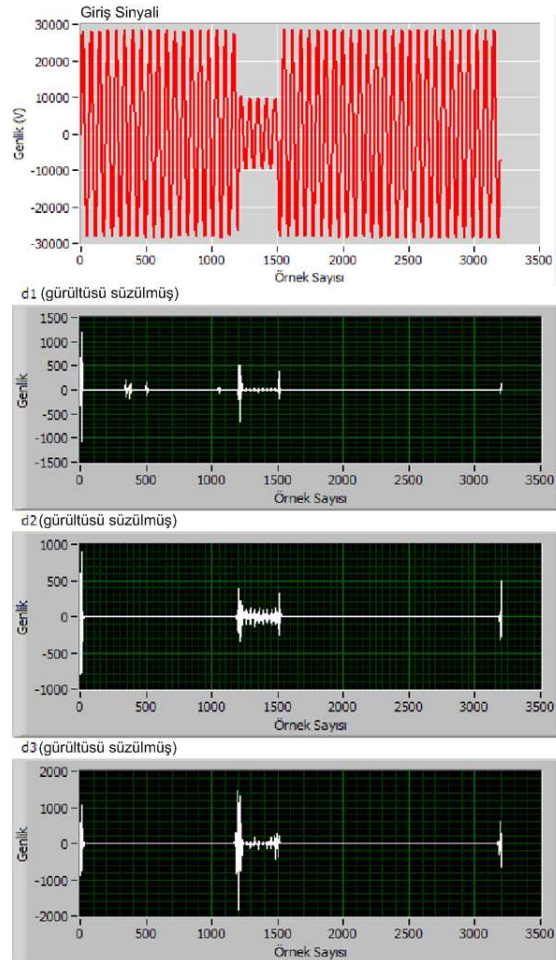


Şekil 5.3. Mobil ölçüm sisteminin örnek bağlantı şeması

5.2.1 Gerilim Çukuru Testleri

Çukur Test 1

Kangal TM şantiye fiderinde yapılmış bir haftalık kesintisiz mobil güç kalitesi ölçümlerinden elde edilmiş tek fazlı gerilim çukuru olayı Şekil 5.4'de gösterilmiştir. Orta gerilim seviyesinde (31,5 kV) şantiye fiderinden elde edilmiş bu gerilim çukuru olayı dalgacık analizine tabi tutulmuştur. Ölçüm verileri üzerindeki gürültü miktarı olayın tespit ve analizini güçleştirdiğinden UWT analizi ile gürültü süzme işlemine tabi tutulduktan sonra 3 seviyeli db10 dalgacıyla yapılan analizler sonucunda elde edilen dalgacık detay katsayıları yine Şekil 5.4'de gösterilmiştir. Olayın başlangıç ve bitiş noktalarındaki genlik değerleri daha yüksek görülmektedir. Olay tespit ve sınıflandırmasında detay-2 katsayısı kullanılmıştır.



Şekil 5.4. Kangal TM şantiye fiderinde meydana gelmiş gerilim çukuru olayı ve 3 seviyeli UWT detay katsayıları

Analiz sonuçlarında gerilim çukuru olayının tespit edilen özellikleri Çizelge 5.1'de

yer almaktadır. Olay türü, olayın mobil ölçüm sistemi ile tespit edilen türünü ifade ederken, sınıf ise olayı dalgacık analizi ile sınıflandırılmasını ifade etmektedir. Olay büyüklüğü nominal gerilime göre olayın büyüklüğünü ifade etmektedir.

Çizelge 5.1. Kangal TM şantiye fiderinde meydana gelmiş gerilim çukurunun dalgacık yöntemiyle tespit edilen özellikleri

Test	OBA (ms)	OBİ (ms)	OUZ (ms)	OBÜ (%)	Sınıf
Gerçek	365,00.	462,50.	97,50	34,23	Ani Çukur
Analiz	360,00.	456,56.	96,56	34,31	Ani Çukur
Hata	5,00	5,94	0,94	0,08	-

OBA: Olay Başlangıç, OBİ: Olay Bitiş
OUZ: Olay Uzunluk, OBÜ: Olay Büyüklük

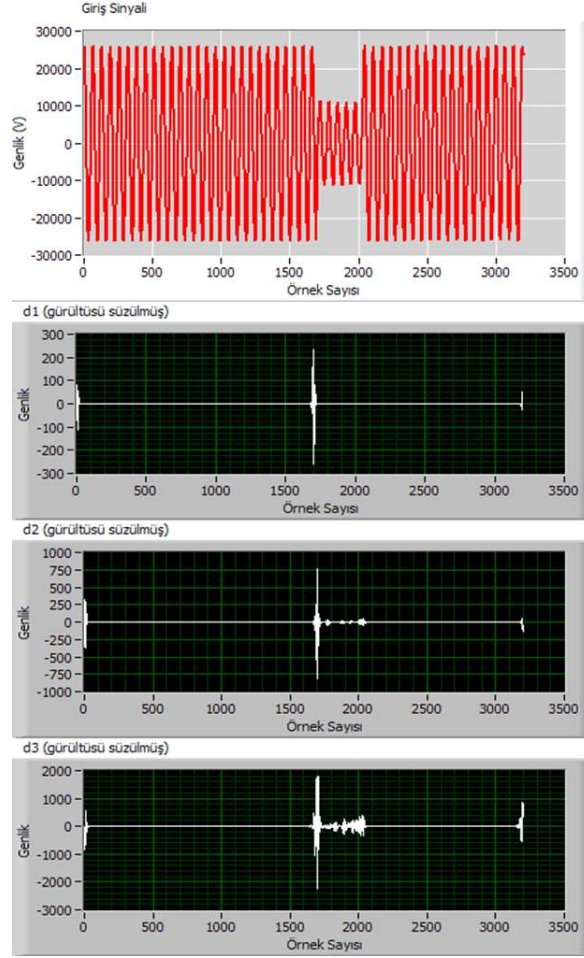
Çukur Test 2

Adapazarı TM trafo-A sekonder tarafında yapılmış bir haftalık kesintisiz mobil güç kalitesi ölçümlerinden elde edilmiş tek fazlı gerilim çukuru olayı Şekil 5.5'da gösterilmiştir. Orta gerilim seviyesinde (34,5 kV) trafo-A sekonder tarafından elde edilmiş bu gerilim çukuru olayı dalgacık analizine tabi tutulmuştur. Ölçüm verileri üzerindeki gürültü miktarı olayın tespit ve analizini güçleştirdiğinden UWT analizi ile gürültü süzme işlemine tabi tutulduktan sonra 3 seviyeli db10 dalgacıyla yapılan analizler sonucunda elde edilen dalgacık detay katsayıları yine Şekil 5.5'de gösterilmiştir. Olayın başlangıç ve bitiş noktalarındaki genlik değerleri daha yüksek görülmektedir. Olay tespit ve sınıflandırmasında detay-2 katsayısı kullanılmıştır.

Analiz sonuçlarında gerilim çukuru olayının tespit edilen özellikleri Çizelge 5.2'de yer almaktadır. Görüldüğü gibi olay sınıfı doğru şekilde elde edilmiştir.

Çizelge 5.2. Adapazarı TM trafo-A sekonder tarafında meydana gelmiş gerilim çukurunun dalgacık yöntemiyle tespit edilen özellikleri

Test	OBA (ms)	OBİ (ms)	OUZ (ms)	OBÜ (%)	Sınıf
Gerçek	525,06.	639,94.	114,88	40,79	Ani Çukur
Analiz	522,81.	636,56.	113,75	40,79	Ani Çukur
Hata	2,25	3,38	1,13	0,00	-

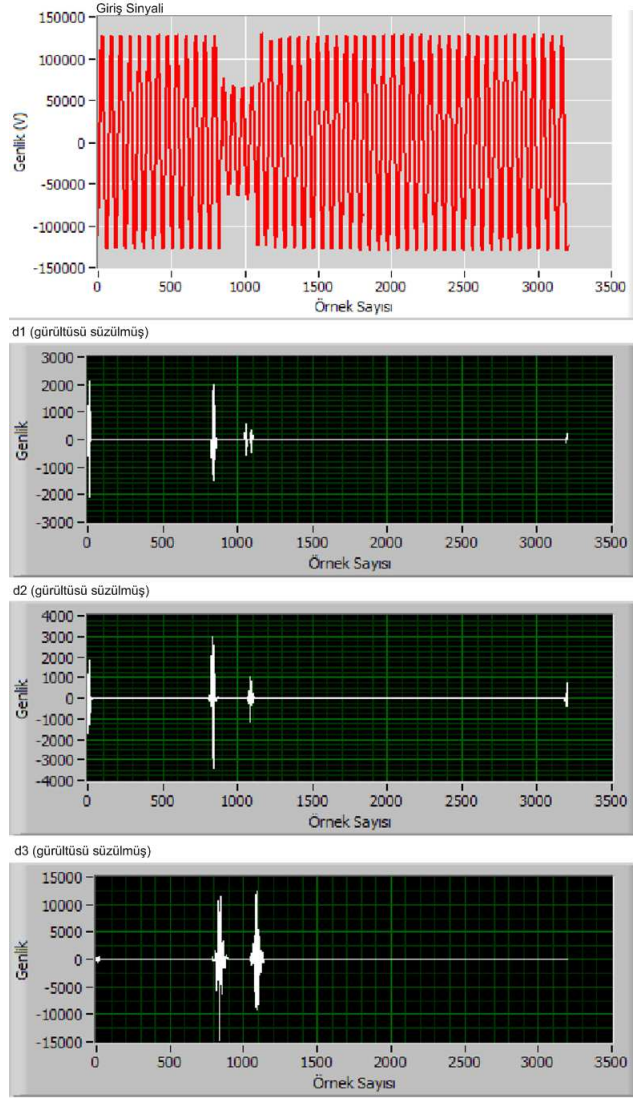


Şekil 5.5. Adapazarı TM trafo-A sekonder tarafında meydana gelmiş gerilim çukuru olayı ve 3 seviyeli UWT detay katsayıları

Çukur Test 3

Bares TM trafo primer tarafından elde edilmiş tek fazlı gerilim çukuru olayı Şekil 5.6'de gösterilmiştir. Yüksek gerilim seviyesinde (154 kV) trafo primer tarafından elde edilmiş bu gerilim çukuru olayı dalgacık analizine tabi tutulmuştur. Ölçüm verileri üzerindeki gürültü miktarı olayın tespit ve analizini güçleştirdiğinden UWT analizi ile gürültü süzme işlemine tabi tutulduktan sonra 3 seviyeli db10 dalgacığıyla yapılan analizler sonucunda elde edilen dalgacık detay katsayıları yine Şekil 5.5'de gösterilmiştir. Olayın başlangıç ve bitiş noktalarındaki genlik değerlerinin daha yüksek görülmektedir. Olay tespit ve sınıflandırmasında detay-2 katsayısı kullanılmıştır.

Analiz sonuçlarında gerilim çukuru olayının tespit edilen özellikleri Çizelge 5.3'de yer almaktadır. Gerçek verinin başlangıç, bitiş, uzunluk ve büyüklük değerlerinde 5 ms'yi aşmayan hatalar yapılmıştır. Olay sınıfı da doğru şekilde tespit edilmiştir.



Şekil 5.6. Bares TM trafo primer tarafında meydana gelmiş gerilim çukuru olayı ve 3 seviyeli UWT detay katsayıları

Çizelge 5.3. Bares TM trafo primer tarafında meydana geimiş gerilim çukurunun dalgacık yöntemiyle tespit edilen özellikleri

Test	OBA (ms)	OBi (ms)	OUZ (ms)	OBÜ (%)	Sınıf
Gerçek	259,55.	341,42.	81,87	53,12	Ani Çukur
Analiz	256,25.	339,06.	82,81	53,56	Ani Çukur
Hata	3,30	2,36	0,94	0,44	-

Gerçek analiz verileri kullanılarak farklı ölçüm noktalarından alınan ve dalgacık analizlerine tabi tutulan olay sinyallerinin analiz sonuçları Çizelge 5.4'de gösterilmiştir. Gerçek gerilim çukuru olaylarının başlangıç, bitiş ve süreleri yüksek doğrulukta elde edilmiş ve doğru şekilde sınıflandırılmışlardır. Buradaki ölçüm noktalarının neler

olduğu Çizelge 5.6'de gösterilmiştir. Bu ölçüm noktaları için yapılan analizler sonucunda yapılan hata miktarları Çizelge 5.5'de verilmiştir. Görüldüğü gibi olay başlangıç noktaları için yaklaşık ortalama hata 4 ms civarında iken bitiş noktaları için de yaklaşık 3 ms civarındadır. Olay uzunluğu için hata miktarı ise yaklaşık olarak 1 ms denebilir. Olay büyüklüklerindeki analiz hatası ise yaklaşık %1'in altındadır.

Çizelge 5.4. Farklı ölçüm noktalarından elde edilen gerilim çukuru olaylarının WT yöntemiyle analizleri

ÖN	OBA (ms)	OBİ (ms)	OBÜ (%)	HBA (ms)	HBİ (ms)	HBÜ (%)
1	510,94.	604,69.	72,42	507,19.	601,43.	71,59
2	152,23.	230,42.	86,12	148,44.	227,44.	86,59
3	386,72.	480,69.	88,43	382,84.	478,09.	87,93
4	682,92.	772,68.	72,04	681,39.	770,48.	72,88
5	903,48.	992,71.	66,20	899,68.	989,60.	64,26
6	266,81.	782,90.	86,33	262,54.	780,96.	87,36
7	781,82.	882,98.	80,00	776,63.	877,30.	80,41
8	81,38.	362,05.	76,46	76,35.	359,94.	78,20

ÖN: Ölçüm Noktası, HBA: Hesaplanan Başlangıç
HBİ: Hesaplanan Bitiş, HBÜ: Hesaplanan Büyüklük

Çizelge 5.5. Gerilim çukuru için WT yöntemiyle elde analizlerin hata değerleri

ÖN	BAH (ms)	BİH (ms)	UZH (ms)	BÜH (%)
1	3,75	2,26	1,49	0,83.
2	3,79	2,98	0,81	0,47
3	3,88	2,60	1,28	0,50
4	1,53	2,20	0,67	0,84
5	3,80	3,11	0,69	1,94
6	4,00	1,94	2,06	1,03
7	5,19	5,68	0,49	0,41
8	5,03	2,11	2,92	1,85

BAH: Başlangıç Hata, BİH: Bitiş Hata
UZH: Uzunluk Hata, BÜH: Büyüklük Hata

Çizelge 5.6. Gerilim çukuru için ölçüm noktaları listesi

ÖN	Ölçüm Noktasının Adı
1	Nuh Çimento TM Trafo-A Sekonder
2	Niğde-2 TM Trafo-B Primer
3	Narlı TM Trafo-B Sekonder
4	Engil TM Çatak Fideri
5	Adana TM Bank-A Primer
6	Serik TM Trafo-A Primer
7	Çorum-2 TM Trafo-A Primer
8	Alanya TM Trafo-A Primer

5.2.2 Gerilim Tepesi Testleri

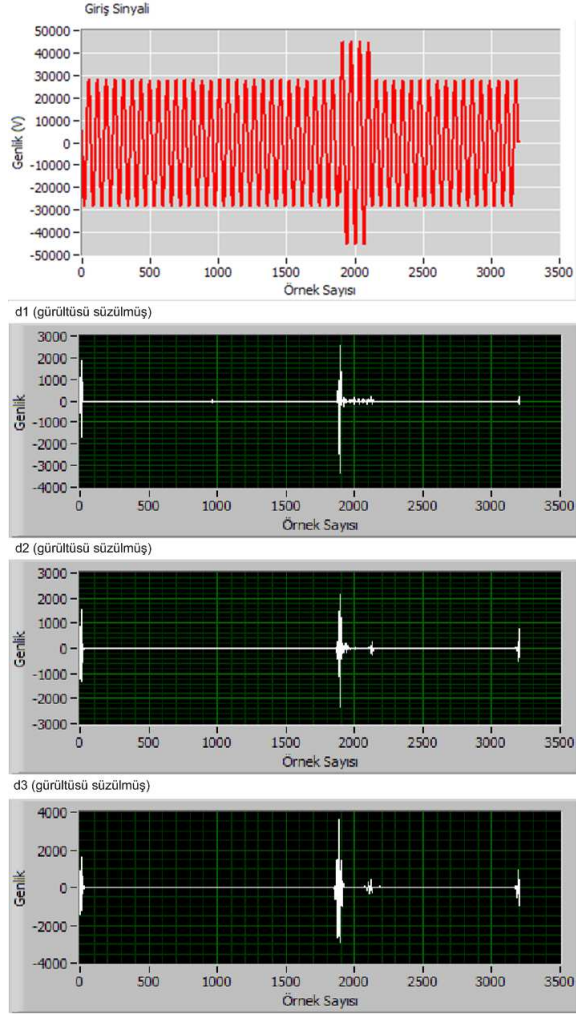
Tepe Test 1

Kangal TM Şantiye fiderine ait ölçüm verilerinde mobil ölçüm sistemi ile elde dilmış bir gerilim tepesi olayı bu bölümde incelenmiştir. Dalgacık analizine tabi tutulan gerilim tepesi olayı Şekil 5.7'da gösterilmiştir. Bir fazda meydana gelen gerilim diğer fazlarda gerilimin yükselerek gerilim tepesine yol açmaktadır. Ölçüm verileri üzerindeki gürültü miktarı olayın tespit ve analizini güçleştirdiğinden UWT analizi ile gürültü süzme işlemine tabi tutulduktan sonra 3 seviyeli db10 dalgacıyla yapılan analizler sonucunda elde edilen dalgacık detay katsayıları yine Şekil 5.7'de gösterilmiştir. Olayın başlangıç ve bitiş noktalarındaki genlik değerleri daha yüksek görülmektedir. Olay tespit ve sınıflandırmasında detay-2 katsayısı kullanılmıştır.

Gerilim tepesi olay verisi dalgacık analiz algoritması ile analiz edildikten sonra elde edilen sonuçlar Çizelge 5.7'de gösterilmiştir. Tepe olayının yüksek doğrulukta zaman ve genlik bilgisine ulaşılmış ve olay sınıflandırılması doğru yapılmıştır.

Çizelge 5.7. Kangal TM şantiye fiderindeki gerilim tepesi olayının dalgacık yöntemiyle tespit edilen özellikleri

Test	OBA (ms)	OBİ (ms)	OUZ (ms)	OBÜ (%)	Sınıf
Gerçek	577,23.	655,84.	78,61	162,18	Ani Tepe
Analiz	574,06.	652,81.	78,75	161,82	Ani Tepe
Hata	3,17	3,03	0,14	0,36	-

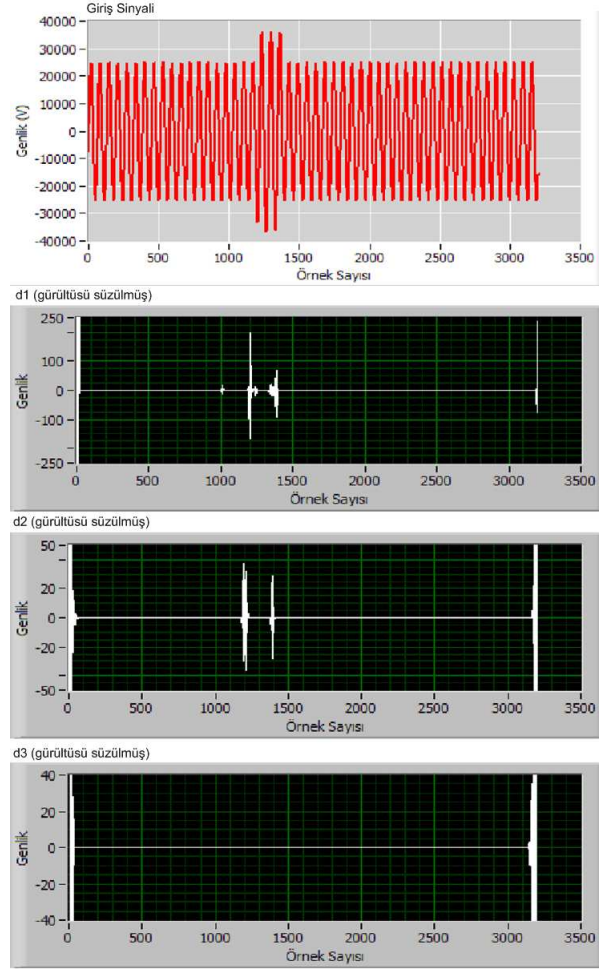


Şekil 5.7. Kangal TM’de meydana gelmiş gerilim tepesi olayı ve 3 seviyeli UWT detay katsayıları

Tepe Test 2

Aydın TM trafo-3 sekonder tarafına ait ölçüm verilerinde mobil ölçüm sistemi ile elde edilmiş bir gerilim tepesi olayı bu bölümde incelenmiştir. Dalgacık analizine tabi tutulan gerilim tepesi olayı Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Gerilimin genlik değeri tepe olayı başladığı anda nominal değerinin üzerine çıkmıştır. UWT analizi ile gürültü süzme işlemine tabi tutulduktan sonra 3 seviyeli db10 dalgacığıyla yapılan analizler sonucunda elde edilen dalgacık detay katsayıları yine Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Olayın başlangıç ve bitiş noktalarındaki genlik değerleri daha yüksek görülmektedir. Olay tespit ve sınıflandırmasında detay-2 katsayısı kullanılmıştır.

Gerilim tepesi olay verisi dalgacık analiz algoritması ile analiz edildikten sonra elde edilen sonuçlar Çizelge 5.8’de gösterilmiştir. Tepe olayının yüksek doğrulukta zaman



Şekil 5.8. Aydın TM trafo-3 sekonder tarafında meydana gelmiş gerilim tepesi olayı ve 3 seviyeli UWT detay katsayıları

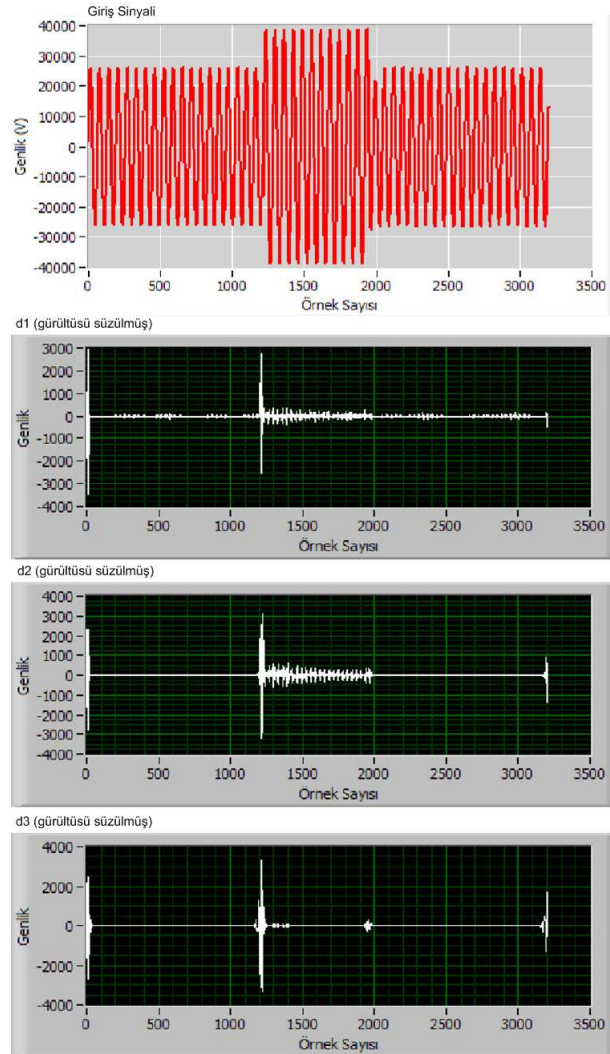
ve genlik bilgisine ulaşılmış ve olay sınıflandırılması doğru yapılmıştır.

Çizelge 5.8. Aydın TM trafo-3 sekonder tarafında meydana gelmiş gerilim tepesinin dalgacık yöntemiyle tespit edilen özellikleri

Test	OBA (ms)	OBİ (ms)	OUZ (ms)	OBÜ (%)	Sınıf
Gerçek	374,54.	437,02.	62,48	146,22	Ani Tepe
Analiz	372,19.	435,94.	63,75	145,65	Ani Tepe
Hata	2,35	1,08	1,27	0,57	-

Tepe Test 3

Baştaş TM çimento-1 fiderine ait ölçüm verilerinde mobil ölçüm sistemi ile elde edilmiş bir gerilim tepesi olayı bu bölümde incelenmiştir. Dalgacık analizine tabi tutulan gerilim tepesi olayı Şekil 5.9'de gösterilmiştir. Gerilimin genlik değeri tepe olayı başladığı anda nominal değerinin üzerine çıkmıştır. Ölçüm verileri üzerindeki gürültü miktarı olayın tespit ve analizini güçleştirdiğinden UWT analizi ile gürültü süzme işlemine tabi tutulduktan sonra 3 seviyeli db10 dalgacığıyla yapılan analizler sonucunda elde edilen dalgacık detay katsayıları yine Şekil 5.9'de gösterilmiştir. Olayın başlangıç ve bitiş noktalarındaki genlik değerleri daha yüksek görülmektedir. Olay tespit ve sınıflandırmasında detay-2 katsayısı kullanılmıştır.



Şekil 5.9. Baştaş TM çimento-1 fiderinde meydana gelmiş gerilim tepesi olayı ve 3 seviyeli UWT detay katsayıları

Gerilim tepesi olay verisi dalgacık analiz algoritması ile analiz edildikten sonra elde

edilen sonuçlar Çizelge 5.9'da gösterilmiştir. Yüksek doğrulukta zaman ve genlik bilgisi elde edilmiş ve olay sınıflandırılması doğru yapılmıştır.

Çizelge 5.9. Baştaş TM çimento-1 fiderindeki gerilim tepesinin dalgacık yöntemiyle tespit edilen özellikleri

Test	OBA (ms)	OBİ (ms)	OUZ (ms)	OBÜ (%)	Sınıf
Gerçek	378,62.	619,40.	240,78	147,58	Ani Tepe
Analiz	375,94.	616,88.	240,94	148,46	Ani Tepe
Hata	2,68	2,52	0,16	0,88	-

Gerçek analiz verileri kullanılarak farklı ölçüm noktalarından alınan ve dalgacık analizlerine tabi tutulan olay sinyallerinin analiz sonuçları Çizelge 5.10'de gösterilmiştir. Gerçek gerilim tepesi olaylarının başlangıç, bitiş ve süreleri yüksek doğrulukta elde edilmiş ve bu olaylar doğru şekilde sınıflandırılmıştır. Buradaki ölçüm noktalarının neler olduğu Çizelge 5.12'de gösterilmiştir. Bu ölçüm noktaları için yapılan analizler sonucunda hata miktarları Çizelge 5.11'de verilmiştir. Görüldüğü gibi olay başlangıç noktaları için yaklaşık ortalama hata 3,5 ms civarında iken bitiş noktaları için de yaklaşık 3 ms civarındadır. Olay uzunluğu için hata miktarı ise yaklaşık olarak 1 ms denebilir. Olay büyüklüklerindeki analiz hatası ise yaklaşık %1'in altındadır.

Çizelge 5.10. Farklı ölçüm noktalarından elde edilen gerilim tepesi olaylarının WT yöntemiyle analizleri

ÖN	OBA (ms)	OBİ (ms)	OBÜ (%)	HBA (ms)	HBİ (ms)	HBÜ (%)
1	682,43.	763,94.	136,62	678,95.	760,82.	137,03
2	245,65.	735,54.	157,94	242,85.	733,30.	158,57
3	518,22.	635,50.	142,75	514,41	631,77.	145,20
4	873,66.	961,01.	133,33	870,98	958,81.	132,56
5	537,38.	884,61.	151,57	535,88.	883,67.	151,79
6	192,63.	268,02.	134,67	187,20.	263,93.	136,84
7	542,32.	651,96.	139,28	538,31.	647,75.	139,07
8	216,44.	823,67.	135,58	211,65.	820,60.	136,43

Çizelge 5.11. Gerilim tepesi için WT yöntemiyle elde analizlerin hata değerleri

ÖN	BAH (ms)	BİH (ms)	UZH (ms)	BÜH (%)
1	3,48	3,12	0,36	0,41
2	2,80	2,24	0,56	0,63
3	3,81	3,73	0,08	2,45
4	2,68	2,20	0,48	0,77
5	1,50	0,94	0,56	0,22
6	5,43	4,09	1,34	2,17
7	4,01	4,21	0,20	0,21
8	4,79	3,07	1,72	0,85

Çizelge 5.12. Gerilim tepesi için ölçüm noktaları listesi

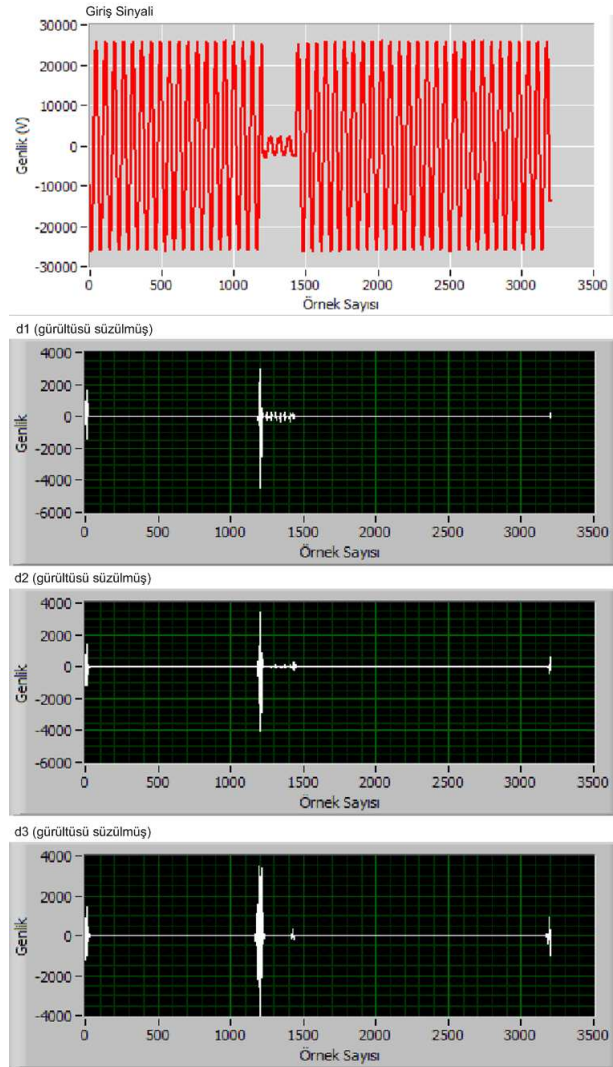
ÖN	Ölçüm Noktasının Adı
1	Serik TM Trafo-A Sekonder
2	Serik TM Trafo-B Sekonder
3	Çorum-2 TM Trafo-A Sekonder
4	Alanya TM Trafo-A Sekonder
5	Akbelen TM Trafo-1 Primer
6	Engil TM Trafo-A Primer
7	Söke TM Trafo-B Sekonder
8	Muş TM Trafo-A Primer

5.2.3 Gerilim Kesintisi Testi

Kesinti Test 1

Kangal TM şantiye fiderine ait ölçüm verilerinde mobil ölçüm sistemi ile elde edilmiş bir gerilim kesintisi olayı bu bölümde incelenmiştir. Aslında IEC 61000-4-30'da yer alan yarım çevrimlik rms değerlere göre kaydedilmiş bu veri gerilim çukuru olarak kaydedilmiştir. Ancak ham veri üzerinde yapılan analizlerde bu olayın gerilim çukuru olmadığı standart tarafından belirtilen nominal gerilimin %10 değerinin altına düştüğü anlaşılmıştır. Bu durumda gerilim kesintisi olayı olarak sınıflandırılması gerekmektedir. Gerilim kesintisi olayı Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Ölçüm verileri üzerindeki gürültü miktarı olayın tespit ve analizini güçleştirdiğinden UWT analizi ile gürültü

süzme işlemine tabi tutulduktan sonra 3 seviyeli db10 dalgacıyla yapılan analizler sonucunda elde edilen dalgacık detay katsayıları yine Şekil 5.10'de gösterilmiştir. Olayın başlangıç ve bitiş noktalarındaki genlik değerleri daha yüksek görülmektedir. Olay tespit ve sınıflandırmasında detay-2 katsayısı kullanılmıştır.



Şekil 5.10. Kangal TM'de meydana gelmiş gerilim kesintisi olayı ve 3 seviyeli UWT detay katsayıları

Gerilim kesintisi olay verisi dalgacık analiz algoritması ile analiz edildikten sonra elde edilen sonuçlar Çizelge 5.13'de gösterilmiştir. Rms yöntemi ile yapılmış sınıflandırmada gerilim çukuru olarak sınıflandırılmış bu gerilim kesintisi olayının dalgacık analizi ile test sonuçları Çizelge 5.13'de gösterilmiştir. Standartlarda belirtilen %10'luk sınır değere çok yakın olduğundan gerilim kesintisi rms yönteminde gerilim çukuru olarak sınıflandırılmıştır. Oysa dalgacık analizi yönteminde gerilim kesintisi olarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 5.13. Kangal TM şantiye fiderindeki gerilim kesintisi olayının dalgacık yöntemiyle tespit edilen özellikleri

Test	OBA (ms)	OBİ (ms)	OUZ (ms)	OBÜ (%)	Sınıf
Gerçek	375,69.	451,85.	76,16	9,55	Anlık Kesinti
Analiz	371,56.	447,50.	75,94	9,91	Anlık Kesinti
Hata	4,13	4,35	0,22	0,36	-

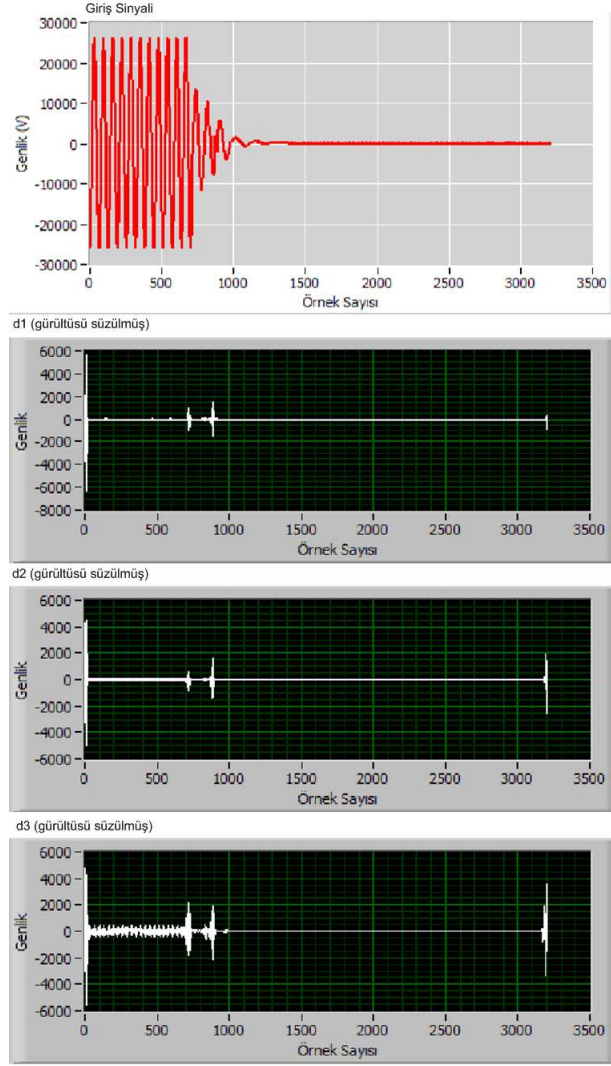
Kesinti Test 2

Çan TM trafo-A sekonder tarafına ait ölçüm verilerinde mobil ölçüm sistemi ile elde edilmiş bir gerilim kesintisi olayı bu bölümde incelenmiştir. Gerilim kesintisi olayı Şekil 5.11'de gösterilmiştir. Sistemde meydana gelen arıza sonucu oluşan kesinti başladıktan sonra gerilim sıfıra düşmüş ve orada kalmıştır. Ölçüm verileri üzerindeki gürültü miktarı olayın tespit ve analizini güçleştirdiğinden UWT analizi ile gürültü süzme işlemine tabi tutulduktan sonra 3 seviyeli db10 dalgacığıyla yapılan analizler sonucunda elde edilen dalgacık detay katsayıları Şekil 5.11'da gösterilmiştir. Olayın başlangıç ve bitiş noktalarındaki genlik değerleri daha yüksek görülmektedir. Olay tespit ve sınıflandırmasında detay-2 katsayısı kullanılmıştır.

Gerilim kesintisi olay verisi dalgacık analiz algoritması ile analiz edildikten sonra elde edilen sonuçlar Çizelge 5.14'de gösterilmiştir. Rms yöntemi ile yapılmış sınıflandırmada gerilim çukuru olarak sınıflandırılmış bu gerilim kesintisi olayının dalgacık analizi ile test sonuçları Çizelge 5.14'de gösterilmiştir. Dalgacık analizi yönteminde bu olay gerilim kesintisi olarak sınıflandırılmıştır. Olay başlangıç noktası belirlenemiyorken olayın bitiş ve uzunluğu belirlenememiştir. Çünkü kesinti bu veri içerisinde devam etmektedir.

Çizelge 5.14. Çan TM trafo-A sekonder tarafındaki gerilim kesintisi olayının dalgacık yöntemiyle tespit edilen özellikleri

Test	OBA (ms)	OBİ (ms)	OUZ (ms)	OBÜ (%)	Sınıf
Gerçek	277,23.	-	-	0,08	Anlık Kesinti
Analiz	275,94.	-	-	0,11	Anlık Kesinti
Hata	1,29	-	-	0,03	-

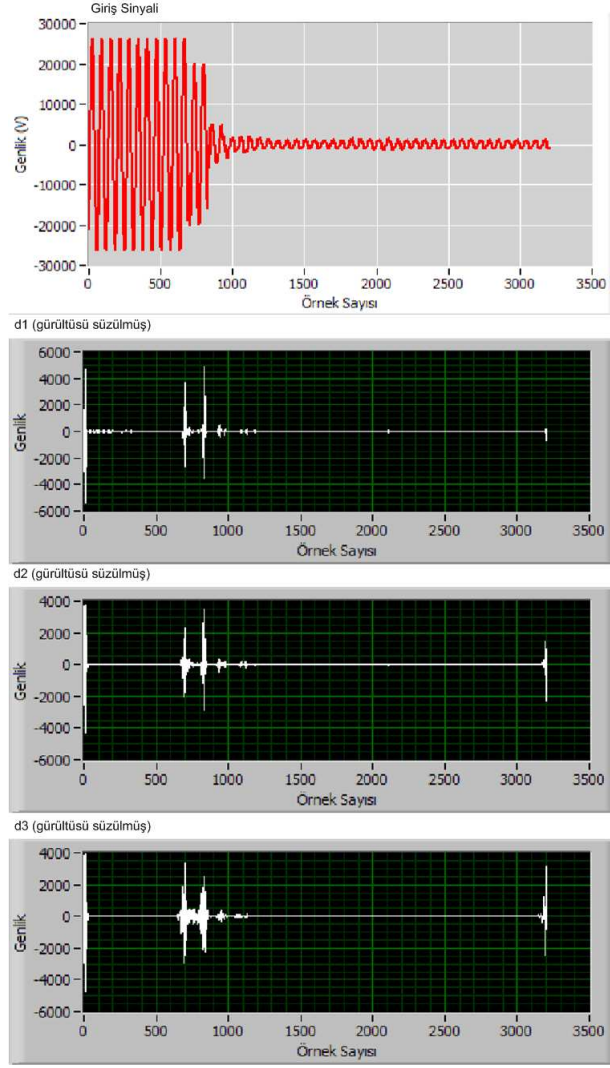


Şekil 5.11. Çan TM trafo-A sekonder tarafında meydana gelmiş gerilim kesintisi olayı ve 3 seviyeli UWT detay katsayıları

Kesinti Test 3

Kangal TM şantiye fiderine ait ölçüm verilerinde mobil ölçüm sistemi ile elde edilmiş farklı bir gerilim kesintisi olayı bu bölümde incelenmiştir. Gerilim kesintisi olayı Şekil 5.12’de gösterilmiştir. Kesinti ile sistem gerilimi orta gerilim seviyesinden sıfır değerine düşmüştür. Ölçüm verileri üzerindeki gürültü miktarı olayın tespit ve analizini güçleştirdiğinden UWT analizi ile gürültü süzme işlemine tabi tutulduktan sonra 3 seviyeli db10 dalgacıyla yapılan analizler sonucunda elde edilen dalgacık detay katsayıları yine Şekil 5.12’de gösterilmiştir. Olay tespit ve sınıflandırmasında detay-2 katsayısı kullanılmıştır.

Gerilim kesintisi olay verisi dalgacık analiz algoritması ile analiz edildikten sonra



Şekil 5.12. Kangal TM şantiye fiderinde meydana gelmiş gerilim kesintisi olayı ve 3 seviyeli UWT detay katsayıları

elde edilen sonuçlar Çizelge 5.15’de gösterilmiştir. Olayın başlangıç noktası tespit edilebilmişken olay devam ettiği için bitiş ve uzunluk bilgileri elde edilememiştir.

Çizelge 5.15. Kangal TM şantiye fiderinde meydana gelmiş gerilim kesintisinin dalgacık yöntemiyle tespit edilen özellikleri

Test	OBA (ms)	OBİ (ms)	OUZ (ms)	OBÜ (%)	Sınıf
Gerçek	308.90	-	-	5,32	Kesinti
Analiz	305.00	-	-	5,19	Kesinti
Hata	3,90	-	-	0,13	-

Gerçek analiz verileri kullanılarak farklı ölçüm noktalarından alınan ve dalgacık analizlerine tabi tutulan olay sinyallerinin analiz sonuçları Çizelge 5.16’de gösterilmiştir. Gerçek gerilim kesintisi olaylarının başlangıç, bitiş ve süreleri yüksek doğrulukta

elde edilmiş ve doğru şekilde sınıflandırılmışlardır. Buradaki ölçüm noktalarının ne-ler olduğu Çizelge 5.18’de gösterilmiştir. Bu ölçüm noktaları için yapılan analizler sonucunda hata miktarları Çizelge 5.17’de verilmiştir. Görüldüğü gibi olay başlan-gıç noktaları için yaklaşık ortalama hata 3 ms civarında iken bitiş noktaları için de yaklaşık 3 ms civarındadır. Olay uzunluğu için hata miktarı ise yaklaşık olarak 1 ms denebilir. Olay büyüklüklerindeki analiz hatası ise yaklaşık %1 civarındadır.

Çizelge 5.16. Farklı ölçüm noktalarından elde edilen gerilim kesintisi olaylarının WT yöntemiyle analizleri

ÖN	OBA (ms)	OBİ (ms)	OBÜ (%)	HBA (ms)	HBİ (ms)	HBÜ (%)
1	322,54.	-	0,43	317,58.	-	0,87
2	540,11.	-	0,21	539,90.	-	0,43
3	731,89.	-	0,32	727,29.	-	0,33
4	619,81.	721,80.	5,27	618,60.	718,73	6,79
5	346,76.	382,68.	2,19	343,77.	380,12	2,20

Çizelge 5.17. Gerilim kesintisi için WT yöntemiyle elde analizlerin hata değerleri

ÖN	BAH (ms)	BİH (ms)	UZH (ms)	BÜH (%)
1	4,96	-	-	0,44
2	0,21	-	-	0,22
3	4,60	-	-	0,01
4	1,21	3,07	1,86	1,52
5	2,99	2,56	0,43	0,01

Çizelge 5.18. Gerilim kesintisi için ölçüm noktaları listesi

ÖN	Ölçüm Noktasının Adı
1	Alaçatı TM Ares
2	Kasımpaşa TM Tr-1 Sekonder
3	Finike TM Tr-A Sekonder
4	Çan TM Tr-A Sekonder
5	Tatvan TM Tr-B Sekonder

5.2.4 Geçici Olay Testi

Geçici Olay Test 1

Alçuk TM'de yapılmış bir haftalık kesintisiz mobil güç kalitesi ölçümlerinden elde edilmiş tek fazlı gerilim çukuru olayı Şekil 5.13'de gösterilmiştir. Burada darbeli geçici olayın yakınlaştırılmış halinde olayı sinyalin genlik değerini nasıl değiştirdiği gösterilmiştir. Orta gerilim seviyesinde (34,5 kV) egeçelik fiderinden elde edilmiş bu geçici olay dalgacık analizine tabi tutulmuştur. Ölçüm verileri üzerindeki gürültü miktarı olayın tespit ve analizini güçleştirdiğinden UWT analizi ile gürültü süzme işlemine tabi tutulduktan sonra 3 seviyeli db10 dalgacıyla yapılan analizler sonucunda elde edilen dalgacık detay katsayıları yine Şekil 5.13'de gösterilmiştir. Olayın başlangıç ve bitiş noktalarındaki genlik değerlerinin daha yüksek görülmektedir. Olay tespit ve sınıflandırmasında detay-2 katsayısı kullanılmıştır.

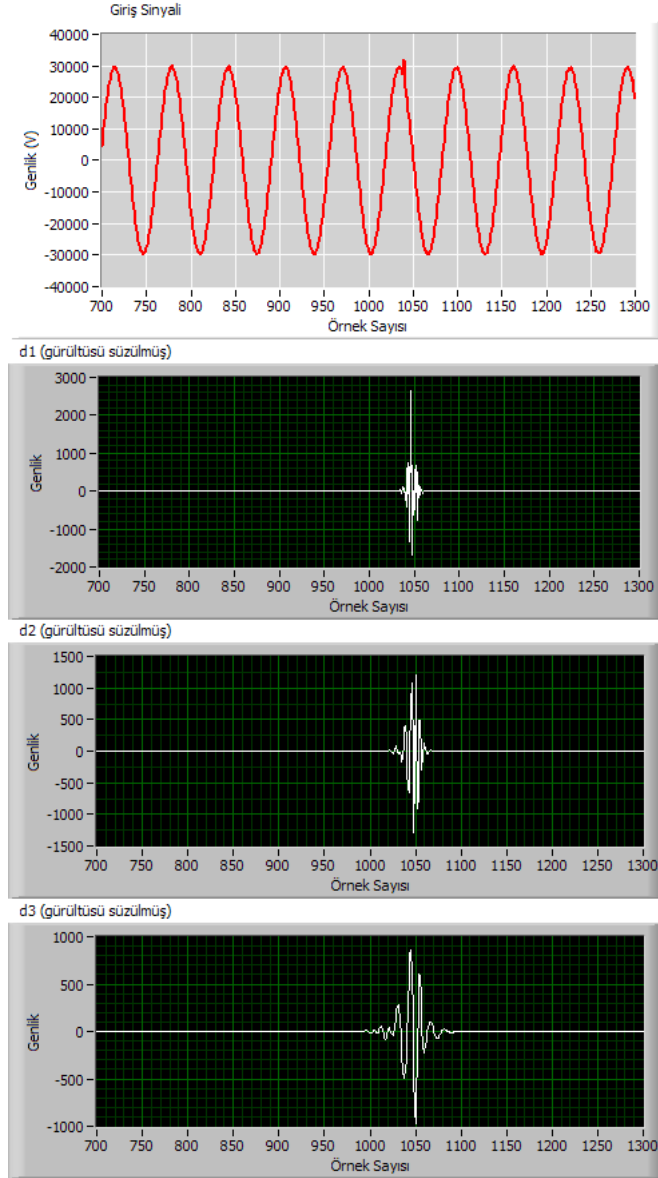
Analiz sonuçlarında geçici olayın tespit edilen özellikleri Çizelge 5.19'da yer almaktadır. Olay, rms yöntemin göre tepesi olarak sınıflandırılmışken dalgacık analizi ile geçici olay olarak sınıflandırılmıştır. Olayın zaman bilgileri ve büyüklük bilgileri yüksek doğrulukta elde edilmiştir.

Çizelge 5.19. Egeçelik fiderindeki darbeli geçici olayın dalgacık yöntemiyle tespit edilen özellikleri (test-1)

Test	OBA (ms)	OBİ (ms)	OUZ (ms)	OBÜ (%)	Sınıf
Gerçek	320,62.	324,21.	3,59	105,67	Darbeli Geçici Olay
Analiz	323,43.	326,87.	3,44	106,22	Darbeli Geçici Olay
Hata	2,81	2,66	0,15	0,55	-

Geçici Olay Test 2

Alçuk TM'de yapılmış bir haftalık kesintisiz mobil güç kalitesi ölçümlerinden elde edilmiş bir başka tek fazlı geçici olay Şekil 5.14'de gösterilmiştir. Burada darbeli geçici olayın yakınlaştırılmış halinde olayı sinyalin genlik değerini nasıl değiştirdiği gösterilmiştir. Orta gerilim seviyesinde (34,5 kV) egeçelik fiderinden elde edilmiş bu geçici olay dalgacık analizine tabi tutulmuştur. UWT analizi ile gürültü süzme işlemine tabi tutulduktan sonra 3 seviyeli db10 dalgacıyla yapılan analizler sonucunda elde edilen dalgacık detay katsayıları yine Şekil 5.14'de gösterilmiştir. Olayın başlangıç ve



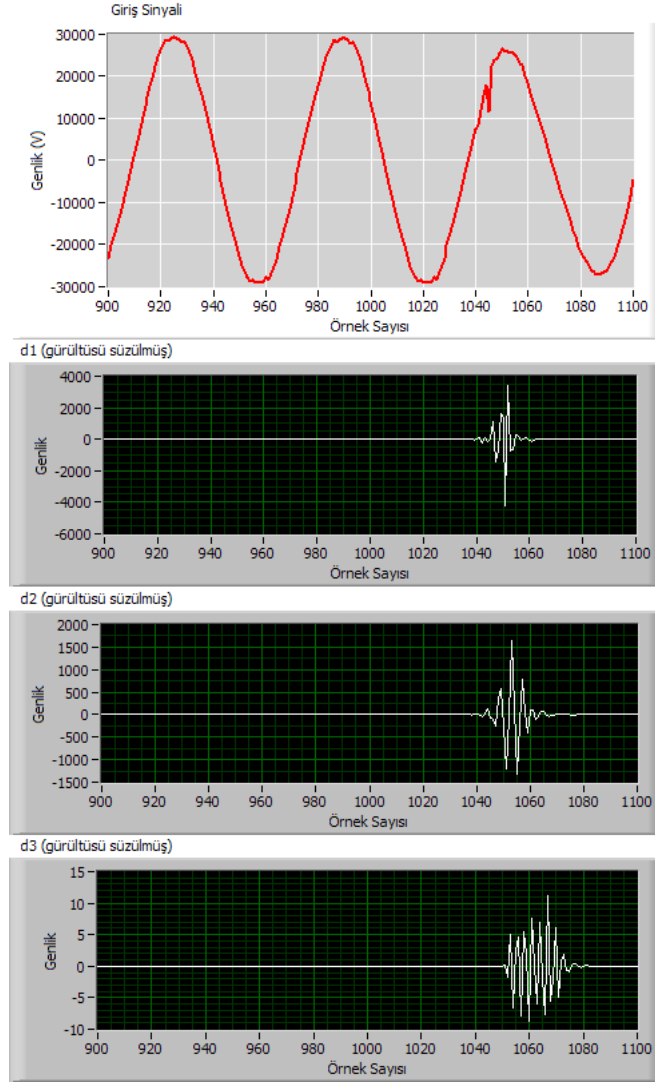
Şekil 5.13. Alçuk TM egeçelik fiderinde meydana gelmiş darbeli geçici olay ve 3 seviyeli UWT detay katsayıları (test 1)

bitiş noktalarındaki genlik değerlerinin daha yüksek görölmektedir. Olay tespit ve sınıflandırmasında detay-2 katsayısı kullanılmıştır.

Geçici olayın tespit edilen özellikleri Çizelge 5.20'de yer almaktadır. Rms yöntemin göre tepe olarak sınıflandırılmışken dalgacık analizi ile geçici olay olarak sınıflandırılmıştır.

Geçici Olay Test 3

Yine Alçuk TM'de yapılmış bir haftalık kesintisiz mobil güç kalitesi ölçümlerinden elde edilmiş bir başka tek fazlı geçici olay Şekil 5.15'de gösterilmiştir. Burada darbeli



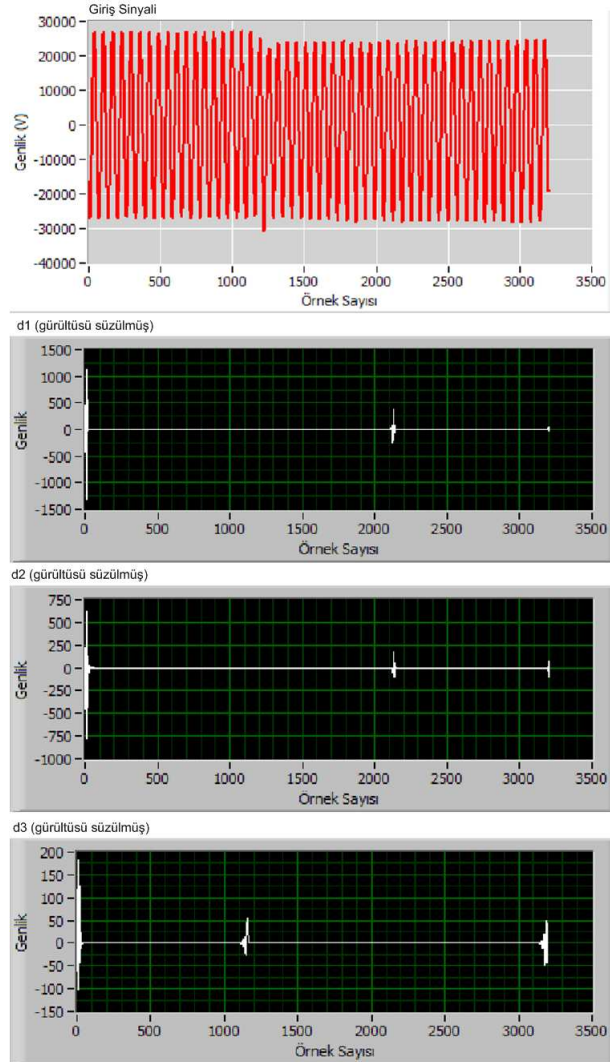
Şekil 5.14. Alçuk TM egeçelik fiderinde meydana gelmiş darbeli geçici olayı ve 3 seviyeli UWT detay katsayıları (test 2)

Çizelge 5.20. Egeçelik fiderindeki darbeli geçici olayın dalgacık yöntemiyle tespit edilen özellikleri (test-2)

Test	OBA (ms)	OBİ (ms)	OUZ (ms)	OBÜ (%)	Sınıf
Gerçek	322,73.	328,63.	5,90	91,56	Darbeli Geçici Olay
Analiz	327,19.	332,50.	5,31	91,06	Darbeli Geçici Olay
Hata	4,46	4,20	0,59	0,50	-

geçici olayın yakınlştırılmış halinde olayı sinyalin genlik değerini nasıl değiştirdiği gösterilmiştir. Orta gerilim seviyesinde (34,5 kV) egeçelik fiderinden elde edilmiş bu geçici olay dalgacık analizine tabi tutulmuştur. Ölçüm verileri üzerindeki gürültü miktarı olayın tespit ve analizi güçleştirdiğinden UWT analizi ile gürültü süzme işlemine tabi tutulduktan sonra 3 seviyeli db10 dalgacığıyla yapılan analizler sonucunda elde

edilen dalgacık detay katsayıları yine Şekil 5.15'da gösterilmiştir. Olayın başlangıç ve bitiş noktalarındaki genlik değerlerinin daha yüksek görülmektedir. Olay tespit ve sınıflandırmasında detay-3 katsayısı kullanılmıştır.



Şekil 5.15. Alçuk TM egeçelik fiderinde meydana gelmiş darbeli geçici olay ve 3 seviyeli UWT detay katsayıları (test 3)

Analiz sonuçlarında geçici olayın tespit edilen özellikleri Çizelge 5.21'de yer almaktadır. Olay türü, olayın mobil ölçüm sistemi ile tespit edilen türünü ifade ederken, sınıf ise olayı dalgacık analizi ile sınıflandırılmasını ifade etmektedir. Olay büyüklüğü nominal gerilime göre olayın büyüklüğünü ifade etmektedir. Olay, rms yöntemin göre tepesi olarak sınıflandırılmışken dalgacık analizi ile geçici olay olarak sınıflandırılmıştır. Olayın zaman bilgileri ve büyüklük bilgileri yüksek doğrulukta elde edilmiştir. Ayrıca doğru sınıflandırma yapılmıştır.

Çizelge 5.21. Egeçelik fiderindeki darbeli geçici olayın dalgacık yöntemiyle tespit edilen özellikleri (test-3)

Test	OBA (ms)	OBİ (ms)	OUZ (ms)	OBÜ (%)	Sınıf
Gerçek	360,14.	363,85.	3,71	101,42	Darbeli Geçici Olay
Analiz	361,44.	365,63.	4,19	103,53	Darbeli Geçici Olay
Hata	1,30	1,68	0,48	2,11	-

5.3 Gerçek Zamanlı Ölçüm, Analiz ve Sınıflandırma

Bu kısımda kısa süreli güç kalitesi olay parametreleri sinyal üretici ile istenilen türde üretilmiş ve dalgacık analizi yapan algoritma sayesinde analiz ve sınıflandırma işlemleri yapılmıştır. Kısa süreli her bir tür güç kalitesi olay parametresinden örnek sinyaller test işlemlerinde kullanılmıştır. Dalgacık analizi ölçüm sistemi sinyal üretici ile birlikte Şekil 5.16'de gösterilmektedir. Örnek olarak oluşturulan bir gerilim çukuru olayı ve bu olayın dalgacık analizi grafikleri ile donanım sistemi ekipmanları bütün olarak gösterilmektedir.

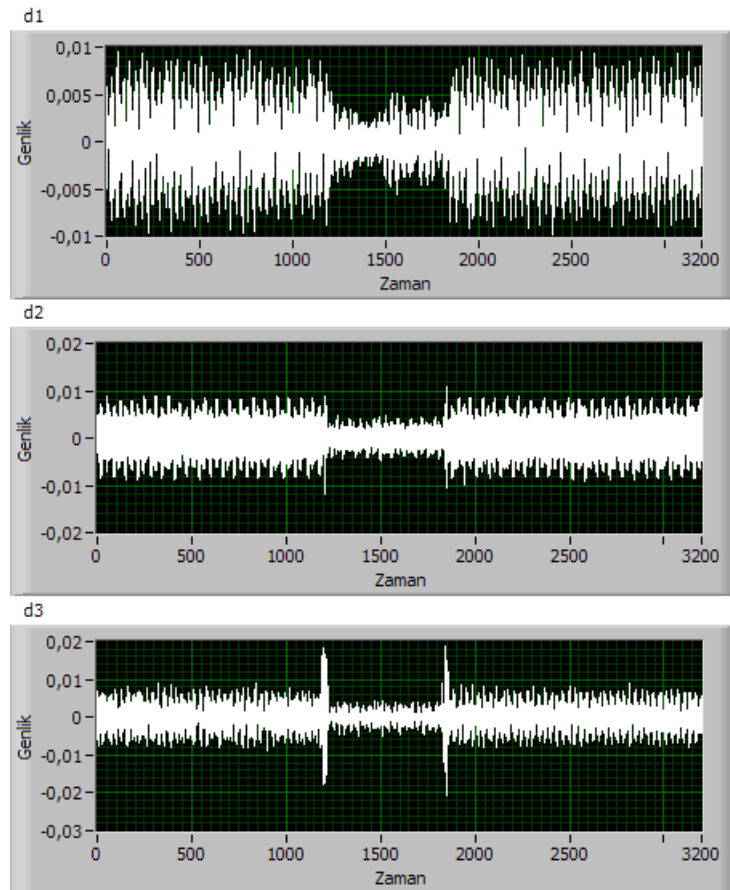


Şekil 5.16. Gerçek zamanlı dalgacık tabanlı ölçüm sistemi genel görünümü

Gerçek zamanlı ölçüm testlerinde karşılaşılan en büyük zorluk sitemde bulunan gürültü olmuştur. Bu gürültü yüksek frekanslı bileşenlerden oluşan dalgacık katsayılarının olay tespit ve sınıflandırmasında kullanılmalarını güçleştirmektedir. Bu nedenle bu kısımda yapılan gerçek zamanlı olay analizlerinde öncelikle sinyal üzerinde taşı-

nan gürültüden kurtulmak amaçlanmıştır. Bu gürültü giderim tekniklerine benzetim çalışmalarında da yer verilmiş ve böyle bir problemle karşılaşıldığında çözüm yöntemleri üzerinde çalışılmıştır. Yine bu kısımda gürültü süzme işlemlerinde dalgacık tekniklerinden yararlanılmış ve detay ile yaklaşım katsayıları üzerindeki gürültü süzülerek analize, tespit ve sınıflandırma algoritmalarına uygun hale getirilmiştir.

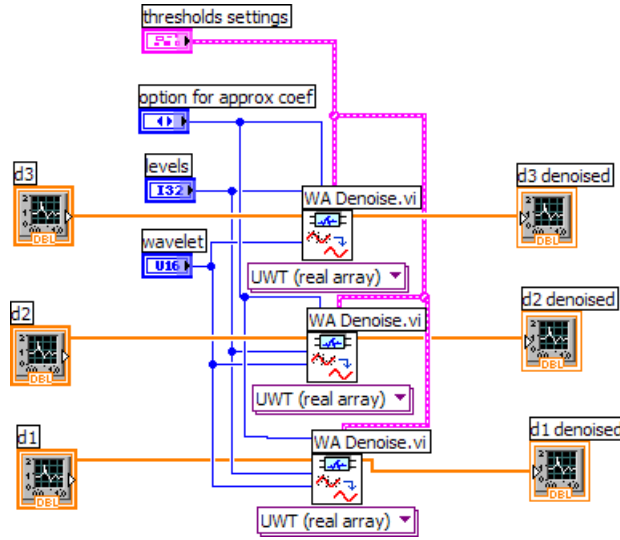
Bu kısımda yapılan testlerde her bir güç kalitesi olayı için UWT gürültü süzme tekniği kullanılmış ve 3 seviyeli db10 dalgacığı ile daha önceki testler de dikkate alınarak süzme işlemleri uygulanmıştır. Örnek olarak oluşturulmuş %50 'lik bir gerilim çukuru olayının üzerindeki gürültü süzülmediğinde db10 dalgacık türü ile 3 seviyeli UWT analizi detay bileşenlerinin değişim grafikleri Şekil 5.17'da gösterilmektedir. Buradan da görülebildiği gibi gürültüsü süzülmemiş sinyalin detay dalgacık katsayılarından olay bilgilerini elde etmek oldukça güçleşmiştir. Bu nedenle dalgacık tabanlı bir dalgacık gürültü süzme işlemi uygulanmaktadır.



Şekil 5.17. Gerçek zamanlı, gürültülü sinyal detay bileşenleri

3 Seviyeli db10 dalgacığı kullanılarak yapılan gürültü süzme işleminde tasarlanan blok şeması Şekil 5.18'da gösterilmiştir. UWT analizi ile elde edilen her bir detay

katsayısı 3 seviyeli UWT gürültü süzme işlemine tabi tutulur. Gürültü süzme işleminden sonra sinyal üzerinde meydana gelen olayları tespit etmek mümkün hale gelmektedir. Şekil 5.19'de gürültü süzme işleminden sonra elde edilen detay katsayılar gösterilmektedir. Her bir detay katsayısı gürültü süzme işlemi olmadan önce elde edildiği değişimden oldukça farklı hale gelmiş örnek gerilim çukuru olayının başlangıç bitiş ve uzunluklarının tespit edilmesinde kullanılabilir şekilde girmiştir.

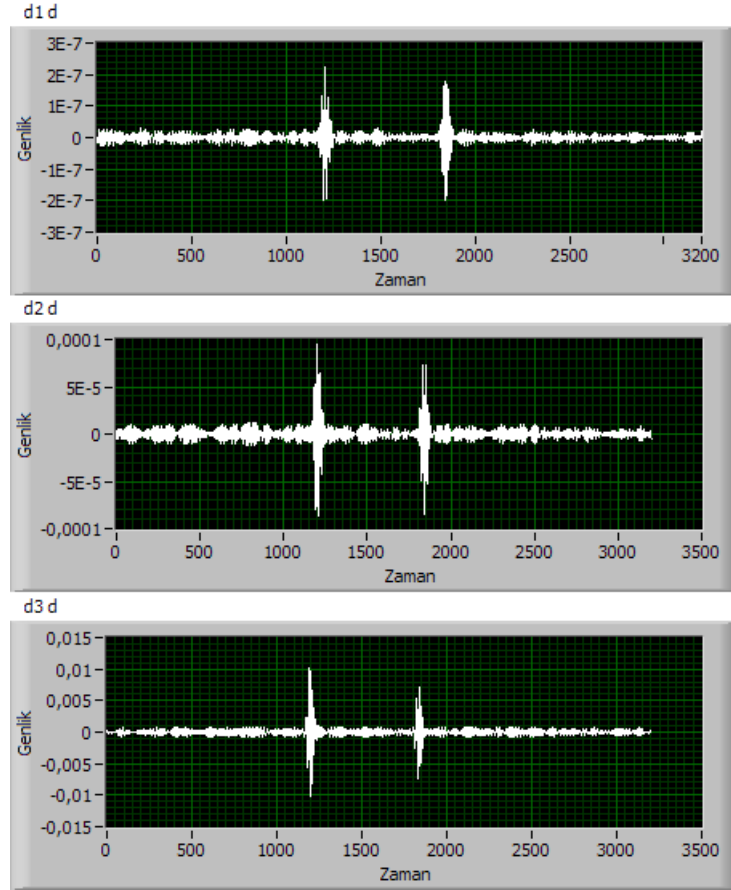


Şekil 5.18. 3 Seviye UWT gürültü süzme blok şeması

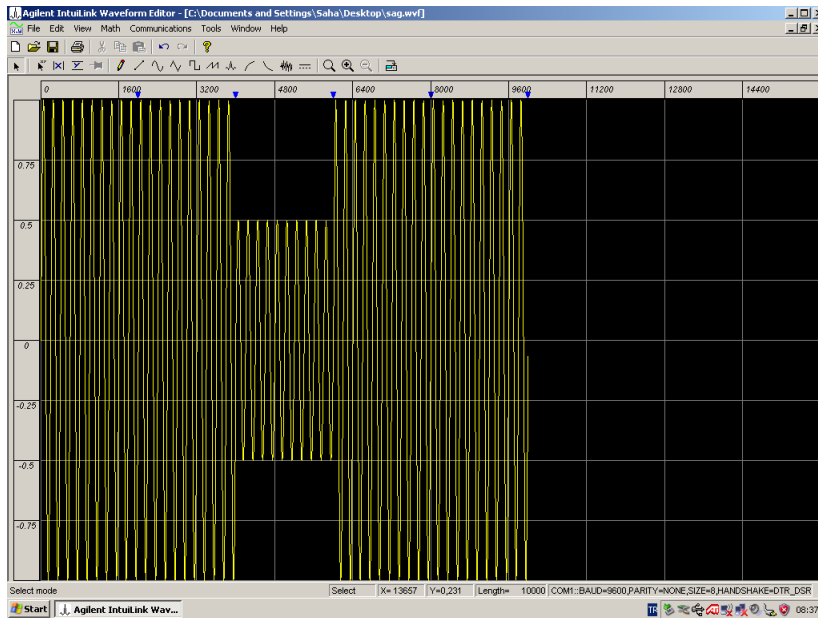
5.3.1 Gerçek Zamanlı Gerilim Çukuru Olayı Tespit, Analiz ve Sınıflandırması

Sinyal üretici ile 3200 Hz örnekleme frekansında oluşturulan %50'lik örnek bir gerilim çukuru olayı dalgacık tabanlı ölçüm sistemi ile analiz edilmiş olayın olduğu an ve bitiş noktaları benzetim çalışmalarında olduğu gibi olay uzunluğu bilgisi ile tespit edilmiş ve uluslararası standartlarda verilen güç kalitesi olay tanım ve sınırları dikkate alınarak analiz edilmiştir. Gürültüsü süzülen sinyal detay bileşenlerinden detay-2 bileşen, olay tespiti için referans alınmış ve maksimum değeri bulunarak bu değere göre sınır değerler gerçek zamanlı olarak yazılım tarafından oluşturulmuştur. Oluşturulan sınır değerleri aşan yerlerde olayın meydana geldiği ve sona erdiği noktalar tespit edilerek olayın uzunluğu hakkında bilgiye ulaşılmıştır. Şekil 5.20'de sinyal üretici ile üretilmiş gerilim çukuru olay grafiği gösterilmiştir. Bu olay grafiği örnek analiz için %50'lik olarak oluşturulmuştur. Veri örnekleme ve okuma işlemlerinden sonra analog bilgi sayısal bilgiye dönüştürülmüş ve bilgisayarda yüklü olan dalgacık tabanlı yazılıma girdi olarak gönderilmiştir.

Dalgacık analizi yazılımında girdi sinyalinin bir olay sinyali olup olmadığı analizi ya-



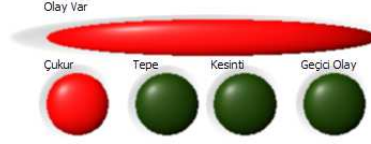
Şekil 5.19. Gerçek zamanlı, gürültüsü süzölmüş detay bileşenleri



Şekil 5.20. Sinyal üretici ile üretilmiş %50'lik örnek gerilim çukuru

pılmış ve bu analiz sonucunda bunun bir gerilim çukuru olayı olduğu anlaşılmış ve bu sinyal gerilim çukuru olarak sınıflandırılmıştır. Yazılımın tespit ve sınıflandırma işle-

mini gösteren ön panel gösterimi Şekil 5.21’de olduğu gibidir. Sınıflandırma işleminin sonra sinyal verisi bilgisayar hafızasına kaydedilmiştir. Böylece tespit edilerek sınıflandırılan bu olay için daha sonraki ayrıntılı incelemelerine olanak sağlanmıştır.



Şekil 5.21. Gerilim çukuru olay tespit ve sınıflandırma ön panel görünümü

Üretilen gerçek olay verisi ile analiz sonucu elde edilen veriler Çizelge 5.22’de karşılaştırılmıştır. Olay tespit edilmiş ve yüksek doğrulukta olay özellikleri tespit edilmiştir. Olay uzunluğunda 2.19 ms’lik bir hata yapılmış bu da yaklaşık %1’lik hata demektir ve kabul edilebilir sınırlar içerisindeydir. Rms yöntemiyle yapılan gerçek zamanlı ölçümlerde bu değer %5 civarındadır. Yine genlik için de yüksek doğrulukta analiz yapılmıştır.

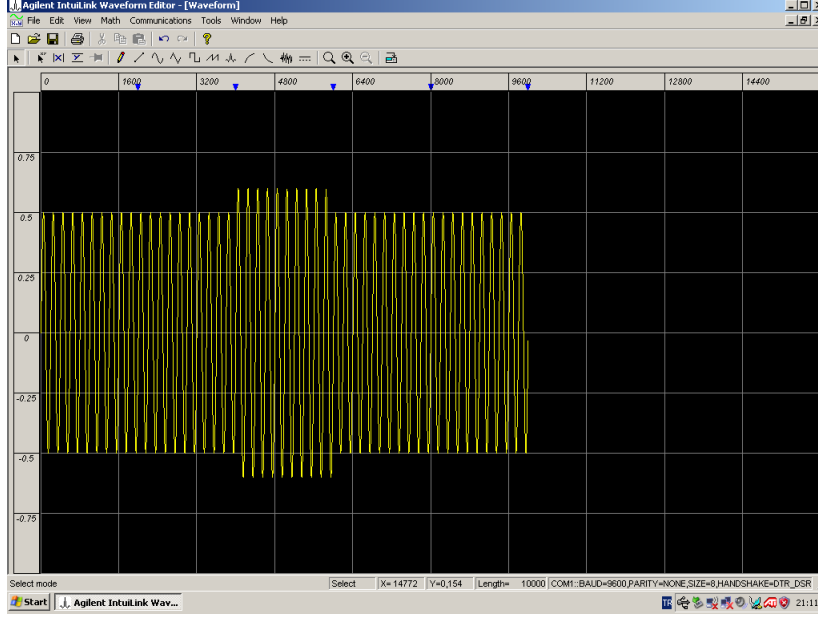
Çizelge 5.22. Gerçek zamanlı ölçüm için gerilim çukuru olay tespit ve sınıflandırma testleri

Test	OBA (ms)	OBİ (ms)	OUZ (ms)	OBÜ (%)
Gerçek	376,25.	576,25.	200,00	50,00
Analiz	374,69.	576,88.	202,19	49,99
Hata	1,56	0,63	2,19	0,01

5.3.2 Gerçek Zamanlı Gerilim Tepesi Olayı Tespit, Analiz ve Sınıflandırması

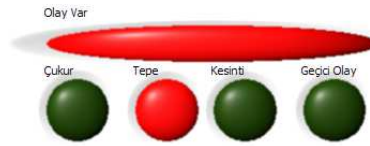
Sinyal üretici ile 3200 Hz örnekleme frekansında oluşturulan %120’lik örnek bir gerilim tepesi olayı dalgacık tabanlı ölçüm sistemi ile analiz edilmiş olayın olduğu an ve bitiş noktaları benzetim çalışmalarında olduğu gibi olay uzunluğu bilgisi ile tespit edilmiş ve uluslararası standartlarda verilen güç kalitesi olay tanım ve sınırları dikkate alınarak analiz edilmiştir. Gürültüsü süzölen sinyal detay bileşenlerinden detay-2 bileşen, olay tespiti için referans alınmış ve maksimum değeri bulunarak bu değere göre sınır değerler gerçek zamanlı olarak yazılım tarafından oluşturulmuştur. Oluşturulan sınır değerleri aşan yerlerde olayın meydana geldiği ve sona erdiği noktalar tespit edilerek olayın uzunluğu hakkında bilgiye ulaşılmıştır. Şekil 5.22’de sinyal üretici ile üretilmiş gerilim tepesi olay grafiği gösterilmiştir. Bu olay grafiği örnek analiz için %120’lik olarak oluşturulmuştur. Veri örnekleme ve okuma işlem-

lerinden sonra analog bilgi sayısal bilgiye dönüştürülmüş ve bilgisayarda yüklü olan dalgacık tabanlı yazılıma girdi olarak gönderilmiştir.



Şekil 5.22. Sinyal üretici ile üretilmiş %120'lik örnek gerilim tepesi

Dalgacık analizi yazılımında girdi sinyalinin bir olay sinyali olup olmadığı analizi yapılmış ve bu analiz sonucunda bunun bir gerilim tepesi olayı olduğu anlaşılmış ve bu sinyal gerilim tepesi olarak sınıflandırılmıştır. Yazılımın gerilim tepesi olayında tespit ve sınıflandırma işlemini gösteren ön panel gösterimi Şekil 5.23'de olduğu gibidir. Sınıflandırma işleminden sonra sinyal verisi bilgisayar hafızasına kaydedilmiştir. Böylece tespit edilerek sınıflandırılan bu olay için daha sonraki ayrıntılı incelemelere olanak sağlanmıştır.



Şekil 5.23. Gerilim tepesi olay tespit ve sınıflandırma ön panel görünümü

Üretilen gerçek olay verisi ile analiz sonucu elde edilen veriler Çizelge 5.23'de karşılaştırılmıştır. Olay tespit edilmiş ve yüksek doğrulukta olay özellikleri elde edilmiştir. Olay uzunluğunda hata yapılmamıştır. Yine genlik için de hatasız analiz yapılmıştır. Olay başlangıç ve bitiş anları değerlerinde 1,25 ms bir hata varken, d2 dalgacık katsayısı için filtrelerden gelen 1,78 ms'lik gecikme de eklendiğinde hata 3,03 düzeyine çıkmıştır. Bu hata kabul edilebilir sınırlardadır.

Çizelge 5.23. Gerçek zamanlı ölçüm için gerilim tepesi olay tespit ve sınıflandırma testleri

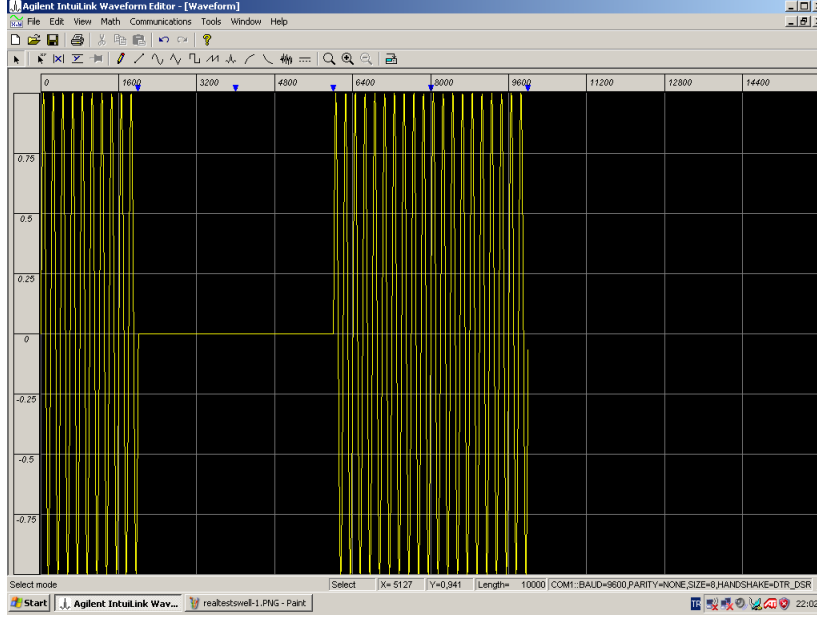
Test	OBA (ms)	OBİ (ms)	OUZ (ms)	OBÜ (%)
Gerçek	339,06.	539,06.	200,00	120,00
Analiz	337,81.	537,81.	200,00	120,00
Hata	1,25	1,25	0,00	0,00

5.3.3 Gerçek Zamanlı Gerilim Kesintisi Olayı Tespit, Analiz ve Sınıflandırması

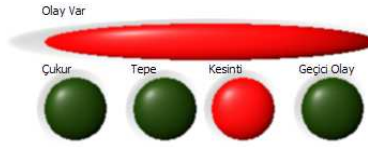
Sinyal üretici ile 3200 Hz örnekleme frekansında oluşturulan %0'lık örnek bir gerilim kesintisi olayı dalgacık tabanlı ölçüm sistemi ile analiz edilmiş olayın olduğu an ve bitiş noktaları benzetim çalışmalarında olduğu gibi olay uzunluğu bilgisi ile tespit edilmiş ve uluslararası standartlarda verilen güç kalitesi olay tanım ve sınırları dikkate alınarak analiz edilmiştir. Gürültüsü süzülen sinyal detay bileşenlerinden detay-2 bileşen, olay tespiti için referans alınmış ve maksimum değeri bulunarak bu değere göre sınır değerler gerçek zamanlı olarak yazılım tarafından oluşturulmuştur. Oluşturulan sınır değerleri aşan yerlerde olayın meydana geldiği ve sona erdiği noktalar tespit edilerek olayın uzunluğu hakkında bilgiye ulaşılmıştır. Şekil 5.24'da sinyal üretici ile üretilmiş gerilim kesintisi olay grafiği gösterilmiştir. Bu olay grafiği örnek analiz için %0 genlikli olarak oluşturulmuştur. Veri örnekleme ve okuma işlemlerinden sonra analog bilgi sayısal bilgiye dönüştürülmüş ve bilgisayarda yüklü olan dalgacık tabanlı yazılıma girdi olarak gönderilmiştir.

Dalgacık analizi yazılımında girdi sinyalinin bir olay sinyali olup olmadığı analizi yapılmış ve bu analiz sonucunda bunun bir gerilim kesintisi olayı olduğu anlaşılmış ve bu sinyal gerilim kesintisi olayı olarak sınıflandırılmıştır. Yazılımın gerilim kesintisi olayında tespit ve sınıflandırma işlemini gösteren ön panel gösterimi Şekil 5.25'de olduğu gibidir. Sınıflandırma işleminden sonra sinyal verisi bilgisayar hafızasına kaydedilmiştir. Böylece tespit edilerek sınıflandırılan bu olay için daha sonraki ayrıntılı incelemelere olanak sağlanmıştır.

Üretilen gerçek olay verisi ile analiz sonucu elde edilen veriler Çizelge 5.24'de karşılaştırılmıştır. Olay tespit edilmiş ve yüksek doğrulukta olay özellikleri elde edilmiştir. Olay genlik değeri hesabında hata yapılmamıştır. Olay başlangıç anı için 0,62 ms hata yapılmış, olay bitiş anında ise 0,93 ms'lik bir hata yapılmıştır. Bu hata değerle-



Şekil 5.24. Sinyal üretici ile üretilmiş %0'lık örnek gerilim kesintisi



Şekil 5.25. Gerilim kesintisi olay tespit ve sınıflandırma ön panel görünümü

rine d2 dalgacık katsayısı için filtrelerden gelen 1,78 ms'lik gecikme de eklendiğinde hata 2,71 ms düzeyine çıkmıştır. Bu hatalar kabul edilebilir sınırlardadır.

Çizelge 5.24. Gerçek zamanlı ölçüm için gerilim kesintisi olay tespit ve sınıflandırma testleri

Test	OBA (ms)	OBİ (ms)	OUZ (ms)	OBÜ (%)
Gerçek	356,87.	756,87.	400,00	0,00
Analiz	356,25.	755,94.	399,69	0,00
Hata	0,62	0,93	0,31	0,00

6. SONUÇ

Bu çalışmada elektrik iletim ve dağıtım sistemlerinde karşılaşılan güç kalitesi problemlerinin dalgacık analizi teknikleri kullanılarak, bilgisayar ortamında ve gerçek zamanlı olarak tespit, analiz ve sınıflandırılması çalışmalarından bahsedilmiştir. Anlık değişimler gösteren güç kalitesi parametrelerinin analizinde dalgacık tekniğinin kullanımının mevcut yöntemlere göre üstünlüklerinden bahsedilmiş ve bu yöntemin kullanımının artmasıyla özellikle periyodik olmayan, yüksek frekanslı güç kalitesi olaylarının tespitinin ve sınıflandırılmasının daha hızlı ve etkin yapılabileceği gösterilmiştir.

Tasarlanan ölçüm sistemi yazılımı ve donanımı sayesinde herhangi bir ölçüm noktasında dalgacık teknikleriyle güç kalitesi analizi yapma olanağı sağlanmıştır. Her bir güç kalitesi olayının tespiti ve sınıflandırılması bu problemde kaynaklanan sorunların giderilmesinde oldukça önemli yer tutmaktadır. Mevcut ulusal ve uluslararası yönetmelik ve standartlara uygun olarak dalgacık tekniği analiz yöntemleri geliştirilmiş ve güç kalitesi olay tespit ve sınıflandırmaları bu çerçevede ele alınmıştır. Mevcut standartlar tarafından önerilen rms yöntemi gibi yöntemler özellikle güç kalitesi olaylarının tespit zamanlarında yüksek hatalar getirmekte ve bu nedenle bu tür olayların analiz ve yorumlanması güçleşmektedir. Dalgacık tekniğinde ise bu zaman değerlerine yüksek doğrulukta ulaşılabilmekte ve dolayısıyla doğru analizler yapılabilmektedir. Rms yöntemiyle maksimum yarım çevrimlik hata gelmektedir. Bu da 3200 Hz örnekleme frekansında 10 ms demektir. Dalgacık yöntemiyle yapılan hata değeri olay başlangıç ve bitiş noktalarında en fazla 5 ms civarında iken olay uzunluğunda bu değer yaklaşık 1 ms civarındadır. Olay büyüklüğü hesabında ise yaklaşık %1 civarında bir hata yapılmaktadır. Bu sonuçlar olay analizlerinde dalgacık yönteminin rms yönteminden daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Mobil güç kalitesi ölçümleriyle TEİAŞ trafo merkezlerinden elde edilmiş güç kalitesi olay verileri kullanılarak dalgacık tekniğiyle analizler yapılmış ve mevcut yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Gerçek veriler üzerinde yapılan bu analizlerde güç kalitesi olaylarının zaman bilgilerinin yüksek doğrulukta elde edildiği ve yine dalgacık yöntemleriyle gürültü taşıyan bu gerçek ölçüm verilerinin gürültülerinin süzülmesinden bahsedilmiştir. Gürültü süzme tekniği olarak da dalgacık tekniğinin iyi bir yöntem olduğu anlaşılmıştır. Gürültüsü süzülen veriler üzerinde dalgacık analizleri yapılmış ve rms yöntemiyle gözden kaçan kısa süreli geçici olayların ve uluslararası standartlardaki

sınır değerlere yakın olan bazı güç kalitesi verilerinin dalgacık tekniğiyle daha doğru şekilde sınıflandırılabilirdiği gösterilmiştir.

Literatürde sıkça kullanılan güç kalitesi sınıflandırma teknikleri olarak enerji ve standart sapma yöntemlerinin olay sınıflandırmasında yetersiz kaldıkları görülmüştür. Standartlardaki sınır değerlerine yakın olayların birbirinden ayrıştırılması bu yöntemle oldukça zordur. Genlik ve zaman bilgileri olmadan güç kalitesi olaylarını sadece enerji ve standart sapma değişimleriyle görsel olarak sınıflandırma gerçek zamanlı analizlerde kullanım pratikliği olmayan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Sürekli zamanlı dalgacık dönüşümü ve skalogram gösterimi ile yapılan analizler sayesinde güç kalitesi olayları görsel olarak davranışları incelenmiş ve her bir olayın frekans içerikleri hakkında anlık olarak bilgiler elde edilebilmiştir. Ancak bu analizler sonucunda sadece olayların türleri ve frekans içerikleri ile ilgili bilgilere ulaşılabilmektedir. Olayların büyüklük, sınıf ve süreleriyle ilgili bilgilere ulaşmanın bu yöntemle mümkün olmadığı daha detaylı analizler yapmak gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Dalgacık analizi türlerinden örnek seyreltilmemiş dalgacık dönüşümü yöntemiyle olayların zamanda kaymadan bağımsız olarak tespit edilmelerinde yüksek doğruluk sağlandığı gösterilmiştir. Kullanılan her filtrenin getirdiği grup gecikme miktarları hesaplanarak olay analizlerinde bu değerler göz önünde tutulmuştur. Olayın başlangıç, bitiş ve uzunluk bilgileriyle büyüklük değerlerine yüksek doğrulukta ulaşılarak doğru sonuçlara ulaşılmıştır.

Elektrik şebekesinde gerilim ve akım sinyalleri üzerinde bulunan istenmeyen harmonik bileşenler için yine dalgacık tekniği ile farklı bir yöntem geliştirilmiş ve analizler yapılmıştır. Standartlarda önerilen FFT tekniğinden farklı bir şekilde yeni bir teknik olarak Morlet dalgacıklarıyla sürekli dalgacık dönüşümü tekniği kullanılarak harmonikler analiz edilmiş THD değerleri bu yöntemle hesaplanmıştır. Dalgacık tekniği ile elde edilen sonuçlar FFT tekniği ile karşılaştırılmış ve FFT gibi yüksek doğrulukta analizler yapılabildiği gösterilmiştir. Dalgacık yöntemi tek frekansların tespit edilmesinde daha hızlı şekilde daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır.

Gelecek çalışmalarda geliştirilen dalgacık tekniği yöntemlerinin geliştirilmesi ve yeni farklı tespit, analiz ve sınıflandırma yöntemlerinin kullanılması ile elde edilecek so-

nuçların doğruluklarını daha da arttıracaktır. Bu çalışmada analizi yapılan güç kalitesi parametreleri dışında kırışma, dengesizlik, frekans v.b. diğer güç kalitesi parametreleri de yine dalgacık tekniğinin analiz edilecek olaya göre düzenlenmesi ve geliştirilmesi ile bu parametrelerin de yüksek doğrulukta dalgacık tekniği ile analizleri mümkün olabilecektir.

Sonuçta elde edilecek olay verileri ve özellikleri elektrik şebekesinde bulunan güç kalitesi problemlerine karşı hızlı ve etkin çözümler geliştirmek için önemli bir adım olacaktır. Güç kalitesi problemlerinden kaynaklanan ekonomik ve teknik kayıplar bu şekilde asgari düzeye çekilebilecektir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] E. Özdemirci, Y. Akkaya, B. Boyrazoğlu, **S. Buhan**, A. Terciyanlı, Ö. Ünsar, E. Altıntaş, B. Haliloğlu, A. Açık, T. Atalık, Ö. Salor, T. Demirci, I. Çadircı, M. Ermiş, Mobile Monitoring System to Take PQ Snapshots of Turkish Electricity Transmission System, IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, (2007).
- [2] Ö. Salor, **S. Buhan**, Ö. Ünsar, B. Boyrazoğlu, E. Altıntaş, T. Atalık, B. Haliloğlu, T. İnan, A. Kalaycıoğlu, A. Terciyanlı, A. Açık, T. Demirci, E. Özdemirci, I. Çadircı, M. Ermiş., Mobile Monitoring System to Take Nationwide PQ Measurements on Electricity Transmission Systems, The Measurement Journal of Elsevier 42 (2009) 501–515.
- [3] Ö. Salor, B. Gültekin, **S. Buhan**, B. Boyrazoğlu, T. İnan, T. Atalık, A. Açık, A. Terciyanlı, Ö. Ünsar, E. Altıntaş, Y. Akkaya, E. Özdemirci, I. Çadircı, M. Ermiş, Electrical Power Quality of Iron and Steel Industry in Turkey, IEEE Transactions on Industry Applications In Press.
- [4] **S. Buhan**, B. Boyrazoğlu, Ö. Ünsar, E. Altıntaş, B. Haliloğlu, B. Polat, E. Özdemirci, Türkiye Elektrik İletim Sisteminde Mobil Güç Kalitesi Ölçümleri, Enerji Verimliliği ve Kalitesi Senpozyumu.
- [5] M. K. Avşaroğlu, Elektrik Güç Kalitesi ve Uygulamaları, Proje Raporu, Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü (2004) 89s.
- [6] T. Odabaşı, Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Tasarımı-1, Bilişim Yayınevi, 2008.
- [7] B. Alboyacı, B. Dursun, **S. Buhan**, B. Boyrazoğlu, Power Quality Measurements Performed on Wind Farms in Turkish Power Systems, International Journal of Distributed Energy Resources 5 (1) (2009) 41–43.
- [8] IEC 61000-4-7, Testing and Measurement Techniques - General Guide on Harmonics and Interharmonics Measurements and Instrumentation, for Power Supply Systems and Equipment Connected Thereto (2003).
- [9] IEC 61000-4-15, Testing and Measurement Techniques - Flickermeter - Functional and Design Specifications (2002).

- [10] IEC 61000-4-30, Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and Measurement Techniques - Power Quality Measurement Methods (2003).
- [11] IEEE Std-519, Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems (1992).
- [12] IEEE Std-1159, Recommended Practices for Monitoring Electric Power Quality (1995).
- [13] D. Giancoli, Physics for Scientists and Engineers (2nd Edition), Prentice Hall, 1988.
- [14] R. L. Freeman, Fundamentals of Telecommunications, IEEE Press, 2005.
- [15] Y. Meyer, Wavelets Algorithms and Application, S.I.A.M, Philadelphia, ABD, 1993.
- [16] I. Daubechies, Ten Lectures on Wavelets, S.I.A.M, Pennsylvania, ABD, 1992.
- [17] C. Parameswariah, M. Cox, Frequency Characteristics of Wavelets, IEEE Transactions on Power Delivery 17 (3) (2002) 800–804.
- [18] A. M. Gauda, M. M. A. Salama, M. R. Sultan, A. Y. Chikhani, Power Quality Detection and Classification Using Wavelet-Multiresolution Signal Decomposition, IEEE Transactions on Power Delivery 15 (1999) 1469–1476.
- [19] S. Santoso, E. Powers, W. Grady, P. Hofmann, Power Quality Assesment Via Wavelet Transform Analysis, IEEE Transactions on Power Delivery 11.
- [20] A. M. Gargoom, N. Ertugrul, W. L. Soong, Automatic Classification and Characterization of Power Quality Events, IEEE Transactions on Power Delivery 23 (4) (2008) 2417–2425.
- [21] Ömer Nezih Gerek, D. G. Ece, 2-D Analysis and Compression of Power-Quality Event Data, IEEE Transactions on Power Delivery 19 (2004) 791–798.
- [22] L. Angrisani, P. Daponte, M. D. Apuzzo, A. Testa, A Measurement Method Based On The Wavelet Transform For Power Quality Analysis, IEEE Transactions on Power Delivery 13 (2004) 990–998.

- [23] C. Sharmeela, G. Uma, J. Baskaran, A Novel Detection and Classification Algorithm for Power Quality Disturbances using Wavelets, *American Journal of Applied Sciences* (2006) 2049–2053.
- [24] M. Kezunovic, Y. Liao, A Novel Software Implementation Concept for Power Quality Study, *IEEE Transactions on Power Delivery* 17 (2002) 544–549.
- [25] J. Barros, R. I. Diego, Analysis of Harmonics in Power Systems Using the Wavelet-Packet Transform, *IEEE Transactions on Power Delivery* 57 (2008) 63–69.
- [26] L. Eren, M. J. Davaney, Calculation of Power System Harmonics via Wavelet Packet Decomposition in Real Time Metering, *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference* (2002) 1643–1647.
- [27] M. D. Turan, Cep Telefonunun Ekg Sinyalini Kaydederken Oluşturduğu Gürültünün Dalgacık Dönüşümü Analizi Yöntemi İle Süzülmesi, *SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi* 11 (1) (2007) 38–41.
- [28] S.-J. Huang, C.-T. Hsieh, C.-L. Huang, Application of Morlet Wavelets to Supervise Power System Disturbances, *IEEE Transactions on Power Delivery* 14 (1999) 235–243.
- [29] S. S. Osofsky, Calculation of Transient Sinusoidal Signal Amplitudes Using the Morlet Wavelet, *IEEE Transactions on Signal Processing* 47 (12) (1999) 3426–3428.
- [30] S. Sangeethapriya, M. Prabhakar, Harmonic Detection using Wavelet Transform, *Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks* (2005) 2228–2231.
- [31] W. Wu, Improve Wavelet Transform Spectrum Measurement Performance by Means of Variable Mother Function Bandwidth Parameter, *International Conference on Control, Automation and Systems* (2007) 536–539.
- [32] A. Broshi, Monitoring Power Quality Beyond EN 50160 and IEC 61000-4-30, *Electrical Power Quality and Utilisation Conference* (2007).
- [33] *Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği Ve Kalitesi Yönetmeliği* (2004).

- [34] Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği (2001).
- [35] T. Demirci, A. Kalaycıoğlu, Ö. Salor, S. Pakhuylu, M. Dağlı, T. Kara, H. Aksüyek, Ç. Topçu, S. Bilgen, U. Sezen, I. Çadırcı, M. Ermiş, National PQ Monitoring Network for Turkish Electricity Transmission System, IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Poland (2007).
- [36] B. Haliloğlu, **S. Buhan**, B. Boyrazoğlu, Elektrik İletim Sisteminde Güç Kalitesi Bozulmalarının Tespiti ve Ölçülmesi, Enerji Verimliliği ve Kalitesi Senpozyumu.
- [37] K. Oranpiroj, S. Premrudeepreechacharn, M. Ngoudech, W. Mungjai, K. Yingkayan, T. Boonsai, The 3-phase 4-wire Voltage Sag Generator Based on ABC Algorithm, International Conference on Telecommunications and Information Technology 1 (2009) 82–85.
- [38] J. Ning, C. Wei, S. Juan, W. Jianwei, X. Yonghai, Voltage Sag Disturbance Detection Based on RMS Voltage Method, Power and Energy Engineering Conference (2009) 1–4.
- [39] M. Bollen, The influence of motor reacceleration on voltage sags, IEEE Transactions on Industry Applications 31 (4) (1995) 667–674.
- [40] Y. Yang, Z. Yao, Z. Qing, Voltage Sag Studies Based on Simulation in Large Power Customers, International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (2008) 1863–1867.
- [41] T. Thasananutariya, S. Chatratana, Stochastic Prediction of Voltage Sags in an Industrial Estate, Industry Applications Conference 2 (2005) 1489–1496.
- [42] J. Ping, Z. Jianfeng, T. Guoqing, Series power quality compensator, International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management 2 (2000) 441–445.
- [43] H. Kim, K. Seong, J. Cho, J. Bae, K. Sim, S. Kim, E. Lee, K. Ryu, S. Kim, 3 MJ/750 kVA SMES System for Improving Power Quality, IEEE Transactions on Applied Superconductivity 16 (2) (2006) 574–577.
- [44] J. Barros, M. de Apraiz, R. Diego, Voltage Notch Detection and Analysis Using Wavelets, IEEE Conference on Virtual Environments, Human-Computer Interfaces and Measurement Systems (2008) 151–155.

- [45] J. Barros, M. de Apraiz, R. Diego, Categorization and Analysis of Power System Transients, *IEEE Transactions on Power Delivery* 20 (3) (2005) 2298–2306.
- [46] B. Boyrazoğlu, Ö. Ünsar, B. Polat, Elektrik İletim Sisteminde Akım ve Gerilimdeki Harmonik Bileşenlerin Gerçek Zamanlı Ölçülmesi, Enerji Verimliliği ve Kalitesi Senpozyumu.
- [47] L. Xiaodong, W. Jackson, Investigation of Non-Linear Device Modeled as a Harmonic Current Source, *Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference* (2008) 1–7.
- [48] R. Polikar, The story of wavelets, Tech. rep., Durham Computation Center, Dept. of Electrical and Computer Engineering and The Biomedical Engineering Program Iowa State University (1999).
- [49] L. Evans, *Partial Differential Equations*, American Mathematical Society.
- [50] Chul-Hwan, K. H. Kim, Y.-H. Ko, S.-H. Byun, R. Aggarwal, A. Johns, A novel fault-detection technique of high-impedance arcing faults in transmission lines using the wavelet transform, *IEEE Transactions on Power Delivery* 17 (4) (2002) 921–929.
- [51] A. Haar, Zur Theorie der Orthogonalen Funktionensysteme, *Math. Annalen* 69 (1910) 331–371.
- [52] P. Hill, Dennis Gabor-Contributions to Communication Theory and Signal Processing, *The International Conference on Computer as a Tool* (2007) 2632–2637.
- [53] P. P. Vaidyanathan, *Multirate Systems And Filter Banks*, Prentice Hall, 1993.
- [54] P. Dyke, *An Introduction to Laplace Transforms and Fourier Series*, Springer, 2004.
- [55] S. Tsai, Z. Zhong, J. Zuo, Y. Liu, Analysis of Wide-Area Frequency Measurement of Bulk Power Systems, *IEEE Power Engineering Society General Meeting* (2006) 1–8.

- [56] A. Borghetti, M. Bosetti, M. Bosetti, M. D. Silvestro, C. A. Nucci, M. Paolone, Continuous-Wavelet Transform for Fault Location in Distribution Power Networks: Definition of Mother Wavelets Inferred From Fault Originated Transients, *IEEE Transactions on Power Systems* 23 (2) (2008) 380–388.
- [57] S. Nath, Power Quality Assessment by Wavelet Transform Analysis, *TIG Research Journal* 1 (2008).
- [58] M. M. F.A. Shirazi, Application of Discrete Wavelet Transform (DWT) in Combustion Failure Detection of IC Engines, *International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis* (2007) 482–486.
- [59] J. M. Lilly, S. C. Olhede, On the Analytic Wavelet Transform, *IEEE Transactions on Signal Processing* 1 (11) (2007) 1–15.
- [60] J. Resende, M. Chaves, C. Penna, Identification of power quality disturbances using the Matlab wavelet transform toolbox, *International Conference on Power System Transient* (2001).
- [61] Matlab 6.5 Wavelet Toolbox Help (2006).
- [62] P. Goupillaud, A. Grossmann, J. Morlet, Cycle-Octave and Related Transforms in Seismic Analysis, *Geoexploration* 23 (1984) 85–102.
- [63] Z. Aslan, H. Gençoğlu, Rüzgar-Güneş Enerji Sistemlerinden Yararlanma Olanakları, *Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu* (2005) 547–552.
- [64] National Instruments Labview Advanced Signal Processing Toolkit (2005).
- [65] A. Papoulis, *Signal Analysis*, McGraw-Hill, 1977.
- [66] V. K. Cartwright, Determining the Effective or RMS Voltage of Various Waveforms without Calculus, *Technology Interface* 8 (1) (2007) 20s.
- [67] H. Tan, A. Tan, P. Khong, V. Mok, Best Wavelet Function Identification System for ECG signal denoise applications, *Intelligent and Advanced Systems* (2007) 631–634.
- [68] D. L. Donoho, I. M. Johnstone, Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage, *Biometrika* 81 (3) (1994) 425–455.

- [69] Ömer Nezih Gerek, D. G. Ece, Detection of Disturbances in Energy System Signals Using Gaussian Distribution Fitness Test, Signal Processing and Communications Applications Conference (2004) 220–223.
- [70] C. Kim, S. Park, R. Aggarwal, A. Johns, A Noise Suppression Method for Improvement of Power Quality Using Wavelet Transforms, Power Engineering Society Summer Meeting 1 (1999) 414–419.
- [71] R. N. Bracewell, The Fourier Transform and Its Applications, McGraw-Hill, 2000.
- [72] E. O. Brigham, The Fast Fourier Transform and Its Applications, Prentice Hall, 1988.

EKLER DİZİNİ

EK 1. İNGİLİZCE-TÜRKÇE TERİMLER SÖZLÜĞÜ

EK 2. FOURIER TEOREMİ ve DÖNÜŞÜMÜ

Ek 3. CWT YÖNTEMİ ve SKALOGRAM ile OLAYLARIN ANALİZ ve SINIFLANDIRILMASI

Ek 4. MATLAB YAZILIMI İLE YAPILAN TESTLER

Ek 5. CIE CA60 TİPİ AC/DC AKIM SENSÖRÜ TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Ek 6. VERİ ÖRNEKLEME-TUTMA KARTI TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Ek 7. VERİ TAŞIMA KABLOSU TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Ek 8. VERİ TOPLAMA KARTI TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Ek 9. SINYAL ÜRETECI (HP 33120A) TEKNİK ÖZELLİKLERİ

EK 1. İNGİLİZCE-TÜRKÇE TERİMLER SÖZLÜĞÜ

Türkçe	İngilizce
Dalgacık	Wavelet
Dalgacık Dönüşümü	Wavelet Transform
Alt Bant Kodlama	Sub–Band Coding
Sürekli Dalgacık Dönüşümü	Continuous Wavelet Transform
Ayrık Dalgacık Dönüşümü	Discrete Wavelet Transform
Çoklu Çözünürlüklü Analiz	Multi Resolution Analysis
Ayrık Dalgacık Paket Dönüşümü	Discrete Wavelet Packet Transform
Örnek Seyreltilmemiş Dalgacık Dönüşümü	Undecimated Wavelet Transform
Gerilim Çukuru	Voltage Sag
Gerilim Tepesi	Voltage Swell
Gerilim Kesintisi	Voltage Interrupt
Gerilim Çentikleri	Voltage Notches
Geçici Olaylar	Transients
Alternatif Akım	Alternative Current
Doğru Akım	Direct Current
Gerilim	Voltage
Akım	Current
Örnek Seyreltme	Downsampling
Aşırı Gerilim Yönlendiricileri	High Voltage Diverters
Çığ Diyotlar	Avalanche Diodes
Fourier Dönüşümü	Fourier Transform
Ayrık Fourier Dönüşümü	Discrete Fourier Transform
Hızlı Fourier Dönüşümü	Fast Fourier Transform
Toplam Harmonik Bozulma	Total Harmonic Distortion
Karelerin Ortalamasının Kökü	Root Mean Square
Birim Büyüklük	Per Unit

EK 2. FOURIER TEOREMİ VE DÖNÜŞÜMÜ

Durağan sinyallerin incelenmesinde kullanılan Fourier dönüşümü, karmaşık olan bu sinyalleri basit sinüzoidal sinyallerin yaklaşık toplamı olarak ifade etmekte ve frekans bölgesinde sinüzoidal sinyallerle çok iyi yaklaşımlar yapabilmektedir. Ancak zaman bölgesinde bu fonksiyonlar sonsuza uzandığından aynı yaklaşımlardan bahsetmek mümkün olmamaktadır. Bir sinyal sinüs ve kosinüs toplamı ile ifade edilebilir ilkesi, Fourier teoreminin temelini oluşturur. Bu ilkeye göre sinyaller bir seri şeklinde ifade edilerek, daha kolay analiz edilebilir.

$$f(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(kt) + b_k \sin(kt)) \quad (6.1)$$

Eşitlik 6.1'de $f(t)$ fonksiyonu sinüs ve kosinüs sinyallerinin toplamlarının bir serisi olarak ifade edilmiştir. Eşitlikte yer alan katsayılar ise şu şekilde hesaplanabilir.

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (6.2)$$

$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(kt) dt \quad (6.3)$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(kt) dt \quad (6.4)$$

Burada T periyodu ifade etmektedir. Sinyallerin, Fourier serileri olarak tanımlanmasında, karmaşık üstel biçimde gösterimleri ise;

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k e^{jk\omega t} \quad (6.5)$$

biçiminde gösterilebilir. Eşitlik 6.5'deki gösterimde bulunan katsayılar karmaşık Fourier katsayısıdır ve Eşitlik 6.6 ile hesaplanır.

$$c_k = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) e^{-j\omega t} dt \quad (6.6)$$

Karmaşık sayılarla Fourier serisinin gösterimi ile trigonometrik gösterimi arasında sadece sinyalin genlik değerlerini gösteren katsayılar farklı çıkar.

Fourier serileri gösterimi geliştirilerek periyodik olmayan sinyaller için de Fourier dönüşümü tekniği geliştirilmiştir. Eşitlik 6.7 ve 6.8'de Fourier dönüşümü çifti tanımlanmıştır.

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \quad (6.7)$$

$$f(t) = \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (6.8)$$

Fourier dönüşümü, Şekil 6.1'de görülebildiği gibi, zaman ekseninde tanımlı bir sinyali frekans ekseninde tanımlı hale çevirir ve sinyalin frekans içeriği izlenebilir hale gelir. Fourier dönüşümü uygulanan sinyalin Fourier katsayıları, her frekans değerinde sinüs ve kosinüs fonksiyonlarının her birinin katkısını temsil eder. Ters Fourier dönüşümü de, sinyalin frekans tanım kümesinden zaman tanım kümesine dönüştürülmesini gerçekleştirir [71].



Şekil 6.1. Fourier dönüşümü

Ayrık Fourier Dönüşümü (DFT)

Bir sinyalin sonlu sayıdaki örneğinden Fourier dönüşümünü elde etmek ilkesine dayanır. Burada örnek alınan noktaların tüm sinyali temsil ettiği varsayılır. Uygulama

açısından bu kabul kullanışlı olmasa da işlem ve veri saklama miktarında iyileşme sağlanması bu yöntemin kullanılmasını sağlamaktadır. DFT analizlerinde kullanılan güncel uygulama hızlı Fourier dönüşümüdür (FFT). FFT algoritması 1965 yılında Cooley ve Tukey tarafından kurulmuştur. DFT hesaplamalarında kullanılan bu algoritma, sayısal sinyal işleme, konvolüsyon, spektrum analizi ve korelasyon işlemlerinde kullanılmaktadır [72].

f_k dizisi için, ayrık Fourier dönüşümü,

$$c_k = \sum_{i=1}^N f_i \omega_N^{(i-1)(k-1)}, k = 1, \dots, N \quad (6.9)$$

ve ters Fourier dönüşümü ise,

$$F_m = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N c_k \omega_N^{-(m-1)(k-1)}, m = 1, \dots, N \quad (6.10)$$

şeklinde ifade edilir. Bu eşitliklerdeki ω_N değeri ise,

$$\omega_N = e^{-2\pi j/N} \quad (6.11)$$

şeklide tanımlanır. DFT ile elde edilen c_k katsayıları karmaşık sayılardır. Ancak c_1 ögesi gerçeldir. Diğer kalan karmaşık sayılar ise,

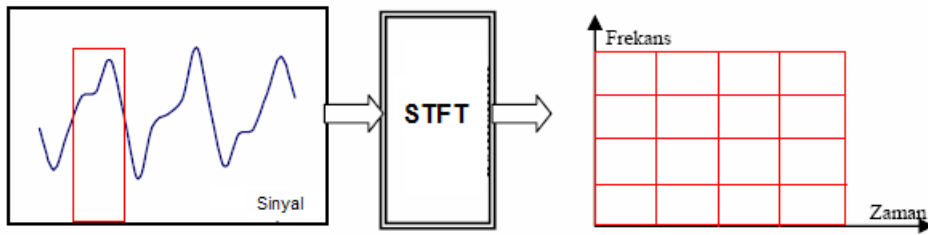
$c_2 = \bar{c}_N, c_3 = \bar{c}_{N-1}, \dots$ şeklinde birbirinin eşlenikleridir.

DFT, Fourier dönüşümünün eşit aralıklı frekanslardaki örneklerine özdeştir. Sonuç olarak N-noktalı bir DFT'nin hesaplanması Fourier dönüşümünün N örneğinin, N eşit aralıklı frekanslarla ($\omega_k = 2\pi kn$), z-düzlemindeki birim çember üzerinde N nokta ile hesaplanmasına karşılık gelir. Burada temel amaç N-noktalı DFT'nin hesaplanması için verimli algoritmaların kullanılmasıdır. Bu algoritmalar ortak olarak FFT algoritmaları adını alır. En yüksek verimin elde edilebilmesi için FFT algoritmaları DFT'nin N değerlerinin hepsini hesaplamalıdır.

Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (STFT)

Sinyal analizlerinde yaygın olarak kullanılan Fourier dönüşümü, bir sinyalin frekans içeriği hakkında bilgi verebilirken zaman ile ilgili bir bilgi içermezler. Mesela güç kalitesi problemleri olarak adlandırılan sinyal üzerindeki ani değişimlerin zaman eksenindeki pozisyon bilgilerine ulaşmak Fourier dönüşümü yöntemiyle mümkün değildir. Fourier analizlerinde kullanılan bu durağan sinyallerin zaman içerisinde değişen frekans bileşenleri yoktur. Tüm zamanlar için bu frekans bileşenleri aynıdır [71].

Durağan olmayan sinyallerin analizinde sinyallerin frekans bilgisinin yanında, bu frekans bilgilerinin hangi zamanlarda olduğu bilgisi de önemlidir. 1946 yılında Dennis Gabor tarafından ortaya atılan, dinamik sinyallerin analizinde kullanılan, Kısa zamanlı Fourier dönüşümü (STFT), klasik Fourier dönüşümüne yeni bir boyut getirmiştir. Bu işlem, belirli zaman aralıklarında, DFT'ye benzer pencereleme mantığını kullanarak yapılan analiz ile kaybolan zaman bilgisinin elde edilmesi yolunu açmıştır.



Şekil 6.2. STFT kullanılarak bir sinyalin pencerelenmesi

Şekil 6.2'de STFT'de kullanılan pencereleme yöntemi gösterilmektedir ¹. Burada girdi olarak verilen sinyal üzerinden alınan belirli uzunlukta bir pencereleme kullanılarak STFT analizi yapılmış ve çıkışta frekans ve zaman bilgisi belirli seviyelerde elde edilmiştir.

STFT uygulamasında, öncelikle sonlu bir pencere fonksiyonu seçilir. Bu pencere $t = 0$ anında sinyal başlangıcına yerleştirilir. Daha sonra pencere sayesinde sinyal kırılır ve pencere içine yerleştirilir. Pencere içerisindeki bu sinyale Fourier dönüşümü uygulanarak pencere sağa kaydırılır. Analiz edilecek sinyal verisi sonuna kadar sinyal pencereye yerleştirme işlemi ve sonrası tekrarlanır. Fourier dönüşümü uygulanan aşamada bir frekans bilgisi elde edilir. Bu değer Fourier katsayısı olarak adlandırılır. Fourier katsayısı, uygulanan pencereye benzerdir ve pencerenin uy-

¹<http://www.wavelet.org/tutorial/wbasic.htm>

güldüğü zaman bilgisi de artık eldedir. Bu frekans ve zaman bilgisine ulaşıldığını gösterir. STFT,

$$STFT_f^\omega(\tau, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} [f(t)\omega(t - \tau)]e^{-j\omega t} dt \quad (6.12)$$

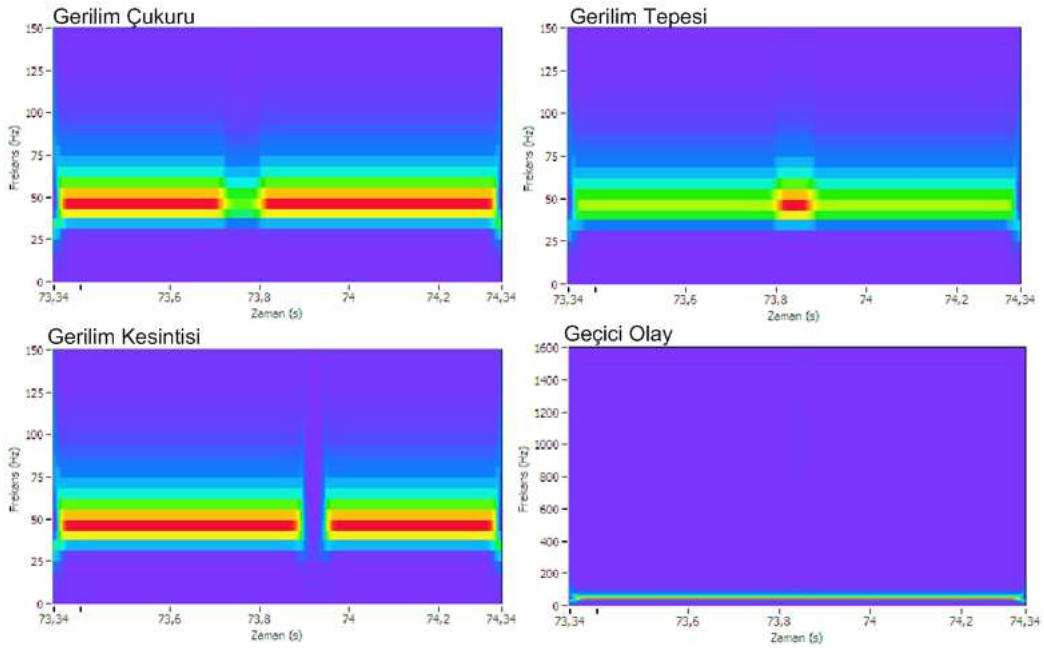
şeklinde ifade edilebilir ². Eşitlik 6.12'de kullanılan değişkenlerden, $\omega(t)$ pencere fonksiyonunu, ω frekans parametresini, τ zaman parametresini ifade etmektedir.

Sinyalin frekans ve zaman bilgileri arasında köprü konumundaki STFT, kullanılan pencere büyüklüğü sabit olan bir yöntemdir. Zaman ekseninde kullanılan bu pencerenin sabit kalması, bütün frekanslar için pencerenin aynı olması demektir. Bu da hangi zamanda hangi frekans bileşeninin ortaya çıkacağını tam olarak belirlemeyeceği anlamına gelir. Bu noktada yeni bir teknik olarak değişen pencereleri kullanan dalgacık dönüşümü tekniği ortaya çıkar.

²http://en.wikipedia.org/wiki/Short-time_Fourier_transform

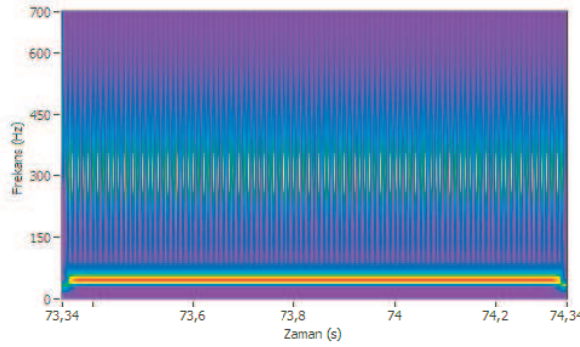
EK 3. CWT YÖNTEMİ VE SKALOGRAM İLE OLAYLARIN ANALİZ VE SINIFLANDIRILMASI

Bir test sinyali dalgacık katsayılarına ayrıldıktan sonra katsayılarının genliğinin karelerinin alınmasından sonra yoğunluk grafiğine aktarılmasıyla sinyalin ve üzerindeki olay bilgilerinin analizi mümkün olmaktadır. Güç kalitesi olay parametrelerinin ve harmoniklerin sürekli zamanlı dalgacık dönüşümüne tabi tutularak analizi ile bu analiz sonucu dalgacık katsayılarının frekans ve ölçek bilgisi aynı anda Şekil 6.3'de skalogram grafiklerinde gösterilmektedir. Girdi sinyali içerisindeki her bir frekans bilgisi zaman eksenine birlikte farklı renkte gösterilmektedir. Gerilim çukuru olayı analizinde gösterildiği gibi 50 Hz'lik ana bileşenin belirgin olarak görüldüğü ve sinyalin genlik normalizasyonu değerleriyle olay bölgesinde daha düşük genliklere sahip olduğu görülmektedir. Gerilim tepesi için genlik değerinin olayın olduğu bölgede yükseldiği ve yoğun renklerin buralarda biriktiği görülmektedir. Gerilim kesintisi olayı için genlik değerinin olayın olduğu bölgede düştüğü hatta sıfır değerine ulaştığı görülmektedir. Darbeli geçici olay yüksek frekans bilgisi içerdiğinden 3200 Hz'lik örnekleme frekansının yarısına kadar yani 1600 Hz'e kadar bir derin yarık şeklinde elde edilmektedir. Bu durum Şekil 6.3'deki skalogram grafiği üzerinde açık şekilde yer almaktadır. Geçici olayın genlik değerinin yükselmesi bu yüksek frekansa kadar uzanan çizginin yoğunluk ve rengini değiştirmektedir.



Şekil 6.3. Güç kalitesi olaylarının CWT analizleri ve skalogram gösterimleri

Analiz edilen diğer güç kalitesi olaylarından farklı olarak üzerine harmonik yüklenmiş bir sinyalin CWT analizi ve bu analizin çıktılarının skalogram gösterimli farklı olmasıdır. Periyodik olarak sinyal üzerinde kalmaya devam eden harmonik bileşenler frekans içeriklerini korumaktadırlar. Şekil 6.4’de gösterildiği gibi üzerinde 3, 5, ve 7. harmonikler bulunan sinyalin 50 Hz bileşenin yanında 150 Hz, 250 Hz ve 350 Hz bileşenler de görülmektedir.



Şekil 6.4. Harmonikli sinyal CWT analizi ve skalogram gösterimi

Girdi olarak analiz edilen 50 Hz temel bileşen ile diğer harmonik bileşenlerin genlik değerleri Çizelge 6.1’de gösterilmektedir. Genliği diğerlerine göre daha büyük olan harmonik bileşenlerin skalogram üzerinde renk yoğunlukları da farklılık göstermektedir. Bu analiz yöntemiyle harmonikli bir sinyalin diğer güç kalitesi parametrelerinden ayırt edilerek sınıflandırılması mümkün olabilmektedir.

Çizelge 6.1. Harmonikli Sinyal frekans ve genlik değerleri

Bileşen	Genlik Değeri
50 Hz	100
150 Hz	30
250 Hz	40
350 Hz	50

EK 4. MATLAB YAZILIMI İLE YAPILAN TESTLER

Bu kısımda değişik güç kalitesi verileri Matlab yazılımı kullanılarak güç kalitesi parametreleri içerdiğinden dalgacık analizi uygulanmıştır. Her bir katsayının içerdiği enerji miktarı o olayın karakteristiği hakkında bilgi verdiğinden bu kısımdaki analizlerde sinyallerin dalgacık analizi sonrası enerji içerikleri incelenmiştir. Enerji hesabında Parseval teoremi kullanılmıştır.

Parseval teoremine göre, 1 Ω 'luk direnç üzerinden akan akım ayırık bir $f(n)$ sinyali olarak düşünöldüğünde, direncin üzerinde harcanan enerji frekans bölgesinde Fourier dönüşümünün spektrum katsayılarının karelerinin toplamına eşittir. Bu enerji,

$$\frac{1}{N} \sum_n |f(n)|^2 = \sum_k |c_k|^2 \quad (6.13)$$

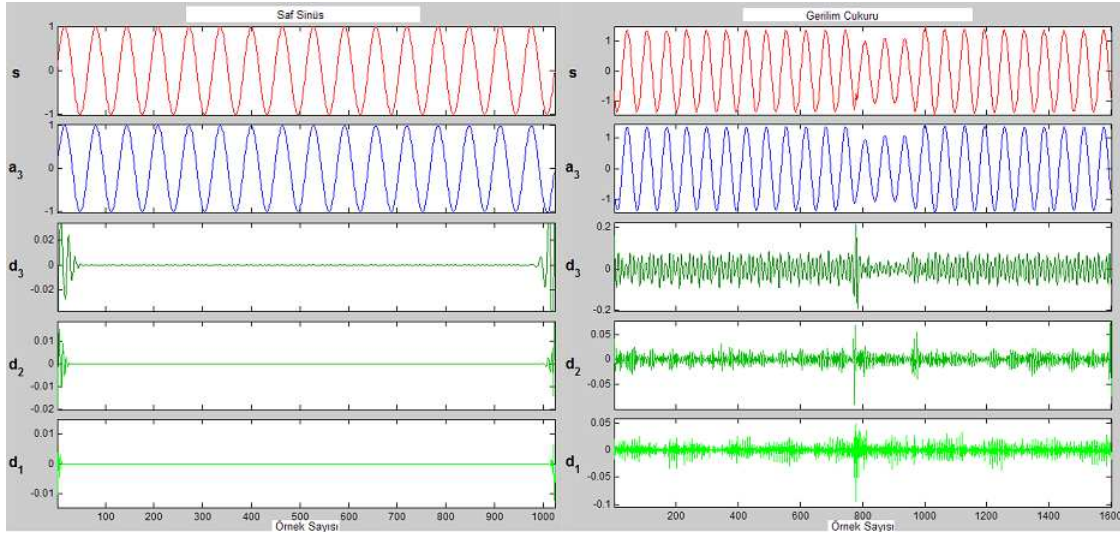
şeklinde hesaplanır. Burada, N örnek sayısını c_k Fourier dönüşümünün spektrum katsayılarını ifade etmektedir. Bu teorem DWT'de uygulandığında,

$$\frac{1}{N} \sum_n |f(n)|^2 = \frac{1}{N_j} \sum_k |a_j(k)|^2 + \sum_{j=1}^J \left(\frac{1}{N_j} \sum_k |d_j(k)|^2 \right) \quad (6.14)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, Eşitlik 6.14'nin sağındaki ilk terimdeki $a_j(k)$ yaklaşım dalgacık katsayılarını, ikinci terimdeki $d_j(k)$ ise detay dalgacık katsayılarını ifade eder. Bu kısımdaki dalgacık katsayılarının her birinin enerji dağılımı bu yöntemle bulunmuştur ve sinyalin güç kalitesi açısından özellikleri hakkında fikir elde edilmiştir.

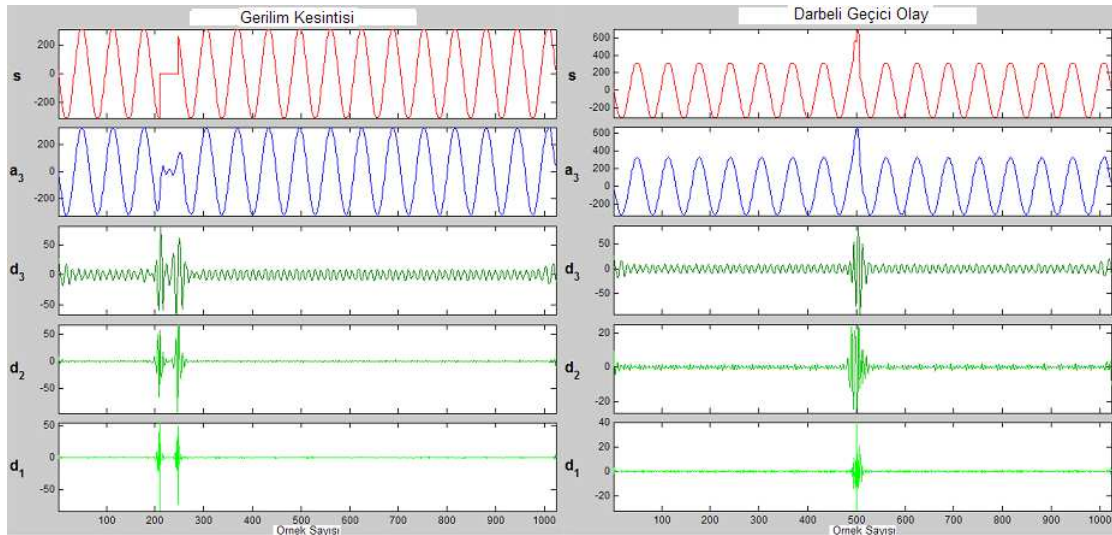
Şekil 6.5'da saf bir sinüs dalgası ile gerilim çukuru olayının db10 türü dalgacık ile DWT kullanarak 3 seviyede detay ve yaklaşım bileşenlerine ayrılmış hali gösterilmektedir. Göröldüğü gibi saf sinüs analizi için 50 Hz'lik ana bileşenden başka yüksek frekanslı bileşenler olmadığında yüksek geçirgen filtrenin çıkışında çok düşük genliklerdeki gürültü dışında anlık değişimler gösteren sinyaller bulunmamaktadır. Gerçek saha ölçümlerine dayanan bir gerilim çukuru olayının dalgacık dönüşümü tekniğiyle analizinin yapılması ve detay sinyallerinin sistem geriliminin nominal değerinden aşağıya indiği gerilim çukuru olayının başladığı anda genliklerinin tepe değerlerine ulaşması meydana gelen olayın başlangıç ve bitişi ile ilgili bize yeterli bilgiyi

verebilmektedir. Yine Şekil 6.5'de db10 dalgacığı ile 3 seviyeli DWT analizi gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Saf sinüs ve gerilim çukuru olayının db10 dalgacıklı 3 seviyeli DWT analizi

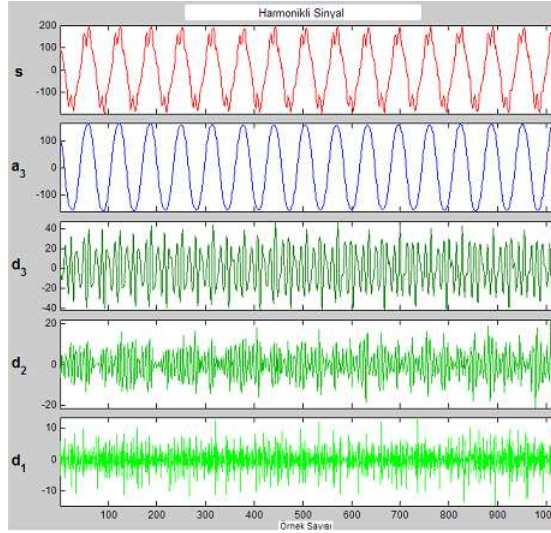
Gerilim kesintisi olayı ile darbeli geçici olaylarının db10 dalgacık dönüşümü ile 3 seviyeli DWT analizi Şekil 6.6'de verilmiştir. Görüldüğü gibi geçici olayın meydana geldiği anda sinyalin dalgacık detay katsayılarının genlikleri ani tepe değerlerine ulaşmaktadır. Gerilim kesintisi olayının meydana geldiği anda ise net bir şekilde detay bileşenlerinin o noktada genliklerinin tepe değerlerine ulaştığı görülmektedir



Şekil 6.6. Gerilim kesintisi ve darbeli geçici olayın db10 dalgacıklı 3 seviyeli DWT analizi

Gerçek zamanlı ve eşzamanlı olarak bir demir-çelik fabrikasında yapılan ölçüm sonuçlarından elde edilen ve yüksek miktarda 2. harmonik (100 Hz) bileşen içe-

ren orta gerilim (OG) seviyesinde fabrika girişinden alınmış olan akım dalga şekli ve onun db10 dalgacıklı DWT kullanılarak 3 seviyeli analizi görülmektedir. Yüksek oranda harmonik içeren bu sinyalin dalgacık dönüşümü yapıldıktan sonra elde edilen katsayılarından detay-3 (d_3) 40 A civarında tepe değerine kadar ulaştığı Şekil 6.7'te görülebilmektedir.



Şekil 6.7. Harmonikli sinyalin db10 dalgacıklı 3 seviyeli DWT analizi

Bu kısımda incelenen her bir güç kalitesi olayı için detay ve yaklaşım katsayılarının enerji miktarları Çizelge 6.2'de gösterilmiştir. Her bir olay için olayın frekans içeriğine göre o frekansı içeren dalgacık katsayılarında enerji değerleri yükselmiştir. Detay katsayılarının filtrelerden kaynaklı başlangıç ve bitiş noktalarındaki bozulmalar özellikle saf sinüs sinyalinde belirgin olarak görülmektedir. Bu bozulmalardan kaynaklanan enerji değerleri dikkate alınmamalıdır.

Çizelge 6.2. Olaylı güç kalitesi sinyallerinin enerji dağılımı

Sinyal	Ea3(%)	Ed3(%)	Ed2(%)	Ed1(%)
Saf Sinüs	99,8879	0,0004	0,0038	0,1079
Gerilim Çukuru	99,6918	0,26534	0,0304	0,0126
Geçici Olay	99,7832	0,0043	0,0106	0,2019
Gerilim Kesintisi	99,6252	0,0421	0,0815	0,2511
Harmonikli Sinyal	96,6543	2,6112	0,6330	0,1015

EK 5. CIE CA60 TIPI AC/DC AKİM SENSÖRÜ TEKNİK ÖZELLİKLERİ



CIE Test Instruments

Clamp Meter Adaptor

■ CIE Model CA-60



AC/DC mA Current Clamp Adaptor.

- Uses two Hall-Effect sensors.
- For use with any multimeter with 200mV, and or 2V ranges for direct readout. (with an input impedance of at least 1M Ω).
- An LED lights up when the clamp meter is under power.
- Zero adjustment knob to compensate the hysteresis effect in DC measurements.
- Transformer ratio 10:1, 100:1
- Output 1mV/10mA, 1mV/100mA.
- Current Range 0 to 60Amps.
- Accuracy DC Amps $\pm 1.5\%$
 - AC Amps $\pm 2\%$ (40Hz-2kHz)
 - AC Amps $\pm 4\%$ (2kHz-10kHz)
 - AC Amps $\pm 6\%$ (10kHz-20kHz)
- Jaw opening capability 9mm Conductor
- Safety Designed to meet IEC 1010-1, IEC 1010-2-032 CE.

EK 6. VERİ ÖRNEKLEME-TUTMA KARTI TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Analog Signal Conditioning Accessories

NI AMUX-64T

- 64-channel multiplexer
- mV, V, current, and thermocouple inputs

NI SC-2040

- 8-channel simultaneous sample-and-hold
- mV, V inputs

NI SC-2042-RTD

- 8-channel RTD/thermistor
- RTD, thermistor, mV, V inputs

NI SC-2043-SG

- 8-channel bridge
- Strain, pressure, load torque, mV, V inputs

Operating Systems

- Windows 2000/NT/XP/Me/9x

Driver Software

- NI-DAQ



Analog Accessories

Accessory	Description	Sensor/Signal Type
AMUX-64T	64-channel multiplexer	mV, V, thermocouple
SC-2040	8-channel simultaneous sample-and-hold	mV, V
SC-2042-RTD	8-channel RTD/thermistor accessory	RTD, thermistor
SC-2043-SG	8-channel strain gage accessory	Strain, bridge-based sensors

Table 1. Accessory Compatibility Guide

Overview

National Instruments offers several different front-end signal conditioning devices for use with E Series and basic multifunction DAQ devices. These devices offer a low-cost solution for applications requiring only one type of signal conditioning.

Connection to the E Series DAQ Device

You can connect each of these accessories directly to all E Series and basic multifunction DAQ devices. See Table 2 for more information on cabling required for each accessory. Cables are sold separately.

Each accessory also offers some special cabling features. The NI AMUX-64T and the SC-2040 include an additional 50-pin breakout cable connector for access to the unused I/O signals of the DAQ device. You can also use this second connector on the AMUX-64T to cascade up to four AMUX-64T devices to a single DAQ device, which thereby expands the analog input capacity of the DAQ device to 256 channels. In addition, you can connect up to four SC-2042-RTD or SC-2043-SG device to a single 6031E, 6033E, 6071E, or AT-MIO-64E-3 with the SC-2056 cable adapter device. See page 488 for details on this configuration.

Power

You can power each of these accessory devices with the 5 VDC supply on the DAQ device. This power is routed automatically through the I/O connector, unless specifically disabled on the accessory. Each device also offers screw terminals for connecting an external 5 VDC power supply. You need an external power supply only when using the SC-2043-SG with a DAQCard, or when using two or more SC-2043-SG devices with a single DAQ device. Each device includes a green LED to indicate that the device is powered.

INFO CODES

For more information, or to order products online visit ni.com/info and enter:

amux64t
sc2040
sc2042
sc2043

BUY ONLINE!

DAQ and Signal Conditioning

Field Wiring

Signals from the transducers and signal sources connect to screw terminals located on each accessory.

Mounting

You can mount all of these accessories with the rack mount kit. The kit is available in either single or double height, with either an acrylic plastic cover or a metal wrap-around cover. All SC-204x accessories occupy half the width of this rack mount kit, while the AMUX-64T occupies two-thirds of the width. For custom connectivity applications, you can mount the SC-2040, SC-2042-RTD, and SC-2043-SG into the CA-1000 shielded enclosure, described on page 263.

EK 7. VERİ TAŞIMA KABLOSU TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Multifunction DAQ Accessories and Cables

Ribbon I/O Cables

RC68-68 – A low-cost, 68-conductor flat ribbon cable terminated with two 68-pin connectors. Use this cable to connect a 68-pin E Series, S Series (except NI 6143), or B Series multifunction DAQ device to 68-pin accessories.

1 m182482-01

RC68-68 – A 68 conductor ribbon cable that connects a DAQCard, an M Series device, or an NI 6143 directly to 68-pin accessories. Two RC68-68 cables can be used together in adjacent PCMCIA slots or adjacent connectors on 2-connector M Series devices.

0.25 m187252-0R25

1 m187252-01

R1005050 – Connects 100-pin E Series devices, to standard 50-pin third-party or custom connectors.

1 m182762-01

2 m182762-02

R6850 – Combines a 68F-50M cable adapter and a standard 50-pin cable with female connectors on both ends. It is designed to adapt a 68-pin E Series, S Series, or B Series multifunction DAQ device to a third-party or custom 50-pin accessory.

1 m776842-01

Shielded I/O Cables

SHC68-68-EPM – A high-performance shielded 68-conductor cable terminated with a VHDCI 68-pin male connector at one end and a 68-pin female 0.050 D-type connector at the other end for connecting M Series DAQ devices to standard 68-pin accessories.

0.5 m192061-0R5

1 m192061-01

2 m192061-02

SHC68-68-S – A low-cost cable for connecting M Series DAQ devices to 68-pin accessories and signal conditioning systems. It features individually twisted cable pairs, but does not have shields between the analog and digital signals. For improved noise rejection, consider the SHC68-68-EPM.

1 m191945-01

2 m191945-02

SH68-68-EP – A shielded 68-conductor cable terminated with two 68-pin female 0.050 series D-type connectors. This cable connects to 68-pin E Series, S Series, and B Series devices. If you need a right-angle connector, the SH68-68R1-EP shielded cable is electrically equivalent.

1 m184749-01

2 m184749-02

Please call for other length options.

SH68-68R1-EP – A shielded 68-conductor cable for use with 68-pin E Series, S Series (except NI 6143), and B Series devices. One end terminates with a 68-pin female 0.050 series D-type connector and the other end terminates with a right-angle 68-pin female 0.050 series D-type connector.

1 m187051-01

SH100100 – A shielded 100-conductor cable terminated with 100-pin male 0.050 series D-type connectors. This cable connects the 100-pin E Series devices to 100-pin accessories.

1 m182853-01

2 m182853-02

SH1006868 – A shielded cable that connects to 100-pin E Series devices and terminates with two female 68-pin 0.050 series D-type connectors.

1 m182849-01

2 m182849-02

SHC68-68-EP and SHC68U-68-EP – Shielded 68-conductor cables terminated with a VHDCI 68-pin male connector at one end and a 68-pin female 0.050 series D-type connector at the other. When using two E Series DAQCards in adjacent slots, use one SHC68-68-EP and one SHC68U-68-EP.

SHC68-68-EP

0.5 m186838-0R5

1 m186838-01

SHC68U-68-EP

0.5 m187406-0R5

1 m187406-01



EK 8. VERİ TOPLAMA KARTİ TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Portable E Series Multifunction DAQ 12 or 16-Bit, up to 1.25 MS/s, 16 Analog Inputs

E Series – Portable

- 16 analog inputs at up to 1.25 MS/s, 12 or 16-bit resolution
- Up to 2 analog outputs at up to 1 MS/s, 12 or 16-bit resolution
- 8 digital I/O lines (TTL/CMOS): two 24-bit counter/timers
- Analog and digital triggering
- 4 analog input signal ranges
- NI-DAQ driver simplifies configuration and measurements

Models

- NI DAQCard-6036E for PCMCIA¹
- NI DAQCard-6062E for PCMCIA
- NI DAQCard-6024E for PCMCIA¹
- NI DAQPad-6052E for FireWire
- NI DAQPad-6070E for FireWire
- NI DAQPad-6020E for USB²

Operating Systems

- Windows 2000/NT/XP
- Others such as Linux and Mac OS X (page 187)

Recommended Software

- LabVIEW
- LabWindows/CVI
- Measurement Studio
- VI Logger

Other Compatible Software

- Visual Basic, C/C++, and C#

Driver Software (included)

- NI-DAQ 7

¹Digital triggering only

Calibration Certificate Included
See page 21.



Portable E Series Multifunction DAQ

Family	Bus	Analog Inputs	Input Resolutions	Max Sampling Rate	Input Range	Analog Outputs	Output Resolution	Output Rate	Output Range	Digital I/O	Counter/Timers	Triggers
DAQCard-6036E	PCMCIA	16 SEB DI	16 bits	200 kS/s	±0.05 to ±10V	2	16 bits	1 kS/s	±10V	8	2	Digital
DAQCard-6062E	PCMCIA	16 SEB DI	12 bits	600 kS/s	±0.05 to ±10V	2	12 bits	350 kS/s	±10V	8	2	Analog, digital
DAQCard-6024E	PCMCIA	16 SEB DI	12 bits	200 kS/s	±0.05 to ±10V	2	12 bits	1 kS/s	±10V	8	2	Digital
DAQPad-6052E	IEEE 1394	16 SEB DI	16 bits	333 kS/s	±0.05 to ±10V	2	16 bits	350 kS/s	±10V	8	2	Analog, digital
DAQPad-6070E	IEEE 1394	16 SEB DI	12 bits	1.25 MS/s	±0.05 to ±10V	2	12 bits	1 MS/s	±10V	8	2	Analog, digital
DAQPad-6020E	USB	16 SEB DI	12 bits	100 kS/s	±0.05 to ±10V	2	12 bits	100 kS/s	±10V	8	2	Digital

Table 1. NI Portable E Series Model Guide (See page 229 for detailed specifications.)

Overview and Applications

National Instruments portable E Series DAQ products deliver the same functionality available in PCI and PXI E Series DAQ devices – in a portable format. The DAQPad devices are hot swappable and available in up to three different configurations. The 15 cm enclosure is ideal for desktop or portable applications and features a 68-pin shielded connector. The 30 cm enclosure with mass termination offers a low-profile package that fits under your laptop computer. It features a 68-pin shielded connector to connect signals from our SCC modular signal conditioning products or from our CA-1000 custom connectivity enclosure. The 30 cm enclosure with BNC connectivity is ideal for applications where portability and quick connectivity are needed, such as in-vehicle automotive or aircraft testing and portable data logging.

NI DAQCards are Type II, PC Card compliant and provide performance equivalent to their PCI or PXI counterparts. However, due to their compact design, they can be used in applications where space constraints are an important concern, such as field service and research.

Highly Accurate Hardware Design

NI portable E Series DAQ devices provide the functionality of E Series data acquisition devices in a portable format.

Temperature Drift Protection Circuitry – Designed with components that minimize the effect of temperature changes on measurements to less than 0.0010% of reading per °C.

Resolution Improvement Technologies – Carefully designed noise floor maximizes the resolution.

Onboard Self-Calibration – Precise voltage reference included for calibration and measurement accuracy. Self-calibration is completely software controlled, with no potentiometers to adjust.

NI DAQ-STC – Timing and control ASIC designed to provide more flexibility, lower power consumption, and a higher immunity to noise and jitter than off-the-shelf counter/timer chips.

NI MITE – ASIC designed to optimize data transfer for multiple simultaneous operations using bus mastering with DMA channels.

Data Acquisition and Signal Conditioning

EK 9. SINYAL ÜRETECİ (HP 33120A) TEKNİK ÖZELLİKLERİ



Agilent 33120A

Function/Arbitrary Waveform Generator

Data Sheet

- 15 MHz sine and square wave outputs
- Sine, triangle, square, ramp, noise and more
- 12-bit, 40MSa/s, 16,000-point deep arbitrary waveforms
- Direct digital synthesis for excellent stability



Uncompromising performance for standard waveforms

The Agilent Technologies 33120A Function/Arbitrary Waveform Generator uses direct digital-synthesis techniques to create a stable, accurate output signal for clean, low-distortion sine waves. It also gives you fast rise- and fall-time square wave, and linear ramp waveforms down to 100 μ Hz.

Custom waveform generation

Use the 33120A to generate complex custom waveforms such as a heart-beat or the output of a mechanical transducer. With 12-bit resolution, and a sampling rate of 40 MSa/s, the 33120A gives you the flexibility to create any waveform you need. It also lets you store up to four 16,000-deep waveforms in nonvolatile memory.

Easy-to-use functionality

Front-panel operation of the 33120A is straightforward and intuitive. You can access any of ten major functions with a single key press or two, then use a simple knob to adjust frequency, amplitude and offset. To save time, you can enter voltage values directly in Vp-p, Vrms or dBm.

Internal AM, FM, FSK and burst modulation make it easy to modulate waveforms without the need for a separate modulation source. Linear and log sweeps are also built in, with sweep rates selectable from 1 ms to 500 μ s. GPIB and RS-232 interfaces are both standard, plus you get full programmability using SCPI commands.

Optional phase-lock capability

The Option 001 phase lock/TCXO timebase gives you the ability to generate synchronized phase-offset signals. An external clock input/output lets you synchronize with up to three other 33120As or with an external 10-MHz clock.

Option 001 also gives you a TCXO timebase for increased frequency stability. With accuracy of 4 ppm/yr, the TCXO timebase make a 33120A ideal for frequency calibrations and other demanding applications.

With Option 001, new commands let you perform phase changes on the fly, via the front panel or from a computer, allowing precise phase calibration and adjustment.

Link the Agilent 33120A to your PC

The included Agilent IntuiLink software allows you to easily create, edit, and download complex waveforms using the IntuiLink Arbitrary Waveform Editor. Or you can capture a waveform using IntuiLink Oscilloscope or DMM and send it to the 33120A for output. For programmers, ActiveX components can be used to control the instrument using SCPI commands. IntuiLink provides the tools to easily create, download, and manage waveforms for your 33120A. To find out more about IntuiLink, visit www.agilent.com/find/intuilink.

The 33120A can also be used in conjunction with the 34811A BenchLink Arb software. This Windows*-based program lets you create and edit waveforms on your PC and download them to the 33120A.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : SERKAN BUHAN
Doğum Yeri : Tatvan
Doğum Yılı : 15.06.1983
Medeni Hali : Evli

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise 1996-2000 : Tarsus Cumhuriyet Lisesi, MERSİN
Lisans 2001-2005 : Anadolu Üniversitesi
İşletme Bölümü (Açıköğretim-İkinci Üniversite),
ESKİŞEHİR
Lisans 2000-2005 : Hacettepe Üniversitesi
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü,
ANKARA

Yabancı Dil : İngilizce

İş Tecrübesi

2005-2005 : EMES Elektromekanik Sis. San. ve Tic. Ltd. Sti.
Elektronik Mühendisi
ANKARA
2006-... : Tübitak-Uzay Enstitüsü
Güç Elektroniği Grubu,
Araştırmacı
ANKARA