

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜÇ KALİTESİ İÇİN DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ VE DESTEK VEKTÖR MAKİNE
TABANLI BİR OLAY TANIMA TEKNİĞİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Hüseyin ERİŞTİ

Anabilim Dalı: Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Programı: Devreler ve Sistemler

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yakup DEMİR

MART-2010

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜÇ KALİTESİ İÇİN DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ VE DESTEK VEKTÖR MAKİNE
TABANLI BİR OLAY TANIMA TEKNİĞİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Hüseyin ERİŞTİ

05131201

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 Şubat 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 02 Mart 2010**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Yakup DEMİR (F.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mehmet CEBECİ (F.Ü.)
Prof. Dr. Mehmet Salih MAMİŞ (İ.Ü.)
Yrd. Doç. Dr. Selçuk YILDIRIM (F.Ü.)
Yrd. Doç. Dr. Ayşegül UÇAR (F.Ü.)

MART-2010

ÖNSÖZ

Kalite, insanoğlunun başlangıcından bu yana vazgeçemediği ve teknolojinin günümüzdeki aşamaya gelmesini sağlayan en önemli unsurlardan birisidir. M.Ö. 600’lü yıllarda, kehribarın sürtünmeyle elektriklelenerek hafif cisimleri çeker hale gelmesi elektriğin keşfi olarak kabul edilse de, 1700’lü yıllarda elektrik yükleri ile ilgili çalışmalar ve 1800’lü yıllarda ilk pilin yapılması ve ampulün icadını içeren çalışmalar ile elektrik bilimi insanoğlunun yaşamına girmiştir. Bu yıllardan sonra, teknolojiadaki ilerlemelerle birlikte elektrik bilimi günümüzdeki durumuna ulaşmıştır. Bu süreç boyunca kalite hep ön plana çıkarılmıştır.

Bu tezde, güç kalitesi alanında yapılan çalışmaların gelişmesine yönelik katkılarda bulunmak üzere, güç sistemi olaylarının türünü belirlemek için bir akıllı tanıma tekniği sunulmuştur.

Tez çalışması süresince bilgi ve tecrübesiyle yardımlarını esirgemeyen, tez çalışmamda cesaretlendirici ve yol gösterici tavsiyelerde bulunan danışmanım, Sayın Prof.Dr. Yakup DEMİR’e teşekkürü bir borç bilirim.

Güç sistemleri alanında oldukça değerli bilgi ve tecrübesi ile tez çalışmamda katkı sağlayan Sayın Prof.Dr. Mehmet CEBECİ’ye, çalışmalarım boyunca önerileri ve yardımlarını esirgemeyen Yrd.Doç.Dr. Ayşegül UÇAR’a ve Arş.Gör.Dr. Murat UYAR’a teşekkür ederim.

Gerçek ölçüm verilerinin elde edilmesinde yardımcı olan TEİAŞ Genel Müdür Yardımcısı Sayın Halil ALIŞ’a ve Güç Kalitesi Milli Projesinin sorumluları Prof.Dr. Muammer ERMIŞ’e, Prof.Dr. Işık ÇADIRCI’ya ve Yener AKKAYA’ya çok teşekkür ederim.

Tez çalışması süresince tamamlanan FÜBAP 1605 no’lu doktora tez projesinde, olay ölçümlerinin elde edilmesi için gösterdikleri destek ve yardımlardan dolayı FÜBAP ve F.Ü. Yapı İşleri Daire Başkanlığına teşekkür ederim.

Bu tez çalışmam süresinde, dünyaya gözlerini açan kızım Esmâ’nın, gerek bana babalık hissi yaşatması, gerekse de bir gülümsemesiyle bile bana büyük bir manevi destek sağlaması, en güzel anılarımı oluşturmuştur. Eşim Öğr.Gör. Belkıs ERİŞTİ, bu tez süresince çekilmez yanıma katlanıp manevi desteklerini esirgememesi ile bana büyük bir katkı sağlamıştır. Ayrıca, benim bu aşamalara gelmemde çok büyük emeği olan anneme ve babama saygılarımı sunar ve teşekkürü bir borç bilirim.

Hüseyin ERİŞTİ
ELAZIĞ - 2010

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	XII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	XIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bilgi.....	1
1.2. Literatür Taraması ve Değerlendirilmesi.....	5
1.3. Tezin Amacı ve Organizasyonu.....	10
2. DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ YÖNTEMİ	12
2.1. Fourier Dönüşüm Yöntemleri.....	12
2.2. Dalgacık Dönüşümü Yöntemleri	14
2.2.1. Sürekli Dalgacık Dönüşümü.....	16
2.2.2. Ayırık Dalgacık Dönüşümü	17
3. İSTATİSTİKSEL ÖĞRENME TEORİSİ	20
VE SINIFLANDIRMA.....	20
3.1. İstatistiksel Öğrenme Teorisi	20
3.2. Destek Vektör Makineleri.....	24
3.3. Yapay Sinir Ağları.....	31
4. GÜÇ SİSTEMİ OLAYLARI VE GÜÇ KALİTESİ İZLENMESİ.....	34
4.1. Etkin Değer Dönüşümü	34
4.2. Arıza Olayları	35
4.2.1. Arıza Olaylarının Meydana Getirdiği Gerilim Çökmeleri	36
ve Gerilim Sıçramaları.....	36
4.2.2. Kendiliğinden Sönümlenen Arıza Olayları	39
4.2.3. Çoklu Arıza Olayları	40
4.3. Transformatör Doyumu Olayları	42

4.4.	Kesinti Olayları	45
4.5.	Hat Enerjilenmesi Olayları	46
4.6.	Kapasitör Anahtarlanması Olayları	47
4.7.	Yük Anahtarlanması Olayları	49
4.8.	Güç Sistemi Olayları Sonucunda Meydana Gelen Güç Kalitesi Bozulmaları .	49
4.9.	Güç Sistemi Olaylarının Değerlendirilmesi.....	51
4.10.	Güç Kalitesinin İzlenmesi.....	51
4.10.1.	Sistem Büyüklüklerinin Ölçülmesi.....	54
4.10.2.	Ölçümler Sonucunda Elde Edilen Güç Sistemi Olayları.....	58
4.10.3.	Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi	62
5.	GÜÇ SİSTEMİ OLAY İŞARETLERİNDEN ÖZELLİK ÇIKARMA.....	64
5.1.	Güç Sistemi Olay İşaretlerinin Dalgacık Dönüşümü ile Analizi.....	64
5.1.1.	Arıza Olay Verilerinin Dalgacık Dönüşümü ile Analizi	67
5.1.2.	Transformatör Enerjilenmesi Olay Verilerinin..... Dalgacık Dönüşümü ile Analizi.....	68
5.1.3.	Kesinti Olay Verilerinin Dalgacık Dönüşümü ile Analizi.....	69
5.1.4.	Hat Enerjilenmesi Olay Verilerinin Dalgacık Dönüşümü ile Analizi	70
5.1.5.	Kapasitör Anahtarlanması Olay Verilerinin Dalgacık Dönüşümü ile Analizi..	71
5.1.6.	Yük Anahtarlanması Olay Verilerinin Dalgacık Dönüşümü ile Analizi	72
5.2.	Güç Sistemi Olay Verilerinden Dalgacık Dönüşümü İle Özellik Çıkarma	73
6.	GÜÇ SİSTEMİ OLAYLARININ BELİRLENMESİ İÇİN ÖNERİLEN AKILLI TANIMA TEKNİĞİ	80
6.1.	Güç Sistemi Olay Verileri	81
6.1.1.	GKMP Olay Verileri.....	81
6.1.2.	FÜMET Olay Verileri.....	82
6.1.3.	ATP/EMTP Olay Verileri.....	82
6.2.	Güç Sistemi Olayların Normalizasyonu ve Segmentasyonu	84
6.3.	Olay Verilerinin Özellik Vektörlerinin Oluşturulması	85
6.4.	DVM Yapısı ve Sınıflandırma Parametrelerinin Seçimi	87
6.5.	Önerilen Tanıma Tekniği ile Güç Sistemi Olaylarının Otomatik Sınıflandırılması	88

	<u>Sayfa No</u>
6.5.1. Önerilen Tanıma Tekniğinin Gürültülü Ortamlardaki Sınıflama Başarımı	91
6.5.2. Önerilen Tanıma Tekniğinde YSA Kullanılarak..... Sınıflama Başarımın Değerlendirilmesi	93
6.5.3. Performans Değerlendirmesi	95
6.6. İleri Analiz	96
7. SONUÇLAR	100
7.1. Sonuçların Değerlendirilmesi	101
8. ÖNERİLER	103
KAYNAKLAR	104
ÖZGEÇMİŞ	112

ÖZET

Güç kalitesi, son yıllarda olduğu gibi gelecekte de, güç sistemlerinde aranan önemli özelliklerinden birisi olacaktır. Güç kalitesi problemleri, sistem üzerindeki elemanlarda ve sisteme bağlı yüklerde; arıza ve hatalı çalışma gibi olumsuz durumlar meydana getirmektedir. Bu nedenle, güç sistemlerinde meydana gelen güç kalitesi problemlerinin belirlenmesi ve oluşabilecek olumsuz durumların ortadan kaldırılması gerekmektedir.

Bu tezde, güç kalitesi problemlerine neden olan güç sistemi olaylarının türünü belirlemeye yönelik, bir akıllı tanıma tekniği geliştirilmiştir. Güç sistemi olaylarının türünü belirlemek için üç fazlı gerilim sinyalleri kullanılmıştır. Geliştirilen tanıma tekniğinde önce, üç faz olay gerilim sinyallerine, normalizasyon ve segmentasyon işlemi uygulanmıştır. Sonra, dalgacık dönüşümü yöntemi kullanılarak, olay sinyallerinin dalgacık dönüşümü katsayıları elde edilmiştir. Daha sonra, bu katsayıları iki aşamalı özellik çıkarım işlemi uygulanarak, üç faz olay gerilim sinyallerinin ayırt edici özelliklerini temsil eden ve veri boyutunu indirgeyen etkili bir özellik vektörü elde edilmiştir. Akıllı tanıma tekniğinin son aşamasında ise, yapay sinir ağlara göre hem tanıma süresi hem de başarımları açısından oldukça iyi performans gösteren destek vektör makine sınıflandırıcısı kullanılarak güç sistemi olay türleri belirlenmiştir. Destek vektör makine sınıflandırıcısının parametreleri, 10-kat çapraz geçerlilik testi uygulanarak elde edilmiştir.

Geliştirilen akıllı tanıma tekniğinin çıkışından elde edilen arıza olaylarına, ileri analiz işlemi uygulanmıştır. Bunun sonucunda, güç sisteminde meydana gelen gerilim çökmesi ve güç kalitesi bozulma türleri belirlenmiştir.

Geliştirilen tekniğin performansını değerlendirmek için, gerçek güç sistemi olay verileri ve ATP/EMTP modelinden elde edilen benzetim olay verileri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, geliştirilen tanıma tekniği üç faz olay türlerini yüksek doğrulukla sınıflandırmaktadır. Gürültülü olay verileri için elde edilen tanıma sonuçlarına göre, geliştirilen tanıma tekniği gürbüz bir yapıya sahiptir. Ayrıca bu teknik, düşük sayıdaki olay verileri ile eğitim işlemi gerçekleştirilse bile, yüksek doğrulukta tanıma yapabilmektedir.

Anahtar kelimeler: Güç kalitesi, Güç Sistemi Olayları, Dalgacık Dönüşümü, Özellik Çıkarımı, Destek Vektör Makineler, Sınıflandırma.

SUMMARY

DEVELOPMENT OF A WAVELET TRANSFORM AND SUPPORT VECTOR MACHINE BASED EVENT RECOGNITION TECHNIQUE FOR POWER QUALITY

Power quality will be a sought-after feature in power systems in the future as it has been in the recent years. Power quality problems cause such negativities as breakdowns and malfunctions in the system components and loads in the system. Therefore, it is essential that power quality problems in power systems are determined and so, probable negativities are prevented.

In this thesis, an intelligent recognition technique is developed to determine the type of power system events which cause power quality problems. Three phase voltage signals are used to determine the types of power system events. In the first step of this recognition technique, normalization and segmentation processes are applied to the three phase voltage signals. In the second step, wavelet transform method is applied to the voltage signals and wavelet transform coefficients are obtained. Later, the two phase feature extraction process is applied to these coefficients and an effective feature vector which stands for the distinctive features of voltage signals and reduces the data size. In the last step of the intelligent recognition technique, power system event types are determined by using a support vector machine classifier which has a higher level of performance compared to the artificial neural network classifier in terms of both recognition time and performance level. The parameters of support vector machine classifiers are obtained by applying 10-fold cross validation test.

The advanced analytical processing is applied to the fault events obtained from the output of the developed intelligent recognition technique. As a result of this, voltage dips in the system and power quality disturbance types are determined.

Real power system data and simulation data obtained from the ATP/EMTP model are used to evaluate the performance of the developed technique. According to the results, the recognition technique is classified the three phase event types very accurately. According to the recognition results for noisy event data, the developed recognition technique has a robust structure. Besides, the intelligent recognition technique can function very accurately even if training is realized with little event data.

Key words: Power Quality, Power System Events, Wavelet Transform, Feature Extraction, Support Vector Machines, Classification.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Güç kalitesi izleme sistemindeki zamansal değişim	5
Şekil 2.1. Fourier dönüşümü.....	13
Şekil 2.2. Kısa-zamanlı Fourier dönüşümü.....	14
Şekil 2.3. Dalgacık dönüşümü.....	15
Şekil 2.4. (a) Sinüs dalgası ve (b) Dalgacık (Daubechies-4)	15
Şekil 2.5. Yaygın olarak kullanılan bazı dalgacık fonksiyonları.....	16
Şekil 2.6. Ayrık dalgacık dönüşümünün tek seviyeli filtre algoritması.....	18
Şekil 2.7. Bir kapasitör anahtarlanması olayı için beş seviyeli dalgacık çözünürlük ağacı..	19
Şekil 3.1. Yükselme fonksiyonunun davranış grafiği.....	23
Şekil 3.2. Doğrusal olarak ayrılabilme durumu.....	25
Şekil 3.3. Doğrusal olarak ayrılamayan durum.....	27
Şekil 3.4. Giriş uzayının doğrusal sınıflamanın mümkün olduğu çok boyutlu uzaya dönüşümü.....	29
Şekil 3.5. Bir nöron hücresinin matematiksel modeli.....	31
Şekil 3.6. Çok katmanlı YSA'nın yapısı.....	32
Şekil 4.1. Bir asimetrik arıza olayında 3 fazlı geriliminin, a) dalga şekli ve b) etkin değerinin değişimi (34.5 kV'luk hattan ölçülen).....	35
Şekil 4.2. Bir simetrik arıza olayında 3 fazlı gerilimin, a) dalga şekli ve b) etkin değerinin değişimi (34.5 kV'luk hattan ölçülen).....	36
Şekil 4.3. Gerilim çökmesi genliğinin hesabında kullanılan gerilim bölücü model...	36
Şekil 4.4. Arıza olayı sonrasında 3 fazlı gerilimde meydana gelen gerilim çökmesi ve sıçramasının (a) dalga şekli ve b) etkin değer değişimi (34.5 kV'luk hattan ölçülen).....	38
Şekil 4.5. a) Şekil 4.1, b) Şekil 4.2 ve c) Şekil 4.4 de verilen arıza olaylarında meydana gelen faz açısı sıçramaları	39
Şekil 4.6. Kendiliğinden sönmölen bir arıza olayında 3 fazlı gerilimin, a) dalga şekli ve b) etkin değer değişimi (34.5 kV'luk hattan ölçülen)....	40
Şekil 4.7. Bir çoklu arıza olayında 3 fazlı gerilimin, a) dalga şekli ve b) etkin değer değişimi (34.5 kV'luk hattan ölçülen).....	41

Şekil 4.8.	Transformatör nüvesinin histerezis döngüsü ve mıknatıslanma eğrisi.....	42
Şekil 4.9.	Transformatör enerjilenmesi olayında 3 fazlı gerilimin, a) dalga şekli ve b) etkin değer değişimi (34.5 kV'luk hattan ölçülen)....	43
Şekil 4.10.	Transformatör enerjilenmesi olayı için harmonik genliklerindeki değişimler.....	44
Şekil 4.11.	Transformatör enerjilenmesi olayında 3 fazlı gerilimin, a) dalga şekli ve b) etkin değer değişimi (ATP/EMTP benzetimi).....	44
Şekil 4.12.	Arızalı kesinti olayında 3 fazlı gerilimin, a) dalga şekli ve b) etkin değer değişimi (34.5 kV'luk hattan ölçülen).....	45
Şekil 4.13.	Arızasız kesinti olayında 3 fazlı gerilimin, a) dalga şekli ve b) etkin değer değişimi (154 kV'luk hattan ölçülen).....	46
Şekil 4.14.	Hat enerjilenmesi olayında 3 fazlı gerilimin, a) dalga şekli ve b) etkin değer değişimi (380 V'luk hattan ölçülen).....	47
Şekil 4.15.	Hat enerjilenmesi olayında harmonik genliklerindeki değişimler.....	47
Şekil 4.16.	Kapasitör anahtarlanması olayında 3 fazlı gerilimin, a) dalga şekli ve b) etkin değer değişimi (ATP/EMTP benzetimi).....	48
Şekil 4.17.	Yük anahtarlanması olayında 3 fazlı gerilimin, a) dalga şekli ve b) etkin değer değişimi (ATP/EMTP benzetimi).....	49
Şekil 4.18.	Güç kalitesi ölçümlerinin genel yapısı.....	52
Şekil 4.19.	Güç kalitesi analizörü ve ölçüm merkezi.....	53
Şekil 4.20.	Bir günlük şebeke gerilimindeki değişim.....	54
Şekil 4.21.	Bir günlük şebeke frekansındaki değişim.....	54
Şekil 4.22.	(a) şebeke gerilimi ve (b) şebekeden çekilen akım.....	55
Şekil 4.23.	Bir haftalık süre boyunca hattan çekilen görünür güç.....	58
Şekil 4.24.	Bir haftalık süre boyunca güç faktöründeki ortalama değişim.....	58
Şekil 4.25.	Kayıt edilen olayların aylık dağılımları.....	59
Şekil 4.26.	Ölçüm merkezine ait kompanzasyon sistemi.....	59
Şekil 4.27.	FÜMET ölçümlerinden elde edilen elde edilen bazı arıza olaylarının 3 fazlı dalga şekilleri ve etkin değer değişimleri.....	60
Şekil 4.28.	FÜMET ölçümlerinden elde edilen kapasitör anahtarlanması olayı.....	60
Şekil 4.29.	FÜMET ölçümlerinden elde edilen arızasız kesinti olayında 3 fazlı gerilimin, (a) dalga şekli ve (b) etkin değer değişimi.....	61
Şekil 4.30.	FÜMET ölçümlerinden elde edilen hat enerjilenmesi olayında 3 fazlı gerilimin, (a) dalga şekli ve (b) etkin değer değişimi.....	61

Şekil 5.1.	25.6 kHz örnekleme frekansına sahip GKMP olay verileri için frekans bant aralıkları.....	65
Şekil 5.2.	10 kHz örnekleme frekansına sahip ATP/EMTP olay verileri için frekans bant aralıkları.....	66
Şekil 5.3.	Bir arıza olayının ADD ile çoklu çözünürlük analizi.....	67
Şekil 5.4.	Bir transformatör enerjilenmesi olayının ADD ile çoklu çözünürlük analizi.....	68
Şekil 5.5.	Bir kesinti olayının ADD ile çoklu çözünürlük analizi.....	69
Şekil 5.6.	Bir hat enerjilenmesi olayının ADD ile çoklu çözünürlük analizi.....	70
Şekil 5.7.	Bir kapasitör anahtarlanması olayının ADD ile çoklu çözünürlük analizi.	71
Şekil 5.8.	Bir yük anahtarlanması olayının ADD ile çoklu çözünürlük analizi.....	72
Şekil 5.9.	Özellik çıkarım akışı.....	74
Şekil 5.10.	Arıza olayı için; a) üç faz dalga şekilleri, b) üç faz özellik vektöründeki değişimler ve c) tek özellik vektöründeki değişimler.....	75
Şekil 5.11.	Kendiliğinden sönmölenen arıza olayı için; a) üç faz dalga şekilleri, b) üç faz özellik vektöründeki değişimler ve c) tek özellik vektöründeki değişimler.....	76
Şekil 5.12.	Hat enerjilenmesi olayı için; a) üç faz dalga şekilleri, b) üç faz özellik vektöründeki değişimler ve c) tek özellik vektöründeki değişimler.....	77
Şekil 5.13.	Kesinti olayı için; a) üç faz dalga şekilleri, b) üç faz özellik vektöründeki değişimler ve c) tek özellik vektöründeki değişimler.....	77
Şekil 5.14.	Transformatör enerjilenmesi olayı için; a) üç faz dalga şekilleri, b) üç faz özellik vektöründeki değişimler ve c) tek özellik vektöründeki değişimler.....	78
Şekil 5.15.	Kapasitör anahtarlanması olayı için; a) üç faz dalga şekilleri, b) üç faz özellik vektöründeki değişimler ve c) tek özellik vektöründeki değişimler.....	78
Şekil 5.16.	Yük anahtarlanması olayı için; a) üç faz dalga şekilleri, b) üç faz özellik vektöründeki değişimler ve c) tek özellik vektöründeki değişimler.....	79
Şekil 6.1.	Akıllı güç sistemi olay tanıma tekniğinin blok şeması.....	80
Şekil 6.2.	WECC-9 baralı güç sistemi test modeli.....	83
Şekil 6.3.	Kapasitör anahtarlanması olayının normalizasyon ve segmentasyon işlemi sonucundaki değişimi.....	85
Şekil 6.4.	Yapay güç sistemi verilerine ait özellik vektörlerindeki dağılımlar.....	86

Şekil 6.5.	(a) Gürültüsüz transformatör enerjilenmesi olayının ve (b) gürültülü transformatör enerjilenmesi olayının dalga şekli.....	89
Şekil 6.6.	30 dB gürültü eklenen yapay güç sistemi olay verilerinin dalga şekilleri: (a) faz-toprak arızası, (b) faz-faz arızası, (c) üç faz arızası, (d) yük anahtarlama, (e) kapasitör anahtarlama ve (f) transformatör enerjilenmesi	93
Şekil 6.7.	Bir SNÇ bozulma türü arıza olayında 3 fazlı gerilimin, (a) dalga şekli ve (b) etkin değer değişimi.....	97

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. DVM sınıflandırıcılarda yaygın olarak kullanılan çekirdek fonksiyonları.....	30
Tablo 4.1. Güç sistemleri elektromanyetik olaylarının kategorileri ve özellikleri.....	50
Tablo 4.2. Gerilim sinyalleri için harmonik değerler.....	57
Tablo 4.3. Akım sinyalleri için harmonik değerler.....	57
Tablo 4.4. Gerilim harmonikleri için sınır değerleri.....	62
Tablo 4.5. Akım harmonikleri için sınır değerleri.....	62
Tablo 6.1. GKMP olay verileri ve sayıları.....	82
Tablo 6.2. FÜMET olay verileri ve sayıları.....	82
Tablo 6.3. ATP/EMTP programında kullanılan güç sistemi olay verilerine ait parametreler.....	84
Tablo 6.4. ATP/EMTP olay verileri ve sayıları.....	84
Tablo 6.5. GKMP olay verileri için sınıflandırma sonuçları.....	90
Tablo 6.6. FÜMET olay verileri için sınıflandırma sonuçları.....	90
Tablo 6.7. ATP/EMTP olay verileri için sınıflandırma sonuçları.....	91
Tablo 6.8. Farklı eğitim örnekleri sayısı ile başarımların sonuçları.....	91
Tablo 6.9. Gürültü içeren ATP/EMTP olay verileri için sınıflandırma sonuçları.....	93
Tablo 6.10. YSA sınıflandırıcı kullanılarak elde edilen sınıflandırma sonuçları.....	94
Tablo 6.11. Tanıma sisteminin özellik çıkarım ve sınıflandırma süreleri.....	95
Tablo 6.12. Doğru sınıflandırma sonuçlarına göre başarımların karşılaştırması.....	96
Tablo 6.13. GKMP tekli arıza olayları için gerilim bozulması ve gerilim çökme tipi sonuçları.....	98
Tablo 6.14. GKMP çoklu arıza olayları için gerilim bozulması ve çökme tipi sonuçları.....	99

SEMBOLLER LİSTESİ

KISALTMALAR LİSTESİ

ADD	: Ayrık Dalgacık Dönüşümü
ANSI	: American National Standards Institute
ATP/EMTP	: Alternative Transient Program/Electromagnetic Transient Program
BKB	: Bire Karşı-Bir
BKD	: Bire Karşı-Diğerleri
CBEMA	: Computer and Business Equipment Manufacturers Association
DD	: Dalgacık Dönüşümü
DRM	: Deneysel Risk Minimizasyonu
DVM	: Destek Vektör Makine
EPRI	: Electric Power Research Institute
ESPRIT	: Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques
FD	: Fourier Dönüşümü
FÜBAP	: Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimi
FÜMET	: Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü yanındaki Transformatör binası
GKMP	: Güç Kalitesi Milli Projesi
IEC	: International Electrotechnical Commission
IEEE	: Institute of Electrical and Electronic Engineering
KF	: Kalman Filtreleme
KZFD	: Kısa zamanlı Fourier dönüşümü
OKHK	: Ortalama Karesel Hatanın Karekökü
pu	: per unit
SD	: S Dönüşümü
SDD	: Sürekli Dalgacık Dönüşümü
US	: Uzman Sistemler
THB	: Toplam Harmonik Bozulma
TTB	: Toplam Talep Bozulma
YRM	: Yapısal Risk Minimizasyonu
YSA	: Yapay Sinir Ağları

SEMBOLLER LİSTESİ

a	: Ölçekleme (Frekans) Parametresi (Sürekli Zaman)
a(.)	: Etkinleştirme Fonksiyonu
A	: Yaklaşık Katsayısı
b	: Öteleme (Zaman) Parametresi (Sürekli Zaman)
C	: Düzenleme Parametresi
D	: Detay Katsayısı
E	: Kaynak Gerilimi
E_j	: Tek Özellik Vektörü
E_{ij}	: Üç Faz Özellik Vektörleri
f	: Frekans
f(.,.)	: Sistem Çıkışı
F	: Fourier Dönüşümü
h	: VC Boyutu Değeri
H	: Hipotez Uzayı
i	: Faz Türleri
j	: Ayrışım Seviyesini
ℓ(.,.)	: Tahmin İşlevler Kümesi
L_P	: Lagrange Formülasyonu
m	: Ölçekleme (Frekans) Parametresi (Ayrık Zaman)
n	: Öteleme (Zaman) Parametresi (Ayrık Zaman)
P(.)	: Olasılık Dağılımı
R₀	: Kaynak Direnci
R₁	: Bara ile Arıza Noktası Arasındaki Direnç
w	: İşlevler Kümesi Parametresi, Ayırıcı Düzlemin Normali
W	: İşlevler Kümesi Tüm Parametreleri
w(.)	: Kayan Pencere Fonksiyonu
x(.)	: İşaret
Z₀	: Kaynak Empedansı
Z₁	: Bara ile Arıza Noktası Arasındaki Empedans

Z^x	: Eğitim Örnekleri Kümesi
α	: Langrange Çarpanları
θ	: Eşik Değeri
$\psi(.)$	: Dalgacık
ξ	: Zayıflık Değişkenleri
μ	: Zayıflık Değişkenlerinin Pozitif Olmasını Sağlayan Parametre

1.GİRİŞ

1.1. Genel Bilgi

Elektrik enerjisinin üretimi, iletimi ve dağıtımı aşamalarından oluşan ve dinamik bir özelliğe sahip olan elektrik güç sistemleri, birçok gelişimin sonucunda günümüzdeki yapısına ulaşmıştır. Teknolojinin ilerlemesi ve elektrik enerjisine olan talebin giderek artması, daha modern ve enerji kalitesi daha yüksek güç sistemleri oluşturmak için yapılan araştırmaların giderek artacağını göstermektedir.

Elektrik güç sisteminin ve bu sisteme bağlanan yüklerin, arızasız ve güvenli bir şekilde çalışabilmesi için, sistemdeki gerilimlerin belirli bir genlikte olmasının yanı sıra, 50 Hz frekansa sahip olması ve faz gerilimleri arasındaki açının da 120 derecede kalması istenir. Ancak sistemde meydana gelen arızalar, yıldırım düşmesi veya kapasitör bankalarının anahtarlanması gibi durumların sonucunda, sistem gerilimlerinin genlik, frekans ve faz açısı değerleri olması gerekenden farklı değerlere sahip olabilmektedirler. Literatürde, güç kalitesi problemleri adı altında, bu olumsuz durumları inceleyen ve çözüm önerileri ortaya koyan çalışmalar yapılmaktadır [1-8].

Güç kalitesinin tanımı, “güç sisteminin belirli bir noktasındaki elektriksel büyüklüklerin bir dizi referans teknik parametrelere göre değerlendirilmesi” şeklinde yapılabilir [1]. Daha genel olarak güç kalitesi, özellikle gerilim kalitesi ile akım kalitesinin birleşimi olarak ifade edilebilir [2]. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, 1995 yılından sonra güç kalitesi alanında yapılan araştırmalarda hızlı bir artış olmuştur[3-7]. Güç kalitesine ilginin ciddi biçimde artmasının, bazı önemli sebepleri kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir [8]:

- Sanayileşmenin hızla ilerlemesi, endüstride ürün kalitesi ve süreklilik parametrelerini ön plana çıkarmaktadır. Elektrik cihazlarının güç kalitesi bozulmalarına karşı olumsuz yönde etkilenmesi nedeniyle şirketler, imalat sistemlerinde küçük maddi problemlerden, üretim sürecinin durmasına kadar önemli problemler ile karşılaşmaktadırlar.
- Güç elektroniği elemanlarının kullanımının artması, sistemde harmonik bozulmalar meydana getirmektedir.
- Avrupa’da ve Amerika’da, elektrik üretimi ve dağıtımı rekabete açılmış ve kullanıcıya kendi elektrik enerji sağlayıcısını seçme imkânı sunulmuştur. Türkiye’de ise bu

rekabetçi sisteme geçilmesi ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Bu nedenle, kullanıcı kendi enerji sağlayıcısını seçerken en önemli kriterlerden birisi de enerji kalitesi olmuştur.

- Yenilenebilir enerji kaynaklarının ve yerel elektrik santralleri olarak da adlandırılan ilişik (embedded) elektrik üretim sistemlerinin enerji sistemine bağlanmaları; dalga şekli bozulması, kırpışma ve gerilim değişimleri gibi yeni güç kalitesi problemlerini ortaya çıkarmıştır.
- Tasarruflu aydınlatma cihazları, ayarlanabilir hız sürücüler gibi enerji verimliliği özelliğine sahip elektrik cihazlarının kullanımı giderek artmıştır. Ancak bu cihazların sisteme bağlanması sonucunda, gerilim dalga şekli bozulması meydana getirmekle birlikte bu cihazlar, güç kalitesi bozulmalarından etkilenebilen bir yapıya sahiptirler.

Güç kalitesi problemleri nedeniyle, yüksek değerde mali kayıplar meydana gelebilir. Özellikle endüstrideki rafineri tesisleri, kâğıt fabrikaları ve çelik fabrikaları gibi imalat tesisleri, zayıf güç kalitesinden oldukça çok etkilenirler. Bu nedenle, bazı Avrupa ülkeleri zayıf güç kalitesi nedeniyle oluşan mali kayıpları araştırmışlardır. Norveç'te, 2002 yılında tamamlanan ve imalat endüstrisindeki fabrikalara bağlı olarak yapılan bir ulusal projede, bir yılda meydana gelen gerilim çökmelerinin tüketiciye maliyetinin toplam 21.3-41.3 M€ arasında ve kısa süreli gerilim kesintilerinin tüketiciye maliyetinin toplam 47.5-66.3 M€ arasında olduğu belirtilmiştir [9]. İsveç'te, 2003 yılında tamamlanan ve tüketici üzerindeki mali kayıpları inceleyen bir araştırma projesinde, bir yılda meydana gelen gerilim çökmelerinin ve kısa süreli gerilim kesintilerinin tüketiciye maliyetinin toplam 105-157 M€ arasında olduğu açıklanmıştır [10, 11]. Bu araştırmalara göre imalat firmalarının, sadece gerilim kesintilerinden değil aynı zamanda gerilim çökmelerinden de önemli derecede etkilendiği görülmüştür. Ayrıca bu araştırmalarda, gerilim değişimleri ve geçici rejim bozulmalarının da, yüksek mali kayıplar meydana getirdiği ifade edilmiştir.

Ülkemizde, güç kalitesi problemlerinin meydana getirdiği mali kayıplar hakkında benzer bir araştırma, Güç Kalitesi Milli Projesi (GKMP) tarafından yapılmıştır. Bu araştırmanın bazı sonuçları şunlardır:

- İletim sisteminde meydana gelen arıza ve geçici durumlar sonucunda, 380 kV Atatürk-Elbistan-Sincan-Temelli enerji iletim hattı güzergahında, C-fazında bir kesici, bir parafudur, iki akım trafosu hasar görmüştür. Bunun sonucunda oluşan büyük işletme kayıplarının yanı sıra, Ankara dahil bölgesel elektrik kesintileri olmuştur.

- Şanlıurfa bölgesinde 2004 yılında, orta gerilim barasında 22 adet 36 kV kesici arızalanmıştır. Bunun sonucunda oluşan elektrik kesintisi nedeniyle yaklaşık 1.450.350 kWh'lik enerji satılamamıştır. Sadece arızalanan teçhizatın sisteme maliyeti, ölçülemeyen üretim ve işgücü kaybı hariç 100.804 TL, satılamayan enerji bedeli ise 1.160.280 TL olmuştur.
- Güney Doğu Anadolu bölgesindeki bir çimento fabrikasında, 1999-2003 yılları arasında enerjideki plansız yapılaşma, kesinti ve dalgalanmadan dolayı, 6.2 M\$'lık üretim kaybı olduğu belirlenmiştir.

Bir güç sistemi olayı, sisteme ait akım ve gerilim değerlerinin standartlar ile belirlenmiş eşik değerleri dışına çıkmasına neden olan bir durum olarak tanımlanabilir. Güç sistemlerinde, akım ve gerilim değerlerindeki artış veya azalış durumu için ifade edilen diğer bir tanım ise değişimdir. Güç sistemlerinde olay ve değişim tanımları arasında, özellikleri bakımından benzerlikler bulunmasına rağmen sistemde meydana getirdikleri etki açısından önemli farklılıklar vardır [8, 12].

Olay, akımın veya gerilimin normal veya ideal dalga şeklinden, önemli ve ani sapması olarak tanımlanır. Olay genellikle, güç sistemi üzerinde arıza, açma ve kapama gibi durumlar sonucunda meydana gelir ve güç sistemi ile sisteme bağlı yükleri olumsuz yönde etkiler. Güç sistemlerinde meydana gelen olaylar, normal ve anormal olaylar olarak iki kısımda incelenebilir. Normal olaylar, güç sisteminin işletimi için gerekli olan anahtarlamaya bağlı olaylardır. Transformator enerjilenmesi, kapasitör anahtarlanması, yük anahtarlanması gibi olaylar bu sınıfa girerler. Anormal olaylar ise, güç sisteminde meydana gelen arıza gibi istenilmeyen durumlar sonucunda oluşan olaylar olarak tanımlanabilir.

Değişim ise, akımın ya da gerilimin normal veya ideal dalga şeklinden ihmal edilecek kadar küçük değerlerde meydana gelen sapma olarak tanımlanır. Değişim genellikle, sisteme bağlı olan yüklerin devreye girip-çıkması sonucunda oluşur ve güç sistemi ile sisteme bağlı diğer yükleri etkilemez. Akım veya gerilim değişimleri, koruma ve kontrol amaçlı ölçüm sistemlerinden elde edilebileceği gibi, bir güç kalitesi izleme sisteminden de elde edilebilir.

Son yıllarda, güç kalitesi izleme sistemleri, güç sistemlerinin önemli bir parçası olmuştur. Güç sisteminin belirli bölgelerine yerleştirilen güç kalitesi izleme sistemlerinin en önemli iki özelliği, güç kalitesi olaylarını belirlemesi ve analiz etmesidir [13]. Güç kalitesi izleme sistemleri kullanılarak;

- Sistemin güç kalitesi performansının belirlenmesi,
- Güç kalitesi bozulma türünün, kaynağının ve sebeplerinin belirlenmesi,
- Sistemin nominal yük ile çalışması için gerekli işletim şartlarının belirlenmesi,
- Güç sisteminin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi için gerekli parametrelerin belirlenmesi,

gibi enerji tesislerinin işletilmesi ve korunması hakkında önemli bilgiler elde edilir. Bu veriler ile yapılacak olan çözüm önerileri, sistemin sürekliliğini ve güvenilirliğini arttırmanın yanında sistemin kontrolünü de kolaylaştırır.

Geleneksel izleme cihazlarıyla yapılan ölçümlerde veriler, önce cihaz hafızasına kaydedilir ve daha sonra istenildiği zaman bilgisayar ortamına aktarılır. Hem cihaz içerisinde hem de bilgisayar ortamında analiz işlemleri gerçekleştirilerek, güç kalitesi problemine ait bilgiler elde edilebilir. Bu şekilde veri analizi; oldukça zahmetli, zaman alıcı ve zordur. Ayrıca, bilgi çıkarımında genellikle Fourier Dönüşümü (FD) temelli işaret işleme yöntemlerinin sınırlı kapasiteye sahip olması, geleneksel izleme cihazlarının diğer bir dezavantajıdır [14]. Son yıllarda özellikle bu dezavantajları nedeniyle diğer akıllı güç kalitesi izleme sistemlerinin tasarlanması üzerine önemli çalışmalar yapılmıştır [15-18]. Bu izleme sistemleri genel olarak, Kalman Filtreleme (KF), Dalgacık Dönüşümü (DD) ve S Dönüşümü (SD) gibi bir ileri işaret işleme tekniği ile Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Uzman Sistemler (US) gibi bir yapay zeka tekniğinin beraber kullanımından oluşan bir akıllı örüntü tanıma sistemidir.

Akıllı örüntü tanıma sistemi; işaret işleme, özellik çıkarımı ve sınıflandırıcı olmak üzere üç temel aşamadan oluşmaktadır. Her bir aşamanın en önemli amacı, örüntü tanımanın başarımını ve hızını yükseltmektir. Akıllı örüntü tanıma sistemleri, öğrenme tabanlı olup, öğrendiklerinden çıkarım yaparak karar verebilmektedirler. Bu özelliklerinden dolayı, birçok alanda kullanılırlar. Örüntü tanıma çalışmalarının bir amacı da, insan-makine arabirimini iyileştirmeye yöneliktir. Bu amaçla, olayların tanımlanması ve sağlıklı bir biçimde yorumlanabilmesi esas alınmıştır. Ticari dünyadaki bu teknolojinin pratik uygulamaları, bu alandaki araştırmalara destek sağlamaktadır [19, 20]. Durağan olmayan işaret örüntülerinin özellik çıkarımı, bu alandaki örüntü tanıma sistemlerinin en önemli bileşeni haline gelmiştir. İşaretin betimleyici özelliklerinin, zaman bölgesine göre, zaman ve frekans bölgelerinin ortak gösterimlerinden elde edilmesi daha sağlam yapı sunar [21].

1.2. Literatür Taraması ve Değerlendirilmesi

1990'lı yılların başında, sınıflandırma işlemi için uygulanan yaklaşımlar, işaret işleme yöntemleriyle mühendislik bilgilerinin birleşimi şeklindeydi. Fakat, 1990'lı yılların sonu ve 2000'li yılların başından itibaren, bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, önerilen yeni işaret işleme yöntemleriyle akıllı sistemlerin birlikte kullanıldığı izleme sistemleri kullanılmaya başlanmıştır [22-24]. Bu yeni eğilimlerin temel amacı, bir işaret işleme yöntemiyle farklı türden işaretleri işlemek ve akıllı sistemlerin genelleme yeteneği yardımıyla, işaretlerden sistemle ilgili önemli bilgileri çıkarmaktır [25]. Şekil 1.1'de, güç kalitesi izleme sistemlerinin yapısı ve ilgili kullanıcıları için zaman çizelgesi üzerindeki değişimler görülmektedir [26].

Teknoloji		Dijital	
— Voltmetre		— Sinyal İşleme	— Örüntü Tanıma
— Kağıt	— Osiloskoplar	— Bilgisayar	— Veri Madenciliği
— Şerit	— Grafikler	— Hard Disk	— Karar Destek
		— Haberleşme	— Ağ - İnternet
70'ler	80'ler	90'lar	2000'ler
— Saha Servis Mühendisleri	— Saha Servis Mühendisleri	— Hizmet Şirketleri	— Bağımsız sistem Operatörleri
	— Güç Kalitesi Grupları	— Sanayi/Fabrika/Tesisler	— Bağımsız Güç Üreticileri
İlgili kullanıcı			— Düzenleyici Birimler

Şekil 1.1. Güç kalitesi izleme sistemindeki zamansal değişim

1970'li yıllarda güç kalitesinin tanımı, kesintisiz elektrik enerjisi olarak kabul edilmiş ve birkaç saha mühendisi ile güç kalitesi alanında çalışmalar yapılmıştır. Teknolojinin ilerlemesi ile birlikte, güç sistemi üzerine tanımlama, yapılandırma, koruma, iyileştirme gibi alanlarda çalışmalar yapmak üzere kurulmuş çalışma grupları tarafından güç kalitesi alanındaki standartlar belirlenmiştir. Bu gruplar tarafından özellikle güç sisteminin ekonomik yapısı, koruması ve işletilmesi açısından güç kalitesinin önemli bir çalışma alanı olduğu belirtilmiştir. IEEE, IEC, EPRI, CBEMA ve CENELEC gibi çalışma grupları, güç kalitesi alanında ölçme yöntemleri, akım, gerilim ve frekans büyüklüklerinin karakteristikleri, bozulma türlerinin özellikleri ve sınıfları gibi kavramlar hakkında standartlar belirlemişlerdir. Fakat belirlenen standartlar arasında bazı farklılıklar

bulunmaktadır. Dünyada güç kalitesi çalışmalarında, özellikle IEEE ve IEC standartları daha çok tercih edilmektedir [27, 28].

Güç kalitesi standartlarında, gerilim sinyaline etkin değer yöntemi uygulanarak etkin değer değişimleri ile gerilim olaylarının tespit edilmesi ve tanımlanması işlemleri gerçekleştirilir [1]. Bir güç kalitesi olayına etkin değer yönteminin uygulanması, basit ve kolaydır. Ancak, elde edilen etkin değer olay verilerinde olay sinyallerinin faz açıları, temel frekansları ve harmonik içerikleri hakkında bilgilerin bulunmaması, güç kalitesi alanında bu yöntemin kullanımını oldukça kısıtlamıştır [29, 30]. Yapılan çalışmalarda; Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (KZFD), KF, SD veya DD gibi sinyal işleme yöntemleri kullanılması ile bu sınırlamalar ortadan kaldırılmıştır. Bu tez çalışmasında etkin değer yöntemi, incelenen işaretin genlik bilgilerini görsel olarak vermesi nedeniyle, olay sinyallerinin gösterimlerinde kullanılmıştır.

KZFD, bir işareti pencere olarak işaretlendirilen fonksiyonlarla durağan ya da durağana yakın parçalara ayırarak analiz yapar. Bir işaretin KZFD katsayılarında, işarete ait zaman bilgilerinin yanı sıra frekans bilgilerinin bulunması nedeniyle bu yöntem, güç kalitesi çalışmalarında kullanılmıştır [23, 31]. Ancak, KZFD’de kullanılan pencere fonksiyonunun tarama sırasında sabit genişlikte olması, işaretin hızlı değişen yüksek frekanslı bileşenlerinin zaman bölgesinde tam olarak tanımlanamaması nedeniyle, güç kalitesi alanında diğer işaret işleme yöntemlerinin kullanımına gerek duyulmuştur [32].

KF, güç kalitesi olaylarının tespitinde ve analizinde kullanılan diğer işaret işleme yöntemlerinden biridir [17, 33]. Bu yöntemle bir güç kalitesi olayının analizi, olay gerilimin temel frekans bileşenindeki değişimine göre yapılmaktadır.

SD ise, değişken pencereli KZFD olarak tanımlanır. SD ile işaret analizleri, frekansa bağlı çözünürlük üreten analiz penceresiyle gerçekleştirilir. Bu pencerenin en önemli özelliği, frekans değişimlerine çok hızlı cevap vererek daralmalar ve genişlemeler yapabilmesidir. Bu avantajlarından dolayı SD, özellikle güç kalitesi problemlerinin sınıflandırılması için kullanılan işaret işleme yöntemlerinden biri olmuştur [18, 34, 35].

Yapılan bazı çalışmalarda, farklı sinyal işleme teknikleri kullanılarak güç kalitesi problemlerini tanıma sistemleri önerilmiştir. Bu yöntemler, yüksek dereceli istatistikler yöntemi [36], Hilbert dönüşüm yöntemi [16], Clarke dönüşüm yöntemi [16], d-q dönüşüm yöntemi [37], uzay fazör yöntemi [38] ve Prony yöntemi [39] gibi sinyal işleme yöntemleridir.

Zaman-frekans gösterim yöntemlerinden biri olan DD, son zamanlarda araştırmacılar tarafından daha yaygın olarak kullanılmakta ve bu konu hakkında ciddi araştırmalar yapılmaktadır [16, 20, 40]. Durağan olmayan bir işarete DD uygulanarak, bir dizi dalgacık bileşenleri elde edilir. Durağan olmayan işaretin frekans bantlarını temsil eden ve seviye olarak adlandırılan her bir bileşeninde, önemli zaman bilgisi içeren dönüşüm verileri bulunur. Bu özelliklerinden dolayı son yıllarda DD, güç kalitesi problemlerinin tespit edilmesi, sınıflandırılması ve arıza yerinin belirlenmesi çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [15, 16, 25, 41, 42]. Dalgacıkların Meyer, Symlet, Daubechie gibi çok çeşitli tipleri vardır. DD, FD'de olduğu gibi hem sürekli hem de ayrık zamanlı olarak yapılabilmektedir. Ayrık zaman DD'nin özelleştirilmiş haline, çok çözünürlüklü ayrıştırma adı verilir. Çok çözünürlüklü ayrıştırmada genel amaç, incelenilen işareti, seviye seviye alçak ve yüksek geçiren filtrelerden geçirerek ayrı ayrı sabit alt frekans bantlarına bölmektir [22, 25, 43]. [44]'de, ilk olarak güç sistemlerindeki durağan olmayan harmoniklerin analizi için DD yönteminin kullanımı önerilmiştir. [45]'de, Fourier'den dalgacığa doğru gelişen frekans yöntemlerinin, güç kalitesi problemlerinin analizindeki avantaj ve dezavantajları üzerinde durulmuş ve güç sistemlerinde oluşan bozulmaların tespitinde bu yöntemlerin uygulanabilirliği araştırılmıştır.

Özellik çıkarımı, örüntü tanıma sisteminin sınıflandırıcı girişinde, işaretin ayırt edici özelliklerini elde etmek için genelde işaretin dönüşüm katsayılarına uygulanan bir hesaplama tekniği olarak tanımlanabilir. Özellik çıkarımı, sınıflandırıcı girişine verilecek olan veri boyutunu azaltmak, yüksek sınıflama başarımı elde etmek ve daha az eğitim ve test süreleri elde etmek açısından örüntü tanıma sistemlerinin en önemli bileşenidir [40]. DD, yüksek veri boyutlu güç kalitesi problemlerine de uygulanarak her bir frekans bant seviyesinde önemli dönüşüm katsayıları elde edilebilir. Bu katsayılar, işaret verileri ile yaklaşık olarak aynı boyuttadır ve sınıflandırıcı girişinde bu veri boyutunu azaltmak gerekir. Bu nedenle, her bir frekans bant seviyesine özellik çıkarım yöntemleri uygulanarak, sınıflandırıcı girişinde veri boyutu azaltılmış etkili bir tanıma sistemi elde edilir [41].

Yapay zeka, geniş anlamda karmaşık problemlerin çözümü için anlama, mantık, öğrenme, çözüm üretme ve karar verme gibi insan zekası yapısına benzeyen bir sistem olarak tanımlanabilir. Günümüzde, ilerleyen bilgisayar teknolojisi ile beraber insan mantığının çözümlemesinin zor olduğu bazı problemlerin çözümü için ileri sürülen ve değişik yapılara sahip olan farklı yapay zeka teknikleri ile mühendislik alanında analizler

yapılmaktadır. Son yıllarda yapay zeka teknikleri, güç sisteminin işletimi ve problemlerinin çözümü için güç sistemi araştırmacısının temel kullanım aracı olmuş ve literatürde yayınlanan birçok çalışmanın anahtar kelimesi haline gelmiştir [13, 15, 18, 46]. Yapay zeka teknikleri; koruma, sistemin güvenliği, sistemi iyileştirme, sistemin kontrolü, uyarı sistemi, üretim süreci, güç sistemi planlama, güç sistemi kararlılığı, güç sistemi analizi, yük tahmini, arıza türlerinin tespiti ve yerinin belirlenmesi gibi birçok güç sistemi alanında kullanılmaktadır.

Temelleri istatistiksel öğrenme kuramına dayanan Destek Vektör Makineler (DVM'ler), örüntü tanıma ve regresyon problemlerinin çözümünde sağlam ve etkin bir yöntem olarak kullanılmakta ve birçok alanda ümit veren bir yöntem olarak durmaktadır. DVM'ler yapısal olarak, düşük boyutlu bir giriş uzayından alınan vektörleri, yüksek boyutlu bir diğer uzaya doğrusal olmayan bir biçimde taşıyan bir dönüşümdür. Dönüşümü gerçekleyen makine, sistem ya da ağ, dönüşümü belirleyen bir çekirdek ile tanımlanır. Sınıflama problemlerinde, yeteri kadar yüksek boyutlu uzaya taşınan vektörler doğrusal ayrıştırılabilir duruma gelir. En uygun doğrusal ayrıştırıcı, ayrıştıran düzlemler arasından sınıflara uzaklığı en çok olanıdır. Pay olarak adlandırılan en yakın uzaklık; yüzeye en yakın olan vektörlerin belirlenmesi ile bulunur. DVM'ye de adını veren ve destek vektörler olarak adlandırılan bu vektörler, ayrıştıran düzlemi belirler ve DVM'lerin tasarımı için etkin bir yol sunarlar [47].

Güç kalitesi olaylarının belirlenmesi ile ilgi yapılan çalışmalarda, farklı türdeki sinyal işleme teknikleri ile yapay zeka tekniklerinin birlikte kullanılmasından oluşan değişik tanıma sistemleri önerilmiştir. Güç kalitesi olaylarını sınıflandırma alanında yapılan çalışmalar incelendiğinde, özellikle güç sistemi üzerine araştırma yapan Prof. M.H.J. Bollen'nin yapay zeka teknikleri üzerine araştırma yapan Prof. I.Y.H. Gu ile birlikte bir araştırma ekibi oluşturdukları görülmektedir. Bu araştırma ekibi birçok araştırma, yüksek lisans ve doktora projeleri tamamlamışlardır. Böylece bu araştırma ekibi literatüre, güç kalitesi olayları için birçok çalışma ve tanıma sistemi sunmuşlardır [2, 8, 23, 33, 46, 48-51]. Aşağıda, bu araştırma ekibinin yaptıkları bazı çalışmalar özetlenmiştir.

[2]'de, güç kalitesi olaylarının meydana getirdiği gerilim çökmeleri hakkında tanımlamaları, matematiksel teorileri ve etkileri ile ilgili bilgiler bulunmaktadır. [8]; güç kalitesi olayları ile ilgili kapsamlı incelemeler ve bu olaylar için sinyal işleme ve sınıflandırma teknikleri hakkında bilgiler içermektedir. [23]'te; orta ve alçak gerilim şebekelerinden elde edilen ve güç kalitesi olayları sonucunda meydana gelen gerilim

çökmeleri, KZFD kullanılarak analizi yapılmış ve sınıfları incelenmiştir. [33]'te; güç sisteminden elde edilen olay verilerine, KF yöntemi uygulanarak özellik vektörü oluşturulmuş ve US kullanılarak güç kalitesi olaylarının türleri belirlenmiştir. [48]'de; güç kalitesi olaylarına etkin değer verileri ve US kullanılarak, bir güç kalitesi olay tanıma sistemi önerilmiştir. [49]'da; arıza ve anahtarlama olayları sonucunda, sistem geriliminde ne tür bir bozulma meydana geldiği incelenmiş ve sistemde meydana gelen tekli ve çoklu arızaların sınıfları hakkında çalışmalar yapılmıştır. [50]'de; hem doğrudan güç sisteminden hem de ATP/EMTP kullanılarak elde edilen geçici durum olaylarının, ESPRIT ve KZFD yöntemleri ile analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada, güç sistemlerinde meydana gelen geçici rejim olaylarının türleri ve etkileri hakkında kapsamlı bilgiler verilmiştir. [46]'da; hem güç sisteminden elde edilen güç kalitesi olay verilerine hem de MATLAB SimPowerSystems benzetim araç kutusundan elde edilen yapay güç sistemi olay verilerine, etkin değer ve KZFD yöntemleri uygulanmıştır. Bu verilerle, her faz için 24 özellik olmak üzere toplam 72 özellikli bir sınıflandırıcı giriş vektörü oluşturulmuş ve DVM kullanılarak güç sistemi olayları sınıflandırılmıştır. [51]'de; güç sistemi olayları ve olayların segmentasyonu hakkında kapsamlı bilgiler verilmiş ve [46]'daki gibi özellik vektörü oluşturulmuştur. Sınıflandırıcı olarak, US ve DVM yöntemleri kullanılarak elde edilen sınıflandırma sonuçları karşılaştırılmıştır.

Güç kalitesine yönelik olayların belirlenmesi için yapılan diğer çalışmalarda ise araştırmacılar, özellikle farklı işaret işleme ve yapay zeka tekniklerinin olay tanımada kullanımlarını incelemişlerdir. Güç kalitesi olaylarını tanıma için yapılan ilk çalışmalardan birisi olan [52]'de, kural tabanlı bir US yaklaşımı önerilmiştir. [53]'te; akıllı güç kalitesi olay tanımada, özellik çıkarımının önemli bir aşama olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, DD'nin kullanımını ve olay türleri için en uygun dalgacık fonksiyonunun seçimini incelenmiştir. [30]'da; güç kalitesi olaylarının tespit edilmesi ve sınıflandırılması için KF ile DD tekniklerinin birlikte kullanıldığı bir tanıma sistemi önerilmiştir. [36]'da, güç kalitesi olaylarına kovaryans analizi uygulanarak özellik vektörü oluşturulmuş ve yüksek dereceli istatistikler yöntemi kullanarak olay türleri belirlenmiştir. [54]'de; gürültü içeren bir güç kalitesi olayının tespit edilmesi ve sınıflandırılmasındaki başarımın düşük olacağı belirtilmiştir. Bu nedenle önerilen güç kalitesi olaylarını tespit eden tanıma sisteminde, DD katsayılarına bir gürültü süzme tekniği uygulanmıştır.

1.3. Tezin Amacı ve Organizasyonu

Bu tez çalışmasının hareket noktası, günümüzde birçok mühendislik uygulamasında olduğu gibi, güç sistemleri alanında da yapılan çalışmaların örüntü tanımaya dayalı makine öğrenme sistemlerine yönelmesinden gelmektedir. Güç kalitesi alanında, özellikle arıza türleri ve güç kalitesi bozulma türleri için tanıma sistemleri tasarlama çalışmalarına odaklanıldığı görülmektedir [13, 25, 35, 38, 55, 56]. Ayrıca, literatürde olay tanıma sistemleri üzerine yapılan çalışmalarda genellikle ya tek faz gerilimi ya da hem gerilim hem de akım sinyalleri kullanılmaktadır [36, 52, 53].

Bu tez çalışmasında, güç kalitesi bozulma türlerinin sebebi olan olayları belirlemeye yönelik; etkili, güvenilir ve güçlü yapıya sahip bir akıllı olay tanıma tekniği geliştirilmesi amaçlanmıştır. Burada önerilen akıllı güç sistemi olay tanıma tekniğinde giriş verisi olarak, olaylara ait üç faz gerilim sinyallerinden elde edilen veriler kullanılmıştır. İlk olarak üç faz olay verilerine, normalizasyon ve segmentasyon işlemi uygulanmıştır. Böylece, her bir olay verisi için 3 periyotluk bir veri boyutu elde edilmiş ve bu birim genlikli değerleri ile tanımlanmıştır. Daha sonra üç faz olay verilerine, DD yöntemi ve iki aşamalı özellik çıkarım yöntemi uygulanarak, olayı temsil eden ve veri boyutu indirgenmiş etkili bir özellik vektörü elde edilmiştir. Son olarak bu özellik vektörü, DVM sınıflandırıcı girişine uygulanmış ve tanıma sistemi çıkışında olay sınıfı belirlenmiştir. Gerçek ve yapay olay verileri kullanılarak, tasarlanan tanıma sisteminin performansı değerlendirilmiştir.

Bu tezde, önerilen akıllı olay tanıma sisteminin performansı değerlendirmek için üç farklı veri kümesi kullanılmıştır. Birinci olay kümesi, GKMP'nin ülkemize ait orta ve yüksek gerilim hatlarından elde ettiği, gerçek olay verilerinden oluşmaktadır [57, 58]. Bu olaylar tez içerisinde, GKMP olay verileri olarak adlandırılmıştır. İkinci olay kümesi, bu tez çalışması içerisinde tamamlanan FÜBAP 1605 no'lu proje kapsamında güç kalitesi analizörü kullanarak elde edilen olay ölçüm verileridir [59, 60]. Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü yanındaki Transformatör (FÜMET) binasında yapılan güç kalitesi izleme ölçümlerinden elde edilen olay verileridir. Bu olaylar tez içerisinde, FÜMET olay verileri olarak isimlendirilmiştir. Üçüncü ve son olay veri kümesi ise, ATP/EMTP benzetim programı kullanılarak bir güç sisteminin modellenmesiyle elde edilen yapay olay verilerden oluşmaktadır [61, 62]. Bu olaylar da tez içerisinde, ATP/EMTP olay verileri olarak adlandırılmıştır.

Bu tez çalışmasının ikinci bölümünde, önce harmonik analizinde kullanılan FD, daha sonra önerilen akıllı olay tanıma tekniğinin özellik çıkarım aşamasında kullanılan, DD anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, akıllı tanıma sisteminin sınıflandırma aşamasında kullanılan DVM ve temelini oluşturan istatistiksel öğrenme teorisi ile YSA'lar hakkında bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde, güç sistemlerinde meydana gelen olay türleri ve özellikleri ile ilgili bilgiler sunulmuştur. Ayrıca, FÜMET olay verilerinin ölçüm sonuçlarına da yer verilmiştir.

Beşinci bölümde, önerilen akıllı olay tanıma tekniğinde kullanılan DD'ye dayalı özellik çıkarım yöntemlerine yer verilmiştir. Giriş verisi olarak kullanılan her bir güç sistemi olay verileri için, çok çözünürlüklü DD analiz sonuçları gösterilmiştir. Ayrıca, üç faz olay verilerine ait çok çözünürlüklü DD katsayılarına, iki özellik çıkarım aşamasının uygulanması sonucunda elde edilen özellik vektörlerindeki değişimler de gösterilmiştir.

Altıncı bölümde, önerilen tekniğin aşamaları hakkında bilgiler verilmiştir. Bu bölümde üç farklı olay kümeleri kullanılarak, olay tanıma sonuçları elde edilmiştir. Ayrıca önerilen tekniğin; gürültülü ortamlara karşı, YSA sınıflandırıcıya göre ve benzer çalışmalara göre, performans değerlendirmesine de yer verilmiştir.

Yedinci bölümde, tezin sonuçları irdelenmiş ve orijinal katkılar vurgulanmıştır.

Sekizinci bölümde, ileriye dönük uygulama alanları ve öneriler tartışılmıştır.

2. DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ YÖNTEMİ

Bu tezde, güç sistemi olay işaretleri için düşük veri boyutlu ve ayırt edici bir özellik vektörü elde etmek için her bir olay işaretine, DD işaret işleme yöntemi uygulanmıştır. DD, birçok avantajlara sahip olan ve son yıllarda örüntü tanıma sistemlerin temelini oluşturan önemli bir işaret işleme yöntemidir [15, 20, 63].

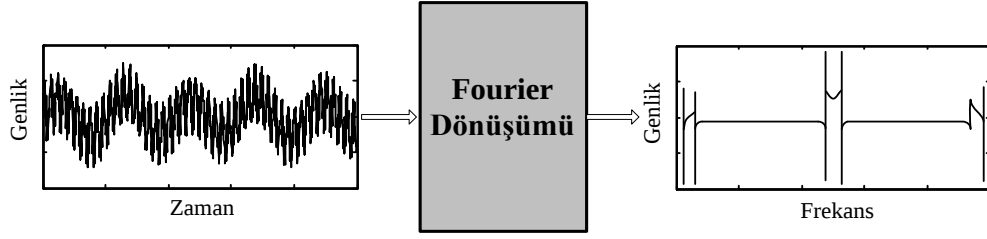
Dalgacık terimi ilk olarak 1909 yılında, A.Haar'ın tezinin bir ekinde yer almıştır [64]. DD'nin tanımlanması ise 1984'de Grossman ve Morlet'in çalışmaları ile başlamıştır [65]. Daha sonra 1989'da Stephane Mallat sayısal işaret işleme ile ilgili çalışmalarında Dalgacık'a yer vermiş ve çalışmaları günümüzde birçok uygulamanın temeli olmuştur [43]. 1990'lı yılların başlarında, Ingrid Daubechies günümüz Dalgacık uygulamalarında en çok kullanılan Dalgacık orthonormal baz fonksiyon takımını geliştirmiştir [66].

Dalgacıklar, belirli matematiksel ihtiyaçları karşılayan ve işareti temsil etmede kullanılan fonksiyonlardır. Bununla birlikte, işarete bakmak için kullanılan ölçek de dalgacık analizinde özel bir rol oynar. Dalgacık algoritmaları, veriyi farklı ölçek veya çözünürlüklerde işler. Geniş bir pencereden bir işarete bakıldığında büyük özellikleri fark edilirken, küçük bir pencereden bir işarete bakıldığında da küçük özellikleri fark edilir [67].

Bu tezde, olay işaretlerinin harmonik analizlerinin yapılması için FD yöntemleri kullanılmıştır. Fakat, işaret ve görüntü işleme uygulamalarında FD'ye göre daha etkin bir yöntem olan DD tercih edilmektedir. Bu bölümde, önce FD ve daha sonra DD hakkında bilgiler verilecektir.

2.1. Fourier Dönüşüm Yöntemleri

FD yöntemi, basit bir ifadeyle, işaretleri değişik frekanslardaki sinüs dalgalarına ayırır. Başka bir ifadeyle, FD ile zaman bölgesindeki bir işaretin, frekans bölgesindeki karşılığı elde edilir (Şekil 2.1).



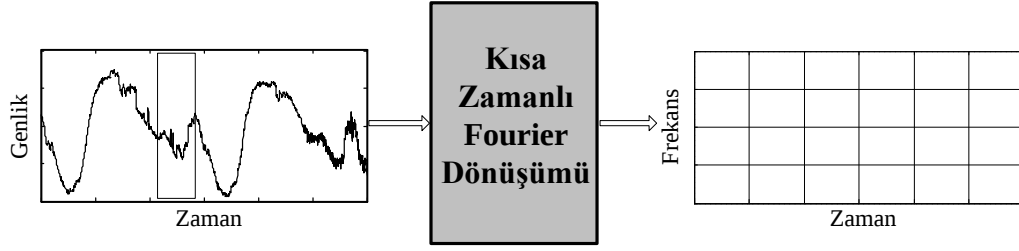
Şekil 2.1. Fourier dönüşümü

19. yüzyılda Fourier, herhangi bir periyodik fonksiyonun sonsuz sayıdaki karmaşık üstel fonksiyonların toplamıyla ifade edilebileceğini söylemiştir. Fourier dönüşümü sonuçları, frekans bileşenlerinin yerel zaman, başlangıç veya bitiş bilgileri hakkında kesin veriler sağlamaz. Çünkü bu bilgi, Fourier spektrumu boyunca yayılmıştır yani Fourier dönüşümü ancak genel bir bakış sağlar. Bundan dolayı, durağan işaretlere uygulanmaları halinde en iyi sonuç verir. Durağan bir $x(t)$ işaretine uygulanabilecek en uygun dönüşüm, zaman-frekans etki yöresinde bir ilişki sağlayan Fourier dönüşümüdür. Fourier dönüşüm çifti, (2.1) ve (2.2) ile tanımlanır.

$$F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt \quad (2.1)$$

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(j\omega)e^{j\omega t} d\omega \quad (2.2)$$

Burada, durağan bir $x(t)$ işareti sonsuz zaman aralığında tanımlı sinüsoidal taban işlevleri ile frekans bölgesinde gösterilmektedir. Ancak, bu dönüşüm sırasında zaman bilgisi kaybolur. Yani, işaret içerisindeki farklı frekansların, hangi zaman diliminde var olduğu kestirilemez. Bu durum, durağan işaretler için önemli değildir. Fakat, durağan olmayan işaretler açısından problem oluşturmaktadır. Bu olumsuzluğu gidermek için, pencereleme işlemiyle işaret küçük çerçevelere ayrılır ve çerçeve içinde kalan kısa süreli işaretlerin durağan olduğu kabul edilerek, her çerçeve için FD hesaplanır (Şekil 2.2). Bu işleme, KZFD adı verilir [32, 68, 69].



Şekil 2.2. Kısa-zamanlı Fourier dönüşümü

KZFD, işareti zaman ve frekansın iki boyutlu bir işlevi olarak haritalar. Durağan olmayan bir $x(t)$ işareti için KZFD,

$$\text{KZFD}(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) w(t - \tau) e^{-j\omega\tau} d\tau \quad (2.3)$$

şeklinde tanımlanır. Burada, $w(t - \tau)$: bir kayan pencere fonksiyonudur. Literatürde kullanılan pencereler; Barlet, Blackman, dikdörtgen, Chebyshev, Hanning, Hamming, Kaiser ve Üçgen olarak isimlendirilirler [21]. Bu pencerelerin görevi, zaman ekseninde yer tayin etmektir. Pencereleme işlemi, sabit genişlikli pencereleme olarak tanımlanır ve zaman çözünürlüğü tüm spektral içerikler için aynı değere sahiptir.

KZFD, işaretin zaman ve frekans eksenindeki durumunun bileşkesini verir. İşaretin, hangi zaman diliminde hangi frekansa sahip olduğuna dair bilgiler sunar. Ancak, bu bilgiler pencereleme boyutuyla sınırlı bir hassasiyete sahiptir. İşaretin spektrumunda yer alan düşük ya da yüksek tüm frekans bileşenleri, aynı zaman penceresinde incelenebilir. Bununla birlikte, konuşma işaret ve benzeri işaret çeşitlerinde, zaman ya da frekans bilgisinin daha hassas belirlenmesi gerektiği için KZFD yetersiz kalmaktadır. KZFD’de zaman ve frekans bilgilerinin elde edilmesi, pencerenin genişliğiyle ilgilidir. KZFD’nin dezavantajı, zaman bölgesinde uygulanan pencerenin uzunluğunun hep sabit olmasıdır. Bu durum, pencerenin bütün frekanslar için aynı kalması anlamına gelir. Bu durumlar nedeniyle, görüntü ve işaret işleme de daha esnek bir yapıya ihtiyaç duyulmaktadır. DD, gerekli olan bu esnekliği sağlamak için kullanılan bir dönüşüm tipidir.

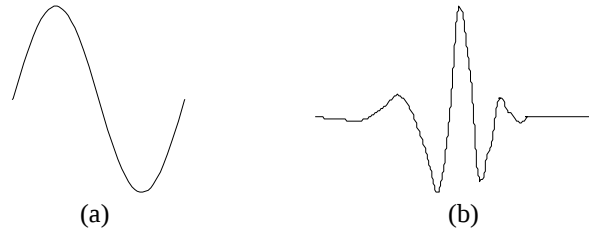
2.2. Dalgacık Dönüşümü Yöntemleri

DD, FD gibi işareti küçük parçalara ayırır (Şekil 2.3). Ancak, FD bu işlem için sonsuz uzunlukta olduğu varsayılan ve değişik frekanslardaki düzenli sinüs dalgalarını (Şekil

2.4.(a)) kullanırken, DD’de ana dalgacık adı verilen sınırlı süreli, düzensiz ve asitmetrik işaret parçalarının, ölçeklenmiş ve kaydırılmış hallerini (Şekil 2.4.(b)) kullanır. Şekil 2.4’den görülebileceği gibi, işaretlerdeki kısa süreli ve keskin değişiklikler, pürüzsüz ve düzgün bir sinüs dalgasından ziyade düzensiz bir dalgacık ile daha iyi analiz edilebilir. Bir başka deyişle, DD daha iyi zaman-frekans lokalizasyonu sağlar.



Şekil 2.3. Dalgacık dönüşümü



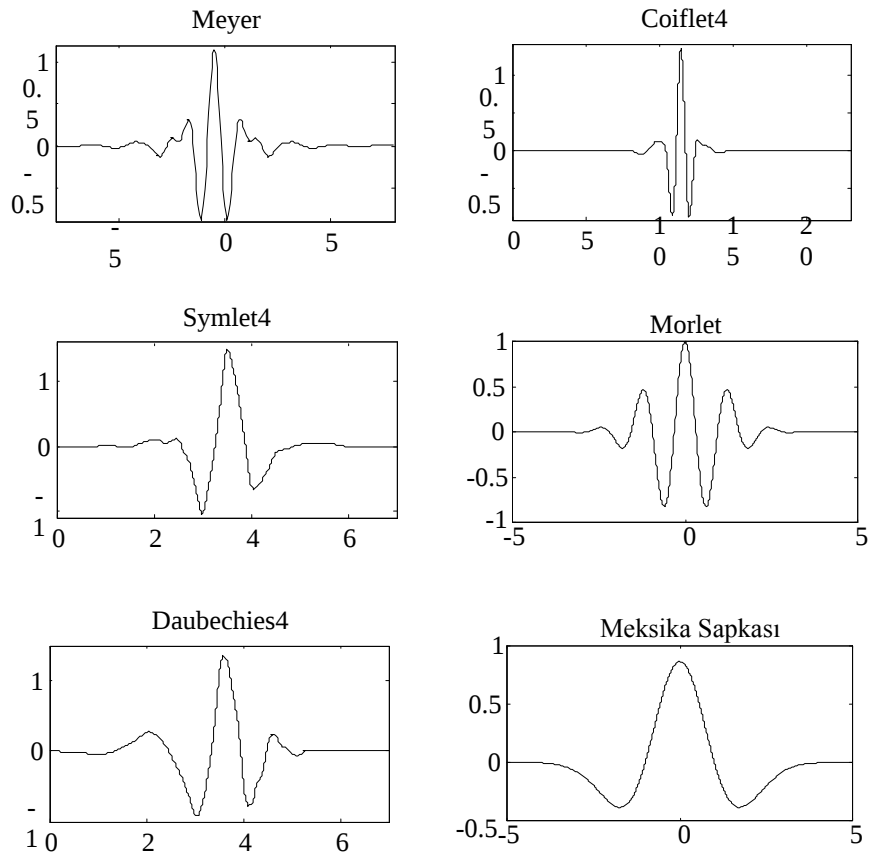
Şekil 2.4. (a) Sinüs dalgası ve (b) Dalgacık (Daubechies-4)

DD, işaretin ölçeklenebilir bir zaman-frekans gösterimi ile analizini sağlar ve geleneksel işaret işleme teknikleri tarafından görülmeyen detayları ortaya çıkarır. KZFD’ nin sınırlamalarından biri olan, kullanılan pencerenin sabit olması DD’de ölçeklenebilir bir pencere ile giderilmiştir. Böylece, işaret içindeki düşük frekans eğilimlerini açmak için geniş bir pencere, yüksek frekans detaylarını analiz etmek için sıkıştırılmış bir pencere kullanılır. Bunun için, DD ölçeklenebilir temel bir dalgacık fonksiyonu kullanıp sabit çözünürlük problemine çözüm getirerek, işaretin farklı çözünürlüklerde daha esnek bir zaman bölgesi analizini yapar. DD zaman-ölçek yöntemine dayalı olduğu için, odağa tam olarak ayarlanarak işaretin farklı kısımlarını gözetleyebilen bir matematik mikroskobu gibi davranır. Dalgacık analiz metotlarının, geleneksel metotlara göre üstünlükleri şunlardır:

- Frekans spektrumundaki farklı bölgeler için, daha kolay farklı frekans çözünürlükleri seçebilir.

- Eğer analizde spektrumdaki birkaç frekans bandı kullanılacaksa, tüm spektrumu hesaplamaya gerek yoktur.
- Spektrumun düşük frekans kısımlarında, DD oldukça hızlıdır.

Bu özelliklerinden dolayı, DD'nin durağan olmayan işaretlerin daha esnek zaman-frekans gösterimlerinin elde edilmesinde etkili bir araç olduğu, literatürde belirtilmiştir [21, 70-72]. Şekil 2.5'de, yaygın olarak kullanılan dalgacık fonksiyonlarından bazıları verilmiştir.



Şekil 2.5. Yaygın olarak kullanılan bazı dalgacık fonksiyonları

2.2.1. Sürekli Dalgacık Dönüşümü

Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD); sıkıştırmalar, genişlemeler ve dönüşümler ile tüm zaman ve ölçeklerdeki işaretler ile ana dalgacık arasında uygunluk sağlar.

$$\text{SDD}(a, b) = - \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (2.4)$$

Burada; $x(t)$: işaret, $\psi(t)$: dalgacık, b : öteleme (zaman) parametresi olup farklı frekans seviyelerinde ayrışım filtrelerini tanımlar ve a : ölçekleme (frekans) parametresi olup her seviye için ayrışım filtrelerini ölçeklendirir.

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

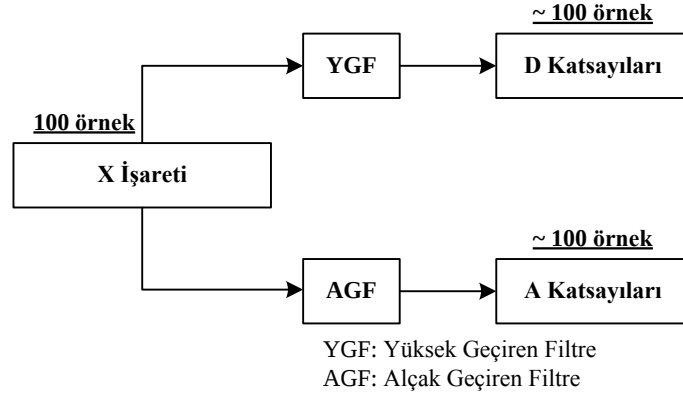
2.2.2. Ayrık Dalgacık Dönüşümü

SDD'nin hesaplama yükü ve dönüşümü sağlamak için kullandığı bilgi miktarı, oldukça büyüktür. Daha etkili bir yol Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) olup, ana dalgacığın sadece belirli genişlemelerinde işarete bakar. ADD'de, 2^n 'nin katları halinde ölçekler ve ötelemeler seçilerek daha etkin ve doğru analizler elde edilir. ADD'de, a ölçek parametresi ve b dönüşüm parametresinin ayrık değerleri ele alınır.

SDD, sonsuz sayıda girişe ihtiyaç duyduğundan bilgisayar analizi için uygun değildir. Bilgisayar analizleri için (2.5)'deki ADD kullanılır.

$$ADD(m, n) = 2^{-m/2} \int x(t) \psi(2^{-m}t - n) dt \quad (2.5)$$

Burada; m : ölçeklemeyi (frekansı) ve n : ötelemeyi (zamanı) gösterir. Bu işlemi gerçekleştirmek için uygulanan etkin bir yol, 1989'da Mallat tarafından filtreler kullanılarak geliştirilmiştir [43]. Mallat algoritması, işaret işleme yöntemleri arasında, iki-kanal alt bant kodlayıcı olarak bilinen klasik bir yoldur. Bu işlem, hızlı DD yapan çok pratik bir filtre algoritmasıdır. DD'nin bu filtre algoritmasında yaklaşıklar; yüksek ölçekli ve düşük frekanslı bileşenleri göstermektedir. Detaylar ise; düşük ölçekli ve yüksek frekanslı bileşenleri temsil etmektedirler. Böylece, incelenecek bir X işareti, Şekil 2.6'da verildiği gibi birbirini tümleyen alçak ve yüksek geçiren filtrelerden geçirilerek, alçak A ve yüksek D frekanslı bileşenlerine ayrıştırılır.



Şekil 2.6. Ayrık dalgacık dönüşümünün tek seviyeli filtre algoritması

Sayısal bir işaret üzerinde DD analizi yapıldığında, başlangıçtaki işaretin örnek sayısından, yaklaşık iki kat fazla veri ortaya çıkmaktadır. Şekil 2.6'dan da görüldüğü gibi, 100 örnekle bir X işareti için her bir filtre çıkışında 100 örnek olmak üzere, yaklaşık 200 örnek elde edilebilir. Bu veri sayısını önlemek için, her bir filtre çıkışında örnekleme frekansı genellikle yarıya düşürülür.

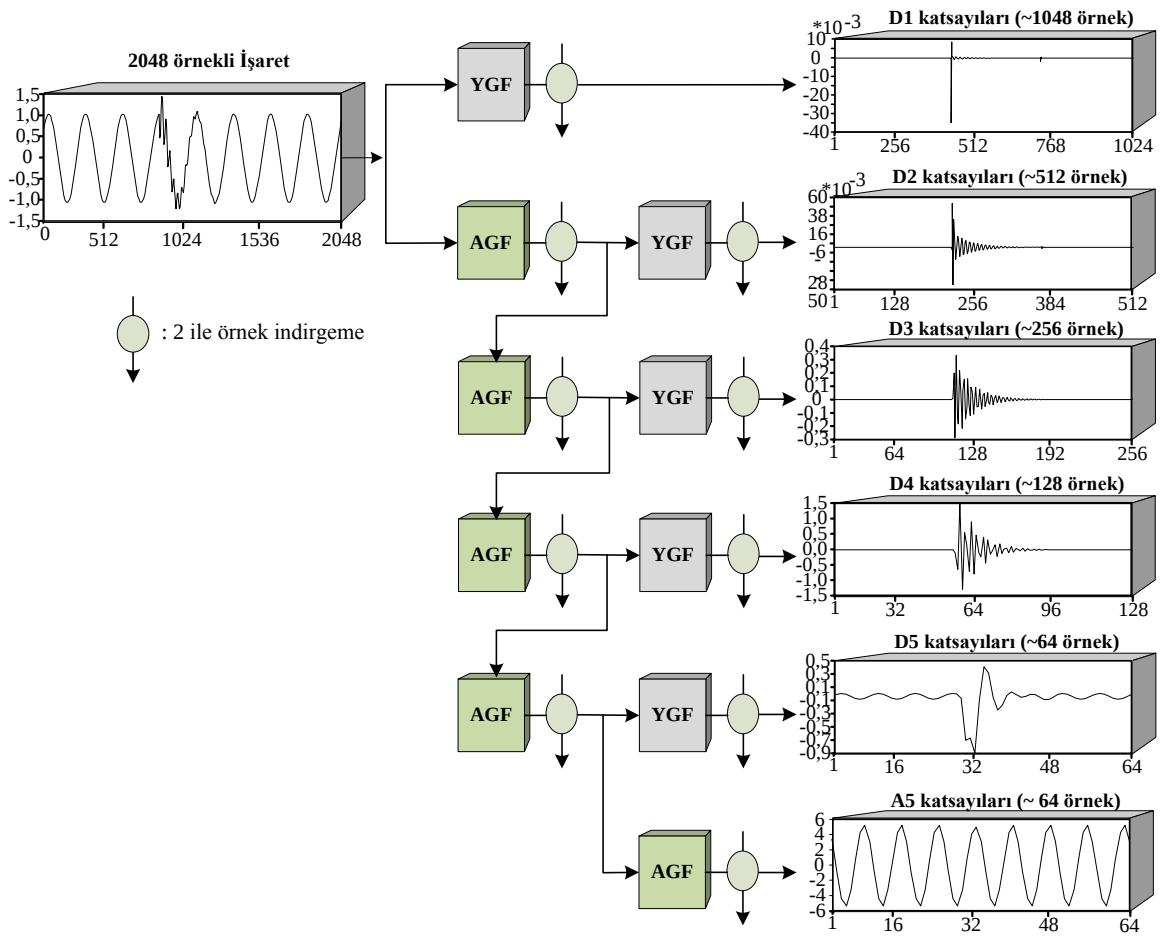
ADD'de, işareti ikiden fazla alt frekans bantlarına ayırma işlemi de gerçekleştirilebilir. Bu işleme, çok çözünürlüklü ayrıştırma denir. Böylece, incelenecek işaret daha az çözünürlüklü birçok alt bileşene ayrılacaktır. Bu ayrıştırma işlemi, işaretin yaklaşım bileşeni aynı işlem ile tekrar alt bantlarına ayrıştırılması ile gerçekleştirilir. Bu ayrıştırma işleminde, ayrıştırmanın tekrarlamalı olmasından dolayı, teoride bu işlem sınırsız olarak devam ettirilebilir. Fakat gerçekte ayrıştırma ancak, detaylar bir tek örneğe veya bir tek piksele denk düşene kadar devam ettirilebilir. Uygun bir seviye seçiminin belirlenmesinde, işaretin yapısı ve her bir bileşenin frekans bant seviyeleri dikkate alınmalıdır.

Şekil 2.7'de, 2048 örnekle bir kapasitör anahtarlanması olay işaretinin alçak ve yüksek geçiren filtreler yardımıyla alt bant frekans bileşenlerine (yaklaşık ve detaylarına) ayrılması işlemi verilmiştir. Bu ayrıştırma işleminde, olay işaretine 5 seviyeli çok çözünürlüklü ayrıştırma uygulanmıştır. İncelenen X işareti, örneğin beşinci seviyede yaklaşık ve detay bileşenleri cinsinden ifade edilmek istenirse,

$$X = A5 + D5 + D4 + D3 + D2 + D1 \quad (2.6)$$

olur. Burada; D1, D2, D3, D4 ve D5 her seviyenin yüksek frekans bantlarının detay katsayılarını, A5 ise düşük frekans bantının yaklaşık katsayısını temsil etmektedir. Her

frekans bandı ayrı şekilde analiz edilebilir. Ayrıca, yeni bir işaret sentez etmek için tekrar birleştirilebilir. Bu ayrıştırma işleminin her bir filtre çıkışında, örnek sayısında yarıya indirgeme işlemi yapılmıştır. İncelenen işaret, 50 Hz'lik bir temel frekansa sahiptir ve yaklaşık olarak 500 Hz'lik bir geçici durum bozulması içermektedir. Yapılan çok çözünürlüklü ayrıştırma sonucunda; en düşük frekans bant seviyesini temsil eden A5 ayrıntı katsayıları, yaklaşık olarak temel işaret örneklerini; diğer detay katsayıları ise yaklaşık olarak işaretin içerdiği geçici durum bozulma örneklerini içermektedir.



Şekil 2.7. Bir kapasitör anahtarlama olayı için beş seviyeli dalgacık çözünürlük ağacı

3. İSTATİSTİKSEL ÖĞRENME TEORİSİ VE SINIFLANDIRMA

Bu bölümde önce, yapay zeka çalışmalarının temel yapısını oluşturan istatistiksel öğrenme teorisi hakkında bilgiler verilecektir. Daha sonra, bu tezde önerilen güç sistemi olay tanıma tekniğinde kullanılan DVM sınıflandırıcılar anlatılmıştır. Ayrıca, literatürde birçok çalışmada kullanılan ve bu tezde de referans sınıflandırıcı olarak seçilen YSA sınıflandırıcılara da yer verilmiştir.

Sınıflandırma, bilinmeyen bir veri örneğinin sonlu sayıda sınıftan hangisine ait olduğunun tahmin edilmesi işlemidir. Sınıflandırma işleminin amacı, sınıf özellikleri ve çıkış özellikleri arasındaki bazı ilişkilerin keşfedilerek, bu ilişkiler ile sınıflandırılmamış yeni bir veri örneğinin sınıf etiketini tahmin etmek için kullanmaktır [73].

Birçok makine öğrenmesi, veri madenciliği ve istatistiksel veri analizi metodunun temel amacı, verilerden veya örneklerden öğrenmedir. Son yıllarda; sistemlerin kontrolü ve modellenmesi, örüntü tanıma ve regresyon analizi gibi çok çeşitli alanlarda makine öğrenmesi uygulamaları, yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle YSA, bu tür çalışmalarda en sık kullanılan öğrenme makineleri arasında yer almasına rağmen, bu tür yöntemlerin bazı eksiklikleri mevcuttur. Bu eksikliklerin başında, yeterince eğitim verisine sahip olma ihtiyacı, düşük yakınsama oranı, yerel minimuma takılma problemi, fazla uyum ve eksik uyum problemleri gelmektedir. Bu problemlerin çoğu geleneksel yöntemlerin Deneysel Risk Minimizasyonuna (DRM'na) bağlı olarak çalışmasından kaynaklanır. DVM, Yapısal Risk Minimizasyonu (YRM) prensibine bağlı olarak öğrendiğinden dolayı, bu problemlerin çoğunu aşmıştır.

3.1. İstatistiksel Öğrenme Teorisi

Genel anlamda veriden öğrenme; sonlu sayıda eğitim verisi kullanan, tahmin fonksiyonunun öğrenilmesini sağlayan, öğrenme makinesi veya algoritmanın oluşturulması olarak tanımlanır. Öğrenme işlemi genel olarak; sınıflandırma, regresyon, kümeleme ve nitelik çıkarma gibi işlemleri kapsar.

İstatistiksel öğrenme kuramında öğrenme, aşağıdaki gibi tanımlanmıştır: Elimizde bilinmeyen $P(z)$ olasılık dağılımından çıkarılan $Z^L = \{z^1, \dots, z^L\}$ eğitim örnekleri varsa,

test örneklerini (yani, onlara ait olan etiketleri veya sistem çıkışlarını) tahmin eden $\ell(Z^L, w)$ işlevler kümesinden, en iyi $\ell(Z^L, w_L^*)$ işlevini belirleyen en uygun parametre kümesi w_L^* 'ı bulmaktır. Burada; $w \in W$, $\ell(Z^L, w)$ işlevler kümesinin parametreleri ve W ise tüm parametre kümelerini içerir.

Bu aşamada akla gelen ilk soru, en uygun işlevin ve parametre kümesinin nasıl ve hangi kriterlere göre belirleneceğidir. İstatistiksel öğrenme kuramında, en uygun işlev ve parametre kümesi (3.1) ile verilen risk işlevi minimum yapılarak elde edilir.

$$R(w) = \int f(z, w) dP(z) \quad w \in W \quad (3.1)$$

Burada; $f(z, w)$: sistem çıkışı olup $\ell(Z^L, w)$ işlevi arasındaki kaybı belirten işlevler kümesidir ve uygulama türüne göre farklı bir işlev ile gösterilir.

Örüntü tanıma problemlerinde veri, $z = (x, y)$, $x \in \mathcal{R}^n$ giriş ve çıkış çiftiyle gösterilir. Öğrenme sisteminin çıkışı y ve gösterge işlevler kümesi $\ell(x, w)$, sadece sıfır ve bir değerini alır. Dolayısıyla, çıkış ve işlev kümesinin değeri birbirinden farklı ise sınıflandırma hatalı ve bir (1) değerini alır, aksi durumda sıfırdır (0). Öğrenme problemi, olasılık dağılımı $P(x, y)$ bilinmediği ve sadece eğitim örnekleri verildiği zaman sınıflandırma hata olasılığını minimum yapan bir işlev bulmaya dönüşür. Bu nedenle, uygun bir kayıp işlevi (3.2)'deki gibi seçilebilir.

$$L(y, \ell(x, w)) = \begin{cases} 0 & y = \ell(x, w) \\ 1 & y \neq \ell(x, w) \end{cases} \quad (3.2)$$

Klasik olarak, eğitim anında sadece mevcut eğitim kümesi üzerindeki hata minimize edilir. En uygun işlevi seçmek için bu tanım, DRM olarak tanımlanır. DRM ile risk işlevi

$$R_{\text{dny}}(w) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L f(z_i, w) \quad (3.3)$$

ile tanımlanır. Kısaca deneysel riski minimize yapan $f(z^i, w_L)$ ile en iyi kayıp işlevi $f(z^i, w^*)$ 'ye yaklaşılr. DRM ile gelecek test örnekleri üzerinde en az hataya götürdüğü varsayılır. Fakat bu, genellikle doğru değildir. Hesapsal öğrenmede en temel problemlerden birisi, deneysel ve gerçek risk arasındaki ödünleşimin nasıl olacağıdır. Bu problemin çözümü farklı öğrenme kuramları ve öğrenme algoritmaları ile farklı tarzlarda

yapılabilir. Örneğin; düzenlileştirme (cezalandırma), radyal tabanlı işlevsel ağlarla öğrenme için; erken durdurma, geriye yayımlı YSA'larla öğrenme için; bayes, model seçiminde bayes tabanlı ağlar ile öğrenme için ve YRM, DVM'lerle öğrenme için genelleme başarımını göz önüne alan yöntemler olarak gösterilebilir [74].

En küçük kareler hesabı gibi bazı geleneksel yaklaşımlar, (3.4)'de verilen prensibi temel alırlar. Bu prensip; YSA, bulanık mantık gibi geleneksel metotlar tarafından referans alınmaktadır.

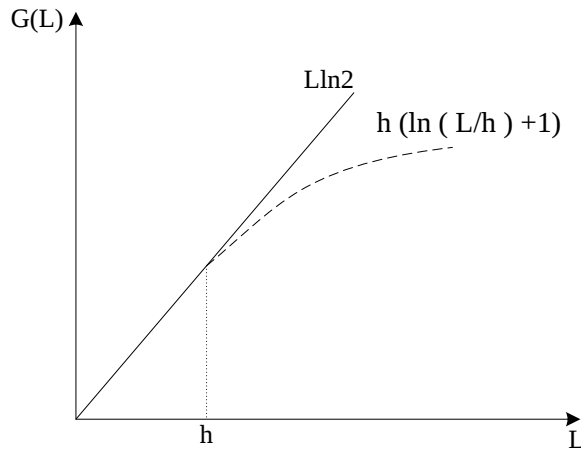
$$\lim_{L \rightarrow \infty} (R(\alpha) - R_{\text{dny}}(\alpha)) = 0 \quad (3.4)$$

Bu prensibe göre, L değeri sonsuza giderken, deneysel risk değeri beklenen risk değerine yaklaşmaktadır. Her ne kadar bu prensip deneysel riski minimum yapan fonksiyonu garanti altına almasa da, beklenen riski minimum yapan fonksiyona veya gerçek riske yakınsar [75].

YRM tümevarımsal prensibi ve VC teorisi, istatistiksel öğrenme teorisinde önemli bir yere sahiptir. YRM, küçük örneklem kümelerinden öğrenme ile ilgili uygulamalarda yararlı olan yeni bir tümevarımsal prensiptir [75]. Olasılıkta tek düzenli yakınsama, öğrenme makineleri için beklenen risk ile deneysel risk arasındaki sapma değerine bir sınır getirir [76]. İstatistiksel öğrenme teorisinde ancak, yakınsama fonksiyonları kümesini daha küçük bir hipotez uzayında kısıtlayarak ve aynı zamanda bu yakınsama fonksiyonlarının esneklik ve karmaşıklıklarını da kontrol ederek, bu sınırlar minimum tutulabilir. Bu yüzden YRM prensibi ve VC teorisindeki temel fikir; çok sayıda aday model arasından beklenen risk veya genelleme hatasını minimum yapacak doğru oranda karmaşıklığa sahip (deneysel riski ve yakınsama fonksiyonlarının karmaşıklığını aynı anda minimum yapan) modelin seçilmesidir. Böylece, seçilen optimum öğrenme makinesi verilen eğitim kümesi için en uygun kapasiteye sahip olacaktır. Bu fikir, sınıflandırma veya regresyon işlemleri gerçekleştirilirken meydana gelen fazla uyum ve eksik uyum problemlerinin analizinde de gözlenebilir. Eğer amaca uygun ve küçük bir veri kümesi ile çalışılıyorsa, fazla uyum durumunun oluşması beklenir. Eğer basit bir yakınsama fonksiyonu yetersiz bir şekilde kullanılıyorsa, veri ile uygun yakınsama fonksiyonu arasındaki sapma çok büyük olabilir. Bu durumda da, eksik uyum durumu oluşabilir. Bu nedenle, deneysel riskin veya eğitim hatasının minimum tutulması, beklenen riskin veya genelleme hatasının küçük olmasını garanti edemez. Eksik uyum ve fazla uyum problemleri arasında, bir denge her zaman

mevcuttur. Bu denge noktası, düzenleyici bir parametre yardımıyla sağlanabilir. İstatistiksel öğrenme teorisinde, uygun fonksiyonun seçildiği fonksiyonlar kümesinin karmaşıklık kapasitesi VC boyutu kullanılarak tanımlanır.

VC boyutunu hesaplamada faydalı olan bir tanım, ayırıştırma temsildir. Eğer n tane örneklem temsilci fonksiyon kümesi tarafından mümkün 2^n durumun tümünde ayrılabilirse, bu durumda örneklem kümesinin fonksiyon kümesi ile ayırıştırılabildiği söylenir. Eğer h tane örneklem, bir fonksiyon kümesi tarafından ayırıştırılabiliyor ise, fakat $h+1$ tane örneklem bu fonksiyon kümesi tarafından ayırıştırılamıyor ise bu durumda fonksiyon kümesinin VC boyutu h olur. Bir başka ifadeyle, bir fonksiyon kümesi tarafından hatasız bir şekilde mümkün tüm durumları etiketlenebilen örneklem sayısı VC boyutudur. VC boyutu, DVM'nin teorik bakımdan temelidir. Hipotez uzayının karmaşıklığı veya H hipotez uzayının L sayıda örneklem üzerindeki açıklayıcı gücü bir yükselme fonksiyonu kullanılarak hesaplanabilir. Vapnik ve Chervonenkis (1971), n sayıda örnek için logaritmik bir yükselme fonksiyonu önerdiler. Şekil 3.1'deki gibi $n=h$ noktasında yükselme fonksiyonu eğrisi düşüşe geçer. Bu noktaya, VC boyutu denir. Eğer onun değeri sonsuz değilse, yükselme fonksiyonu yeterli örnek için doğrusal olarak artmaz [77].



Şekil 3.1. Yükselme fonksiyonunun davranış grafiği

YRM prensibi, genelleme hatası sınırlarını minimum tutmaya çalışır. Bu işlemi, yalnızca sonlu sayıda eğitim örneklerini kullanarak ve büyük sayıdaki aday modeller arasından en iyisini seçmek suretiyle gerçekleştirir. Bu şekilde, doğrudan gerçek hata oranını yansıtan beklenen risk fonksiyonunu minimum tutmaya çalışmak yerine, YRM ve VC teorisi kullanılarak hipotez uzayındaki en uygun hipotez seçilir. Fakat DRM, sonlu

sayıda ve genellikle birbirlerinden ayrık halde bulunan eğitim verilerine göre minimum tutulur. YRM prensibi, az sayıda örneklem içeren eğitime kümeleri için oldukça yararlıdır. Tersine, genellikle DRE mevcut eğitim verisi kümesinin küçük olduğu durumlara pek uygun değildir. Çünkü küçük deneysel risk, beklenen riskin küçük olmasını garantileyemez. YRM prensibini temel alan istatistiksel öğrenme teorisi, aynı anda hem deneysel riski hem de VC boyutunu minimum tutarak öğrenme makinesinin genelleme yeteneğini kontrol edebilir. Böylece, doğal olarak kaliteli bir yakınsama ile yakınsama fonksiyonunun karmaşıklığı arasında bir seçim yapabilme olanağı sunar. Başka bir ifadeyle, herhangi bir dağılıma sahip fonksiyon için YRM prensibi, en iyi çözüme yakınsama garantisi verir [78, 79]. Ayrıca genelleme hatasının üst sınırının analiz edilmesi, hızlı bir yakınsama ve dağılımdan bağımsız DRE öğrenme şekli ile ortaya çıkan yakınsama fonksiyonlarının VC boyutu değerinin de sonlu bir değer olduğunu işaret eder. Bu, istatistiksel öğrenme açısından çok önemli bir sonuçtur.

$$R(\alpha) \leq R_{\text{dny}}(\alpha) + \sqrt{\frac{h(\log(2L/h) + 1) - \log(\eta/4)}{L}} \quad (3.5)$$

Burada, h : VC boyutu ve η : $[0,1]$ aralığında bir değerdir. İstatistiksel öğrenme teorisi, öğrenme makinelerinin genelleme yeteneğini (3.5)'deki genelleme risk fonksiyonunu minimum tutarak kontrol eder. Bu işlem, fonksiyon kümesini mümkün olduğu kadar basit tutarken eğitim hatasının da minimuma ulaşması ile gerçekleştirilebilir [73, 77].

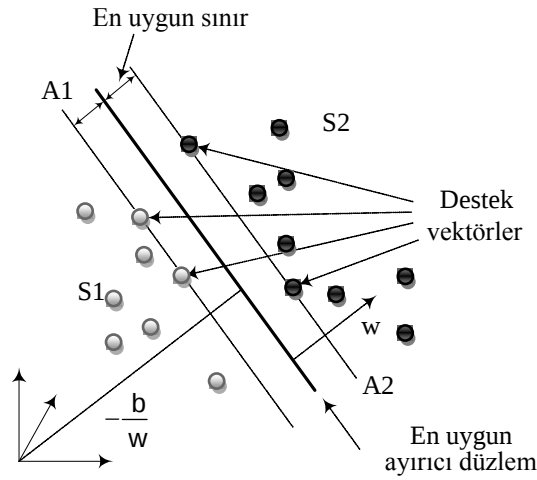
3.2. Destek Vektör Makineleri

DVM'ler sınıflama yaparken; diğer öğrenme makinelerinin tersine hem yapısal hem de deneysel risk minimum yapılarak, test örnekleri üzerinde de eğitim örneklerinininkine yakın bir başarımlar sağlar. Yapısal risk, yaklaşım işlevleri kümesinin VC-boyutu kontrol edilerek minimum yapılır. DVM, bu bahsedilen özelliğiyle genelleme yeteneğini geliştirir, küçük miktarda eğitim verisiyle öğrenebilir ve çoğunlukla genel optimuma ulaşabilir. DVM, güçlü bir algoritmik alt yapıya sahiptir. DVM'ler, destek vektör sınıflandırma olarak bilinen sınıflandırma işlemlerinde ve destek vektör regresyon olarak bilinen tahmin işlemlerinde kullanılır. DVM, yüksek boyutlu küçük sayıda veri içeren veri kümelerinde de

başarılıdır [80]. Yaklaşım işlevleri ise, (3.6)'daki ayrıştırıcı çok boyutlu düzlemler ile verilir.

$$\ell(\mathbf{x}) = \mathbf{w}^T \mathbf{x} + b \quad (3.6)$$

Şekil 3.2'de görüldüğü gibi iki sınıflı sınıflamada, $\mathbf{x} \in \mathcal{R}^n, y \in \{-1, 1\}$ olmak üzere $(\mathbf{x}^1, y^1), \dots, (\mathbf{x}^L, y^L)$ eğitim örneklerinin L örneği doğrusal olarak ayrılabilirse, karar sınırı olarak (3.6)'da verilen çok boyutlu düzlem kullanılır.



Şekil 3.2. Doğrusal olarak ayrılabilme durumu

Çok boyutlu ayrıştırıcı düzlemin (3.7) ve (3.8)'deki kısıtları sağlaması gerekir [81],

$$\mathbf{w}^T \mathbf{x}^i + b \geq 1 \quad \text{için } y^i = 1 \text{ ise} \quad (3.7)$$

$$\mathbf{w}^T \mathbf{x}^i + b \leq -1 \quad \text{için } y^i = -1 \text{ ise, } i = 1, \dots, L \quad (3.8)$$

veya bu eşitsizlikler için kapalı biçimde,

$$y^i [\mathbf{w}^T \mathbf{x}^i + b] - 1 \geq 0, \quad i = 1, \dots, L \quad (3.9)$$

olarak gösterilir. (3.7)'nin S1 sınıfını ayıran A1 ayrıcı düzlemini oluşturan eşitsizlik, (3.8)'in ise aynı şekilde S2 sınıfını ayıran A2 ayrıcı düzlemini oluşturan eşitsizlik olduğu kabul edildiğinde; A1 ayrıcı düzleminin orijine dik uzaklığı $1 - |b|/\|\mathbf{w}\|$ ve A2 ayrıcı düzleminin orijine uzaklığı $|-1 - b|/\|\mathbf{w}\|$ olacaktır. Bu iki ayrıcı düzlemin, en uygun ayrıcı

düzleme uzaklıkları ise $|1|/\|w\|$ kadardır. Bir başka ifadeyle, iki örnek kümesi arasındaki uzaklık A1 ve A2 ayırıcı düzlemlerinin birbirlerine paralel olmalarından dolayı $|2|/\|w\|$ kadardır. Burada, A1 ve A2 ayırıcı düzlemleri arasında eğitim verilerine ait hiçbir örnek bulunmadığına dikkat edilmelidir. Bu iki ayırıcı düzlem arasındaki maksimum uzaklık ise $\|w\|$ değerinin minimize edilmesiyle bulunabilir. DVM yöntemiyle yapılmaya çalışılan, bu iki ayırıcı düzlemin arasındaki uzaklığın (sınırın) maksimum olmasını sağlamaktır. Aralarındaki sınır maksimum olan ayırıcı düzlemlerin üzerinde yer alan noktalara ise destek vektörleri adı verilmektedir.

Bu iki düzlem arasında maksimum sınırın bulunması,

$$\frac{1}{2}\|w\|^2 \quad (3.10)$$

ile ifade edilir. (3.10) çözülecek problemi, (3.9) ise problemin çözümü sırasında kullanılan kısıtı ifade eder. Burada, $\frac{1}{2}$ katsayısı ve kare işlemi (3.11)'deki hesaplamalarda uygunluk için kullanılır. Ayrıca, bu ifade ikinci dereceden bir optimizasyon problemidir. Problemin çözümü için Lagrange formülasyonu uygulanabilir. Lagrange formülasyonunun uygulanmasının iki sebebi vardır. Birincisi Lagrange çarpanlarının hesaplanması daha kolaydır, ikincisi ise problemin doğrusal olmayan durum için de genelleştirilmesi daha uygundur [82]. Problemin Lagrange formülasyonu ise,

$$L_p = \frac{1}{2}\|w\|^2 - \sum_{i=1}^N \alpha_i y_i (w^T x_i + b) + \sum_{i=1}^N \alpha_i \quad (3.11)$$

şeklindedir. Bu formülasyonda, $\alpha_i \geq 0$ değerleri pozitif Lagrange çarpanları olarak adlandırılır. Ancak (3.11)'de ifade edilen formülasyonun çözülmesi, oldukça karmaşıktır. Çözümün bulunması için (3.11), Karush-Kuhn-Tucker (KKT) şartları kullanılarak ikili probleme dönüştürülmelidir. Bu problem için KKT şartları;

$$\frac{\partial L_p}{\partial w} = 0 \rightarrow w = \sum_i \alpha_i x_i y_i \quad (3.12)$$

$$\frac{\partial L_p}{\partial b} = 0 \rightarrow \sum_i x_i y_i = 0 \quad (3.13)$$

şeklindedir. Bu koşullar (3.11)'de yerine yazılacak olursa,

$$\begin{aligned}
L_p &= \frac{1}{2}(\mathbf{w}^T \mathbf{w}) - \mathbf{w}^T \sum_i \alpha_i y_i \mathbf{x}_i - b \sum_i \alpha_i y_i + \sum_i \alpha_i \\
&= -\frac{1}{2}(\mathbf{w}^T \mathbf{w}) + \sum_i \alpha_i \\
&= \sum_i \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j y_i y_j \mathbf{x}_i^T \mathbf{x}_j
\end{aligned} \tag{3.14}$$

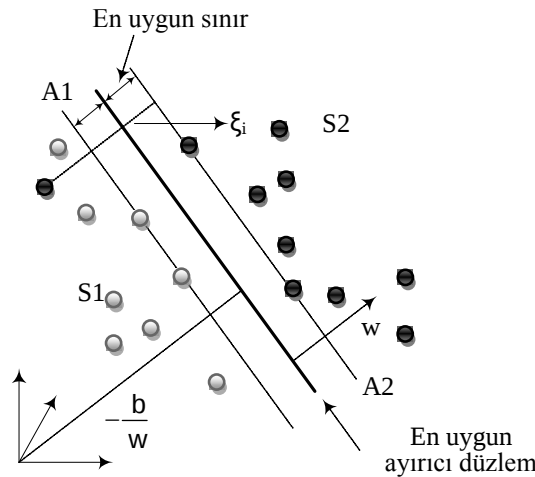
elde edilir. (3.14)'ün çözümü $\alpha_i \geq 0$ koşulları altında ikinci dereceden optimizasyon problemi ile gerçekleştirilir. Burada dikkat edilirse, her eğitim örneği için bir tane Lagrange çarpanının olduğu görülür. Çözümde elde edilen Lagrange çarpanlarının büyük çoğunluğunun değeri sıfır olacaktır. Geriye kalan $\alpha_i \geq 0$ değerli x_i örnekleri destek vektörlerdir ve A1 veya A2 ayırıcı düzlemlerinin üzerinde yer alırlar. Lagrange çarpanı sıfır olan örnekler ise A1 veya A2 ayırıcı düzlemlerinin arka taraflarında kalan örneklerdir.

Yukarıda belirtilen işlemler, eğitim örneklerinin tamamen ayrılabilir olması durumunda geçerlidir. Eğer, örnekler doğrusal olarak tamamen ayrılabilir durumda değilse, problemin çözümü için pozitif zayıflık değişkenleri $\xi_i = 1, 2, \dots, N$ kullanılır. Bu duruma ait en uygun ayırıcı düzlemin temsili gösterimi Şekil 3.3'te verilmiştir. Bu duruma göre (3.7) ve (3.8)'deki koşullar, $\xi_i \geq 0$ olmak üzere zayıflık değişkenleri ile yeniden tanımlanacak olursa,

$$y_i = +1 \text{ için, } \mathbf{w}^T \mathbf{x}_i + b \geq +1 - \xi_i \tag{3.15}$$

$$y_i = -1 \text{ için, } \mathbf{w}^T \mathbf{x}_i + b \leq -1 + \xi_i \tag{3.16}$$

şeklinde olacaktır. $\xi_i = 0$ olması durumunda x_i örneği doğru sınıflandırılmış, $\xi_i \geq 1$ ise yanlış sınıflandırılmış demektir.



Şekil 3.3. Doğrusal olarak ayrılamayan durum

Doğrusal olarak ayrılama durumunda, eğitim verisi içindeki olası her duruma karşı bir çözüm üretilmesini engellemek için sisteme bir C düzenleme parametresi veya üst sınırı eklenir. Aynı zamanda bu üst sınır, Lagrange çarpanlarının alabilecekleri maksimum değeri de göstermektedir. Böylece, Lagrange çarpanlarının $0 \leq \alpha_i \leq C$ aralığında kalması sağlanmaktadır. C düzenleme parametresi, DVM'nin eğitim aşamasında belirlmesi gereken parametrelerden biridir. Bu doğrultuda Lagrange formülasyonu (3.17) ile yeniden düzenlenmelidir:

$$L_p = \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_i \xi_i - \sum_i \alpha_i \{y_i (w^T x_i + b) - 1 + \xi_i\} - \sum_i \mu_i \alpha_i \quad (3.17)$$

Burada, μ_i : zayıflık değişkenlerinin (ξ_i) pozitif değerde kalmasını sağlamak için kullanılmış bir Lagrange parametresidir. Bu Lagrange formülasyonunun çözümü için doğrusal ayrılabilir durumdaki gibi KKT şartları uygulandığında,

$$\frac{\partial L_p}{\partial w} = w - \sum_i \alpha_i y_i x_i = 0 \quad (3.18)$$

$$\frac{\partial L_p}{\partial b} = -\sum_i \alpha_i y_i = 0 \quad (3.19)$$

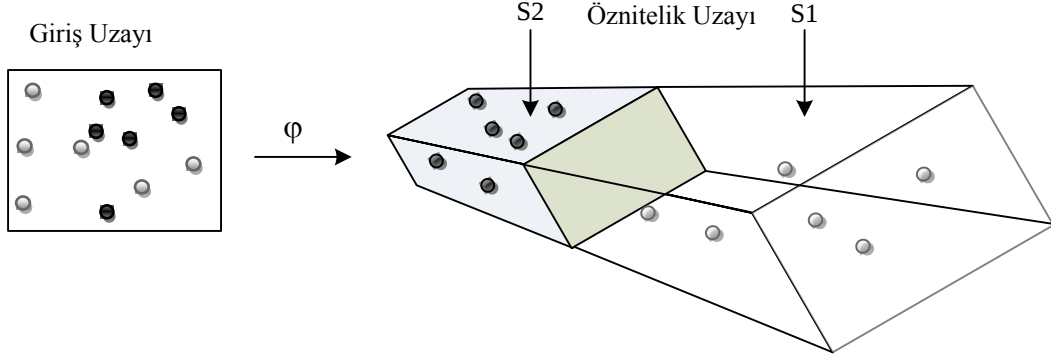
$$\frac{\partial L_p}{\partial \alpha_i} = C - \alpha_i - \mu_i = 0 \quad (3.20)$$

ifadeleri elde edilir. Bu ifadeler, (3.17)'de yerlerine yazıldığında,

$$L_d = \sum_i \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j y_i y_j x_i^T x_j \quad (3.21)$$

elde edilir. Burada, $0 < \alpha_i < C$ aralığında yer alan ve Lagrange çarpanlarına karşılık gelen x_i değerleri destek vektörleri temsil eder.

Şekil 3.4’de görüldüğü gibi veri, asıl uzayda doğrusal olarak ayrıştırılmaz ise, bir çekirdek yardımıyla yüksek boyutlu uzaya örtük olarak taşınarak, o uzayda doğrusal olarak ayrıştırılabilir [79]. Böylece, yüksek boyutlu öz nitelik uzayındaki çok boyutlu ayrıştırıcı düzlem, asıl uzayda doğrusal olmayan bir işleve karşılık gelir.



Şekil 3.4. Giriş uzayının doğrusal sınıflamanın mümkün olduğu çok boyutlu uzaya dönüşümü

Çekirdekler kullanılarak elde edilen büyüklükler, doğrudan her bir eğitim verisinin işlevi olarak verilmeyip, eğitim verisinin iç çarpımlarının işlevi olarak verilebilir. İç çarpım çekirdekleri, ilk olarak 1964’te Aizerman tarafından çok güzel bir araç olarak bulunmuş, daha sonra doğrusal olmayan DVM’lerin çözümünde tekrar keşfedilmiştir [83].

Yüksek boyutlu uzaya dönüşüm için, ilk olarak x verisi H yüksek boyutlu uzaya dönüştürülür,

$$\mathcal{R}^d \rightarrow H, x \rightarrow \varphi(x) \quad (3.22)$$

Burada; yüksek boyutlu uzay H bir Hilbert uzayıdır ve sonsuz boyutludur. Sonlu boyutlu durumda, H bir Euclidean uzayı olarak düşünülür. Çekirdek, genellikle K ile gösterilir ve

$$K(x, y) = \varphi(x)^T \varphi(y) \quad (3.23)$$

olarak tanımlanır. Bu çekirdek fonksiyonlarından bazıları, Tablo 3.1’de verilmiştir. H Hilbert uzayında iç çarpım ile $\psi(\varphi(x)^T \varphi(y))$ niceliği hesaplanmak istenirse, düşük boyutlu giriş uzayında çekirdek hesaplaması yeterlidir. Pratik olarak verinin yüksek boyutlu uzaya dönüşüm işlevini belirlemek için, iç çarpım çekirdeğinin hesaplamasından başlanır ve elde edilen çekirdekten yüksek boyutlu dönüşüm işlevi çıkartılabilir.

Tablo 3.1. DVM sınıflandırıcılarda yaygın olarak kullanılan çekirdek fonksiyonları

Çekirdek türü	Çekirdek fonksiyonu	Parametreler
Doğrusal	$K(x_i, x_j) = x_i^T x_j$	-
Sigmoid	$K(x_i, x_j) = \tanh(\gamma x_i^T x_j - \delta)$	γ , kazanç, δ , dengeleme parametresi
Polinomal	$K(x_i, x_j) = (x_i^T x_j + 1)^d$	d, fonksiyonun derecesi
Radyal tabanlı	$K(x_i, x_j) = \exp\left(-\gamma \ x_i - x_j\ ^2\right)$	γ , fonksiyonun genişlik parametresi

DVM, temelde iki sınıflı problemlerin çözümü için kullanılan bir yöntem olmasına rağmen, son yıllarda geliştirilen yaklaşımlarla ikiden fazla sınıfa ait veri kümesini sınıflandırabilen ve çok sınıflı DVM olarak isimlendirilen yöntemler önerilmiştir [84, 85]. Bu yaklaşımlardan en önemlileri, Bire Karşı-Diğerleri (BKD) ve Bire Karşı-Bir (BKB) yöntemleridir. Temelde bu yaklaşımlar da, sınıf sayısına bağlı olarak ikili sınıflandırmalar yaparak çok sınıflı problemleri çözmektedir.

- *Çok sınıflı DVM sınıflandırıcılar için BKD prensibi:* Vapnik tarafından 1998 de önerilen bir yöntemdir [81]. Bu metottaki ana fikir, BKD yönteminde her örnek kümesi, geri kalan tüm örnekler bir kümeye aitmiş gibi kabul edilerek eğitilir. Yani k farklı sınıf olması durumunda, k tane eğitim işlemi yapılır. Veri kümesinin büyük olduğu durumlarda her sınıfın ayırımında ayrıca eğitim yapıldığından fazla eğitim zamanı tüketebilir.
- *Çok sınıflı DVM sınıflandırıcılar için BKB prensibi:* Bu teknikte k farklı sınıf etiketi bulunan sınıflandırma uygulaması için $k*(k-1)/2$ sayıda destek vektör makinesinin eğitilmesi gerekir [81]. Her eğitim aşamasında sadece iki farklı sınıf verisinin alınması yeterlidir. Sınıf etiketlerinin sayısına bağlı olarak kullanılacak destek vektör makinesi sayısı değişir. Örneğin üç sınıflı sınıflandırma problemi için birinci sınıflandırıcı, bir ve iki etiketli sınıfları birbirinden ayırır. İkinci sınıflandırıcı, bir ve üç etiketli sınıfları birbirinden ayırır. Üçüncü sınıflandırıcı ise, iki ve üç etiketli sınıfları birbirinden ayırır.

3.3. Yapay Sinir Ağları

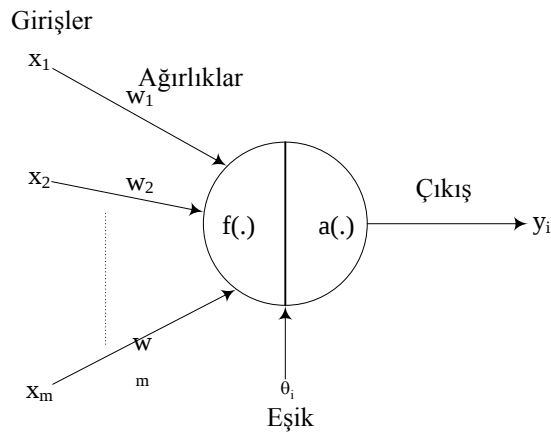
Örüntü tanımda yaygın bir şekilde sınıflandırıcı olarak kullanılan YSA, biyolojik nöron hücresinin yapısı ve öğrenme karakteristiklerinden esinlenerek geliştirilmiş bir hesaplama sistemidir. YSA aşağıdaki karakteristiklere sahip paralel bilgi işleme yapılarıdır [86, 87]:

- Matematiksel modelleri biyolojik bir nörondan esinlenerek oluşturulmuştur.
- Çok sayıda birbirine bağlanan işlem elemanlarından oluşur.
- Bilgiyi bağlantı ağırlıklarıyla tutar.
- Bir işlem elemanı giriş uyarılarına dinamik olarak tepki verebilir ve tepki tamamen yerel bilgilere bağlıdır (ilgili işlem elemanını etkileyen bağlantılar ve bağlantı ağırlıkları yoluyla gelen giriş sinyali).
- Öğrenme, hatırlama ve genelleme yetenekleri eğitim verisi ile ayarlanan bağlantı ağırlıklarıyla sağlanır.

Şekil 3.5’de, biyolojik nörondan esinlenerek ortaya konmuş işlem elemanının basit bir matematiksel modeli gösterilmiştir. Bu modelde, i . işlem elemanının çıkışı (3.24)’de verilmiştir.

$$y(t+1) = a\left(\sum_{j=1}^m w_{ij} x_j(t) - \theta_i\right) \quad (3.24)$$

Burada, θ_i : i . işlem elemanının eşik değerini ve $a(\cdot)$: etkinleştirme fonksiyonunu temsil eder. İşlem elemanlarının bilgi işleme şekli, giriş ve çıkış olmak üzere iki kısımdan oluşur.



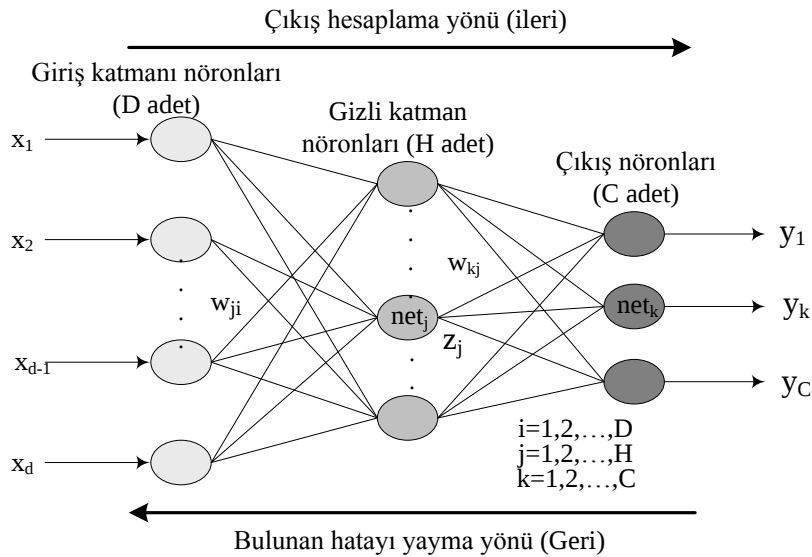
Şekil 3.5. Bir nöron hücresinin matematiksel modeli

Bir işlem elemanı dışarıdan almış olduğu x_j giriş bilgilerini bağlı bulundukları w_{ij} ağırlıkları üzerinden birleştirerek bir net değeri üretir. i . işlem elemanının net değeri (3.25) ile hesaplanır.

$$f_i \triangleq net_i = \sum_{j=1}^m w_{ij} x_j - \theta_i \quad (3.25)$$

Her bir işlem elemanının, çıkış değeri üretebilmesi için net değerinin bir $a(.)$ etkinleştirme fonksiyonundan geçirilmesi gerekir. Etkinleştirme fonksiyonları, işlem elemanlarının çok geniş aralıktaki çıkışını belirli aralıklara çekmek için kullanılmaktadır. Böylece, her bir işlem elemanının tepkisi yumuşak olmaktadır ve bağlantı ağırlıklarının değişimlerinin de daha küçük değerlerde olması sağlanır. Dolayısıyla, hata değişiminin ıraksaması engellenerek eğitim sürecini kolaylaştıracak kararlılığa ulaşılabilir. Birim basamak, signum, rampa, tek ve çift yönlü sigmoid gibi fonksiyonlar yaygın olarak kullanılan bazı etkinleştirme fonksiyonlarıdır [88].

Şekil 3.6'da görülen, çok katmanlı YSA modeli özellikle mühendislik uygulamalarında en çok kullanılan sinir ağı modeli olmuştur. Birçok öğrenme algoritmasında bu ağın eğitiminde kullanılabilir olması, bu modelin yaygın kullanımının sebebidir.



Şekil 3.6. Çok katmanlı YSA'nın yapısı

Çok katmanlı YSA modeli, bir giriş, bir veya daha fazla ara ve bir de çıkış katmanından oluşur. Bir katmandaki bütün işlem elemanları, bir üst katmandaki bütün işlem elemanlarına bağlıdır. Bilgi akışı, ileri doğru olup geri besleme yoktur. Bunun için ileri

beslemeli sinir ağı modeli olarak adlandırılır. Giriş katmanında, herhangi bir bilgi işleme yapılmaz. Buradaki işlem elemanı sayısı, tamamen uygulanan problemlerin giriş sayısına bağlıdır. Ara katman sayısı ve ara katmanlardaki işlem elemanı sayısı ise, deneme-yanılma yolu ile bulunur. Çıkış katmanındaki eleman sayısı ise, yine uygulanan probleme dayanılarak belirlenir.

Çok katmanlı YSA'da, ağa bir örnek gösterilir ve örnek neticesinde nasıl bir sonuç üreteceği de bildirilir (danışmanlı öğrenme). Örnekler giriş katmanına uygulanır, ara katmanlarda işlenir ve çıkış katmanından da çıkışlar elde edilir. Kullanılan eğitime algoritmasına göre, ağın çıkışı ile arzu edilen çıkış arasındaki hata tekrar geriye doğru yayılarak hata minimuma düşünceye kadar ağın ağırlıkları değiştirilir.

Birçok uygulamalarda kullanılmış en yaygın öğrenme algoritması olan geriye yayılım algoritması, kolay anlaşılabilir ve matematiksel olarak ispatlanabilir olmasından dolayı en çok tercih edilen öğrenme algoritmasıdır. Bu algoritma, hataları geriye doğru çıkıştan girişe azaltmaya çalışmasından dolayı geri yayılım ismini almıştır. Tipik çok katmanlı geri yayılım ağı, daima; bir giriş katmanı, bir çıkış katmanı ve en az bir gizli katmana sahiptir. Gizli katmanların sayısında, teorik olarak bir sınırlama olmamakla beraber genel olarak uygulamalarda bir veya iki gizli katman kullanılmaktadır.

4. GÜÇ SİSTEMİ OLAYLARI VE GÜÇ KALİTESİ İZLENMESİ

Güç sistemi olayları, arıza ve anahtarlama olayları olmak üzere iki temel sınıfta incelenir. Bir arıza olayı sonrasında arızalı fazlarda, gerilim çökmesi veya kesinti tipi güç kalitesi bozulmaları meydana gelebilir. Arızasız fazlarda ise, gerilim sıçraması oluşabilir. Anahtarlama olayları, güç sistemlerinin işletim şartlarına bağlı olarak çok sık meydana gelen olay türleridir. Anahtarlama olayları sonucunda sistemde; gerilim çökmesi, geçici durum ve harmonik gibi bozulmalar meydana gelebilir. Genel olarak, transformatör enerjilenmesi, kapasitör anahtarlama, yük anahtarlama, kesinti ve hat enerjilenmesi birer anahtarlama olayıdır.

Bu bölümde, güç sistemlerinde meydana gelen güç sistemi olaylarına yer verilmiştir. Analizleri ve gösterimleri yapılan olaylara ait dalga şekilleri; GKMP olay verileri, FÜMET olay verileri ve ATP/EMTP olay verilerinden oluşmaktadır. Bazı güç sistemi olaylarına ait yapılan incelemelerde, KZFD yöntemi kullanılarak harmonik analizler yapılmıştır.

Olay dalga şekillerine ait yapılan gösterimlerde, renkli gösterimler kullanılmış olup kırmızı renk a fazını, siyah renk b fazını ve mavi renk c fazını göstermektedir.

4.1. Etkin Değer Dönüşümü

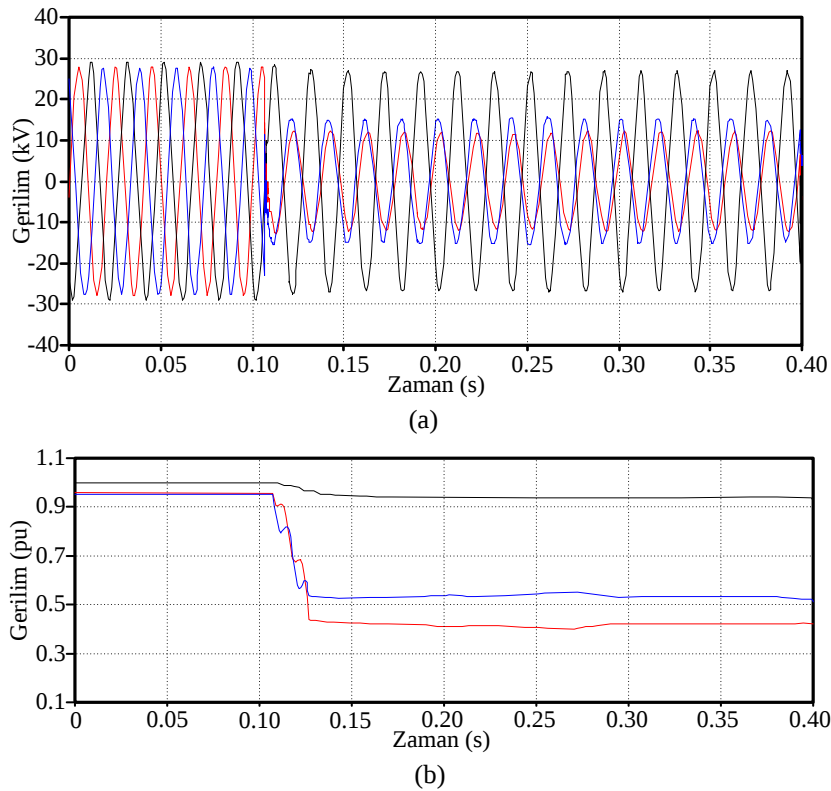
Bu tezde, güç sistemi olaylarının sistem gerilimleri üzerinde meydana getirdikleri etkiyi daha görsel olarak ifade etmek için etkin değer dönüşümü kullanılmıştır [8]. Bu dönüşüm, yarım, bir veya iki periyotluk pencereler üzerinden hesaplanabilir. Etkin değer dönüşümü,

$$U_{ms} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M u(i)^2} \quad (4.1)$$

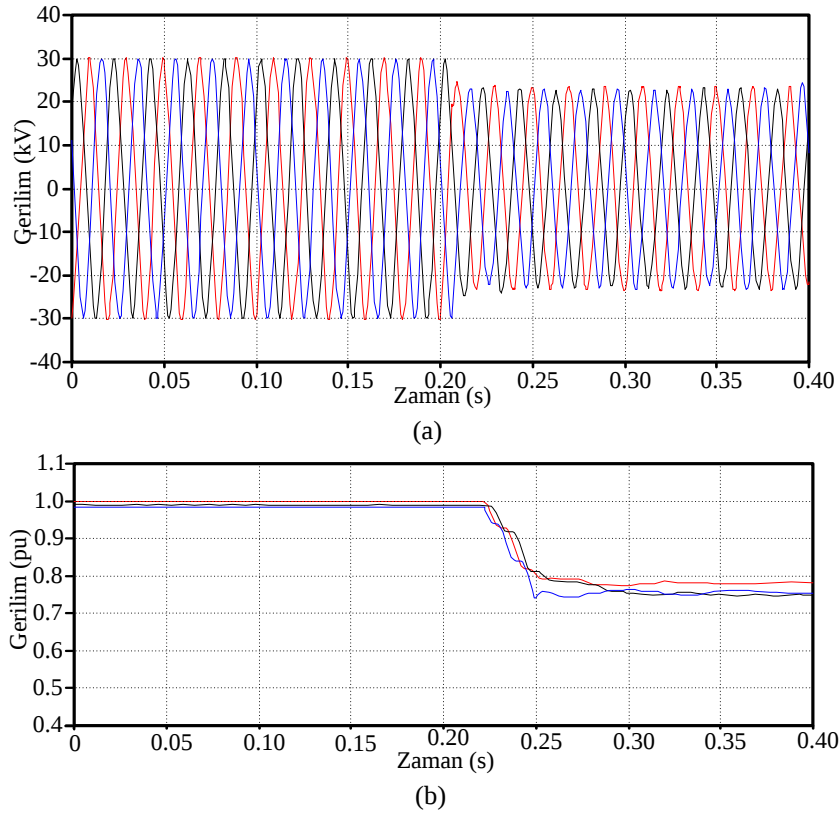
ile hesaplanır. Burada, M: pencerenin boyutu ve u(i): gerilim dalga şeklinin i'inci örneğidir [8]. Bu tezde, verilen güç sistemi olay verileri için bir periyotluk referans değerler kullanılarak etkin değer dönüşümü yapılmıştır.

4.2. Arıza Olayları

Elektrik güç sistemlerinde meydana gelen arızalar, çeşitli fiziksel ve mekanik etkilerle oluşan, istenmeyen kısa ve açık devrelerdir. Güç sistemlerinde en sık meydana gelen arıza tipi, kısa devre arızalarıdır. Bu nedenle, güç sistemlerinde kullanılan arıza terimi, genel olarak bu tip arızalar için kullanılır. Elektrik güç sistemlerinde kısa devre arızaları, iç ve dış etkenlerle oluşabilir. Kısa devreye neden olan başlıca iç etkenler; aşırı yük akımları ile yalıtkan malzemelerin ısınması ve yalıtkanlığının bozulması, aşırı gerilimler ile yalıtkan malzemede meydana gelen delinme, atlama olayları ve yalıtkan malzemenin özelliğinin bozulmasıdır. Üç fazlı sistemlerde meydana gelen kısa devre arızaları, simetrik ve asimetrik arızalar olmak üzere iki grupta incelenir. Her üç fazın birbiriyle ya da toprakla temas etmesi nedeniyle oluşan arızalarda, fazlar arasında 120 derecelik faz farkı korunduğu için bu tip arızalar simetrik arızalar grubuna dahil edilir. Tek fazın toprak ile temas etmesiyle oluşan tek faz-toprak arızası, iki fazın birbiriyle ya da toprak ile temas etmesi sonucu oluşan iki faz arızası ve iki faz-toprak arızası asimetrik arızalar grubuna girerler. GKMP olay verilerine ilişkin Şekil 4.1’de asimetrik, Şekil 4.2’de simetrik arıza olayı değişimleri görülmektedir.



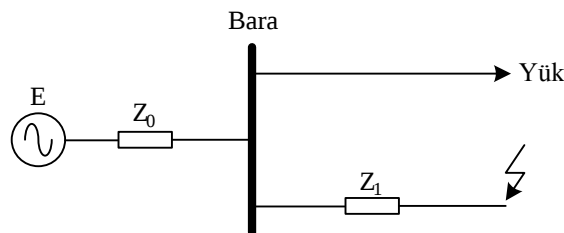
Şekil 4.1. Bir asimetrik arıza olayında 3 fazlı gerilimin, a) dalga şekli ve b) etkin değerinin değişimi (34.5 kV’luk hattan ölçülen)



Şekil 4.2. Bir simetrik arıza olayında 3 fazlı gerilimin, a) dalga şekli ve b) etkin değerinin değişimi (34.5 kV'luk hattan ölçülen)

4.2.1. Arıza Olaylarının Meydana Getirdiği Gerilim Çökmeleri ve Gerilim Sıçramaları

Güç sisteminin belirli bir noktasında, bir arıza olayı sonucunda meydana gelen gerilim çökmesinin genliği genel olarak; sistemin dinamik yapısına, ölçüm merkeziyle arıza noktası arasındaki mesafeye, arıza direncine ve arızanın türüne bağlıdır. Belirli bir sistem barasında, bir arıza sonucu meydana gelecek olan gerilim çökmesinin genliği, Şekil 4.3'deki, gerilim bölücü model üzerinden hesaplanabilir.



Şekil 4.3. Gerilim çökmesi genliğinin hesabında kullanılan gerilim bölücü model

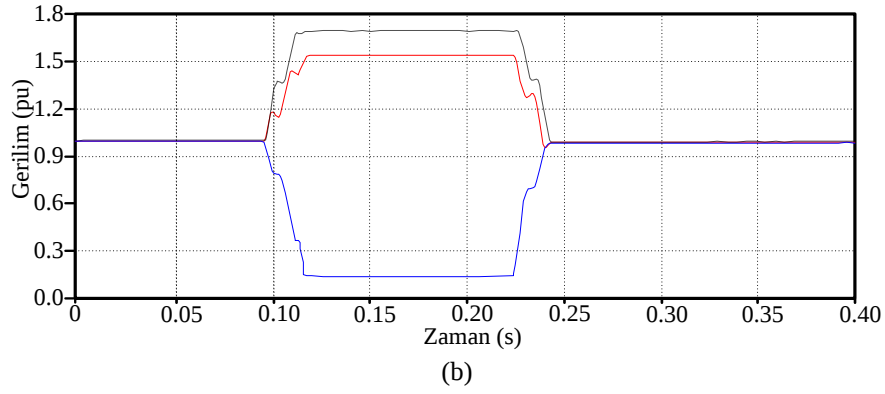
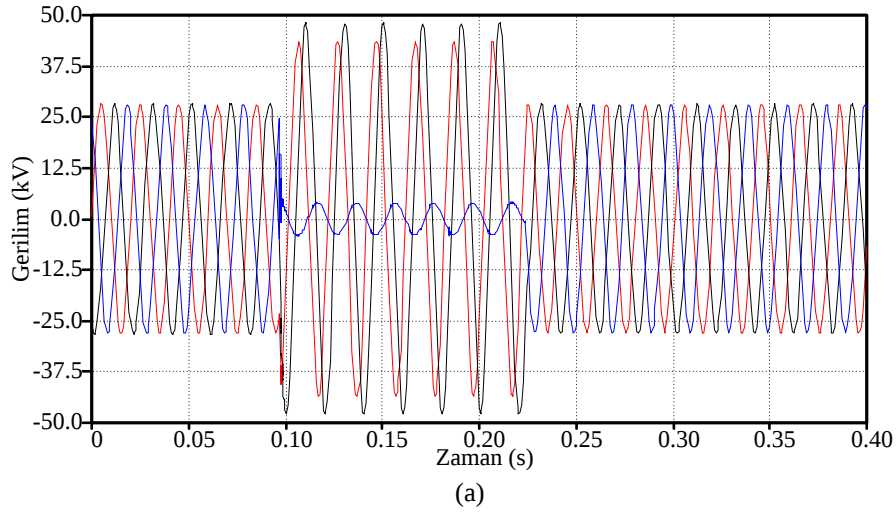
Eğer yük akımları ihmal edilirse, arıza noktasındaki gerilimin çökmesinin genliği, baradaki gerilim çökmesinin genliğine eşittir.

$$V_{\text{çökme}} = \frac{Z_1}{Z_0 + Z_1} E \quad (4.2)$$

Burada; Z_0 : kaynak empedansı, Z_1 : bara ile arıza noktası arasındaki empedans ve E : kaynak gerilimidir. Gerilim çökmesinin süresi, koruma sisteminin açma süresine bağlıdır. Güç sisteminde kullanılan SF6 gazlı, yağlı ve vakumlu kesici türleri arıza sonrası en az 2 periyot ile 5 periyot arasında kısa devreyi açma yeteneğine sahiptirler. Gecikme süresi ile birlikte bir kesicinin devreye girmesi, 60 periyota kadar süre alabilmektedir.

Bir arıza olayı sonrasında, kesici ve sigorta gibi koruma cihazları kullanılarak, arızanın meydana geldiği bölge ile güç sistemi arasındaki elektriksel bağlantı kesilir. Böylece sistem, arızanın meydana getirdiği olumsuz durumdan yalıtılarak normal işletme şartlarındaki parametrelere sahip olur. Arızadan yalıtılan bölgede ise elektrik kesintisi meydana gelir. Arızanın başladığı süre ile koruma cihazının devreye girdiği süre arasında, hem sistem hem de arızadan yalıtılacak olan bölgede gerilim çökmesi oluşur. Bu durum, hem sistem için hem de sisteme bağlı kullanıcılar için önemli problemlere neden olabilir.

Yıldız noktası, topraklamasız veya bir empedans üzerinden topraklanmış sistemlerde, meydana gelen tek faz-toprak arızası olaylarında, arızalı fazda gerilim çökmesi meydana gelirken, diğer iki fazda ise gerilim sıçraması meydana gelir. Şekil 4.4’de, GKMP olay verilerine ilişkin bir arıza olayında meydana gelen gerilim çökmesi ve sıçraması görülmektedir. Ayrıca burada, yaklaşık 6 periyotluk süre sonunda kesicinin devreye girerek, bu arıza olayının sistemden yalıtılması durumu da görülmektedir.

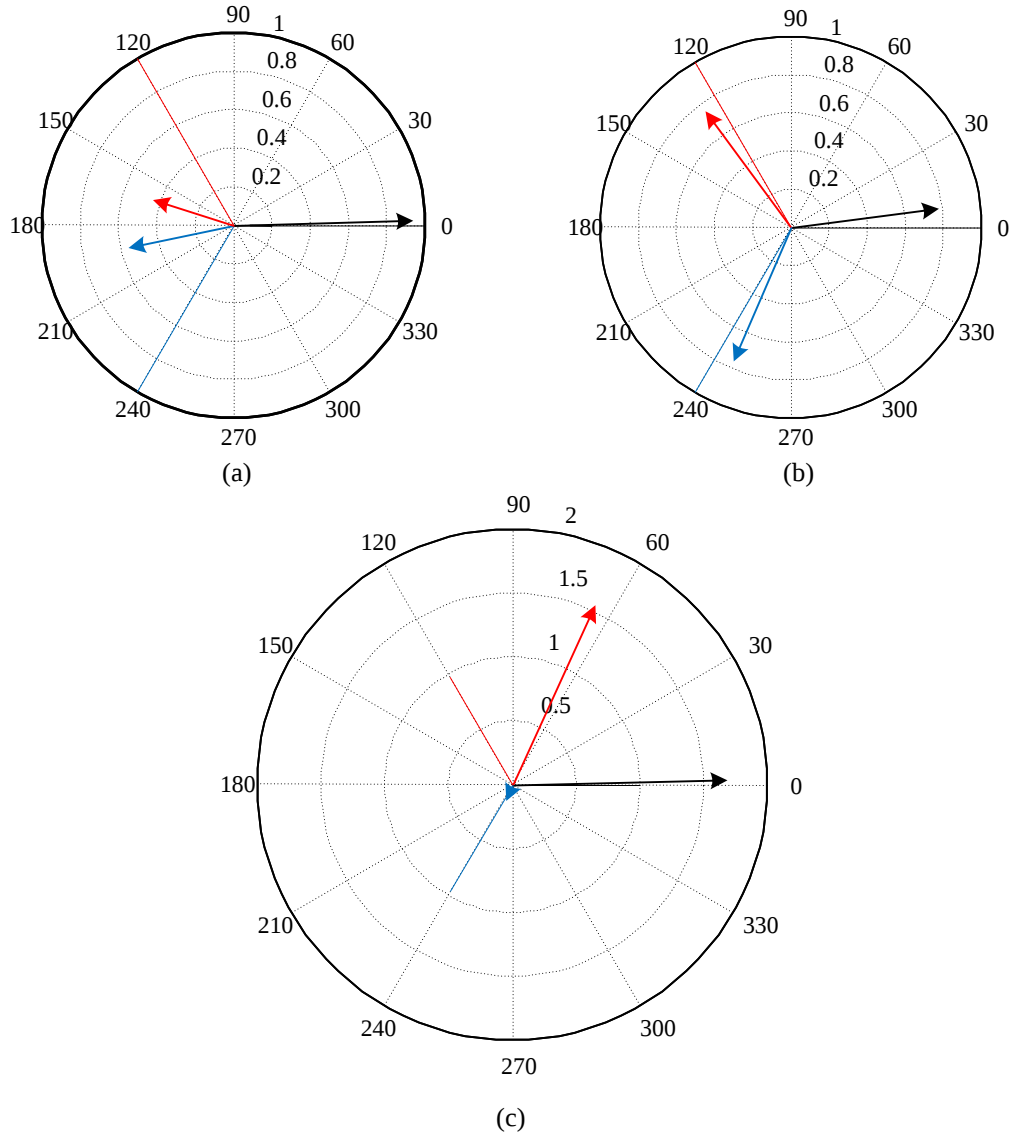


Şekil 4.4. Arıza olayı sonrasında 3 fazlı gerilimde meydana gelen gerilim çökmesi ve sıçramasının, (a) dalga şekli ve b) etkin değer değişimi (34.5 kV’luk hattan ölçülen)

Bir arıza olayının sonucunda, sisteme ait faz gerilimlerinde, faz açısı sıçraması durumu meydana gelmektedir. Faz açısı sıçraması, Şekil 4.3’te verilen tek faz gerilim bölücü model üzerinde, $Z_0 = R_0 + jX_0$ ve $Z_1 = R_1 + jX_1$ olmak üzere;

$$\Delta\theta = \arctan\left(\frac{X_1}{R_1}\right) - \arctan\left(\frac{X_0 + X_1}{R_0 + R_1}\right) \quad (4.3)$$

şeklinde ifade edilir. Bara ve kaynağın X/R oranı, birbirine eşitse faz açısı sıçraması meydana gelmez ve aralarındaki bu oran farkı arttıkça faz açısı sıçraması da artmaktadır. Şekil 4.5’de; Şekil 4.1, 4.2 ve 4.4’de dalga şekilleri verilen arıza olaylarında meydana gelen faz açısı sıçraması ve genlikleri gösterilmiştir.

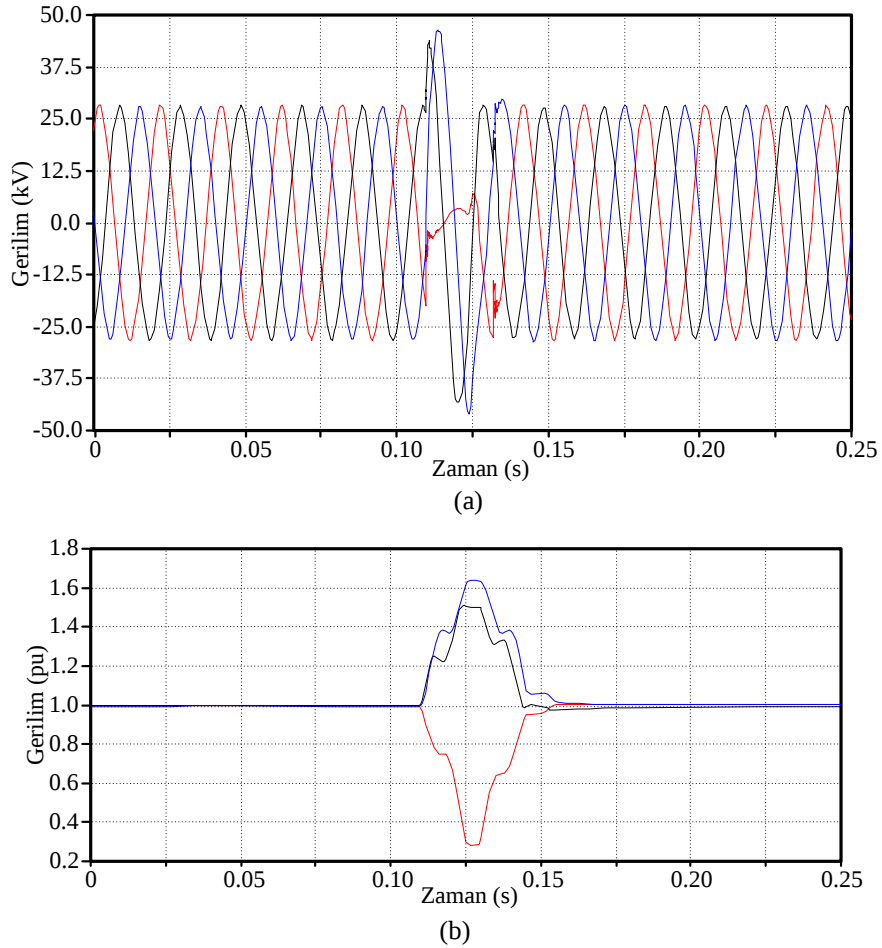


Şekil 4.5. a) Şekil 4.1, b) Şekil 4.2 ve c) Şekil 4.4 de verilen arıza olayları sonunda meydana gelen faz açısı sıçramaları

4.2.2. Kendiliğinden Sönümlenen Arıza Olayları

Bazı tek faz-toprak arızası olaylarında, arıza akımının sıfır geçişinde, ark akımının sönümlenerek herhangi bir koruma işletmesi meydana gelmeden arıza ortadan kalkabilmektedir. Genel olarak, bu tür arıza olaylarına kendiliğinden sönümlenen arıza olayları adı verilir. Bu arıza durumunda, arızalı fazda kısa süreli bir gerilim çökmesi meydana gelirken, arızasız hatlarda gerilim sıçraması meydana gelebilmektedir ve arıza süresince, düşük değerde bir arıza akımı akmaktadır [89].

Şekil 4.6’da, GKMP olay verilerine bir kendiliğinden sönümlenen arıza olayına ilişkin değişimler verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi arıza, 2 periyottan daha az sürmüş ve arızalı fazda gerilim çökmesi, arızasız fazlarda ise gerilim sıçraması meydana gelmiştir.



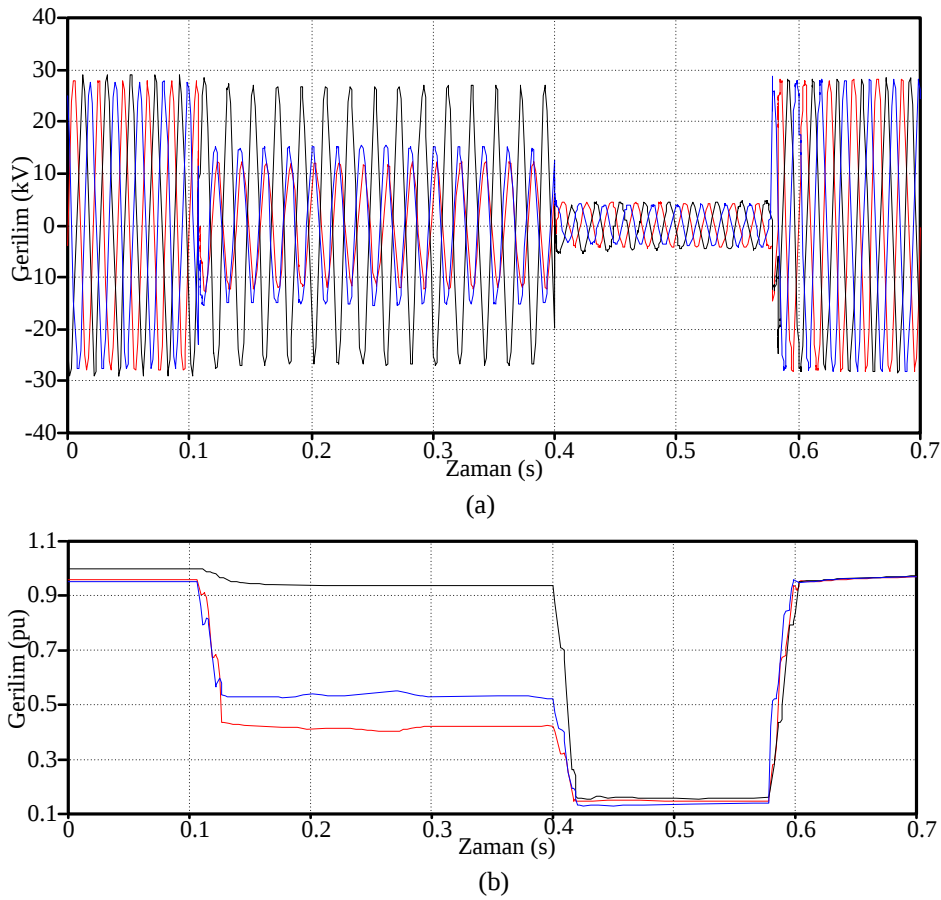
Şekil 4.6. Kendiliğinden sönümlenen bir arıza olayında 3 fazlı gerilimin, a) dalga şekli ve b) etkin değer değişimi (34.5 kV’luk hattan ölçülen)

4.2.3. Çoklu Arıza Olayları

Güç sisteminde meydana gelen bir arıza olayının etkisi devam ederken; sistemde meydana gelebilecek değişikliklerin sonucunda arıza yapısında ya da türünde oluşacak değişimler nedeniyle, çoklu arıza olayları meydana gelebilmektedir. Çoklu arıza olayında, her bir fazda farklı türde gerilim bozulmaları meydana gelebilir. Transformatörler vasıtasıyla bu gerilim bozulmaları, bütün sisteme yayılır. [90]’da yapılan çalışmada, bir arıza olayında meydana gelen gerilim çökmelerinin sınıflandırılmasına ilişkin bir tanım önerilmiştir. Bu yöntemde bir arıza olayı; Tip A, Tip C ve Tip D olmak üzere üç farklı sınıfa ayrılmıştır. Tip A arızasında, üç fazda eşit bir gerilim çökmesi meydana gelmektedir.

İki fazda oluşan gerilim çökmesi, Tip C sınıfı ile tanımlanır. Sadece bir fazda gerilim çökmesi nedeniyle oluşan arıza, Tip D olarak adlandırılır. Tip C ve Tip D arıza türlerinde, gerilim çökmesinin meydana geldiği fazları sınıflandırmak için Ca, Cb, Cc, Da, Db ve Dc şeklinde tanımlar kullanılır. Burada; Ca: B ve C fazında, Cb: A ve C fazında, Cc: A ve B fazında, Da: A fazında, Db: B fazında ve Dc: C fazında bir gerilim çökmesi meydana geldiğini gösterir. Bir arıza olayı sonucunda meydana gelen üç fazdaki gerilim çökmesi, farklı türlere sahip olabilir. Bunun başlıca nedeni ise, transformatörlerin bağlantı şekilleri ve hatların yapısı gibi özellikleri içeren sistem yapısıdır. İki faz-toprak arızası, Tip C veya Tip D sınıfından olabilir. Benzer olarak, tek faz-toprak arızası da Tip C veya Tip D sınıfına girebilir.

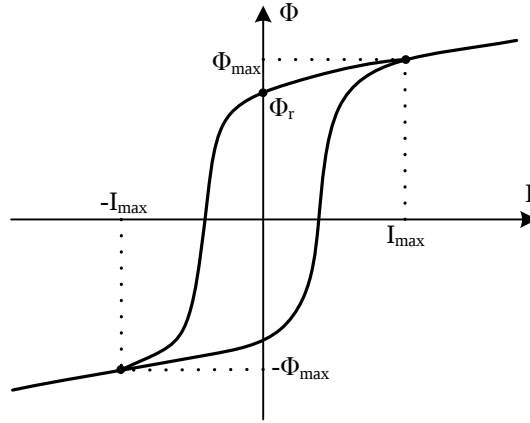
Şekil 4.7’de, GKMP olay veri kümesine ait çoklu arıza olayındaki değişimler görülmektedir. Burada, yaklaşık olarak 0.1 s.’de başlayıp, 0.6 s.’de biten arıza olayının 0.4 s.’de, arızanın şeklinin değiştiği görülmektedir. İki aşamadan oluşan bu çoklu arıza olayında, önce Tip Cb sınıfında sonrada, Tip A sınıfında arıza olayı meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.7. Bir çoklu arıza olayında 3 fazlı gerilimin, a) dalga şekli ve b) etkin değer değişimi (34.5 kV’luk hattan ölçülen)

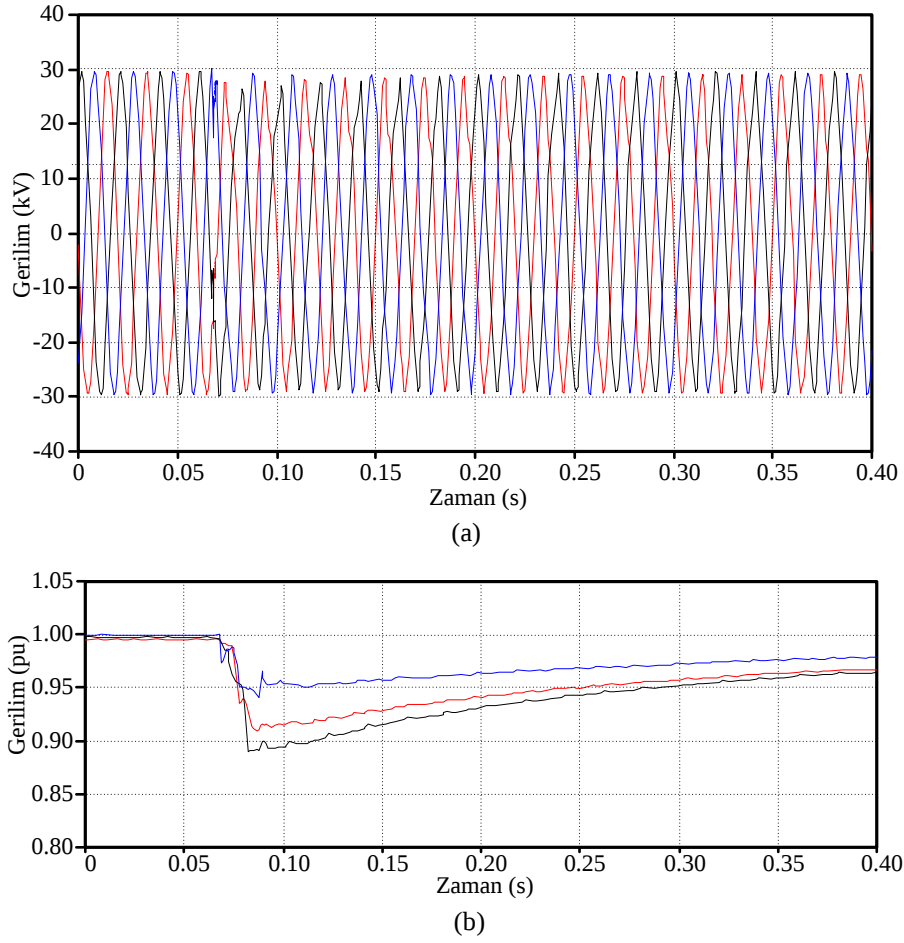
4.3. Transformatör Doyumu Olayları

Bu olaylar, sistemde gerilim çökmesi meydana getiren bir olay türüdür. Şekil 4.8’de verilen transformatörün Φ -I karakteristiğinden görülebileceği gibi, normal çalışma şartlarında manyetik akı $\pm \Phi_{\max}$ ve mıknatıslanma akımı $\pm I_{\max}$ arasında salınım yapmaktadır. Sistem gerilimindeki bir değişim veya transformatörün enerjilenmesi, nüvedeki manyetik akı yeni bir sürekli duruma ulaşana kadar geçici durum meydana getirir. Bu durum, manyetik akının doyum değerinin üzerine çıkmasına neden olabilir. Bu geçici durum, bir periyotluk manyetik akıdaki değişim değerinin yaklaşık olarak sıfıra düşmesi anına kadar devam eder. Akının aşırı artması; yüksek değerlikli, asimetrik ve exponansiyel olarak azalan bir mıknatıslanma akımının oluşmasına sebep olacaktır.



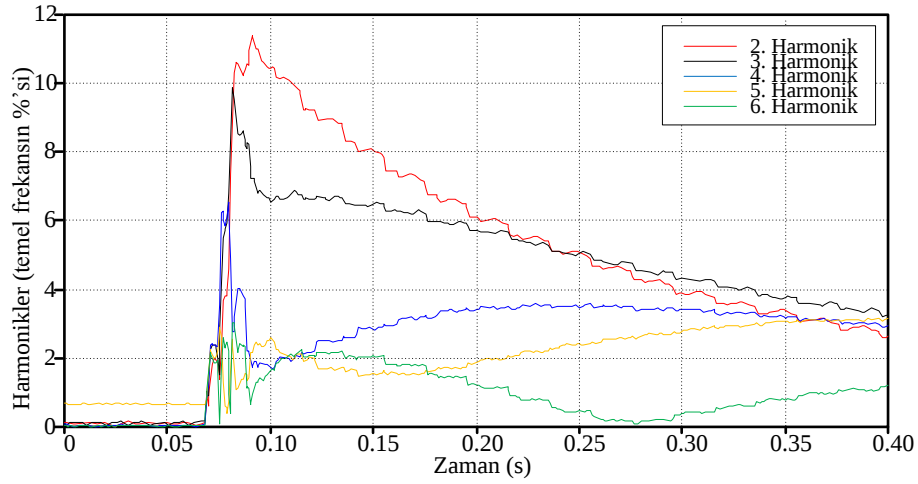
Şekil 4.8. Transformatör nüvesinin histerezis döngüsü ve mıknatıslanma eğrisi

Transformatörün enerjilenmesi sonucunda meydana gelen gerilim çökmesinin genliği, anahtarlama açısına, kaynağın gücüne, nüvedeki artık akı değerine (Φ_r) ve hattın sönümlenme değerine (damping) bağlıdır [91]. Üç fazlı gerilimin açıları birbirinden farklı olması nedeniyle, her bir fazın meydana getireceği gerilim çökmelerinin genlikleri de farklı olacaktır. Bir transformatörün enerjilenmesi ile meydana gelen doyum olayı, ayrıca hatta bağlı yakın bir transformatörün doyumu, hatta yıldırım düşmesi, arıza durumu ve arızanın ortadan kaldırılması ve hat anahtarlanması gibi durumlar sonucunda da meydana gelebilmektedir. Şekil 4.9’da, GKMP olay veri kümesine ait bir transformatör enerjilenmesi olayına ilişkin değişimler verilmiştir. Şekil 4.9.(b)’den görülebileceği gibi transformatör enerjilenmesi olayı sonrasında, a fazında yaklaşık olarak %5’lik ve c fazında ise yaklaşık olarak %11’lik bir gerilim çökmesi meydana gelmektedir.



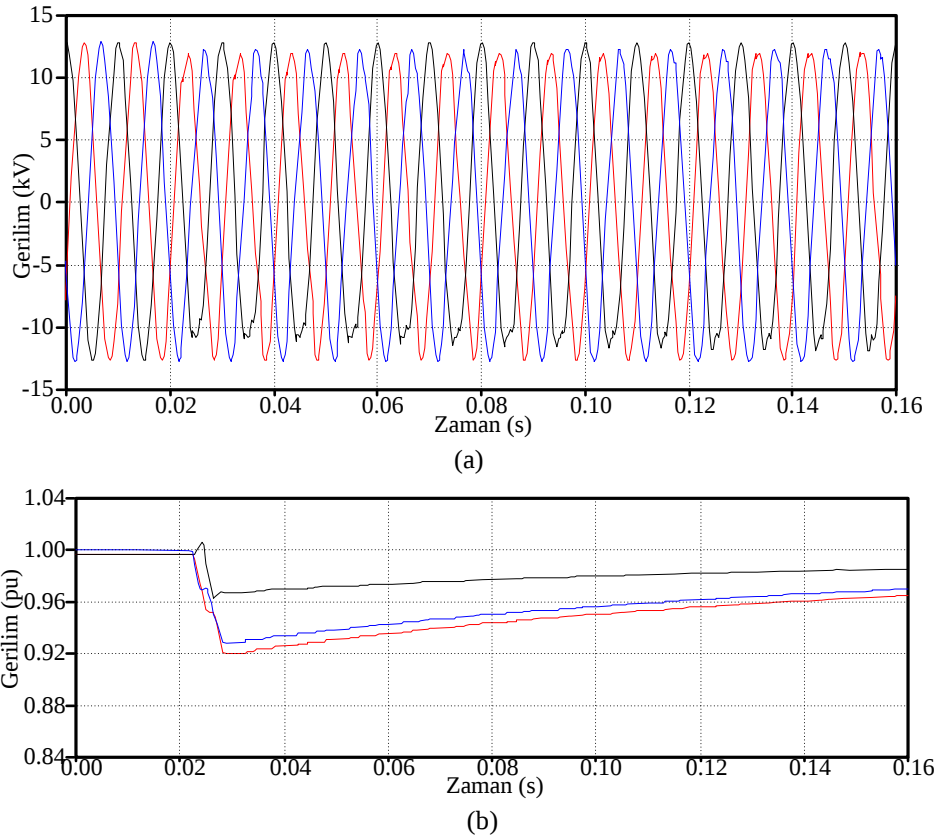
Şekil 4.9. Transformatör enerjilenmesi olayında 3 fazlı gerilimin, a) dalga şekli ve b) etkin değer değişimi (34.5 kV’luk hattan ölçülen)

Transformatör enerjilenmesi olayı sonucunda oluşan gerilim çökmesi nedeniyle, geçici olarak harmonik bozulmalar da meydana gelmektedir. Özellikle 2. harmonik içeriğin baskın olarak ortaya çıkmasıyla beraber, 3., 4. ve 5. harmonik genliklerinin yüksek değere sahip olduğu bilinmektedir [8]. Bu alt bölümde, Şekil 4.9.(a)’da dalga şekli verilen transformatör enerjilenmesi olayına, KZFD analizi uygulanmıştır. Bu analiz sonucundan elde edilen harmonik değişimler, Şekil 4.10’da gösterilmiştir. 2. harmonik genliği temel frekans genliğine göre, enerjilenme anından önce yaklaşık olarak % 0.15 değerine sahip iken, enerjilenme anından sonra yaklaşık olarak 70 kat artarak % 11 değerine ulaşmıştır. Benzer olarak, diğer harmonik seviyelerinde de artışlar meydana gelmektedir.



Şekil 4.10. Transformatör enerjilenmesi olayı için harmonik genliklerindeki değişimler

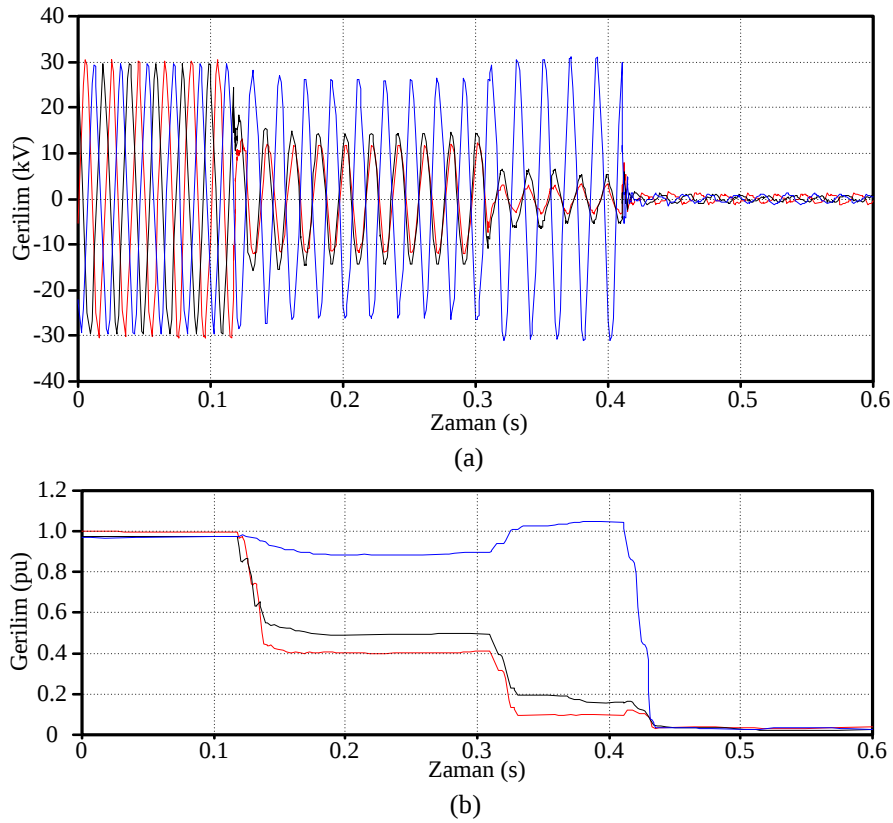
Yüksüz bir transformatörün enerjilenmesi olayını incelemek için de ATP/EMTP programı kullanılarak benzetim yapılmıştır. BCTRAN tipi transformatör için 14.4 kV/480 V, 500 kVA parametreleri seçilmiş ve ATP/EMTP'nin Type-96 non-lineer elemanı kullanılarak transformatöre doyum etkisi eklenmiştir. Şekil 4.11'de, ATP/EMTP olay veri kümesine ait bir transformatör enerjilenmesi olayına ilişkin değişimler görülmektedir.



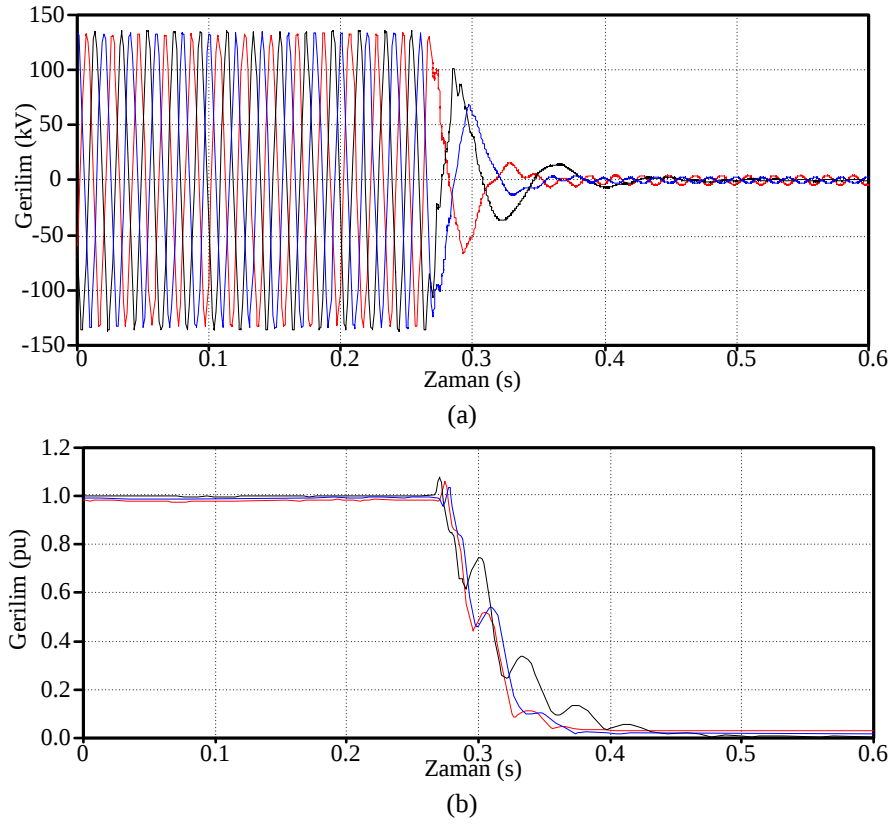
Şekil 4.11. Transformatör enerjilenmesi olayında 3 fazlı gerilimin, a) dalga şekli ve b) etkin değer değişimi (ATP/EMTP benzetimi)

4.4. Kesinti Olayları

Kesinti olayları, güç sisteminde meydana gelen bir arıza olayı sonrasında veya hattın bakımı için kesicinin devreye girmesiyle, sisteminin belirli bir bölümünün enerjisiz kalması durumu olarak tanımlanır. Böylece kesinti olayları, arızasız ve arızalı kesinti olayları olarak iki sınıfta incelenebilir. Bir enerji kesintisi olayı sonrasında, hat parametrelerine bağlı olarak sistem geriliminin değeri tam olarak sıfıra düşmemektedir. GKMP olay veri kümelerine ilişkin Şekil 4.12’de arızalı kesinti, Şekil 4.13’te ise arızasız kesinti olayı değişimleri verilmiştir.



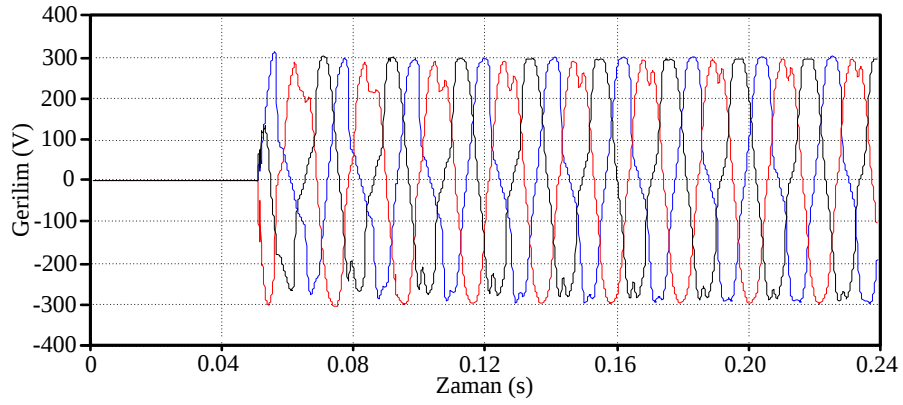
Şekil 4.12. Arızalı kesinti olayında 3 fazlı gerilimin, a) dalga şekli ve b) etkin değer değişimi (34.5 kV’luk hattan ölçülen)



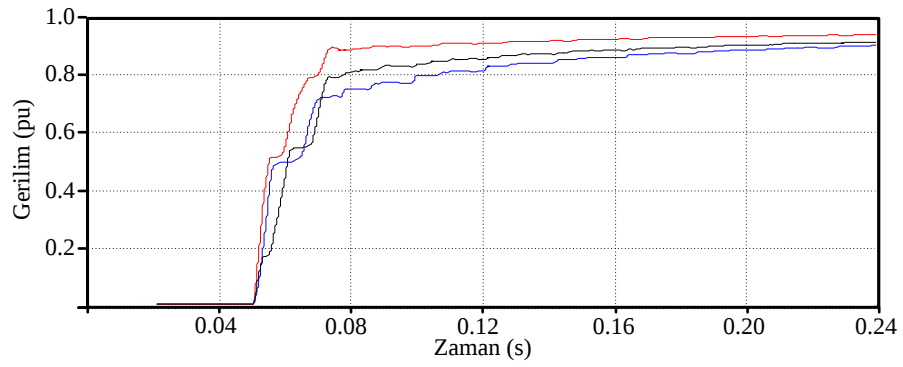
Şekil 4.13. Arızasız kesinti olayında 3 fazlı gerilimin a) dalga şekli ve b) etkin değer değişimi (154 kV’luk hattan ölçülen)

4.5. Hat Enerjilenmesi Olayları

Hat enerjilenmesi olayı, bir kesinti olayı sonrasında enerjisiz kalan hattın kesici kontaklarının kapanması ile nominal çalışma değerlerine gelmesi neticesinde meydana gelen olay türüdür. Hat enerjilenmesi anında sistem gerilimi, yaklaşık olarak 0.8 pu civarında birim genliğe sahip olur. Bu olay sonrasında, özellikle hatta bağlı olan transformatörün enerjilenmesi ve anahtarlama geçici durumlarının oluşması nedeniyle, sistemde harmonik bozulmalar meydana gelmektedir. Şekil 4.14’de, FÜMET olay veri kümesine ait bir hat enerjilenmesi olayına ilişkin değişimler görülmektedir. Şekil 4.15’de ise, bu hat enerjilenmesine ait 2., 3., 4. ve 5. harmoniklerdeki değişimler verilmiştir.

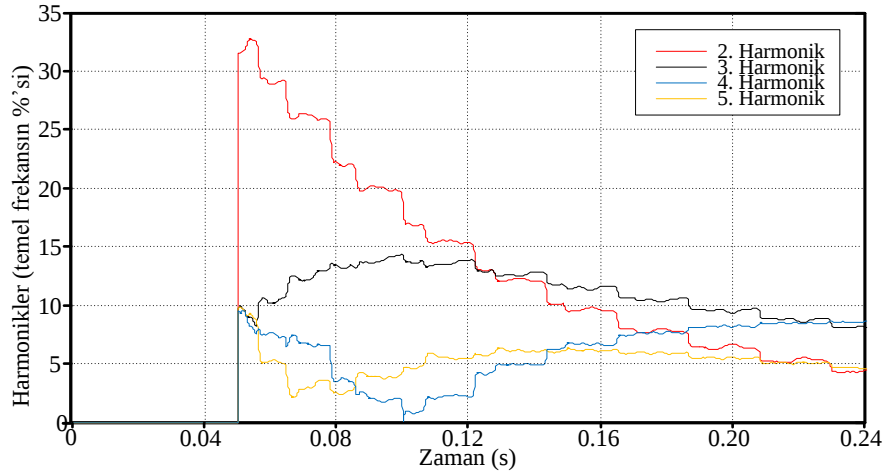


(a)



(b)

Şekil 4.14. Hat enerjilenmesi olayında 3 fazlı gerilimin, a) dalga şekli ve b) etkin değer değişimi (380 V'luk hattan ölçülen)



Şekil 4.15. Hat enerjilenmesi olayında harmonik genliklerindeki değişimler

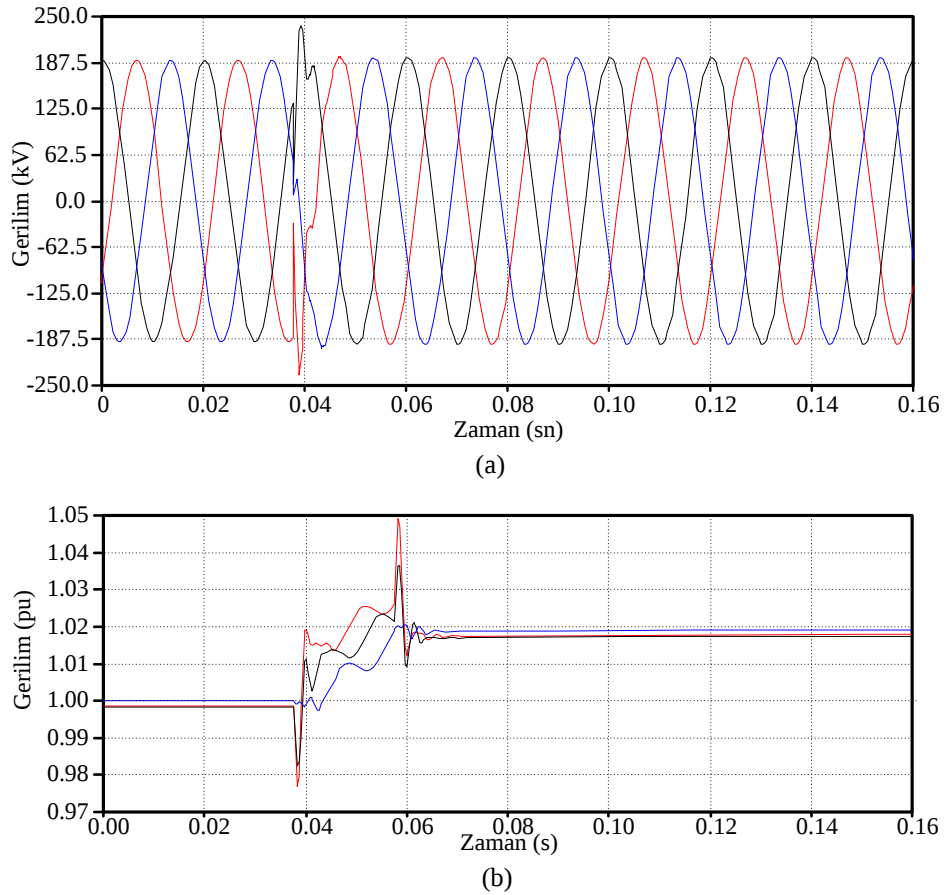
4.6. Kapasitör Anahtarlanması Olayları

Kapasitör anahtarlanması olayı, güç sistemlerinde çok sık meydana gelen geçici durum olaylarından birisidir. Bu olayda, sistem gerilimi yaklaşık 2 katına kadar çıkabilmekte ve

sistem frekansı etkilenmektedir. Bu nedenle, hassas elektronik cihazlar, ayarlanabilir hız sürücüler gibi birçok elemanda arızalar meydana gelebilmektedir. Yüksüz durumda olan bir kapasitör, anahtarlandığı anda anlık olarak geriliminin değişmemesi nedeniyle sistem gerilimini sıfıra doğru düşürmeye çalışacaktır. Bu anlık gerilim düşümü sonrasında gerilim, sürekli duruma ulaşana kadar aşırı yükselme ve azalma şeklinde salınımlar yapacaktır. Bu salınının süresi, hattın baskılanmasına bağlıdır. Kapasitör anahtarlandığı anda meydana gelen geçici durum frekansı,

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4.4)$$

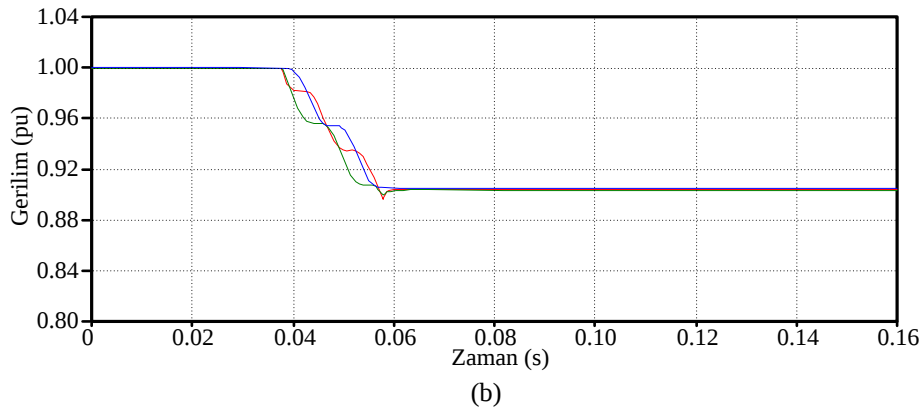
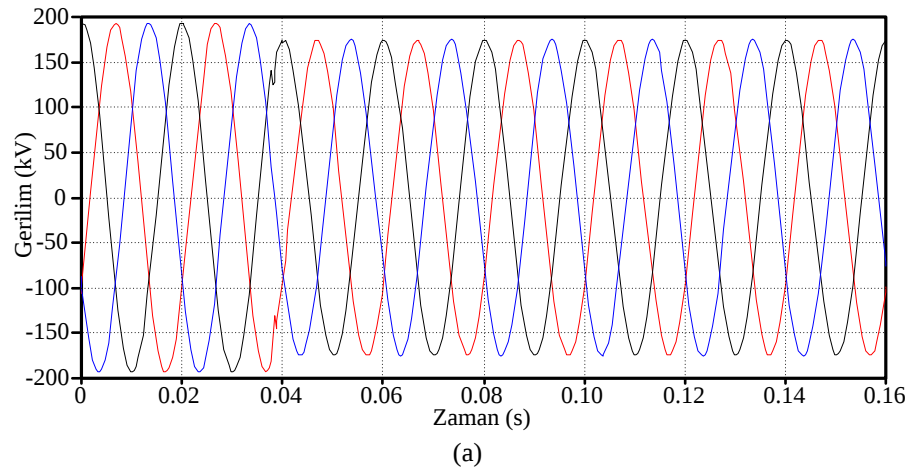
ile gösterilir. Burada, L: anahtarlama noktasındaki kaynağın indüktansı ve C: kapasitör bankasının kapasitansıdır. Sistem gerilimindeki bu geçici durumun frekansı, 300 Hz ile 1000 Hz arasında değişmektedir. Şekil 4.16'da, ATP/EMTP olay veri kümesine ait bir kapasitör anahtarlama olayına ilişkin değişimler görülmektedir.



Şekil 4.16. Kapasitör anahtarlama olayında 3 fazlı gerilimin, a) dalga şekli ve b) etkin değer değişimi (ATP/EMTP benzetimi)

4.7. Yük Anahtarlama Olayları

Güç sistemine bağlı olan büyük güçlü bir alıcı yükün anahtarlama, sistem gerilimini düşürmektedir. Anahtarlama yapılan büyük güçlü yükler, sistem gerilimini düşürmenin yanı sıra geçici durum bozulmaları da meydana getirebilmektedirler. Şekil 4.17’de, ATP/EMTP olay veri kümesine ait bir yük anahtarlama olayına ilişkin değişimler verilmiştir. Buradan da görülebileceği gibi, gerilim değeri yaklaşık olarak 0.1 pu kadar düşmüş ve yeni değerini almıştır.



Şekil 4.17. Yük anahtarlama olayında 3 fazlı gerilimin, a) dalga şekli ve b) etkin değer değişimi (ATP/EMTP benzetimi)

4.8. Güç Sistemi Olayları Sonucunda Meydana Gelen Güç Kalitesi Bozulmaları

Önceki alt bölümlerde ifade edilen güç sistemi olayları, güç sisteminin her bir fazında güç kalitesi bozulması meydana getirirler. IEEE 1159-1995 standartlarına göre güç kalitesi problemleri; geçici durumlar, kısa süreli gerilim değişimleri, gerilim dengesizlikleri, dalga şekli bozulmaları, gerilim salınımları ve frekans değişimleri olmak üzere yedi kategoriye

ayrılır [92]. Tablo 4.1’de, farklı kategorideki güç kalitesi problemleri için uygun tipik spektral içerik, devamlılık süresi ve genlik değerlerini içeren bilgiler görülmektedir. Bu kategoriler ve açıklamalar, yapılan güç sistemi analizlerinde önemli bir tanımlama yapmaktadır. Bir yük anahtarlanması olayı ile bir arıza olayı sonucunda gerilim çökmesi meydana gelebilmesi açısından, özellikle güç sistemi olaylarının tanımlanması ve sınıflandırmasının önemini daha da arttırmaktadır.

Tablo 4.1. Güç sistemleri elektromanyetik olaylarının kategorileri ve özellikleri

Problem Sınıfı	Frekans Spektrumu	Süresi	Gerilimin Genliği
<i>1. Geçici Durum</i>			
<i>1.1 Darbeli</i>			
1.1.1 Nanosaniye	5-ns yükselme	<50 ns	
1.1.2 Mikrosaniye	1-µs yükselme	50 ns-1 ms	
1.1.3 Milisaniye	0.1-ms yükselme	>1 ms	
<i>1.2 Salınlı</i>			
1.2.1 Düşük frekans	<5 kHz	0.3-50 ms	0-4 pu
1.2.2 Orta frekans	5-500 kHz	20 µs	0-8 pu
1.2.3 Yüksek frekans	0.5-5 MHz	5 µs	0-4 pu
<i>2. Kısa süreli değişimler</i>			
<i>2.1 Ani</i>			
2.1.1 Kesinti		0.5-30 periyot	<0.1 pu
2.1.2 Çökme		0.5-30 periyot	0.1-0.9 pu
2.1.3 Sıçrama		0.5-30 periyot	1.1-1.8 pu
<i>2.2 Kısa süreli</i>			
2.2.1 Kesinti		30 periyot-3 s	<0.1 pu
2.2.2 Çökme		30 periyot-3 s	0.1-0.9 pu
2.2.3 Sıçrama		30 periyot-3 s	1.1-1.4 pu
<i>2.3 Geçici</i>			
2.3.1 Kesinti		3 s-1 dk	<0.1 pu
2.3.2 Çökme		3 s-1 dk	0.1-0.9 pu
2.3.3 Sıçrama		3 s-1 dk	1.1-1.2 pu
<i>3. Uzun süreli değişimler</i>			
3.1 Kalıcı kesinti		>1 dk	0.0 pu
3.2 Düşük Gerilim		>1 dk	0.8-0.9 pu
3.3 Yüksek Gerilim		>1 dk	1.1-1.2 pu
<i>4. Gerilim dengesizliği</i>			
		Sürekli durum	% 0.5-2
<i>5. Dalga şekli bozulmaları</i>			
5.1 Doğru akım bileşeni		Sürekli durum	% 0-0.1
5.2 Harmonikler	0-100. harmonik	Sürekli durum	% 0-20
5.3 Ara harmonikler	0-6 kHz	Sürekli durum	% 0-2
5.4 Çentik		Sürekli durum	
5.5 Gürültü	Geniş bant	Sürekli durum	% 0-1
<i>6. Gerilim salınımları</i>			
	<25 Hz	Kesintili	% 0.1-7
<i>7. Frekans değişimleri</i>			
		<10 s	

4.9. Güç Sistemi Olaylarının Değerlendirilmesi

Bu alt bölümde, önceki alt bölümlerde incelenen güç sistemi olaylarına ait özelliklere ve meydana getirdikleri etkilere ilişkin değerlendirmeler yapılır.

Güç sistemlerinde çok sık karşılaşılan arıza olayları sistemde kesinti, gerilim çökmesi, gerilim sıçraması gibi problemler meydana getirmesi açısından önemlidir. Arızalar için iki ayrı sınıflandırma yapılabilir. Bunlardan birincisi, simetrik ve asimetrik arıza olaylarıdır. İkincisi ise herhangi bir koruma işlemi gerçekleştirilmeden kendiliğinden sönmüş arızalar ve çoklu arıza olaylarıdır.

Transformatör enerjilenmesi olayları, gerilim çökmesi ve harmonikler meydana getirmesi nedeniyle güç sistemi üzerinde önemli etkiler oluşturmaktadır. Yapılan KZFD analizlerinde, özellikle sistemin nominal çalışma şartlarında temel harmoniğe göre %1'in altında bir değere sahip olan 2, 4 ve 6. harmoniklerin, transformatör enerjilenmesi olayından sonra 2. ve 4. harmoniklerin %2'nin üzerinde, 2. harmoniğin ise %10'un üzerinde bir değere ulaşır.

Güç sistemlerinde, bir arıza sonucunda ya da bir bakım nedeniyle kesinti olayında, sistemin bir bölümü ve buna bağlı kullanıcılar enerjisiz kalmaktadır. Arızanın giderilmesi ya da bakım işleminin bitmesi sonucunda, hat enerjilenmesi olayı ile sistem tekrardan nominal çalışma şartlarına ulaşır.

Güç sistemlerinde karşılaşılan diğer önemli bir olay türü de, güç kompanzasyonu için yapılan kapasitör anahtarlanması olayıdır. Bunun sonucunda, düşük frekanslı salınımlı geçici durum meydana gelmektedir.

Büyük güçlü yükler sisteme bağlandığında, sistem geriliminde çökmeler meydana getirebilmektedir. Fakat, çökmenin değeri fazla olmayacağı için, diğer olay türlerinin meydana getirdiği etkilerden daha önemsizdir.

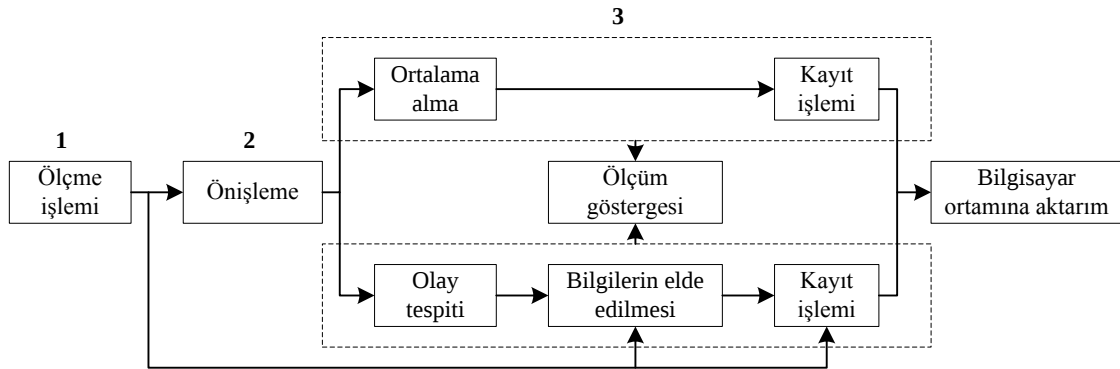
4.10. Güç Kalitesinin İzlenmesi

Bir güç sisteminin enerji kalitesi, güç sistemine yerleştirilen bir güç kalitesi izleme sistemi ile belirlenmektedir. “Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenirliği ve Kalitesi Yönetmeliği” [93], “Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği” [94] ve “Elektrik Piyasasında Dağıtım Sisteminde Sunulan Elektrik Enerjisinin Tedarik Sürekliliği, Ticari ve Teknik Kalitesi Hakkında Yönetmeliği” [95] dikkate alınarak, izlemeden elde edilen güç kalitesi verileri ile sistemin güç kalitesi raporları çıkarılmaktadır. Bir güç kalitesi izlemede, sürekli

olarak akım ve gerilim dalga şekilleri ile sistemde meydana gelen güç kalitesi bozulması kayıt altına alınmaktadır. Bu işlemleri gerçekleştiren ölçüm cihazına, güç analizörü adı verilmektedir [96]. Genel olarak güç kalitesi analizörleri, sistem geriliminin etkin değerindeki değişime göre olayları tespit etmekte ve FD yöntemi ile harmonik analizleri yapabilmektedir.

Güç sistemlerinde, kontrol veya koruma amaçlı olarak yapılan bir ölçme işlemiyle, güç kalitesi ölçümleri arasında yapısal olarak bir farklılık bulunmamaktadır. Bu ölçüm sistemlerini birbirlerinden ayıran temel özellikler, ölçüm işlemleri sonucunda elde edilen veriler için yapılan işlemler ve karar süreçleridir. Güç kalitesi izlemekten elde edilen veriler; sistemin işletilmesi, korunması ve kontrolü gibi sisteme müdahaleler için kullanılmaz. Güç kalitesi ölçümleri, özellikle güç kalitesi problemlerinin çözümü veya azaltılması işlemleri için gerekli ilk adımları oluşturur. Ayrıca sistemin işletilme sürecinde, güç kalitesi ölçümleriyle elde edilen sistem elemanlarının ve kaynağın performansına ait istatistiksel veriler, iyi bir güç kalitesi parametrelerine sahip güç sistemi oluşturulmasında gereken önemli bilgileri içerir.

Güç kalitesi ölçümlerine ait genel bir yapı, Şekil 4.18'deki gibi gösterilebilir. Bu ölçüm sisteminin yapısında ilk olarak, akımın ve gerilimin ölçülmesi gerçekleştirilir. İkinci aşamada, bu ölçüm verileri sürekli durumdan ayırık duruma getirilerek belirli bir örnekleme frekansında örneklendirilir. Son aşamada ise, bu ayırık akım ve gerilim verilerinde meydana gelen değişimlerin belirli zaman aralıklarına ait ortalama değerleri kayıt altına alınır. Ayrıca, sistemde meydana gelen dalga şekli bozulmaları için gerekli hesaplama ve kayıt işlemleri de gerçekleştirilir. Ölçüm sistemleri, sistem hafızasına kayıt edilen verilerin, bilgisayar ortamına aktarılması özelliğine de sahiptirler. Böylece, bu ölçüm verileri bir merkezde biriktirilir ve gerekli ileri analiz işlemleri, bilgisayar ortamında gerçekleştirilir.



Şekil 4.18. Güç kalitesi ölçümlerinin genel yapısı

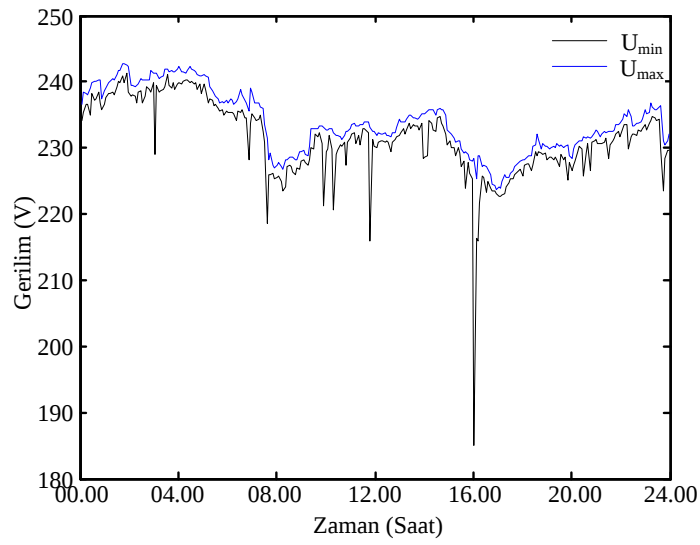
Bu tez çalışmasının aşamalarından birinde de, FÜBAP biriminin desteğiyle alınan güç kalitesi analizörü, FÜMET’de bulunan dağıtım transformatörünün çıkışına bağlanmış ve güç sistemi olayları izlenmiştir [59]. Yapılan ölçümler sonucunda, olay verileri, öncelikle cihaz hafızasına kaydedilmiştir. Daha sonra bu veriler, periyodik olarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Yapılan ölçüm işlemiyle; sistem büyüklükleri ve sistemde meydana gelen olaylara ait veriler kaydedilmiştir. Sisteme ait; akım, gerilim, frekans, güç türleri, güç katsayısı gibi büyüklüklerdeki değişimler, 5’er dakikalık süre içerisindeki aldıkları maksimum, minimum ve ortalama değerleri cihaz hafızasına kaydedilmiştir. Cihaz yazılımıyla akım ve gerilimde meydana gelen dalga şeklindeki bozulmalar, güç sistemi olayı olarak tespit edilmiştir. Faz gerilim sinyallerinin etkin değerinin nominal değerine göre % 10’luk bir azalışı veya artışı, olay olarak tanımlanmıştır. Cihaz hafızasına, olayın oluşum anını içeren 12 periyot süreli 3 fazlı olay gerilim ve akım verileri kaydedilmiştir. Cihaz yazılımıyla 3 fazlı gerilim ve akımlar, 10.25 kHz örnekleme frekansı ile kaydedilmiştir. Şekil 4.19’da, ölçüm yeri ve sistemi görülmektedir. Güç analizörü kullanılarak, Aralık 2008 ile Ekim 2009 tarihleri arasında sürekli olarak kayıt yapılmış ve olay verileri elde edilmiştir.



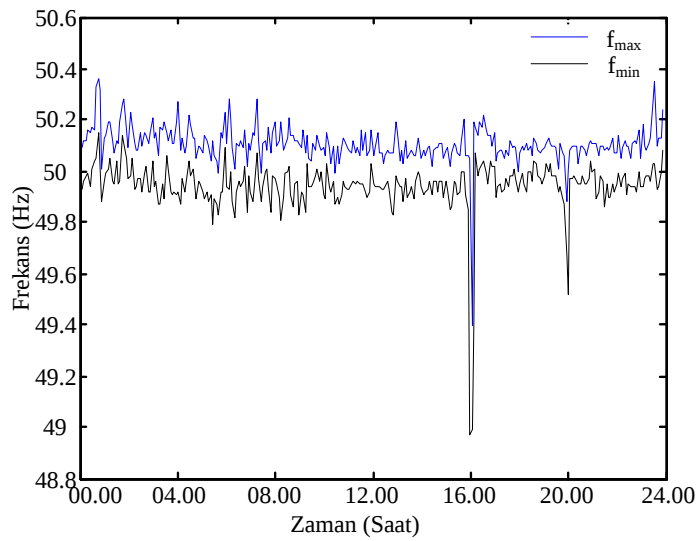
Şekil 4.19. Güç kalitesi analizörü ve ölçüm merkezi

4.10.1. Sistem Büyüklüklerinin Ölçülmesi

FÜMET ölçüm işlemiyle, sistemde meydana gelen güç sistemi olaylarının yanı sıra sisteme ait akım, gerilim, frekans, güç türleri ve güç katsayısı gibi büyüklükler sürekli olarak kaydedilmiştir. Şekil 4.20’de, şebeke gerilimimizin bir fazına ilişkin 09.02.2009 tarihine ait bir günlük efektif değerinin 5’er dakikalık süreçler içerisinde aldığı minimum ve maksimum değişim değerlerini görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.21’de de, aynı gün için frekans değişim değerleri verilmiştir.

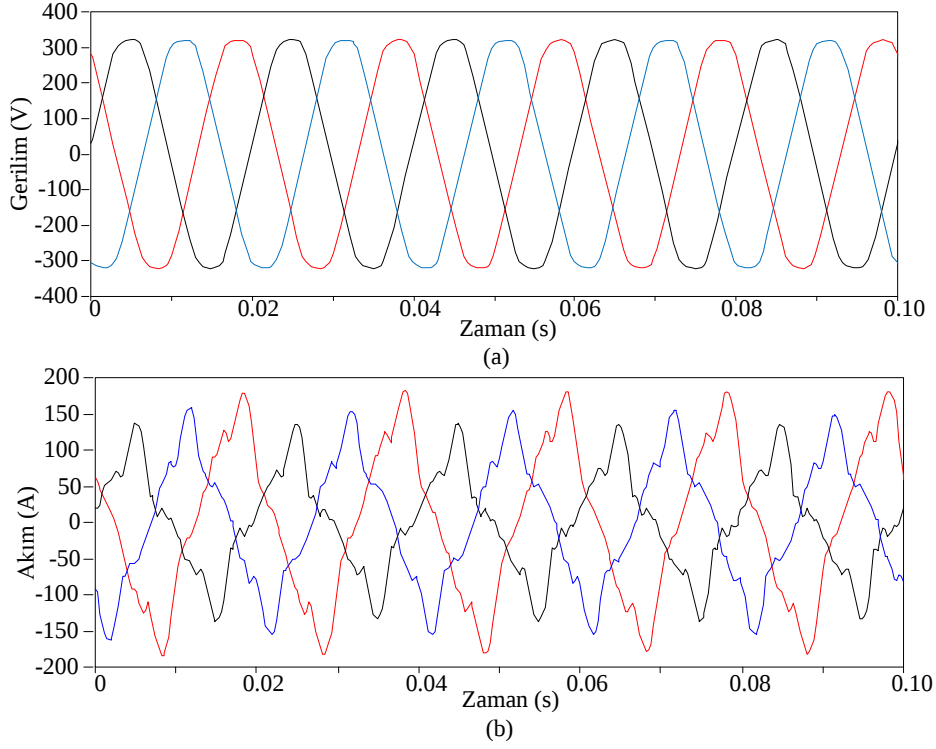


Şekil 4.20. Bir günlük şebeke gerilimindeki değişim



Şekil 4.21. Bir günlük şebeke frekansındaki değişim

Şekil 4.22’de, 5 periyotluk süre ile örnek alınan 3 fazlı gerilim ve akımdaki değişimler verilmiştir. Transformatör merkezine bağlı alıcıların, çoğunlukla flüoresan lambalar ve bilgisayarlardan oluşması nedeniyle, özellikle akım verilerinde oldukça fazla harmonikli bileşen bulunduğu görülmektedir.



Şekil 4.22. (a) şebeke gerilimi ve (b) şebekeden çekilen akım

Güç sistemlerinde meydana gelen harmonikler, cihazların yanlış çalışmasına veya hiç çalışmamasına, trafo ve motorların aşırı ısınmasına, iletişim hatlarında parazitlere, ölçümlerin yanlış yapılmasına, elektrik aygıtlarının ömürlerinin azalmasına, alıcıların ve sistemlerin güç kayıplarının artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca harmonikler, güç faktörünün düzeltilmesi için endüstriyel tesislerde yapılan kompanzasyon ünitelerinde, rezonans olayı sonucu ciddi problemlere neden olmaktadır [97-99]. Harmoniklerin zararlı etkilerinin azaltılması için, harmonik değerlerinin doğru ve sürekli ölçülmesine ihtiyaç vardır. Harmoniklerin güç sisteminde meydana getirdiği sorunların giderilmesi için bu bileşenlerin ölçümü ve analizi çok önemlidir. Ele alınan sistemlerde, hangi noktalardan ölçüm yapılacağı ve bunların analizlerinin nasıl gerçekleştirileceği, dikkat edilmesi gereken konulardır. Ülkemizde, elektrik iletim sistemi kullanıcılarının uymakla yükümlü oldukları harmonik sınır değerleri ve harmonik ölçüm sınır değerleri; “Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenirliği ve Kalitesi Yönetmeliği”, “Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği”

ve “Elektrik Piyasasında Dağıtım Sisteminde Sunulan Elektrik Enerjisinin Tedarik Sürekliliği, Ticari ve Teknik Kalitesi Hakkında Yönetmeliği” tarafından belirlenmektedir. Akım harmonik sınır değerleri, Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenirliği ve Kalitesi Yönetmeliği’nde, gerilim harmonik sınır değerleri de Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği’nde yer almıştır.

Bu tezde, akım ve gerilim sinyalleri için FD yöntemi kullanılarak harmonik analizi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, gerilim ve akım sinyallerine ait harmonik seviye değerleri, Toplam Harmonik Bozulma (THB) ve Toplam Talep Bozulma (TTB) değerleri elde edilmiştir. Tablo 4.2’de akım sinyallerine ve Tablo 4.3’te gerilim sinyallerine ait 40. harmonik seviyesine kadar harmonik gerilim yüzdeleri, THB ve TTB değerleri verilmiştir. THB değerleri,

$$THB = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} V_{etk(n)}^2}}{V_{etk(1)}} \quad (5.1)$$

ile elde edilir. Burada, $V_{etk(n)}$: n. harmonik gerilimin etkin değeri ve $V_{etk(1)}$: şebeke frekansındaki gerilimin etkin değeridir. TTB değerleri ise,

$$TTB = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} I_{etk(n)}^2}}{I_{etk(y)}} \quad (5.2)$$

ile elde edilir. Burada, $I_{etk(n)}$: n. harmonik akımın etkin değeri ve $I_{etk(y)}$: toplam talep bozulma akımının etkin değeridir.

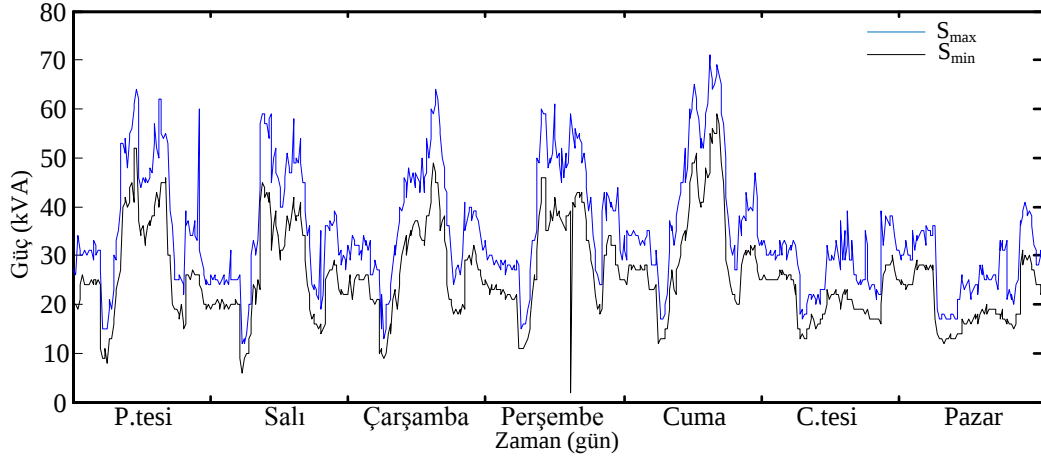
Tablo 4.2. Gerilim sinyalleri için harmonik değerler

Tek Harmonikler	Harmonik Gerilim (%)			Çift Harmonikler	Harmonik Gerilim (%)		
	Faz A	Faz B	Faz C		Faz A	Faz B	Faz C
3	0.5879	0.3003	0.0725	2	0.1907	0.3257	0.1549
5	2.7188	2.6636	2.7153	4	0.0750	0.1826	0.1155
7	0.8384	0.5873	0.6286	6	0.0602	0.0795	0.0138
9	0.0690	0.1424	0.0727	8	0.0855	0.0790	0.0266
11	0.1897	0.0550	0.1106	10	0.0368	0.0553	0.0364
13	0.2250	0.1424	0.1887	12	0.0356	0.0454	0.0117
15	0.0898	0.2003	0.0992	14	0.0263	0.0191	0.0231
17	0.1402	0.2442	0.1325	16	0.0280	0.0307	0.0144
19	0.0560	0.0810	0.0468	18	0.0216	0.0499	0.0245
21	0.0671	0.0517	0.0411	20	0.0326	0.0303	0.0026
23	0.0225	0.0557	0.0427	22	0.0176	0.0326	0.0046
25	0.0105	0.0159	0.0162	24	0.0175	0.0292	0.0097
27	0.0231	0.0391	0.0064	26	0.0157	0.0214	0.0088
29	0.0248	0.0264	0.0198	28	0.0133	0.0230	0.0015
31	0.0150	0.0151	0.0039	30	0.0137	0.0166	0.0074
33	0.0180	0.0181	0.0120	32	0.0126	0.0150	0.0024
35	0.0279	0.0129	0.0174	34	0.0091	0.0206	0.0060
37	0.0162	0.0101	0.0087	36	0.0064	0.0159	0.0027
39	0.0093	0.0131	0.0056	38	0.0097	0.0110	0.0065
Faz A THD	% 2.95		Faz B THD	% 2.79	Faz C THD	% 2.86	

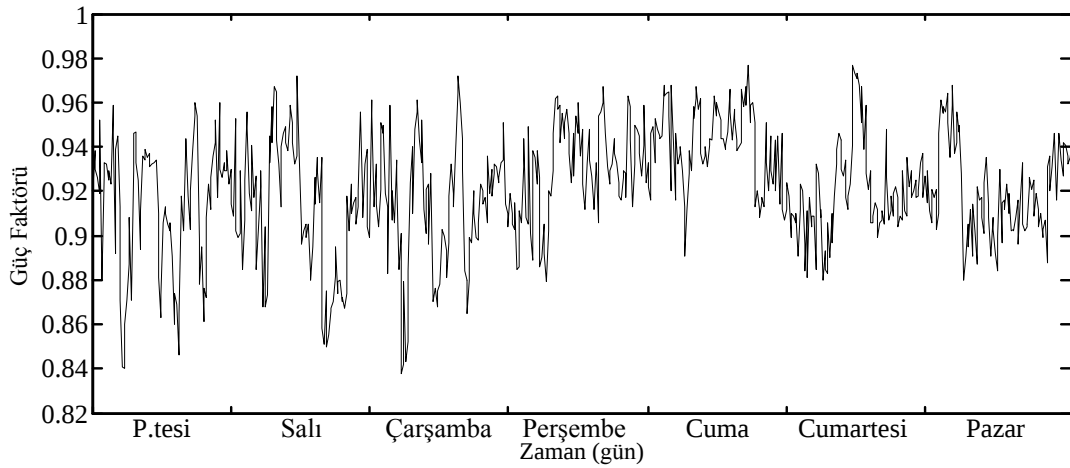
Tablo 4.3. Akım sinyalleri için harmonik değerler

Tek Harmonikler	Harmonik Akım (%)			Çift Harmonikler	Harmonik Akım (%)		
	Faz A	Faz B	Faz C		Faz A	Faz B	Faz C
3	14.1818	24.0128	15.4799	2	0.6642	0.1822	1.5867
5	13.5647	20.6674	15.2324	4	0.5847	0.1042	0.3513
7	5.4528	7.6057	6.8418	6	0.5435	0.5047	0.5436
9	0.3740	2.1809	0.7157	8	0.1547	0.2267	0.2416
11	1.8302	1.3652	0.9125	10	0.1633	0.2194	0.1726
13	2.6655	3.9608	3.8404	12	0.1886	0.1965	0.3239
15	1.2392	2.8210	1.5455	14	0.1677	0.3887	0.1492
17	1.7490	4.4342	2.1984	16	0.0897	0.3918	0.5276
19	0.3359	1.2059	0.3188	18	0.1709	0.4541	0.2557
21	0.8202	1.1574	0.3109	20	0.1695	0.1042	0.1932
23	0.1051	0.6191	0.6964	22	0.0771	0.1195	0.1277
25	0.1752	0.2086	0.1400	24	0.0948	0.0637	0.1154
27	0.2471	0.1351	0.1033	26	0.0377	0.0931	0.0809
29	0.1608	0.0806	0.2473	28	0.0607	0.0750	0.1213
31	0.0745	0.1007	0.1361	30	0.0745	0.0777	0.1063
33	0.0894	0.0509	0.1055	32	0.0463	0.0458	0.0288
35	0.2324	0.0298	0.1363	34	0.0353	0.0682	0.0707
37	0.1886	0.0248	0.0848	36	0.0531	0.0804	0.0853
39	0.0540	0.0416	0.0749	38	0.0469	0.0522	0.0144
Faz A TTB	%20.80		Faz B TTB	%33.38	Faz C TTB	%23.41	

Şekil 4.23'te, 01.06.2009 ile 08.06.2009 tarihleri arasındaki bir haftalık süre boyunca hattın çekilen görünür gücün, 5'er dakikalık süreler içerisinde aldığı minimum ve maksimum değişim değerleri görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.24'de, aynı hafta için güç faktöründeki ortalama değişim değerleri verilmiştir.



Şekil 4.23. Bir haftalık süre boyunca hattın çekilen görünür güç



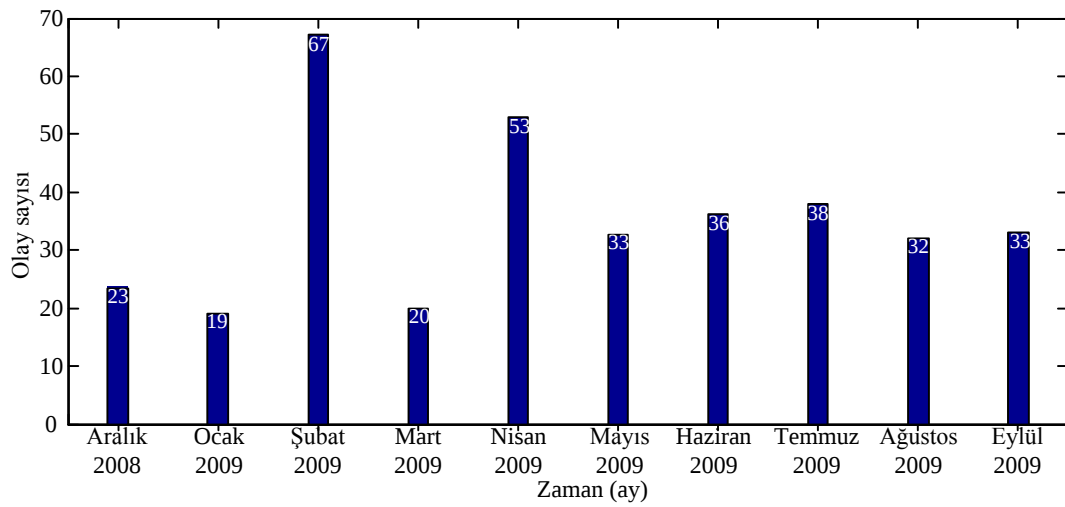
Şekil 4.24. Bir haftalık süre boyunca güç faktöründeki ortalama değişim

4.10.2. Ölçümler Sonucunda Elde Edilen Güç Sistemi Olayları

Güç kalitesi analizörü ile 10 aylık süre boyunca yapılan FÜMET ölçümlerinde, sistemde meydana gelen olaylar kayıt altına alınmıştır. Bu kayıt işleminde ilk olarak, cihaz programı ile sistemdeki gerilimin etkin değerindeki %10'luk bir anlık değişim meydana gelmesi durumundaki olaylar tespit edilmektedir. Sonra, bu olay sürecini kapsayan 12 periyotluk olay gerilim ve akım verileri cihaz hafızasına kaydedilmektedir. Ölçümler sonucunda, 354 güç sistemi olay verisi cihaz tarafından tespit edilmiştir. Bu olaylar üzerine

yapılan analizler sonucunda; 318 arıza olayı, 18 hat enerjilenmesi olayı, 16 kesinti olayı ve 2 transformatör enerjilenmesi olayı görülmüştür. Şekil 4.25’de, olayların meydana geldiği aylara ait dağılımlar verilmiştir.

Ayrıca güç kalitesi analizörü, geçici durum olaylarını da kaydetme özelliğine sahiptir. Ölçüm merkezinde, Şekil 4.26’da görülen kompanzatörlerle, güç kompanzasyonu yapılmaktadır. Sistemdeki kapasitörler otomatik olarak devreye girip-çıkarken, sistemde geçici durumlar meydana gelmektedir. Yapılan ölçümlerde, 92 geçici durum olayı kaydedilmiştir.

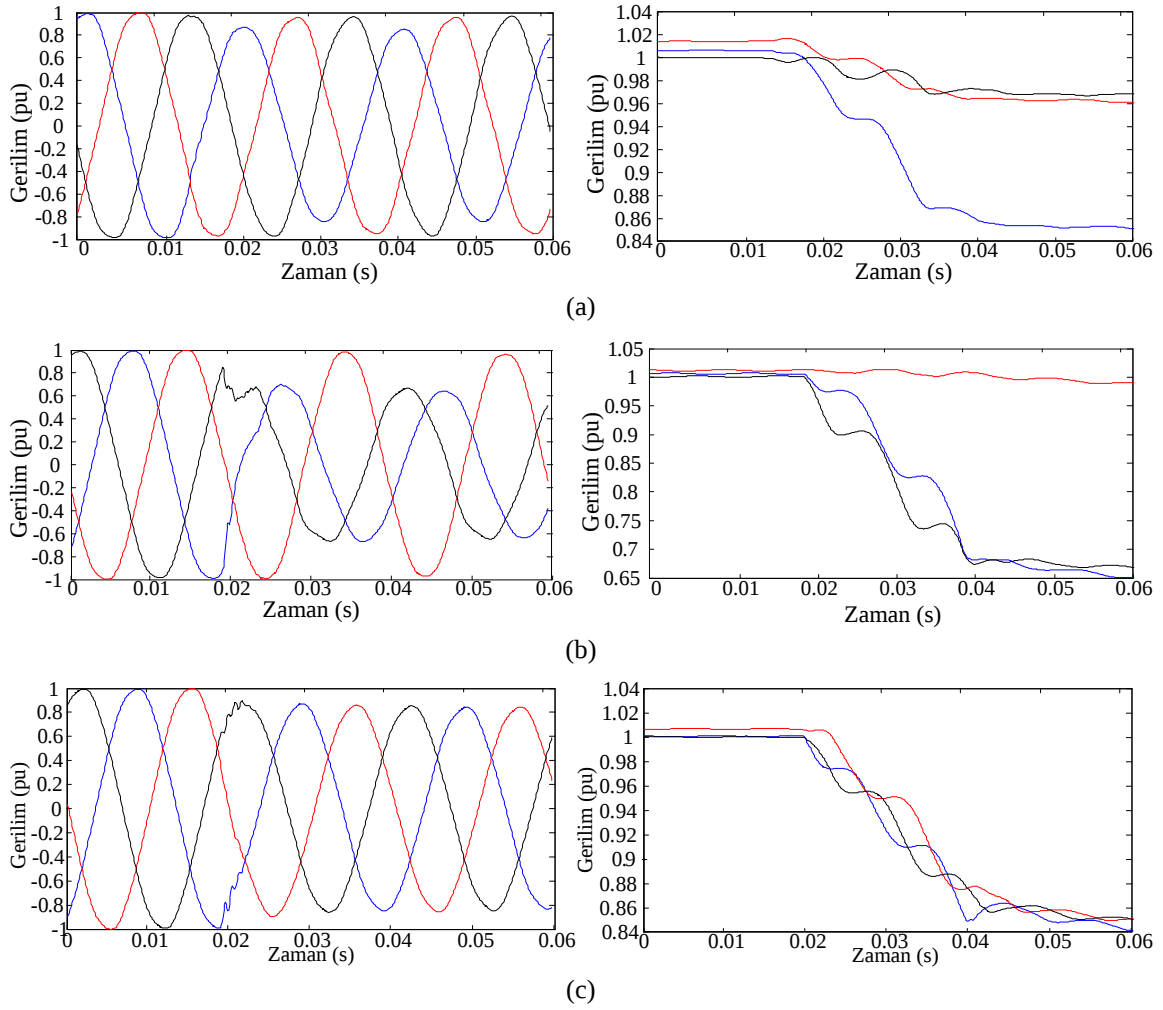


Şekil 4.25. Kayıt edilen olayların aylık dağılımları

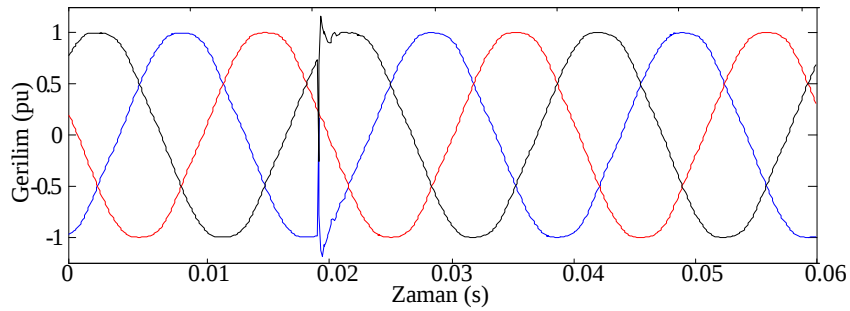


Şekil 4.26. FÜMET’de bulunan kompanzasyon sistemi

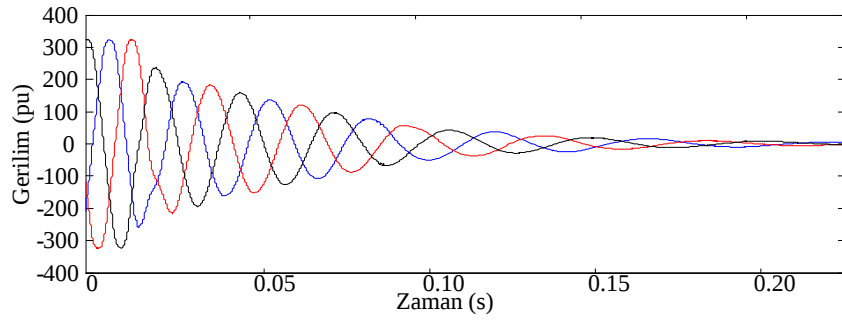
FÜMET ölçüm verileri, akıllı olay tanıma sisteminin girişine uygulanmıştır. Transformatör enerjilenmesi olayı sayısının yetersiz olması nedeniyle bu olay, akıllı tanıma sistemine giriş olarak uygulanmamıştır. Ölçülen bazı arıza, kapasitör anahtarlanması, hat enerjilenmesi ve kesinti olaylarına ilişkin değişimler, sırasıyla Şekil 4.27, 4.28, 4.29 ve 4.30’da verilmiştir.



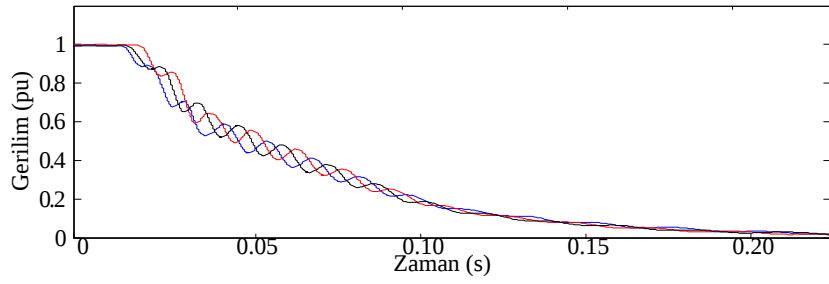
Şekil 4.27. FÜMET ölçümlerinden elde edilen bazı arıza olaylarının 3 fazlı dalga şekilleri ve etkin değer değişimleri



Şekil 4.28. FÜMET ölçümlerinden elde edilen kapasitör anahtarlanması olayı

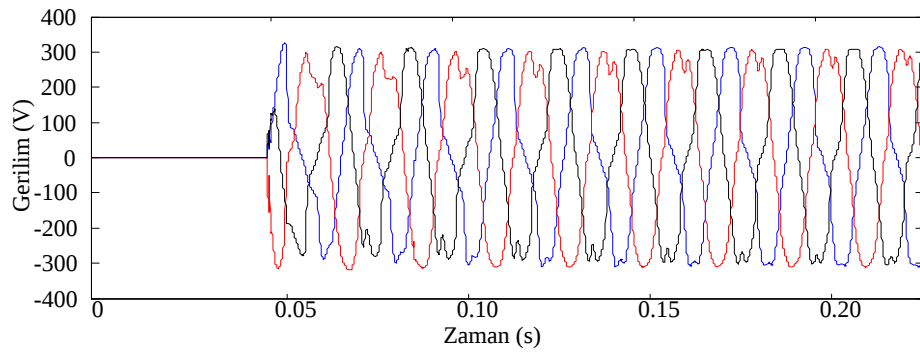


(a)

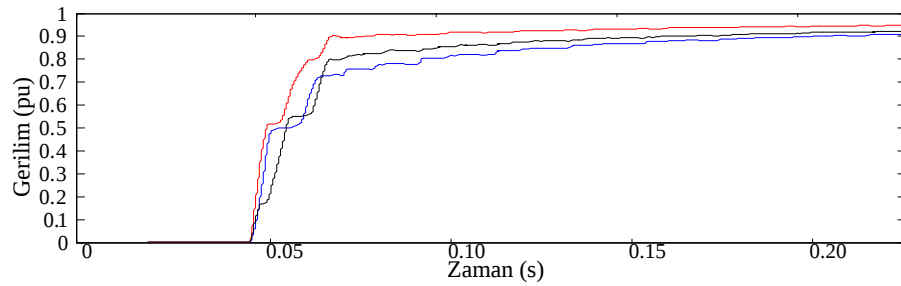


(b)

Şekil 4.29. FÜMET ölçümlerinden elde edilen arızasız kesinti olayında 3 fazlı gerilimin, (a) dalga şekli ve (b) etkin değer değişimi



(a)



(b)

Şekil 4.30. FÜMET ölçümlerinden elde edilen hat enerjilenmesi olayında 3 fazlı gerilimin, (a) dalga şekli ve (b) etkin değer değişimi

4.10.3. Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

FÜMET ölçümleri sonucunda, toplam 444 olay verisi elde edilmiş ve önerilen tanıma sisteminin performansını değerlendirmek için kullanılmıştır. Ayrıca, elde edilen gerilim ve akım sinyalleri için harmonik analizleri yapılmıştır.

Elektrik piyasasında dağıtım sisteminde sunulan elektrik enerjisinin tedarik sürekliliği, ticari ve teknik kalitesi hakkındaki yönetmelikte; gerilim harmonik sınır değerleri, Tablo 4.4'deki gibi ve akım harmonik sınır değerleri ise Tablo 4.5'deki gibi tanımlanmıştır. Tablo 4.4'deki gerilim harmonik sınır değerleri dikkate alınarak, Tablo 4.2'deki FÜMET ölçümlerinden elde edilen gerilim değerlerinin harmonik analizi sonuçlarına göre, ölçümü yapılan gerilim sinyallerinin harmonik içeriklerinin yönetmeliklere göre belirlenen sınırların altında olduğu görülmektedir. Tablo 4.5'deki akım harmonik sınır değerleri dikkate alınarak, Tablo 4.3'de FÜMET ölçümlerinden elde edilen akım değerlerinin harmonik analizi sonuçlarına göre, harmonik içeriklerinin yönetmeliklere göre belirlenen sınırların üzerinde olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu durumun en temel nedeni, sisteme bağlı flüoresan lambaların ve bilgisayarların çoğunlukta olmasıdır.

Tablo 4.4. Gerilim harmonikleri için sınır değerleri

Tek Harmonikler				Çift Harmonikler	
3'un Katları Olmayanlar		3'un Katları Olanlar			
Harmonik Sırası	Sınır Değer (%)	Harmonik Sırası	Sınır Değer (%)	Harmonik Sırası	Sınır Değer (%)
5	% 6	3	% 5	2	% 2
7	% 5	9	% 1.5	4	% 1
11	% 3.5	15	% 0.5	6,...,24	% 0.5
13	% 3	21	% 0.5		
17	% 2				
19	% 1.5				
23	% 1.5				
25	% 1.5				

Tablo 4.5. Akım harmonikleri için sınır değerleri

Tek Harmonikler						
I_{SC}/I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TTB
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
Çift harmonikler, kendinden sonraki tek harmonik için tanımlanan değerin %25'i ile sınırlandırılmıştır. ISC = Şebekeye bağlantı noktasındaki Kısa devre akımı IL = Şebekeye bağlantı noktasındaki yükün maksimum demand akımı						

Elde edilen ölçümler sonucu, aylık olarak ortalama 35 güç sistemi olayı meydana geldiği ve bu durumlarda özellikle arızalı fazlarda gerilim seviyesinin oldukça azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, sürekli olarak kompanzasyon kapasitörlerinin devreye girip çıkması ile çok sayıda geçici durum olayı meydana geldiği görülmüştür. Bu nedenle, sisteme bağlanacak olan mikroişlemci tabanlı elektronik sistemler, motor hız kontrol düzenleri gibi cihazların güç kalitesine karşı duyarlılığı göz önüne alınmalıdır. Böylece, cihazın hatalı çalışması ve arızalanması gibi durumların önüne geçilmiş olunur.

5. GÜÇ SİSTEMİ OLAY VERİLERİNDEN ÖZELLİK ÇIKARMA

Güç sistemi olay verilerinin büyük bir boyuta sahip olması nedeniyle, olay türünün belirlenmesinde, doğrudan olay işaret verilerinin kullanılması etkin bir yöntem değildir. Her bir güç sistemi olay işaretinde; zaman, genlik ve frekans gibi ayırt edici bilgiler bulunmaktadır. İşaretin temel yapısını oluşturan bu bilgileri ortaya çıkarmak için, incelenen işaretin bir analiz yöntemiyle ayrıştırılması gereklidir. Böylece, olay işaretini temsil eden, veri boyutu indirgenmiş ayırt edici özellikler elde edilir.

Örüntü tanıma, ortak özelliğe sahip olan ya da aralarında bir ilişki kurulabilen karmaşık olayları ve nesneleri, çeşitli yöntemler vasıtasıyla tanımlayıp bir kategoriye ya da sınıfa koyma işlemidir. Bir örüntü tanıma işleminde, işaret işleme yöntemi sonucunda elde edilen katsayılar doğrudan kullanılabileceği gibi, bu katsayılara özellik çıkarım tekniği de uygulanabilmektedir. Özellik çıkarma işlemi; işaretin veri boyutunun indirgeniği, tanımlayıcı anahtar özelliklerinin tespit edildiği ve aynı zamanda normalizasyona tabii tutulduğu aşamadır. Bu aşama, sistemin başarımında en etkili rolü oynar. Bu nedenle, örüntü tanımanın son aşamasını oluşturan sınıflandırma sistemine uygulanılacak olan veri sayısının az olması, tasarlanan tanıma sistemin daha hızlı ve yüksek doğruluk derecesine sahip olmasına olanak sağlayacaktır.

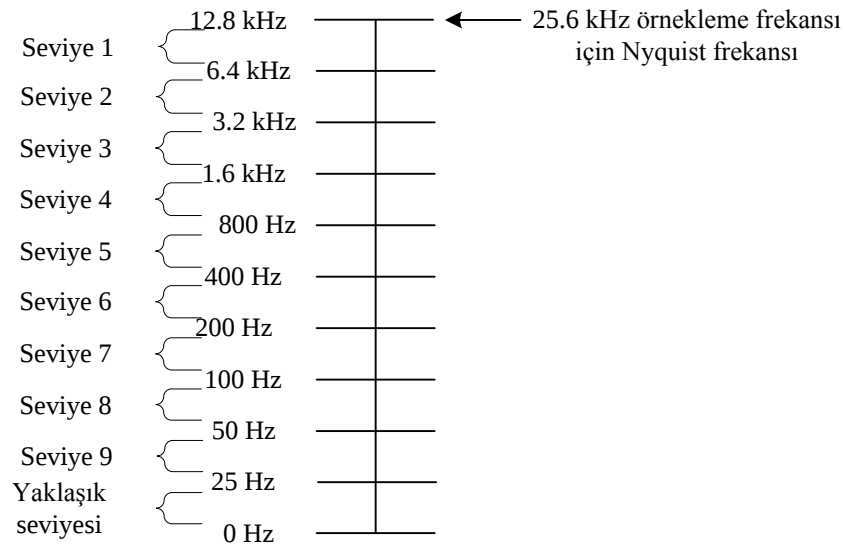
Bu bölümde, güç sistemi olay işaretleri için düşük veri boyutlu ve ayırt edici bir özellik vektörü elde edilmesi için gerekli, işaret işleme ve özellik çıkarım aşamasına yer verilmiştir. Üç faz olay gerilim sinyallerine, DD uygulanarak dönüşüm katsayıları elde edilmiştir. Daha sonra, iki aşamalı özellik çıkarım yöntemi uygulanarak sonuç özellik vektörü elde edilmiştir.

5.1. Güç Sistemi Olay İşaretlerinin Dalgacık Dönüşümü ile Analizi

Çok çözünürlüklü DD'nin işaret ayrıştırma özelliği kullanılarak, bozulan işareten önemli bilgiler çıkarılabilir. Çözünürlük seviyelerinde, her bir bozulma türüne özgü frekans, genlik ve zaman bilgileri bulunmaktadır. Belirli bir boyuta sahip olan bu bilgi kümesine, özellik çıkarım yöntemleri uygulanarak işareti tanımlayan ayırt edici özellik vektörleri oluşturulabilir. Bunu gerçekleştirmek için, bu çalışmada ADD çoklu çözünürlük ayrıştırma katsayılarına iki aşamalı özellik çıkarım yöntemine dayalı bir güç sistemi olay tanıma sistemi önerilmiştir.

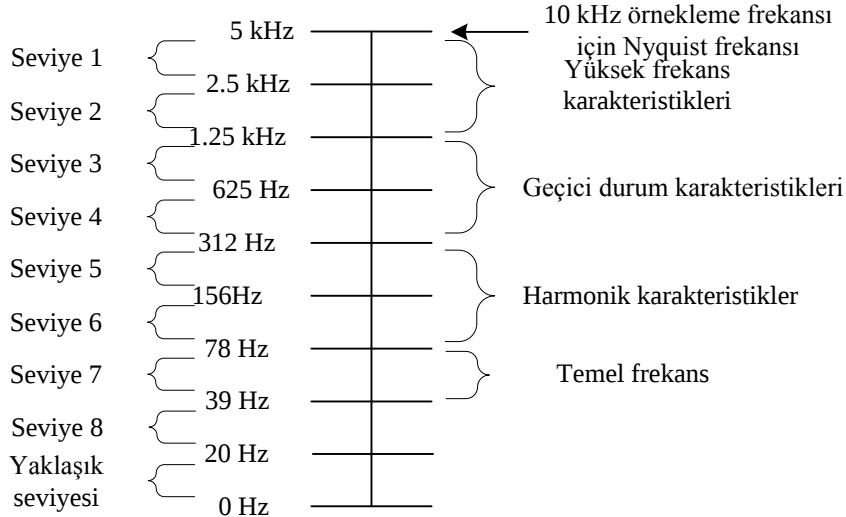
Bu alt bölümde, güç sistemi olay işaretlerine çok çözünürlüklü ayrıştırma işlemi uygulanarak, zaman-frekans bilgileri elde edilmiştir. Yapılan ayrıştırma işlemlerinde, güç kalitesi problemlerinin analizlerinde yaygın olarak kullanılan Daubechie 4 dalgacık tipi seçilmiştir. Daubechie 4 dalgacığı, bir güç kalitesi bozulması işaretinin karakteristiğine yakın bir davranış sergiler. Ayrıca, sadece 8 örnekli kısa bir dalgacık türü olması nedeniyle, yapılan analizlerde fazla hesaplama yükü oluşturmaması, Daubechie 4 dalgacığının önemli bir özelliğidir [15, 63].

Yapılan analizlerde; GKMP olay verileri, FÜMET olay verileri ve ATP/EMTP olay verileri kullanılmıştır. GKMP olay verileri, 25.6 kHz'lik örnekleme frekansına sahiptir. FÜMET olay verilerinin örnekleme frekansı, 10.25 kHz'dir. ATP/EMTP olay verilerinin örnekleme frekansı ise, 10 kHz olarak belirlenmiştir. GKMP olay verileri için, 50 Hz'lik temel frekansın bir alt frekans bandını içeren 9 seviyeli çok çözünürlüklü ADD analizi gerçekleştirilmiştir. Bu ayrıştırma işleminin içerdiği her bir frekans bandı, Şekil 5.1'de verilmiştir. Bu şekilden de görülebileceği gibi, 25.6 kHz'lik bir örnekleme frekansı için yapılan çok çözünürlüklü ADD analizleri, işaretin frekans karakteristiğinin ortaya çıkaracağı temel frekans ve harmonik frekans bantlarının köşelerine ya da yakın bölgelerine denk gelmektedir. Böylece, sızıntı etkisi olarak isimlendirilen, gerçekte işaret içerisinde bulunmayan bir frekansın etkisi ayrıştırma katsayılarına yansımaktadır. Bu nedenle ADD analizlerinde, incelenilen işaretin frekans karakteristikleri frekans bant köşelerine veya yakın bölgelerine denk gelmeyecek şekilde uygun örnekleme frekansının seçilmesi gerektiği de göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 5.1. 25.6 kHz örnekleme frekansına sahip GKMP olay verileri için frekans bant aralıkları

Şekil 5.2’de görüldüğü gibi, yapay veriler için yapılan 10 kHz’lik bir örnekleme frekansı ve 8 seviyeli bir çok çözünürlüklü ADD analizi gerçekleştirilmiştir. Böylece işaretin temel frekansı ile 2., 3. ve 5. harmonik bileşenlerin frekans bant aralıklarının merkezine getirilmesiyle bu sızıntı etkisi, nispeten azaltılır. Böylece olay işaretlerini temsil eden her bir frekans bant bileşeni, işaretin ayırt edici özelliğini içerisinde bulunduracaktır.



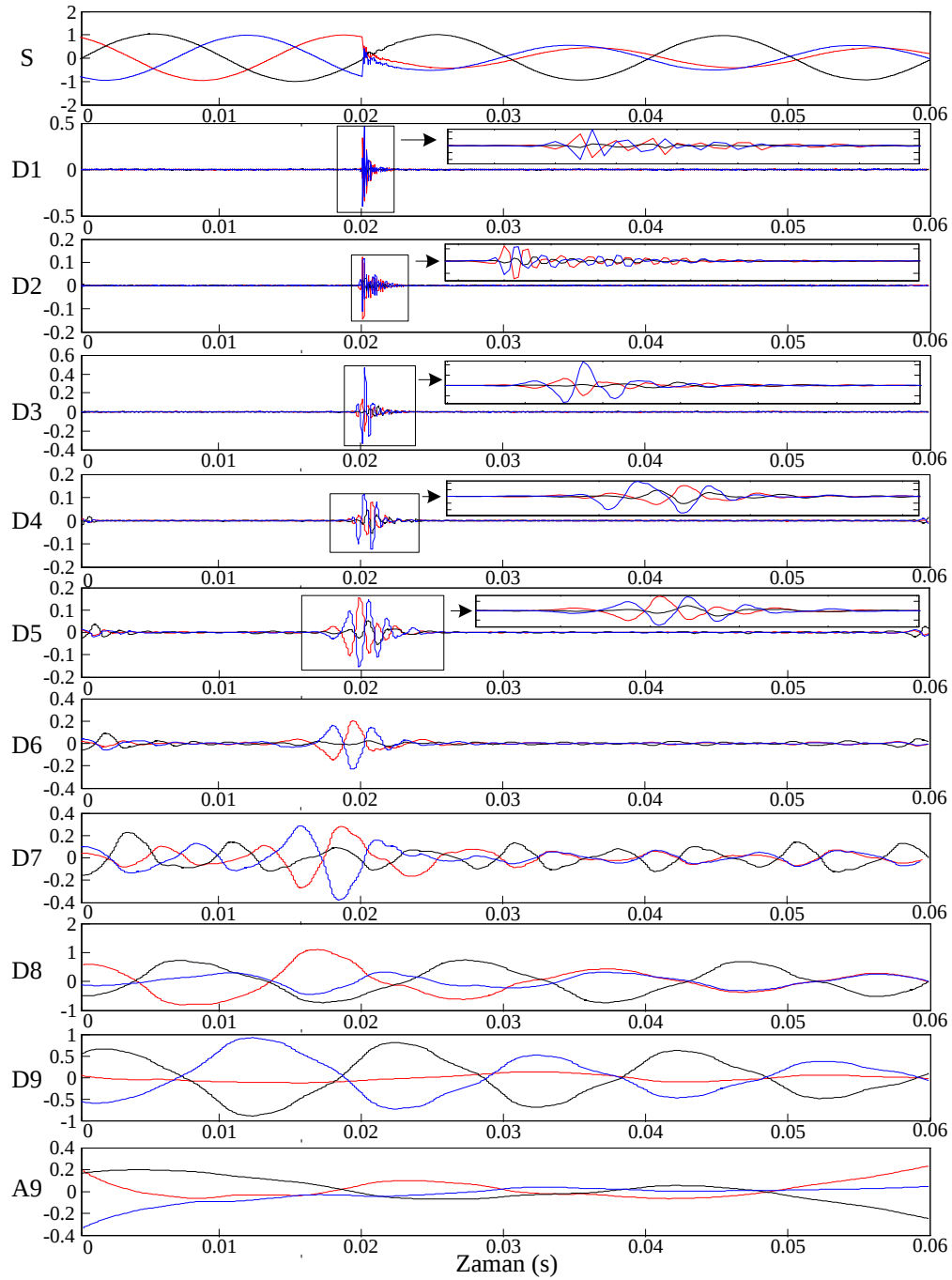
Şekil 5.2. 10 kHz örnekleme frekansına sahip ATP/EMTP olay verileri için frekans bant aralıkları

FÜMET ölçüm verilerinde ise, güç analizörünün sahip olduğu 10.25 kHz’lik bir örnekleme frekansı için yapılan ADD analizinde, ATP/EMTP olay verilerinde olduğu gibi 8 seviyeli çok çözünürlüklü ayrıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu örnekleme frekansı için temel frekansın bulunduğu 7. seviye, yaklaşık olarak 40 Hz ile 80 Hz arasındaki frekans bileşenlerini içermektedir. 6. seviye, yaklaşık olarak 80 Hz ile 160 Hz arası ve 5. seviye ise, yaklaşık olarak 160 Hz ile 320 Hz arası frekans bileşenlerini içerisinde bulundurmaktadır. Bu ayrıştırma işlemi için frekans bant aralıklarından da görülebileceği gibi, 10.25 kHz’lik bir örnekleme frekansı için sızıntı etkisi 25.6 kHz’e göre daha az olacaktır.

Bu alt bölümde, her bir güç sistemi olayı için çok çözünürlüklü ayrıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Analizi yapılan olay türleri ve elde edilen dönüşüm katsayılarına ait değişimler gösterilmiştir. Analizi yapılan olaylar GKMP, FÜMET ve ATP/EMTP olay verileridir. Bu tezde önerilen tanıma sisteminde, olay türleri için normalizasyon ve segmentasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle yapılan çok çözünürlüklü ayrıştırma analizlerinde, olay üç faz gerilim işaretleri 1 pu’luk genliğe ve 3 periyotluk uzunluğa sahiptirler. Çok çözünürlüklü DD analizleri için, Dalgacık Modülü MATLAB kütüphanesi kullanılmıştır [100].

5.1.1. Arıza Olay Verilerinin Dalgacık Dönüşümü ile Analizi

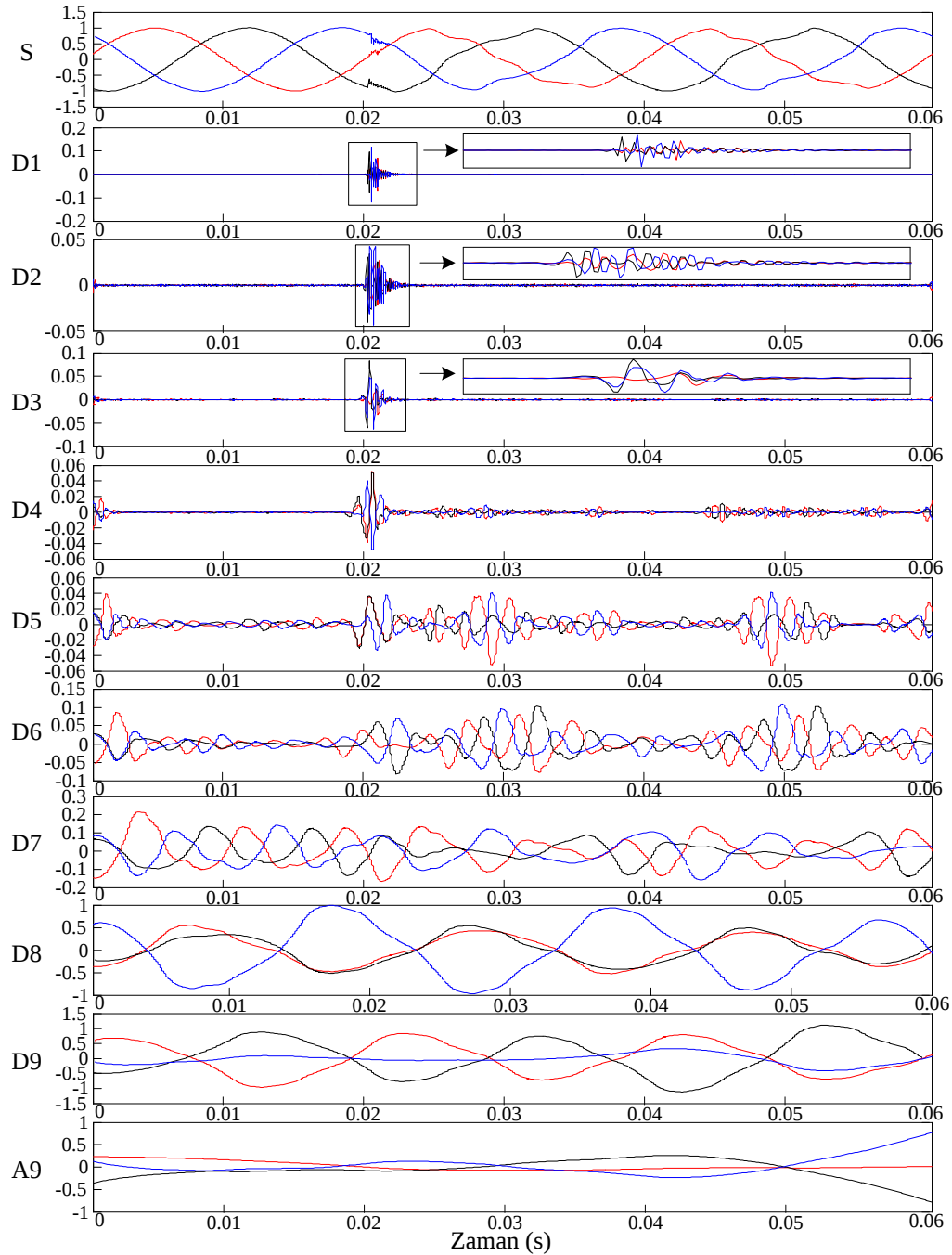
Şekil 5.3'te, GKMP olay verilerine ilişkin bir arıza olayı için çoklu çözünürlük analiz sonuçları verilmiştir. Arıza anında faz gerilimlerinde oluşan salınımlı geçici durumların etkisi, 1. ile 6. seviyeler arasındaki katsayılardan açıkça görülebilir. Ayrıca, olay sonrasında meydana gelen gerilim çökmelerini 7., 8. ve 9. seviyelerdeki dönüşüm katsayıları temsil etmektedir.



Şekil 5.3. Bir arıza olayının ADD ile çoklu çözünürlük analizi

5.1.2. Transformatör Enerjilenmesi Olay Verilerinin Dalgacık Dönüşümü ile Analizi

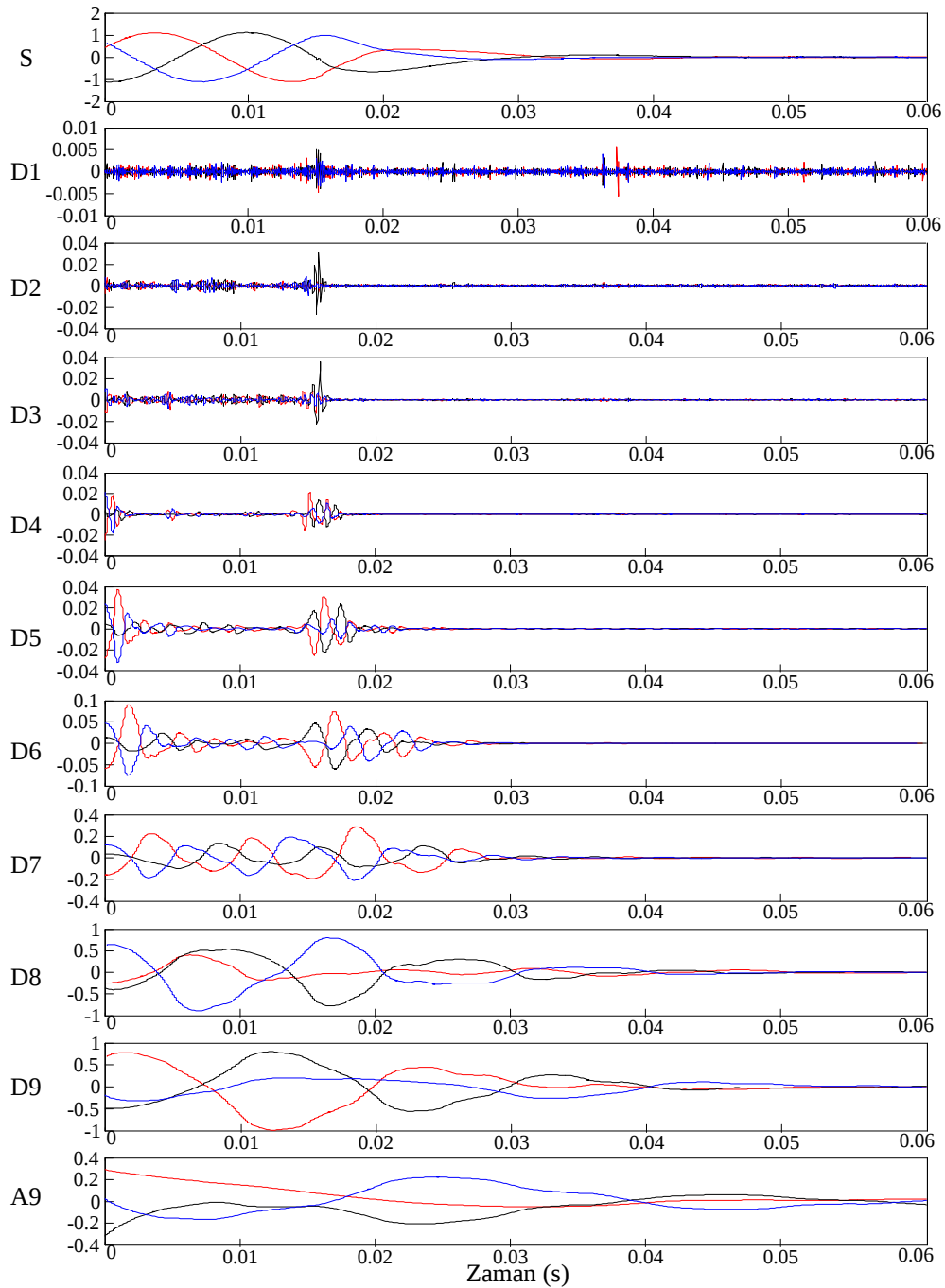
Şekil 5.4’de, GKMP olay verilerine ilişkin bir transformatör enerjilenmesi olayı için çoklu çözünürlük analiz sonuçları verilmiştir. Bu olay sonrasında, arıza olayına benzer olarak salınımlı geçici durumlar meydana gelmektedir. Olay sonrasında, 5. ve 6. seviye dönüşüm katsayılarının artışı, sistem geriliminde meydana gelen harmoniklerin etkisini gösterir.



Şekil 5.4. Bir transformatör enerjilenmesi olayının ADD ile çoklu çözünürlük analizi

5.1.3. Kesinti Olay Verilerinin Dalgacık Dönüşümü ile Analizi

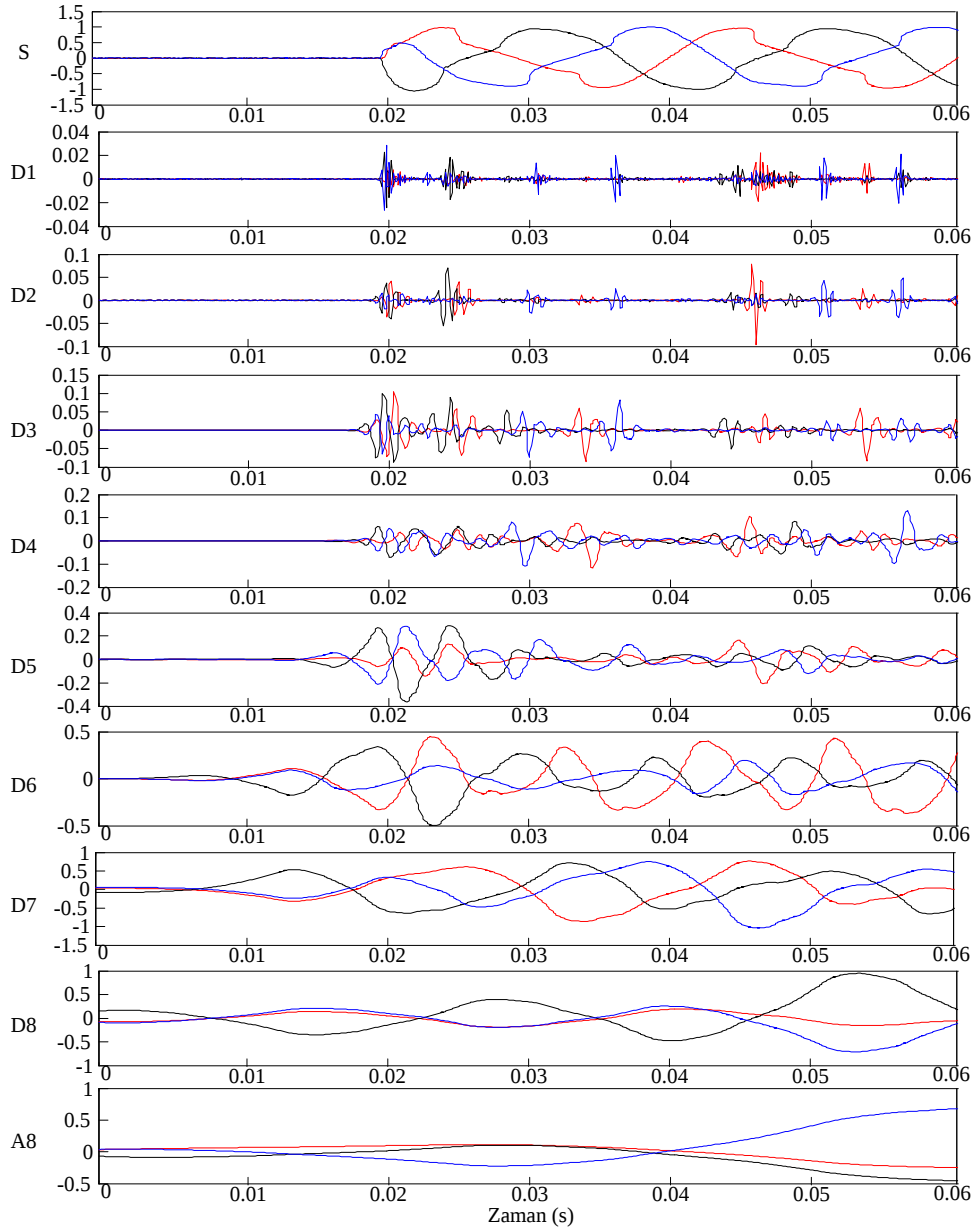
Şekil 5.5’de, GKMP olay verilerine ilişkin bir kesinti olayı için çoklu çözünürlük analiz sonuçları verilmiştir. Kesicinin açılma süresince meydana gelen geçici durumun genliği, kapanma sürecine göre daha azdır. Bu durum, ilk 5 seviyelerde açıkça görülmektedir. Ayrıca, 4. seviye ve sonrasındaki dönüşüm katsayılarının olay sonrasında giderek sıfıra düşmesi, sistemin enerjisiz kalmasını temsil etmektedir.



Şekil 5.5. Bir kesinti olayının ADD ile çoklu çözünürlük analizi

5.1.4. Hat Enerjilenmesi Olay Verilerinin Dalgacık Dönüşümü ile Analizi

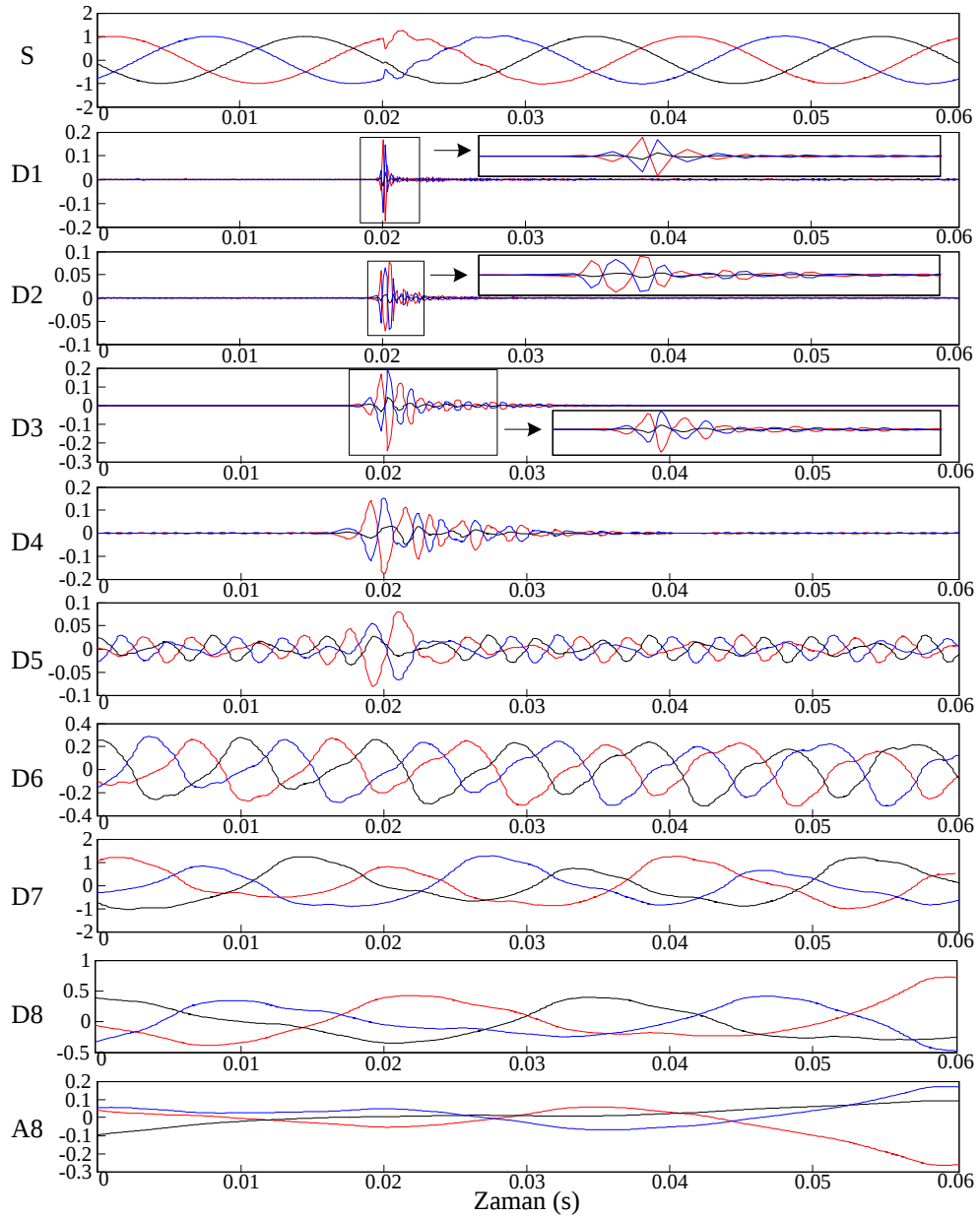
Şekil 5.6’da, FÜMET verilerine ilişkin bir hat enerjilenmesi olayı için çoklu çözünürlük analiz sonuçları verilmiştir. Bu analizde, yüksek frekans bantlarında kapama geçici durumların etkisi, 5. ve 6. seviyelerde ise transformator enerjilenmesi ile meydana gelen harmonik içeriklerin etkisi görülmektedir.



Şekil 5.6. Bir hat enerjilenmesi olayının ADD ile çoklu çözünürlük analizi

5.1.5. Kapasitör Anahtarlanması Olay Verilerinin Dalgacık Dönüşümü ile Analizi

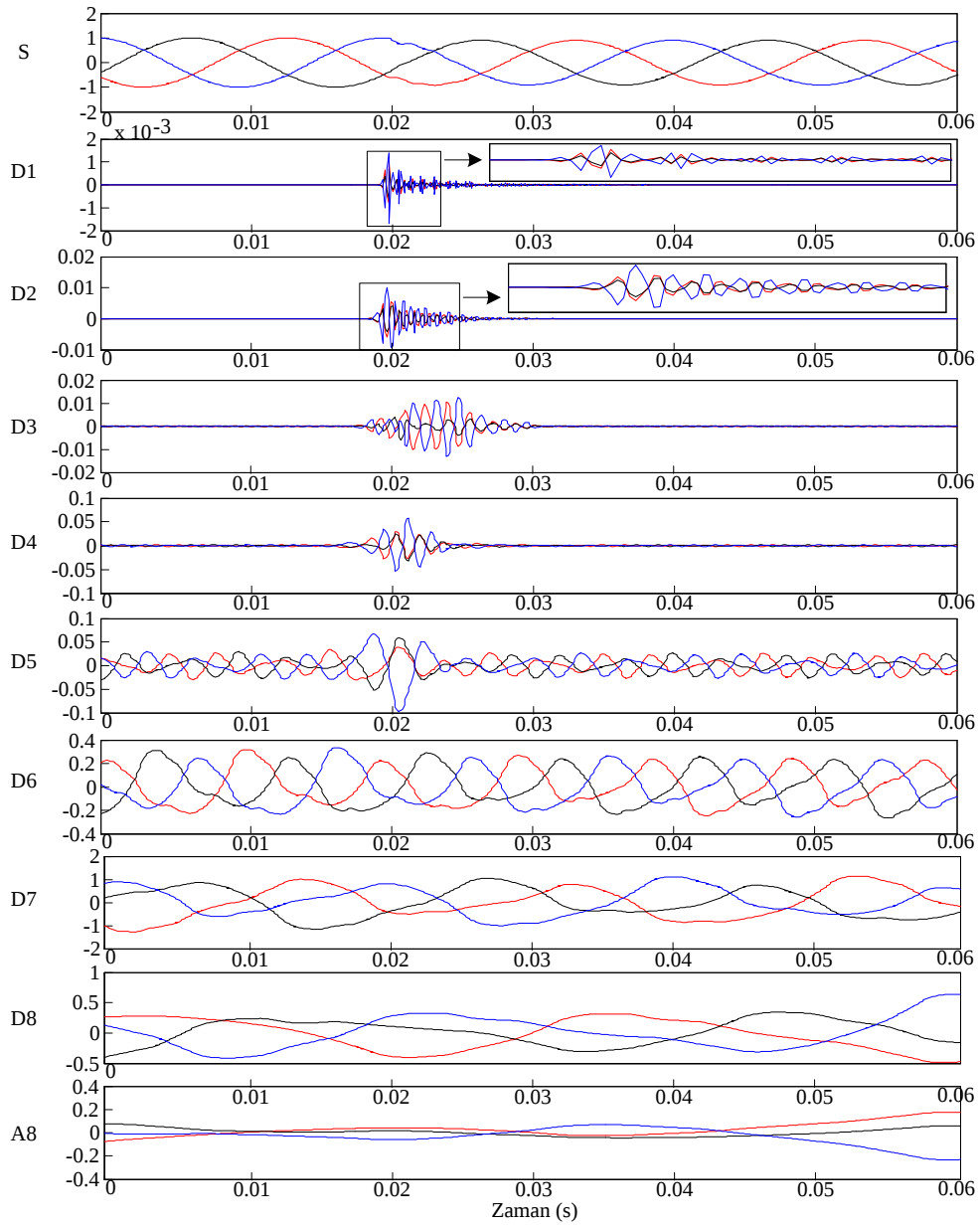
Şekil 5.7’de, ATP/EMTP olay verilerine ilişkin bir kapasitör anahtarlanması olayı için çoklu çözünürlük analiz sonuçları verilmiştir. Bu analizde, meydana gelen düşük frekanslı salınımlı geçici durumların etkisi 1. seviye ile 5. seviye arasındaki dönüşüm katsayılarından açıkça görülmektedir. 2.5 kHz ile 5 kHz arası frekansları temsil eden 1. seviyede, meydana gelen geçici durumlar yaklaşık olarak 2 ms sürmekte iken, 312 Hz ile 625 Hz arası frekansları temsil eden 4. seviyede ise meydana gelen bu aralıktaki geçici durumlar ise yaklaşık olarak 15 ms süreyle etkisini devam ettirmektedir.



Şekil 5.7. Bir kapasitör anahtarlanması olayının ADD ile çoklu çözünürlük analizi

5.1.6. Yük Anahtarlama Olay Verilerinin Dalgacık Dönüşümü ile Analizi

Şekil 5.8’de, ATP/EMTP veri kümesine ait bir yük anahtarlama olayı için çoklu çözünürlük analiz sonuçları verilmiştir. Yük anahtarlama olayında, diğer enerjilenme olaylarına göre daha az genlikte geçici durumlar meydana gelmektedir. Bu durum, yüksek frekans bantlarında görülebilir. Ayrıca, yaklaşık olarak temel frekansı temsil eden 6. ve 7. seviyelerdeki dönüşüm katsayılarında bir miktar düşme olduğu görülmektedir.



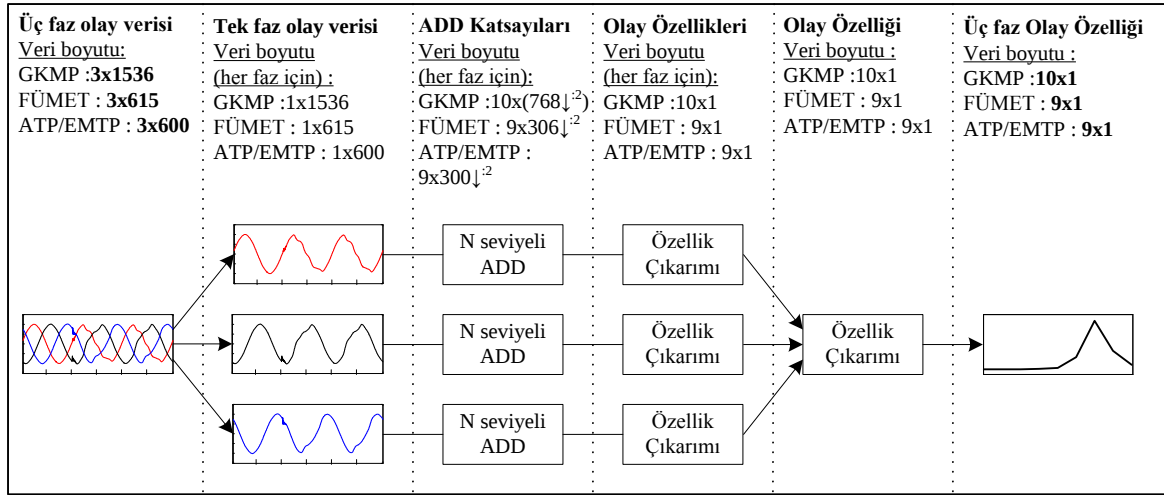
Şekil 5.8. Bir yük anahtarlama olayının ADD ile çoklu çözünürlük analizi

5.2. Güç Sistemi Olay Verilerinden Dalgacık Dönüşümü İle Özellik Çıkarma

Özellik, tanımlanacak bir nesne hakkında genellikle ölçümler veya gözlemler sonucu ayırt edici bilgi taşıyan değişkenler dizisi olarak tanımlanır. Bu değişkenler, bir çıkarım yöntemiyle tanımlanacak nesneyi niteleyecek şekilde bir araya getirildiğinde, özellik vektörü olarak isimlendirilen N boyutlu bir vektör elde edilir [101].

Güç sistemi olay işaretlerinin oldukça fazla veri boyutuna sahip olması nedeniyle, doğrudan sınıflandırma işlemi yapılması, tanıma performansı açısından etkili bir yöntem değildir. Bu nedenle, örüntü tanıma problemlerinde veri boyutunu azaltmak ve bu verilere ait ayırt edici özellikleri çıkartmak amacıyla kullanılan özellik çıkarma yönteminin, güç sistemi olay işaretlerine uygulanması gerekmektedir. Böylece, güç sistemi olaylarına özellik çıkarma yöntemleri uygulanarak her bir olay türü için özellik vektörü elde edilir. Bu amaçla, olay işaret verileri yerine, olay işaretlerinin zaman, frekans ve genlik bilgilerini içeren dönüşüm katsayılarına, özellik çıkarma yöntemlerinin uygulanması daha etkili bir yöntemdir. Elde edilen özellik vektörü, düşük veri boyutuna sahip olmakla beraber, sınıflandırıcıyı küçük hatalarla eğitimi ve karar aşamasının daha kısa sürede gerçekleşmesini sağlayacaktır. Ayrıca özellik vektörü, sınıflandırma sistemi için kararlı bir yapının oluşmasında etken olacaktır. Bu tür kararlı özellikler, sınıflandırıcının genelleme ve ayırışım yeteneğinin yüksek olmasında önemlidir.

Bu bölümde; güç sistemi olay işaretlerine, özellik çıkarım işleminin uygulanması hakkında bilgiler verilmiştir. Şekil 5.9’da, her bir olay türü için elde edilen özellik vektörünün akışı görülmektedir. Bu özellik vektörünün elde edilmesinde ilk olarak; üç faz olay işaretlerinin her bir fazına, ayrı ayrı çok çözünürlüklü ayrıştırma işlemi uygulanır. Bu işlemde, GKMP olay verileri için 9 seviyeli ayrıştırma işlemi gerçekleştirilir. FÜMET olay verileri ve ATP/EMTP olay verilerine ise 8 seviyeli ayrıştırma işlemi yapılır. Ayrıca, son seviyenin yaklaşık katsayıları da özellik çıkarımı için kullanılır. Daha sonra, her faz için elde edilen çok çözünürlüklü ayrıştırma katsayılarına, özellik çıkarımı işlemi uygulanarak her bir fazın özellik vektörü elde edilir. Son olarak, bu üç özellik vektörüne tekrardan özellik çıkarma işlemi uygulanarak, her bir üç faz olayı için tek özellik vektörü oluşturulur. GKMP olay verilerinin boyutu 3×1536 (4608) iken, özellik çıkarımı işlemi sonucunda bu veri boyutu 10×1 ’e indirgenmiş olunur. Böylece yaklaşık olarak, $1/460$ oranında veri indirgeme işlemi yapılır. Benzer olarak, FÜMET olay verileri için $1/205$ oranında ve ATP/EMTP olay verileri için $1/200$ oranında veri indirgeme işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 5.9. Özellik çıkarım akışı

Güç sistemi olay işaretlerine ait dönüşüm katsayılarına, enerji özellik çıkarım tekniği uygulanmıştır. Enerji yöntemi, birçok güç kalitesi bozulmalarını belirleme çalışmalarında kullanılan, etkili bir özellik çıkarım tekniğidir [63]. Bu tezde, her bir olay fazına ait çoklu çözünürlük ayrışım seviyesi dönüşüm katsayılarına,

$$E_{ij} = \sum_{n=1}^N |D_{jn}|^2, \quad j = 1, \dots, \ell \quad i = 1, 2, 3 \quad (5.1)$$

$$E_{i(j+1)} = \sum_{n=1}^N |A_{jn}|^2 \quad (5.2)$$

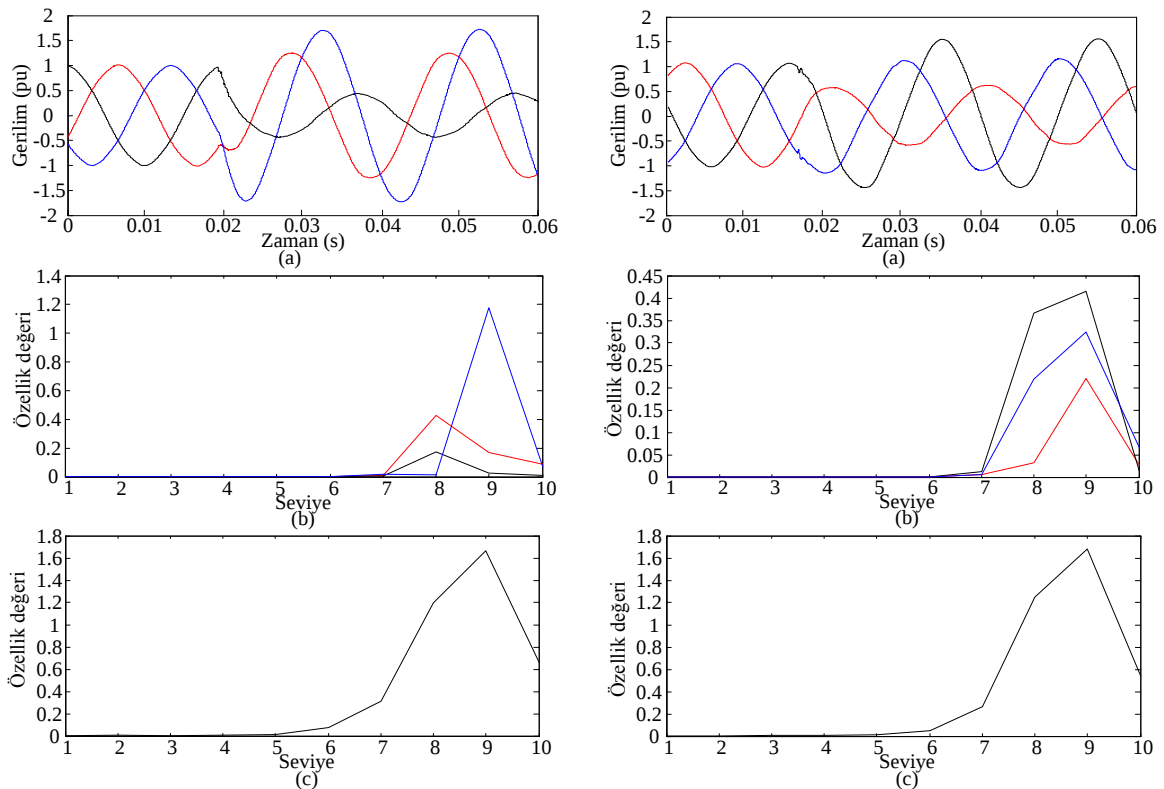
ile tanımlanan Enerji özellik çıkarım tekniği uygulanılır. Burada; j: ayrışım seviyesini, D: detay katsayılarını, A: yaklaşık katsayılarını ve N: detay veya yaklaşık katsayılarının sayısını temsil etmektedir. i ise faz-1, faz-2 ve faz-3 olmak üzere üç fazı temsil etmektedir. Böylece her bir faza ait üç özellik vektörü (E_{1j} , E_{2j} ve E_{3j}) elde edilir.

Elde edilen bu üç özellik vektörü ile sınıflandırma işlemi yapılırsa, sınıflandırıcı GKMP olay verileri için 30 ve FÜMET ile ATP/EMTP olay verileri için 27 özellik ile eğitim ve karar işlemlerini yerine getirecektir. Sistemde meydana gelecek olan olayların oluşum açıları, 0 ile 360 derece arasında oluşacağı için elde edilecek dönüşüm katsayıları da farklı olacaktır. Ayrıca, faz-toprak arıza olayı gibi simetrik olmayan bir olay için, sınıflandırıcının eğitim ve karar aşamalarının bu durumlar için de yapılandırılması gibi problemlerle karşılaşılır. Güç sistemi olaylarının akıllı sistemlerle tanınması işleminde, karşılaşılabilecek bu olumsuz durumlar, elde edilen üç faz özellik vektörlerine, ikinci bir özellik çıkarım yöntemi uygulanarak bu tezde ortadan kaldırılmıştır. Bu yöntem,

$$E_j = \sum_{i=1}^3 E_{nj}^{1/2}, \quad j=1, \dots, \ell+1 \quad (5.3)$$

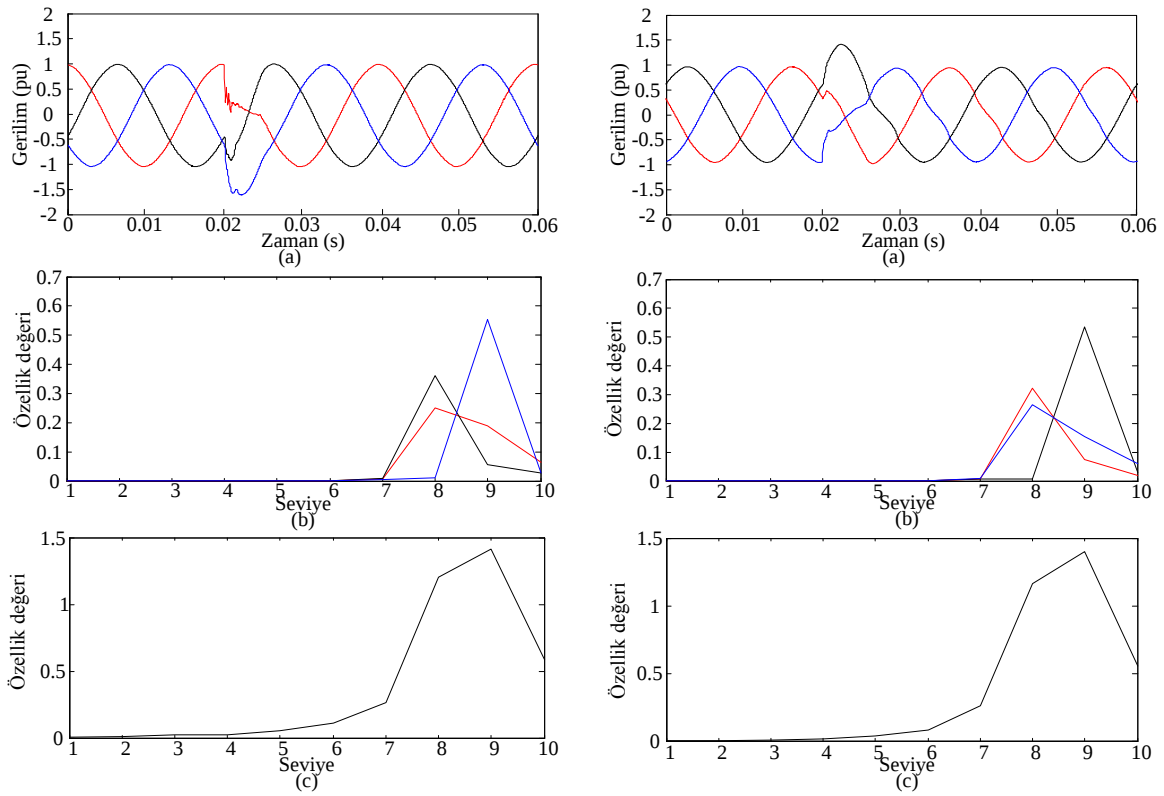
ile tanımlanır. Böylece, üç faz olay işaretleri için tek özellik vektörü (E_j) elde edilir. Bu tek özellik vektörünün boyutu, GKMP olay verileri için 10 ve FÜMET ile ATP/EMTP olay verileri için 9 olacağı için sınıflandırıcı sisteminin girişi için daha az bir veri boyutu oluşturulur. Ayrıca her bir olay; oluşum açısı, simetrik veya asimetrik gibi farklı parametrelere sahip olsa bile, elde edilen özellik vektörü bu parametrelere göre bağımsız olacaktır.

Şekil 5.10'da, GKMP olay verisi olan iki ayrı tek faz-toprak arıza olayı için elde edilen üç faz özellik vektöründeki değişimler ve tek özellik vektöründeki değişimler verilmiştir. Bu iki arıza türünde, oluşum açısı ve olay sonrasında her bir fazda oluşan gerilim bozulmalarının genliği farklıdır. Bu iki arızanın benzer arıza türü olmasına rağmen, çok çözünürlüklü analizi ve Enerji özellik çıkarım tekniği sonucunda elde edilen her bir faza ait özellik vektörlerinin birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Ancak, bu iki arıza türü için ikinci özellik çıkarımı aşaması sonucunda elde edilen tek özellik vektörlerinin, benzer bir değişime sahip olduğu görülmektedir.

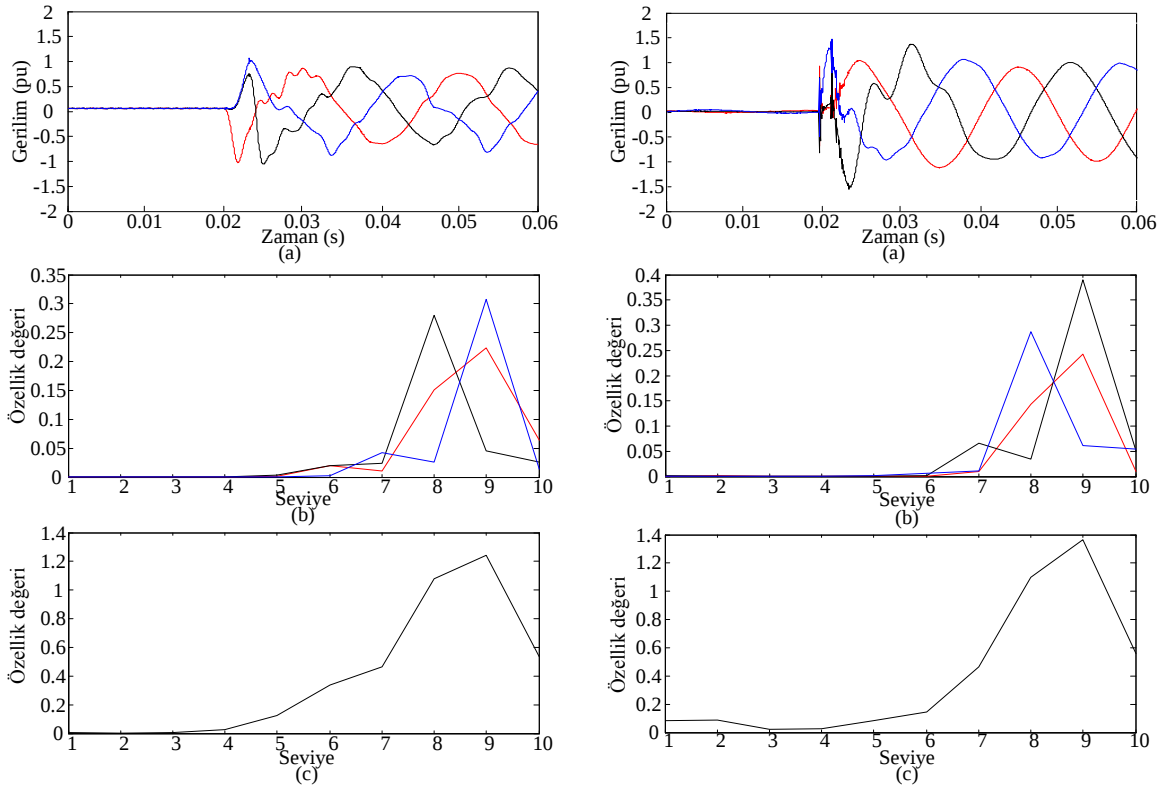


Şekil 5.10. Arıza olayı için; a) üç faz dalga şekilleri, b) üç faz özellik vektöründeki değişimler ve c) tek özellik vektöründeki değişimler

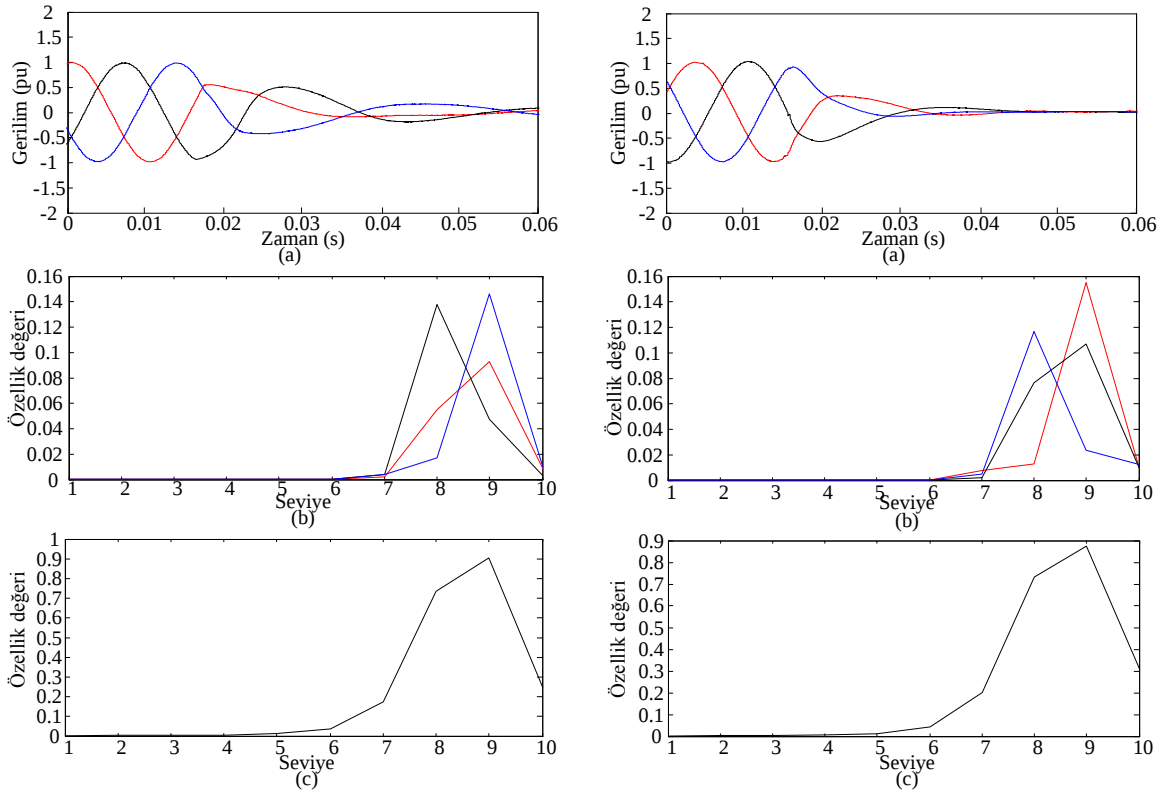
Şekil 5.11’de kendiliğinden sönümlenen arıza, Şekil 5.12’de hat enerjilenmesi, Şekil 5.13’te kesinti ve Şekil 5.14’de transformatör enerjilenmesi olayları için elde edilen özellik vektöründeki değişimler gösterilmiştir. Bu özellikler, GKMP olay verilerinden elde edilmiştir. GKMP olay verilerinde temel frekans, 8. seviyenin alt sınır ve 9. seviyenin üst sınır frekansına denk gelmektedir. Böylece temel frekans, sızıntı etkisi ile beraber her iki seviye bandında temsil edilmektedir. Bu durum, GKMP olay verileri için elde edilen üç faz özelliklerinden görülebilir. Fakat elde edilen tek özellik vektöründe, bu sızıntı etkisinin ortadan kaldırıldığı görülür. Şekil 5.15’de kapasitör anahtarlanması ve Şekil 5.16’de yük anahtarlanması olayları için elde edilen özellik vektöründeki değişimler gösterilmiştir. ATP/EMTP olay verilerinden elde edilen bu özelliklerde, üç faz özelliklerinden görülebileceği gibi temel frekans, 7. seviye frekans bandının ortasına geldiği için temel frekansa ait sızıntı etkisi görülmemektedir.



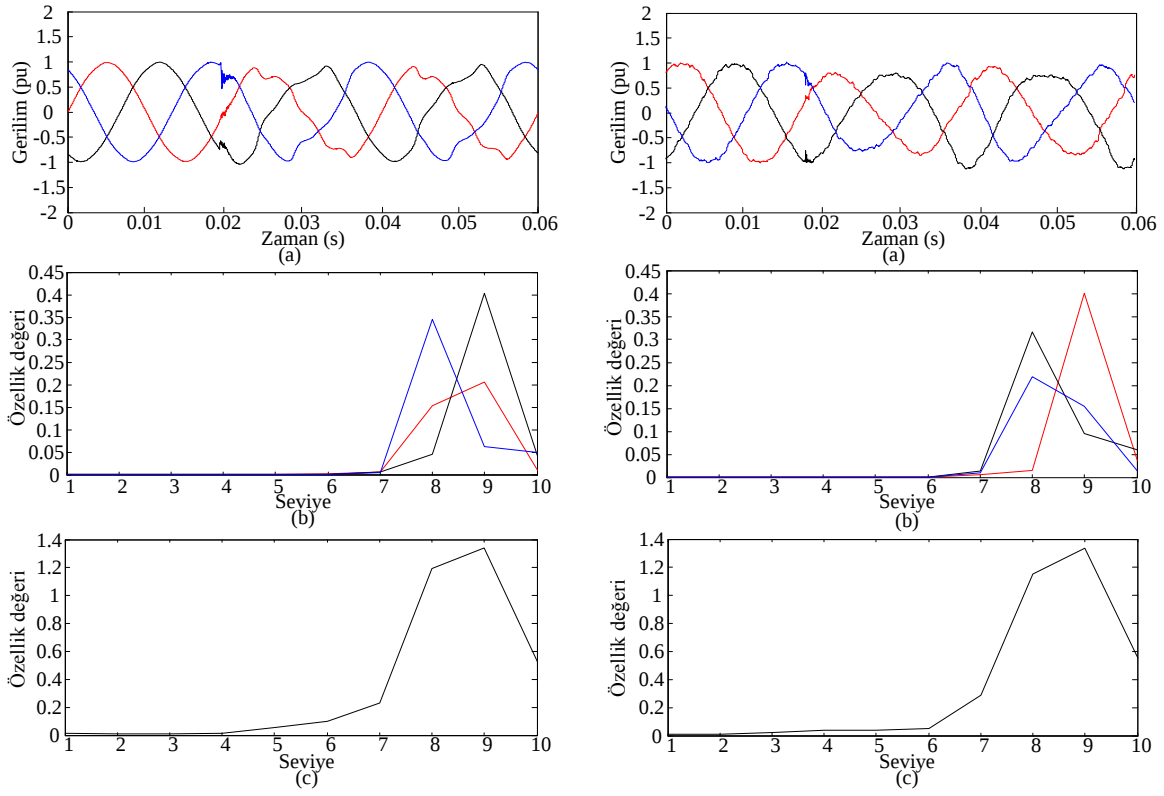
Şekil 5.11. Kendiliğinden sönümlenen arıza olayı için; a) üç faz dalga şekilleri, b) üç faz özellik vektöründeki değişimler ve c) tek özellik vektöründeki değişimler



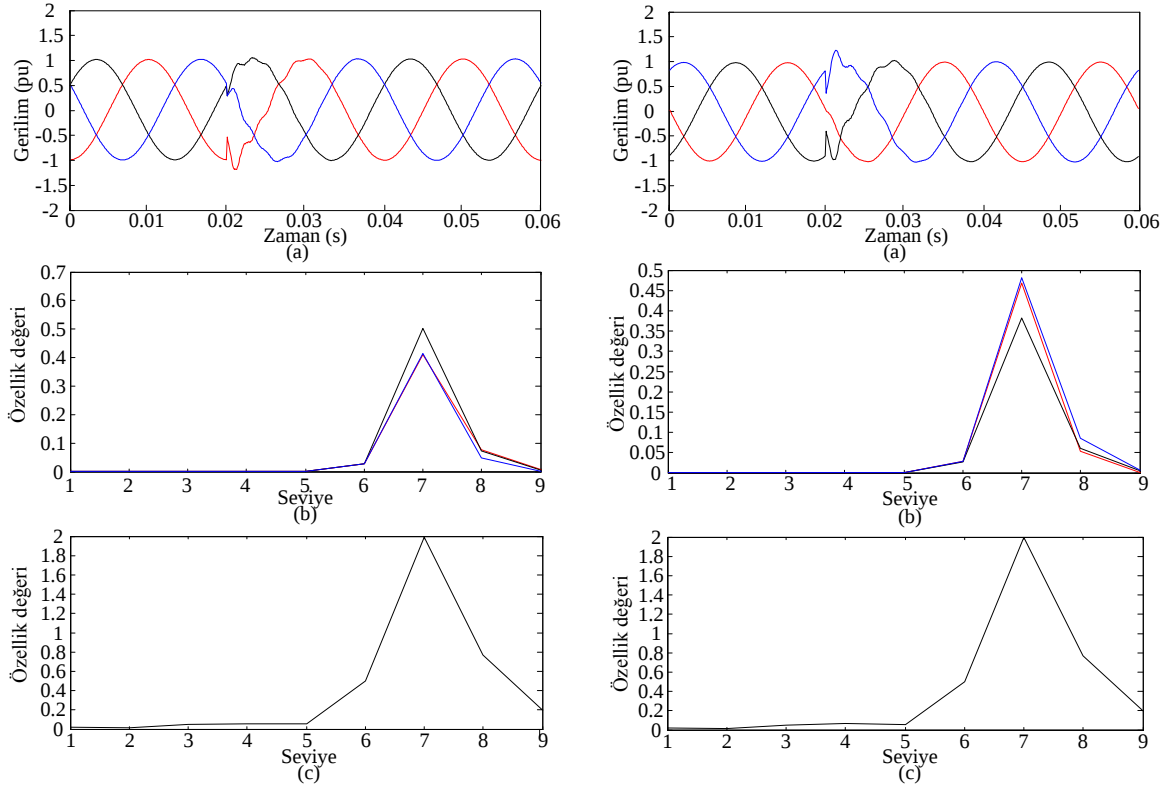
Şekil 5.12. Hat enerjilenmesi olayı için; a) üç faz dalga şekilleri, b) üç faz özellik vektöründeki değişimler ve c) tek özellik vektöründeki değişimler



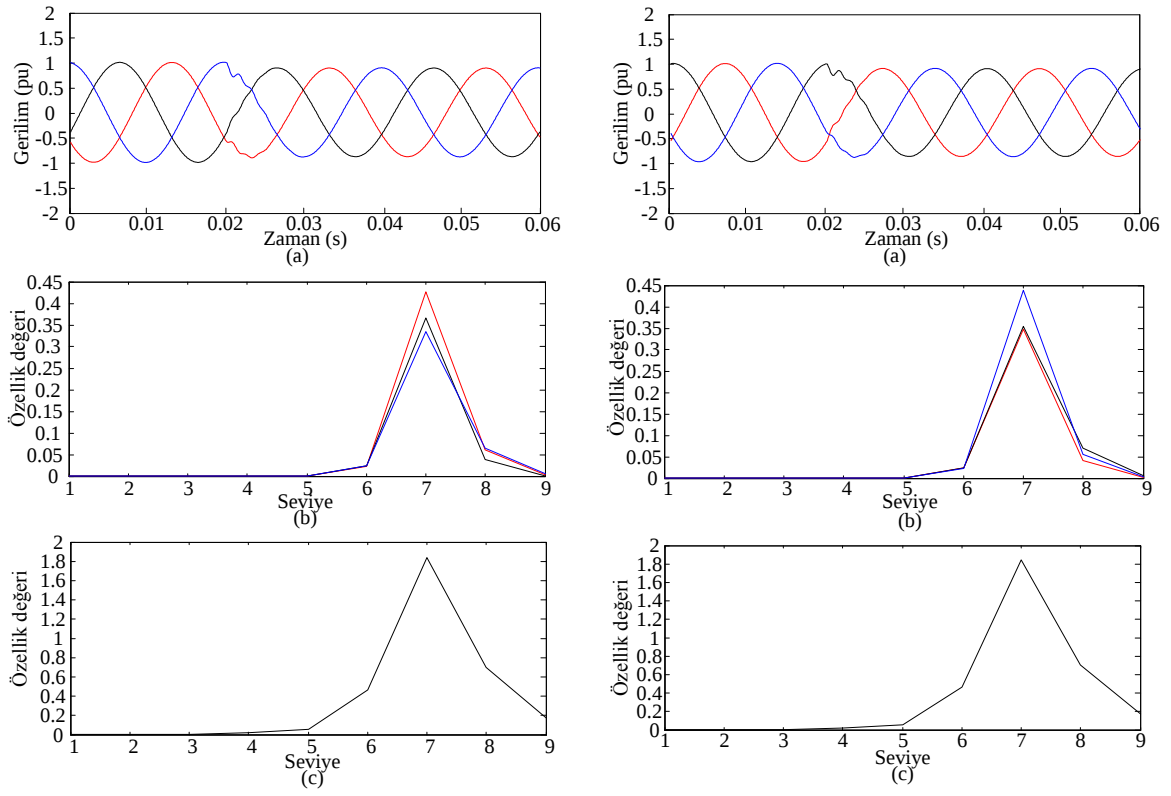
Şekil 5.13. Kesinti olayı için; a) üç faz dalga şekilleri, b) üç faz özellik vektöründeki değişimler ve c) tek özellik vektöründeki değişimler



Şekil 5.14. Transformör enerjilenmesi olayı için; a) üç faz dalga şekilleri, b) üç faz özellik vektöründeki değişimler ve c) tek özellik vektöründeki değişimler



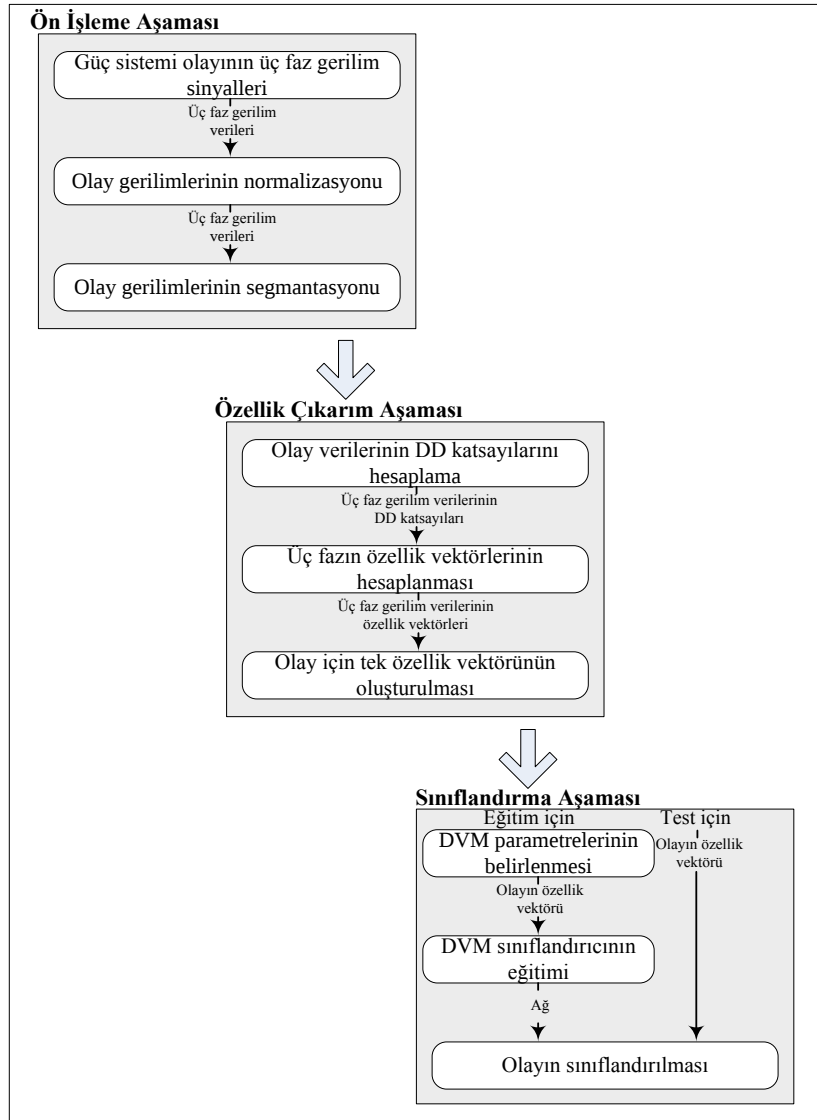
Şekil 5.15. Kapasitör anahtarlanması olayı için; a) üç faz dalga şekilleri, b) üç faz özellik vektöründeki değişimler ve c) tek özellik vektöründeki değişimler



Şekil 5.16. Yük anahtarlanması olayı için; a) üç faz dalga şekilleri, b) üç faz özellik vektöründeki değişimler ve c) tek özellik vektöründeki değişimler

6. GÜÇ SİSTEMİ OLAYLARININ BELİRLENMESİ İÇİN ÖNERİLEN AKILLI TANIMA TEKNİĞİ

Bu bölümde, güç sistemi olay türlerini belirlemek için tasarlanan akıllı tanıma tekniğinin yapısı, başarımı ve kullanılabilirliği hakkında kapsamlı değerlendirmeler yapılmıştır. Şekil 6.1’de, önerilen akıllı tanıma tekniğinin blok şeması görülmektedir. Akıllı tanıma tekniğinin ilk aşaması, olay gerilimlerinin normalizasyonu ve segmantasyonundan oluşan ön işlemedir. İkinci aşama, olay gerilimlerinin özellik vektörünün elde edilmesinden oluşan özellik çıkarımıdır. Son aşama, DVM kullanılarak güç sistemi olaylarının belirlenmesini içeren sınıflandırmadır.



Şekil 6.1. Akıllı güç sistemi olay tanıma tekniğinin blok şeması

6.1. Güç Sistemi Olay Verileri

Bir akıllı tanıma sisteminin performansının belirlenmesinde, en önemli ölçütlerden birisi, sisteme giriş olarak uygulanan işaretlerin türü ve parametreleridir. Bu tezde, önerilen teknikte giriş olarak GKMP olay verileri, FÜMET olay verileri ve ATP/EMTP olay verileri kullanılmıştır. Böylece, akıllı tanıma sisteminin girişine, geniş parametrelere sahip sıkça karşılaşılan güç sistemi olay işaretleri uygulanmıştır.

6.1.1. GKMP Olay Verileri

Gerçek bir güç sisteminde akım ve gerilim işaretleri, temel frekans bileşenlerinin yanı sıra gürültü, harmonik ve dengesizlikler gibi bileşenleri de yapısında bulundurabilir. Bu nedenle, akıllı bir güç sistemi olay tanıma tekniğinin tasarlanmasında gerçek verilerle çalışmak, tanıma sisteminin kullanımını ve başarımını değerlendirmek açısından çok önemlidir. Ancak, gerçek sistem üzerinde bazı olay türleri çok sık meydana gelirken, bazı olay türlerinin ise çok az oluşması ve parametre aralıklarının sınırlı olması sistemin eğitimi ve performans değerlendirmesi açısından önemli sorunlar oluşturur. Bu nedenle, sistemin girişi için gerçek verilerin yanı sıra geniş parametre aralıklarına sahip yapay güç sistemi olay verilerinin kullanılması bu sorunları ortadan kaldırır.

Bu çalışmada, Türkiye Elektrik Enerji Sistemi üzerine güç kalitesi alanında çalışmalar yapmak üzere kurulan GKMP'nin kayıt altına aldığı gerçek güç sistemi olay verileri kullanılmıştır [57]. Bu tez çalışması için, Ocak 2008 tarihi itibarıyla 9 aylık süre boyunca güç kalitesi izleme merkezinde kayıt altına alınan GKMP olay verileri temin edilmiştir. Bu veriler arasında, Türkiye Elektrik Sisteminin farklı bölgelerinde meydana gelen arıza olayları, kesinti olayları, hat enerjilenmesi olayları ve transformatör enerjilenmesi olayları bulunmaktadır. Kayıt altına alınan, simetrik ve asimetrik arıza olayları tek sınıf olarak etiketlenmiştir. Sistemde meydana gelen kendiliğinden sönmüş arızalar ise, ayrı bir sınıf olarak etiketlenmiştir. Olay verileri, 25.6 kHz'lik bir örnekleme frekansına sahiptir. Tablo 6.1'de, önerilen tanıma sisteminin girişine uygulanacak olan güç sistemi olay verileri ve sınıfları verilmiştir.

Tablo 6.1. GKMP olay verileri ve sayıları

Olay Türü	Sınıfı	Sayısı
Arıza	S1	234
Kendiliğinden sönmölenen arıza	S2	90
Hat enerjilenmesi	S3	50
Kesinti	S4	44
Transformatör enerjilenmesi	S5	120
Toplam		538

6.1.2. FÜMET Olay Verileri

Bu tez çalışması kapsamında tamamlanan projede, güç sistemi olayları izlenmiş ve olay verileri kayıt altına alınmıştır. Elde edilen FÜMET olay verileri, akıllı olay tanıma tekniğinin girişine uygulanmıştır. Tablo 6.2’de, tanıma sistemi için kullanılan FÜMET olay verileri ve sayıları gösterilmiştir.

Tablo 6.2. FÜMET olay verileri ve sayıları

Olay Türü	Sınıfı	Sayısı
Arıza	S1	318
Kapasitör Anahtarlanması	S2	92
Hat Kesintisi	S3	16
Hat Enerjilenmesi	S4	18
Toplam		444

6.1.3. ATP/EMTP Olay Verileri

Örüntü tanıma sistemi tasarlama çalışmalarında, gerçek verilerin kullanımı ile beraber yapay veriler kullanımına da yer verilmektedir. Özellikle, her bir sınıf parametreleri aralığında birçok veri oluşturmak, sistemin karşılaşabileceği farklı sınıf verileri elde etmek, gürültülü ve gürültüsüz verileri kolayca oluşturmak gibi birçok üstünlüklerden dolayı yapay veriler, tanıma sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, yapay güç sistemi verileri elde etmek için ATP/EMTP programı kullanılmıştır. ATP/EMTP, farklı birçok güç sistemi çalışmalarında yaygın olarak kullanılan ve gerçeğe yakın sonuçlar elde edilebilen bir paket programdır [61]. Özellikle, yük akışı ve geçici durum kararlılığı çalışmalarında oldukça sık kullanılan WECC-9 baralı

83

Tablo 6.3. ATP/EMTP programında kullanılan güç sistemi olay verilerine ait parametreler

Arıza Olayları					
Arıza türü	Oluşum açısı (°)	Yükler	Arıza yerleri (km)	Arıza direnci (ohm)	Arıza türü
Tek Faz Toprak	0 – 324 36° adımla	%50 – %100	20 – 300 20 km adımla	10 – 200 10 ohm adımla	AT – BT – CT
Faz-Faz	0 – 324 36° adımla	%50 – %100	20 – 300 20 km adımla	1 – 10 10 ohm adımla	AB – BC – AC
Üç Faz	0 – 324 36° adımla	%50 – %100	20 – 300 20 km adımla	1 – 10 10 ohm adımla	ABC

Diğer Olaylar			
Olay Türü	Oluşum açısı (°)	Yükler	Kapasitör gücü (MVar)
Yük anahtarlama	0 – 324 36° adımla	Bara 10 için %12.5 adımla: %25 + %5 – %75 Diğer yükler %100	-
Kapasitör anahtarlama	0 – 342 36° adımla	%50 – %100	10 – 30 1 MVar adımla
Transformatör enerjilenmesi	0 – 342 36° adımla	Bara 10 için %12.5 adımla: %25 + %5 – %75 Diğer yükler %100	-

Tablo 6.4. ATP/EMTP olay verileri ve sayıları

Olay Türü	Sınıfı	Sayısı
Normal	S1	200
Faz toprak arızası	S2	200
Faz-faz arızası	S3	200
Üç faz arızası	S4	200
Yük anahtarlama	S5	200
Kapasitör anahtarlama	S6	200
Transformatör enerjilenmesi	S7	200
Toplam		1400

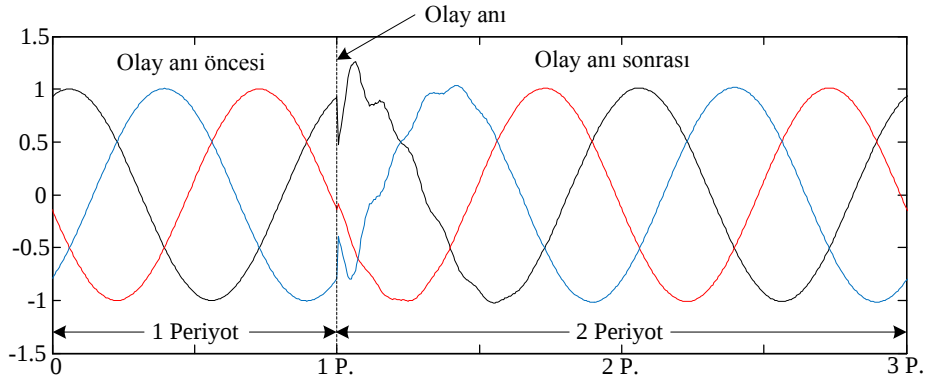
6.2. Güç Sistemi Olayların Normalizasyonu ve Segmentasyonu

Normalizasyon işlemiyle olay verileri, pu olarak ifade edilen bağıl birim genlik değeri ile ölçeklendirilir. Böylece, farklı gerilim seviyelerindeki her bir olay verisi; olay esnasındaki anlık gerilim değerlerinin, normal çalışma şartlarındaki gerilimin maksimum değerine bölünerek pu birim genlik değerlerine sahip olur.

Segmentasyon işlemiyle, özellik çıkarım aşamasının girişine uygulamak için olay başlangıcını içeren ve belirli bir uzunluğa sahip olan olay verileri elde edilir. Her bir olay verisinin segmentasyon işleminde, olay başlangıç anından önceki 1 periyot ve sonraki iki periyot olmak üzere toplam üç periyotluk bölmeleme işlemi gerçekleştirilir. Şekil 6.3'te,

bir kapasitör anahtarlanması sonucunda oluşan olay geriliminin normalizasyonu ve segmentasyonu işlemleri sonucundaki değişimi görülmektedir.

Segmentasyon işlemi süreci sonucunda, GKMP olay verilerinin boyutu 3x1536, FÜMET olay verilerinin boyutu 3x615 ve ATP/EMTP olay verilerinin boyutu ise 3x600'dür. Özellik çıkarım aşamasının girişinde, üç veri grubunun boyutlarının farklı olmasının sebebi, örnekleme frekanslarıdır.

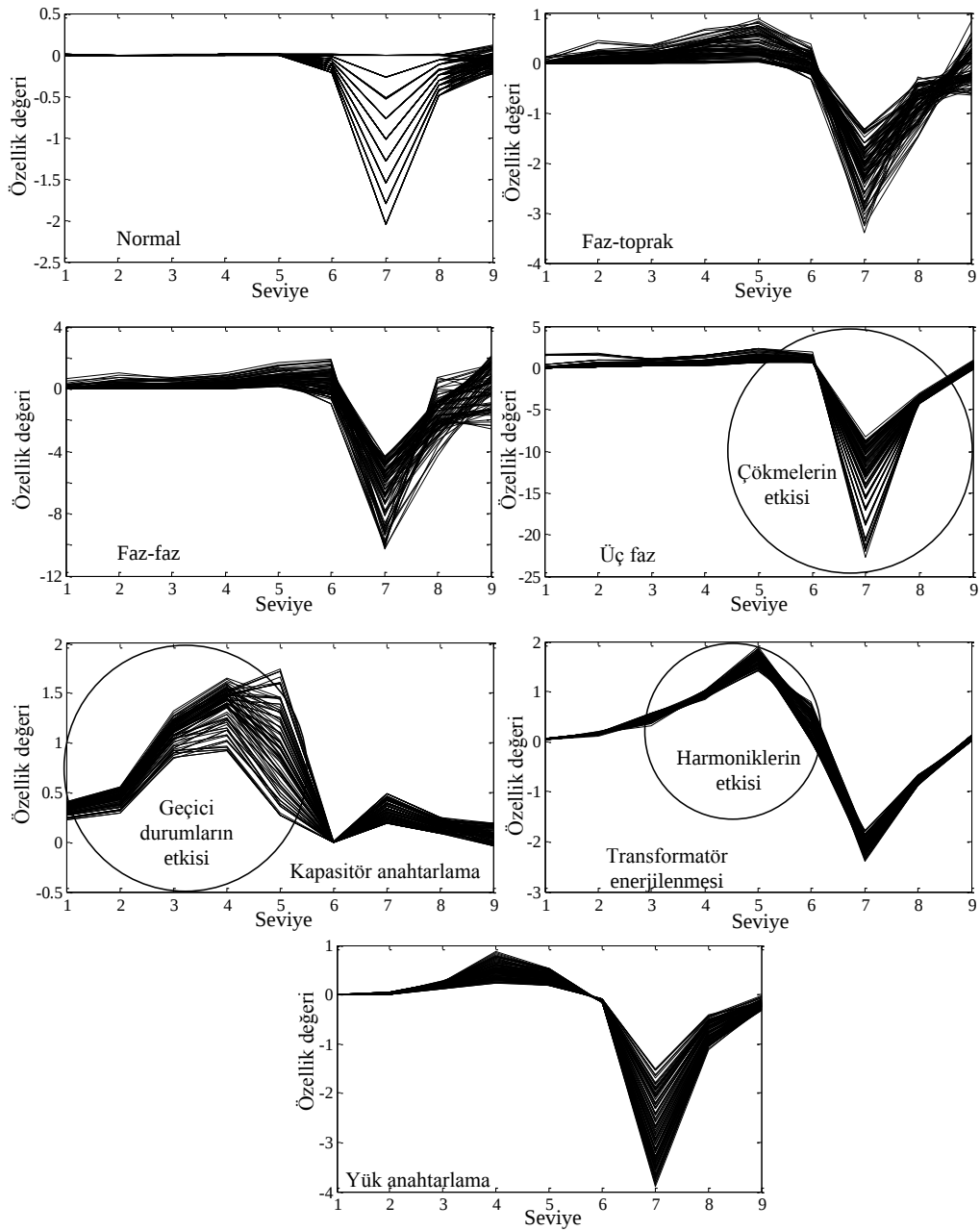


Şekil 6.3. Kapasitör anahtarlanması olayının normalizasyon ve segmentasyon işlemi sonucundaki değişimi

6.3. Olay Verilerinin Özellik Vektörlerinin Oluşturulması

Önerilen akıllı tanıma tekniğinin özellik çıkarım aşamasının amaçlarından birisi de, olay işaretinin ayırt edici özelliklerini belirlenmesidir. Olay işareti için yapılan ADD analizindeki her bir frekans bandına özellik çıkarım yöntemleri uygulanarak, işaretin özellik vektörü elde edilir. Aynı zamanda, dolaylı olarak işareti temsil eden verinin boyutu azaltılarak, özellik çıkarım aşamasının diğer önemli amacına ulaşılmış olunur.

Özellik çıkarım aşamasında üç faz olay işaretlerine, çok çözünürlüklü ADD işlemi uygulanır. Daha sonra elde edilen dönüşüm katsayılarına, 2 aşamalı özellik çıkarım yöntemleri uygulanarak üç faz olay verisi için tek boyutlu bir özellik vektörü elde edilir.



Şekil 6.4. ATP/EMTP olay verilerine ait özellik vektörlerindeki dağılımlar

Şekil 6.4’de, eğitim aşamasında kullanılan ATP/EMTP olay verilerinin özellik vektörlerindeki dağılımları gösterilmektedir. Bu özellik dağılımları, her bir olay özellik verilerinden 1 pu’luk normal gerilim sinyalinin özellik verilerinin çıkarılması sonucunda elde edilmiştir. Bu dağılımların 7. seviyesi, temel frekans özelliklerini içermektedir ve bu seviyede olay gerilimlerindeki sıçrama veya çökme bozulmaları ortaya çıkmaktadır. Kapasitör anahtarlama olaylarında, sistem gerilimlerinde bir sıçrama bozulması meydana geldiği için 7. seviyedeki özellik veri değerlerinin pozitif olduğu ve diğer olay

gerilimlerinde çökme bozulması meydana gelmesi nedeniyle, bu seviyedeki özellik veri değerlerinin de negatif olduğu görülmektedir. Bu dağılımlarda özellikle 5. ve 6. seviyeler, olay gerilimlerinde meydana gelen harmonik bozulmalara ait bilgileri içermektedir. Bu durum, transformatör enerjilenmesi olayına ait özellik değişimlerinde açıkça görülmektedir. Ayrıca, sistemde meydana gelen geçici durum bozulmalarına ait bilgiler, 1. seviye ile 4. seviye özellik değişimlerinden elde edilebilir. Ortalama olarak 1 kHz'lik salınımlar meydana gelen transformatör enerjilenmesi olaylarında, bu geçici durum özellikleri açıkça görülmektedir.

Şekil 6.4'deki değişimlerden de görüleceği gibi, özellik çıkarım aşaması sonucunda, olay gerilim işaretlerinin genlik ve frekans bilgilerini en iyi biçimde temsil eden özellik vektörleri de elde edilmiştir. Böylece, veri boyutu azaltılmış ve ayırt edici güç sistemi olay özellikleri kullanılarak sınıflandırıcının giriş vektörü oluşturulmuştur.

6.4. DVM Yapısı ve Sınıflandırma Parametrelerinin Seçimi

DVM sınıflandırıcı, yerel çözümler yerine global çözümler üretmesi, genelleme yeteneğinin ve eğitim hızının yüksek olması nedeniyle bir çok sınıflama problemlerinde oldukça sık kullanılmaktadır. Önerilen güç kalitesi olay tanıma sisteminin sınıflandırma aşamasında, libSVM MATLAB kütüphanesi kullanılarak güç kalitesi olay verilerinin türleri belirlenmiştir [102]. DVM sınıflandırıcıda, farklı parametreler altında bir sigmoid veya bir lineer çekirdek yapısına benzeyen RBF çekirdek kullanılmıştır.

Genelleme yeteneği yüksek bir DVM sınıflandırıcı elde edilmesinde, en önemli aşamalardan birisi ayırıcı düzlem parametrelerinin belirlenmesidir. Geniş bir aralık içerisinde, en uygun çekirdek ve düzenleme parametrelerinin belirlenmesi oldukça zordur. Genellikle DVM parametrelerinin seçimi, belirli aralıklardaki parametreler için elde edilen sınıflandırma başarımına göre yapılmaktadır. Ancak, burada elde edilen başarımın lokal bir başarımla olma olasılığının bulunması, çok geniş aralıklarda bu işlemin yapılamaması ve zaman alıcı olması gibi dezavantajlara sahiptir. Bu nedenle, bu çalışmada DVM parametreleri, k-kat çapraz geçerlilik (k-fold cross-validation) testi uygulanarak elde edilmiştir. Bu amaç için, eğitim verileri kullanılarak geniş parametre aralıklarında iki aşamalı k-kat çapraz geçerlilik testi uygulanmıştır. İlk aşamada, çekirdek ve düzenleme parametrelerinin alabileceği en üst ve en alt sınırlar belirlenerek seyrek adımlar ile tarama işlemi gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada ise, ilk aşama sonucunda belirlenen en yüksek

başarımli aralıklara sık tarama işlemi uygulanır. Böylece, en uygun çekirdek ve düzenleme parametreleri elde edilir. Her iki aşamada 10-kat çapraz geçerlilik testi uygulanmıştır.

k-kat çapraz geçerlilik testinde, eğitim veri kümesi k alt veri kümesine bölünür. Bu k alt veri kümesinin, k-1'i eğitim için ve kalan 1 veri kümesi ise test için kullanılır. Böylece eğitim ve test işlemleri gerçekleştirilerek, (6.1)'de verilen Ortalama Karesel Hatanın Karekökü (OKHK) değeri elde edilir. Bu işlem, bütün alt eğitim veri kümeleri eğitim dışında bırakılarak test bitinceye kadar devam ettirilir. Böylece, belirli bir çekirdek ve düzenleme parametresi için k adet OKHK değeri elde edilir. En düşük OKHK değeri ise, test için gerçekleştirilen çekirdek ve düzenleme parametresinin sahip olduğu OKHK değeridir. Böylece k-kat çapraz geçerlilik testi, alt ve üst sınırları arasında belirlenen çekirdek ve düzenleme parametreleri için döngü işlemi ile tekrarlanır. Döngü işlemleri sonucunda elde edilecek olan, en düşük OKHK değerine ait olan çekirdek ve düzenleme parametresi, DVM için en uygun sınıflandırıcı parametresi olarak seçilir.

$$OKHK = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_g(i) - y_t(i))^2} \quad (6.1)$$

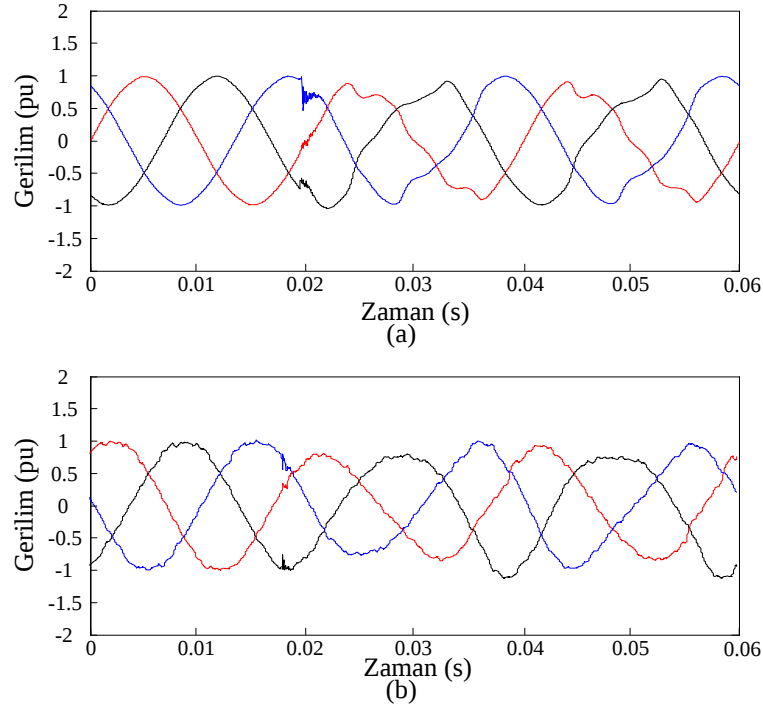
Burada, N: veri kümesi içerisindeki örneklerin sayısını, y_g : gerçek çıkış değerini ve y_t : test sonucunda elde edilen çıkış değerini temsil etmektedir.

6.5. Önerilen Tanıma Tekniği ile Güç Sistemi Olaylarının Otomatik Sınıflandırılması

Önerilen akıllı tanıma sisteminin başarımını değerlendirmek için, tek özellik vektörleri elde edilen GKMP olay verileri, FÜMET olay verileri ve ATP/EMTP olay verileri ile sınıflandırma sonuçları elde edilmiştir. Önerilen tanıma sisteminin tanıma süresi, başarımı ve kullanımı gibi kriterler dikkate alınarak tanıma sistemi için performans değerlendirmesi yapılmıştır. Ayrıca, tanıma sisteminin sınıflandırma aşamasında DVM yerine YSA sınıflandırıcı kullanılarak, sınıflandırma sonuçları elde edilmiştir.

GKMP olay verileri için yapılan incelemeler sonucunda, olay verilerinin farklı seviyeli gürültü bileşeni içerdikleri görülmüştür. Bu durum için, Şekil 6.5 (b)'de verilen transformatör enerjilenmesi olayındaki gürültü seviyesinin, Şekil 6.5 (a)'da gösterilen diğer bir transformatör enerjilenmesi olayındaki gürültü seviyesinden daha fazla olduğu görülmektedir. Benzer olarak, FÜMET olay verilerinde de gürültü bileşeni bulunmaktadır.

ATP/EMTP olay verilerinde ise gürültü bileşeni bulunmamaktadır. ATP/EMTP olay verilerine, farklı seviyelerde gürültü bileşeni eklenerek sınıflandırma sonuçları elde edilmiştir. Böylece, önerilen tanıma sisteminin gürültülü ortamlardaki tanıma performansı incelenmiştir.



Şekil 6.5. (a) Gürültüsüz transformör enerjilenmesi olayının ve (b) gürültülü transformör enerjilenmesi olayının dalga şekli

GKMP olay verileri ile yapılan sınıflandırma işleminde, toplam 538 olay işaretinden rastgele seçilmiş 269 adeti tanıma sisteminin eğitim aşamasında ve kalan 269 adeti ise test aşamasında kullanılmıştır. Tanıma sisteminin eğitim aşamasında yapılan k-kat çapraz geçerlilik testinde, çekirdek ve düzenleme parametreleri $[\gamma, C] = [-6.2, -0.8]$ olarak belirlenmiştir. Tablo 6.5’de, GKMP olay verileri için elde edilen sınıflama başarımı verilmiştir. Bu tabloda, 5x5’lik bir karar matrisi ile verilen sonuçlar için köşegen elemanları doğru sınıflama sonuçlarını ve diğerleri ise hatalı sınıflamaları göstermektedir. Elde edilen sınıflandırma sonucunda, sadece 4 olay verisi hatalı sınıflanmıştır. Arıza sınıfı altında bulunan olaylar içerisinde, farklı türlerdeki arızalar ile tek aşamalı ve çok aşamalı arızalar bulunmaktadır. Bu nedenle sınıflama işlemi sonrasında, ayrıca bir ileri analiz işlemi yapılmıştır. Bu analiz işlemiyle, arıza türünün tek aşamalı mı yoksa çok aşamalı mı olduğu incelenerek, olayların her bir fazında meydana gelen bozulmanın türü belirlenmiştir.

Tablo 6.5. GKMP olay verileri için sınıflandırma sonuçları

Doğru Sınıf	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	Başarım (%)
S ₁	116	0	0	0	1	99.15
S ₂	1	44	0	0	0	97.78
S ₃	1	1	23	0	0	92
S ₄	0	0	0	22	0	100
S ₅	0	0	0	0	60	100
Toplam başarımlar oranı (%) : 98.51						

FÜMET olay verileri ile yapılan sınıflandırma işleminde, toplam 444 olay işaretinden rastgele seçilmiş 222 adeti tanıma sisteminin eğitim aşamasında ve kalan 222 adeti ise test aşamasında kullanılmıştır. Tanıma sisteminin eğitim aşamasında yapılan k-kat çapraz geçerlilik testinde, çekirdek ve düzenleme parametreleri $[\gamma, C]=[-3.6, 2.4]$ olarak belirlenmiştir. Tablo 6.6’da, FÜMET olay verileri için elde edilen sınıflama başarımları verilmiştir. Bu tabloda, 4x4’lük bir karar matrisi ile verilen sonuçlar için köşegen elemanları doğru sınıflama sonuçlarını ve diğerleri ise hatalı sınıflamaları göstermektedir. Elde edilen sınıflandırma sonucunda, sadece 2 olay verisi hatalı sınıflanmıştır.

Tablo 6.6. FÜMET olay verileri için sınıflandırma sonuçları

Doğru Sınıf	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Başarım (%)
S ₁	159	0	0	0	100
S ₂	1	45	0	0	97.83
S ₃	1	0	7	0	87.50
S ₄	0	0	0	9	100
Toplam başarımlar oranı (%) : 99.10					

ATP/EMTP benzetim programıyla elde edilen yapay güç sistemi olay verileri için, toplam 1400 işaretin rastgele seçilen 700 tanesi eğitim, kalan 700 tanesi ise test aşaması için kullanılmıştır. Yapılan k-kat çapraz geçerlilik testinde ise, çekirdek ve düzenleme parametreleri $[\gamma, C]=[-2, 7]$ olarak belirlenmiştir. Tablo 6.7’de, ATP/EMTP olay verileri için elde edilen sınıflama başarımları verilmiştir. Tablodan da görüleceği gibi, sadece iki adet faz toprak arızası hatalı sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonucundan da görülebileceği gibi önerilen tanıma sistemi, arıza türlerini ve diğer olay türlerini yüksek başarımla ayırt etmiştir.

Tablo 6.7. ATP/EMTP olay verileri için sınıflandırma sonuçları

Doğru Sınıf	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	Başarım (%)
S ₁	100	0	0	0	0	0	0	100
S ₂	0	98	2	0	0	0	0	98
S ₃	0	0	100	0	0	0	0	100
S ₄	0	0	0	100	0	0	0	100
S ₅	0	0	0	0	100	0	0	100
S ₆	0	0	0	0	0	100	0	100
S ₇	0	0	0	0	0	0	100	100
Toplam başarımlar oranı (%) : 99.71								

ATP/EMTP olay veri kümesinde, farklı ve geniş parametre aralıklarında çok sayıda veri bulunmaktadır. Tanıma sisteminin eğitim aşamasının performansını değerlendirmek için, farklı sayıdaki eğitim örnekleri ile eğitim ve test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen başarımlar sonuçları, Tablo 6.8’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre önerilen tanıma sistemi, düşük sayıdaki olay verileri ile eğitim işlemi gerçekleştirilse bile yüksek doğrulukta tanıma gerçekleştirmektedir. Bu tanıma performansı özellikle, sistemin etkili bir özellik çıkarım yapısına ve DVM sınıflandırıcısının da yüksek genelleme yeteneğine sahip olduğunu açıkça göstermektedir.

Tablo 6.8. Farklı eğitim örnekleri sayısı ile başarımlar sonuçları

Eğitim örneklerinin sayısı		Test örneklerinin sayısı	Başarım (%)
Her sınıf için	Toplam		
5	35	700	90.80
10	70	700	98.00
20	140	700	99.00
30	210	700	99.57
40	280	700	99.71
100	700	700	99.71

6.5.1. Önerilen Tanıma Tekniğinin Gürültülü Ortamlardaki Sınıflama Başarımı

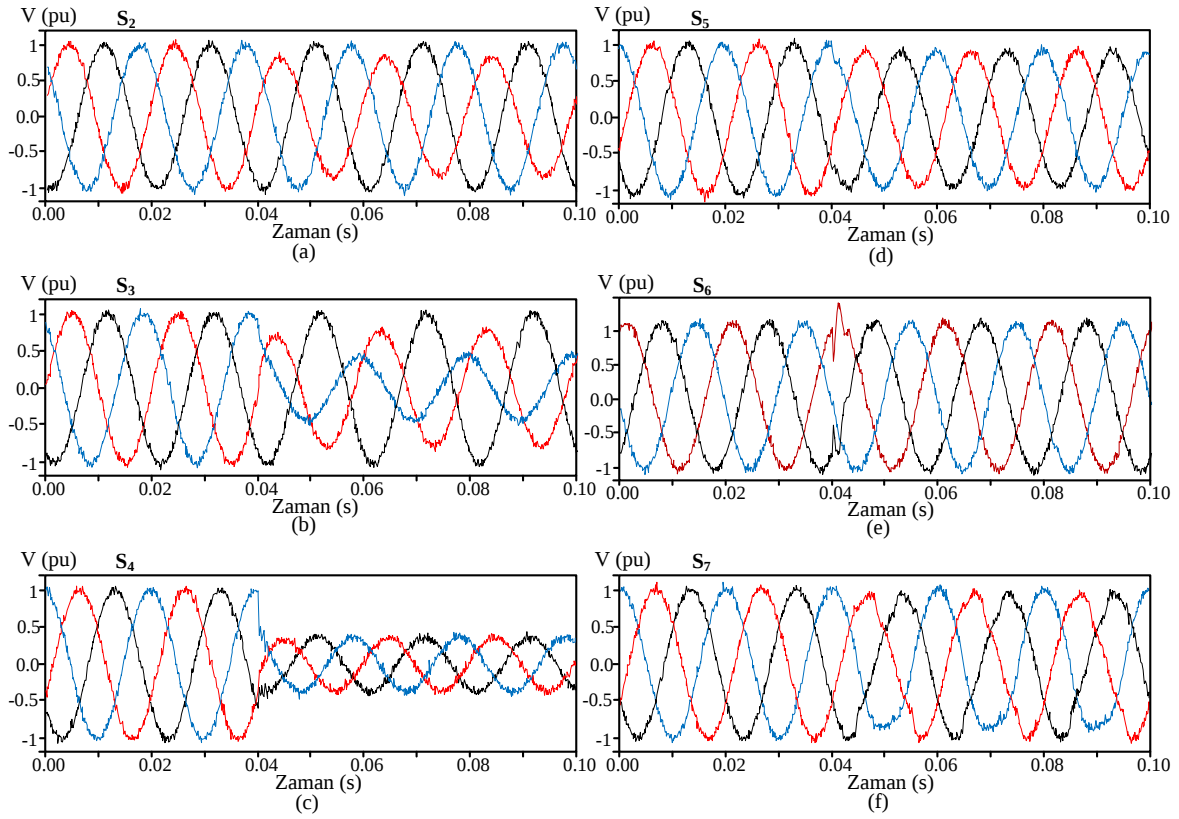
Önerilen tanıma sistemi ile ilgili olarak diğer önemli bir konu ise, elektrik güç sistemlerinde sürekli olarak varlığını koruyan gürültüye karşı sınıflama başarımındaki değişimdir. Bu nedenle, farklı gürültü seviyeleri için önerilen akıllı tanıma sisteminin performansı test edilmiştir. Güç kalitesi alanındaki birçok araştırmalarda, yaygın olarak kullanılan beyaz Gaussian gürültüsü, yapay güç sistemi olay verilerine eklenmiştir. Böylece, işaret/gürültü (İ/G) oranı 20 dB ile 50 dB arasında değişen farklı seviyelerdeki

gürültüler için sınıflandırma sonuçları elde edilmiştir. I/G , (6.2)'deki eşitlik ile tanımlanmaktadır [62].

$$SNR = 10 \log \left(\frac{P_s}{P_n} \right) \text{ dB} \quad (6.2)$$

Burada; P_s : işaretin, P_n : gürültünün gücünü (varyansını) temsil etmektedir. (6.2)'den görüleceği gibi, gürültü değeri arttıkça I/G değeri azalmaktadır. Dolayısıyla, 20 dB en yüksek gürültü oranını belirtmektedir. Bir 30 dB seviyeli gürültü, işaretin genliğinde yaklaşık olarak %3.5'lik bir artışa eşdeğer olarak ifade edilebilir [103]. Ayrıca, güç sistemlerinde %5'in üzerindeki gürültü seviyeleri ile nadiren karşılaşmaktadır [15].

ATP/EMTP olay verilerinin her bir fazına, gürültü bileşeni eklenmiştir. Eğitim aşamasında kullanılan her bir sınıfın olay işaretleri, 20'şer olay işaretinden oluşan 5 alt gruba bölmelendirilmiştir. Birinci gruba, gürültü eklenmemiştir. İkinci, üçüncü, dördüncü ve beşinci guruplara sırasıyla 20 dB, 30 dB, 40 dB ve 50 dB seviyeli gürültüler eklenmiştir. Şekil 6.6'da, 30 dB gürültü eklenen olay sinyallerindeki değişimler görülmektedir. Gürültülü olay sinyalleri için özellikler elde edildikten sonra, DVM parametreleri seçilmiş ve DVM sınıflandırıcı eğitilmiştir. Daha sonra, test veri kümesinde bulunan her bir sınıftaki 100'er adet olay sinyalleri kullanılarak 8 farklı test kümesi oluşturulmuştur. İlk test kümesi için herhangi bir gürültü eklenmeyerek test sinyalleri aynen alınmıştır. Daha sonra, sırasıyla 20 dB, 25 dB, 30 dB, 35 dB, 40 dB, 45 dB ve 50 dB gürültü seviyeleri test veri kümesine eklenerek, diğer 7 farklı gürültülü test kümeleri oluşturulmuştur. Elde edilen bu test kümeleri sırasıyla, eğitimi gerçekleştirilen tanıma sistemine giriş olarak uygulanmıştır. Tablo 6.9'da, gürültülü olay sinyallerinin sınıflandırma sonuçları verilmiştir. Sonuçlardan da görülebileceği gibi, önerilen tanıma sistemiyle ortalama % 95.81'lik bir sınıflama başarımı elde edilmiştir. Güç sistemlerinde pek az karşılaşılan ve oldukça etkili olan 20 dB ve 25 dB'lik gürültü seviyelerinde bile iyi bir sınıfla başarımı elde edilmiştir. Ayrıca önerilen tanıma sistemi, 25 dB, 35 dB ve 45 dB seviyeli gürültüler ile eğitim yapılmamasına karşın bu gürültü seviyelerinde oldukça başarılı sınıflandırma sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 6.6. 30 dB gürültü eklenen yapay güç sistemi olay verilerinin dalga şekilleri: (a) faz-toprak arızası, (b) faz-faz arızası, (c) üç faz arızası, (d) yük anahtarlanması, (e) kapasitör anahtarlanması ve (f) transformatör enerjilenmesi

Tablo 6.9. Gürültü içeren ATP/EMTP olay verileri için sınıflandırma sonuçları

Sınıf	Sınıflandırma Doğruluğu(%)								Toplam (%)
	-	20 dB	25 dB	30 dB	35 dB	40 dB	45 dB	50 dB	
S ₁	100	77	78	96	100	100	100	100	93.87
S ₂	98	67	94	94	96	98	98	98	92.87
S ₃	100	93	98	100	100	100	100	100	98.88
S ₄	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S ₅	100	62	68	88	97	99	100	100	89.25
S ₆	100	98	100	100	100	100	100	100	99.75
S ₇	100	97	71	100	100	100	100	100	96
Toplam (%)	99.71	84.86	87.00	96.98	99.00	99.57	99.71	99.71	95.81

6.5.2. Önerilen Tanıma Tekniğinde YSA Kullanılarak Sınıflama Başarımın Değerlendirilmesi

YSA sınıflandırıcılar, birçok mühendislik alanında olduğu gibi güç kalitesi alanındaki çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak; YSA sınıflandırıcıların yerel minimuma takılması, parametrelerinin zor belirlenmesi ve öğrenme süresinin uzun olması

gibi bazı dezavantajları nedeniyle, tasarlanan tanıma algoritmalarında farklı sınıflandırıcıların kullanılmasına yer verilmektedir. Fakat YSA sınıflandırıcılar, tasarlanan tanıma algoritmalarında kullanılacak sınıflandırıcıların başarımını test etmek için referans sınıflandırıcı olarak kullanılırlar. Bu tezde de, DVM sınıflandırıcıyı test etmek için, YSA sınıflandırıcı kullanılmıştır. Sınıflandırma işlemi için yaygın olarak kullanılan, çok katmanlı ileri beslemeli YSA yapısı ve eğim düşme metoduna dayalı geri yayılım algoritması kullanılmıştır. İleri beslemeli YSA yapısında, tek ara katman kullanılmıştır. Aktivasyon fonksiyonu olarak, ara katmanda hiperbolik tanjant sigmoid fonksiyonu (tansig) ve çıkış katmanında ise lineer transfer fonksiyonu (purelin) kullanılmıştır. İleri beslemeli YSA algoritmasının çıkış değerleri ise ikili sayı sistemi mantığına göre belirlenmiştir. Buna göre doğru sınıflama çıkış değerleri 1 ile, diğer çıkış değerleri de 0 ile etiketlenmiştir. Örneğin GKMP olay verilerinin sınıflandırılmasında, S₁ sınıfı için hedef vektörü [1 0 0 0 0], S₂ sınıfı için hedef vektörü ise [0 1 0 0 0] şeklinde belirlenmiştir. Ayrıca, 30 dB gürültüye sahip ATP/EMTP olay verileri için de sınıflandırma sonuçları elde edilmiştir. Böylece ileri beslemeli YSA sınıflandırıcı kullanılarak yapılan sınıflandırma işlemi ile elde edilen sınıflandırma sonuçları Tablo 6.10'da verilmiştir.

Tablo 6.10. YSA sınıflandırıcı kullanılarak elde edilen sınıflandırma sonuçları

Sınıf	GKMP olay verileri	FÜMET olay verileri	ATP/EMTP olay verileri	
			Gürültüsüz	30 dB
S ₁	100	99.37	100	100
S ₂	95.56	95.65	96	92
S ₃	92	87.50	97	100
S ₄	100	100	100	100
S ₅	93.33	-	100	71
S ₆	-	-	100	100
S ₇	-	-	100	100
Toplam başarımlar (%)	97.02	98.20	99.00	94.71

Elde edilen YSA sınıflandırma sonuçları, tanıma sisteminde kullanılan DVM sınıflandırıcıya göre; GKMP olay verileri için % 1.49, FÜMET olay verileri için % 0.90, ATP/EMTP gürültüsüz olay verileri için % 0.71 ve ATP/EMTP 30 dB gürültülü olay verileri için % 2.27 oranında daha az doğruluk derecesine sahip olduğu görülmektedir.

6.5.3. Performans Değerlendirmesi

Bu alt bölümde; önerilen tanıma tekniği için özellik çıkarım süresi, sınıflandırma süresi ve başarımların karşılaştırması kriterleri incelenerek sistem performansı hakkında değerlendirmeler yapılmıştır. Tanıma tekniğinin girişine uygulanan üç veri kümesi için özellik çıkarım ve sınıflandırma süreleri, Tablo 6.11’de verilmiştir. Ayrıca bu tabloda, referans sınıflandırıcısı olarak kullanılan YSA’nın da eğitim ve test süreleri verilmiştir. Bu sonuçlara göre, bir güç sistemi olay verisi için çok çözünürlüklü ADD işlemi ve tek özellik vektörünün oluşturulması, önerilen tanıma tekniğinde hesaplama yükünü azaltmıştır ve özellik vektörü oldukça hızlı elde edilmiştir.

Elde edilen eğitim ve test sürelerine göre, her iki sınıflandırıcının karar sürelerinin yaklaşık olarak birbirine yakın ve hızlı olduğu söylenebilir. Ancak, DVM sınıflandırıcısının eğitim aşamasının YSA sınıflandırıcısına göre oldukça hızlı olduğu Tablo 6.11’den görülür. Bunun sebebi, YSA sınıflandırıcısında eğitim aşamasının başlangıcında ağırlıklar rast gele olarak seçilip hataya göre en uygun ağırlıklar, farklı iterasyonlar sonunda belirlenir. Diğer bir ifadeyle, her denemede farklı ağırlık fonksiyonlarıyla karşılaşma ihtimali yüksektir. Böylece en uygun ağırlıkları bulmak fazla zaman alabilir. Fakat, DVM istatistiksel öğrenme teorisine dayalı bir sınıflandırma algoritması olduğu için, mimariyi oluşturan parametrelerde bir değişiklik yapılmadığı sürece hep aynı sonuç elde edilir. Bu nedenle, DVM sınıflandırıcısının eğitim süreci oldukça hızlıdır.

Tablo 6.11. Tanıma sisteminin özellik çıkarım ve sınıflandırma süreleri

Veri Kümesi	Özellik Çıkarım Aşaması (1 olay verisi için) (s)	Sınıflandırma Aşaması (s)			
		DVM		YSA	
		Eğitim	Test	Eğitim	Test
GKMP	0.9196	0.1907	0.0269	7.4523	0.0288
FÜMET	0.8473	0.1962	0.0181	4.6929	0.0302
ATP/EMTP	0.8244	0.2280	0.0498	19.2698	0.0367

Bu tezde, önerilen olay tanıma tekniği ile elde edilen tanıma başarımları, literatürdeki benzer çalışmalarda [33, 36, 46, 48, 52] elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır ve Tablo 6.12’de topluca verilmiştir. Bu sonuçlara göre, bu çalışmada önerilen tanıma tekniğinin, literatürde bulunan güç sistemi olay tanıma sistemlerine göre oldukça yüksek tanıma başarımına sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 6.12. Doğru sınıflandırma sonuçlarına göre başarımların karşılaştırılması

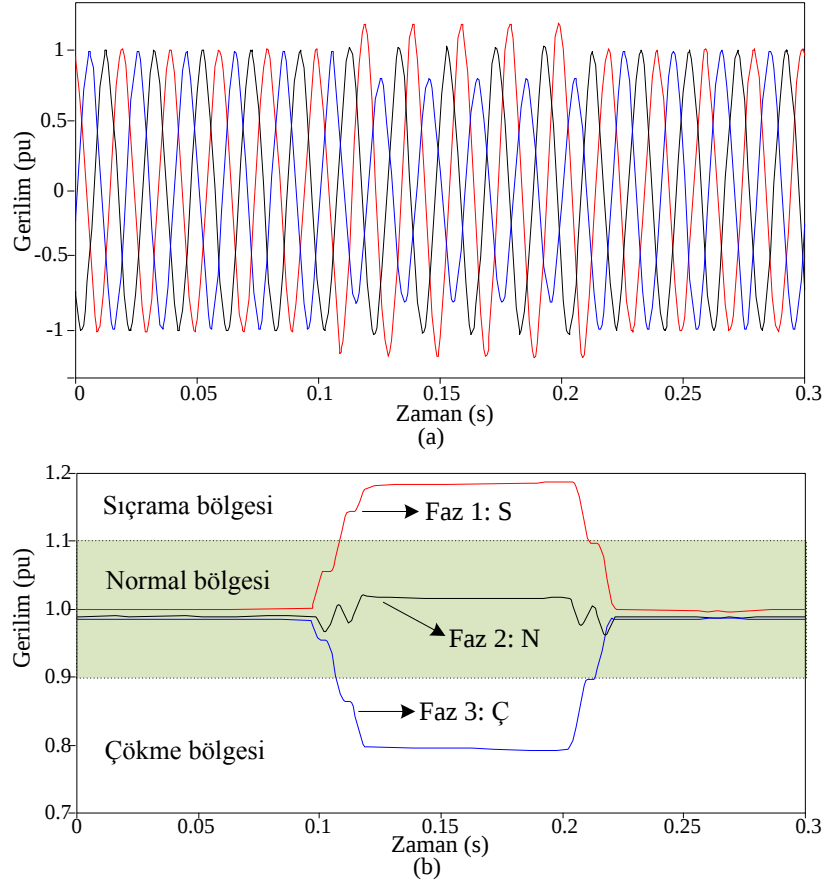
Güç Sistemi Olay Sınıflandırma Çalışmaları	Toplam başarımlar (%)
Kaynak [33]	97.00
Kaynak [36]	70.00
Kaynak [46]	92.80
Kaynak [48]	92.00
Kaynak [52]	94.62
Bu Tez Çalışması (GKMP verileri)	98.51
Bu Tez Çalışması (FÜMET verileri)	99.10
Bu Tez Çalışması (ATP/EMTP verileri)	99.71

6.6. İleri Analiz

Bu tezde önerilen tanıma tekniği kullanılarak yüksek tanıma başarımlarıyla sınıflandırılan GKMP arıza olaylarına, ayrıca bir ileri analiz işlemi uygulanmıştır. Bu ileri analiz işleminde, arıza olayları sonrasında her bir fazda meydana gelen gerilim bozulmasının türü belirlenmiştir. Ayrıca bu arıza olayları, [90]'da verilen gerilim çökmesi tiplerine göre de sınıflandırılmıştır. GKMP arıza olaylarında, çoklu arıza türleri de bulunmaktadır. Bu arıza türlerinin kaç aşamalı olduğu belirlenmiş ve her bir aşamada meydana gelen, bozulma türleri ile gerilim çökmesi tipleri için de analiz işlemi gerçekleştirilmiştir.

Yapılan gerilim bozulması analizi, Bölüm 4'de açıklanan IEEE 1159-1195 standartlarına göre yapılmıştır. Bu analiz sonrasında her bir fazda oluşan kesinti, çökme ve sıçrama türü gerilim bozulması belirlenmiştir. Kesinti bozulması, K ile etiketlenmiştir ve faz gerilimi genliğinin, 0.1 pu'nun altına düştüğü durumları gösterir. Çökme bozulması, Ç ile etiketlenmiştir ve faz geriliminin genliğinde, 0.1 pu ile 0.9 pu arasında bir düşme meydana geldiğini göstermektedir. Sıçrama bozulması, faz gerilimi genliğinin 1.1 pu'nun üzerine çıktığı durumlar olarak tanımlanır ve S ile etiketlenmiştir. Ayrıca faz geriliminin genliğinde, 0.9 pu ile 1.1 pu arasında bir değişime sahip olduğu durum normal olarak tanımlanmış ve N olarak etiketlenmiştir. Yapılan gerilim bozulması analizinde, normalize edilmiş olay gerilimlerine etkin değer dönüşümü yapılmış ve bu etkin değer verileri için yukarıda tanımlanan bozulma genliklerinin aralıklarına göre her bir faz için kural ağacı oluşturulmuştur. Böylece her bir kural ağacı çıkışında K, Ç, S ve N tipi bozulma etiketleri elde edilmiştir. Örneğin, kural ağaçları çıkışında elde edilen SÇN bozulma türü; birinci fazda gerilim sıçraması, ikinci fazda gerilim çökmesi ve üçüncü fazda gerilimin normal olduğunu göstermektedir. Şekil 6.7'de, tekli bir arıza olayı için yapılan ileri analiz

sonucunda elde edilen SNÇ tipi bozulmanın, dalga şekli ve etkin değer değişimleri görülmektedir.



Şekil 6.7. Bir SNÇ bozulma türü arıza olayında 3 fazlı gerilimin, (a) dalga şekli ve (b) etkin değer değişimi

Tanırma tekniğinde kullanılan GKMP arıza olayları, 185 tekli ve 49 çoklu arıza olayından oluşmaktadır. Tablo 6.13'te, tekli arıza olayları için elde edilen gerilim bozulması sonuçları ve bu bozulmanın ait olduğu gerilim çökme tipi verilmiştir. Sonuçlara göre, ilk üç bozulma türünde fazların birisinde çökme, diğerlerinde ise sıçrama bozulmaları meydana geldiği görülür. Bu tür arızalar, tek faz-toprak arızalarıdır. Dördüncü sıradaki bozulma türünde ise, tüm fazlarda çökme olayı olduğu görülür. Bu tür arızalar ise, genellikle üç faz arızalarıdır. Elde edilen gerilim çökmesi tipi sınıflandırma sonuçlarında ise, arızaların çoğunluğunun D tipi çökme sınıfına ait olduğu görülmektedir.

Tablo 6.13. GKMP tekli arıza olayları için gerilim bozulması ve gerilim çökme tipi sonuçları

Bozulma Türü	Çökme Türü	Sayısı	Bozulma Türü	Çökme Türü	Sayısı
SSÇ	Dc	43	SÇÇ	Ca	3
ÇSS	Da	41	SNÇ	Dc	3
SÇS	Db	41	NÇS	Db	2
ÇÇÇ	A	15	NÇN	Db	2
NNÇ	Dc	10	ÇNÇ	Cb	2
SSK	Dc	7	ÇSN	Da	1
ÇNN	Da	5	ÇNS	Da	1
NÇÇ	Ca	4	SKS	Db	1
SÇN	Db	3	KSS	Da	1

Tablo 6.14’de, 49 adet çok aşamalı arıza olayının her bir bozulma aşamasında meydana gelen bozulma türleri ve bu bozulma türleri için tanımlanan çökme tipleri verilmiştir. Çoklu arızanın bazı aşamalarında, faz geriliminin genlikleri değişse de bozulma türünün değişmediği görülür. Sonuçlara göre, çoklu arıza olaylarının ilk aşamalarından sonra genellikle üç faz arızayı ifade eden ÇÇÇ bozulma türünün çok sık meydana geldiği söylenebilir.

Tablo 6.14. GKMP çoklu arıza olayları için gerilim bozulması ve çökme tipi sonuçları

Ol. No	Arıza aşamaları ve bozulma türü						Arıza aşamaları ve çökme tipi					
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	1.	2.	3.	4.	5.	6.
1	SKS	KKS	KKK	SÇK	NKÇ	SKS	Db	Cc	A	Ca	Ca	Db
2	ÇÇN	ÇÇN	ÇÇÇ	ÇNN	ÇNN		Cc	Cc	A	Da	Da	
3	ÇSÇ	ÇNÇ	ÇÇÇ	ÇSS	ÇÇS		Cb	Cb	A	Da	Cc	
4	SSÇ	ÇSÇ	ÇSÇ	ÇSÇ	ÇSÇ		Dc	Cb	Cb	Cb	Cb	
5	SSÇ	SSÇ	ÇSÇ	ÇÇÇ	ÇÇÇ		Dc	Dc	Cb	A	A	
6	ÇSS	ÇÇS	SÇS	ÇÇÇ	KKK		Da	Cc	Db	A	A	
7	ÇSS	ÇSÇ	ÇSÇ	ÇÇN			Da	Cb	Cb	Cc		
8	ÇSS	ÇSÇ	ÇÇÇ	ÇÇÇ			Da	Cb	A	A		
9	ÇSS	ÇSS	ÇSS	ÇSÇ			Da	Da	Da	Cb		
10	SÇS	SÇÇ	ÇÇÇ	SKS			Db	Ca	A	Db		
11	KSS	ÇSÇ	ÇSÇ	ÇSS			Da	Cb	Cb	Da		
12	ÇÇÇ	ÇÇÇ	ÇÇÇ	ÇSÇ			A	A	A	Cb		
13	SSÇ	SSÇ	ÇSÇ	ÇÇÇ			Dc	Dc	Cb	A		
14	SÇS	ÇÇÇ	SSÇ				Db	A	Dc			
15	SSÇ	ÇÇÇ	ÇÇÇ				Dc	A	A			
16	SSÇ	SÇÇ	SÇÇ				Dc	Ca	Ca			
17	ÇSS	ÇSÇ	ÇÇÇ				Da	Cb	A			
18	ÇSS	ÇSÇ	ÇÇÇ				Da	Cb	A			
19	SKS	ÇÇS	ÇÇÇ				Db	Cc	A			
20	SÇS	SÇÇ	ÇÇÇ				Db	Ca	A			
21	SÇS	NÇÇ	ÇÇÇ				Db	Ca	A			
22	SÇS	ÇÇÇ	ÇÇÇ				Db	A	A			
23	ÇSÇ	ÇSÇ	ÇÇÇ				Cb	Cb	A			
24	ÇSÇ	ÇSÇ	ÇÇÇ				Cb	Cb	A			
25	ÇSN	ÇSS	ÇSS				Da	Da	Da			
26	SSK	ÇSÇ	ÇÇÇ				Dc	Cb	A			
27	ÇSS	ÇSÇ	ÇÇÇ				Da	Cb	A			
28	ÇNÇ	ÇÇÇ	NÇÇ				Cb	A	Ca			
29	SKS	KKS	KKK				Db	Cc	A			
30	SÇS	ÇÇS					Db	Cc				
31	ÇSS	ÇSÇ					Da	Cb				
32	NÇÇ	ÇÇÇ					Ca	A				
33	ÇNN	ÇÇÇ					Da	A				
34	SNÇ	SSÇ					Dc	Dc				
35	SSÇ	ÇSÇ					Dc	Cb				
36	SÇS	ÇSS					Db	Da				
37	ÇSS	ÇÇS					Da	Cc				
38	ÇSS	ÇÇS					Da	Cc				
39	SÇS	SÇÇ					Db	Ca				
40	ÇSS	ÇÇS					Da	Cc				
41	ÇSS	ÇÇÇ					Da	A				
42	ÇNÇ	ÇÇÇ					Cb	A				
43	ÇÇN	ÇÇS					Cc	Cc				
44	ÇNN	ÇÇÇ					Da	A				
45	SÇS	SÇÇ					Db	Ca				
46	ÇSS	ÇÇS					Da	Cc				
47	NÇN	ÇÇÇ					Db	A				
48	NNÇ	ÇÇÇ					Dc	A				
49	NÇS	ÇNS					Db	Da				

7. SONUÇLAR

Bu tezde, güç sistemlerinde meydana gelen olayların türünü belirlemek için akıllı örüntü tanıma yaklaşımına dayalı bir tanıma tekniği geliştirilmiştir. Önerilen tanıma tekniği üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama, güç sistemi olay verilerinin normalizasyonu ve segmantasyonu işlemleridir. Bu aşamanın çıkışında her bir olay türü, birim genlik ve periyot değerlerine sahip olmaktadır. İkinci aşamada, olay sinyallerinin özellik vektörleri elde edilmektedir. Bunun için, üç fazlı olay sinyallerine DD ve iki farklı özellik çıkarım işlevi uygulanmıştır. Böylece, her bir olay türü için sınıflandırıcı girişinde, veri sayısı azaltılmış, ayırt edici ve tek boyutlu bir özellik vektörü elde edilir. Tanıma tekniğinin son aşamasında, DVM sınıflandırıcı ile olay türleri belirlenmiştir. DVM'nin parametreleri, 10-kat çapraz geçerlilik testi ile elde edilmiştir.

Bu tezde önerilen tanıma tekniğinin performansını değerlendirmek için, üç farklı olay veri kümesi kullanılarak, tanıma sonuçları elde edilmiştir. İlk olay veri kümesi, GKMP olay verilerinden oluşmaktadır. İkinci olay veri kümesi, Aralık 2008 ve Ekim 2009 tarihleri arasında sürekli olarak yapılan ölçümler sonucunda elde edilen FÜMET olay verileridir. Üçüncü olay veri kümesi ise, ATP/EMTP olay verilerinden oluşmaktadır. Bu üç olay veri kümeleri kullanılarak, tanıma tekniğinin tanıma başarımları elde edilmiştir. Sonuçların, oldukça yüksek bir başarımla sahip olduğu görülmüştür. Gürültülü güç sistemi olay verilerinin kullanıldığı sınıflandırma işleminde de, önerilen teknik oldukça iyi bir performans sergilemiştir.

Önerilen tanıma tekniğinin ön işleme aşamasında, normalizasyon ve segmantasyon işlemiyle her bir olay verisi için 3 periyotluk bir veri boyutu elde edilmiş ve bu birim genlikli değerleri elde edilmiştir. Tanıma tekniğinin, özellik çıkarım ve sınıflandırma aşamalarındaki hesaplama sürelerinin 1 s'nin altında olduğu görülmüştür. Bu sonuç, önerilen tekniğin hızlı bir tanıma algoritmasına sahip olduğunu göstermektedir.

Tezde ayrıca, DVM sınıflandırıcı yerine YSA sınıflandırıcı kullanılarak da elde edilen sonuçlardan DVM sınıflandırıcının oldukça iyi bir sınıflandırma performansına sahip olduğu görülmüştür. Farklı sayıdaki olay verileri kullanarak, önerilen tanıma tekniğinin eğitim aşaması gerçekleştirilmiş ve iyi tanıma başarımları elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre önerilen tanıma tekniği, düşük sayıdaki olay verileri ile eğitim işleminde bile yüksek

doğrulukta sonuçlar vermektedir. Bu tanıma performansı, sistemin etkili bir özellik çıkarım yapısına ve DVM sınıflandırıcının yüksek genelleme yeteneğine sahip olduğunu gösterir.

Bu tezde ayrıca, GKMP arıza olay verilerine ileri analiz işlemi uygulanarak arızanın her bir fazda meydana getirdiği gerilim bozulmasının türü belirlenmiştir. Bununla beraber, elde edilen bozulma türüne göre olaya ait meydana gelen gerilim çökmesinin sınıflandırması da yapılmıştır. Önerilen tanıma tekniğinin başarımı ile literatürdeki güç sistemi olay tanıma sistemlerinin başarımı karşılaştırılmıştır. Bu tezde önerilen tanıma tekniğinin, oldukça yüksek bir tanıma başarımına sahip olduğu görülmüştür.

7.1. Sonuçların Değerlendirilmesi

1. Bir olayın oluşumundan sonraki iki periyot içerisinde, olaya ait frekans ve genlik gibi ayırt edici bilgilerin bulunduğu önemli özellikler oluşur. Bu nedenle olay öncesi bir periyot referans olmak üzere, olay sonrası iki periyotla birlikte 3 periyotluk bir segmentasyon işlemi gerçekleştirilir. Böylece olay işaretlerine uygulanan, normalizasyon ve segmentasyon işlemiyle, sadece olaya ait sürekli durumun bozulduğu aralığı içeren 3 periyotluk süre ve pu birim genlikle işlem yapılması, analiz ve tanıma işlemlerini oldukça kolaylaştırmıştır.
2. Tanıma tekniğinin özellik aşamasında kullanılan, çok çözünürlüklü ADD ve özellik çıkarım işlemleri kullanılarak, güç sistemi olay verileri için önemli bilgilerin çıkarılabileceği gösterilmiştir. Aynı zamanda, veri boyutu yaklaşık olarak GKMP olay verileri için 1/460 oranında, FÜMET olay verileri için 1/205 oranında ve ATP/EMTP olay verileri için 1/200 oranında indirgenmiş, sınıflandırıcının karmaşıklığı ve hesaplama süresi azaltılmıştır. Böylece, önerilen tanıma tekniği gerçek zamanlı uygulamalarda da kullanılabilir hale getirilmiştir.
3. Önerilen tekniğin en önemli özelliklerinden birisi, güç sisteminin üç fazının aynı anda incelenmesi ve olaylara ait tek özellik vektörünün oluşturulmasıdır. Böylece olay hangi fazda olursa olsun, veri boyutunun indirgenmesi, tanıma süresinin azaltılması ve sistemin sadeleştirilmesi gibi üstünlükler ortaya çıkmıştır.
4. Sonuçlar incelendiğinde, GKMP olay verileri için % 98.51, FÜMET olay verileri için % 99.10 ve ATP/EMTP olay verileri için % 99.71 başarımlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar, literatürle karşılaştırıldığında, önerilen teknikte yüksek bir başarımlar elde edilmektedir.

5. GKMP olay verileri ve FÜMET olay verileri gürültü içermekte olup, tanıma başarımı oldukça yüksektir. Bunun yanı sıra, gürültü içermeyen ATP/EMTP olay verilerine de gürültü eklenerek, başarımı yüksek sınıflandırma sonuçları elde edilmiştir. Böylece, tanıma sisteminin gürültülü ortamlarda da iyi performans sergilediği görülmüştür.
6. Geliştirilen tekniğin, başarımlı performansının yüksek ve hesaplama süresinin az olmasında, kullanılan DVM sınıflandırıcının da önemli rolü vardır. DVM'nin özellikle hesaplama süresi bakımından, referans olarak seçilen YSA sınıflandırıcıya göre çok daha hızlı olduğu ve daha iyi bir tanıma başarımına sahip olduğu görülmüştür. Bununla birlikte; DVM sınıflandırıcının tasarım aşamasında belirlenmesi gereken iki parametresi (çekirdek ve düzenleme parametreleri) olmasına karşın, YSA sınıflandırıcının tasarım aşamasında belirlenmesi gereken yaklaşık beş tane farklı parametresi (ara katman sayısı, ara katmandaki nöron sayısı, etkinleştirme fonksiyonunun türü, öğrenme oranı, momentum değeri) vardır. Bu durum, DVM sınıflandırıcının diğer bir avantajıdır.
7. Üç farklı olay veri kümeleri için yapılan olay tanıma işlemlerinde, her bir veri grubunda farklı olay sınıfları bulunmaktadır. Buna rağmen, tanıma sisteminin performansının yüksek olması, iyi bir genelleme yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, tanıma sistemine yeni bir sınıf eklenmesi veya çıkarılması, başarımı çok fazla etkilemeyecektir.
8. Yapılan ileri analiz işlemi sonucunda, bir arıza olayında her bir fazda meydana gelen gerilim bozulması ve gerilim çökmesi türleri belirlenerek, sistem faz gerilimlerinin genliklerindeki değişimlerle ilgili önemli bilgilerin elde edilebileceği görülmüştür.
9. FÜMET ölçümleri sonucunda yapılan harmonik analizlerinde, elde edilen gerilim sinyallerinin harmonik içeriklerinin yönetmeliklere göre belirlenen sınırların altında olduğu, akım harmoniklerinin ise belirlenen sınırların üzerinde olduğu görülmüştür.
10. FÜMET ölçümleri sonucunda, aylık olarak ortalama 35 güç sistemi olayı meydana geldiği ve bu durumlarda özellikle arızalı fazlarda gerilim seviyesinin oldukça azaldığı gözlemlenmiştir. Sürekli olarak kompanzasyon kapasitörlerinin devreye girip çıkması da, çok sayıda geçici durum olayı meydana getirmiştir.

8. ÖNERİLER

Bu tezde; güç kalitesi bozulmalarının sebebi olan olay türlerinin, sürekli ve kesintisiz bir biçimde belirlenmesi için yaklaşım ve yazılım gereksinimlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Burada elde edilen sonuçlar, yüksek güç kalitesi için güç sistemlerinin işletilmesi ve özellikle korunması alanında yapılacak olan çalışmalara önemli katkılar sağlayacaktır.

Literatürde, çoklu güç kalitesi bozulmaları konusunda oldukça fazla çalışma olmasına rağmen, çoklu güç kalitesi olaylarının belirlenmesi konusunda çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Dolayısıyla, bu tezde elde edilen sonuçlar dikkate alınarak, sistemde bir olay oluşumu süresince meydana gelebilecek ikinci hatta üçüncü bir olayın etkilerinin de içerildiği çalışmalar yapılabilir.

Bu tezde uzun süreli ve kapsamlı çalışmalar sonucunda üç farklı olay veri kümesi oluşturulmuş ve bu veri kümeleri ile önerilen tanıma tekniğinin performansı değerlendirilmiştir. Literatürde, akıllı güç kalitesi olay tanıma için geliştirilen yöntemlerin başarımlarını değerlendirmek için referans bir veri kümesi bulunmamaktadır. Bu eksikliği gidermek için, hem benzetimlerden hem de gerçek güç sisteminden elde edilen olay verilerinin biriktirilebileceği bir veri tabanı oluşturmaya yönelik çalışmalar yapılabilir.

Önerilen tanıma tekniği kullanılarak, güç kalitesi parametrelerinin belirlenebileceği bir akıllı güç kalitesi olay analizörü ya da eğitime yönelik deneysel düzenekler gerçekleştirilebilir.

Bu tezde, FÜMET ölçümleri ve GKMP olay veri kümeleri kullanılarak güç sistemlerinde farklı türlerde oluşan güç kalitesi olayları sonucunda sistem geriliminin ve frekansının olumsuz yönde etkilendiği görülmüştür. Meydana gelen düşük güç kalitesinin düzeltilmesine yönelik güç elektroniği tabanlı önleyici ya da düzenleyici sistemler tasarlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **IEC 61000-4-30**, 2003. Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques–Section 30: Power quality measurement methods, *International Electrotechnical Commission*, Switzerland.
- [2] **Bollen, M.H.J.**, 2000. Understanding power quality problems – Voltage Sags and Interruptions. IEEE Press, New York.
- [3] **Perunicic, B., Malini, M., Wang, Z. and Liu, Y.**, 1998. Power quality disturbance detection and classification using wavelets and artificial neural networks, *IEEE International Conference on Harmonics and Quality of Power*, 77–82.
- [4] **Santoso, S., Powers, E.J., Grady, W.M. and Parsons, A.C.**, 2000. Power quality disturbance waveform recognition using wavelet-based neural classifier, I. Theoretical foundation, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **15**, 222–228.
- [5] **Dash, P.K., Panigrahi, B.K. and Panda, G.**, 2003. Power quality analysis using S-transform. *IEEE Transactions on Power Delivery*, **18–2**, 406–411.
- [6] **Vivek, K., Gopa, M. and Panigrahi, B.K.**, 2006. Knowledge discovery in power quality data using support vector machine and S-Transform, *Third International Conference on Information Technology: New Generations (ITNG'06)*, 507-512.
- [7] **Erişti, H., Uçar A, and Demir, Y.**, 2010. Wavelet-based feature extraction and selection for classification of power system disturbances using support vector machines, *Electric Power Systems Research*, doi:10.1016/j.epsr.2009.09.021.
- [8] **Bollen, M.H.J. and Gu, I.Y.H.**, 2006. Signal processing of power quality disturbances, John Wiley & Sons, New York.
- [9] European Regulators Group for Electricity and Gas (ERGEG), 2006. Towards voltage quality regulation in Europe, ERGEG public consultation paper.
- [10] **Johnson, T., Springfieldt, P.E. and Thunberg, E.**, 2003. Elkunders störningskostnader, Elforsk, report 04:42, Stockholm.
- [11] **Cigre/Cired**, Economic framework for power quality, Joint working group Cigré C4.107/CIRED.
- [12] **Dranetz Technologies Incorporated**, 1991. The Dranetz field handbook for power quality analysis, Edison, New Jersey.

- [13] **McGranaghan, M. F. and Santoso, S.**, 2007. Challenges and trends in analyses of electric power quality measurement data, *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, **2007-1**, 171–171.
- [14] **Erişti, H. and Demir, Y.**, 2010, A new algorithm for automatic classification of power quality events based on wavelet transform and SVM, *Expert Systems with Applications*, **37-6**, 4094-4102.
- [15] **Radil, T., Ramos, P.M., Janeiro, F.M. and Serra, A.C.**, 2008. PQ monitoring system for real-time detection and classification of disturbances in a single-phase power system, *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, **57-8**, 1725-1733.
- [16] **Gargoom A.M., Ertugrul, N. and Soong, W.L.**, 2007. Investigation of effective automatic recognition systems of power quality events, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **22-4**, 2319–2326.
- [17] **Pérez, E. and Barros, J.**, 2008. An extended Kalman filtering approach for detection and analysis of voltage dips in power systems, *Electric Power Systems Research*, **78-4**, 618–625.
- [18] **Uyar, M., Yildirim, S. and Gencoglu, M.T.**, 2009. An expert system based on S-transform and neural network for automatic classification of power quality disturbances, *Expert Systems with Applications*, **36-3**, 5962–5975.
- [19] **Faratin, P., Sierra C. and Jennings, N.**, 2002. Using similarity criteria to make issue trade-offs in automated negotiations. *Artificial Intelligent*, **142**, 205–237
- [20] **Hanbay, D., Türkoğlu, İ. and Demir, Y.**, 2008. Prediction of wastewater treatment plant performance based on wavelet packet decomposition and neural networks, *Expert systems with applications*, **34-2**, 1038–1043.
- [21] **Türkoğlu, İ.**, 2002, Durağan olmayan işaretler için zaman-frekans entropilerine dayalı akıllı örüntü tanıma, *Doktora Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [22] **Gaouda, A.M., Salama, M.M.A., Sultan, M.R. and Chikhani, A.Y.**, 1999. Power quality detection and classification using wavelet multiresolution signal decomposition, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **14-4**, 1469–1476.
- [23] **Styvaktakis, E., Bollen, M.H.J. and Gu, I.Y.H.**, 2000. Classification of power system events: voltage dips, *9th IEEE International Conference on Harmonics and Quality of Power*, **2**, 745–750.
- [24] **Huang, J., Negnevitsky, M. and Nguyen, T.**, 2002. A neural-fuzzy classifier for recognition of power quality disturbances, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **17-2**, 609–616.

- [25] **Uyar, M.**, 2008. Güç kalitesindeki bozulma türlerinin akıllı örüntü tanıma yaklaşımları ile belirlenmesi, *Doktora Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [26] **Flores, R.A.**, 2002, State of art in the classification of power quality events, an overview, *Proc. 10th International Conference Harmonics Quality of Power*, **1**, 17-20.
- [27] **Dugan, R.C., Mcgranaghan, M.F., Santoso, S. and Beaty, H.W.**, 2002. Electrical power systems quality, McGraw-Hill, New York.
- [28] **Kennedy, B.**, 2000. Power quality primer, McGraw-Hill, New York.
- [29] **Barros, J. and Pérez, E.**, 2006. Limitations in the use of rms value in power quality analysis, *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, Sorrento, Italy, 2261–2264.
- [30] **Pérez, E. and Barros, J.**, 2008. A proposal for on-line detection and classification of voltage events in power systems, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **23-4**, 2132–2138.
- [31] **Heydt, G.T., Fjeldt, P.S., Liu, C.C., Pierce, D., Tu, L. and Hensley, G.**, 1999. Applications of the windowed FFT to electric power quality assessment, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **14-4**, 1411–1416.
- [32] **Jurado, F. and Saenz, J.R.**, 2002. Comparison between discrete STFT and wavelets for the analysis of power quality events, *Electric Power Systems Research*, **62-3**, 183–190.
- [33] **Stayvaktakis, E., Bollen, M.H.J and Gu, I.Y.**, 2002. Expert System for Classification and Analysis of Power System Events, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **17-2**, 423–428.
- [34] **Chilukuri, M.V. and Dash, P.K.**, 2004. Multiresolution S-transform-based fuzzy recognition system for power quality events, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **19-1**, 323–330.
- [35] **Dash, P.K. and Chilukuri, M.V.**, 2004. Hybrid S-transform and Kalman filtering approach for detection and measurement of short duration disturbances in power networks, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, **53-2**, 588–596.
- [36] **Gerek, Ö.N., Ece, D.G. and Barkana, A.**, 2006. Covariance analysis of voltage waveform signature for power quality event classification, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **21-4**, 2022–2031.

- [37] **Yonghai, X., Xiangning, X., Yiha, Y. and Xueyun, C.,** 2001. Power quality disturbance identification using dq conversion-based neural classifiers, *Automation of Electric Power System*, **14**, 24–28.
- [38] **Janik, P. and Lobos, T.,** 2006. Automated classification of power quality disturbances using SVM and RBF networks, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **21-3**, 1663–1669.
- [39] **Faiz, J., Lotfi-fard, S., and Shahri S.H.,** 2007. Prony-based optimal bayes fault classification of overcurrent protection, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **22-3**, 1326–1334.
- [40] **Erişti, H., and Demir, Y.,** 2009. An efficient feature extraction method for classification of power system disturbances, *International Conference on Power Systems Transients, IPST2009*, Kyoto, Japan, June 3–6.
- [41] **Erişti, H. and Demir, Y.,** 2009. A feature selection based algorithm for classification of power quality disturbances, *International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications INISTA 2009*, Trabzon, 29th June to 1st July, 130–135.
- [42] **Ekici, S.,** 2007. Elektrik güç sistemlerinde akıllı sistemler yardımıyla arıza tipi ve yerinin belirlenmesi, *Doktora Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [43] **Mallat, S.,** 1989. A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **11-7**, 674–693.
- [44] **Ribeiro, P.,** 1994. Wavelet transform: an advanced tool for analyzing non-stationary harmonic distortion in power systems, *IEEE International Conference on Harmonics in Power Systems*, **4**, 21–23.
- [45] **Santoso, S., Powers, E.J., Grady, W.M. and Hofmann, P.,** 1996. Power quality assessment via wavelet transform analysis, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **11-2**, 924–930.
- [46] **Axelberg, P.G.V, Gu, I.Y. and Bollen, M.H.J.,** 2007. Support vector machine for classification of voltage disturbances, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **22-3**, 1297–1303.
- [47] **Uçar, A.,** 2006, Destek vektör makine tabanlı bulanık sistemler, yeni bir gürbüz sınıflayıcı ve regresör tasarımı, *Doktora Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [48] **Stayvaktakis, E., Bollen, M.H.J and Gu, I.Y.,** 2002, Automatic classification of power system events using rms voltage measurements, *Power Engineering Society Summer Meeting*, **2**, 824–829.

- [49] **Styvaktakis, E. and Bollen, M.H.J.**, 2003. Signatures of voltage vips: transformer saturation and multistage dips, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **18-1**, 265–270.
- [50] **Stayvaktakis, E., Bollen, M.H.J and Gu, I.Y.**, 2005. Categorization and analysis of power system transients, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **20-3**, 247–254.
- [51] **Bollen, M.H.J, Gu, I.Y., Axelberg and P.G.V, Stayvaktakis, E.**, 2007. Classification of underlying causes of power quality disturbances: deterministic versus statistical methods, *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, **79747**, 1–17.
- [52] **Santoso, S., Grady, W.M., Powers, E. J., Lamoree, J. and Bhatt, S.C.**, 2000. A Scalable PQ Event Identification System, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **15-2**, 738–743.
- [53] **Xu, X. and Kezunovic, M.**, 2002. Automated feature extraction from power systems using wavelet transform, *IEEE Power System Technology Conference, PowerCon 2002*, **4**, 1994–1998.
- [54] **Yang, H.T. and Liao, C.C.**, 2001. A de-noising schemes for enhancing wavelet-based power quality monitoring system, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **16-7**, 353–360.
- [55] **Wang, H. and Keerthipala, W.W.L.**, 1998. Fuzzy-neuro approach to fault classification for transmission line protection, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **13**, 1093–1104.
- [56] **Elbaset, A.A. and Hiyama, T.**, 2009. Fault detection and classification in transmission lines using ANFIS”, *Transaction IEE Japan Transactions on Power and Energy* , **129–7**. pp. 413–420.
- [57] **Demirci, T., Kalaycioglu, A., Salor, O., Pakhuylu, S., Daglı, M., Kara, T., Aksuyek, H.S., Topcu, C., Polat, B., Bilgen, S., Umut, S., Cadirci, I. and Ermis, M.**, 2007. National PQ Monitoring Network for Turkish Electricity Transmission System, *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 1-6.
- [58] www.guckalitesi.gen.tr, Milli Güç Kalitesi Projesi.
- [59] **Demir, Y. ve Erişti, H.**, 2009. Güç sistemini etkileyen olayların destek vektör makine tabanlı analizi ve sınıflandırılması, *Fırat Üniversitesi bilimsel araştırma projeleri koordinasyon birimi 1605 no’lu doktora tezi projesi son raporu*.
- [60] http://www.hioki.com/newproduct/3197/3197_e.html, Hioki-3197 Güç Kalitesi Analizörü.

- [61] **CanAm EMTP User Group**, 1992. Alternative transient program (ATP) rule book, Portland.
- [62] www.emtp.org, ATP/EMTP Benzetim Programı.
- [63] **He, H. and Starzyk, J.A.**, 2006. A self-organizing learning array system for power quality classification based on wavelet transform, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **21-1**, 286–295.
- [64] **Haar, A.**, 1909. Zur Theorie der orthogonalen Funktionensysteme, *Inaugural dissertation*, Göttingen.
- [65] **Grossmann, A. and Morlet, J.**, 1984. Decomposition of hardy functions into square integrable wavelets of constant shape, *SIAM Journal of Mathematical Analysis*, **15-4**, 723–736.
- [66] **Daubechies, I.**, 1992, Ten lectures on wavelets, Society of Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia.
- [67] **Strang, G. and Nguyen, T.**, 1996. Wavelets and filter banks, Cambridge Press, Wellesley.
- [68] **Flandrin, P.**, 1999. Time–Frequency/Time-Scale Analysis, Academic Press, San Diego.
- [69] **Proakis, J. G. and Manolakis, D.K.**, 2006. Digital signal processing, Prentice Hall.
- [70] **Akay, M.**, 1994. Investigating the effects of vasodilator drugs on the turbulent sound caused by femoral artery stenosis using short-term fourier and wavelet transform methods, *IEEE Transaction on Biomedical Engineering*, **41**, 921–928.
- [71] **Senhadji, L.**, 1995. Comparing wavelet transforms for recognizing cardiac patterns, *IEEE Engineering in Medicine and Biology*, **14-2**, 167–173.
- [72] **Walton, E.K.**, 1998. Wavelet techniques and other multiresolution techniques for target phenomenology studies, *NATO-RTO Lecture Series 214*, Lisbon Portugal, **3-1**, 3–33.
- [73] **Çomak, E.**, 2008. Destek vektör makinelerinin etkin eğitimi için yeni yaklaşımlar, *Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [74] **Fung, G. and Mangasarian, O.L.**, 2004. Multi-category proximal support vector machine classifiers, *Neurocomputing*, **61**, 401–411.
- [75] **Kecman., V.**, 2001. Learning and soft computing: support vector machines. neural networks and fuzzy logic models, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

- [76] **Trafalis, T.B. and Ince, H.**, 2000. Support vector machine for regression and applications to financial forecasting. *IEEE International Joint Conference on Neural Networks*, **6**, 348–353.
- [77] **Cherkassky, V.**, 1998. Learning from Data, John Wiley & Sons, New York.
- [78] **Vapnik, N.V. and Chervonenkis, A.Y.**, 1971. On the uniform convergence of relative frequencies of events to their probabilities. *Theory of Probability and Its Applications*, **16–2**, 264–280.
- [79] **Vapnik, N.V.**, 1995. The nature of statistical learning theory, Springer-Verlag, New York.
- [80] **Shen, J., Pei, Z. J. and Lee, E.S.**, 2004. Support vector regression in the analysis of soft-pad grinding of wire-sawn silicon wafers. *International Conference on Cybernetics and Information Technologies, Systems and Applications/The 10th International Conference on Information Systems Analysis and Synthesis*, 19-24.
- [81] **Vapnik, V.N.**, 1998. Statistical learning theory, John Wiley & Sons, New York.
- [82] **Burges, C.J.**, 1998. A tutorial on support vector machines for pattern recognition, *Data Mining and Knowledge Discovery*, 2-2, 121–167.
- [83] **Aizerman, A., Braverman, E.M. and L.I. Rozoner**, 1964. Theoretical foundations of the potential function method in pattern recognition learning, *Automation and Remote Control*, **25**, 821–837.
- [84] **Weston, J. and Watkins, C.**, 1999. Support vector machines for multi-class pattern recognition, *Proceedings of the Seventh European Symposium on Artificial Neural Networks*, Bruges.
- [85] **Cristianini, N. and Taylor, J.S.**, 2000. An introduction to support vector machines and other kernel-based learning methods, Cambridge University Press, New York.
- [86] **Pham, D.T. and Pham, P.T.N.**, 1999. Artificial intelligence in engineering, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, **39-6**, 937-949.
- [87] **Lin, C.T. and Lee C.S.G.**, 1996, Neural Fuzzy Systems, *Prentice-Hall*.
- [88] **Haykin, S.**, 1994. Neural networks, A Comprehensive Foundation. Macmillan College Publishing Company Inc., New York.
- [89] **Nikander, A. and Lakervi, E.**, 1997. A philosophy and algorithms for extinguishing earth fault arcs in suppressed medium voltage networks, *14th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution*, **4**, 201–206.

- [90] **Brooks, D.L., Dugan, R.C., Wacławski, M. and Sundaram, A.**, 1998. Indices for assessing utility distribution system rms variation performance, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **13-1**, 254–259.
- [91] **Greenwood, A.**, 1991. *Electrical Transients in Power Systems*, John Wiley & Sons, New York.
- [92] **IEEE Std.1159-1995**, 1994. Recommended Practice on Monitoring Electric Power Quality, *Working Group on Monitoring Electrical Power Quality of SCC22-Power Quality*, New York.
- [93] Resmi Gazete, Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenirliği ve Kalitesi Yönetmeliği, **25639**, 10/11/2004.
- [94] Resmi Gazete, Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği, **25001**, 22/01/2003.
- [95] Resmi Gazete, Elektrik Piyasasında Dağıtım Sisteminde Sunulan Elektrik Enerjisinin Tedarik Sürekliliği, Ticari ve Teknik Kalitesi Hakkında Yönetmelik, **26287**, 12/09/2006.
- [96] **Radil, T., Ramos, P.M., Janeiro, F.M. and Serra, A.C.**, 2008. PQ monitoring system for real-time detection and classification of disturbances in a single-phase power system, *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, **57-8**, 1725–1733.
- [97] **Chi-Jui, W., Wei-Nan, C.**, 1997. Developing a harmonics education facility in a power system simulator for power engineering education, *IEEE Transactions on Power Systems*, **12-1**, 22–29.
- [98] **Lin, H.**, 2006, An internet-based graphical programming tool for teaching power system harmonic measurement, *IEEE Transactions on Education*, **49-3**, 404–414.
- [99] **Demirbaş, Ş. ve Bayhan, S.**, 2009. Güç sistemlerinde harmoniklerin gerçek zamanlı ölçüm ve analizi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, **24-3**, 461–468.
- [100] **MATLAB 6.5 version Wavelet Toolbox**, MathWorks Company.
- [101] **Polikar, R.**, 2006, Pattern recognition, *The Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering*, John Wiley & Sons, New York, 1–22.
- [102] **Chang, C.C. and Lin, C.J.**, 1992, LIBSVM: a library for support vector machines. <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>.
- [103] **Dash, P.K. and Chilukuri, M.V.**, 2004. Hybrid S-transform and Kalman filtering approach for detection and measurement of short duration disturbances in power networks. *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, **53-2**, 588–596.

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin ERİŞTİ
Tunceli Üniversitesi
e.posta: huseyineristi@gmail.com

- | | |
|-----------|---|
| 1979 | Mersin’de doğdu. |
| 1992-1995 | Mersin Atatürk Endüstri Meslek Lisesi, Elektrik Bölümünü tamamladı. |
| 1996-2000 | Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümünden mezun oldu. |
| 2000-2008 | Fırat Üniversitesi, Tunceli Meslek Yüksekokulu, Elektrik Programında okutman olarak görev yaptı. |
| 2003-2005 | Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında “Poisson Denklemi Tipindeki Elektrik Alan Problemleri için Sınır Elemanları Yöntemi” isimli yüksek lisans tez çalışmasını tamamladı. |
| 2005-... | Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında doktora tez çalışmasına başladı. |
| 2008-... | Tunceli Üniversitesi, Tunceli Meslek Yüksekokulu, Elektrik Programında okutman olarak görev yapmaktadır. |