

**ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**DAĞITIM SİSTEMLERİNDE GÜÇ KALİTESİ SORUNLARI ÜZERİNE MELEZ
BİR YAKLAŞIM**

Kübra Nur AKPINAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DAĞITIM SİSTEMLERİNDE GÜÇ KALİTESİ SORUNLARI ÜZERİNE
MELEZ BİR YAKLAŞIM**

KÜBRA NUR AKPINAR

ELEKTRİK TESİSLERİ ANABİLİM DALI

**SAMSUN
2018**

Her hakkı saklıdır.

TEZ ONAYI

Kübra Nur AKPINAR tarafından hazırlanan “Dağıtım Sistemlerinde Güç Kalitesi Sorunları Üzerine Melez Bir Yaklaşım” adlı tez çalışması 12/11/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Okan ÖZGÖNENEL
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı

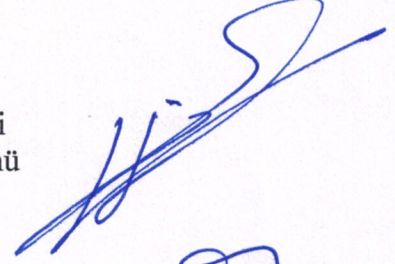


Jüri Üyeleri

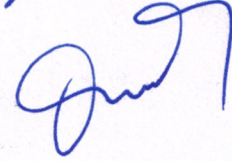
Başkan: Prof. Dr. Okan ÖZGÖNENEL
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı



Üye: Doç. Dr. Ünal KURT
Amasya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü



Üye: Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Elektrik Makinaları Anabilim Dalı



Yukarıdaki sonucu onaylarım. .../.../2018

Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

12/11/2018



Kübra Nur AKPINAR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DAĞITIM SİSTEMLERİNDE GÜÇ KALİTESİ SORUNLARI ÜZERİNE MELEZ BİR YAKLAŞIM

Kübra Nur AKPINAR

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Okan ÖZGÖNENEL

Bir elektrik güç sisteminin, tüketicilere sürekli olarak anma değerinde sinüzoidal gerilim ve akım iletmesi beklenir. Güç elektroniği tabanlı cihazların elektrik enerjisi endüstrisini yeniden yapılandırması ve küçük ölçekli dağıtık üretim sistemlerinin güç sistemine daha çok nüfuz etmesi, müşterilere tedarik edilen elektrik gücünün kalitesi üzerine olan talebi arttırmıştır. Bir güç kalitesi problemi, müşterilerin donanımlarının arızalanması veya hatalı çalışmasıyla sonuçlanan gerilim, akım veya sıklık sapmalarında ortaya çıkan herhangi bir güç problemi olarak tanımlanabilir. Eskiden güç kalitesi problemi anahtarlama ve yıldırım dalgalanmaları, indüksiyon ocakları ve diğer döngüsel yükler nedeniyle ortaya çıkıyorken günümüzde, elektrik güç sistemlerine teknolojik ve ekonomik faydalar sağlasa da, güç elektroniği elemanlarının çok yaygın kullanımı beraberinde güç kalitesi problemlerini de birlikte getirmiştir.

Bu çalışmada, yapay sinir ağı (YSA) kullanarak güç kalitesi bozukluklarının sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. En uygun YSA yapısı Box-Behnken deneysel tasarım yöntemi ile belirlenmiştir. Benzetim ortamında 9 adet (arızasız, gerilim düşmesi, gerilim yükselmesi, kırpışma, harmonik, geçici durum, DA bileşeni, elektromanyetik girişim, anlık kesinti) güç sistem durumu incelenmiştir. Üretilen farklı bozukluk türlerinin tespit edilmesinde kullanılan özellik vektörleri ayrık dalgacık dönüşümü ve temel bileşenler analizi yardımı ile elde edilmiştir. Elde edilen özellikler normalize edilip en iyileştirilerek YSA'ya giriş verileri olarak uygulanmıştır. Dolayısı ile YSA tasarım aşamasının karmaşıklığı ortadan kaldırılmıştır. Benzetim sonuçları irdelendiğinde en iyilemesi elde edilen ileri beslemeli çok katmanlı YSA yapısının güç kalitesi bozukluklarını başarılı bir şekilde ayırt ettiği gözlenmiştir.

Kasım 2018, 93 sayfa

Anahtar Kelimeler: Güç Kalitesi, Yapay Sinir Ağı, Box-Behnken Teoremi, En İyileştirme, Ayrık Dalgacık Dönüşümü, Temel Bileşenler Analizi

ABSTRACT

Master's Thesis

A HYBRID APPROACH TO POWER QUALITY PROBLEMS IN DISTRIBUTION SYSTEMS

Kübra Nur AKPINAR

Ondokuz Mayıs University
Graduate School of Sciences
Department of Power Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Okan ÖZGÖNENEL

It is expected that an electrical power system will continuously transmit nominal rated sinusoidal voltage and current to consumers. Power electronics-based devices restructuring the electrical energy industry and small scale distributed generation systems to penetrate the power system more increased demand for the quality of electrical power supplied to customers. A power quality problem can be defined as any power problem that occurs in voltage, current or frequency deviations resulting in malfunction or failure of customers' equipments. While the power quality problem has been caused by switching and lightning fluctuations, induction furnaces and other cyclic loads in the past, today, although it provides technological and economic advantages to electric power systems, the widespread use of power electronics has brought with it power quality problems.

In this study, classification of power quality defects was performed using artificial neural network (ANN). The most appropriate YSA structure was determined by the Box-Behnken experimental design method. Nine fault types (no fault, voltage sag, voltage, swell, flicker, harmonics, transient, DA component, electromagnetic interference, instant interruption) were investigated in computer simulations. The feature vectors used in the identification of the different types of faults produced were obtained with the help of discrete wavelet transform and principal component analysis. The obtained features were normalized and applied as artificial neural network input data. Therefore, the complexity of the ANN design phase has been removed. When the simulation results are analyzed, it is observed that the optimized feed forward multi layer ANN structure successfully distinguishes power quality disturbances.

November 2018, 93 pages

Key Words: Power Quality, Artificial Neural Network, Box-Behnken Optimization, Discrete Wavelet Transform, Principal Component Analysis

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Başta tez çalışmamda çok büyük emeği geçen, akademik hayatta yol gösteren, haftasonu bile demeden her aşamada bilgi ve desteklerini esirgemeyen, her zaman örnek aldığım değerli danışman hocam Prof. Dr. Okan ÖZGÖNENEL'e, yüksek lisans yapmaya başladığımda beni danışmanlığına kabul ederek çalışmalarına destek olan değerli hocam merhum Dr. Öğr. Üyesi Muammer ÖZDEMİR'e teşekkürü borç bilirim.

Eğitim hayatımın her aşamasında maddi ve manevi destekleriyle bugünlere gelmemde en büyük katkıları olan sevgili anneme ve babama, çalışmalarım sırasında sabır ve fedakarlık gösterip beni destekleyen çok sevdiğim eşime, çok değerli kardeşlerim ve tüm arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yüksek lisans çalışmalarımı 2228-A Son Sınıf Lisans Öğrencileri İçin Lisansüstü (Yüksek Lisans) Burs Programı ile maddi olarak destekleyen TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Kasım 2018, Samsun

Kübra Nur AKPINAR

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. YAZIN TARAMASI	4
3. GÜÇ KALİTESİ	12
3.1. Güç Sistemlerinde Gerilim Kararlılığı	12
3.2. Enerji Sistemlerinde Güç Kalitesi	13
3.3. Güç Kalitesi Bozukluğu Standartları.....	14
3.4. Güç Kalitesi Bozukluklarının Sınıflandırılması.....	17
3.4.1. Geçici Durum	17
3.4.2. Kısa Süreli Gerilim Değişimleri	18
3.4.2.1.Kesinti.....	18
3.4.2.2.Gerilim Düşmesi	19
3.4.2.3.Gerilim Yükselmesi.....	19
3.4.3. Uzun Süreli Gerilim Değişimleri	19
3.4.3.1.Sürekli Kesinti.....	20
3.4.3.2.Düşük gerilim.....	20
3.4.3.3.Aşırı gerilim	20
3.4.4. Gerilim Dengesizliği.....	20
3.4.5. Dalga Şeklinin Bozulması.....	21
3.4.5.1.DA Bileşen.....	21
3.4.5.2.Harmonikler	21
3.4.5.3.Ara Harmonikler	22
3.4.5.4.Çentik	22
3.4.5.5.Elektriksel Gürültü	23
3.4.6. Gerilim Dalgalanması ve Kırpışma	23
3.4.6.1.Kırpışma	23
3.4.7. Güç Sıklık Değişimleri	24
3.4.8. Elektromanyetik Girişim (EMI)	24
4. MATERYAL VE METOT.....	25
4.1. Arıza Verilerinin Oluşturulması.....	26
4.1.1. Üretilen İşaret Grafikleri.....	27
4.2. İşaret İşleme Yöntemleri.....	30
4.2.1. Fourier Dönüşümü.....	32
4.2.1.1.Sürekli Fourier Dönüşümü.....	32
4.2.1.2.Ayrık Fourier Dönüşümü.....	32

4.2.2. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü	33
4.2.3. Dalgacık Dönüşümü	34
4.2.3.1. Sürekli Dalgacık Dönüşümü	36
4.2.3.2. Ayırık Dalgacık Dönüşümü ve Çoklu Çözünürlük Analizi	37
4.2.4. Dalgacık Dönüşümünün Bozukluk Verilerine Uygulanması	38
4.3. Temel Bileşenler Analizi	41
4.3.1. Kovaryans Matrisi	43
4.3.2. Kovaryansın Özvektörleri	46
4.3.3. Tekil Değer Ayrışımı	47
4.3.4. TBA ve TDA Uygulaması	49
4.4. Yapay Sinir Ağı Yapısı	52
4.4.1. Yapay Sinir Ağı'nın Çalışması	53
4.4.2. Aktivasyon İşlevleri	53
4.4.3. Yapay Sinir Ağı'nı Oluşturan Elemanlar	54
4.4.4. Çok Katmanlı İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı	54
4.5. Cevap Yüzey Yöntemi Yaklaşımı	57
4.5.1. CYY Deney Tasarımı	61
4.5.1.1. Tam Faktör Tasarımı	61
4.5.1.2. Kesirli Faktöriyel Tasarım	62
4.5.1.3. Box-Behnken Tasarımı	62
4.5.2. Simpleks Algoritması	65
4.5.3. Varyans Analizi	66
4.5.4. Box-Behnken Deneysel Tasarımının Yapay Sinir Ağı Yapısına Uyarlanması	67
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	71
5.1. Sonuçların İstatistiksel Değerlendirilmesi	71
5.2. Güç Kalitesi Bozukluklarının Yapay Sinir Ağı İle Sınıflandırılması	75
6. ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR	78
EKLER	87
EK 1: Doğrusal Cebir	87
EK 2: YSA'da kullanılan Veri Listesi	89
ÖZGEÇMİŞ	93

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

δ_{kritik}	Kritik Yük Açısı
V_{kritik}	Hat Sonundaki Kritik Gerilim
P_{kritik}	Hat Sonundaki Kritik Güç
$f(t)$	Zamana Bağlı Sürekli İşaret
$f(w)$	Sıklık Bağımlı İşlev
$\mathfrak{F}\{f(t)\}$	Fourier Dönüşümü
$\psi(x)$	Dalgacık Dönüşümü
$h(n)$	Yüksek Geçiren Süzgeç Katsayısı
$g(n)$	Alçak Geçiren Süzgeç Katsayısı
σ	Varyans
σ_{AB}^2	Kovaryans
C_x	Kovaryans Matrisi
β_i	Doğrusal Etki İçin Regresyon Katsayısı
β_{ii}	Kuadratik Etki İçin Regresyon Katsayısı
β_{ij}	Interaktif Etki İçin Regresyon Katsayısı
X_i	Faktör Temsili
k	Faktör Sayısı
c_p	Merkezi Noktanın Numarası
A	İşaret Genliği
f	İşaret Sıklığı
$g(u)$	Nöron Aktivasyon Potansiyeli

KISALTMALAR

YSA	Yapay Sinir Ağı
İBÇK	İleri Beslemeli Çok Katmanlı
FD	Fourier Dönüşümü
HFD	Hızlı Fourier Dönüşümü
KZFD	Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü
DD	Dalgacık Dönüşümü
ADD	Ayrık Dalgacık Dönüşümü
SDD	Sürekli Dalgacık Dönüşümü
ANOVA	Varyans Analizi
TBA	Temel Bileşenler Analizi
P	Etkin Güç
V	Etkin Gerilim
Q	Tepkin Güç
cosφ	Güç Faktörü
DA	Doğru Akım
UPS	Kesintisiz Güç Kaynağı
THD	Toplam Harmonik Bozuluma
ÇÇA	Çoklu Çözünürlük Analizi
SNR	İşaret Gürültü Oranı
TDA	Tekil Değer Ayrışımı
CYY	Cevap Yüzey Yöntemi
OMS	Ortalama Mutlak Sapma
MKT	Merkezi Kompozit Tasarım

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.4.2.1. IEEE 1159-2009 Standardı - Gerilim Değişim Sınırları Grafiği	18
Şekil 4.1. Güç kalitesi bozukluklarının sınıflandırılması akış çizimi.....	26
Şekil 4.1.1.1. Saf sinüs işareti ($f_s=49.83\text{Hz}$)	27
Şekil 4.1.1.2. 0.3pu genlikli gerilim düşmesi grafiği	28
Şekil 4.1.1.3. 0.4pu genlikli gerilim yükselmesi grafiği.....	28
Şekil 4.1.1.4. Sırasıyla 3. 5. ve 7. harmonik genlikleri 0.2, 0.1 ve 0.1 genlikli harmonikli gerilim grafiği	28
Şekil 4.1.1.5 0.5-0.6 snleri arasında 0.1 genlikli kesinti grafiği.....	29
Şekil 4.1.1.6 0.2pu genlikli kırpışma grafiği.....	29
Şekil 4.1.1.7 0.3pu genlikli DA bileşen grafiği.....	29
Şekil 4.1.1.8 Geçici durum frekansı $f_t=2000\text{Hz}$ olan geçici durum grafiği.....	30
Şekil 4.1.1.9 0.1pu genlikli, $1\text{E}6\text{ Hz}$ sıklıklı elektromanyetik girişim grafiği	30
Şekil 4.2.2.1 Kısa zamanlı Fourier dönüşümü	33
Şekil 4.2.3.1 Farklı dalgacık ailelerinin grafiksel gösterimleri a) Haar Dalgacığı b) Daubechies Dalgacığı c) Symlet Dalgacığı d) Coiflet Dalgacığı e) Morlet Dalgacığı f) Mexican Hat Dalgacığı	34
Şekil 4.2.3.2 Dalgacık analizi.....	35
Şekil 4.2.3.3 Dalgacık dönüşümü zaman sıklık gösterimi.....	36
Şekil 4.2.3.2.1 Çoklu Çözünürlük Analizi ile ADD Hesaplama	37
Şekil 4.2.4.1 Saf Sinüs Dalgası ADD grafiği.....	39
Şekil 4.2.4.2 Gerilim düşmesi ADD grafiği.....	40
Şekil 4.2.4.3 Gerilim yükselmesi ADD grafiği.....	40
Şekil 4.2.4.4 Harmonikli gerilim ADD grafiği	40
Şekil 4.2.4.5 Kesinti ADD grafiği	40
Şekil 4.2.4.6 Kırpışma ADD grafiği.....	40
Şekil 4.2.4.7 DA bileşen ADD grafiği.....	40
Şekil 4.2.4.8 Geçici durum ADD grafiği	41
Şekil 4.2.4.9 Elektromanyetik girişim ADD grafiği.....	41
Şekil 4.3.1 a) Veri Dağılımı b) Varyans ve SNR grafikleri.....	42
Şekil 4.3.2 Artıklık ilişkisi	43
Şekil 4.3.3.1 $X_{vi} = \sigma_{iui}$ denkleminin görselleştirilmesi	48
Şekil 4.3.3.2 $XV = U\Sigma$ denkleminin görselleştirilmesi.....	48

Şekil 4.3.4.1 Saf Sinüs Dalgası TBA grafiği	51
Şekil 4.3.4.2 Gerilim düşmesi ADD grafiği.....	51
Şekil 4.3.4.3 Gerilim yükselmesi ADD grafiği.....	51
Şekil 4.3.4.4 Harmonikli gerilim ADD grafiği	51
Şekil 4.3.4.5 Kesinti ADD grafiği	51
Şekil 4.3.4.6 Kırpışma ADD grafiği.....	52
Şekil 4.3.4.7 DA bileşen ADD grafiği.....	52
Şekil 4.3.4.8 Geçici durum ADD grafiği	52
Şekil 4.3.4.9 Elektromanyetik girişim ADD grafiği.....	52
Şekil 4.4.4.1 Çok katmanlı algılayıcı.....	55
Şekil 4.5.1.2.1 Cevap yüzey tasarımları	62
Şekil 4.5.1.3.1 Üç faktörlü Box Behnken tasarımı.....	63
Şekil 4.5.1.3.2 Box-Behnken tasarım sınırları	63
Şekil 4.5.2.1 3-D bir durum için simpleks algoritmasının temel kavramı	65
Şekil 5.1.1 Artıklara gauss dağılımının uygulanması.....	75
Şekil 5.2.1 YSA kullanılarak 9 adet arızanın sınıflandırma çizelgesi	75

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.3.1. IEEE 1159-2009 Standardı	16
Çizelge 4.1.1. Güç kalitesi bozukluklarının matematiksel modeli	27
Çizelge 4.3.4.1. Detay katsayılarının normalize edilmiş enerjiseviyeleri ve karşılık gelen TBA çıktıları.....	50
Çizelge 4.5.1.3.1. Üç faktör için Box-Behnken Deneyi Tasarımı.....	64
Çizelge 4.5.3.1. Varyans analizi sonuç çizelgesi	67
Çizelge 4.5.4.1. Box-Behnken tasarımına göre seçilen seviyeler	68
Çizelge 4.5.4.2. Box-Behnken tasarımına göre sistemler	68
Çizelge 5.1.1. Box Behnken tasarımına ilişkin varyans analizi sonuçları	71
Çizelge 5.1.2. Box Behnken tasarımına ilişkin regresyon katsayıları sonuçları	73

1. GİRİŞ

Güç kalitesi bozukluğu sıklık, gerilim düşmesi, gerilim yükselmesi, harmonikler, güç faktörü ve gerilim dengesizliği gibi nedenlerle meydana gelen bir sorundur. Elektrik şebekelerinde farklı tipte güç kalitesi bozuklukları, sistemin çalışması sırasında her noktada oluşabilir. Gerilim düşmesi ve yükselmesi, harmonikler, geçici durum, kırpışma gibi bozuklukların varlığı kısa devrelerden, yük anahtarlama ve doğrusal olmayan elektronik yüklerin yaygın kullanılmasından kaynaklanır. Elektrik şirketleri her bir güç kalitesi sorununu karakterize etmek için sistem denetimi, izleme ve güç kalitesi etütleri ile arızalara uygun çözümler uygulamaktadırlar. Farklı güç kalitesi bozulmalarının sınıflandırılması, güç sistemine bağlı farklı tipteki yüklerin arızalarını açıklamaya yardımcı olur. Dalga sinyali analizleri bozuklukların sınıflandırılmasında oldukça etkili bir yoldur, ancak bozukluk türlerine göre bu bilginin çıkarılması yoğun hesaplama süreçleri gerektirmektedir. Genel olarak güç kalitesi bozukluklarının tanımlanması amacıyla işaret analizi, özellik çıkarımı ve sınıflandırma teknikleri kullanılmaktadır. Bazı temel özellikler gözardı edilebileceğinden ya da önemsiz özellikler değerlendirilebileceğinden, özellik seçimi her zaman bu işlemler arasında kilit unsurdur.

Geçtiğimiz yıllardaki çalışmalarda güç kalitesi bozukluklarının tespiti ve sınıflandırılması için dalgacık dönüşümü, kısa süreli Fourier dönüşümü, Gabor-Winger dönüşümü, S-dönüşümü gibi farklı teknikler uygulanmıştır. Bu çalışmalarda, her bir arıza tipi için belirli olan çoklu çözünürlük analizi kullanılarak farklı seviyedeki bozulmaların enerji dağılımlarına dayalı dalgacık özellik çıkarımı tekniği kullanılmıştır. Mallat'ın ayrık dalgacık dönüşümü tekniği, çoklu çözünürlük analizi yardımı ile incelenen bir işaretin değişik sıklık bölgelerine ayrılması ile çeşitli özelliklerinin çıkartılmasına olanak sağlamaktadır. Güç kalitesi bozukluklarının sınıflandırılması için birçok yöntem önerilmiştir. Zaman sıklık analizi, karar ağaçları, destek vektör mekanizmaları, genetik algoritma, bulanık mantık, yerel ağırlıklı izdüşüm regresyonu, yapay sinir ağları kullanılan yöntemler arasındadır. Literatürde yapılan güç kalitesi bozukluklarının sınıflandırılmasında kullanılan sınıflandırma yöntemlerinde, diğer sınıflandırma yöntemlerine kıyasla YSA, gürültü miktarından

etkilenmeden daha iyi sonuç vermiştir. Bazı çalışmalarda YSA'nın örüntü tanıma yetenekleri ve gürültü ile başa çıkabilme özellikleri ile büyük ilgi çektiğini fakat özellik parametrelerinin (sıklık bileşeni, dalga şekli vb.) seçim zorluğunu ve YSA yapısının oluşturulmasının karmaşık bir işlem olduğunu vurgulamıştır (Saxena & Verma, 2012).

Bu çalışmada, YSA'nın tasarım aşamasındaki karmaşıklıklar cevap yüzey yöntemlerinden biri olan Box-Behnken deney tasarımı ile en iyileştirilmiştir. Yapay sinir ağını oluşturan gizli katman sayısı ve nöron sayısı, kullanılan aktivasyon işlevleri ve geri yayımlı algoritmalarda uygun olan parametreler, deney tasarımı ile ANOVA istatistiksel analizi kullanılarak belirlenmiştir. Bu sayede probleme dayalı en uygun İBÇK-YSA yapısı elde edilmiş ve güç kalitesi bozukluklarının sınıflandırılmasında kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasının ilk bölümünde incelenen konu hakkında genel olarak bilgi verilmiş, yapılan çalışmalarda kullanılan teknikler kısaca belirtilmiş ve tezde uygulanan tekniklerden bahsedilmiştir.

İkinci bölümde, yazın taraması sonuçları incelenmiş, günümüze kadar yapılan çalışmalar anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde güç kalitesi bozukluklarından, kullanılan standartlardan bahsedilmiş olup güç sistemlerindeki bozukluklar hakkında bilgilendirme yapılmıştır.

Dördüncü bölümde, güç kalitesi bozukluklarına uygulanan işaret işleme yöntemleri anlatılıp, bu tez çalışmasında kullanılan dalgacık dönüşümü açıklanmıştır. Temel bileşenler analizi, özdeğer ve özvektör kavramları, tekil değer ayrışımı açıklanmıştır. Yapay sinir ağları hakkında ayrıntılı olarak bilgi verilmiş, cevap yüzey yöntemleri incelenmiş, tez çalışmasında kullanılan Box Behnken deney tasarımı yapısı anlatılmış, simpleks algoritması ve varyans analizine yer verilmiştir. Arıza verilerinin nasıl oluşturulduğu anlatılmış, arızanın tespiti için uygulanan dalgacık dönüşümü ve temel bileşenler analizi sonucunda elde edilen grafikler gösterilmiş, Box Behnken cevap yüzey yöntemi kullanılarak yapay sinir ağı yapısına en uygun faktörler istatistiksel olarak hesaplanıp çıkan sonuca göre yapay sinir ağ yapısı oluşturulmuştur.

Beşinci bölümde çalışmaya dair sonuçlar ve değerlendirmeler sunulmuştur. Dalgacık dönüşümü ve temel bileşenler analizi ile elde edilen katsayılar, tasarımı yapılan yapay sinir ağına uygulanarak güç kalitesi bozukluklarının sınıflandırılması başarılı bir şekilde yapılmıştır.

Altıncı bölümde ileriki çalışmalarda yapılabilecekler hakkında önerilere yer verilmiştir.



2. YAZIN TARAMASI

Güç kalitesi bozukluğu tespitinin amacı, bozukluk tipini doğru bir şekilde tanımlamak ve denetim stratejileri geliştirmektir. Bozuklukların tanımlanması için Dalgacık dönüşümü, Stockwell dönüşümü, Hilbert-Huang dönüşümü gibi bazı gelişmiş matematiksel araçlar öz vektörlerin çıkarılması için kullanılmaktadır. Bozuklukların sınıflandırılması için ise yapay sinir ağı, destek vektör makinaları, karar ağaçları, bulanık mantık gibi yapay zekâ araçları kullanılmıştır.

1999 yılında Abraham ve arkadaşları, gerçek zamanlı ölçüm yaparak şebeke akım ve gerilimini YSA yapısına giriş olarak kullanarak güç faktörü, etkin ve tepkin güç kestirimi yapmışlardır (Abraham & Nath, 1999).

2004’de Wang ve arkadaşları, bozukluk işaretlerine zaman sıklık temsili yöntemini uygulayıp, Fisher ayırım işlevi ile matris boyutunu azaltıp uygun çekirdek ile özellik vektörlerini elde etmişlerdir. Sınıflandırma için YSA kullanmışlardır. Aynı zamanda kuramsal olarak yaptıkları bu çalışmayı gerçek veriler kullanarak laboratuvar ortamında DSP tabanlı donanım ile görüntülemişlerdir (Wang & Mamishev, 2004).

2005’de Choong ve arkadaşları, gerilim düşmesi, gerilim yükselmesi, geçici durum, kesinti ve normal sinüs dalgasının özellik çıkarımı için ayrık dalgacık dönüşümü (ADD) kullanmışlardır. Arızaların sınıflandırması için ise YSA ve bulanık mantık yöntemini ayrı ayrı denemiş ve YSA’nın FPGA ile gerçek ortamdaki uygulamada 16 ms daha hızlı olduğunu tespit etmişlerdir (Choong, Reaz, & Mohd-Yasin, 2005).

2008’de Devaraj ve arkadaşları, ayrık Fourier dönüşümü ile gerilim düşümü, gerilim yükselmesi, geçici durum, harmonik, kırpışma bozukluklarının analizini yapıp; faz açısı kayma farkı, temel sıklık ile test sıklığı arasındaki en küçük kareler farkı, dalgacık katsayılarının en yüksek noktaları, dalgacık enerji katsayısının enerji seviyesi özelliklerini kullanılarak yapay sinir ağı eğitilmiştir (Devaraj & Rathika, 2008).

2009’da Monteiro ve arkadaşları, MATLAB/Simulink yazılımında ürettikleri arıza işaretlerinin karakter çıkarımını ADD kullanarak yapmışlardır. Sınıflandırma için ise çok kullanılan 2 yöntemden karar ağacı ve destek vektör makinalarını (DVM) ayrı ayrı uygulamışlardır. Vega ve arkadaşları ise, arıza işaretlerine Biortogonal 3.9 ana dalgacıklı ADD uygulamışlar, daha sonra ADD katsayılarının enerjilerini

hesaplayıp gerilim düşmesi, gerilim yükselmesi, geçici durum, kırpışma ve harmonik arızalarını YSA ve DVM kullanarak sınıflandırmışlar, DVM sonuçları ile karşılaştırıldığında YSA'nın daha iyi sınıflandırma yaptığını belirlemişlerdir (Monteiro, Zvietcovich, & Braga, 2009).

2010'da Pozzebon ve arkadaşları, normal sinüs, sığacın anahtarlanma anında meydana gelen geçici durum, kırpışma, harmonik, kesinti, çentik ve gerilim düşmesi tespitinde işaretlere ADD uygulayıp, değişimini arttırmak (örnek sayısını etkin bir şekilde kullanmak) ve sinir ağına daha az girdi sağlayıp çalışma hızını arttırmak için temel bileşenler analizi (TBA) yapmışlardır. Sınıflandırma için RTF YSA (radyal tabanlı işlevli YSA) kullanmışlardır. Çalışma sonunda %90 sınıflandırma başarımı elde etmişlerdir (Pozzebon, Peña, Gonçalves, & Machado, 2010). Rodríguez ve arkadaşları, arıza işaretlerine ADD ile çoklu çözünürlük analizi uygulayıp, Deubechies, Symlet gibi farklı ana dalgacıkları denemiş geri yayımlı (GY) ve olasılıksal YSA kullanarak GY ile % 92 sınıflandırma başarımına ulaşmışlardır (Rodríguez et al., 2010). Chandrasekar ve arkadaşları ise IEEE 6 baralı test sistemini kullanarak MATLAB/Simulink ortamında gerilim düşmesi, gerilim yükselmesi ve geçici durum kesintileri üretmişlerdir. Düzenlenmiş ayrık dalgacık dönüşümü ve Çift yönlü çağrışimli bellekli YSA kullanarak %95 oranında sınıflandırma başarımı elde etmişlerdir (Chandrasekar & Vijayarajan, 2010).

2011'de Uyar ve arkadaşları, güç kalitesindeki bozulmaların sınıflandırılması için örüntü tanıma yaklaşımı geliştirmişlerdir. Kullanılan arızalar; ATP-EMTP programında benzetim yaparak, matematiksel arıza formülleri kullanılarak ve Türkiye Milli Güç Kalitesi Projesinden alınan gerçek veriler kullanılarak elde edilmiştir. Ana dalgacık olarak db8, sınıflandırma için DVM yöntemi kullanılmış ve %97 başarımlı sağlanmıştır. Yine aynı yıl Gupta ve arkadaşları, sürekli dalgacık dönüşümü ile benzetim ortamında ürettikleri işaretlerin analizini yaptıktan sonra MATLAB YSA araç kutusunu kullanıp arıza kestirimi yapmışlardır (Gupta, Kumar, & Gupta, 2011). Elango ve arkadaşları, tekstil fabrikasından aldıkları güç kalitesi bozukluk verilerini, Hilbert Huang Dönüşümü (HHD) ve 3 faklı YSA yapısı uygulayarak sınıflandırmışlardır. Geri yayımlı algoritma, radyal tabanlı ağ ve yerel ağırlıklı kestirim işlevi YSA yapılarından radyal tabanlı ağın daha yüksek başarımlı ve daha hızlı sınıflandırdığı belirtilmiştir (M.K.Elango, A. Nirmal Kumar, & K. Duraiswamy, 2011).

2012’de Saxena ve arkadaşları, 10 seviyeli çoklu çözünürlük analizini Daubechies db8 dalgacık ailesini kullanılarak gerçekleştirmiş, YSA ve DVM sınıflandırma yöntemleri karşılaştırmışlardır. DVM yönteminin YSA yöntemine göre daha doğru sınıflandırma yaptığı belirtilmiştir (Saxena & Verma, 2012).

2013 yılına gelindiğinde Naik ve arkadaşı, arıza işaretlerini S dönüşümü kullanarak sıklık zaman kontörünü elde edip, YSA kullanarak eğitip sonrasında kural tabanlı sınıflandırma yapmışlardır (Naik & Kundu, 2013).

2014’te Shen ve arkadaşları, sıkıştırma algılamasına dayalı bir yaklaşım sunmuşlardır. Her arıza örneği seyrek gösterim ile temsil edilmiş ve çözümü yapılmıştır. Boyutsallığı azaltmak için L1- en küçükleme yöntemi uygulanıp nesne sınıfı, test numunesi ve seyrek gösterimi arasındaki minimum hata belirlenmiştir. 10 tip bozukluk için % 95’ten daha büyük bir sınıflandırma doğruluk oranı bulunmuştur (Yue Shen et al., 2014). Tuljapurkar ve arkadaşları, ADD ile Bütünleşik YSA (MANN) birleşimini kullanmış, çoklu çözünürlük analizi ve dalgacık tabanlı özellik çıkarımından sonra sınıflandırmada yeni bir sinir ağı olan MANN yapısını denemişlerdir (Tuljapurkar & Dharme, 2014). He ve arkadaşları ise yine yeni bir ağ yapısı yaklaşımı olan Kaba Kümeleme Teorisi tabanlı YSA ile sınıflandırma yapmışlardır. Faz arızaları (faz-faz, faz-toprak vb.) ADD ile analiz edilip sınıflandırılmıştır (He, Lin, Deng, Li, & Qian, 2014).

2015’de Alshahrani ve arkadaşları, akıllı şebekeler için ADD analizi ve çok katmanlı (ÇK) YSA kullanarak sınıflandırma yapmışlardır (Alshahrani, Abbod, Alamri, & Taylor, 2015). Ijaz ve arkadaşları, ADD ile arıza işaretlerinin analizini yapıp ADD şekil ve ölçek katsayılarının enerjilerini özellik vektörü olarak kullanmışlardır. Bu özellik vektörleri, diferansiyel evrimsel algoritma ile ağırlıkları iyileştirilen yapay sinir ağına girdi olarak uygulanmıştır (Ijaz, Shafiullah, & Abido, 2015). Andrade ve arkadaşları, güç kalitesi ile ilgili arızaların dalgacık dönüşümü ile enerji özelliklerinden enerji ve entropisini temel alarak analizini yapmışlardır (Andrade, Augusto, & Fernandes, 2015). Nway ve arkadaşları, kırpışma, harmonik, gerilim düşümü ve yükselmesi, darbe, dalgalanma, çentik arızalarını db8 dalgacık ailesini kullanarak özellik vektörlerini elde edip, olasılıksal ve çok katmanlı YSA yapılarını ayrı ayrı kullanarak olasılıksal YSA’nın daha yüksek başarımlı sağladığını gözlemlemişlerdir (Ijaz et al., 2015)(Nway, Win, Zin, & Tun, 2015). Kumar ve arkadaşları, laboratuvar ortamında ürettikleri gerçek arıza işaretlerine S dönüşümü

uygulayarak en yüksek genlik-zaman ve genlik sıklıktan oluşan S matrisini elde edip, karar ağacı ve YSA yöntemlerinin karşılaştırılması sonucunda YSA'dan %99 oranında başarımlar elde etmişlerdir (Kumar, Singh, Shahani, Chandra, & Al-Haddad, 2015). Raptis ve arkadaşları, güç kalitesi indeksi hesaplayarak güç kalitesi arızalarının risklerini yüksek, orta ve düşük olarak YSA ile sınıflandırmışlardır (Raptis, Vokas, Langouranis, & Kaminaris, 2015). Shilpa ve arkadaşları, gerilim düşmesi ve yükselmesi, geçici durum, harmonik bozuklukların tespiti için Hilbert Huang Dönüşümü ve deneysel kip ayrışımı ile toplu deneysel kip ayrışımı uygulayarak özellik vektörlerini elde edip, DVM kullanarak yüksek sınıflandırma başarımlarına ulaşmışlardır (Shilpa, Prabu, & Puttaswamy, 2015). Liu ve arkadaşı, Stockwell dönüşümü ile özellik çıkarımı yapıp, Takagi-Sugeno (TS) bulanık mantık yöntemi ile arıza verisi sınıflandırması yapmışlardır (Liu & Liu, 2015). Jun ve arkadaşları, parçacık sürü iyileştirmesi ile MP kullanarak bozukluğa atomik ayrıştırma uygulamış, eğitim aşamasına gerek kalmadan çıkan sonucu gerilim düşmesi veya yükselmesi, kesinti, harmonik ve salınım olarak hata oranına göre sınıflandırmışlardır (Zhang, Zeng, Ma, & Wu, 2015). Shilpa ve arkadaşları, deneysel kip ayrışmasının devamı çok değişkenli deneysel kip ayrışımı kullanılarak üç fazlı gerilim bozuklukları için analiz yapmış, radyal tabanlı işlev çekirdek destek vektör makinesi ile bozuklukları sınıflandırmışlardır (Shilpa et al., 2015). MoeinDarbari ve arkadaşları, ilk kez uyarlamalı bir yöntem olan bütün toplu deneysel kip ayrışımı kullanmışlardır. Hilbert Huang dönüşümü ile özellik çıkarımı yapmış, sınıflandırma performansı için ise en küçük kareler destek vektör makinaları kullanmışlardır. Uyguladıkları yöntemi HHT ve düzenlenmiş HHT ile karşılaştırmışlar, bütün toplu deneysel kip ayrışımı HHT birleşiminin daha iyi sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir (Maryam MoeinDarbari; Hamidreza Pourreza; Mohammad Monfared, 2015). Dalai ve arkadaşları, bozulma işaretlerinden özellik çıkarımı için XWT (Çapraz dalgacık dönüşümü) destekli Fisher doğrusal diskriminant analizi tabanlı yöntem kullanmışlardır. Çıkarılan özelliklerin sınıflandırılması için, doğrusal bir destek vektör makinesi tabanlı sınıflandırıcı çekirdek işlevi olarak yeterli bulunmuştur (Dalai, Dey, Chatterjee, Chakravorti, & Bhattacharya, 2015).

2016'da Pune ve arkadaşları, bozuklukların sınıflandırması için farklı dalgacık aileleri seçeneği sunan ve DVM araç kutusu yardımı ile sınıflandırma yapan MATLAB GUI ortamında benzetim çalışması yapmışlardır (Pune, S. Jagtap, &

Puranik, 2016). Li ve arkadaşları, yeni bir yöntem olarak çift çözünürlüklü S-dönüşümü ile yönlendirilmiş asiklik grafik destek vektör makineleri birleşimine dayalı bozukluk tespiti ve sınıflandırması algoritması sunmuşlardır (Li, Teng, Tang, & Song, 2016b). Zhao ve arkadaşları, Stockwell dönüşümünün bir sürümü olan TT (Time to Time) dönüşümü ile özellik çıkarımı yapmışlar, YSA ve DVM yöntemlerinin ikisini de ayrıca uygulayıp, DVM ile daha yüksek sınıflandırma başarımı elde etmişlerdir (Zhao, Liu, & Fu, 2016). Li ve arkadaşları, yeni bir özellik çıkarımı yaklaşımı olarak Curvelet dönüşümü kullanmış, DVM yöntemi ile arıza sınıflandırması yapmışlardır (Li, Teng, Tang, & Song, 2016a). Puthenpurakel ve arkadaşları ise rüzgâr ve güneş enerji sisteminde oluşabilecek arızaların tespiti için dalgacık dönüşümü uygulamışlar ve denetimli öğrenme yöntemlerinden olan çok katmanlı YSA kullanarak %95 başarımlı sınıflandırma kestirimi elde etmişlerdir (Puthenpurakel & Subadhra, 2016). Thirumala ve arkadaşları, genelleştirilmiş deneysel dalgacık dönüşümü ve DVM'ye dayanan yeni bir sınıflandırma modeli yaklaşımı sunmuşlardır (Karthik Thirumala, Maganuru, Jain, & Umarikar, 2016). Mahela ve arkadaşı, Stockwell dönüşümü ve kural tabanlı karar ağacı sınıflandırma yöntemini gerilim düşmesi, gerilim yükselmesi, kesinti, harmonik, çentik, titreşim, salınım arızaları için %99.2 başarımlı ile kullanmışlardır. (Kumari, Dadhich, & Mahela, 2016). Karasu ve arkadaşı, dalgacık dönüşümü ve norm entropi yöntemi ile istatistiksel özellikler kullanılarak güç kalitesi bozulmalarını tespit etmişlerdir. Oluşturulan özelliklerden en uygun olanları sıralı ileri seçim algoritması ile bulunmuştur. Destek vektör makineleri, çok katmanlı algılayıcı, k en yakın komşu ve birlikte çalışma yöntemi olan rastgele alt uzay k en yakın komşu sınıflandırma algoritmalarının başarımları incelenmiştir. Sonuç olarak alt uzay k en yakın komşu sınıflandırma yöntemi ile %99.3 doğruluk oranı ile en yüksek başarımlı elde edilmiştir (KARASU & BASKAN, 2016). Thirumala ve arkadaşları, genelleştirilmiş deneysel dalgacık dönüşümü ve basit kural tabanlı karar ağacı uygulayarak yüksek doğrulukta sınıflandırma yapmışlardır (Karthik Thirumala, Umarikar, & Jain, 2016). Elango ve arkadaşları, gerçek zamanlı arıza işaretlerine S dönüşümü uygulayarak özellik vektörlerini elde ettikten sonra çok katmanlı geri yayımlı algoritma kullanan YSA ile sınıflandırma yapmış, %98 oranında başarılı sınıflandırma yapmışlardır. Ayrıca yapılan çalışmada kullanılan yöntemin genişletilerek birçok arıza tespitinde kullanılabileceğini önermişlerdir (M.K.Elango & K.Loganathan, 2016). Satao ve arkadaşları, düzenlenmiş dalgacık dönüşümü olan S dönüşümü ile gerilim düşümü, gerilim yükselmesi ve kesinti arızalarını çok katmanlı

YSA kullanarak sınıflandırmışlardır (Satao & Kankale, 2016). Divya ve arkadaşı, 3 farklı dalgacık ailesini (db4, sym4 ve bior1.4) kullanarak özellik vektörlerini YSA kullanarak sınıflandırmış ve diğer ana dalgacıklarla karşılaştırıldığında bior1.5 seçildiğinde en yüksek başarıyı elde etmiştir (Divya & Uma Rao, 2016). Perez ve arkadaşları, yeni bir yöntem uygulamış ve arıza işaretlerine (tek faz, faz toprak ve faz faz arızası) Clarke dönüşümü uygulayarak alfa, beta ve sıfır bileşenlerini elde etmiş, dalgacık detay seviyelerindeki enerji dağılımını hesaplamak için uzay-vektör büyüklükleri ve sıfır dizi bileşenine dalgacık dönüşümü uygulamışlardır. Çıkan sonuçları YSA kullanarak %100 başarıyla sınıflandırmışlardır (Perez, Oviedo, Camarillo-peñaranda, & Ramos, 2016). Chen ve arkadaşları, sıklık düzleminde ele alınan genel yaklaşımın aksine zaman düzleminde analiz yapmış, 5 tipik arıza işaretini (gerilim düşmesi, yükselmesi, kesinti, çentik ve salınım) morfolojik tekil entropi kullanarak tespit etmişlerdir (Chen, Li, Ji, & Wu, 2016). İslam ve arkadaşları, zaman sıklık dağılımlı analiz yöntemini Page, RIDB ve Choi-Williams çekirdeklerinden Page çekirdeğini uygulayarak bozukluk analizi yapmışlardır (İslam, Hossain, Dougal, & Brice, 2016). Guo ve arkadaşları, topluluk deneysel kip ayrıştırması ve tekil değer ayrıştırma yöntemini ve bulanık C-ortalama kümeleme kullanılarak sınıflandırma yapmışlardır (Guo, Zhao, & Han, 2016).

2017’de Liqun ve arkadaşları, çoklu güç kalitesi bozulmalarının dalgacık enerji farkını elde etmek için db4 dalgacık dönüşümü uygulamış ve çıkarılan enerji farkı, özellik vektörü olarak kullanılmıştır. Parçacık sürü iyileştirmesi yöntemi, sınıflandırma doğruluğunu artırmak için destek vektör makinesini iyileştirmek için kullanılmıştır (Liqun, Meijiao, & Lin, 2017). Markovska ve arkadaşı, dalgacık tabanlı RF karar ağacı yöntemini kullanarak yeni bir sınıflandırma yöntemi denemişlerdir (Markovska & Taskovski, 2017b). Yine Markovska ve arkadaşları dalgacık tabanlı özellikleri güç kalitesi bozukluklarının sınıflandırmasında kullanmışlardır. ADD katsayılarının sırasıyla enerji, Shannon entropi, standart sapma, logaritmik entropi istatistiksel özelliklerini karar ağacı, destek vektör makineleri ve RF YSA ile sınıflandırılmıştır. Kullanılacak istatistiksel özelliklerin sınıflandırma başarımına etkileri incelenmiş, logaritmik entropi ve enerji özelliklerinde başarımlar artmıştır (Markovska & Taskovski, 2017a). Chheepa, Hilbert dönüşümü kullanarak arıza işaretlerinin özellik vektörlerini elde ettikten sonra, sınıflandırma aşamasında 6 farklı ağ yapısı (İleri Kademeli Geri Yayılımlı Sinir Ağı, Elman Geri Yayılımlı Sinir Ağı,

İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Sinir Ağı, İleri Beslemeli Dağıtılmış Zaman Gecikmeli Sinir Ağı, Katman Tekrarlayan Sinir Ağı, Doğrusal Olmayan Otoregresif Eksternal Sinir Ağı ve Radyal Tabanlı İşlevli) denemiş, sonuç olarak radyal tabanlı YSA'nın karşılaştırdığı ağlara kıyasla daha yüksek (%99) verimlilikte sonuç verdiğini belirlemiştir (Chheepa, 2017). Bhavani ve arkadaşı, dalgacık paket dönüşümünü ile YSA kullanarak gerilim düşümü, gerilim yükselmesi ve kesinti arıza işaretlerini tespit etmiş, diğer çalışmalardan farklı olarak özellik vektörlerini elde ederken enerji, entropi tabanlı dalgacık dönüşümü ile azaltılmış sayıda katsayı kullanarak sonucu elde etmiştir (Bhavani & Prabha, 2017). Balouji ve arkadaşı, yeni bir yaklaşım olarak arıza işaretlerinin (gerilim düşmesi ve yükselmesi, tek ve üç fazda kesinti, tüm fazlarda sık ve kısa ani kesinti, iki fazda kesinti diğer fazda gerilim düşmesi durumları) görüntülerini kaydedip, bu görüntüleri görüntü sınıflandırmada çokça kullanılan derin öğrenme yöntemlerinden Evrişimsel YSA (CNN) kullanarak sınıflandırmışlar ve %100 başarıma ulaşmışlardır (Balouji & Salor, 2017). Ghiormez ve arkadaşları, doğrusal olmayan yüksek güçlü yüklerde oluşabilecek arklara önlem olarak akım kestirimi için NARX YSA kullanmışlardır (Ghiormez, Panoiu, Panoiu, & Pop, 2017). Mejia-Barron ve arkadaşları, fazör ölçüm birimi tabanlı güç kalitesi bozukluk sınıflandırması yapmışlardır. Fazör ölçümü yapıp P süzgeci uygulandıktan sonra YSA ve kural tabanlı yazılımla sınır değerler belirlenerek bozukluk sınıflandırması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın amacı basit bir algoritma elde etmek olsa da bazı bozuklukların tespitinde (ani gerilim yükselmesi gibi) eksik kalmaktadır. Omid ve arkadaşları, bir boyutlu yerel ikili örüntü (1D LBP) kullanarak yenilikçi bir yaklaşım sunmuşlardır. Bir boyutlu yerel ikili örüntü kullanarak sabit özellikler çıkarıldıktan sonra ikinci aşamada CNN ağ yapısı kullanılarak sınıflandırma yapılmıştır (Mejia-Barron et al., 2017). Mohan ve arkadaşları, güç kalitesi bozukluklarının sınıflandırılması için özellik çıkarımı yapmadan derin öğrenme yöntemlerini kullanmışlardır. Evrişimsel sinir ağı (CNN), tekrarlayan sinir ağı (RNN), kimlik tekrarlayan sinir ağı (I-RNN), uzun kısa süreli hafıza (LSTM), kapılı tekrarlayan birimler (GRU) ve evrişimsel sinir ağı uzun süreli kısa süreli bellek (CNN-LSTM) derin öğrenme yöntemleri kullanılmış ve CNN-LSTM yüksek başarımlı sınıflandırma yapmıştır (Mohan, Soman, & Vinayakumar, 2017). Das ve arkadaşları, HHD dönüşümü, EMD ve IMF (iç kip işlevi) ile özellik çıkarımı yaptıktan sonra arızaları bulanık karar ağacı (FDT) ile sınıflandırmışlar (Das, Chakravorti, & Dash, 2017). Singh ve arkadaşları, güç kalitesi bozukluklarının sınıflandırılmasında en uygun özellik

seçimi için farklı pareto en uygun çözümler sunan dominant olmayan sınıflandırma genetik algoritması (NSGA-II) kullanmışlardır. Özellik çıkarımı için S dönüşümü kullanmış, sınıflandırmada karar ağaçlarından faydalanmış ve %99.93 başarımla elde etmişlerdir (Singh & Singh, 2017). Camarillo-Penaaranda ve arkadaşı, bozukluk işaretine Clarke dönüşümü uygulayarak $\alpha\beta$ bileşenlerini elde edip, gerilim düşmesi ve yükselmesi, harmonik, gürültü ve DA bileşeni ve faz arızaları olduğunda bileşenlerin elips gösterimlerinde faz açılarındaki görsel değişime göre arıza tespiti ve sınıflandırması yapmıştır (Camarillo-Peñaaranda & Ramos, 2017). Koley ve arkadaşları, destek vektör makinaları, YSA ve Kalman süzgecini birlikte kullanarak çözümlemişlerdir. Arıza sonrası gerilim işaretlerini kullanarak Kalman Süzgeci ile harmonik bileşenleri belirleyip bunları hata tespiti için özellik vektörü olarak kullanarak DVM ile sınıflandırmış, YSA ile modellenen hatta arıza bölgesi kestirimi gerçekleştirmişlerdir (Koley, Shukla, Ghosh, & Mohanta, 2017). Bhuiyan ve arkadaşları, S dönüşümü kullanılarak sadece 4 adet özellik çıkarımı yapıldıktan sonra Mahalanobis Mesafe (MD) tabanlı sınıflandırma yapılmıştır. MD sınıflandırma yöntemi, minimum Öklid mesafesi (MED) ve vektör kuantizasyonu öğrenmesi (LVQ) yöntemleri ile karşılaştırılmış ve önerilen yaklaşımın üstünlüğünü ortaya konmuştur (Bhuiyan, Tasneem, Begum, & Alam, 2017).

2018 yılında Uçar ve arkadaşları, basit istatistiksel özellikler ve dalgacık – entropi metodu ile veri setinin özelliklerini elde edip, gelişmiş öğrenme makinası kullanarak sınıflandırmışlardır. İleriki çalışmalarda gelişmiş öğrenme makinası parametrelerinin iyileştirmesi üzerine çalışılabileceğini söylemişlerdir (Uçar, Alçin, Dandil, & Ata, 2016).

İlgili yazınlar incelendiğinde, güç kalitesi bozukluklarının sınıflandırılması için özellik vektörlerinin elde edilmesi ve bu özellik vektörlerinin arıza tespiti için belirleyici olması gerekliliği vurgulanmış ve sınıflandırmayı doğrudan etkilediği gözlemlenmiştir. Bunun yanında sınıflandırma yöntemlerinin başarımları da her arıza tipi ve özellik vektörü için farklı sonuçlar vermiştir. Yazınlarda en çok kullanılan sınıflandırma türünün YSA olduğu ve yüksek başarımla elde edilmesine karşın ağ tasarımının deneme yanılma yöntemi ile zaman kaybına neden olduğu tespit edilmiş ve bir çözüm önerilmiştir. Bu çalışmada YSA tasarım aşamasını kolaylaştırmak için deneysel tasarım yöntemlerinden biri olan Box-Behnken cevap yüzey analiz metodu kullanılmıştır.

3. GÜÇ KALİTESİ

3.1. Güç Sistemlerinde Gerilim Kararlılığı

Elektrik şebekelerinde enerji kalitesi, gerilim ve sıklığın standartlarda belirtilen sınırlar içerisinde tutulması ve kesintisiz olmasına bağlıdır. Gerilim kararlılığı, güç sistemlerinde oluşan arızalar sonucunda sistemin arızadan önceki normal çalışma koşullarını koruyabilme yeteneği olarak tanımlanır.

Gerilim kararsızlığının (yük kararsızlığı) başlıca nedeni enerji sistemine yeterli tepkin gücün sağlanamamasıdır. İşletmenin sürekli hal koşullarında, gerilim genliği kararlılığını devam ettirebilmek ve yük açısını dengede tutmak için yeterli tepkin güc sağlanmalı, tepkin güç ihtiyacının uygun zamanda yerel olarak karşılanması gerekmektedir. Bunun için de tepkin güç kompanzasyonu planlamasının iyi yapılması, arıza durumundaki yük atma gibi müdahaleler ile iyileştirmelerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Enerji sistemindeki yük artışı gibi nedenlerle gerilim seviyesinin azalmasının ardından işletmenin müdahale etmekte geç kalması durumunda, transformatörlerde kademe değişimi, asenkron motorları, koruma röleleri manevraları kaynaklı sistemde oluşan bir arıza sonucunda, sıklık değişmişse ve üretim tüketim dengesi sağlanamamışsa gerilim kararsızlığı oluşmaktadır.

Gerilim kararlılığı sürekli hal ve geçici hal olarak sınıflandırılabilir. Sürekli hal durumunda Jakobien matrisi tekil değeri ve öz değerleri kullanılırken, geçici hal durumunda sadece yüklerin dinamikleri kullanılır.

Uygun noktalardan tepkin gücün sağlanamaması sonucunda gerilim kararsızlığı oluşur ve ardından gerilim çöküşü gerçekleşir. Uygun noktaların belirlenmesi için gerilim kararlılığı analizinde L-indisi, P-V ve Q-V eğrileri (kritik baraya ait), tekil değer ayrışımı, Jakobien matris determinantı gibi yöntemler kullanılmıştır. Jakobien matrisinin determinantı 0'a ne kadar yaklaşırsa gerilim çökme olasılığı artmaktadır, sıfıra eşit ise matrisin tersi yoktur ve tekildir. L-indisi ise 0 ve 1 aralığındadır. 0 sistemde yük olmadığı durumu, 1 ise gerilim çöküşünü ifade etmektedir (Eğridere, 2006).

Güç faktörü değeri ($\cos\phi$) bire yaklaştıkça hat sonundaki kritik gerilim ve kritik güç değeri yükselir, böylece gerilim kararlılığı sağlanmaktadır.

$$\delta_{kritik} = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(-\frac{K_2}{K_1} \right) \quad (3.1.1)$$

$$V_{kritik} = \frac{V_s}{2(a_1 \cos \delta_{kritik} + a_2 \sin \delta_{kritik})} \quad (3.1.2)$$

$$P_{kritik} = \frac{V_s^2 (2K_3 K_4 - (a_1 b_1 + a_2 b_2))}{(b_1^2 + b_2^2) \cdot 4K_4^2} \quad (3.1.3)$$

İletim hattının uzunluğu ne kadar azalırsa, yani üretim santraline yaklaşıldıkça yük sınırları da gerilim kararlılığı açısından artar. Aynı şekilde paralel hat sayısının artması da gerilim kararlılığını olumlu yönde etkilemektedir.

Gerilim kararlılığını sağlamak için, AC iletim bileşenlerinden FACTS (Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri) cihazları kullanılmaktadır (SVC, STATCOM gibi.). Güç elektroniği tabanlı FACTS cihazları, yük akışı denetiminde reaktörlere bağlı tristör, IGBT, GTO gibi elemanlar yardımı ile hızlıca bara gerilimi, faz açısı ve empedansa etki eder, gerilimi ayarlar ve sınırlandırır.

3.2. Enerji Sistemlerinde Güç Kalitesi

IEEE 1100 standardı, güç kalitesini “hassas elektronik cihazların uygun şekilde enerjilenmesi ve topraklanması fikri” olarak tanımlar. (Li et al., 2016) Bir güç kalitesi problemi ise “sıklık, gerilim düzenlemesi, gerilim düşüşü, kırpışma, geçici durum, harmonikler, güç faktörü ve 3 faz dengesizliği nedeniyle oluşan bir problem olarak tanımlanabilir (Dorf, 1997).

Günümüzde, endüstriyel sistemlerde akıllı teknolojilerin kullanımı giderek artmaktadır. Elektrik üretimi, iletimi ve dağıtımı gibi sistemlerde kullanılan gelişmiş teknolojiler, akıllı sistemlerin kullanımı için temel oluşturmaktadır. Geleneksel santrallerden akıllı şebekelere geçişler yavaş yavaş başlamaktadır. Akıllı şebekelerde, oluşabilecek arızaların takip edilmesi için izleme sistemine ihtiyaç vardır. Ayrıca sanayi ve konut kullanıcıları için elektromanyetik bozukluklar büyük ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Axelberg, Gu, & Bollen, 2007). Sonuç olarak, endüstriyel ve elektrik alanlarda güç kalitesi bozukluklarının izlenmesi şarttır. Güç kalitesini arttırmak için, bozukluklar ve kaynak tanımlanmalı ve gerekli müdahaleler yapılmalıdır. Geleneksel güç analizörlerinin çoğu, bozukluklar için yeterli zaman bilgisi sağlamamaktadır (K. Thirumala, Umarikar, & Jain, 2016).

Güç kalitesi monitörleri olası bir olumsuz etkinin azaltılması için güç sisteminde farklı noktalara kurulur. Güç sistem izleme araçları, akım ve gerilim işaretlerini sürekli olarak sayısallaştırır ve akım ve gerilim, etkin, tepkin ve görünür güç ve harmonik bozulmaların etkin değerlerini değerlendirir.

Güç kalitesi izleme, ölçülen elektriksel işaret verilerinin toplanması, analiz edilmesi ve yorumlanması sürecidir. Veri toplama süreci, belirli bir süre boyunca gerilim ve akımın sürekli ölçümü ile gerçekleştirilir. Analiz ve yorumlama süreci elle yapılır. İşaret işleme ve yapay zekâ alanındaki gelişmelerle birlikte, ölçülen verileri otomatik olarak en az insan müdahalesiyle faydalı bilgiler haline dönüştürmek ve yorumlamak için akıllı sistemler tasarlamak ve uygulamak mümkündür (Lev-Ari, Stanković, & Lin, 2000).

Güç kalitesi izleme, elektrik motorlu sürücüler, kesintisiz güç kaynakları gibi doğrusal olmayan ve güç elektroniği tabanlı yüklerin kullanımının artması gibi nedenlerle önemlidir. Bu tip yükler şebeke akımında, harmonik bozulmalara ve kararsız durumlara yol açar. Güç kalitesi bozuklukları, gerilim düşmesi ve yükselmesi gibi şebeke geriliminde veya akımında anlık değişimleri, kesintileri, harmonik etkileri ve dalgalanmaları oluşturur. Güç kalitesi bozuklukları programlanabilir lojik sürücüler ve diğer güç elemanlarının istenmeyen koşullarda çalışmasına, elektrik kesintilerine ve koruyucu rölelerin arızalarına neden olur. Bu nedenle güç kalitesi bozukluklarının tespiti ve sınıflandırılması, şebekedeki arızaların belirlenmesi için önemlidir (El-Hawary, 2016) (Moravej, Abdoos, & Pazoki, 2009).

Güç kalitesi bozukluklarının; donanım arızası, kullanım ömrünün azalmasına yol açan aşırı ısınma (transformatörler, motorlar), hassas donanımların hasar görmesi (bilgisayarlar, üretim hattı denetim sistemleri), elektronik haberleşme girişimleri, sistem kayıplarının artması, elektrik faturasında artış gibi olumsuz etkileri vardır.

3.3.Güç Kalitesi Bozukluğu Standartları

Güç kalitesi bozuklukları ile ilgili standartlar IEEE ve IEC tarafından yayınlanmıştır. Çizelge 3.3.1’de gösterilen IEEE standardı 1159-2009’a göre, güç kalitesi bozuklukları 7 kategoriye ayrılır (IEEE, 2009). Geçici durum (darbesel ve salınımlı), kısa süreli dalgalanmalar (kesinti, gerilim düşmesi ve yükselmesi), uzun süreli değişimler, gerilim dengesizliği, dalga şekli bozukluğu, gerilim dalgalanmaları, güç sıklığı değişimleri (harmonik, çentik, kırpışma vb.) gibi bozuklukları içerir. Bazı

bozukluklar şebeke tarafında oluşurken, bazı bozukluklarsa yükün kendisi tarafından üretilir.

Gerilim bozuklukları analizinin amacı, sistemde oluşan bozuklukların tespiti, tanımlanması, tanınması ve sınıflandırılmasını içerir (Gupta et al., 2011).

Güç sistemindeki elektromanyetik karakteristikler IEEE standardı 1159-2009’da ayrıntılı olarak aıklanmışken, IEC standardında güç kalitesi ile ilgili olarak elektromanyetik uyumluluğa daha fazla önem verilmiştir. Buna ek olarak enerji sistemlerinin yapılarındaki değişikliklerden dolayı farklı ülkelerde farklı standartlar oluşturulmuştur (Chen et al., 2016).



Çizelge 3.3.1. IEEE 1159-2009 Standardı

Kategori	Tipik Tayf İçerik	Tipik Süre	Tipik Gerilim Büyüklüğü
1.0 Geçici Durum			
1.1 Darbesel			
1.1.1 Nanosaniye	5 ns	< 50 ns	
1.1.2 Mikrosaniye	1 µs	50 ns – 1 ms	
1.1.3 Milisaniye	0.1 ms	> 1 ms	
1.2 Salınımsal			
1.2.1 Düşük sıklık	< 5 kHz	0.3 – 350 ms	0 – 4 pu
1.2.2 Orta sıklık	5 – 500 kHz	20 µs	0 – 8 pu
1.2.3 Yüksek sıklık	0.5 – 5 MHz	5 µs	0 – 4 pu
2.0 Kısa Süreli Karekök Ortalama (rms) Değişimler			
2.1 Ani			
2.1.1 Düşme		0.5 – 30 döngü	0.1 – 0.9 pu
2.1.2 Yükselme		0.5 – 30 döngü	1.1 – 1.8 pu
2.2 Anlık			
2.2.1 Kesinti		0.5 döngü – 3 sn	<0.1 pu
2.2.2 Düşme		30 döngü – 3 sn	0.1 – 0.9 pu
2.2.3 Yükselme		30 döngü – 3 sn	1.1 – 1.4 pu
2.3 Geçici			
2.3.1 Kesinti		> 3 sn – 1 dk	<0.1 pu
2.3.2 Düşme		> 3 sn – 1 dk	0.1 – 0.9 pu
2.3.3 Yükselme		> 3 sn – 1 dk	1.1 – 1.4 pu
3.0 Uzun Süreli rms Değişimler			
3.1 Kesinti		> 1 dk	0.0 pu
3.2 Aşırı gerilim		> 1 dk	0.8 – 0.9 pu
3.3 Düşük gerilim		> 1 dk	1.1 – 1.2 pu
3.4 Mevcut aşırı yük		> 1 dk	
4.0 Dengesizlik			
4.1 Gerilim		Kararlı durum	% 0.5 - 2
4.2 Akım		Kararlı durum	% 1 - 30
5.0 Gerilim Bozukluğu			
5.1 DA bileşen		Kararlı durum	% 0 – 0.1
5.2 Harmonikler	0 – 9 kHz	Kararlı durum	% 0 – 20
5.3 Ara harmonikler	0 – 9 kHz	Kararlı durum	% 0 – 2
5.4 Çentik		Kararlı durum	
5.5 Gürültü	Geniş aralık	Kararlı durum	% 0 – 1
6.0 Gerilim Dalgalanmaları	< 25 Hz	Kesikli	% 0.1 – 7
7.0 Güç Sıklık Değişimleri		< 10 sn	

3.4.Güç Kalitesi Bozukluklarının Sınıflandırılması

Güç kalitesi bozukluklarında problemi tanımlamak için her bir sorunun belirli özelliği kullanılarak bozukluklar sınıflandırılmaktadır. Bazı kaynaklar "kararlı durum" ve "kararsız durum" ifadelerini kullanırken, bazı düzenlemeler ise (ANSI C84.1 gibi) en önemli tanımlama faktörü olarak bozuklukların süresini temel alırlar. Diğer yönergeler, güç kalitesi sorunlarını sınıflandırmak için her olayın süresi ve büyüklüğünü içeren dalga şeklini (ör. IEEE-519) veya olayın sıklık aralığını (ör. IEC) kullanır.

Örneğin, IEC 61000-2-5 sıklık aralığını kullanır ve bozuklukları üç ana kategoriye ayırır: düşük sıklık (<9 kHz), yüksek sıklık (> 9 kHz) ve elektrostatik deşarj. Düşük sıklık bozukluklarına örnek olarak harmonikler, ara harmonikler, gerilim dalgalanmaları, gerilim düşmesi, DA bileşen bozuklukları sayılabilirken, geçici durumlar ise yüksek sıklık bozukluklarına örnektir.

3.4.1. Geçici Durum

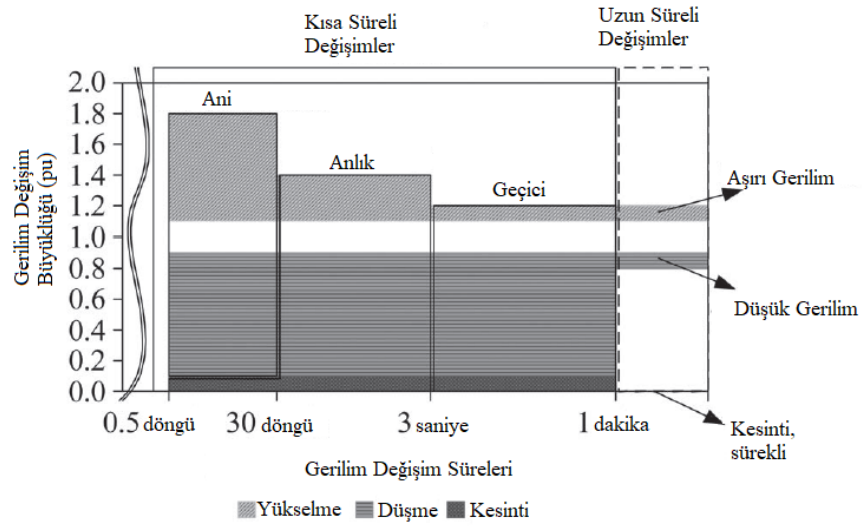
Güç sisteminde hızlı ve kısa süreli olaylar geçici durum bozukluklarına neden olur. Geçici durumların özellikleri ve dalga şekilleri, üretim mekanizmasına ve ilgili noktadaki ağ parametrelerine (örneğin direnç, bobin ve sığaç) bağlıdır. Geçici durumlar; genlik, zaman, gerilimin tepe zamanı, enerji iletim sığası, genlik tayf yoğunluğu ve oluşma sıklığı gibi birçok karakteristik bileşen ile sınıflandırılabilir. Geçici durumlar genellikle iki kategoriye ayrılır; darbesel ve salınımlı.

Darbesel geçici durum, kararlı durumdaki gerilim, akım veya her ikisinin tek kutup değerini içeren ani bir sıklık değişimidir, sistem sıklığını değiştirebilir. Darbesel geçici durumların en yaygın nedeni yıldırım darbe gerilimidir.

Salınımlı geçici durum, kararlı durumdaki gerilim, akım veya her ikisinde hem pozitif hem de negatif kutup bileşen değerlerini içeren ani sıklık değişimidir. Salınımlı geçişler; anahtarlama, sığaç grubunun anahtarlama, hızlı etkili aşırı akım koruma cihazları ve ferrezonans gibi güç sistemlerindeki farklı nedenlerle ortaya çıkar. Düşük (< 300 Hz), orta (5 - 500kHz) ve yüksek (>500 kHz) sıklıklı olmak üzere 3'e ayrılır. Örneğin sığaç anahatarlaması sırasında orta sıklıklı tayf oluşurken, transformatörün devreye alınması sırasında düşük sıklık salınımı oluşmaktadır.

3.4.2. Kısa Süreli Gerilim Değişimleri

IEC standardına göre gerilim düşüşleri ve kısa kesintiler, kısa süreli gerilim değişimleri sınıfında kabul edilmiştir. Şekil 3.4.2.1’de gerilim değişim büyüklüğüne karşılık gerilim değişim süreleri gösterilen IEEE-1159 standardına göre, üç farklı kısa süreli olay vardır: ani, anlık ve geçici. Her kategori kesinti, düşme ve yükselme olarak ayrılmıştır. Kısa süreli gerilim değişimlerinin temel nedenleri, arıza koşulları, büyük yüklerin enerjilenmesi ve bağlantının kopmasıdır.



Şekil 3.4.2.1. IEEE 1159-2009 Standardı - Gerilim Değişim Sınırları Grafiği

3.4.2.1.Kesinti

Kaynak gerilimi (veya yük akımı) 1 dakikadan daha az bir süre için 0.1 pu'den aşağıya düştüğünde kesinti meydana gelir. Ekipman arızaları, iklimsel olaylar, denetim sisteminin bozukluğu ve yanmış sigorta veya kesicinin açık olması gibi nedenler kesintiye sebep olmaktadır. Kesinti genellikle süre ile ifade edilir, örneğin, EN-50160 Avrupa Standardına göre kısa bir kesinti 3 dakikaya kadardır, uzun bir kesinti ise 3 dakikadan uzundur. Bununla birlikte, IEEE-1250 standardına göre ani bir kesinti 0.5 ila 30 döngü arası, anlık bir kesinti 30 döngü ile 2 saniye arasında, geçici bir kesinti 2 saniye ile 2 dakika arasında, sürekli bir kesinti ise 2 dakikadan daha uzun olarak kabul edilmektedir.

3.4.2.2.Gerilim Düşmesi

Güç sisteminde gerilimin 0.1 ve 0.9 pu arasında kısa süreli düşüşleridir. Gerilim düşüşü süresi için net bir tanım yoktur, ancak genellikle 0.5 döngü ile 1 dakika arasındadır. Güç kalitesi bozukluklarında en yaygın görülen tiptir. Gerilim düşmeleri genellikle ağır yüklerin (örneğin ark fırını) enerjilendirilmesinden, büyük endüksiyon motorlarının başlamasından, faz toprak arızalarından ve bir güç kaynağından diğerine yük aktarımından dolayı kaynaklanır. Faz-toprak, faz-faz, faz-faz-toprak ve faz-faz-faz-toprak kısa devre arızalarında da gerilim düşümü görülmektedir. Her bir vakanın gerilim düşümü kendine has bir karakter (büyüklük ve süre) ile gerçekleşir. Örneğin, bir cihaz % 25'lik gerilim düşüşüne duyarlıysa, indüksiyon motorunun çalışmasından etkilenecektir. Düşük gerilimli cihazların arızalarının ana nedeni gerilim düşüşleridir. Kesintisiz güç kaynağı (UPS) veya güç koşullandırıcıları gerilim düşüşlerini önlemek için kullanılır.

3.4.2.3.Gerilim Yükselmesi

Gerilim büyüklüğünün 1.1 ila 1.8 pu arasında artmasına denir. Gerilimin etkin değerinin yükselme aralığı süresi 0.5 döngüden 1 dakikaya kadardır. Gerilim yükselmesi, gerilim düşmesi kadar yaygın değildir. Başlıca nedenleri büyük bir yükün kapanması, bir sığaç grubunun enerjilenmesi veya tek bir hattaki toprak arızası sırasında, arızasız fazların gerilim artışına neden olmasıdır. Gerilim düşmesinde olduğu gibi, UPS veya güç koşullandırıcıları yükselmenin etkisini sınırlamak için genel çözümlerdir.

3.4.3. Uzun Süreli Gerilim Değişimleri

Standartlara göre (ör. IEEE-1159, ANSI-C84.1), gerilimin etkin değerinin anma değerden 1 dakikadan daha uzun bir süre için sapması uzun süreli gerilim değişimi olarak adlandırılır. Uzun süreli gerilim değişimlerinin ana nedenleri yük değişimleri ve sistem anahtarlama operasyonlarıdır. IEEE-1159 bu olayları üç kategoriye ayırır: sürekli kesinti, düşük gerilim ve aşırı gerilim.

3.4.3.1.Sürekli Kesinti

Sürekli (veya uzun) kesinti, gerilimin sıfıra düştüğü ve otomatik olarak geri dönmediği en şiddetli ve en eski güç kalitesi olaydır. IEC standardına göre sürekli kesinti süresi 3 dakikadan fazladır; ancak IEEE standardında kesinti süresi 1 dakikadan fazladır. Sürekli kesintilerin en önemli nedenleri, yedek sistem kullanılmayan güç sistemlerinin bir bölümünde arıza oluşumu, koruyucu rölenin yanlış müdahalesi, yedeği olmayan düşük gerilimli bir ağ yapısında planlı kesinti sayılabilir.

3.4.3.2.Düşük gerilim

Düşük gerilim koşulu, etkin gerilimin 1 dakikadan fazla süreyle 0.8-0.9 pu'e düştüğünde ortaya çıkar.

3.4.3.3.Aşırı gerilim

Aşırı gerilim, 1 dakikadan fazla bir süre boyunca etkin geriliminde 1.1-1.2 pu artış olarak tanımlanır. Üç tip aşırı gerilim vardır: yalıtım arızası, ferreazonans, alternatör düzenleyicili arızalar, kademe değiştirici transformatör veya aşırı kompanzasyon ile oluşan geçici güç sıklığı aşırı gerilimleri, yıldırım aşırı gerilimleri ve şebeke yapısında koruyucu cihazların açılması veya sığaç devrelerinin açılması gibi hızlı modifikasyonlarla üretilen anartarlama aşırı gerilimleridir.

3.4.4. Gerilim Dengesizliği

Üç fazlı bir sistemin gerilimlerinin büyüklükleri farklı ve/veya aralarındaki faz farkı tam olarak 120 derece değilse, gerilim dengesizliği oluşur. Bu gerilim dengesizliğini hesaplamanın iki yolu vardır: gerilimlerin ortalamalarını ortalamadan en büyük sapmaya bölmek veya ters (veya sıfır) dizi bileşeninin doğru dizi bileşenine oranını (Fortescue Bileşeni) hesaplamaktır. Güç sistemlerinde gerilim dengesizliğinin nedenleri: üç fazlı sistemde dengesiz tek fazlı yük, havai iletim hatlarının çaprazlanmaması, üç fazlı bir sığaç grubunun bir fazında sigortanın çalışması, tek fazlı koşullardan kaynaklanan gerilim dengesizliği (ör., >% 5). Gerilim dengesizliği etkilerinin başında asenkron motorların aşırı ısınması gelir.

3.4.5. Dalga Şeklinin Bozulması

Güç sistemleri sıklığının, bozukluk olmadığı durumlarda sinüs dalga şeklinde olması beklenir. DA bileşen, harmonikler, ara harmonikler, çentikler ve elektriksel gürültü dalga şekli bozuklukları olarak sıralanabilir. Sinüzoidal olmayan dalga biçimini çözümlmek için genellikle bir Fourier serisi kullanılır (Dugan, McGranaghan, Santoso, & Beaty, 2004).

3.4.5.1. DA Bileşen

Bir alternatif akım sisteminde bir doğru akım ve/ veya gerilim bileşeninin varlığıdır. Diğer bir ifadeyle alternatif gerilimin, pozitif yarım dalga ve negatif yarım dalga alanlarının birbirine eşit olmamasıdır. Doğrultucular ve diğer elektronik anahtarlama cihazları, geomanyetik olarak indüklenen akımlara neden olan geomanyetik bozukluklar DA bileşeninin sebepleridir. DA bileşeninin zararlı etkileri arasında transformatör çekirdeğinde yarı çevrim doygunluğu, tek harmoniklere ek olarak çift harmoniklerin üretilmesi, transformatörlerin, dönen makinelerin ve elektromanyetik cihazların kullanım ömrünün azalmasına neden olan ısınma, topraklama elektrotlarının ve diğer bağlantıların elektrolitik aşınması sayılabilir.

3.4.5.2. Harmonikler

Harmonikler, güç sistemi temel sıklığının (genellikle $f = 50$ veya 60 Hz) tamsayı katları olan sıklıklı sinüzoidal gerilimler veya akımlardır. Örneğin, n . harmoniğinin sıklığı $n.f$ Hz'dir. Dönemsel sinüzoidal olmayan dalga biçimlerine Fourier serisi uygulanır ve temel bileşen ve harmoniklerin toplamı olarak ayrıştırılabilir (Nalini & Selvi, 2016).

Güç sistemlerinde harmoniklerin ana sebepleri;

- Transformatörlerin demir çekirdeklerindeki mıknatıslanma karakterinin doğrusal olmaması,
- Güç elektroniği gibi endüstriyel doğrusal olmayan yükler, örneğin, sürücüler, redresörler, eviriciler
- Ark ocakları (arkın kendisinin doğrusal olmayan akım ve iletkenlik değerleri içermesi), kaynak makineleri ve aydınlatma gibi elektrik arkları üreten yükler,

- SVC (Statik VAR Kompanzatör)'lerin güç elektroniği elemanları içermesi ve sinüs dalgasını belirli açılarla tetiklemesi,
- Alternatif gerilimin doğru gerilime çevrilip depolanarak, elektrik kesildiği durumlarda evirici yardımı ile alternatif gerilime çevrilerek sistemin enerjisiz kalmasını engelleyen kesintisiz güç kaynaklarındaki doğrultucu ve eviricilerin karakteristiklerinin nonsinüsoidal olması,
- Anahtarlama güç kaynaklı konut yükleri, televizyon, bilgisayarlar ve enerji tasarruflu lambalar sayılabilir.

Harmonikler; denetim cihazlarının yanlış çalışmasına, kondansatörler, transformatörler ve döner makinalarda ek kayıplara, motorlardan ve diğer cihazlardan kaynaklı ilave gürültüye, girişimlere, paralel ve seri rezonans sıklıklarına neden olurlar. Yüksek sıklıklı harmonikler yakınlarındaki telekomünikasyon sistemlerinde elektromanyetik girişime neden olabilir. Harmonikleri azaltmak ve denetim etmek için; yüksek darbeli doğrultucu uygulamaları, pasif, aktif ve melez süzgeç tasarımları kullanılmaktadır.

3.4.5.3. Ara Harmonikler

Temel sıklığın tam katı olmayan sıklık değerlerindeki harmoniklerdir. Ayrık sıklık veya geniş alan tayfı olarak görülürler. Ara harmoniklerin ana kaynakları, statik sıklık dönüştürücüler, doğrudan sıklık çeviriciler, asenkron motorları, ark cihazları ve bilgisayarlardır. Ara harmonikler kırpışmaya, düşük sıklıklı momentlere, asenkron makinelerde ek ısı artışlarına, koruyucu rölelerde arızalanmalara neden olurlar.

3.4.5.4. Çentik

Güç elektroniği devrelerine bağlı dönemsel gerilim bozukluğuna çentik denir. Güç elektroniği cihazlarının normal çalışması sırasında akım bir fazdan diğerine geçiş yaparken, çentik hat gerilimi dalga biçiminde görünür. Çentiğin olduğu dönem sırasında, iki geçiş fazı arasında hat gerilimini azaltan anlık bir kısa devre vardır; gerilim düşüşü sadece sistem empedansı ile sınırlıdır. Çentik tekrarlıdır ve sıklık tayfı ile karakterize edilebilir. Bu tayfin sıklığı oldukça yüksektir. Genellikle harmonik analiz için kullanılan donanımla ölçmek mümkün değildir. Çentikler transformatör, generatör ve hassas ölçüm donanımlarının yalıtımına ekstra gerilim uygulayabilir.

Bazı standartlar (ör. IEEE-519) çentik derinliği ve süresi için çentik derinliği, besleme geriliminin toplam harmonik bozulumu (THDv) ve farklı besleme sistemleri için çentik alanı limitleri belirlemişlerdir.

3.4.5.5. Elektriksel Gürültü

Elektriksel gürültü, 200 kHz'den daha düşük geniş alan tayf içerikli, faz iletkenlerinde güç sistemi gerilimi veya akımı üzerine yerleşmiş veya toprak iletkenleri veya işaret hatları üzerinde bulunan, istenmeyen elektrik işaretleri olarak tanımlanır. İletim veya dağıtım sistemlerinde hatalı bağlantılar, ark fırınları, kaynak aletleri, güç elektroniği cihazları, denetim devreleri, yanlış topraklama, sıgac grubunu kapatma, ayarlanabilir hız sürücüler, korona, geniş aralıklı güç hattı iletişim devreleri kaynaklı oluşabilir.

3.4.6. Gerilim Dalgalanması ve Kırpışma

Gerilim dalgalanmaları, büyüklüğü normalde belirli gerilim aralıklarını aşmayan (ör., ANSI C84.1-1982 standardında 0.9 ile 1.1 pu arasında), gerilim zarfının döngüsel veya rastgele değişimleridir. Zamanda düzenli veya düzensiz adım gerilim değişiklikleri ve yük empedanslarındaki değişikliklerle üretilen döngüsel veya rasgele gerilim değişimleri olmak üzere 2 çeşit gerilim dalgalanması mevcuttur. Gerilim dalgalanmaları sistem performansını düşürür ve elektronik donanımların iç gerilimlerinin ve akımlarının dengesizliğine neden olur. (% 10'dan daha düşük gerilim dalgalanmaları elektronik donanımı etkilemez.) Gerilim dalgalanmasının ana nedenleri darbeli güç çıkışı, ark fırınları, haddehaneler, hızlı değişen yüklü sürücüler, sürücülerin başlatılmasıdır.

3.4.6.1. Kırpışma

Yükteki sürekli ve hızlı değişimlerin neden olduğu gerilim değişiklikleri kırpışma olarak tanımlanmıştır. Kırpışma terimi, gerilim dalgalanmasının lambalar üzerindeki etkisinin insan gözü tarafından kırpışma olarak algılanmasıdır. Elektrik iletim ve dağıtım sistemlerinde gerilim dalgalanmalarının en yaygın nedenlerinden biri olan ark ocağı tarafından kaynaklanabilir. Kırpışma için ana değerlendirme ölçütü standartlarda da belirtilen kısa dönem kırpışma şiddet faktörü eğrisidir. Bu eğri dakikadaki gerilim

değişim sayısını gösterir. Kazanç katsayısı düşük olan lambalar kırışıkmaya yatkındır (Mustafa ATASAL, 2000).

3.4.7. Güç Sıklık Değişimleri

Temel sıklıktaki belirlenen anma değerden (50 veya 60 Hz) sapma, güç sıklığı değişimleri olarak tanımlanır. Güç sistemi sıklığı (f), senkron generatörlerin kutup sayısı (P) ve dönme hızı (Ns) ile doğrudan ilişkilidir. ($N_s = 120 * f / P$). Güç sıklığı değişikliklerine, iletim sistemindeki arızalar, büyük bir yükün bağlantısının kesilmesi veya büyük bir üretim kaynağının devre dışı kalması neden olabilir.

3.4.8. Elektromanyetik Girişim (EMI)

Sıklığı 10 kHz ile 1 GHz olan küçük enerjili bozucu bir dalgadır. Nedenleri; anahtarlama güç kaynakları, motor denetim devreleri, telsiz yayınları ve güç hatları üzerinden yapılan haberleşmedir.

4. MATERYAL VE METOT

Güç kalite bozuklukları birçok işletme ve endüstride maliyet kazanımı ve müşteri tarafına kaliteli, güvenilir hizmet sunma açısından önem arz etmektedir. Güç kalitesi bozuklukları IEC, IEEE, ANSI gibi standartlarla tanımlanmış ve sınırları belirtilmiştir. Akım ve gerilim işaretlerindeki bozuklukların görüntülenmesini açıklayan IEEE 1159 standardı akademik çalışmalarda sıkça kullanılmaktadır. IEEE 1159-2009 standardına göre güç kalitesi bozuklukları salınım, kısa süreli değişimler (kesinti, düşme ve yükselme), güç sıklığı değişimleri ve geçici durum değişimlerini (harmonik, çentik, kırpışma vb.) içeren geniş bir aralıkta değişim göstermektedir. Güç kalitesi analizinin temel görevi çeşitli güç kalitesi bozukluklarının tespiti, tanımlanması ve sınıflandırılmasını içerir [14].

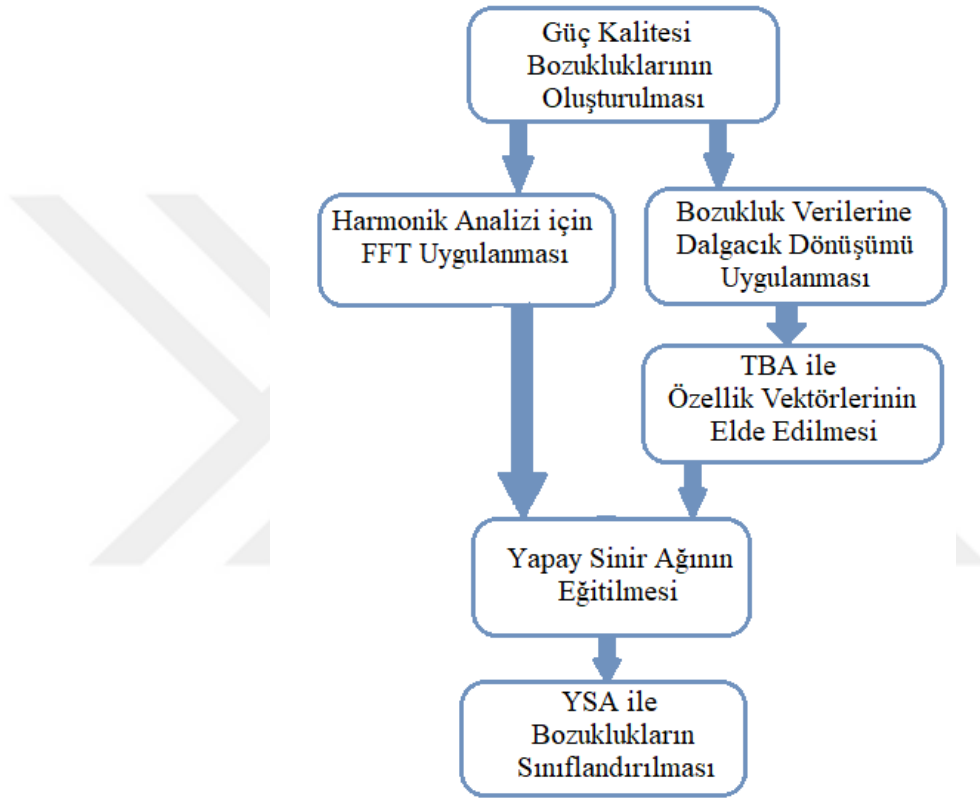
Güç elektroniği elemanlarının yaygınlaşması harmonik bozulmalara yol açmaktadır. Güç kalitesi bozuklukları bilgisayarlarda, PLC'lerde, iletişim tabanlı cihazlarda bozukluklara, veri kayıplarına, arızalara neden olmaktadır. İşletmeciler için yüksek maliyetlere neden olan bu bozuklukların tespiti ve sınıflandırmaları gerekmektedir. LabVIEW, C++ tabanlı çeşitli yazılımlar, HIOKO gibi güç kalitemetreleri, dalgacık, hızlı dalgacık dönüşümü gibi işaret işleme yöntemleri gibi birçok teknik güç kalitesi bozukluklarını tespit etmektedir. Bu tekniklerin çoğu problemin başlama ve bitiş süresi, gerilim düşme/yükselme sıklığı ve genliği gibi yararlı bilgileri içermemektedir.

Bu tez çalışmasında güç kalitesi bozukluklarının tespit edilmesi için temel bileşenler analizi, ayrık dalgacık dönüşümü ve hızlı Fourier dönüşümü birleşiminden oluşan bir algoritma ve sınıflandırmada yapay sinir ağı kullanılmıştır. Özellik vektörleri gerilim işaretleri dalgacık dönüşümü ve temel bileşenler analizi (TBA) kullanılarak elde edilmiştir. Normal durumu temsilen sinüs dalgası kullanılmış olup, bozukluk içeren işaretlere dalgacık analizi uygulandıktan sonra bu katsayılar normal işaret ile karşılaştırılarak bozukluk tespiti yapılmıştır. Elde edilen dalgacık katsayılarının 49.5 – 50.5 Hz aralığında olmalarından dolayı, gerilim düşmesi / yükselmesi durumlarında yanlış tespit yapılmaması için temel bileşenler analizi de uygulanmıştır. Karar aşamasında her işaretin zarfı alınarak yerel en büyük ve en küçük değerleri hesaplanmıştır.

YSA oluşturulurken sınıflandırma başarımının yüksek olması için YSA parametreleri önem taşımaktadır ve yapılan çalışmalarda genellikle çok fazla zaman

alan deneme yanılma ya da doğruluğu bilinmeyen giriş katman sayısına göre belirlenen nöron sayısı kullanılmış, geçiş işlevi ve algoritmanın belirlenmesi istenilen çıkışa göre ayarlanmıştır. YSA tasarım aşamasındaki zorluklar nedeniyle Box Behnken deney tasarımına ihtiyaç duyulmuştur.

Enerji sistemlerinde meydana gelen güç kalitesi bozukluklarının tespiti ve sınıflandırılması için gerçekleştirilen adımlar Şekil 3.4.8.1’ deki akış çiziminde gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Güç kalitesi bozukluklarının sınıflandırılması akış çizimi

4.1. Arıza Verilerinin Oluşturulması

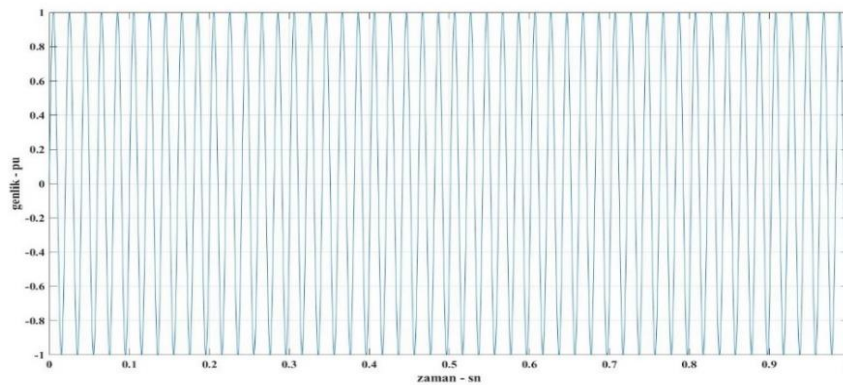
Arıza verilerinin oluşturulması için her bir arıza biçimini oluşturan Çizelge 4.1.1 ‘de gösterilen matematiksel formüller kullanılmıştır. Normal çalışma işareti, gerilim düşmesi, gerilim yükselmesi, kırpışma, harmonik, geçici durum, DA bileşen, elektromanyetik girişim, kesinti işaretleri gerçekleşme süresi, genlik, sıklık gibi gerekli parametreler yardımı ile belirli değerler arasında oluşturulmuştur.

Çizelge 4.1.1 Güç kalitesi bozukluklarının matematiksel modeli

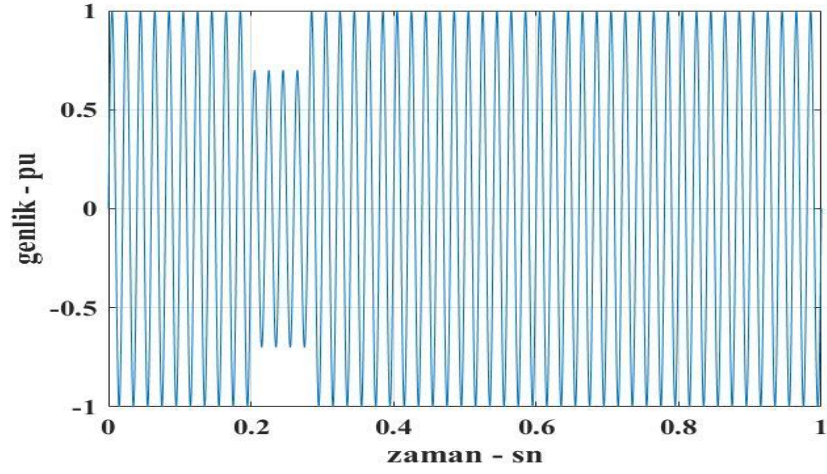
Bozukluk Tipi	Matematiksel İfade	Parametreler
Saf Sinüs Dalgası	$f(t) = A \sin(\omega t + f_i)$	$A=1, f=50 \text{ Hz}$
Gerilim Düşmesi	$f(t) = (1 - \alpha) \sin(\omega t + f_i)$	$0.1 < \alpha < 0.9$
Gerilim Yükselmesi	$f(t) = (1 + \alpha) \sin(\omega t + f_i)$	$0.1 < \alpha < 0.9$
Harmonik	$f(t) = \sin(\omega t + f_i) + \alpha_3 \sin(3\omega t + f_i) + \alpha_5 \sin(5\omega t + f_i) + \alpha_7 \sin(7\omega t + f_i)$	$0.1 < \alpha_3 < 0.9$ $0.1 < \alpha_5 < 0.9$ $0.1 < \alpha_7 < 0.9$
Kesinti	$f(t) = k_s \sin(\omega t + f_i)$	$0 < k_s < 0.1$
Kırpışma	$f(t) = \sin(\omega t + f_i) + B_v \sin(2\pi f_l t)$	$0.1 \leq B_v \leq 0.2$ $0.1 \leq f_l \leq 0.2$
DA Bileşen	$f(t) = DA \cdot e^{(-5t)} + \sin(\omega t + f_i)$	$0.1 \leq DA \leq 0.9$
Geçici Durum	$f(t) = \sin(\omega t + f_i) + 2e^{(-10t)} \sin(2\pi f_t t)$	$2000 \leq f_t \leq 8000$
Elektromanyetik Girişim	$f(t) = \sin(\omega t + f_i) + (emg) \sin(2\pi(emf)t)$	$0.1 \leq emg \leq 0.9$ $1E1 \leq emf \leq 1E9$

4.1.1. Üretilen İşaret Grafikleri

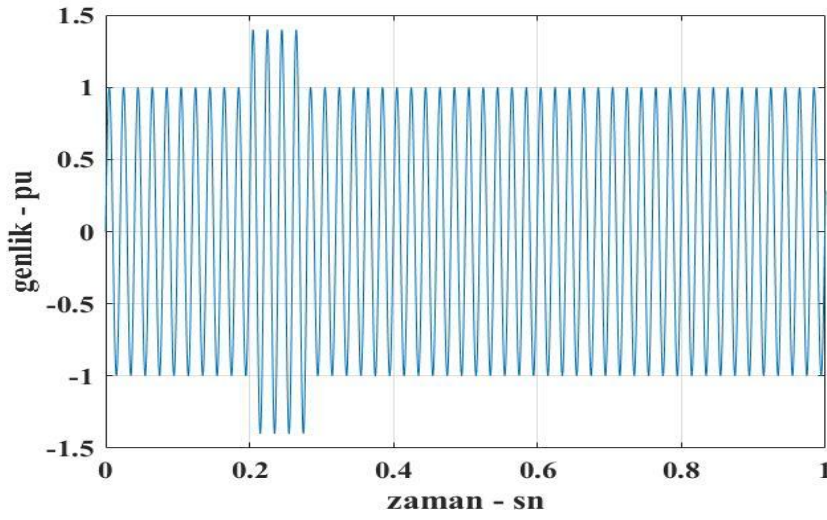
Bozukluk işaretleri Çizelge 4.1.1 deki formüller kullanılarak aşağıdaki grafiklerde görüldüğü gibi üretilmiştir.



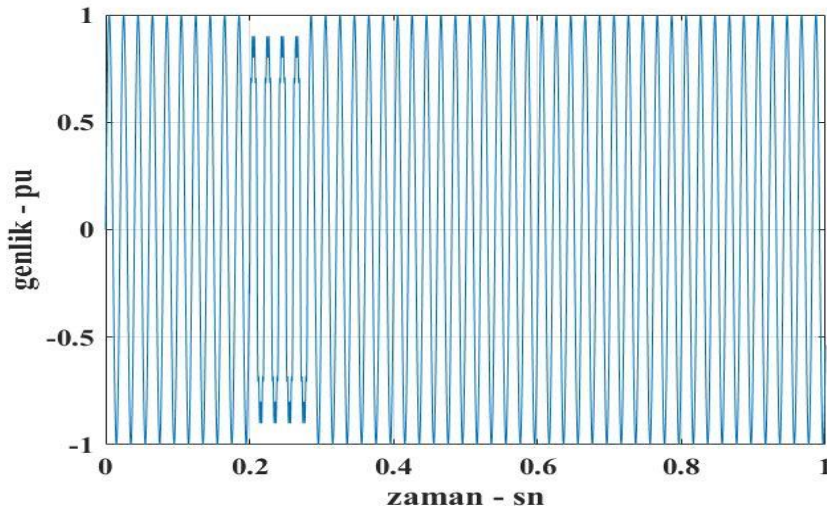
Şekil 4.1.1.1. Saf sinüs işareti ($f_s=49.83\text{Hz}$)



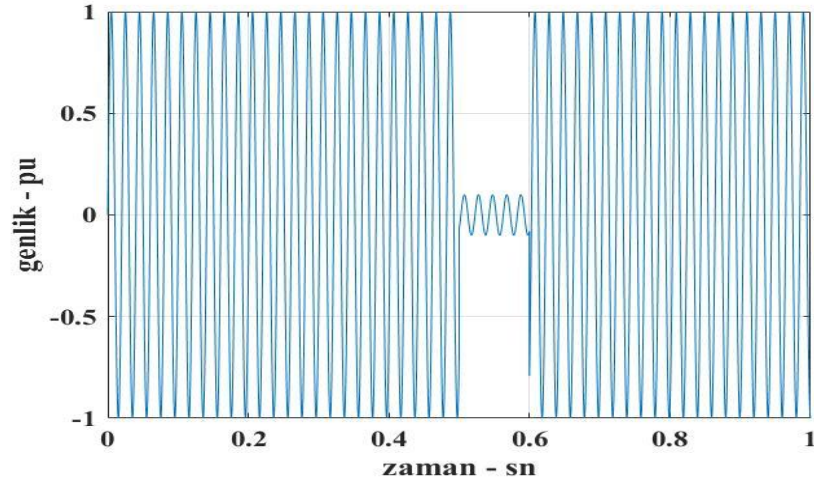
Şekil 4.1.1.2. 0.3pu genlikli gerilim düşmesi grafiği



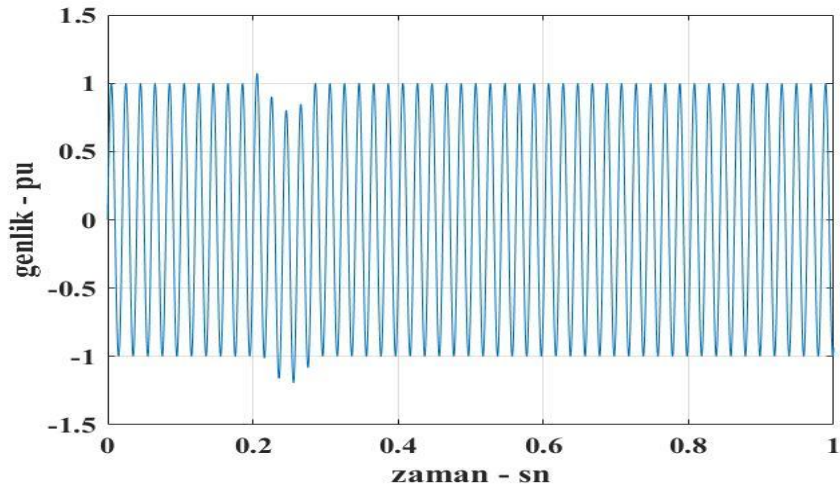
Şekil 4.1.1.3. 0.4pu genlikli gerilim yükselmesi grafiği



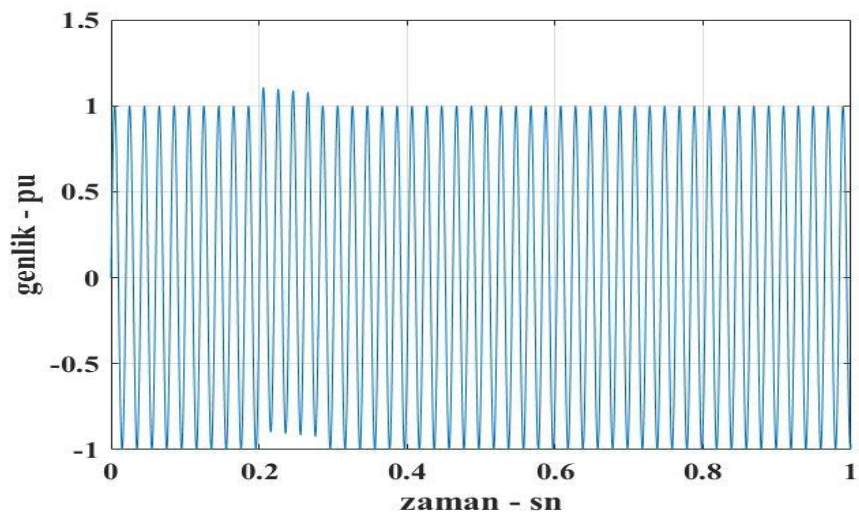
Şekil 4.1.1.4. Sırasıyla 3. 5. ve 7. harmonik genlikleri 0.2, 0.1 ve 0.1 genlikli harmonikli gerilim grafiği



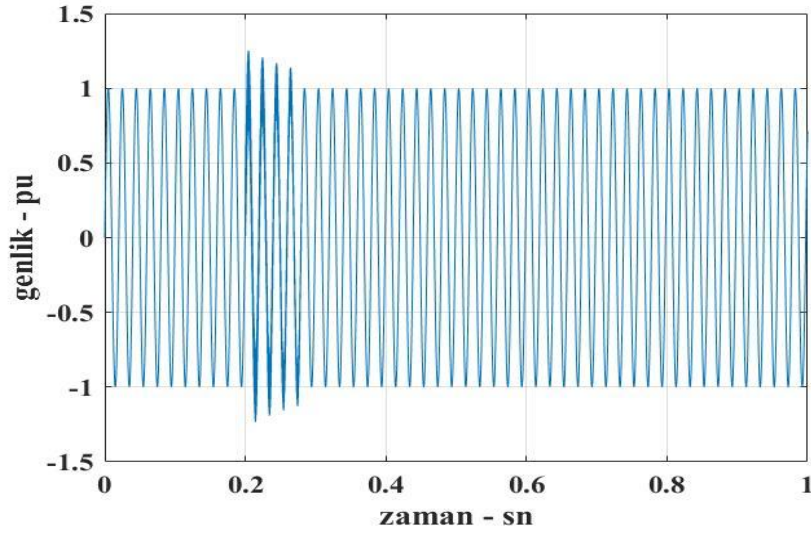
Şekil 4.1.1.5. 0.5-0.6 snleri arasında 0.1 genlikli kesinti grafiği



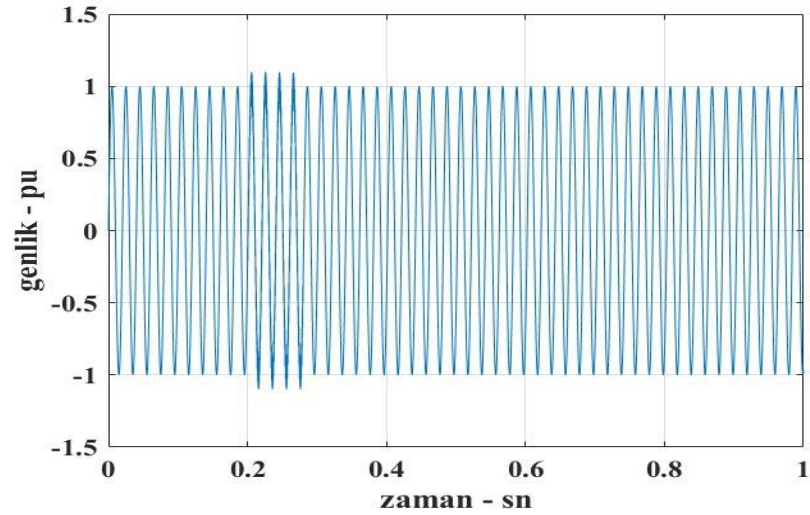
Şekil 4.1.1.6. 0.2pu genlikli kırpışma grafiği



Şekil 4.1.1.7. 0.3pu genlikli DA bileşen grafiği



Şekil 4.1.1.8. Geçici durum sıklığı $f_t=2000\text{Hz}$ olan geçici durum grafiği



Şekil 4.1.1.9. 0.1pu genlikli, $1\text{E}6\text{ Hz}$ sıklıklı elektromanyetik girişim grafiği

4.2. İşaret İşleme Yöntemleri

İşaret işleme yöntemleri, güç kalitesi bozukluklarının ayırt edilmesinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Güç kalitesi bozuklukları ‘sürekli hal bozuklukları’ (uzun süreli ve dönemselsel olarak süren) ve ‘geçici hal bozuklukları’(milisaniyeler içinde gerçekleşen) olarak iki sınıfa ayrılmıştır ve doğası gereği durağan değildir, zaman-sıklık analizi gerektirir. Güç kalitesi bozukluklarını incelemek için güç sisteminin gerilim dalga şekli, yazında kullanılan çeşitli tekniklerle farklı biçimlere dönüştürülmektedir ve incelenmesi daha kolay olmaktadır. Bu tekniklerden bazıları; hızlı Fourier dönüşümü (HFT), kısa zamanlı Fourier dönüşümü (KZFD), sürekli dalgacık dönüşümü (SDD), ayrık dalgacık dönüşümü (ADD), Stockwell dönüşümü (SD), Hilbert dönüşümü (HD),

Hilbert-Huang dönüşümü (HHD), Gabor dönüşümü (GD), Wigner dönüşümü (WD), kalman süzgeci, Z dönüşümü (ZD), ayrık ortogonal S dönüşümü (DOST) (Biswal & Dash, 2013), ampirik dalgacık dönüşümü (ADD) (Gilles, 2013), zaman sıklık dağılımı (ZFD) (Islam et al., 2016), Chirplet dönüşümü (CD), Chirp Z dönüşümü (CZD) (Sharma, Mahela, & Ola, 2017).

Fourier dönüşümü (FD), dönemsel durağan işaretleri çözümlemek için uygulamada en yaygın kullanılan işaret işleme yöntemidir. Bir işareti faklı büyüklük, faz kayması ve sıklık değerlerindeki sinüs terimlerinin toplamına ayrıştırır. Güç kalitesi bozuklukları genellikle geçici ve durağan değildir, değişen zaman ve sıklık özelliklerindedirler. Fourier dönüşümü, sadece sıklık bileşeni hakkında bilgi sağlar, fakat bu bileşenlerin zamanda yerleşim davranışına ilişkin herhangi bir bilgi sağlamamaktadır.

Kısa zamanlı Fourier Dönüşümü, Fourier dönüşümündeki mevcut sorunları çözmek için zaman sıklık çözünürlüğünün mahsurunun üstesinden gelir ve durağan olmayan işaretlerin incelenmesine olanak sağlamaktadır. KZFD sabit bir pencere genişliği kullanarak belirli bir süre üzerine odaklanır, böylece büyüklük farklılıklarını bir dereceye kadar tespit edebilir. KZFD’ de kullanılan alan geçiren süzgeç çıktıları harmoniklerin tespitinde iyi sonuç vermiştir (Gu & Bollen, 2000). Pencere işlevinin genişliğinin sabit olması iyi bir zaman sıklık çözünürlüğü sağlamamakta, işaret dinamiklerini tanımlamamaktadır. Sabit olmayan işaretin bilgisi genellikle kaybolur. Bu nedenle KZFD, hızlı değişimli geçici güç kalitesi bozuklukları işaretleri için uygun değildir. Güç kalitesi analizinde, düşük sıklık aralığı için düşük çözünürlük, yüksek sıklık aralığı için yüksek zaman çözünürlüğü gereklidir. KZFD’de sabit pencere uzunluğu sınırlaması çözünürlük sorununa yol açar (Gupta et al., 2011).

Dalgacık dönüşümü tabanlı teknikler, yüksek zaman ve sıklık zamanda yerleşim yetenekleri ve kolay uygulanması nedeniyle, güç kalitesi bozukluklarının tanısında giderek daha fazla kullanılmaktadır. DD tabanlı işaret işleme teknolojileri, çözünürlük sorununu çözmektedir. İşaretlerin düşük ve yüksek sıklıklı içeriğinin analizi, esnek pencere uzunluğu kullanıldığından DD ile mümkündür. DD, zaman-sıklık çözünürlüğü problemini, çoklu çözünürlük analizi (ÇÇA) olarak bilinen alternatif bir zaman sıklık analizi yaklaşımını kullanarak giderir. ÇÇA’da, bozukluk işareti belirli sıklıklarda farklı çözünürlüklerde analiz edilebilir. İşaret, her bileşenin ölçeğine uygun bir çözünürlükle analiz edildiği çeşitli sıklık bileşenlerine ayrıştırılır. Bozulmuş işaret,

zaman düzlemi ve sıklık düzlemi boyunca eşzamanlı olarak saptanır ve ayrıştırılır. DD'nin bu özellikleri nedeniyle, çeşitli bozuklukların doğru bir şekilde değerlendirilmesini sağladığı söylenebilir. Ayrıca, çeşitli ana dalgacık tipleri güç kalitesi bozukluklarının tanısında doğruluğu arttırmayı önermiştir.

4.2.1. Fourier Dönüşümü

1800'lerin başında Joseph Fourier, Fourier dönüşümü kavramını zamana bağlı işlevleri farklı bir biçimde temsil etmek için sıklığa bağlı sinüs ve kosinüslerin bir işlevi olarak tanımlamıştır. Böylece dönemsel işlevler, dönemsel üstel karmaşık işlevlerin sonsuz toplamı olarak yeniden ifade edilmiştir.

4.2.1.1. Sürekli Fourier Dönüşümü

Zamana bağlı sürekli bir $f(t)$ işaretinin Fourier dönüşümü sonrası, sıklık bağımlı bir işlev $f(w)$ olarak ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$f(w) = \mathfrak{F}\{f(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (4.2.1.1.1)$$

Burada $j\sqrt{-1}$ sanal sayısı, w sıklık temsili ve t zaman temsildir.

Ters Fourier dönüşümü uygulanarak, sıklığa bağlı işlev tekrar zaman bağımlı işaret olarak ifade edilebilir (Corp & Gauss, 2004).

$$f(t) = \mathfrak{F}^{-1}\{f(w)\} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(w)e^{j\omega t} dw \quad (4.2.1.1.2)$$

4.2.1.2. Ayırık Fourier Dönüşümü

Bilgisayarların hafızaları sınırlı olduğundan, sürekli zaman ve sıklık işaretleri ayırık işaretler işleyen cihazlara uygun olmamaktadır. Bunun için sınırlı uzunluk ve sınırlı örnek sayısı için tanımlanan ayırık Fourier dönüşümü kullanılır. Ayırık Fourier dönüşümü aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$f(k) = \mathfrak{F}\{f(n)\} = \sum_{n=0}^{N-1} f(n)e^{-j2\pi nk/N} \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (4.1.1.2.1)$$

Ayrık Fourier dönüşümü aşağıdaki denklem ile tekrar zaman bağımlı işaret olarak ifade edilebilir (Corp & Gauss, 2004).

$$f(n) = \mathfrak{F}^{-1}\{f(n)\} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} f(k) e^{j2\pi nk/N} \quad n = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (4.1.1.2.2)$$

4.2.2. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü

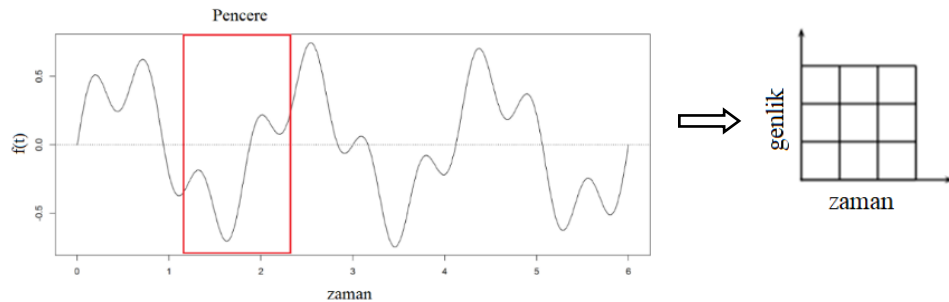
Sıklık bilgisine karşılık zaman bilgisini vermemesi nedeniyle Fourier dönüşümü yerine kısa süreli Fourier dönüşümü çözüm olarak sunulmuştur. 1946'da Denis Gabor tarafından geliştirilen KZFD'de Şekil 4.2.2.1'de görüldüğü üzere belirli bir zaman dilimi için Fourier dönüşümü uygulanır. Bu dönüşümde ise sabit pencere genişliğinden kaynaklanan zaman ve sıklık çözünürlüğü sorunu yaşanmaktadır (Naik & Kundu, 2013).

Sürekli bir zamanda KZFD, aşağıdaki denklemde ifade edilmiştir.

$$KZFD_x(w, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t - \tau) x(t) e^{-jw t} dt \quad (4.2.2.1)$$

Burada $g(t - \tau)$ pencere işlevi, t zaman ve w sıklık temsili, τ ise kaydırma parametresidir. Gauss, Hamming, Kaiser gibi farklı pencere işlevleri kullanılmaktadır.

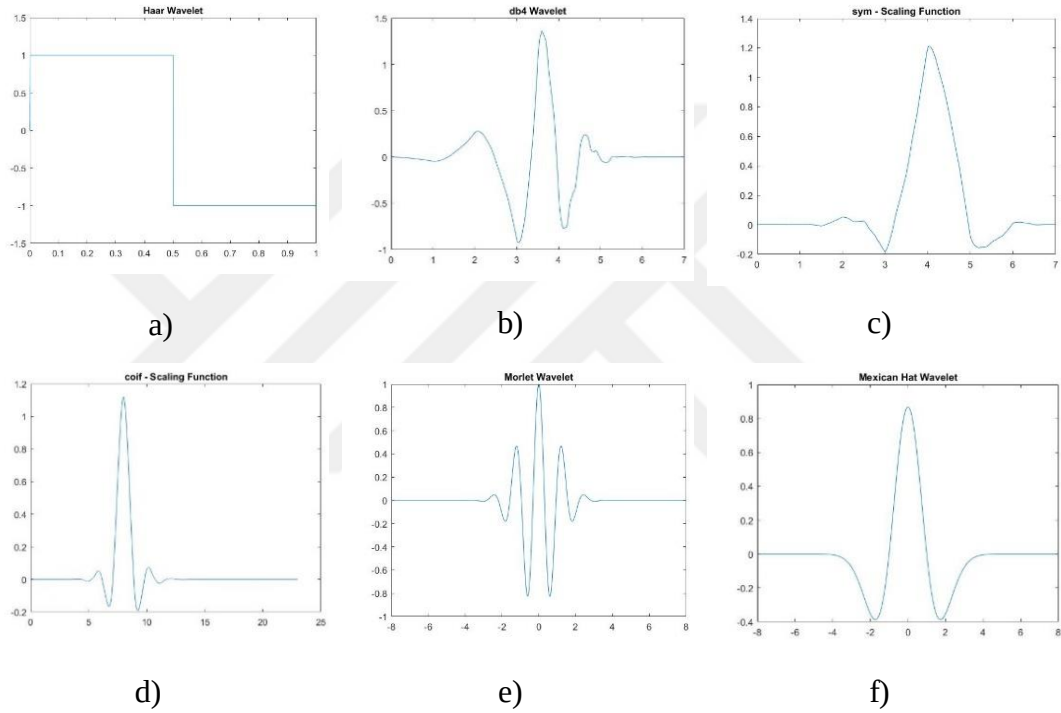
Pencere boyutu büyükse sıklık çözünürlüğü yüksek, pencere boyutu küçükse sıklık çözünürlüğü düşük olmaktadır (He, n.d.).



Şekil 4.2.2.1. Kısa zamanlı Fourier dönüşümü

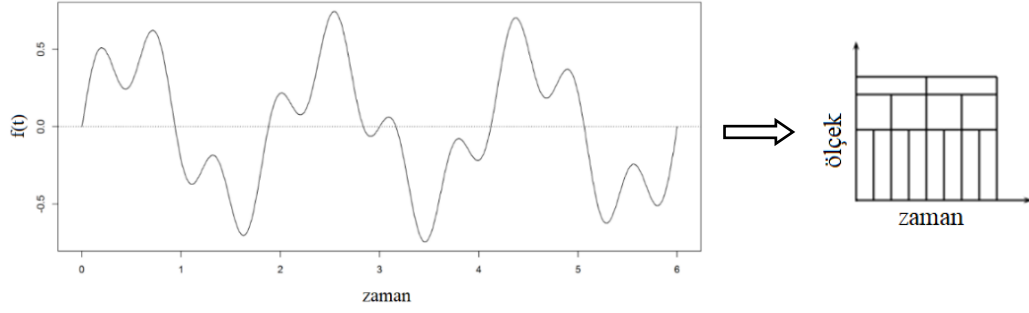
4.2.3. Dalgacık Dönüşümü

1982’de Jean Morlet, yeni bir matematiksel model olan dalgacık dönüşümü fikrini keşfetmiştir. Akustik işaret çalışmalarında ölçeklenen ve kayan pencere uygulaması kullanmıştır. Haar, Daubechies, Symlet, Coiflet, Mexican Hat gibi birçok dalgacık ailesi mevcuttur. Dalgacıklar ilk olarak Haar’ın tez çalışmasında görülmüştür. Daha sonra Mallat dalgacık ve çoklu çözünürlük analizini birleştirmiş, Meyer, Shannon, Daubechies ve daha birçok bilim insanı dalgacık ailesine değişik uygulama alanlarında katkı sağlamışlardır.



Şekil 4.2.3.1. Farklı dalgacık ailelerinin grafiksel gösterimleri a) Haar Dalgacığı b) Daubechies Dalgacığı c) Symlet Dalgacığı d) Coiflet Dalgacığı e) Morlet Dalgacığı f) Mexican Hat Dalgacığı

Temeli Fourier dönüşümüne dayanan dalgacık analizi, Şekil 4.2.3.2’de görüldüğü gibi bir işaretin ana dalgacıklarının ötelenmiş ve ölçeklenmiş olarak ayrıştırılmasıdır. Ortaya çıkan dalgacıklar, hem zaman hem de sıklıkta sınırlandırılmış olurlar. Dalgacık dönüşümü, zaman ölçekli bir ayrışma tekniğidir ve zaman sıklık aralığı analiz yönteminin bir biçimi olarak genelleştirilmiştir (Devaraj & Rathika, 2008).



Şekil 4.2.3.2. Dalgacık analizi

Dalgacıkların, dalgacık işlevi olmaları için aşağıda belirtilen şartları sağlayan gerçek işlevler olması gereklidir.

- Dalgacıkların, $\psi(x)$, integralleri sifıra eşittir.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(x) dx = 0 \quad (4.2.3.1)$$

- Dalgacıkların, $\psi(x)$, karelerinin integralleri bire eşittir.

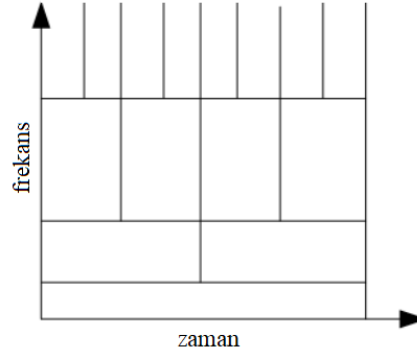
$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi^2(x) dx = 1 \quad (4.2.3.2)$$

İşaretler zaman ve sıklıkta farklı özellikler içerirler, yüksek sıklıklı bileşenlerin düşük sıklıklı bileşenlerden daha kısa bir zaman bileşeni olur. Yüksek sıklıklı bileşenler için iyi bir zaman çözünürlüğü, düşük sıklıklı bileşenler için ise iyi bir sıklık çözünürlüğü elde etmek amacıyla, Morlet ilk olarak dalgacık fikrini “ana dalgacık” adı verilen tek bir işlevi, öteleme ve ölçekleme ile oluşturulan işlev ailesi olarak tanıtmıştır (Debnath, 2002).

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0, \quad (4.2.3.3)$$

Burada a , ölçek (sıklık) parametresi, b dalgacığın zamandaki konumunu belirleyen zaman (konum) parametresidir. Eğer $|a| < 1$ ise dalgacık, ana dalgacıkların sıkıştırılmış halidir ve daha yüksek sıklıklara karşılık gelir. Öte yandan, $|a| > 1$ olduğunda; $\psi_{a,b}(t)$, $\psi(t)$ ’den daha büyük bir zaman genişliğindedirler, bu da daha

düşük sıklıklara karşılık gelir. Böylece, dalgacıkların sıklıklarına uyarlanmış zaman genişlikleri oluşur. Dalgacıkların farklı ölçeklerdeki çözünürlüğü, Heisenberg belirsizlik ilkesi temelinde zaman ve sıklık düzlemine göre değişir. Büyük ölçekli çözünürlüklerde zaman düzlemine kıyasla sıklık düzlemi daha iyidir, ölçek azaldıkça zaman düzlemindeki çözünürlük artarken sıklık düzlemindeki çözünürlük azalır (Şekil 4.2.3.3).



Şekil 4.2.3.3. Dalgacık dönüşümü zaman sıklık gösterimi

Sürekli dalgacık dönüşümü (SDD) ve ayrık dalgacık dönüşümü (ADD) dalgacık dönüşümünün uygulamalarındandır.

4.2.3.1.Sürekli Dalgacık Dönüşümü

Eğer $\psi \in L^2(\mathbb{R})$ ise, $L^2(\mathbb{R})$ 'de tanımlanan dalgacığın integral dönüşümü aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$WT_x(a, b) = a^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt = \langle x(t), \psi_{a,b}(t) \rangle \quad (4.2.3.1.1)$$

Sürekli dalgacık dönüşümü yapılacak karesi integrallenebilir bir işlev $x(t)$, ψ ana dalgacık işlevi, a ölçek parametresi ve b öteleme parametresidir.

$a^{-1/2}$ ise enerjinin korunumu ile ilgili normalizasyon katsayısıdır. $\langle x(t), \psi_{a,b}(t) \rangle$ ifadesi işareti analiz edilen işlev ile dalgacık işlevinin iç çarpımını temsil etmektedir.

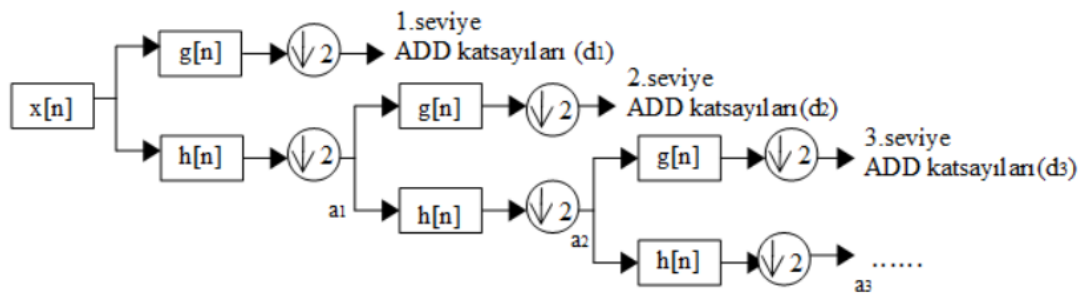
Bu dönüşümün özellikleri, çekirdek dönüşümü olarak adlandırılan $\psi_{a,b}(t)$ işlevine (Fourier dönüşümünde $e^{(-i\omega t)}$ işlevine) bağlıdır. SDD sonucunda a ve b 'ye bağımlı birçok dalgacık katsayısı elde edilir. Eğer $f(t)$ işareti ve ana dalgacık $\psi(t)$ reel sayı ise, $WT(a,b)$ 'de reeldir, diğer durumlarda $\psi(t)$ ve $WT(a,b)$ karmaşık sayıdır.

Sürekli dalgacık dönüşümünde, analizi yapılan işaretin işlevine ait genlik zaman grafiği yerine zaman sıklık kontörü elde edilmektedir. Boyutları değişen ve zamanda kayan pencere yardımı ile hangi zamana karşılık hangi sıklık büyüklüğü geldiği tespit edilmektedir (Debnath, 2002).

4.2.3.2. Ayırık Dalgacık Dönüşümü ve Çoklu Çözünürlük Analizi

Sonsuz sayıda girişe ihtiyaç duyan sürekli dalgacık dönüşümü, bilgisayarlar için uygun olmadığından, ayırık dalgacık dönüşümü kullanılır. Bunun için ölçek ve öteleme değerleri ikinin kuvveti olacak biçimde seçilir. Ayırık dalgacık dönüşümünde çoklu çözünürlük analizi kullanılarak iterasyon yöntemi ile alçak ve yüksek geçiren süzgeçler sırasıyla uygulanmaktadır.

Mallat (Mallat 1989) tarafından sunulan çoklu çözünürlük analizi, işareti farklı zaman ve sıklık çözünürlüklerine ayırıştırır. ÇÇA'da bir işaret $f(t)$, ayrıntılı olarak hem yüksek sıklıklı bileşenlerine hem de alçak sıklıklı bileşenlerine ayırıştırılır. Süzgeç katsayısı $h(n)$ olan yüksek geçiren süzgeç olarak kullanılan dalgacık işlevi, bozuk işaretin özelliklerini ayrıntı olarak incelerken, süzgeç katsayısı $g(n)$ olan alçak geçiren süzgeç işlevi, bozuk işaretin özelliklerini yaklaşık olarak oluşturur. Bu nedenle, ÇÇA kullanılarak yüksek sıklıklı geçişler, sabit olmayan ve dönemsel olmayan geniş aralık işaretleri gibi düşük sıklıklı bileşenlerin varlığında kolaylıkla analiz edilebilir. ÇÇA, Şekil 4.2.3.2.1 'de gösterildiği gibi bir dizi ardışık süzgeç tarafından uygulanabilir (Dehghani, Khooban, & Niknam, 2016).



Şekil 4.2.3.2.1. Çoklu Çözünürlük Analizi ile ADD Hesaplama

4.2.4. Dalgacık Dönüşümünün Bozukluk Verilerine Uygulanması

Dalgacık dönüşümü, değişen pencere boyutunun (düşük sıklıklar için geniş, yüksek sıklıklar için dar) olmasıyla tüm sıklık aralıklarında uygun zaman sıklık çözünürlüğü sağlamaktadır. Bu çalışmada dalgacık dönüşümü, veri penceresindeki gerilim örneklerinden ayırt edici özelliklerin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. İşaretin dalgacık dönüşümünün yapılması için işaret bir dizi süzgeçten geçirilir. İlk olarak, giriş işareti (normalize edilmiş gerilim işareti), alçak geçiren süzgecin g dürtü cevabı ile evrişimiyle alçak geçiren süzgeçten geçirilir. İşaret aynı zamanda dürtü cevabı h olan bir yüksek geçiren süzgeç kullanılarak aynı anda ayrıştırılır. Alçak geçiren süzgeç çıktıları yaklaşım, yüksek geçiren süzgeç çıktıları detay katsayılarıdır. 2 katsayısı ile indirgeme yapılarak en uygun koşul oluşturulmuştur.

$$y[n] = (x * g)[n] = \sum_{k=1}^n x[k]g[n-k] \quad (4.2.4.1)$$

$$y_{yüksek}[n] = \sum_{k=1}^n x[k]h[2n+1-k] \quad (4.2.4.2)$$

$$y_{alçak}[n] = \sum_{k=1}^n x[k]g[2n-k] \quad (4.2.4.3)$$

Dalgacık işlevinin seçimi için en kısa tanım uzunluğu (MDL) kıstası kullanılmıştır. En uygun çözünürlüğü bulmak için ise Shannon entropisinden yararlanılmıştır. Buna göre, her bir alt uzayın entropisi, dalgacığın her bir çözünürlük seviyesinde yaklaşım (a) ve detay (d) katsayıları hesaplanmaktadır. Shannon entropisi, yeni bir seviyedeki bir işaretin entropisinin bir önceki seviyeden daha yüksek olması durumunda işaretin ayrışmasının gerekli olmadığını belirtir. Bu çalışmada, ayrıştırma seviyesi 9 olarak alınmış, dalgacık ailesi olarak da Daubechies (db8) kullanılmıştır.

İşaretin harmonik bileşenleri çok iyi bir şekilde sınırlandırılmışsa, Heisenberg belirsizlik ilkesi nedeniyle dalgacık katsayılarının yorumlanması zordur. Dalgacık dönüşümünde zaman ve sıklık zamanda yerleşiminde sınırlama olduğundan detay katsayılarının enerji seviyeleri kullanılır. Bu seviyeler Eşitlik 4.2.4.4 ile hesaplanır.

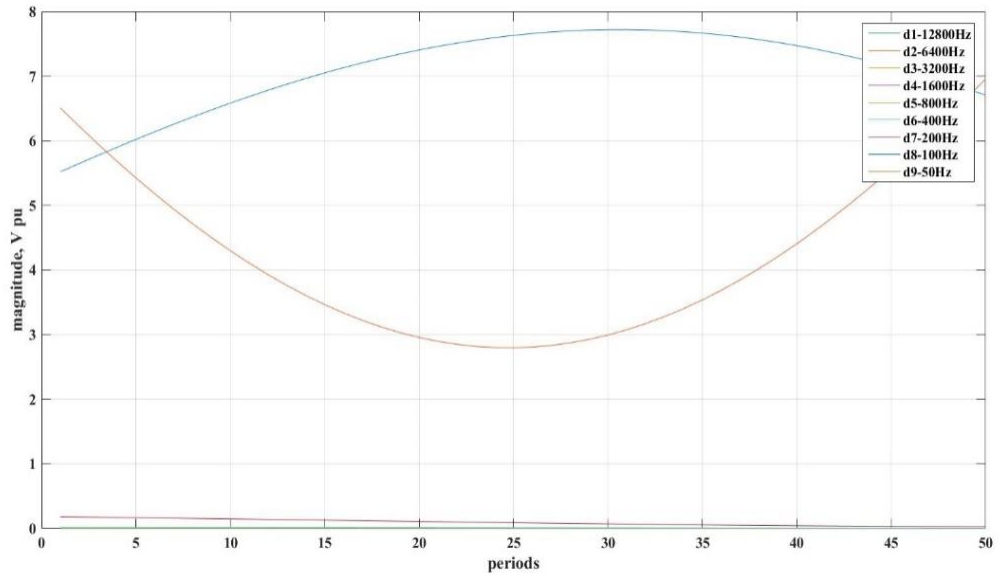
$$d_{1-9Enerji} = \sum_{k=1}^{N/2} d_{1-9}^2 \quad (4.2.4.4)$$

Burada N veri penceresindeki toplam örnek sayısı, d her seviye için detay katsayısıdır. Normalleştirme işlemi ile denklem yeniden düzenlenirse aşağıdaki gibi yazılabilir. Denklemde f_s , örnekleme sıklığıdır.

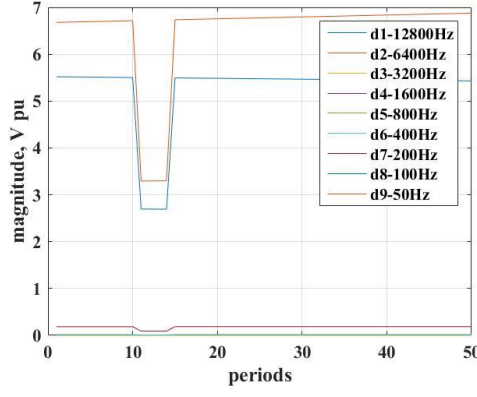
$$d_{1-9 \text{ norm}} = \frac{f_s}{10^6} d_{1-9 \text{ Enerji}} \quad (4.2.4.5)$$

İşaretin sinüs dalga biçiminde olup sistem sıklığının 50 Hz'den farklı olduğu durumlarda dalgacık dönüşümünün detay katsayılarının enerjileri zamanla değişim gösterir. Bu değişimin, gerilim düşmesi ve yükselmesi durumları ile benzer olması nedeniyle güç kalitesi bozukluklarının ayırımına uygun olmamaktadır. Detay katsayılarının etkili kullanımı için temel bileşenler analizinden yararlanılmıştır.

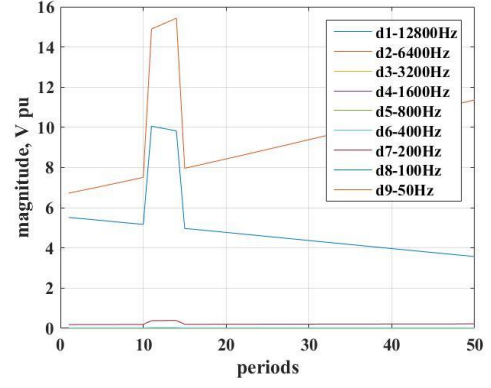
Ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmış güç kalitesi bozukluk grafikleri Şekil 4.2.4.1, Şekil 4.2.4.2, Şekil 4.2.4.3, Şekil 4.2.4.4, Şekil 4.2.4.5, Şekil 4.2.4.6, Şekil 4.2.4.7, Şekil 4.2.4.8 ve Şekil 4.2.4.9'da gösterilmiştir.



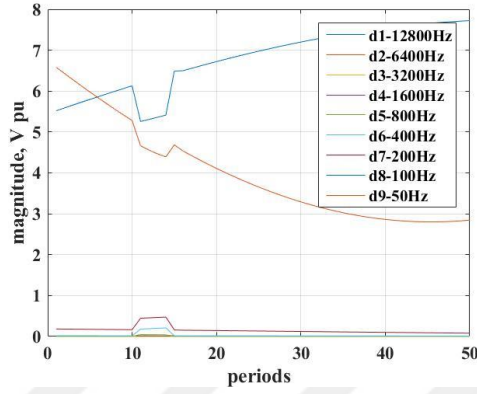
Şekil 4.2.4.1. Saf Sinüs Dalgası ADD grafiği



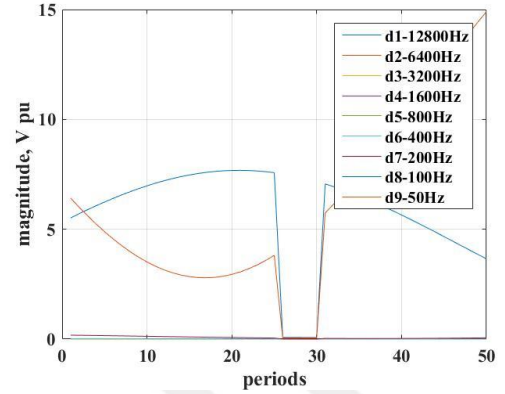
Şekil 4.2.4.2. Gerilim düşmesi ADD grafiği



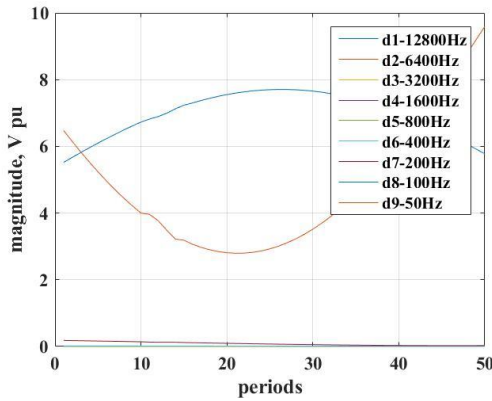
Şekil 4.2.4.3. Gerilim yükselmesi ADD grafiği



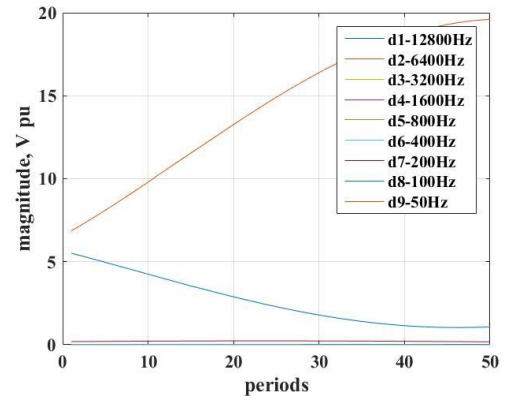
Şekil 4.2.4.4. Harmonikli gerilim ADD grafiği



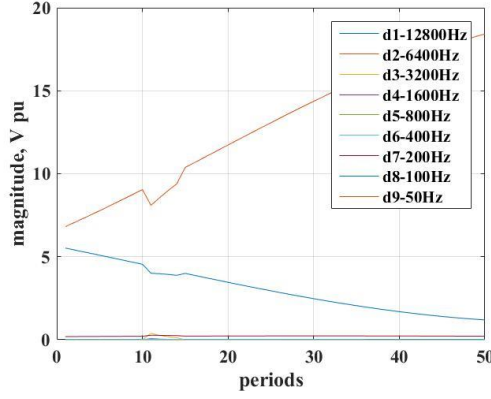
Şekil 4.2.4.5. Kesinti ADD grafiği



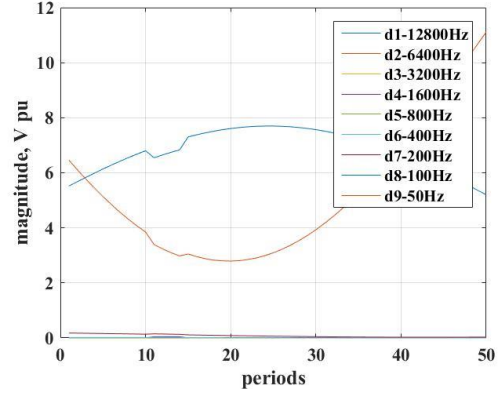
Şekil 4.2.4.6. Kırpışma ADD grafiği



Şekil 4.2.4.7. DA bileşen ADD grafiği



Şekil 4.2.4.8. Geçici durum ADD grafiği



Şekil 4.2.4.9. Elektromanyetik girişim ADD grafiği

4.3. Temel Bileşenler Analizi

Temel bileşenler analizi (TBA), doğrusal cebir uygulamalarından biridir. Karmaşık veri kümelerinden, gerekli bilgileri elde eden basit bir yöntem olması dolayısıyla görüntü işleme, örüntü tanıma, veri indirgeme gibi birçok analizde sıkça kullanılan bir tekniktir. TBA, karmaşık bir veri setine dönüşümler uygulayarak daha düşük bir boyuta indirger ve yorumlanmasını sağlayarak basitleştirilmiş yapıyı ortaya çıkartır. Amaç çok değişkenli problemlerde çözüme ulaşmak için doğru koordinat sistemini belirlemek, boyut indirgeyerek daha az değişken ile daha kolay ve anlamlı hale getirmektir. Yani bir problemde p adet değişken varsa bunu daha az sayıda k adet değişken ile ifade ederek, p boyutlu uzaydan k boyutlu uzaya ($k < p$) boyut indirgemek amaçlanır. Eğer değişkenler birbirine tam bağımlıysa ya da birbirlerinden tam bağımsızlarsa tüm eksenlerde eşit varyans olduğundan boyut indirgemenin bir faydası yoktur. Temel bileşenler analizinin amacı, gürültülü bir veri setini yeniden ifade etmek için en anlamlı veriyi hesaplamaktır (Vidal, Ma, & Sastry, 2016).

Her bir satırı, bir örneği temsil eden orijinal veri seti X ($m \times n$ boyutlu) ile doğrusal dönüşüm P , elde edilen matris ise Y ($m \times n$ boyutlu) ile gösterilirse; Y nin yeniden ifade edilmiş şekli aşağıdaki gibi gösterilir.

$$PX = Y \quad (4.3.1)$$

P 'nin sütunları p_i , X 'in satırları x_i ve Y 'nin satırları y_i ile temsil edilsin. Buna göre;

- P, X'i Y'ye dönüştüren bir matristir.
- Geometrik olarak P, döndürme ve germe uygulayarak X'i Y'ye dönüştürür.
- P satırları $\{p_1, \dots, p_m\}$, X sütunlarını $\{x_1, \dots, x_n\}$, ifade etmek için yeni vektörler kümesidir.

$$PX = \begin{bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_m \end{bmatrix} [x_1 \quad \dots \quad x_n] \quad (4.3.2)$$

$$Y = \begin{bmatrix} p_1 x_1 & \dots & p_1 x_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_m x_1 & \dots & p_m x_n \end{bmatrix} \quad (4.3.3)$$

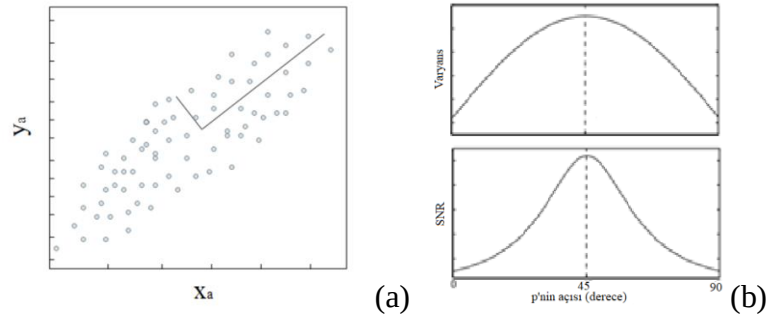
$$y_i = \begin{bmatrix} p_1 x_i \\ \vdots \\ p_m x_i \end{bmatrix} \quad (4.3.4)$$

Bu dönüşümde satır vektörleri $\{p_1, \dots, p_m\}$, X in temel bileşenleri olacaktır. X'i yeniden ifade etmek ve doğrusal dönüşüm P için en iyi seçenek belirlenmelidir (Shlens, 2014).

Herhangi bir veri setinde, gürültünün hiç olmaması ya da çok düşük olması istenir. Gürültü, işaret gürültü oranı (SNR) ile ya da varyanslarının oranı ile ifade edilir.

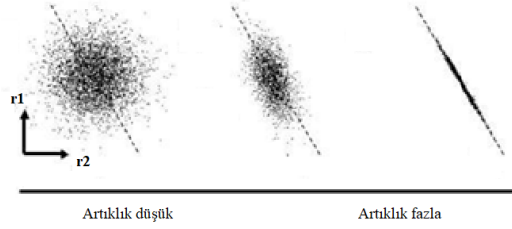
$$SNR = \frac{\sigma_{sin\text{yal}}^2}{\sigma_{gürültü}^2} \quad (4.3.5)$$

SNR nin yüksek olması yüksek hassasiyetli veriyi gösterirken, düşük SNR veride gürültü olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.3.1. a) Veri Dağılımı b) Varyans ve SNR grafikleri

Yukarıdaki Şekil 4.3.1’de en büyük varyanslı bölge eksen boyunca noktaların yoğunlukta olduğu yerlerdir. Dolayısıyla ilgilenilen alan, en büyük varyans ve muhtemel en yüksek SNR’li yönler boyunca mevcuttur.



Şekil 4.3.2. Artıklık ilişkisi

İki veri arasındaki ilgileşim ilişkisi belirlenirken iki boyut için tek bir doğru üzerinde toplanan veri noktaları ne kadar fazlaysa veriler arası ilişki o kadar yüksektir denilir. Noktalar birbirinden uzaklaşıp dağınık bir görüntü oluşturduğunda ikili arasındaki ilişkide anlamsızlaşır. İlgileşimi yüksek verilerden birinin kaydedilmesi ile diğer veri hesaplanabilir. Böylece sadece bir veri kaydedilerek veri kayıtları sayısı azaltılır, boyutsal küçülme gerçekleşir.

4.3.1. Kovaryans Matrisi

İki değişkenli bir durum için, değişkenlerin en uygun çizgi eğimi bulunarak ve dağılıma bakılarak değişkenler arası ilişkinin tanımlanması kolaydır. Daha yüksek boyutlarda bu yeterli olmamaktadır.

Veri setleri arasındaki ilişkilerin yorumlanması için standart sapma ve varyans istatistiksel yöntemleri kullanılmaktadır. Standart sapma, verilerin dağılımına ait bilgi verir. Varyans, standart sapmanın karesi ile hesaplanır ve veri dağılımının değişimine ait bilgi verir.

$$\text{Standart sapma: } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (4.3.1.1)$$

$$\text{Varyans: } s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \quad (4.3.1.2)$$

Burada $\bar{X}$, X dizisinin ortalama değeridir.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (4.3.1.3)$$

Ortalamaları sıfır olan iki veri seti için;

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}, \quad B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\},$$

Burada, n örnek sayısı olmak üzere

A ve B' nin ayrı ayrı varyansları

$$\sigma_A^2 = \langle a_i a_i \rangle_i \quad (4.3.1.4)$$

$$\sigma_B^2 = \langle b_i b_i \rangle_i \quad (4.3.1.5)$$

Bir diğer gösterimle

$$var(A) = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})(A_i - \bar{A})}{n - 1} \quad (4.3.1.6)$$

Kovaryansları

$$\sigma_{AB}^2 = \langle a_i b_i \rangle_i \quad (4.3.1.7)$$

Bir diğer gösterimle

$$cov(A, B) = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})(B_i - \bar{B})}{n - 1} \quad (4.3.1.8)$$

Kovaryans, iki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin derecesini ölçer. Kovaryans pozitif ise değişkenlerin değerlerinin arttığı, negatif ise biri artarken diğerinin azaldığı, sıfır ise iki değişken arası ilişkinin olmadığı, bağımsız oldukları söylenebilir. Yüksek (düşük) kovaryans değeri, yüksek (düşük) değerli artıklığı gösterir. Kovaryans matrisi kullanılarak özdeğer ve özvektörler hesaplanmaktadır.

- A ve B tamamen birbirinden bağımsızsa σ_{AB} sıfıra eşittir. ($\sigma_{AB}^2 \geq 0$)
- A ve B birbirine eşitse, $\sigma_{AB}^2 = \sigma_A^2$.

A ve B, satır vektörü olarak ifade edilebilir.

$$a = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_n] \quad (4.3.1.9)$$

$$b = [b_1 \ b_2 \ \dots \ b_n] \quad (4.3.1.10)$$

Böylece kovaryans, iç çarpım hesaplamasıyla ifade edilir.

$$\sigma_{ab}^2 \equiv \frac{1}{n-1} ab^T \quad (4.3.1.11)$$

$\frac{1}{n-1}$, normalizasyon sabitidir.

Satır vektörleri $x_1 \equiv a$, $x_2 \equiv b$ olarak yeniden adlandırılıp ek dizinlenmiş vektörler $x_3, \dots, x_m$ eklenirse ifade genelleştirilir.

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \end{bmatrix} \quad (4.3.1.12)$$

Her X satırı belirli bir türdeki (x_i) ölçümlere, her X sütunu belirli bir denemeden alınan bir dizi ölçüme karşılık gelmektedir.

$$C_x \equiv \frac{1}{n-1} XX^T \quad (4.3.1.13)$$

C_x ölçüm verisindeki tüm olası çiftler arasındaki ilgileşimi verir. İlgileşim değerleri, ölçülen verideki gürültü ve artıklık hakkında bilgi vermektedir.

Burada kovaryans matrisi C_x ile ilgili olarak;

- Kare simetrik $m \times m$ boyutlu bir matrisidir.
- Köşegen terimleri, ölçülen veriler arasındaki varyansdır.
- Köşegen olmayan terimleri ise, veriler arasındaki kovaryanstır.

Köşegen terimlerin değeri küçükse gürültü fazla, köşegen olmayan terimlerin değeri büyükse artıklık fazladır. Amaç kovaryansı ölçerek artıklığı azaltmak, varyansı ölçerek işareti en büyükmektir.

TBA, tüm temel vektörlerin $\{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ dikey ($p_i \cdot p_j = \delta_{ij}$) ve P 'nin dikey matris olduğunu, işaretin en büyük varyans yönünün önemli ya da temel olduğunu varsaymaktadır.

TBA'nın uygulama adımları için, çok yönlü verilerde, m boyutlu alanda varyansın en büyük olduğu normalleştirilmiş bir yön seçilir. İkinci adım olarak varyansın en büyük olduğu ikinci bir yön bulunur. Ancak diklik koşulu nedeniyle, ikinci yön birinci yöne dik olacak şekilde kısıtlanır. Bu şekilde önceki yönlere dik olacak şekilde sonraki yönler tekrarlanır (Jolliffe, 2002).

4.3.2. Kovaryansın Özvektörleri

Veri kümesi $m \times n$ boyutlu X matrisi için m ölçüm türlerinin sayısı, n ise örnek sayısıdır.

$C_Y \equiv \frac{1}{n-1}YY^T$ 'nin köşegenleştiği, $Y = PX$ olan P ortonormal matrisinde, P satırları X 'in temel bileşenleridir. Tercih edilen değişkenlere göre C_Y düzenlenebilir.

$$C_Y = \frac{1}{n-1}YY^T \quad (4.3.2.1)$$

$$= \frac{1}{n-1}(PX)(PX)^T \quad (4.3.2.2)$$

$$= \frac{1}{n-1}PXX^TP^T \quad (4.3.2.3)$$

$$= \frac{1}{n-1}P(XX^T)P^T \quad (4.3.2.4)$$

$$C_Y = \frac{1}{n-1}PAP^T \quad (4.3.2.5)$$

Burada yeni bir $A=XX^T$ matrisi tanımlanmıştır ve simetriktir. (Ek 1 Teorem B'ye göre.) Bu simetrik matrisin, özvektörlerinin dikey matrisleri tarafından köşegenleştirildiği kabul edilir. (Ek 1 Teorem B ve C'ye göre.) Simetrik bir matris için;

$$A = EDE^T \quad (4.3.2.6)$$

Burada D köşegen matris ve E sütun olarak düzenlenmiş A 'nın özvektör matrisidir. P matrisi, her satır p_i , XX^T 'nin bir özvektörü olacak şekilde seçilir. ($P \equiv E^T$) denklem 5.2.6'da yerine koyarak $A = P^TDP$ elde edilir. $P^{-1} = P^T$ eşitliği kullanılarak C_Y yeniden yazılır.

$$C_Y = \frac{1}{n-1}PAP^T \quad (4.3.2.7)$$

$$= \frac{1}{n-1}P(P^TDP)P^T \quad (4.3.2.8)$$

$$= \frac{1}{n-1} (PP^T) D (PP^T) \quad (4.3.2.9)$$

$$= \frac{1}{n-1} (PP^{-1}) D (PP^{-1}) \quad (4.3.2.10)$$

$$C_Y = \frac{1}{n-1} D \quad (4.3.2.11)$$

P 'nin seçiminin C_Y 'yi köşegenleştirmesi ile TBA amacına ulaşmıştır. Buna göre X 'in temel bileşenleri XX^T nin özvektörleri ya da P 'nin satırlarıdır ve C_Y 'nin i 'ninci köşegen değeri X 'in varyansdır (Shlens, 2014).

4.3.3. Tekil Değer Ayrışımı

X $n \times m$ boyutlu rastgele bir matris ve $X^T X$ $n \times n$ boyutlu simetrik, kare bir matris olsun.

- $\{\hat{v}_1, \hat{v}_2, \dots, \hat{v}_r\}$, XX^T simetrik matrisi için $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_r\}$ özdeğerleri ile ortonormal $m \times 1$ boyutlu özvektörlerin kümesidir.

$$(X^T X) \hat{v}_i = \lambda_i \hat{v}_i \quad (4.3.3.1)$$

- $\sigma_i \equiv \sqrt{\lambda_i}$ değeri pozitif gerçekte bir sayıdır ve tekil değerler olarak adlandırılır.
- $\{\hat{u}_1, \hat{u}_2, \dots, \hat{u}_r\}$, $\hat{u}_i \equiv \frac{1}{\sigma_i} X \hat{v}_i$ olarak tanımlanan $n \times 1$ boyutlu dikey vektörler kümesidir.
- $\hat{u}_i \cdot \hat{u}_j = \delta_{ij}$
- $\|X \hat{v}_i\| = \sigma_i$

Tüm bu özelliklerin birleşimi tekil değer ayrışımının uygulamasıdır.

Tekil değer ayrışımındaki ‘değer’, üçüncü maddenin tekrar düzenlenmiş halinden elde edilir.

$$\sigma_i \hat{u}_i = X \hat{v}_i \quad (4.3.3.2)$$

X 'in XX^T nin bir özvektörü ile çarpımı, skaler bir değer ile bir vektörün çarpımına eşittir. Özvektör kümesi $\{\hat{v}_1, \hat{v}_2, \dots, \hat{v}_r\}$ ve vektör kümesinin $\{\hat{u}_1, \hat{u}_2, \dots, \hat{u}_r\}$ ikisinde dikey (ortogonal) kümelerdir ve r -boyutlu uzayı temel alırlar. Bu sonuç, tüm vektörler için bir matris çarpımı şeklinde gösterilebilir.

$$\Sigma \equiv \begin{bmatrix} \sigma_1 & & & 0 \\ & \ddots & & \\ & & \sigma_r & \\ 0 & & & \ddots \\ & & & & 0 \end{bmatrix} \quad (4.3.3.3)$$

$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_r$, sıralı tekil değer kümeleridir. Benzer şekilde V ve U ortogonal matrisleri de oluşturulur.

$$V = [\hat{v}_1 \ \hat{v}_2 \ \dots \ \hat{v}_m] \quad (4.3.3.4)$$

$$U = [\hat{u}_1 \ \hat{u}_2 \ \dots \ \hat{u}_n] \quad (4.3.3.5)$$

$(m - r)$ ve $(n - r)$ dikey vektörleri, V ve U matrislerini doldurmak için ek olarak eklenir.

$X\hat{v}_i = \sigma_i\hat{u}_i$ denklemi görselleştirilirse eşitlik gösterimi aşağıdaki gibidir.

$$\begin{pmatrix} \text{---} m \text{---} \\ | \\ n \\ | \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} | \\ m \\ | \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{pozitif} \\ \text{sayılar} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} | \\ n \\ | \end{pmatrix}$$

Şekil 4.3.3.1 $X\hat{v}_i = \sigma_i\hat{u}_i$ denkleminin görselleştirilmesi

V , U ve Σ olarak 3 yeni matris tanımlanabilir. Her $\hat{u}_i$ ve $\hat{v}_i$ vektör çifti, ilgili matrisin i 'ninci sütunu boyunca bulunur. Karşılık gelen tekil değer σ_i ise Σ matrisinin köşegeni (ii 'ninci yer) boyuncaadır. Böylece yeni eşitlik denklem 5.3.5'de gösterildiği gibidir.

$$XV = U\Sigma \quad (4.3.3.6)$$

Denklem 4.3.3.6 görselleştirilirse

$$\begin{pmatrix} \text{---} m \text{---} \\ | \\ n \\ | \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \text{---} m \text{---} \\ | \\ m \\ | \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{---} n \text{---} \\ | \\ n \\ | \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} n \times m \\ \text{0} \\ 0 \end{pmatrix}$$

Şekil 4.3.3.2 $XV = U\Sigma$ denkleminin görselleştirilmesi

V ve U matrisleri $m \times m$ ve $n \times n$ boyutlu matrisler olarak düzenlenmiştir ve Σ çoğu değeri 0 olan köşegen bir matristir. Bu tek matris eşitliği çözmenin anlamı tüm n 'değer' lerini çözmektedir.

$$XV = U\Sigma \quad (4.3.3.7)$$

V , dikey olduğundan dolayı, eşitliğin her iki tarafı $V^{-1}=V^T$ ile çarpılır. (Transpozisi ile tersi birbirine eşit olan matrise dikey matris denir. Özellikle döndürme işlemlerinde kullanılan matristir.)

$$X = U\Sigma V^T \quad (4.3.3.8)$$

Yukarıdaki eşitlik, seçilen herhangi bir X matrisinin dikey matris, köşegen matris ve başka bir dikey matris (döndürme, germe) biçimine dönüştürülebileceğini göstermektedir. Burada x veri matrisi, U xx^T 'nin özvektörlerinin $m \times m$ boyutlu ağırlık matrisi, Σ tekil değer matrisi (köşegen matris), V^T tekil vektör matrisidir (V^T 'nin dizileri temel bileşenlerin katsayılarını içerir) (Shlens, 2014).

4.3.4. TBA ve TDA Uygulaması

TBA'nın işleyiş adımları aşağıda sıralanmıştır.

- $x = [x_1, x_2, \dots, x_r]$, $x \in \mathbb{R}$ veri vektörünü, $u = [u_1, u_2, \dots, u_n]$ temel vektörü temsil ederse (Ortonormal temelde $u_i \cdot u_i = 1$, $u_i \cdot u_j = 0$, $i \neq j$), en küçük boyutlu alanda temsil edilen en uygun koordinat $(z_1, z_2, \dots, z_k)$, $z_i = (x - \bar{x}) \cdot u_i$ ile tanımlanır. Burada varyansı en büyük, ortalama kare hatayı en küçük yapan z_i yönünü bulmak gereklidir.
- İlk olarak $m \times n$ boyutlu x veri matrisi okunur.
- x veri matrisinin her bir dizisinden ortalama değer çıkarılır. ($x_c = x - \bar{x}$)
- Kovaryans matrisi hesaplanır.

$$Kov = \frac{1}{m} = \sum_{i=1}^m (x_{c(i)} - \bar{x})(x_{c(i)} - \bar{x})^T \quad (4.3.4.1)$$

- Kovaryans matrisinin özdeğerleri ve özvektörleri bulunur. En yüksek özdeğerler ile özvektörler seçilir (temel bileşenler). Kovaryans matrisinin çok büyük olabileceği ve özvektörlerin bulunmasının zaman alabileceğinden dolayı, tekil değer ayrışımı özvektörleri hesaplamak için kullanılır.

Dalgacık dönüşümü ve temel bileşenler analizi yardımıyla hesaplanan özellik vektörleri, gerilim düşmesi ve yükselmesi, anlık kesintiler, harmonikler ve elektromanyetik girişimlerin tespitinde kullanılmaktadır fakat kırpışma için yeterli olmamaktadır. Kırpışma sırasındaki işaretin yerel en büyük ve en büyük değerleri özellik vektörü olarak kullanılabilir. Yerel en büyük ve en büyüklerin toplanmasıyla

işaretin zarfı elde edilir ve kırpışmanın tespitinde kullanılır. Bunun için bir dizi hesaplama yapılmıştır. Gerçek zamanlı güç işareti oluşturmak için güç sıklığı aralığı ± 0.3 Hz, kırpışma sıklık aralığı da 5 ve 25 Hz olarak tanımlanıp rastgele oluşturulmuştur. Yerel en büyük ve en küçükler hesaplanır.

$$x = x(1 + N * (k - 1) : N * k) \quad (4.3.4.2)$$

$$poz(k) = \max(xx) \quad (4.3.4.3)$$

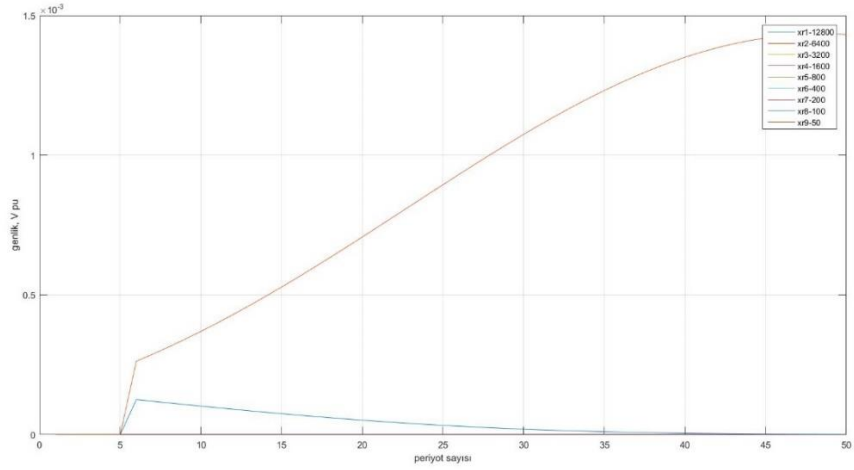
$$neg(k) = \min(xx) \quad (4.3.4.4)$$

Burada x her bir veri penceresini, N bir dönemdeki örnek sayısını, poz ve neg ise işaretin yerel en büyük ve en küçüğü, $k = 1 - 25600$ 'e kadar olan sayıları temsil etmektedir. İşaretin toplam zarfı için yerel en küçük ve en büyük değerler toplanır ($toplam = poz + neg$). Her veri penceresi için dalgacık dönüşümü uygulanır ve 9 seviye için detay katsayıları elde edilir. Detay katsayılarının enerji seviyeleri hesaplanır ve normalleştirilir (Çizelge 4.3.4.1). Detay katsayılarının enerji düzeylerini çözümlemek için temel bileşenler analizi kullanılır.

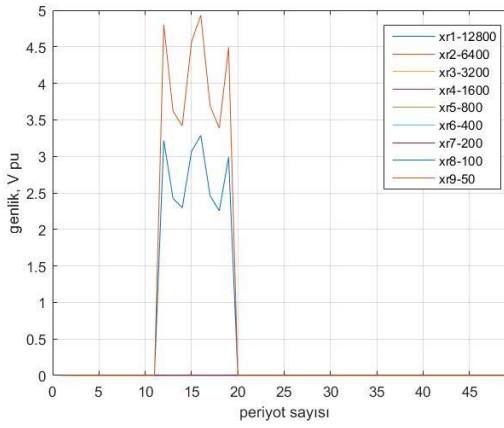
Çizelge 4.3.4.1. Detay katsayılarının normalize edilmiş enerjiseviyeleri ve karşılık gelen TBA çıktıları

Detay katsayılarının normalize edilmiş enerji seviyeleri	TBA Çıktıları
d1_norm (6400-12800 Hz)	xr1
d2_norm (3200 - 6400 Hz)	xr2
d3_norm (1600 - 3200 Hz)	xr3
d4_norm (800 - 1600 Hz)	xr4
d5_norm (400 - 800 Hz)	xr5
d6_norm (200 - 400 Hz)	xr6
d7_norm (100 - 200 Hz)	xr7
d8_norm (50 - 100 Hz)	xr8
d9_norm (25 - 50 Hz)	xr9

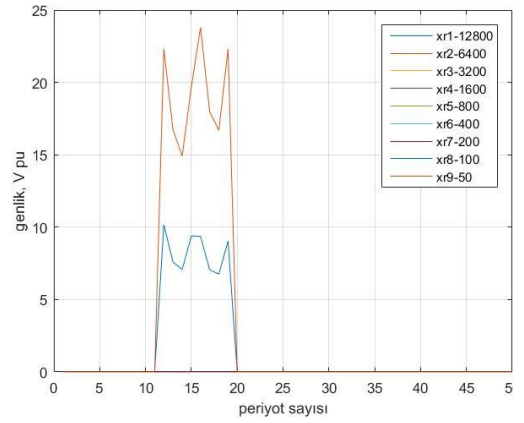
Normalize edilmiş enerji seviyelerine uygulanan TBA sonucu elde edilen grafikler Şekil 4.3.4.1, Şekil 4.3.4.2, Şekil 4.3.4.3, Şekil 4.3.4.4, Şekil 4.3.4.5, Şekil 4.3.4.6, Şekil 4.3.4.7, Şekil 4.3.4.8 ve Şekil 4.3.4.9'da gösterilmiştir.



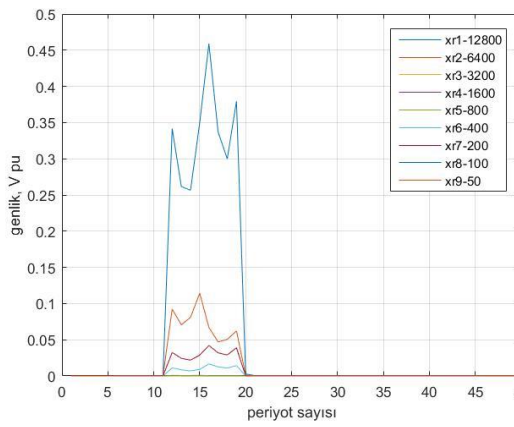
Şekil 4.3.4.1. Saf Sinüs Dalgası TBA grafiği



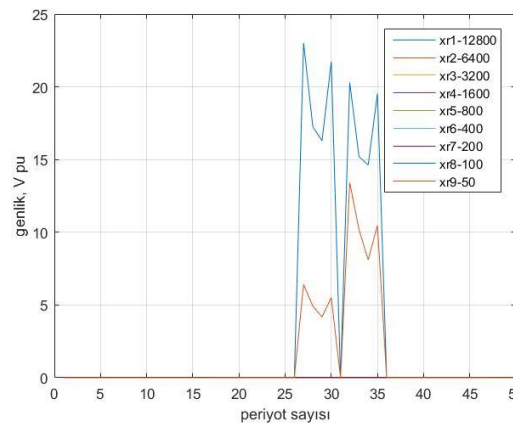
Şekil 4.3.4.2. Gerilim düşmesi ADD grafiği



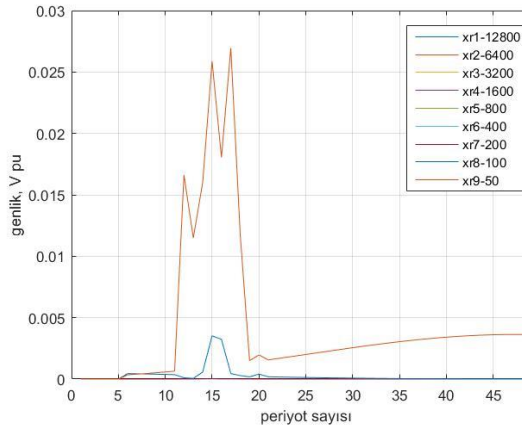
Şekil 4.3.4.3. Gerilim yükselmesi ADD grafiği



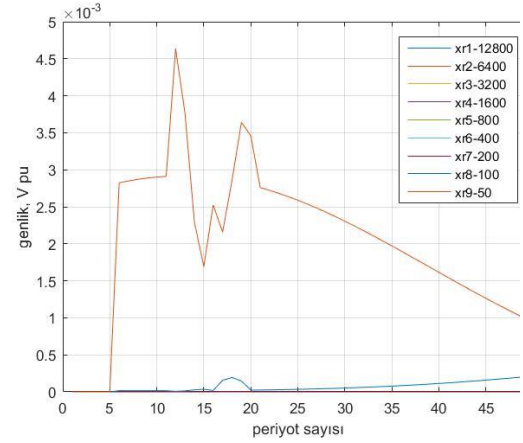
Şekil 4.3.4.4. Harmonikli gerilim ADD grafiği



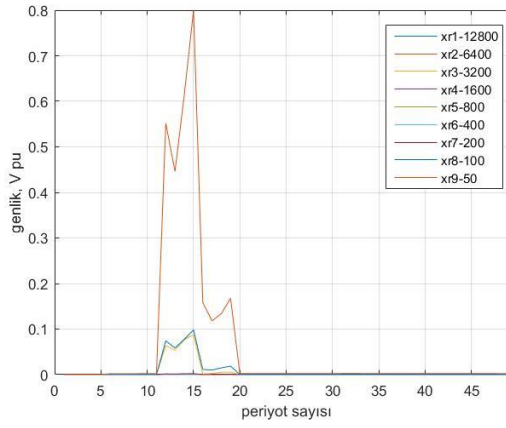
Şekil 4.3.4.5. Kesinti ADD grafiği



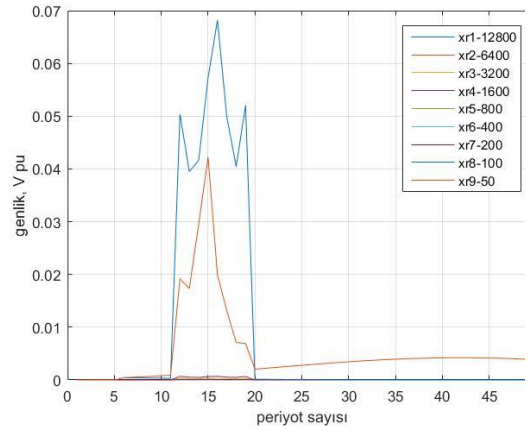
Şekil 4.3.4.6. Kırpışma ADD grafiği



Şekil 4.3.4.7. DA bileşen ADD grafiği



Şekil 4.3.4.8. Geçici durum ADD grafiği



Şekil 4.3.4.9. Elektromanyetik girişim ADD grafiği

4.4. Yapay Sinir Ağı Yapısı

Güç sistemlerinde meydana gelen bozuklukların sınıflandırması için kaynaklarda birçok farklı yöntem kullanılmıştır. En çok kullanılan yöntemler arasında kural tabanlı sınıflandırma, destek vektör makinaları, karar ağaçları, bulanık mantık yöntemleri, genetik algoritma, saklı Markov modeli, yapay sinir ağları, gelişmiş makine öğrenmesi yöntemleri ile bu yöntemlerin hibrid kullanımlarının yanında uzay vektör temsili, Dempster-Shafer teorisi, Adaboost+ Navie Bayes, lojistik regresyon (LR) gibi yöntemlerde kullanılmıştır. Sınıflandırma doğruluğunu arttırmak için sınıflandırma parametrelerinin en uygun değerleri ve değişkenleri alanında da çalışmalar mevcuttur. En uygun parametrelerin belirlenebilmesi için en iyileştirme yöntemleri kullanılmıştır. Örneğin eşleştirme arayış yöntemi ile iyileştirilen parçacık sürü iyileştirmesi (PSO-

MP) gibi (Maryam MoeinDarbari; Hamidreza Pourreza; Mohammad Monfared, 2015) (Mohan et al., 2017) (Ozgonenel, Yalcin, Guney, & Kurt, 2013) (Rodríguez et al., 2003). Yapay sinir ağlarında ise genellikle deneme yanılma yöntemi ile probleme uygun değerler başarıma göre değerlendirilmiştir. Bu tez çalışmasında, güç sistemi bozukluklarının sınıflandırılmasında kullanılan yapay sinir ağının iyileştirmesi cevap yüzey yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4.4.1. Yapay Sinir Ağının Çalışması

Yapay sinir ağının çalışma adımları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

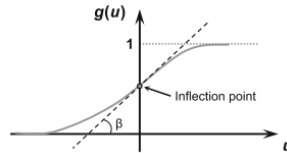
- Giriş değişkenlerini temsil eden nörona giriş verileri oluşturulur.
- Her giriş değişkeni sinaptik ağırlıklarla çarpılır.
- Giriş işaretleri ile ağırlıkların çarpımı toplamaları tarafından üretilen aktivasyon potansiyeli hesaplanıp bias değeri çıkartılır.
- Nöron çıkışını sınırlamak için uygun bir aktivasyon işlevi uygulanır (Silva, Hernane Spatti, Andrade Flauzino, Liboni, & dos Reis Alves, 2017).

4.4.2. Aktivasyon İşlevleri

- Sigmoid İşlev: Sigmoid işlev tarafından üretilen değer her zaman 0 ile 1 arasındadır. Lojistik işlevin matematiksel gösterimi;

$$g(u) = \frac{1}{1 + e^{-\beta \cdot u}} \quad (4.4.2.1)$$

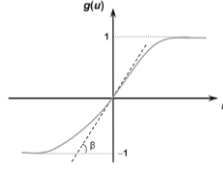
Burada β , dönüm noktasındaki işlev eğimi ile ilgili bir sabittir.



- Hiperbolik Tanjant İşlevi: Çıkış sonucu her zaman -1 ile 1 arasında bulunan matematiksel ifadesi;

$$g(u) = \frac{1 - e^{-\beta \cdot u}}{1 + e^{-\beta \cdot u}} \quad (4.4.2.2)$$

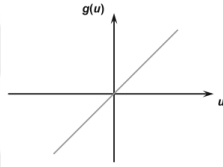
Burada β , dönüm noktasındaki hiperbolik tanjant işlevinin eğimi ile ilgilidir. Bu işlevin grafiksel temsili aşağıda gösterilmektedir.



- Doğrusal İşlev: Bu işlev, aktivasyon potansiyeli $\{u\}$ ile aynı sonucu vermektedir. Matematiksel ifadesi;

$$g(u) = u \quad (4.4.2.3)$$

Bu işlevin grafiksel gösterimi;



4.4.3. Yapay Sinir Ağını Oluşturan Elemanlar

Bir yapay sinir ağı katman olarak adlandırılan 3 parçadan oluşmaktadır; girdi katmanı, gizli katmanlar ve çıkış katmanı.

- Girdi Katmanı: Bu katman dış ortamdan bilgi, işaret, özellik veya ölçümlerin alınmasından sorumludur. Bu girişler aktivasyon işlevleri tarafından üretilen limit değerler içinde normalize edilmektedir.
- Gizli Katmanlar: Bu katmalar, analiz edilen işlem veya sistemle ilgili örüntülerin çıkarılmasından sorumlu olan nöronlardan oluşmaktadır.
- Çıktı Katmanı: Önceki katmanlarda nöronların gerçekleştirdiği sonuçları işleyip sonuç değeri olarak üretmektedir.

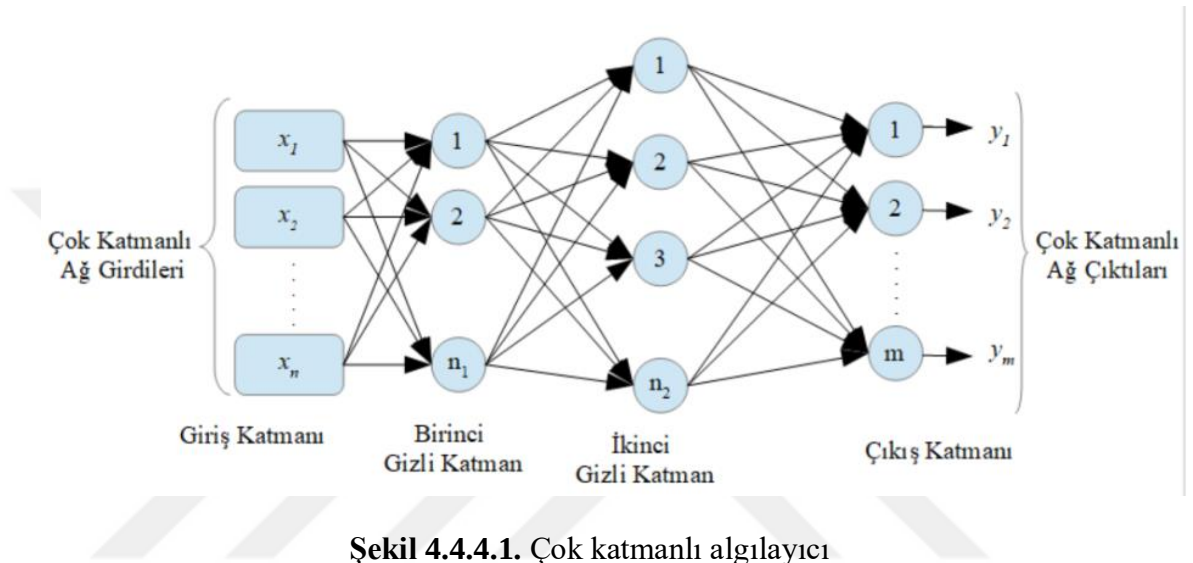
Yapay sinir ağları nöronların yerleşimi, bağlantı yapıları ve katmanların oluşturulması gibi özellikleri göz önüne alınarak tek katmanlı ileri beslemeli, çok katmanlı ileri beslemeli, tekrarlayan sinir ağları olarak gruplandırılabilir.

4.4.4. Çok Katmanlı İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı

Çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağında birden fazla gizli katman vardır. Sistem tanıma, süreç denetimi, en iyileştirme, robotik gibi çeşitli alanlarda

kullanılmaktadır. Şekil 4.4.4.1’de, n adet örnekten oluşan tek katmanlı bir giriş, n_1 ve n_2 adet nöronlardan oluşan 2 gizli katman ve çıkış değerlerini gösteren m adet nöronlardan oluşan bir çıkış katmanı bulunmaktadır. Gizli katmanların sayısı ve nöron miktarları problemin karmaşıklığına ve veri miktarına ve kalitesine bağlıdır.

ÇKA ağları, eğitimi gözetimli bir süreçle gerçekleştirilmiş olan çok katmanlı bir mimariye aittir. Bilgi akışı Şekil.4.4.4.1’de görüldüğü üzere giriş katmanından başlayıp gizli katmanlardan geçerek çıkış katmanına doğrudur.



Şekil 4.4.4.1. Çok katmanlı algılayıcı

Bir ÇKA’nın eğitim sürecinde kullanılan öğrenme algoritmasına geri yayılım ya da bilinen diğer adıyla Delta kuralı denir. İlk aşama ileri yönlü yayılma olarak adlandırılır, giriş değerleri uygun ağırlıklar ve bias değerleri kullanarak katman katman çıkışa doğru aktarılır. Çıkış tarafından üretilen değerler istenilen ilgili cevaplar ile karşılaştırılır. (Gözetimli öğrenme) İleri ve geri yayılımların ardışık olarak uygulanması sonucu ağırlıkların ve eşik değerlerinin her bir iterasyonda ayarlanması ve üretilen hataların azaltılması sağlanmaktadır (Karayiannis & Venetsanopoulos, 1993).

Geri yayılım algoritması ağırlık matris değerlerini, kare hata işlevinin eğiminin ters yönünde ayarlar. Fakat bu algoritma çok yavaş bir şekilde yakınsama eğilimindedir bu nedenle hesaplama işlemi ayrı bir çaba gerektirir. Bu sorunu azaltmak, yakınsamayı arttırmak için geri yayılım algoritmasına çeşitli en iyileştirme teknikleri uygulanmıştır. (Levenberg-Marquardt yöntemi, esnek yayılım yöntemi, momentum parametresi)

- Momentum Parametresi: Momentum parametresi, geri yayılma algoritmasında uygulanacak en basit varyasyonlardan biridir. Ağ denklemine iki ardışık iterasyon arasında sinaptik matrislerin değişim miktarlarına göre bir terim eklenmesiyle düzenlenir. L 'ninci nörona ait katman;

$$W_{ji}^{(L)}(t+1) = W_{ji}^{(L)}(t) + \alpha \left(W_{ji}^{(L)}(t) - W_{ji}^{(L)}(t-1) \right) + \beta \delta_j^{(L)} Y_i^{(L-1)} \quad (4.4.4.1)$$

olarak tanımlanıp α değeri momentum oranıdır ve 0 ile 1 arasındadır. Momentum oranı sıfıra eşit olduğunda ifade geleneksel geri yayılımına eşdeğer hale gelir.

- Esnek Yayılım Yöntemi: ÇKA'nın nöronlarında kullanılan sigmoid veya hiperbolik teğet aktivasyon işlevleri, tanım alanlarındaki noktaların çoğunluğu için 0 ve 1 (sigmoid için) ve -1 ve 1 (hiperbolik tanjant için) sınır değerlerini üretir. Eğer aktivasyon potansiyeli büyük değerlerdeyse, bu limit değerlerde çıkış değerinin doyma noktaları olmaktadır. Bu durumda hata işlevinin eğimindeki küçük değişimler aktivasyon işlevlerinin doyma aralıkları ile birleştiğinde yakınsama süreci yavaşlamaktadır.

Esnek yayılım yönteminin amacı, sadece hata işlevinin eğimindeki değişimler yerine hata işlevinin eğimindeki işaret değişimlerini dikkate almaktadır. Dolayısıyla bu yöntemde öğrenme dinamik şekilde gerçekleşir çünkü eğim işaretleri artarda iki iterasyonda aynı olduğunda öğrenme oranı arttırılabilir. Ağın ağırlık matrisleri işaret büyüklüklerini dikkate almadan, kısmi türev değerlerindeki işaret değişimleri ile değiştirilmektedir.

- Levenberg-Marquardt Yöntemi: Yakınsama değerini arttırmak amacıyla en çok kullanılan yöntem Levenberg-Marquardt yöntemidir (Hagan & Menhaj, 1994). Levenberg-Marquardt algoritması, doğrusal olmayan modeller için en küçük kareler yöntemine dayanan ve eğitim sürecinin verimliliğini arttırmak için geri yayılma algoritmasına dâhil edilebilen ikinci dereceden bir eğim yöntemidir. Geri yayılım algoritması, kare hata işlevinin eğimini minimize etmek için kullanılan bir yöntem iken, Levenberg-Marquardt algoritması Newton yönteminin bir yaklaşımıdır (BAŞ, 2010).

YSA oluşturulurken sınıflandırma başarımının yüksek olması için YSA parametreleri önem taşımaktadır ve yapılan çalışmalarda genellikle çok fazla zaman alan deneme yanılma ya da doğruluğu bilinmeyen giriş katman sayısına göre belirlenen nöron sayısı kullanılmış, geçiş işlevi ve algoritmanın belirlenmesi istenilen çıkışa göre ayarlanmıştır. YSA tasarım aşamasındaki zorluklar nedeniyle Box Behnken deney tasarımına ihtiyaç duyulmuştur.

4.5. Cevap Yüzey Yöntemi Yaklaşımı

Cevap yüzey metodolojisi yaklaşımı, “Denemelerin En İyileştirilmiş Koşullara Ulaşması” ismi ile 1950’lerde G.E.P Box ve meslektaşları tarafından geliştirilmiş ve birden fazla parametreyi ve bunların etkileşimlerini değerlendirmek için gerekli olan azaltılmış sayıda deney olmasıyla büyük fayda sağlamıştır (Yolmeh & Jafari, 2017). Cevap yüzey yöntemi, bir sürecin en iyileştirilmesi ve geliştirilmesi için çeşitli istatistiksel, grafiksel ve matematiksel tekniklerin kullanıldığı bir metottur. CYY, yaşamın farklı alanlarında; endüstrilerde, tarımda, elektronikte, tıp ve diğer birçok alanda kullanılmaktadır. En iyileştirilmiş cevabı elde etmek istediğimiz her yerde kullanılabilir. Günümüzde problemlerin çözümünde girdi değişkenleri ile çıktı değişkenleri arasındaki ilişkinin değerlendirilmesini sağlamaktadır. Gerçekleştirilecek deneylerin daha dikkatli tasarlanmasıyla amaç, bağımsız değişkenlerin (giriş değişkeni) etkilediği cevabı (çıkış değişkeni) en iyileştirmektir (“Cevap Yüzey Yöntemi,” 2018).

Cevap yüzey yöntemleri kullanılarak; değişkenlerin deney sonucuna optimum etki yaptığı durumun belirlenmesi, giriş ve çıkış değişkenleri arasındaki etkiler ve bunların matematiksel bir model olarak ifade edilebilmesiyle daha az deney yapılarak sonuca ulaşılmaktadır (Carley, Kamneva, & Reminga, 2004).

x_1 ve x_2 giriş değişkenleri ve y çıkış değişkeni olarak kabul edilirse,

$$y = f(x_1, x_2) + \varepsilon \quad (4.5.1)$$

olup burada ε , y cevabındaki hata ya da gürültüyü temsil etmektedir. Bağımsız değişken, $f(x_1, x_2)$ olarak temsil edilmektedir ve y yüzey cevabı olarak adlandırılmaktadır.

Yüzey cevabı, grafiksel olarak 3 boyutlu ya da 2 boyutlu olarak cevabın görselleştirilmesini kolaylaştırmak için gösterilebilir.

Cevap yüzey yönteminde kullanılan terimlerden ‘deneysel alan’; bağımsız değişkenlerin en büyük ve en küçük limitleri ile tanımlanan araştırılacak deneysel alanı tanımlamaktadır. ‘Deneysel tasarım’, bağımsız değişkenlerin farklı düzey birleşimleri ile oluşturulan bir matris tarafından tanımlanan belirli bir deney sistemidir. Merkezi kompozit, Box-Behnken ve Doehlert tasarımları deneysel tasarım örnekleridir. ‘Bağımsız değişkenler’ veya ‘faktörler’ birbirinden bağımsız olarak değiştirilebilen giriş değişkenleridir. ‘Bağımlı değişkenler’ ya da ‘cevaplar’ birçok bağımsız değişken tarafından etkilenen çıktı değişkenleridir. ‘Rezidü (Kalıntı)’, belirli bir koşul kümesi için deneysel ve hesaplanmış sonuç arasındaki farktır. Deneysel verilere yerleştirilmiş iyi bir matematik modeli için bu endeksin düşük olması gereklidir.

- **Bağımsız Değişkenler**

Bir süreci birçok faktör etkiler, bu nedenle her birinin bireysel etkisinin değerlendirmesi yüksek maliyet ve zaman kaybı olması nedeniyle çok zordur. Bunu önlemek için öncelikle cevap üzerinde büyük etkileri olan faktörleri tanımlamak gerekmektedir. Bu adım, tam veya kesirli faktöriyel tasarımlar (2 – 4 faktör için) veya Plackett-Burman tasarımı (5 veya daha fazla faktör için) kullanılarak yapılabilir. Bu tür tasarımlarda sadece ana etkiler kestirilir; bağımsız değişkenler arasındaki etkileşimler genellikle önemsiz kabul edilir ve ihmal edilir (Lundstedt et al., 1998).

- **Regresyon Modelinin Seçimi**

Bağımsız ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişkiyi incelemek için genellikle en küçük kare çoklu regresyon metodolojisi uygulanır. Deneysel verilere dayanarak ikinci dereceden bir polinom denklemi uydurmak için çoklu regresyon denklemi kullanılabilir.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i \neq j=1}^k \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (4.5.2)$$

Bu denklemde y , kestirilen cevabı temsil eder, β_0 , model sabitidir ve β_i , β_{ii} ve β_{ij} , sırasıyla modelin doğrusal, kuadratik ve interaktif etkileri için regresyon katsayılarıdır. X_i ve X_j faktörlerdir ve k bu faktörlerin sayısıdır (Ghorbannezhad, Bay, Yolmeh, Yadollahi, & Moghadam, 2016).

Cevapta istatistiksel olarak anlamlı regresyon katsayıları denklemde dikkate alınmalıdır. Bu nedenle ikinci dereceden terimler istatistiksel olarak anlamlı değilse bu katsayılar çıkarılır.

- **Faktör Seviyelerinin Kodlanması**

Bir regresyon analizi yürütmeden önce, faktörler normalleştirilmelidir. Faktör düzeylerinin kodlanması, incelenen her bir değerin boyutsuz $(-1$ ila $+1)$ bir aralığa dönüştürülmesini gerektirir. İncelenen bir değer (z_i) aşağıdaki formülle kodlanmış bir değere (x_i) dönüştürülebilir.

$$x_i = (z_i - z_i^0 / \Delta z_i) \beta_d \quad (4.5.3)$$

Burada Δz_i , merkezi değerdeki gerçek değerden (z_i^0) daha yüksek veya daha düşük gerçek değerden farkı temsil eder ve β_d , her bir değişkenin kodlanmış sınır değerini temsil eder.

- **Uygun Modelin Doğrulanması**

Model denklemi ve regresyon katsayıları kullanılarak kestirilen cevabı hesaplamak mümkündür. Ancak, uygunluğun olup olmadığını belirlemek için model yeterliliğinin doğrulanması denetlenmelidir. Bunu için kestirim hataları karesi (PRESS) toplamı, uyumsuzluk testi ve kalıntı analizi gibi çeşitli teknikler mevcuttur. Ortalama mutlak sapma (OMS), merkezi bir noktadan mutlak sapmaların ortalamasıdır ve aşağıdaki formüle göre hesaplanan istatistiksel dağılım veya değişkenliktir:

$$OMS = \left\{ \left[\sum_{i=1}^p (|y_{ideneysel} - y_{i hesaplanmış}| / y_{ideneysel}) \right] / p \right\} \times 100 \quad (4.5.4)$$

Bu denklemde p , $y_{ideneysel}$ ve $y_{i hesaplanmış}$, sırasıyla deney, deneysel ve hesaplanmış cevapların sayısını temsil eder. Modelin doğruluğunu denetlemek için hem R^2 hem de OMS değerlendirilmelidir. R^2 , 1 civarında olmalı, kestirimi ve gözlenen veriler arasındaki OMS mümkün olduğunca düşük olmalıdır. R^2 ve OMS' un uygun değerleri, işlemin doğru davranışı gösterdiğine ve işlemlerin en iyileştirilmesi için başarıyla kullanılabileceğine işaret eder (Ghorbannezhad et al., 2016).

Verilerin cevap yüzey modellerinin uygunluğunu değerlendirmek için çeşitli kıstaslar (R^2 , OMS, rezidü analiz) kullanılmaktadır. Neredeyse tüm CYY çalışmalarında, R^2 , modelin genel başarısını değerlendirmek için kullanılmaktadır ancak, R^2 bu değerlendirme için yeterli bir endeks değildir ve diğer kıstaslar araştırılmalıdır.

- **Modelin Grafiksel Gösterimi**

Öngörülen model denkleminin görselleştirilmesi, cevap konturu ve yüzey grafikleri tarafından görülebilir. Bu çizimler, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren, CYY yaklaşımının teorik üç boyutlu çıktılarıdır. Bağımsız değişkenlerdeki değişimlerden kaynaklanan cevapları tanımlamak için cevap konturu ve yüzey grafikleri kullanılır. Kontur çizimi, bağımsız değişkenlerin düzleminde sabit bağımlı değişkenlerin aralıklarının çizildiği yüzey çiziminin iki boyutlu bir ekranıdır. Kontur grafikleri, bir cevap yüzeyinin şeklini anlamayı kolaylaştırır. Hedef nokta (en küçük, en büyük veya aralıklı nokta) sistemin merkezinde (deneysel bölge) bulunduğunda, kontur grafikleri bir daire veya elips olarak gösterilir. Hedef nokta ne en büyük ne de en küçük bir nokta olduğunda, kontur grafikleri parabolik veya hiperbolik sistem konturlarını göstermektedir. Bu grafiklerin gerçek cevapları değil, kestirimi cevapları görselleştirdiğini belirtmek gerekmektedir (Baş & Boyacı, 2007).

- **Optimal Koşulların Belirlenmesi**

Optimum noktayı (en büyük veya en küçük nokta), cevap yüzeyini gösteren ve onu sıfıra eşitleyen matematiksel denklemin ilk türevi üzerinden hesaplamak mümkündür.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 \quad (4.5.5)$$

Optimum nokta $\Delta y / \Delta x_1$ ve $\Delta y / \Delta x_2$ ' nin sıfıra eşitlenmesi ile hesaplanarak bulunur.

$$\Delta y / \Delta x_1 = \beta_1 + 2\beta_{11} x_1 + \beta_{12} x_2 = 0 \quad (4.5.6)$$

$$\Delta y / \Delta x_2 = \beta_2 + 2\beta_{22} x_2 + \beta_{12} x_1 = 0 \quad (4.5.7)$$

Yukarıdaki denklemler x_1 ve x_2 değerlerini belirlemek için çözülür. Bu değerler, en büyük veya en küçük cevabı veren faktörlerin kodlanmış değerini ortaya koymaktadır. Sürecin en iyileştirmesi için hedef nokta, incelenen faktörlerin aralıklarında bulunmalıdır. Kestirilen uygun değer koşulları altında cevap ölçümü ve modelde öngörülen cevaplarla gözlemlenen cevapların karşılaştırılması bir başka önemli noktadır. Gözlenen ve kestirilen yanıtlar arasındaki fark mümkün olduğunca düşük olmalıdır; bu öngörüler en uygun koşulları temsil eder.

4.5.1. CYY Deney Tasarımı

CYY'nin önemli bir bölümü deney tasarımıdır ve amaç cevap noktalarının belirlenmesidir. Bunun için tam faktör, kesirli faktöriyel, merkezi kompozit, Box-Behnken, Taguchi, D-optimal gibi deney tasarımları kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında Box Behnken deneneysel tasarımı kullanılmıştır.

4.5.1.1.Tam Faktör Tasarımı

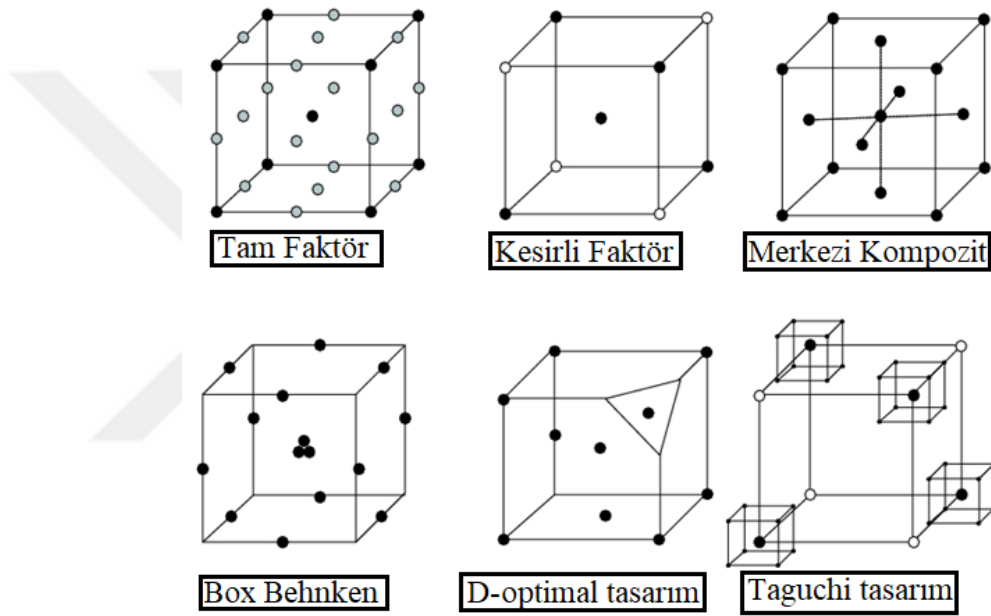
İstatistikte tam faktöriyel deney, her biri farklı olası değerleri veya seviyeleri olan iki veya daha fazla faktörden oluşan bir deneydir. Bu deney tasarımı, her faktörün her seviyesinden aynı miktarda deney cevabı alınır ve karşılaştırma yapılmaktadır. Tam faktöriyel tasarımının en önemli faydası, tüm faktörlerin sonuç üzerindeki etkisi ve birbirleri üzerindeki etkileri en kolay ölçülebilen tasarımıdır.

Tam faktöriyel tasarım verimli ve dengelidir. Bu tasarımın faktörlerin değerlendirilmesi ve yorumlanması açısından en uygun model olmasının nedeni, faktörlerin farklı seviyelerinin gerçekleşebilecek bütün birleşimleri içermesidir. Bununla birlikte, tam faktöriyel tasarımı (TFT), kuadratik işlevlerin modellenmesinde ve faktör sayısının 2'den yüksek olduğu durumlarda verimi iyi değildir. Çünkü faktör ve seviye arttıkça, genellikle uygulamada sağlanabilecek ve merkezi kompozit tasarım ya da Box-Behnken tasarımı gibi daha az sayıda deneysel çalışmayı uygulayan tasarımlara kıyasla çok sayıda deneysel çalışma gerektirir. Tasarım değişkenlerinin sayısı büyürse, değişkenler arasında sadece birkaç birleşiminin kestirimi maliyetiyle, tam faktöriyel tasarımın bir kısmı kullanılabilir. Buna fraksiyonel faktöriyel tasarım denir. $3n$ faktörlü bir tasarım için, $3n - p$ puanla sonuçlanan bir $(1/3) p$ kesri kurulabilir (Montgomery, 2003). Şekil 4.5.1.2.1, üç seviyedeki tüm değişkenlerin çalışmasına

dayanan bir TFT'yi göstermektedir. Tam faktöriyel tasarımda, deneylerinin analizinde ANOVA ve regresyon analizi yöntemleri kullanılmaktadır (Gardner & III, 2000).

4.5.1.2.Kesirli Faktöriyel Tasarım

Varolan kaynakların yeterli olmadığı ya da dereceleri büyük etkileşimlerin önemsiz olduğu tasarımlarda, tam tekrar yerine yarı ($1/2$) tekrar yapılabilmektedir. Denemelerin yalnızca bir kısmı kullanıldığında, kesirli faktöriyel tasarım yapılmış olmaktadır. Böylece zaman verimli kullanılmış olmaktadır. Örneği 2^6 li tasarımda 64 adet veri var iken, 32 adedi kullanılmaktadır.



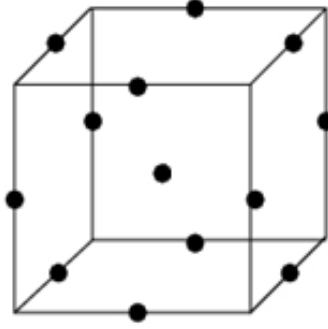
Şekil 4.5.1.2.1. Cevap yüzey tasarımları

4.5.1.3.Box-Behnken Tasarımı

Her bir faktör için üç seviye ($-1, 0, +1$) uygulayan tasarım, ilk kez Box ve Behnken (1960) tarafından tasarlanmıştır. Box-Behnken tasarımı (BBT), $3k$ faktöriyel tasarımdan faktöriyel kombinasyonların belirli bir alt kümesini içerir. Ek olarak, bir BBT'da deney noktaları, merkez noktadan eşit uzaklıkta olan bir hipersfere yerleştirilmiştir ve köşesizdir (Şekil 4.5.1.2.1) (Yetilmezsoy, Ilhan, Sapci-Zengin, Sakar, & Gonullu, 2009). Tam ya da kesirli faktöriyel tasarımları içermez. Daha az tasarım noktası içerdiğinden merkezi kompozit tasarımından daha az maliyetlidir.

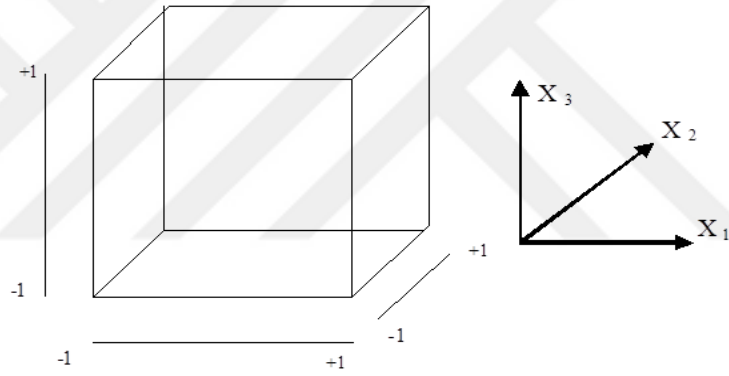
Box-Behnken tasarımı, gömülü faktöriyel veya fraksiyonel faktöriyel tasarım içermediği için bağımsız bir kuadratik tasarımdır.

Bu tasarımın geometrisi, süreç boşluğu içinde yüzeyi her bir yüzeye çıkıntı yapan ve kürenin alanının her bir kenarının orta noktasına teğet olacak şekilde bir küre önermektedir (“Engineering Statistics Handbook,” 2018).



Şekil 4.5.1.3.1. Üç faktörlü Box Behnken tasarımı

BBT üçten fazla düzeydeki faktörleri incelemek için uygun değildir. Diğer bir deyişle, sadece tripleks seviyelere $(-1, 0, +1)$ uygulanır.



Şekil 4.5.1.3.2. Box-Behnken tasarım sınırları

BBT deneylerinin sayısı aşağıdaki denklemle hesaplanabilir.

$$N = 2k(k - 1) + c_p \quad (4.5.1.3.1)$$

Burada k , faktör sayısı ve c_p merkezi noktaların sayısıdır (Şekil 4.5.1.3.1).

Çizelge 4.5.1.3.1. Üç faktör için Box-Behnken Deneyi Tasarımı

Deney Sayısı	Faktörler		
	X_1	X_2	X_3
1	-1	-1	0
2	+1	-1	0
3	-1	+1	0
4	+1	+1	0
5	-1	0	-1
6	+1	0	-1
7	-1	0	+1
8	+1	0	+1
9	0	-1	-1
10	0	+1	-1
11	0	-1	+1
12	0	+1	+1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

3 faktör ve 3 merkez noktalı bir deneyin, Box-Behnken tasarımına göre 15 deney ile gerçekleştirileceği formülden hesaplanmaktadır. Faktör sayısı arttıkça deney sayısı da artmaktadır. Bu tasarımda faktörlerin en küçük ve en büyük sınırları aynı anda yer bulunmadığı için, dengesiz değerlerin oluşturacağı uygun değerli olmayan sonuçlar da engellenmiştir (Ferreira et al., 2007).

Box-Behnken tasarımı, 2. mertebeden modellerin kestiriminde, birbiri ardı sıralı olmayan deneylerin tasarımlarında, oluşturulan modelin eksikliğinin analizinde kullanılan bir cevap yüzey tasarımıdır.

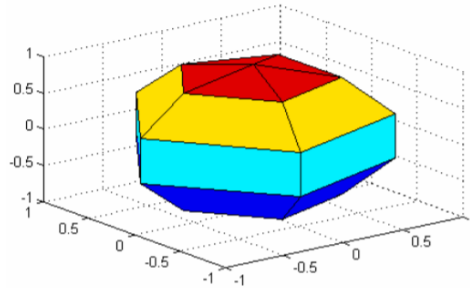
4.5.2. Simpleks Algoritması

Simpleks yöntemi, doğrusal programlamada problemleri çözmek için kullanılan, 1947 yılında George Dantzig tarafından icat edilen bir yöntemdir (“Simpleks Yöntemi,” 2018). Doğrusal programlama en iyileştirme problemlerinin çözümünde; ekonomi, muhasebe gibi sektörlerde ve yöneylem araştırmalarında kullanılan en önemli konulardan birisidir. Kaynak dağılımı en iyileştirilmesi, minimum maliyetle en büyük kar elde etmeye çalışan bir tekniktir. Bu yöntem, optimum şekilde değişken ve kısıtlara bağlı kalarak en uygun kaynak dağılımını sağlayan deterministik bir matematiksel tekniktir (“Simpleks Yöntemi,” 2018).

Simpleks yöntemi, matematiksel olarak iterasyon yöntemlerinden birisidir. Diğer yöntemlerde olduğu gibi, başlangıç değerleri (simpleks tablosu) oluşturulup, en iyileştirilmiş cevabı elde edinceye kadar tekrarlama hesapları yapılmaktadır.

Örneğin 15 değişkenli 10 adet denklemin çok büyük sayılarla çözümü vardır fakat tüm çözümlerin tek tek incelenebilmesi uygulama olarak mümkün değildir. Simpleks algoritması bu durumun üstesinden gelebilir. Bu yöntemin kavramsal prensibi üç boyutlu bir durum için kolayca anlaşılabilir. Birkaç yüzeyle sınırlanmış uygun bir bölgenin (yani hacmin) her bir köşesi diğer üç bitişik köşeye düz bir çizgi ile bağlanmaktadır (“Simpleks Yöntemi,” 2018).

Herhangi bir noktada, simpleks algoritma, tüm bitişik köşeler arasında en uygun çözüme en yakın olan bir başka bitişik noktaya hareket etmeye yardımcı olmaktadır. Böylece, başlangıç noktasından en uygun çözüme ulaşmak için en kısa rotayı takip etmektedir. Bu kısa yol simpleks algoritması tarafından üretilen uygun çözümden oluşmaktadır.



Şekil 4.5.2.1. 3-D bir durum için simpleks algoritmasının temel kavramı (“Simpleks Algoritma,” 2018)

Simpleks yönteminin genel prosedürü aşağıdaki gibidir:

- Verilen doğrusal programlama probleminin genel şekli, kanonik biçime dönüştürülür.
- Doğrusal programlama probleminin temel uygulanabilir çözümü kanonik biçimden bulunur (en az bir tane var olmalıdır).
- Bu başlangıç çözümü, diğer tüm uygulanabilir komşu çözümler arasından en uygun cevaba en yakın uygulanabilir bir komşu çözüme hareket etmektedir. (Simpleks algoritması içermektedir.)
- En uygun çözüm elde edilene kadar prosedür tekrarlanır (Rao, 2009).

4.5.3. Varyans Analizi

ANOVA, 2 veya daha fazla kategoride bir anma seviye değişkeni ile ölçek düzeyindeki bağımlı değişkenlerdeki potansiyel farklılıkları değerlendiren istatistiksel bir tekniktir. Örneğin ANOVA, IQ puanlarındaki potansiyel farklılıkları ülkelere göre inceleyebilir. 1918’de Ronald Fisher tarafından geliştirilen ANOVA, sadece anma seviye değişkeninin iki kategoride olmasına izin veren t ve z testini genişletmektedir. Bu test aynı zamanda varyansın Fisher analizi olarak da adlandırılır.

ANOVA kullanımı, araştırmacılar ve öğrenciler için araştırmanın tasarımına bağlıdır. Genellikle tek yönlü ANOVA, iki yönlü ANOVA ve N-yönlü ANOVA olarak üç şekilde kullanılır.

Tek yönlü bir ANOVA’nın sadece bir bağımsız değişkeni vardır. Örneğin, IQ seviyesindeki fark ülke tarafından değerlendirilebilir ve ülke 2, 20 veya daha fazla farklı karşılaştırma kategorisinde olabilir.

İki bağımsız değişken kullanan bir ANOVA iki yönlü olarak adlandırılmaktadır. Yukarıdaki örnekten devam edersek 2 yönlü bir ANOVA’da cinsiyet (bağımsız değişken 1) ve ülkeye (bağımsız değişken 2) bağlı olarak IQ (bağımlı değişken) puanlarındaki fark incelenebilir. İki yönlü ANOVA'lara faktöriyel ANOVA da denir.

Bir araştırmacı ikiden fazla bağımsız değişken kullanabilir ve bu bir n-yönlü ANOVA’dır (n, bağımsız değişkenlerin sayısıdır). Örneğin, IQ puanlarındaki potansiyel farklılıklar ülke, cinsiyet, yaş grubu ya da etnik kökene göre incelenebilir (“İstatistiksel Analiz,” 2018).

Çizelge 4.5.3.1 Varyans analizi sonuç çizelgesi

<i>Kaynak</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
Deneme	SS_b	$k-1$	MS_b	MS_b/MS_w	p value
Hata	SS_w	$N-k$	MS_w		
Genel	$SS_b + SS_w$	$N-1$			

Burada SS karele toplamı, df serbestlik derecesi, MS kareler ortalamasıdır. Standart çizelgede var olan F değeri ile hesaplanan F değeri karşılaştırılır ve sonuç değerlendirilmektedir. F istatistiği sadece iki varyansın bir oranıdır. Varyans grafiksel yayılımın bir ölçüsüdür veya verilerin ortalama değerinden ne kadar uzağa dağıldığıdır.

Tek yönlü ANOVA’ da F istatistiği;

$$F = \frac{\text{örneklerin ortalaması arasındaki varyasyon}}{\text{örnekler arasındaki varyasyon}} \quad (4.5.3.1)$$

4.5.4. Box-Behnken Deneysel Tasarımının Yapay Sinir Ağı Yapısına Uyarlanması

YSA tasarımı yapılırken gizli katman sayısı (GKS), gizli katmanda kullanılan nöron sayısı (GKNS), gizli katmanda (GKTF) ve çıkış katmanında (ÇKTF) kullanılan geçiş işlevi, geri yayılım algoritması (GYA) seçimi ağın doğru kestirim yapabilmesi için önemlidir. Bu tez çalışmasında ağı oluşturan işlevlerin ve parametrelerin uygun seçimi için Box-Behnken cevap yüzey yöntemi deney tasarımı kullanılmıştır. Tasarım toplamda 46 adet deneye ihtiyaç duymaktadır. 3 seviyeli 5 faktörlü Box-Behnken istatistiksel modelleme tasarımı kullanılarak deney gerçekleştirilmiştir. Seviye hesabı için $2k(k-1)+c_p$ formülü kullanılmış olup, k faktör sayısı için 5, c_p için 7 değeri alınmıştır. Box Behnken tasarımına göre oluşturulan yapay sinir ağı için seçilen seviyeler ve faktörler Çizelge 4.5.4.1 ve Çizelge 4.5.4.2’ de sırasıyla gösterilmiştir.

Çizelge 4.5.4.1. Box-Behnken tasarımına göre seçilen seviyeler

	Düşük Seviye (-1)	Orta Seviye (0)	Yüksek Seviye (+1)
Gizli Katman Sayısı	1	2	3
Gizli Katmandaki Nöron Sayısı	8	10	12
Gizli Katmandaki Geçiş İşlevi	purelin	logsig	tansig
Çıkış Katmanındaki Geçiş İşlevi	purelin	logsig	tansig
Geri Yayılım Algoritması	trainlm	traingd	trainrp

Çizelge 4.5.4.2. Box-Behnken tasarımına göre sistemler

Sistem Sayısı	Gizli Katman Sayısı	Gizli Katmandaki Nöron Sayısı	Gizli Katmandaki Geçiş İşlevi	Çıkış Katmanındaki Geçiş İşlevi	Geri Yayılım Algoritması
1	1	1	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	-1	1	0
4	-1	0	-1	0	0
5	1	0	0	0	-1
6	-1	0	0	0	-1
7	0	0	-1	-1	0
8	0	0	0	0	0
9	0	1	0	-1	0
10	0	0	0	-1	1
11	-1	0	0	0	1
12	0	1	1	0	0
13	0	1	0	1	0
14	0	1	-1	0	0
15	0	0	-1	0	1
16	0	-1	0	-1	0
17	-1	0	1	0	0
18	0	0	0	1	1

Çizelge 4.5.4.2. Box-Behnken tasarımına göre sistemler (devam)

Sistem Sayısı	Gizli Katman Sayısı	Gizli Katmandaki Nöron Sayısı	Gizli Katmandaki Geçiş İşlevi	Çıkış Katmanındaki Geçiş İşlevi	Geri Yayılm Algoritması
19	0	0	1	1	0
20	0	0	0	-1	-1
21	0	0	1	-1	0
22	-1	1	0	0	0
23	0	0	0	0	0
24	0	0	-1	0	-1
25	0	-1	1	0	0
26	1	0	-1	0	0
27	0	0	0	0	0
28	0	-1	0	1	0
29	1	-1	0	0	0
30	0	-1	0	0	-1
31	0	0	1	0	-1
32	0	1	0	0	-1
33	0	0	0	1	-1
34	1	0	0	1	0
35	0	0	0	0	0
36	0	-1	-1	0	0
37	-1	-1	0	0	0
38	1	0	1	0	0
39	0	-1	0	0	1
40	0	0	0	0	0
41	1	0	0	0	1
42	-1	0	0	-1	0
43	0	0	1	0	1
44	-1	0	0	1	0
45	0	1	0	0	1
46	1	0	0	-1	0

Tasarım faktörleri -1 (düşük), 0 (orta nokta) ve 1 (yüksek) olarak kodlanmıştır (Çizelge 4.5.4.2). Cevap yüzey metodu, istatistiksel yazılım olan Minitab kullanılarak elde edilen deneysel verilere uygulanmıştır. Regresyon polinom katsayılarını elde etmek için doğrusal, karesel ve etkileşim etkileri analiz edilmiştir. Sonuçlar belirlilik katsayısı (R^2), varyans analizi (ANOVA) ve istatistiksel tepki analizi kullanılarak analiz edilmiştir.



5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

5.1. Sonuçların İstatistiksel Değerlendirilmesi

Bu çalışmada giriş ve çıkış katmanlarındaki nöron sayısı ve geçiş işlevi, geri yayılım algoritması değişkenlerinin yapay sinir ağı tasarımı üzerindeki etkileri Box-Behnken deneysel tasarım yöntemi ile incelenmiştir.

Çalışmanın amacı, sinir ağını oluşturan bağımlı değişkenler için nöron sayısı, işlev ve algoritma yapılarını test ederek en uygun seviyeleri bulmaktır. Çalışma sonunda her bir bağımlı değişken için varyans analizi (ANOVA), regresyon katsayıları, grafiksel sonuçlar ve en uygun düzey sonuçları hesaplanmış ve gösterilmiştir.

Çizelge 5.1.1. Box Behnken tasarımına ilişkin varyans analizi sonuçları

Kaynak	Serbestlik derecesi	Sıralı Kareler Toplamı	Düzeltilmiş Kareler Toplamı	Düzeltilmiş Kare Ortalaması	F Değeri	P (Olasılık)
Regresyon	20	8.17969	8.17969	0.40898	163.22	0.000
Doğrusal	5	0.29383	0.29383	0.05877	23.45	0.000
A	1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00	0.979
B	1	0.00722	0.00722	0.00722	2.88	0.102
C	1	0.26925	0.26925	0.26925	107.45	0.000
D	1	0.01719	0.01719	0.01719	6.86	0.015
E	1	0.00016	0.00016	0.00016	0.06	0.803
Karesel	5	7.81959	7.81959	1.56392	624.12	0.000
A*A	1	0.23969	0.01297	0.01297	5.17	0.032
B*B	1	0.15135	0.00078	0.00078	0.31	0.581
C*C	1	1.08958	0.17639	0.17639	70.39	0.000
D*D	1	6.31424	6.05383	6.05383	2415.95	0.000
E*E	1	0.02474	0.02474	0.02474	9.87	0.004

Çizelge 5.1.1. Box Behnken tasarımına ilişkin varyans analizi sonuçları (devam)

Kaynak	Serbestlik derecesi	Sıralı Kareler Toplamı	Düzeltilmiş Kareler Toplamı	Düzeltilmiş Kare Ortalaması	F Değeri	P (Olasılık)
İkili Etkileşimler	10	0.06627	0.06627	0.00663	2.64	0.024
A*B	1	0.00002	0.00002	0.00002	0.01	0.938
A*C	1	0.00698	0.00698	0.00698	2.79	0.108
A*D	1	0.01914	0.01914	0.01914	7.64	0.011
A*E	1	0.00004	0.00004	0.00004	0.01	0.906
B*C	1	0.00009	0.00009	0.00009	0.04	0.853
B*D	1	0.01901	0.01901	0.01901	7.59	0.011
B*E	1	0.00075	0.00075	0.00075	0.30	0.589
C*D	1	0.01930	0.01930	0.01930	7.70	0.010
C*E	1	0.00017	0.00017	0.00017	0.07	0.799
D*E	1	0.00077	0.00077	0.00077	0.31	0.583
Hata	25	0.06264	0.06264	0.00251		
Uyum Eksikliği	20	0.06225	0.06225	0.00311	39.58	0.000
Hata	5	0.00039	0.00039	0.00008		
Toplam	45	8.24234				

Çizelge 5.1.2. Box Behnken tasarımına ilişkin regresyon katsayıları sonuçları

Terim	β	SH(β)	t-istatistiği	p
Sabit terim	0.997943	0.04026	24.790	<0.001
A	0.016844	0.02465	0.683	0.501
B	-0.016836	0.02465	-0.683	0.501
C	0.138255	0.02465	5.608	0.000
D	-0.015959	0.02465	-0.647	0.523
E	-0.003161	0.02465	-0.128	0.899
A*A	0.044750	0.03338	1.341	0.192
B*B	-0.018401	0.03338	-0.551	0.586
C*C	0.137733	0.03338	4.126	0.000
D*D	-0.813495	0.03338	-24.372	0.000
E*E	-0.056295	0.03338	-1.687	0.104
A*B	-0.001955	0.04930	-0.040	0.969
A*C	0.069545	0.04930	1.411	0.171
A*D	0.069180	0.04930	1.403	0.173
A*E	-0.002980	0.04930	-0.060	0.952
B*C	0.053707	0.04930	1.089	0.286
B*D	0.028169	0.04930	0.571	0.573
B*E	-0.013698	0.04930	-0.278	0.783
C*D	-0.042963	0.04930	-0.871	0.392
C*E	0.006440	0.04930	0.131	0.897
D*E	0.013912	0.04930	0.282	0.780

SH:standart hata, t-istatistiği:ilgili regrasyon katsayısına ilişkin t-testi sonucuna ait değer,
p:testin anlamlılık değeri

(S = 0.0986057 PRESS = 0.971302

R-Sq = 96.99% R-Sq(pred) = 87.98% R-Sq(adj) = 94.58%)

Çizelge 5.1.2. 'de Box Behnken cevap yüzey tasarımına ilişkin regresyon katsayılarına ait sonuçlar gösterilmiştir. Faktörlerin etkileri hesaplanmış, bu sonuçlar varyans analizi (ANOVA) kullanılarak incelenmiş ve hangi faktörlerin deney sonucunda daha etkili olduğu, hangilerinin daha anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına göre bu modele ilişkin doğrusal, karesel ve ikili etkileşimler istatistiksel olarak gösterilmiştir. Katsayıların istatistiksel olarak anlamlı olması koşulu p (olasılık) değerinin 0.05'den küçük olması koşuludur. Yukarıdaki

ANOVA tablosu incelendiğinde elde edilen regresyon denklemi Eşitlik (5.1.1)'de verilmiştir.

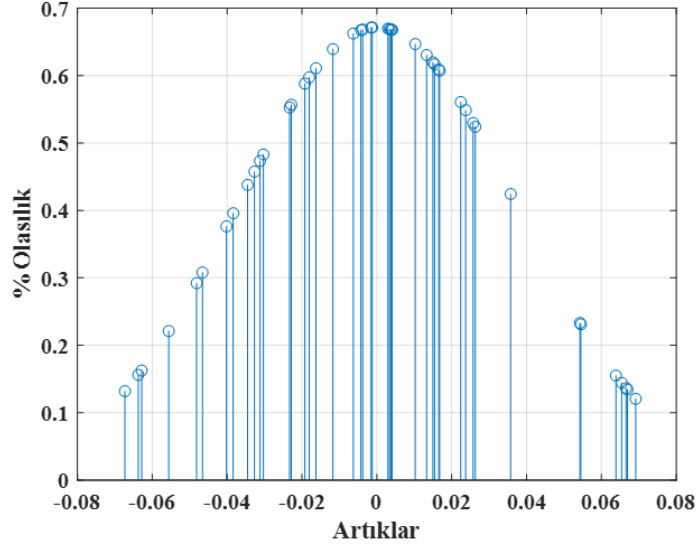
$$\begin{aligned} Y = & 0.9979 + 0.0003A + 0.0212B + 0.1297C + 0.0328D + 0.0032E + \\ & 0.0385A^2 - 0.0095B^2 + 0.1422C^2 - 0.8329D^2 - 0.0532E^2 - 0.0020A*B \\ & + 0.0418A*C + 0.0692A*D - 0.0030A*E - 0.0047B*C + 0.0689B*D - \\ & 0.0137B*E - 0.0695C*D + 0.0064C*E + 0.0139D*E \end{aligned} \quad (5.1.1)$$

%95 güven aralığında (5.1.1) eşitliği aşağıdaki gibi sadeleştirilebilir.

$$\begin{aligned} Y = & 0.9979 + 0.0212B + 0.1297C + 0.0328D + 0.0385A^2 + 0.1422C^2 \\ & - 0.8329D^2 - 0.0532E^2 + 0.0418A*C + 0.0692A*D + 0.0689B*D - \\ & 0.0695C*D \end{aligned} \quad (5.1.2)$$

En uygun YSA yapısını bulmak amacıyla deneysel tasarıma (Box-Behnken) Simplex algoritması uygulanmıştır. Bu amaçla çıkış büyüklüğümüz olan MSE değerini hedef 0 ve en yüksek de %10 olacak şekilde en iyileştirilmiştir. Bu işlem sonucunda MSE değeri en küçük %0 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuca göre deney faktörlerinin A = -1 (1 gizli katman), B = -1 (gizli katmandaki nöron sayısı), C = 0 (logsig), D = 1 (purelin) ve E = -1 (trainlm) seviyeleri en uygun YSA yapısını vermektedir. Bu YSA yapısı daha sonra 9 adet güç sistem bozukluğunun tanısında kullanılmıştır.

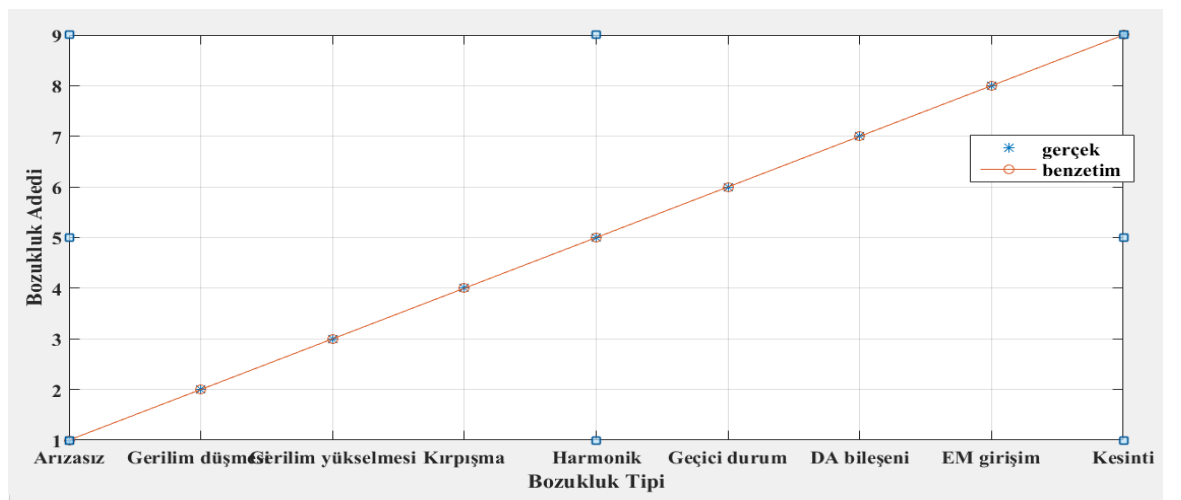
Regresyon denkleminin doğruluğunu kanıtlamak ve normal dağılıma uygunluğunu test amacıyla artıklara (residuals) gauss olasılık yoğunluk işlevi uygulanmıştır. Şekil (5.1.1) artıkların gauss olasılık yoğunluk işlevini göstermektedir. Bu dağılımdan ayrıca iki önemli parametre de (çarpıklık ve basıklık katsayıları) hesaplanmıştır. Çarpıklık değeri, serinin ortalaması etrafında dağılımın asimetri ölçüsü olup + ya da - değerinde olabilir. Bu değer pozitif ise elemanların yapısında asimetrik var demektir. Çarpıklık katsayısı 0.18 olarak hesaplanmıştır ve bu değer %95 güven aralığında ± 1.96 değerleri arasında olduğu görülmektedir ve eğri gauss dağılımı biçimlidir. Basıklık değeri ise dağılımın ortalamadan aşırı sivrilik göstermesini simgelemektedir. Basıklık katsayısı 2.35 olarak hesaplanmıştır ve 3'e yakınlığı ile eğrinin gauss biçimli olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 5.1.1. Artıklara gauss dağılımının uygulanması

5.2. Güç Kalitesi Bozukluklarının Yapay Sinir Ağı İle Sınıflandırılması

Bu çalışmada, 9 adet arıza çıkış katmanından kestirim edilmiştir. Bunun için arızalar MATLAB ortamında oluşturulmuş, arıza matrisi kestirim edilmeye çalışılmıştır. Eğitilen ağ 9 adet arıza verisi ile test edilmiştir (Şekil 5.2.1). Sırasıyla arızasız işaret, gerilim düşmesi, gerilim yükselmesi, kırpışma, harmonik, geçici durum, DA bileşeni, elektromanyetik girişim, anlık kesinti arızaları yapay sinir ağı tarafından başarı ile tespit edilmiştir.



Şekil 5.2.1. YSA kullanılarak 9 adet arızanın sınıflandırma çizelgesi

Box-Behnken yöntemi sınıflandırma aracı olan YSA'nın iyileştirmesinde kullanılmış ve bu sayede çok sayıda YSA denemelerinin önüne geçilmiştir. Tam faktöriyel tasarımı, 5 faktör 3 değişken ile tasarlanan deney toplamda 3^5 adet deney yapımını gerektirirken, kesirli deney tasarımlarından olan Box-Behnken deney tasarımı ile bu sayı 46 adede düşürülmüştür. Bu sayede incelen 9 adet güç kalitesi bozukluğu başarılı bir şekilde ayırt edilmiştir. Dağıtım sistemlerinde enerjinin izlenmesi ve güç kalitesi endekslerinin oluşturulması amacıyla önerilen hesaplama tekniği kullanılabilir.



6. ÖNERİLER

Bu çalışmada ayrık dalgacık dönüşümü, temel bileşenler analizi, işaretin toplam zarfı ve hızlı Fourier dönüşümü yöntemlerinin birlikte kullanılmasıyla güç kalitesi bozukluklarının sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma aşamasında yapay sinir ağı kullanılmış ve ağıın tasarım aşamasında cevap yüzey yöntemlerinden olan Box-Behnken yöntemi kullanılmıştır. Box Behnken deney tasarımı problem çözme ve ürün veya süreç tasarım iyileştirmesi projelerinin ihtiyaçlarını ekonomik olarak karşılayabildiği gözlenmiştir.

Gelecek çalışmalarda güç kalitesi bozukluklarının tespiti ve sınıflandırılması için geliştirilen bu yöntemin, gerçek zamanlı deney düzeneği oluşturularak gerekli donanım ile uygulamasının yapılması önerilebilir.

KAYNAKLAR

- Abraham, A., & Nath, B., 1999. Artificial neural networks for intelligent real time power quality monitoring systems, *International Power & Energy Conference*, 1–6.
- Alshahrani, S., Abbod, M., Alamri, B., & Taylor, G., 2015. Detection and classification of power quality events based on Wavelet Transform and artificial neural networks for Smart Grids. *Power Engineering Conference*, 1–5.
- Andrade, L. C. M. De, Augusto, R., & Fernandes, S., 2015. Adaptive Threshold for Segmentation of Combined Power Quality Disturbances. *PowerTech, IEEE Eindhoven*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/PTC.2015.7232400>
- Axelberg, P. G. V., Gu, I. Y.-H., & Bollen, M. H. J., 2007. Support vector machine for classification of voltage disturbances. *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 22, no. 3, pp. 1297-1303, July 2007 <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2007.900065>
- Balouji, E., & Salor, O., 2017. Classification of power quality events using deep learning on event images. *2017 3rd International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis (IPRIA) IEEE*, (Ipria), 216–221.
- BAŞ, C. 2010. Cevap Yüzeyi Tasarımları ve Sinir Ağları Yaklaşımı. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Baş, D., & Boyacı, İ. H., 2007. Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. *Journal of Food Engineering*. Volume 78, Issue 3, February 2007, 836-845.
- Bhavani, R., & Prabha, R. N., 2017. A Hybrid Classifier for Power Quality (PQ) Problems Using Wavelets Packet Transform (WPT) and Artificial Neural Networks (ANN), *IEEE International Conference on Intelligent Techniques in Control, Optimization and Signal Processing (INCOS)*, Srivilliputhur, 2017, pp. 1-7.
- Bhuiyan, J. U., Tasneem, M., Begum, A., & Alam, M. R., 2017. S-Transform and Mahalanobis Distance Based Approach for Classifying Power Quality Disturbances, *International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)*, February 16-18, Cox's Bazar, Bangladesh.
- Biswal, M., & Dash, P. K., 2013. Detection and characterization of multiple power quality disturbances with a fast S-transform and decision tree based classifier.

Digital Signal Processing. Volume 23, Issue 4, 1071-1083
<https://doi.org/10.1016/j.dsp.2013.02.012>

- Camarillo-Peñaaranda, J. R., & Ramos, G., 2017. Characterization of sags due to faults in radial systems using three-phase voltage ellipse parameters. *2017 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, IAS 2017, 2017-Janua(2)*, 1–6.
- Carley, K. M., Kamneva, N. Y., & Reminga, J., 2004. Response Surface Methodology , CASOS Technical Report. .
- Cevap Yüzey Yöntemi., 2018. https://tr.wikipedia.org/wiki/Cevap_yüzeyi_yöntemi (Ziyaret tarihi: 10 Haziran 2018).
- Chandrasekar, P., & Vijayarajan, K., 2010. Detection and classification of power quality disturbance waveform using MRA based modified wavelet transform and neural networks. *Journal of Electrical Engineering*, 61(4), 235–240.
- Chen, Z. M., Li, M. S., Ji, T. Y., & Wu, Q. H., 2016. Detection and classification of power quality disturbances in time domain using probabilistic neural network. *2016 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, (Mm), 1277–1282. <https://doi.org/10.1109/IJCNN.2016.7727344>
- Chheepa, K., 2017. Power Quality Events Classification using ANN with Hilbert Transform, *International Journal of Emerging Research in Management & Technology* ISSN: 2278-9359 Volume-6, Issue-6 ,June.
- Choong, F., Reaz, M. B. I., & Mohd-Yasin, F., 2005. Power quality disturbance detection using artificial intelligence: A hardware approach. *19th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'05) - Workshop 3 - Volume 04*
- Corp, T., & Gauss, T., 2004. *Fourier analysis* (Vol. 30).
- Dalai, S., Dey, D., Chatterjee, B., Chakravorti, S., & Bhattacharya, K., 2015. Cross-Spectrum Analysis-Based Scheme for Multiple Power Quality Disturbance Sensing Device. *IEEE Sensors Journal*, 15(7), 3989–3997.
- Das, D., Chakravorti, T., & Dash, P. K., 2017. Hilbert huang transform with fuzzy rules for feature selection and classification of power quality disturbances. *2017 4th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Computer and Electronics (UPCON)*, 439–445.
- Debnath, L., 2002. Wavelet Transforms and Their Applications.
- Dehghani, M., Khooban, M. H., & Niknam, T., 2016. Fast fault detection and classification based on a combination of wavelet singular entropy theory and

- fuzzy logic in distribution lines in the presence of distributed generations. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. Volume 78, 455-462
- Devaraj, D., & Rathika, P., 2008. Discrimination of Power Quality disturbances using combined mathematical transforms and Artificial Neural Network. *IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies*, 1134–1139.
- Divya, S., & Uma Rao, K., 2016. Comparative performance of different wavelets in Power Quality disturbance detection and quantification *2nd International Conference on Cognitive Computing and Information Processing, CCI2016*, 1–5.
- Dorf, R. C., 1997. The Electrical Engineering Handbook, Reliability Engineering.
- Dugan, R. C., McGranaghan, M. F., Santoso, S., & Beaty, H. W., 2004. Distributed Generation and Power Quality. *Electrical Power Systems Quality*, 373–435.
- Eğridere, B., 2006. Elektrik Enerji Sistemlerinde Gerilim Kararlılığı Ve İyileştirilmesinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- El-Hawary, M. E. 2016. The Smart Grid State of The Art And Future Trends. *2016 Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*, xvii–xvii.
- Engineering Statistics Handbook. 2018.
<https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pri/section3/pri3362.htm> (Ziyaret Tarihi 9 Mayıs 2018)
- Ferreira, S. L. C., Bruns, R. E., Ferreira, H. S., Matos, G. D., David, J. M., Brandão, G. C., dos Santos, W. N. L., 2007. Box-Behnken design: An alternative for the optimization of analytical methods. *Analytica Chimica Acta*. 597(2):179-86.
- Gardner, M. M., & III, F. W. B., 2000. Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods. *Technometrics*. 309-310.
- Ghiormez, L., Panoiu, M., Panoiu, C., & Pop, C., 2017. Electric Current Prediction for the Nonlinear High Power Loads using Narx Neural Networks. *2017 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT)*, 128–133.
- Ghorbannezhad, P., Bay, A., Yolmeh, M., Yadollahi, R., & Moghadam, J. Y., 2016. Optimization of coagulation–flocculation process for medium density fiberboard (MDF) wastewater through response surface methodology. *Desalination and Water Treatment*. 26916-26931.

- Gilles, J., 2013. Empirical wavelet transform. *IEEE Transactions on Signal Processing*. Volume 61 Issue 16, 3999-4010
- Gu, Y., & Bollen, M. H. J., 2000. Time-frequency and time-scale domain analysis of voltage disturbances. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 15(4):1279 - 1284.
- Guo, H., Zhao, Q., & Han, Y., 2016. Identification of transient power quality disturbances based on FCM. *Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies, DRPT 2015*, (88), 2342–2346.
- Gupta, M., Kumar, R., & Gupta, R. A., 2011. Neural Network Based Indexing and Recognition of Power Quality Disturbances, 9(2).
- Hagan, M. T., & Menhaj, M. B., 1994. Training Feedforward Networks with the Marquardt Algorithm. *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 5, no. 6, pp. 989-993, Nov. 1994. doi: 10.1109/72.329697.
- He, Z., 2016. *Wavelet Analysis and Transient Signal Processing Applications for Power Systems*. 300 syf., ISBN: 978-1-118-97700-2
- He, Z., Lin, S., Deng, Y., Li, X., & Qian, Q., 2014. A rough membership neural network approach for fault classification in transmission lines. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 61, 429–439.
- IEEE., 2009. IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. *IEEE Std 1159-2009 (Revision of IEEE Std 1159-1995)*.
- Ijaz, M., Shafiullah, M., & Abido, M. A., 2015. Classification of power quality disturbances using Wavelet Transform and Optimized ANN. *18th International Conference on Intelligent System Application to Power Systems (ISAP)*,(1), 1–6.
- Islam, M. M., Hossain, M. R., Dougal, R. A., & Brice, C. W., 2016. Analysis of real-world power quality disturbances employing time-frequency distribution. *Clemson University Power Systems Conference, PSC 2016*.
- İstatistiksel Analiz, 2018.
<http://www.statisticssolutions.com/academic-solutions/resources/directory-of-statistical-analyses/anova/> (Ziyaret Tarihi 14 Mayıs 2018)
- Jolliffe, I. T., 2002. Principal Component Analysis, Second Edition. *Encyclopedia of Statistics in Behavioral Science*, 30(3), 487. <https://doi.org/10.2307/1270093>
- Karasu, S., & Baskan, S., 2016. Güç Kalitesi Bozulmalarının Birlikte Çalışma Yöntemi ile Sınıflandırılması *24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU)*, Zonguldak, 2016, pp. 529-532.

- Karayiannis, N. B., Nicolaos B., & Venetsanopoulos, A. N., Anastasios N., 1993. *Artificial neural networks: learning algorithms, performance evaluation, and applications*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-4547-4>
- Koley, E., Shukla, S. K., Ghosh, S., & Mohanta, D. K. 2017. Protection scheme for power transmission lines based on SVM and ANN considering the presence of non-linear loads. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 11(9), 2333–2341. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2016.1802>
- Kumar, R., Singh, B., Shahani, D. T., Chandra, A., & Al-Haddad, K., 2015. Recognition of Power-Quality Disturbances Using S-Transform-Based ANN Classifier and Rule-Based Decision Tree. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51(2), 1249–1258. <https://doi.org/10.1109/TIA.2014.2356639>
- Kumari, K., Dadhich, A. K., & Mahela, O. P., 2016. Detection of power quality disturbances in the utility grid with solar energy using S-transform. *IEEE 7th Power India International Conference (PIICON)*, 1–6.
- Lev-Ari, H., Stanković, A. M., & Lin, S., 2000. Application of staggered undersampling to power quality monitoring. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 15(3), 864–869. <https://doi.org/10.1109/61.871345>
- Li, J., Teng, Z., Tang, Q., & Song, J., 2016. Detection and Classification of Power Quality Disturbances Using Curvelet Transform and Support Vector Machines. *International Conference On Information Communication And Embedded System (ICICES2016)*, 1–11.
- Li, J., Teng, Z., Tang, Q., & Song, J., 2016. Detection and Classification of Power Quality Disturbances Using Double Resolution S-Transform and DAG-SVMs. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 65(10), 2302–2312.
- Liquan, Z., Meijiao, G., & Lin, W., 2017. Classification of multiple power quality disturbances based on the improved SVM. *International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*, 2625–2628.
- Liu, X., & Liu, B., 2015. Recognition of power quality disturbances based on T-S fuzzy logic. *5th International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication, and Control, IMCCC 2015*, (1), 302–305.
- Lundstedt, T., Seifert, E., Abramo, L., Thelin, B., Nyström, Å., Pettersen, J., & Bergman, R., 1998. Experimental design and optimization. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 42 1998 3–40.
- M.K.Elango, A. Nirmal Kumar, & K. Duraiswamy., 2011. Identification of Power

- Quality Disturbances using Artificial Neural Networks, *International Conference on Power and Energy Systems, Chennai*, 2011, pp. 1-6.
- M.K.Elango, & K.Loganathan., 2016. Classification of Power Quality Disturbances Using Stockwell Transform and Back Propagation Algorithm. *International Conference on Emerging Technological Trends [ICETT]*, (August), 18–21.
- Markovska, M., & Taskovski, D., 2017. On the choice of wavelet based features in power quality disturbances classification. *IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, 1–6.
- Markovska, M., & Taskovski, D., 2017. Optimal Wavelet Based Feature Extraction and Classification of Power Quality Disturbances Using Random Forest, 6–8.
- Maryam MoeinDarbari; Hamidreza Pourreza; Mohammad Monfared., 2015. Design of an automated system for detection and classification of power quality disturbances. *5th International Conference on Computer and Knowledge Engineering (ICCKE)*, 2015, 181–186.
- Mejia-Barron, A., Amezcua-Sanchez, J. P., Dominguez-Gonzalez, A., Valtierra-Rodriguez, M., Razo-Hernandez, J. R., & Granados-Lieberman, D., 2017. A scheme based on PMU data for power quality disturbances monitoring. *43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Beijing, 3270-3275.
- Mohan, N., Soman, K. P., & Vinayakumar, R., 2017. Deep Power : Deep Learning Architectures for Power Quality Disturbances Classification. *2017 International Conference on Technological Advancements in Power and Energy (TAP Energy)*, 1–6.
- Monteiro, D. A., Zvietcovich, W. G., & Braga, M. F., 2009. Detection and Classification of Power Quality Disturbances Using Wavelet Transform and Support Vector Machines. *Electric Power Components and Systems*, 38(2), 182–196. <https://doi.org/10.1080/15325000903273387>
- Montgomery, D. C., 2003. *Applied Statistics and Probability for Engineers* Third Edition. Phoenix USA.
- Moravej, Z., Abdoos, A. A., & Pazoki, M. 2009. Detection and Classification of Power Quality Disturbances Using Wavelet Transform and Support Vector Machines, *Electric Power Components and Systems*, 38:2, 182-196,
- Mustafa ATASAL., 2000. Güç Kalitesi ve Fliker, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik

Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

- Naik, C. A., & Kundu, P., 2013. Power quality disturbance classification employing S-transform and three-module artificial neural network. *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Electrical Engineering*, 36(E1), 51–66. <https://doi.org/10.1002/etep>
- Nalini, P & Selvi, K., 2016. Emerging time and frequency domain techniques for power quality disturbances analysis. 1-6. 10.1109/ISCO.2016.7727143.
- Nway, N., Win, K., Zin, T., & Tun, H. M., 2015. Comparison Of Power Quality Disturbances Classification Based On Neural Network. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 4(07), 97–103.
- Ozgonenel, O., Yalcin, T., Guney, I., & Kurt, U., 2013. A new classification for power quality events in distribution systems. *Electric Power Systems Research*. <https://doi.org/DOI 10.1016/j.epsr.2012.09.007>
- Perez, R. S., Oviedo, A. C., Camarillo-peñaranda, J., & Ramos, G., 2016. A Novel Fault Classification Method Using Wavelet Transform and Artificial Neural Networks. *IEEE, In Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*, 17th International Conference, 1–6.
- Pozzebon, G. G., Peña, G. G., Gonçalves, A. F. Q., & Machado, R. Q., 2010. Neural Classification of Power Quality Disturbances: An Application of the Wavelet Transform and Principal Component Analysis. *9th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications - INDUSCON 2010, Sao Paulo*, 1-6.
- Pune, W., S. Jagtap, S., & Puranik, V., 2016. Identification and Sorting of Power Quality Disturbances Using Signal Processing with GUI, 60–63.
- Puthenpurakel, S. P., & Subadhra, P. R., 2016. Identification and classification of microgrid disturbances in a hybrid distributed generation system using wavelet transform. *International Conference on Next Generation Intelligent Systems (ICNGIS)*, 1–5.
- Rao, S. S., 2009. Engineering Optimization Theory and Practice Third Edition.
- Raptis, T. E., Vokas, G. A., Langouranis, P. A., & Kaminaris, S. D., 2015. Total Power Quality Index for Electrical Networks Using Neural Networks. *Energy Procedia*, 74, 1499–1507.
- Rodríguez, A., Aguado, J. A., López, J. J., Martín, F., Muñoz, F., & Ruiz, J. E., 2003. Time-Frequency Transforms for Classification of Power Quality Disturbances. <https://doi.org/10.5772/15397>

- Rodríguez, A., Aguado, J., Martín, F., Muñoz, J., Medina, M., & Ciumbulea, G., 2010. Classification of power quality disturbances using Wavelet and Artificial Neural Networks. *Industrial Electronics ISIE 2010 IEEE International Symposium On*, 1589–1594.
- Satao, S. R., & Kankale, R. S., 2016. A new approach for classification of power quality events using S-Transform. *International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA)*, 1–4.
- Saxena, D., & Verma, K., 2012. Wavelet transform based power quality events classification using artificial neural network and SVM. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 4(1), 87–96.
- Sharma, A. K., Mahela, O. P., & Ola, S. R., 2017. Detection of power quality disturbances using discrete wavelet transform. *5th International Conference on Electrical Engineering - Boumerdes (ICEE-B)*, 1–5.
- Shilpa, R., Prabu, S. S., & Puttaswamy, P. S., 2015. Analysis of Three Phase Power Quality Disturbances. *International Conference on Emerging Research in Electronics, Computer Science and Technology*, 1–5.
- Shlens, J., 2014. A Tutorial on Principal Component Analysis.
- Silva, I. N., Hernane Spatti, D., Andrade Flauzino, R., Liboni, L. H. B., & dos Reis Alves, S. F., 2017. *Artificial Neural Networks. IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-43162-8>
- Simpleks Algoritma., 2018. http://nptel.ac.in/courses/105108127/pdf/Module_3/M3L3_LN.pdf (Ziyaret Tarihi: 13 Haziran 2018)
- Simpleks Yöntemi., 2018. <http://mathworld.wolfram.com/SimplexMethod.html> (Ziyaret Tarihi: 13 Haziran 2018)
- Singh, U., & Singh, S. N., 2017. Application of fractional Fourier transform for classification of power quality disturbances. *IET Science, Measurement & Technology*, 11(1), 67–76. <https://doi.org/10.1049/iet-smt.2016.0194>
- Thirumala, K., Maganuru, S. P., Jain, T., & Umarikar, A., 2016. Tunable-Q Wavelet Transform and Dual Multiclass SVM for Online Automatic Detection of Power Quality Disturbances. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(4), 1–1.
- Thirumala, K., Umarikar, A. C., & Jain, T., 2016. A generalized empirical wavelet transform for classification of power quality disturbances. *IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON)*, 1–5.

- Thirumala, K., Umarikar, A. C., & Jain, T., 2016. A generalized empirical wavelet transform for classification of power quality disturbances. *IEEE International Conference on Power System Technology, POWERCON 2016*.
- Tuljapurkar, M., & Dharme, A. A., 2014. Wavelet Based Signal Processing Technique for Classification of Power Quality Disturbances. *Fifth International Conference on Signal and Image Processing*, 337–342.
- Uçar, F., Alçın, Ö. F., Dandil, B., & Ata, F., 2016. Machine Learning Based Power Quality Event Classification Using Wavelet - Entropy and Basic Statistical Features. *2016 21st International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR)*, 414–419.
- Vidal, R., Ma, Y., & Sastry, S. S., 2016. *Generalized Principal Component Analysis. Book* (Vol. 40).
- Wang, M., & Mamishev, A. V., 2004. Classification of Power Quality Events Using Optimal Time-Frequency Representations; Part 1: Theory. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 19(3), 1488–1495.
- Yetilmezsoy, K., Ilhan, F., Sapci-Zengin, Z., Sakar, S., & Gonullu, M. T., 2009. Decolorization and COD reduction of UASB pretreated poultry manure wastewater by electrocoagulation process: A post-treatment study. *Journal of Hazardous Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.05.015>
- Yolmeh, M., & Jafari, S. M., 2017. Applications of Response Surface Methodology in the Food Industry Processes. *Food and Bioprocess Technology*. Volume 10, Issue 3, 413–433. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1855-2>.
- Shen Y., Wu H., Liu G., Liu H., Zhang H., & Xia W., 2014. Study on identification of power quality disturbances based on compressive sensing. *Proceeding of the 11th World Congress on Intelligent Control and Automation*, 5550–5555.
- Zhang, J., Zeng, P. P., Ma, J., & Wu, J. H., 2015. Classification of power-quality disturbances using PSO-MP and parametric dictionaries. *International Conference on Intelligent Computing and Internet of Things, ICIT 2015*, 21–25.
- Zhao, L., Liu, X., & Fu, G., 2016. Identification of power quality disturbances based on improved TT transform and support vector classifier. *IEEE 8th International Power Electronics and Motion Control Conference, IPEMC-ECCE Asia 2016*, 416–420.

EKLER

EK 1: Doğrusal Cebir

A. Dikey matrisin tersi, matrisin transpozuna eşittir.

$$A^{-1} = A^T$$

$m \times n$ boyutlu bir A matrisi için

$$A = [a_1 \ a_2 \dots \ a_n]$$

Burada a_i , i 'ninci sütun vektörüdür. $A^T A = I$ ve I birim matristir.

$A^T A$ 'nın ij 'ninci elemanı $(A^T A)_{ij} = a_i^T a_j$ dir.

Ortonormal matriste herhangi iki sütunun iç çarpımı (kendi belirli sütunları hariç) sıfırdır.

$$(A^T A)_{ij} = a_i^T a_j = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases}$$

Birim matrisin tanımı $A^T A$ olduğundan ve $A^{-1} A = I$ eşitliğinden $A^{-1} = A^T$ yazılabilir.

B. Herhangi bir A matrisi için, $A^T A$ ve AA^T simetriktir.

$$(AA^T)^T = A^{TT} A^T = AA^T$$

$$(A^T A)^T = A^T A^{TT} = A^T A$$

C. Bir matris dikey olarak köşegenleştirilebilir ise simetriktir.

Eğer A dikey olarak köşegenleştirilebilirse, A matrisi simetriktir. Dikey olarak köşegenleştirilebilen matriste, $A = EDE^T$ gibi, D köşegen matrisi ve A matrisini köşegenleştirebilen E gibi özel bir matris bulunur.

$$A^T = (EDE^T)^T = E^{TT} D^T E^T = EDE^T = A$$

Burada A matrisi dikey olarak köşegenleştirilebilirse, aynı zamanda da simetrik olmak zorundadır.

D. Simetrik bir matris, ortonormal özvektörlerin bir matrisi ile köşegenleştirilir.

A , $\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ özvektörleri ile ilişkili $n \times n$ boyutlu simetrik kare bir matris olsun. $E = [e_1 \ e_2 \ \dots \ e_n]$ matrisinin i 'ninci sütunu e_i özvektörüdür. Bu teorem $A = EDE^T$ eşitliğindeki simetrik matris için köşegenleştiren E matrisinin nasıl bulunacağını açıklar. Buna göre, köşegenleştiren matris orijinal matrisin özvektörleridir.

Bu teoremin kanıtı için ilk olarak simetrik olması gerekmeyen herhangi bir A matrisi ele alınabilir. Matrisin özvektörleri $E = [e_1 \ e_2 \ \dots \ e_n]$ ve ii' ninci yerde i' ninci özdeğer bulunan D köşegen matrisidir.

$$AE = [Ae_1 \ Ae_2 \ \dots \ Ae_n]$$

$$ED = [\lambda_1 e_1 \ \lambda_2 e_2 \ \dots \ \lambda_n e_n]$$

$AE = ED$ ise, tüm i değerleri için $Ae_i = \lambda_i e_i$ ' dir ve bu eşitlik özdeğer eşitliğidir.
($A = EDE^{-1}$)

İkinci olarak, bir simetrik matris her zaman dikey özvektörleri mevcuttur. e_1 ve e_2 özvektörleri için λ_1 ve λ_2 özdeğerleri olduğu kabul edilirse;

$$\lambda_1 e_1 \cdot e_2 = (\lambda_1 e_1)^T e_2$$

$$= (Ae_1)^T e_2$$

$$= e_1^T A^T e_2$$

$$= e_1^T Ae_2$$

$$= e_1^T (\lambda_2 e_2)$$

$$\lambda_1 e_1 \cdot e_2 = \lambda_2 e_1 \cdot e_2$$

Son eşitliğe göre $(\lambda_1 - \lambda_2)e_1 \cdot e_2 = 0$ eşitliği yazılabilir. Özdeğerlerin farklı olduğunu varsaydığımız için, $e_1 \cdot e_2 = 0$ olması gerekir. Bu nedenle, bir simetrik matrisin özvektörleri dikeydir.

E dikey matrisi için $E^T = E^{-1}$ ve buradan $A = EDE^T$ eşitliği elde edilir. Buna göre bir simetrik matris özvektörleri tarafından köşegenleştirilebilir.

EK 2: YSA’da kullanılan Veri Listesi

A. Yapay sinir ağında kullanılan 9 adet bozukluk için eğitim verileri:

Min (neg)	Max (neg)	Min (top)	Max (top)	xr 9	xr 8	xr 7	xr 6	xr 3	xr 2	xr 1	inx 1	inx 2	Say1	Bozukluk2
-1	-0.9	0	0	0.2015	0.8403	0.0002	0	0	0	0	0	0	8	1
-1	-0.8	0	0	9.0016	0.7728	0.0029	0	0	0	0	0	0	8	1
-1	-0.7	0	0	3.0036	4.3619	0.0029	0	0	0	0	0	0	8	1
-1	-0.6	0	0	13.7611	3.9454	0.0073	0.0001	0	0	0	0	0	8	1
-1	-0.5	0	0	8.4519	8.1354	0.0071	0.0001	0	0	0	0	0	8	1
-1	-0.4	0	0	61.1983	3.3015	0.0016	0.0001	0	0	0	0	0	8	1
-1	-0.3	0	0	5.8455	16.9588	0.0071	0.0001	0	0	0	0	0	8	1
-1	-0.2	0	0	10.2024	15.6431	0.0011	0.0001	0	0	0	0	0	8	1
-1	-0.1	0	0	70.4505	5.5218	0.0022	0.0001	0	0	0	0	0	8	1
-1.1	-0.9997	0	0	0.206	1.0556	0.0002	0	0	0	0	0	0	1	0
-1.2	-1	0	0	11.9038	1.1995	0.0042	0	0	0	0	0	0	8	0
-1.3	-1	0	0	4.6938	8.4231	0.0049	0.0001	0	0	0	0	0	8	0
-1.4	-1	0	0	38.4155	7.7838	0.0017	0.0001	0	0	0	0	0	8	0
-1.5	-1	0	0	11.4169	31.2459	0.0013	0.0002	0	0	0	0	0	8	0
-1.6	-1	0	0	20.4248	46.2647	0.0023	0.0003	0	0	0	0	0	8	0
-1.7	-1	0	0	15.1373	83.5485	0.0021	0.0003	0	0	0	0	0	8	0
-1.8	-1	0	0	76.0916	71.6029	0.0063	0.0007	0	0	0	0	0	8	0
-1.9	-1	0	0	53.0439	35.0934	0.0053	0.0009	0	0	0	0	0	8	0
-1.0383	-0.9045	-0.1201	0.192	0.047	0.0019	0	0	0	0	0	3	1	4	0
-1.0741	-0.8102	-0.2359	0.3837	0.1139	0.0053	0.0001	0	0	0	0	3	1	4	0

Min (neg)	Max (neg)	Min (top)	Max (top)	xr 9	xr 8	xr 7	xr 6	xr 3	xr 2	xr 1	inx 1	inx 2	Say1	Bozuk luk2
-1.2356	-0.7067	-0.5049	0.3688	10.6411	0.2024	0.0004	0	0	0	0	2	2	8	0
-1.3999	-0.6721	-0.7161	0.7278	2.3518	0.0518	0.0007	0	0	0	0	2	1	9	0
-1.4992	-0.659	-0.7348	0.8316	25.2324	0.2672	0.0011	0	0	0	0	2	1	9	0
-1.4385	-0.4426	-1.0341	1.083	0.7635	0.7054	0.0007	0	0	0	0	1	3	8	0
-1.6918	-0.4672	-1.0008	1.1025	45.6975	5.1056	0.0006	0	0	0	0	2	2	9	0
-1.579	-0.3202	-1.3293	0.9961	18.0583	2.5976	0.0021	0.0001	0	0	0	1	3	8	0
-1.8581	-0.1939	-1.6399	1.6482	13.1039	0.7624	0.0031	0.0001	0.0001	0.0001	0	1	3	9	0
-1.0481	-1	0	0	0.4224	1.0294	0.1375	0.4774	0	0	0	0	0	4	0
-1.1136	-1	0	0	71.6485	1.7803	0.1018	3.3311	0	0	0	0	0	8	0
-1.1408	-1	-0.019	0	0.1646	0.7022	0.4362	0.2938	0	0	0	0	0	0	0
-1.1965	-0.9999	0	0	13.4314	0.2084	1.0823	3.6135	0	0	0	0	0	8	0
-1	-0.928	-0.019	0	4.5443	0.5901	0.663	0.3697	0	0	0	0	0	8	0
-1.0765	-1	-0.019	0	6.7553	0.636	0.623	2.1452	0.0001	0	0	0	0	8	0
-1.2333	-1	-0.019	0	1.0868	1.6798	0.1498	2.6947	0	0	0	0	0	8	0
-1.2408	-1	0	0	7.1692	0.2107	0.7138	2.6932	0	0	0	0	0	8	0
-1.0439	-1	-0.019	0	0.1108	0.4822	0.1636	0.0584	0	0	0	0	0	0	0
-1.2264	-1	0	0.0289	0.3322	0.175	0.0015	0.0001	0.0875	0	0	0	0	5	0
-1.2279	-1	0	0.0246	0.1417	0.2396	0.0006	0	0.504	0.0116	0	0	0	4	0
-1.2337	-1	0	0.019	0.246	0.0546	0.0004	0.0001	0.0001	0.0875	0	0	0	5	0
-1.2279	-1	0	0.0227	0.2084	0.0931	0.0005	0	0.0001	0.0827	0.0008	0	0	5	0
-1.228	-0.9999	0	0.0246	0.0368	0.08	0.0002	0.0001	0	0.403	0.0116	0	0	4	0
-1.2327	-1	0	0.0208	0.7237	0.1087	0.0002	0.0001	0.0876	0	0	0	0	5	0
-1.2294	-1	0	0.0251	0.513	0.141	0.0001	0.0000	0.050	0.011	0	0	0	5	0
-1.2294	-1	0	0.0207	0.0661	0.0933	0.0003	0	0.0001	0.0875	0	0	0	4	0

Min (neg)	Max (neg)	Min (top)	Max (top)	xr 9	xr 8	xr 7	xr 6	xr 3	xr 2	xr 1	inx 1	inx 2	Say1	Bozuk luk2
-1.2185	-0.9998	0	0.0336	0.0556	0.1282	0.0003	0.0001	0.0001	0.0827	0.0008	0	0	4	0
-1	-0.8973	0	0.2105	0.0031	0.0003	0	0	0	0	0	4	0	4	0
1	-0.8977	0	0.2098	0.0005	0.0009	0	0	0	0	0	4	0	4	0
-1	-0.8982	0	0.2089	0.0008	0.0003	0	0	0	0	0	4	0	4	0
-1	-0.8971	0	0.211	0.0061	0.0008	0	0	0	0	0	4	0	4	0
-1	-0.8641	0	0.2789	0.0041	0.0008	0	0	0	0	0	4	0	4	0
-1	-0.8628	0	0.2815	0.0076	0.0012	0	0	0	0	0	4	0	4	0
-1	-0.8628	0	0.2815	0.0076	0.0011	0	0	0	0	0	4	0	4	0
-1	-0.8283	0	0.3521	0.0089	0.0016	0	0	0	0	0	4	0	4	0
-1	-0.8292	0	0.3503	0.0002	0.0009	0	0	0	0	0	4	0	4	0
-1.1999	-1	0	0	0.0061	0.0004	0	0	0	0.0475	0.0299	0	0	0	0
-1.1999	-1	0	0	0.0291	0.0016	0	0	0	0.0475	0.0299	0	0	0	0
-1.3	-1	0	0	0.0073	0.0009	0	0	0	0.0475	0.1514	0	0	0	0
-1.3	-1	0	0	0.0276	0.0045	0	0	0	0.0475	0.1514	0	0	0	0
-1.2999	-1	0	0	0.1646	0.0426	0.0004	0	0	0.0475	0.0322	0	0	0	0
-1.3	-1	0	0	0.2708	0.0307	0.0004	0	0	0.0475	0.0322	0	0	2	0
-1.3997	-1	0	0	0.022	0.0118	0	0	0	0.0475	0.4784	0	0	0	0
-1.4	-1	0	0	0.0121	0.0138	0	0	0	0.0475	0.4784	0	0	0	0
-1.4996	-1	0	0	0.048	0.0141	0	0	0	0.0475	1.168	0	0	0	0
-1	-0.1	0	0	3.3285	23.8367	0.0041	0.0001	0	0	0	0	0	8	0
-1	0	0	0	3.6275	24.7503	0.0034	0.0001	0	0	0	0	0	8	0
-1	0	0	0	11.7663	16.358	0.0113	0.0001	0	0	0	0	0	8	0
-1	0	0	0	12.5835	16.6028	0.0116	0.0001	0	0	0	0	0	8	0
-1	0	0	0	13.1408	5.2978	0.0227	0.0001	0.0001	0	0	0	0	8	0

Min (neg)	Max (neg)	Min (top)	Max (top)	xr 9	xr 8	xr 7	xr 6	xr 3	xr 2	xr 1	inx 1	inx 2	Say1	Bozukluk2
-1	0	0	0	62.486	6.155	0.0222	0.0001	0	0	0	0	0	8	0
-1	0	0	0	140.6471	1.2317	0.0186	0.0001	0.0003	0.0002	0.0002	0	0	8	0
-1	0	0	0	44.1126	10.9514	0.0201	0.0001	0	0	0	0	0	8	0
-1	0	0	0	86.6459	9.8681	0.0238	0.0001	0	0	0	0	0	8	0
-1	-0.9999	0	0	0.023	0.0058	0.0002	0	0	0	0	0	0	0	0
-1	-1	0	0	0.2098	0.059	0	0	0	0	0	0	0	8	0
-1	-1	0	0	0.0188	0.0029	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1	-1	0	0	0.0123	0.0018	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1	-0.9999	0	0	0.0271	0.0097	0.0004	0	0	0	0	0	0	0	0
-1	-1	0	0	0.0113	0.0017	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1	-1	0	0	0.0131	0.0021	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1	-1	0	0	0.0108	0.0016	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

B. Yapay sinir ağında kullanılan 9 adet bozukluk için test verileri:

Min (neg)	Max (neg)	Min (top)	Max (top)	xr 9	xr 8	xr 7	xr 6	xr 3	xr 2	xr 1	inx 1	inx2	Say 1	Bozukluk2
-1	-0.9	0	0	0.6611	0.4826	0.0005	0	0	0	0	0	0	8	1
-1.1	-1	0	0	0.7581	0.6118	0.0006	0	0	0	0	0	0	8	0
-1.0959	-0.9999	-0.1947	0.0259	0.0172	0.0005	0	0	0	0	0	0	3	4	0
-1.1029	-1	-0.0514	0	7.4131	0.7666	7.1731	0.1503	0.0001	0	0	0	1	8	0
-1.2284	-1	0	0.0228	0.0914	0.0694	0.0003	0	0	0.402	0.0117	0	0	4	0
-1	-0.8289	0	0.3508	0.0039	0.0006	0	0	0	0	0	4	0	4	0
-1.5	-1	0	0	0.463	0.101	0.0012	0	0.0001	0.3669	0.2485	0	0	8	0
-1	0	0	0	21.6999	17.9276	0.0003	0	0	0	0	0	0	4	0
-1	-1	0	0	0.0001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ÖZGEÇMİŞ

KÜBRA NUR AKPINAR

Öğrenim Bilgisi

- 2005-2009 KARAMÜRSEL ANADOLU LİSESİ
- 2009-2014 GEDİZ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE MİMARLIK FAKÜLTESİ/ELEKTRİK-
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ/ELEKTRİK-
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ PR. (İNGİLİZCE) (TAM BURSLU)
- 2015-2018 ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ/ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ (YL) (TEZLİ)



Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında (proceedings) basılan bildiriler:

1. AKPINAR KÜBRA NUR, ÖZDEMİR MUAMMER (2017). Comparison of Wind Power Integration Grid Codes of Various Countries. International Conference on Engineering Technologies (ICENTE'17) (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3687214)
2. AKPINAR KÜBRA NUR (2017). Performance Analysis of Wind Speed Prediction Using Artificial Neural Network for Several Simulation Programs. First International Conference on Energy Systems Engineering(ICESE 17) (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3644448)
3. AKPINAR KÜBRA NUR, ÖZDEMİR MUAMMER (2017). Cost Analysis Simulation Program of Wind Power Generation Plants. First International Conference on Energy Systems Engineering(ICESE 17) (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3644435)
4. AKPINAR KÜBRA NUR (2017). Çeşitli Ülkelerin Rüzgâr Santrallerinin Şebekeye Bağlanış Biçimlerinin Karşılaştırılması. 6. TURKISH WIND ENERGY CONGRESS (TUREK'17) (Tam Metin Bildiri/Davetli Konuşmacı)(Yayın No:3644457)
5. AKPINAR KÜBRA NUR, ÖZDEMİR MUAMMER (2017). Investigation of Grid Codes of Different Countries Grid Connected Photovoltaic Systems. International Conference on Advanced Engineering Technologies(ICADET 17) (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3591994)
6. AKPINAR KÜBRA NUR, BİLÜ Ayşe Ceyda, KEKEZOĞLU BEDRİ (2017). MATLAB GUI Model for PV System Feasibility of a House Electricity Consumption in Turkey. 3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3860864)
7. AKPINAR KÜBRA NUR, ERDOĞAN AYŞE CEYDA, ÇALI ÜMİT (2014). Development of a Techno-Economic Simulation Model for Solar Photovoltaic-Wind Hybrid Power Systems. 4th International 100% Renewable Energy Conference (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3442945)

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler:

1. AKPINAR KÜBRA NUR,ÖZGÖNENEL OKAN,KARAGÖL SERAP (2016). Yapay Sinir Ağı Kullanarak Trafo Sağlık Endeksi Tahmini. ELECO'16 (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3442950)
2. AKPINAR KÜBRA NUR,ÖZGÖNENEL OKAN (2018). Güç Kalitesi Bozukluklarının Yapay Sinir Ağı İle Sınıflandırılması. ELECO'18 (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)

Üniversite Dışı Deneyim

- 2013 DEBRECEN UNIVERSITY (Erasmus)
- 2018 UNIVERSITY OF NOTTINGHAM (Erasmus)