



**GÜÇ SİSTEMİ SINYAL ÖRNEKLERİNDEN DERİN ÖĞRENME İLE
HARMONİK KESTİRİMİ İÇİN ELEKTRİK ARK OCAĞI AKIMLARININ
İSTATİSTİKSEL MODELLENMESİ**

Nagihan SEVEROĞLU KÜÇÜK

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2020

Nagihan SEVEROĞLU KÜÇÜK tarafından hazırlanan “GÜÇ SİSTEMİ SİNYAL ÖRNEKLERİNDEN DERİN ÖĞRENME İLE HARMONİK KESTİRİMİ İÇİN ELEKTRİK ARK OCAĞI AKIMLARININ İSTATİSTİKSEL MODELLENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Özgül SALOR-DURNA

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....

Başkan: Doç. Dr. Murat GÖL

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Işık ÇADIRCI

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Hasan Şakir BİLGE

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Ramazan BAYINDIR

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 28/07/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Nagihan SEVEROĞLU KÜÇÜK

28/07/2020

GÜÇ SİSTEMİ SİNYAL ÖRNEKLERİNDEN DERİN ÖĞRENME İLE HARMONİK
KESTİRİMİ İÇİN ELEKTRİK ARK OCAĞI AKIMLARININ İSTATİSTİKSEL
MODELLENMESİ
(Doktora Tezi)

Nagihan SEVEROĞLU KÜÇÜK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Temmuz 2020

ÖZET

Bu doktora tezinde, güç sistemlerindeki harmonik bileşenlerin analizi için Derin Öğrenme (DÖ) tabanlı yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntemin amacı, herhangi bir öznitelik hesaplanmasına ihtiyaç duyulmadan, doğrudan gerilim ya da akım dalgasının örnekleri kullanılarak harmoniklerin kestirilmesidir. Önerilen yöntemde, harmonik genliklerin kestirilmesine odaklanan araştırma çalışmalarının çoğundan farklı olarak harmonik bileşenlerin hem genliklerinin hem de fazlarının kestirilmesi hedeflenmiştir. Böylece, yöntemin aktif süzgeç gibi modern güç sistemi kompanzasyon cihazlarına hizmet etmesi mümkündür. Tez çalışmasının bir diğer amacı da, DÖ sistemlerindeki büyük eğitim verisi ihtiyacını karşılamak üzere gerçeğe yakın yüksek miktarda sentetik akım ya da gerilim verisi oluşturan bir yöntem geliştirmektir. Çalışma kapsamında elektrik iletim sisteminin Elektrik Ark Ocağı (EAO) fabrikalarını besleyen transformatör merkezlerinden toplanan akım ve gerilim örnekleri kullanılmıştır. EAO zamanda hızlı değişen yüksek miktarda karakteristik ve karakteristik olmayan akım harmonikleri oluşturan özel bir yük türüdür. DÖ sistemini eğitmek için ihtiyaç duyulan veri miktarı, saha verisinin harmonik istatistikleri çıkartılıp, oluşturulan bu istatistiklere uygun olarak üretilen sentetik veriyle sağlanmıştır. Dolayısıyla EAO harmoniklerinin genlik ve fazlarının dağılım modeli de elde edilmiştir. Böylece, önerilen kestirim işlemi sürecinde herhangi bir zaman veya frekans özelliği hesaplanmadan, doğrudan dalga formunu kullanarak EAO akımlarının harmoniklerinin kestirimi sağlanmaktadır. EAO akımlarının dökümden-döküme süresinde elde edilen istatistiklere dayanarak büyük miktarlarda ve gerçeğe uygun zamanda hızlı değişen harmoniklere sahip EAO akım verileri üretilmiş ve önerilen DÖ sistemi kullanılarak harmonik analizi yapılmıştır. Önerilen yöntemin bir kompanzasyon sistemine uyarlanabilirliğinin gösterilebilmesi için, benzetim ortamında harmonik eleme için kullanılarak aktif süzgeçe uyarlanma başarımı da gösterilmiştir.

Bilim Kodu : 90524
Anahtar Kelimeler : Harmonik Kestirimi, Derin Öğrenme, Evrişimsel Sinir Ağı, Elektrik Ark Ocağı
Sayfa Adedi : 90
Danışman : Prof. Dr. Özgül SALOR-DURNA

STATISTICAL MODELING OF ELECTRIC ARC FURNACE CURRENTS FOR
HARMONIC ESTIMATION FROM POWER SYSTEM SIGNAL SAMPLES USING
DEEP LEARNING FRAMEWORK

(Ph. D. Thesis)

Nagihan SEVEROĞLU KÜÇÜK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2020

ABSTRACT

In this dissertation, a new method is developed for the analysis of harmonic components in the power system using a Deep Learning (DL) framework. The method aims to estimate harmonics by supplying the DL system with the current or voltage samples directly, without computing any features from the data. The proposed method computes both the amplitudes and phases of the harmonics in contrast to many harmonic estimation methods listed in the literature, which focus on amplitudes only. Hence, the proposed method can serve reference signals to the modern compensation systems in a power grid, such as active power filters. Another aim of the thesis work is to develop a method to generate synthetic but realistic current or voltage waveform samples to satisfy the big data needs of the DL framework. Field data for this work is collected from a transformer substation supplying Electric Arc Furnace (EAF) plants. EAF is a special load of the power system which draws highly time-varying harmonics at both characteristic and uncharacteristic frequencies. Synthetic signals to train the DL framework have been generated based on the amplitude and phase statistics of the field data, which is much smaller in size than the required by DL. Therefore, amplitude and phase distribution models of the EAF harmonics have also been obtained through the thesis work. Hence, EAF harmonic amplitudes and phases are estimated directly from the waveform samples without computing any features in time or frequency domain. Based on a single EAF tap-to-tap time data, synthetic but realistic EAF data with time-varying harmonics is generated for training the DL framework and EAF harmonics are estimated from field data. The applicability of the developed system to possible active filtering applications has also been demonstrated by active filtering the estimated harmonics from the field data in the simulation environment.

Science Code : 90524

Key Words : Harmonic Estimation, Deep Learning, Convolutional Neural Network,
Electric Arc Furnace

Page Number : 90

Supervisor : Prof. Dr. Özgül SALOR-DURNA

TEŞEKKÜR

Uzun ve zorlu tez çalışmalarım boyunca yoğun mesaisine rağmen, rehberliğini ve ilgisini hiç esirgemeyen, bana kattığı her şey için ve en önemlisi sınırsız sabrı ve anlayışı için çok değerli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Özgül SALOR-DURNA'ya en içten şükran ve saygılarımı sunmak isterim.

Bilgi ve deneyimlerini paylaşan jüri üyesi hocalarıma teşekkür ederim.

Her ne kadar birbirimize uzak olsak da bu süreçte sağladıkları destek ve paylaşımları için dostlarım Ayşegül ve Burcu'ya teşekkür ederim.

Beni çok sevdiklerini ve daima bana güvendiklerini bildiğim yanımdan hiç eksik olmayan annem Ayşe, babam Selman ve halam Şükran'a teşekkür ederim. Bana verdiği sonsuz güven ve sevgi için canım abim Metehan'a teşekkür ederim.

Son olarak hayatımın en kıymetli varlığı biricik kızım Ece'ye ve hayatımı huzurlu kılan, çalışmalarım boyunca bana güç veren, gösterdiği hoşgörü ve sabrıyla desteğini bir an olsun eksik etmeyen sevgili eşim Sefa'ya yürekten teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. ELEKTRİK ARK OCAKLARI	13
3. DERİN ÖĞRENME	17
3.1. Algılayıcı (Perceptron).....	18
3.2. Çok Katmanlı Algılayıcı (Multi Layer Perceptron)	19
3.3. Evrişimsel Sinir Ağları (Convolutional Neural Network).....	20
3.3.1. Evrişim katmanı	20
3.3.2. Aktivasyon katmanı	23
3.3.3. Alt Örnekleme Katmanı (Pooling layer)	25
3.3.4. Tam bağlı katman (Fully-connected layer)	26
3.3.5. Softmax fonksiyonu	27
3.4. Maliyet Fonksiyonu, Geri Yayılım Algoritması ve Olasılıksal Eğitim Düşümü .	27
3.5. Hiper Parametreler	28
3.6. Bölüm Özeti	30
4. DERİN ÖĞRENME YÖNTEMİ İLE HARMONİK ANALİZİ	31
4.1. Problemin Matematiksel Modeli	31

	Sayfa
4.2. Önerilen ESA Modeli.....	34
4.3. EAO Akım Harmoniklerinin İstatistiksel Olarak İncelenmesi.....	39
4.4. Faz Düzenlemesi	49
4.5. Bölüm Özeti.....	49
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	51
5.1. Sentetik Veri Kümeleri Kullanılarak Yapılan Analizler.....	51
5.1.1. Sabit temel frekans için sonuçlar (VK-1).....	53
5.1.2. Temel frekans sapması için sonuçlar (VK-2).....	56
5.1.3. Önerilen yöntemin aktif süzgeç olarak kullanılması	60
5.2. Saha Verileri Kullanılarak Yapılan Analizler.....	64
5.3. Bölüm Özeti.....	74
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR	83
EKLER.....	87
EK-1. Sözlük dizini.....	88
ÖZGEÇMİŞ	89

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Önerilen ESA mimarisinin özellikleri	37
Çizelge 4.2. Önerilen ESA mimarisinde bazı DÖ hiper parametrelerinin araştırılması. En iyi sonuçları veren hiper parametreler italik harflerle gösterilmiştir	39
Çizelge 4.3. EAO akım verisinin işlenmesi sonucu elde edilen deneysel genlik histogramına yerleştirilen normal dağılımların parametre değerleri	47
Çizelge 4.4. EAO akım verisinin işlenmesi sonucu elde edilen deneysel genlik histogramına yerleştirilen Log-normal ile Rayleigh dağılımlarının parametre değerleri	48
Çizelge 5.1. VK-1 ve VK-2'deki veri kümeleri için frekans bileşenlerinin gerçeğe yakın genliklerinin oluşturulması. Genlikler, her harmonik için verilen aralık içindeki düzgün bir dağılımdan rastgele seçilmektedir	53
Çizelge 5.2. Farklı veri sayılarına sahip VK-1 test verileri için genlik ve faz değerlerinin kestirim hataları verilmiştir. Test kümesi tüm veri kümeleri için aynı 20K verisini sahip olacak şekilde belirlenmiştir. Genlik ve faz hataları test kümesi içerisindeki bütün örnekler için ortalama hataları göstermektedir. Genlik hataları kestirilecek genliğin yüzdeleri cinsinden, faz hataları ise derece olarak verilmektedir	54
Çizelge 5.3. Şekil 5.1.'de gösterilen 13 harmonik bileşene sahip 512-örnekli veri için gerçek ve kestirilen genlik ve faz değerleri	56
Çizelge 5.4. VK-2'de üretilen 100K verileri için genlik ve faz değerleri kestirim hataları. Toplam test veri sayısı 20K'dır. Genlik hatası, kestirilecek genliğin yüzdeleri cinsinden, faz hatası için derece cinsinden verilmiştir .	57
Çizelge 5.5. Şekil 5.2'de gösterilen 13 harmonik bileşene sahip 512-örnekli veri için gerçek ve kestirilen genlik ve faz değerleri	59
Çizelge 5.6. Farklı yöntemler için VK-2'de üretilen 20K test verileri üzerinde genlik ve faz kestirim hataları. Genlik hataları, kestirilecek genliğin yüzdeleri cinsinden, faz hatası ise derece cinsinden verilmiştir. Ayrıca, veri başına algoritmaların hesaplama süreleri (milisaniye cinsinden) son sütunda verilmiştir	60
Çizelge 5.7. Şekil 5.6'da gösterilen 13 harmonik bileşenli 512-örnekli veri için gerçek ve kestirilen genlik değerleri	69
Çizelge 5.8. Üretilen veri kümesi için genlik ve faz ortalama kestirim hataları. Genlik hatası kestirilecek genliklerin yüzdesi cinsinden, faz hatası ise derece cinsinden verilmiştir	69

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.9. Log-normal ve Rayleigh dağılımları kullanılarak oluşturulan veriler üzerinde elde edilen genlik ve faz ortalama kestirim hataları. Genlik hatası kestirilecek genliklerin yüzdesi cinsinden ve faz hatası ise derece cinsinden verilmiştir.....	74
Çizelge 6.1. Alt grup verileri için frekans bileşenlerinin gerçek benzeri sentetik genliklerinin oluşturulması. Genlikler, her harmonik için verilen aralık içindeki düzgün bir dağılımdan rastgele seçilmektedir	77
Çizelge 6.2. Şekil 6.1.'de gösterilen 7 harmonik bileşene sahip veri için gerçek ve kestirilen genlik ve faz değerleri	79
Çizelge 6.3. Alt grup analizi için üretilen 20K test verileri için genlik ve faz değerleri kestirim hatası verilmiştir. Genlik hatası, kestirilecek genliğin yüzdeleri cinsinden, faz hatası ise derece cinsinden verilmiştir.....	80

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Farklı frekansa sahip harmonik bileşenlerinin toplamından oluşan tam sinüzoidal olmayan dalga şeklinin gösterimi.....	2
Şekil 2.1. Elektrik ark ocağı sistemi	13
Şekil 2.2. EAO akım harmoniklerinin süzülmesi için önerilen harmonik genlik ve faz analiz sisteminin tüm sistem içindeki kullanımı	14
Şekil 2.3. EAO'nun dökümden-döküme süresindeki <i>delme</i> , <i>eritme</i> ve <i>arıtma</i> aşamalarında EAO fabrikasını besleyen transformatörden ölçülen görünen güç eğrisi	15
Şekil 2.4. Türkiye Elektrik İletim Sistemi'nden alınmış, bir EAO fabrikasını besleyen fiderden alınan anlık gerçek güç tüketimi (Güç, akımların ve gerilimlerin 1-s RMS (Root Mean Square – Kök Ortalama Kare) değerleri kullanılarak hesaplanmıştır)	16
Şekil 3.1. Örnek bir algılayıcı modeli.....	19
Şekil 3.2. Üç girdili ve üç çıktılı tek gizli katmana sahip olan çok katmanlı algılayıcının örnek yapısı	20
Şekil 3.3. İki boyutlu örnek bir evrişim işlemi için, (a) Girdi verisi 5×5 boyutlu yeşil matris, süzgeç 3×3 boyutlu sarı matris olarak görselleştirilmiştir, (b) Girdi matrisi üzerindeki büyük indeksler girdi değerlerini, küçük indekste yer alan sayılar süzgecin değerlerini göstermektedir. Çıktı matrisi (turuncu matris) içerisindeki sayılar ise atlama miktarı 1 olacak şekilde kaydırılması ile oluşan evrişim işlemi sonuçlarını, (c) örnek bir gerçek veri üzerinde evrişim işleminin gösterilmesi.....	22
Şekil 3.4. Sıklıkla tercih edilen aktivasyon fonksiyonları, (a) Sigmoid fonksiyonu, (b) ReLU fonksiyonu, (c) Hiperbolik tanjant fonksiyonu (Tanh)	24
Şekil 3.5. En büyük alt örnekleme işleminin gösterimi	26
Şekil 3.6. Farklı atlama miktarı için elde edilen çıktı boyutundaki değişiklik	26
Şekil 4.1. Tez kapsamında önerilen DÖ tabanlı kestirim yönteminin (a) eğitim aşaması, (b) test aşamasının blok şeması verilmiştir	33
Şekil 4.2. Önerilen evrişimsel sinir ağı mimarisi. Önerilen model üç evrişim katmanından ve üç alt örnekleme katmanından oluşmaktadır. Bunları ağıın sonunda tam bağlı bir katman takip etmektedir	35
Şekil 4.3. Girdi – çıktı ilişkisinin gösterimi (Tez kapsamında N=13).....	37

Şekil	Sayfa
Şekil 4.4. Belirlenen bir eşik değerinin altında kalan kısımların uzaklaştırılması (Bu veri için eşik değeri maksimum güç değerinin 5/1000 oranı olarak belirlenmiştir)	40
Şekil 4.5. Eşik değerinin EAO akım verisine uygulanması sonrası elde edilen dalga formu	41
Şekil 4.6. Üç faz akımların toplamının gösterimi	41
Şekil 4.7. Harmonik bileşenler içeren EAO akım verisinin (kırmızı çizgilerle gösterilen) işlenmeye hazır halinin gösterimi.....	42
Şekil 4.8. Tutarsız geçici durumlardan temizlenmiş akım verisinin daha detaylı gösterimi	42
Şekil 4.9. Harmonik dağılımların elde edilmesinin ve DÖ tabanlı genlik ve faz kestirim sisteminin eğitimi için veri üretiminin akış şeması	44
Şekil 4.10. EAO akım verisinin DFT ile elde edilen harmonik bileşen genliklerinin histogramları	45
Şekil 4.11. Elde edilen faz hatalarını düzenlemek için kullanılan dönüşüm işleminin gösterilmesi	49
Şekil 5.1. Sabit temel frekans durumu için ESA mimarisinden kestirilmiş genliklerinden ve fazlardan elde edilmiş dalga formu ve 512 örnekli gerçek sinyalin dalga formu	55
Şekil 5.2. Değişen temel frekans durumu için harmoniklerin ESA mimarisinden kestirilmiş genliklerinden ve fazlardan elde edilmiş dalga formu ve 512 örnekli gerçek sinyalin dalga formu	58
Şekil 5.3. Önerilen yöntem kullanılarak harmoniklerin süzülmesinin örneği (Harmonik bileşenlerin 180° faz kaymalı dalga formunun eklenmesi). Yeşil renkli dalga formu, süzme işleminden sonra kalan harmonik bileşenlerin toplamını göstermektedir	61
Şekil 5.4. Süzme işlemi sonuçları, (a) Şekil 5.3.'te verilen örnek bir sinyal için, harmonik bileşenlerin temel bileşen açısından yüzdeleri ve harmonik süzme işlemi sonrası yüzdeleri, (b) bu verilen örnek sinyalin her harmonik bileşen için harmonik süzme yüzdeleri, (c) 20K test kümesinin tamamı için harmonik bileşenlerin temel bileşen açısından yüzdeleri ve süzme işlemi sonrası yüzdeleri, (d) tüm test kümesindeki her harmonik bileşen için harmonik süzme yüzdeleri.....	62
Şekil 5.5. EAO akımlarının DFT ile elde edilen harmonik bileşen genliklerini histogramları ve histogramların üzerine oturtulan normal dağılımların gösterimi	66

Şekil	Sayfa
Şekil 5.6. Gerçek ve yeniden oluşturulmuş örnek akım dalga formlarının karşılaştırılması belirlenen bir eşik değerinin altında kalan kısımların uzaklaştırılması.....	68
Şekil 5.7. EAO akımlarının DFT ile elde edilen harmonik bileşen genliklerini histogramları ve histogramların üzerine oturtulan Log-normal dağılımların gösterimi	70
Şekil 5.8. EAO akımlarının DFT ile elde edilen harmonik bileşen genliklerini histogramları ve histogramların üzerine oturtulan Rayleigh dağılımların gösterimi	72
Şekil 6.1. ESA mimarisinden kestirilmiş genliklerden ve fazlardan elde edilmiş dalga formu ve gerçek sinyalin dalga formu	78

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

A	Amper
Hz	Hertz
kHz	Kilohertz
MVA	Mega Volt Amper
MW	Megawatt
ms	Milisaniye
p.u.	Birim başına
η	Öğrenme miktarı
μ	Ortalama
σ	Standart sapma

Kısaltmalar

Açıklamalar

ADALINE	Adaptive Linear Neuron - Uyarlamalı Doğrusal Nöron
Adam	Adaptive Moment Estimation Uyarlamalı Moment Tahmini
ADD	Ayrık Dalgacık Dönüşümü Discrete Wavelet Transform
AGS	Alçak Geçiren Süzgeç – Low Pass Filter
CUDA	Compute Unified Device Architecture Birleşik Aygıt Mimarisini Hesaplama
CIFAR	Canadian Advanced Research Institute Kanada İleri Araştırma Enstitüsü
DA	Doğru Akım – Direct Current
DFP	Davidon-Fletcher-Powell
DFT	Discrete Fourier Transform Ayrık Fourier Dönüşüm
DÖ	Derin Öğrenme – Deep Learning

Kısaltmalar**Açıklamalar**

EAO	Elektrik Ark Ocağı – Electric Arc Furnace
ES	Exponential Smoothing – Üstel Yumuşatma
ESA	Evrişimsel Sinir Ağı Convolutional Neural Network
FFT	Fast Fourier Transform – Hızlı Fourier Dönüşümü
GİB	Grafik İşleme Birimi – Graphics Processing Unit
GK	Güç Kalitesi – Power Quality
GAN	Generative Adversial Networks Çekişmeli Üretici Ağlar
IEC	International Electrotechnical Commission Uluslararası Elektroteknik Komitesi
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
LSTM	Long Short Term Memory Uzun Kısa Süreli Bellek
MLP	Multi Layer Perceptron Çok Katmanlı Algılayıcı
MSRF	Multiple Synchronous Reference Frame Çoklu Senkron Referans Çerçevesi
OBN	Ortak Bağlantı Noktası - Point of Common Coupling
ÖN	Ölçüm Noktası - Measuring Point
ReLU	Rectified Linear Unit - Doğrultulmuş Doğrusal Birim
RMS	Root Mean Square – Kök Ortalama Kare
RNN	Recurrent Neural Network - Tekrarlayan Sinir Ağı
SGD	Stochastic Gradient Descent Olasılıksal Eğim Düşümü
TB	Tam Bağlı – Fully Connected
UYG	Ultra Yüksek Güçlü - Ultra High Power
YSA	Yapay Sinir Ağı - Artificial Neural Network

1. GİRİŞ

Elektrik gücünün yüksek kalitede son kullanıcılara iletilmesi, dağıtılması ve teslim edilmesi, elektrik sistemlerinin sağlıklı çalışması için çok önemlidir. Elektrik ark ocakları (EAO), güç elektroniği ekipmanları ve motor sürücüleri gibi elektrik sisteminin doğrusal olmayan yüklerinin çalışması nedeniyle, akım ve gerilim dalga formlarında kaçınılmaz bozulmalar yaşanmaktadır. Fakat 90'lı yıllara kadar elektrikle çalışan cihazların gerilim bozulmalarına karşı daha dayanıklı olması ve bu durumlardan etkilenmemesinden dolayı araştırmacıların yeterince ilgisini çekmemiştir. Daha sonraki yıllarda kullanılan elektrikli cihazların güç kalitesi problemlerinden daha fazla etkilenmesinden dolayı, güç kalitesi literatürde sıkça araştırılan bir konu haline gelmiştir [1-2].

Derin öğrenme (DÖ), veri işleme ve grafik işleme birimi (GİB) teknolojisinin gelişmesiyle birlikte farklı uygulama alanlarında popüler hale gelmiştir. DÖ teknikleri görüntü, ses ve video işleme alanı başta olmak üzere doğal dil işleme, bilgi alma ve biyomedikal alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Son yıllarda, DÖ tabanlı yöntemler, makine arıza teşhisi, güç transformatörü koruması ve güç kalitesinin sınıflandırılmasında umut verici sonuçlar ortaya koymaktadır. Şu anda, araştırmacılar güç kalitesi alanında da daha iyi sonuçlar elde etmeye çalışmaktadır.

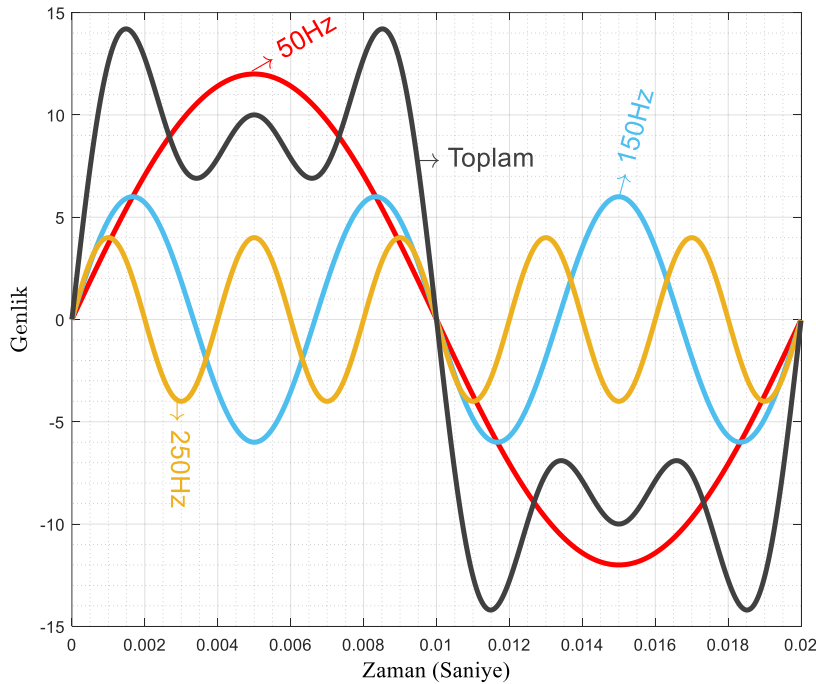
Güç sistemlerinde harmonik ve araharmonik bileşenler

Güç kalitesi (GK), elektrik şebekesinin tanımlanan bir noktasındaki akım ve gerilim dalga şeklinin uluslararası standartlarda bahsedildiği gibi ideal sinüs formunda olması şeklinde açıklanabilir. IEC (International Electrotechnical Commission, Uluslararası Elektroteknik Komisyonu) tarafından yayımlanan standart IEC 61000-4-30 [3] ve IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü) tarafından yayınlanan standart IEEE std 1159-1995 [4]'te güç kalitesi parametreleri sunulmuştur. Bu parametreler; geçici rejim durumları (transient), gerilim çukuru, gerilim tepesi, kırpışma (flicker) ve akım ve gerilim harmonik ve araharmonikleridir [5].

Elektrik sistemindeki gerilimin sinüs dalga formu 50 veya 60 Hz temel frekansa sahiptir. Temel frekansın tam katında bulunan bileşenler harmonik bileşen, tam katı olmayan

bileşenler ise araharmonik bileşen olarak adlandırılır. Şekil 1.1’de iletim hatlarında en çok karşılaşılan harmonik bileşenlerinin (3.harmonik (150 Hz) ve 5. harmonik (250 Hz)) toplamından oluşan bir dalga şekli gösterilmiştir. Harmonik ve araharmonik bileşenler, gerilim dalga şeklinin bozulmasına, iletim hatlarının aşırı kaybına, makinelerin aşırı ısınmasına ve son kullanıcılar için zayıf güç kalitesine neden olurlar. Bu nedenle, hızlı ve doğru spektral analiz gerektiren güç sistemlerindeki akım ve gerilim dalga formlarından harmonik ve araharmonik bileşenlerin çıkarılması çok önemlidir [6].

Literatürde harmonik ve araharmonik analizler için çeşitli yöntemler önerilmiştir [6-27]. Ayrık Fourier Dönüşümü (Discrete Fourier Transform - DFT), hesaplama verimliliğinden dolayı harmonik ve araharmonik analiz için en yaygın kullanılan yöntemdir. Bununla birlikte, DFT'nin doğasından kaynaklanan spektral sızıntı ve çit etkisi gibi problemler hesaplama hatasını azaltmak için çözülmelidir. Bunların üstesinden gelmek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır [6-12].



Şekil 1.1. Farklı frekansa sahip harmonik bileşenlerinin toplamından oluşan tam sinüzoidal olmayan dalga şeklinin gösterimi

[6]’da verilen çalışmada, güç sinyali harmonik analizi için yeni bir yöntem önerilmiştir. Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform - FFT), güç sinyali harmonik analizi için güçlü yöntem olmasına rağmen sızıntı etkisi ve çit etkisi gibi kısıtlamalardan dolayı tam

sonuçlar elde edilememektedir. Çalışmada, frekans ve fazör tahmin algoritması ve sonlu dürtü-tepki tarak filtresi kullanılmaktadır. Bu yöntemlerle FFT ve en küçük kare hatası yöntemleri de birleştirilerek performansın artırılması sağlanmıştır.

[7]'de sunulan çalışmada önerilen yöntem, her bir frekanstaki ızgara etkisine bağlı sızıntı miktarını belirlemek için temel frekans ve genlikte üretilen sentetik bir dalga formu kullanılmıştır. Daha sonra, frekans spektrumunu düzeltmek için sızıntı, sinyalin orijinal FFT'sinden çıkarılmıştır. FFT'den sonra uygulanan bir düzeltme algoritması ile temel frekans varyasyonunun neden olduğu sızıntı etkisinden kaçınıldığı ve temel sapmanın doğru bir şekilde belirlenebilmesi durumunda frekans arası sapmaya bağlı ilk harmonik hesaplamadaki hatanın sıfıra indirildiği gösterilmiştir.

[8]'de verilen çalışmada, harmonikleri ve araharmonikleri doğru bir şekilde ölçmek için geliştirilmiş bir FFT tabanlı algoritma önerilmektedir. Önerilen algoritmada, sistemin temel frekansını belirlemek için frekans bölgesi ara değer bulma yaklaşımı kullanılmış ve örneklenen zaman bölgesi sinyalinin yeniden oluşturulması için ara değer bulma polinom yöntemi uygulanmaktadır. Gerçek harmonik bileşenleri hesaplamak için FFT kullanılmaktadır. Daha sonra, araharmonik bileşenleri hesaplamak için tekrar frekans bölgesi ara değer bulma yöntemi kullanılmaktadır.

[9]'da verilen çalışmada, FFT'nin sızıntı dezavantajı üzerine çalışma yapılmıştır. V. Jain ve T. Grandke tarafından önerilen ara değer bulma algoritmasına dayanan yeni bir düzeltme algoritması olan çok ögeli kosinüs pencere ara değer bulma yöntemi önerilmiştir. Bu yeni algoritma, FFT'nin doğruluğunu açıkça geliştirdiğinden, elektrik harmoniği için hassas analizlere uygulanabilmektedir.

[12]'de sunulan çalışmada, harmonik hesabı için FFT ile spektrum analizinin muhtemel optimizasyonu araştırılmıştır. Bulunan optimizasyon yöntemi, hem çit etkisini hem de sızıntı etkisini azaltıp, harmonik parametrelerin spektrumda daha doğru gösterilmesini sağlamıştır. EAO'lar elektrik sisteminden çektikleri harmonikli ve araharmonikli akımlar nedeniyle, gerilimin dalga şeklini bozulmasına ve güç kalitesinin bozulmasına neden olan önemli yüklerden birisidir. Bu nedenle EAO üzerine yapılan çalışmalar araştırılmış ve özetlenmeye çalışılmıştır.

Elektrik ark ocakları

Elektrik ark ocakları, demir eritme işlemini fazlar arası hurda üzerinden kurulan kısa devre ile gerçekleştiren ve bu nedenle stokastik ve doğrusal olmayan onlarca MW'dan (MegaWatt) birkaç yüz MW'a kadar değişen akımlar çeken yüklerdir. Zamanda hızlı değişen akım harmonikleri, araharmonikler ve bunların sebep olduğu gerilim kırışması nedeniyle elektrik şebekesi için en sorunlu yüklerden biridir. EAO'lar, elektrik sisteminin ortak bağlantı noktasından (OBN) çektikleri harmonik ve araharmonikli akım bileşenleri nedeniyle, OBN geriliminde bozulmaya neden olurlar. Bu nedenle, OBN'deki sorunu tespit etmek ve gücün kalitesini artırmak için, EAO'ların harmonikleri ve araharmonikleri hızlı ve doğru bir şekilde analiz edilmelidir [13-15]. Güç kalitesinin bozulmasına karşı gerekli önlemleri almak için aktif güç süzgeçleri (AGS), eşzamanlı statik dengeleyiciler ve enerji depolama sistemleri gibi ileri teknoloji dengeleme sistemlerinin kontrolörlerine referans sinyallerinin sağlanması gerekmektedir. Özellikle AGS'ler için faz tahmini çok kritiktir. Burada amaç OBN'deki harmonikleri ve araharmonikleri yarım döngü faz farkı ile sisteme vererek ortadan kaldırmak veya mümkün olduğunca azaltmaktır. Ancak AGS'ler yanlış faz tahmini ile harmonik ve araharmoniklerin genliklerinin artmasına bile neden olabilir. Sonuç olarak EAO, metal eritme işleminin doğrusal olmayan ve stokastik doğası nedeniyle güç sistemleri için zorlayıcı bir yüküdür, bu nedenle EAO akımlarının ve gerilimlerinin analizi her zaman önemli bir araştırma konusu olmuştur [15-23] ve özellikle dikkate alınması gerekmektedir.

[15]'te verilen çalışmada, güç sisteminde dengeli fakat asimetric yük olduğu düşünülen EAO tesisleri tarafından üretilen harmonik ve araharmonik akımların pozitif ve negatif sekans bileşenlerini belirlemek için çoklu eşzaman referans çerçevesi (multiple synchronous reference frame - MSRF) analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu analiz yönteminin kullanılmasının iki amacı vardır: Birincisi, EAO'ların özelliklerinin derinlemesine anlaşılmasıdır. İkincisi ise AGS ve enerji depolama sistemleri gibi gelişmiş sistemlere en hızlı ve doğru bir şekilde referans sinyali üretebilmek için harmonik ve araharmonik bileşenleri tespit etmektir.

[16]'da verilen çalışmada, EAO akımlarının zamanla değişen harmoniklerini ve araharmoniklerini doğru bir şekilde tespit etmek için üstel yumuşatma (exponential smoothing - ES) ile birlikte kullanılan MSRF tabanlı bir analiz yöntemi önerilmiştir. EAO akım harmonik ve araharmonikleri en iyi doğrulukla belirlemek için, ES sırası her harmonik

ve araharmonik frekans bileşenine özel olarak optimize edilmiştir. Ayrıca, benzetim ortamında belirli harmoniklerin ve araharmoniklerin aktif olarak süzülmesi sağlanmış ve önerilen MSRF + ES yöntemiyle herhangi bir harmonik ve araharmonik bileşenin gerçek zamanlı olarak başarılı bir şekilde süzülmesinin mümkün olduğu gösterilmiştir.

[18]'de verilen çalışmada, EAO'ların harmonik, araharmonik ve dengesizliklerinin elde edilmesi için yeni bir frekans bölgesi yaklaşımı önerilmektedir. Bu yaklaşım, elektrik arkının dinamik ve doğrusal olmayan akım-gerilim karakteristiğine sahip olduğunu ve ark akımının sürekli değiştiğini varsaymaktadır.

[19]'da verilen çalışmada, EAO sistemi için dalgacık dönüşümüne ve FFT'ye dayanan harmonik bileşenleri belirlemek için bir yöntem sunulmuştur. Bu yöntem sadece geleneksel FFT yönteminin dezavantajlarının üstesinden gelmekle kalmayıp aynı zamanda sadece dalgacık dönüşümü kullanıldığında oluşacak dezavantajları da önlediği belirtilmektedir. Dalgacık dönüşümü frekans bandını bölmek ve geçici harmonikleri tespit etmek için kullanılır ve sabit harmonikleri analiz etmek için ise FFT yöntemi kullanılmaktadır.

[20]'de verilen çalışmada, uluslararası standart IEC 61000-4-30'a [3] göre saha ölçümleri kullanılarak demir ve çelik tesislerinin EAO akımlarının GK incelemeleri yapılmıştır. EAO fabrikalarını besleyen OBN'da titreşim ve araharmonik problemlerinin ciddi oranda olduğu gözlemlenmiştir.

[21]'de sunulan çalışmada, EAO'ların çalışma prensipleri nedeniyle zamanla değişen çok çeşitli EAO akımlarının harmonik alt gruplarını ve araharmoniklerini ayırtmak için özel olarak geliştirilen melez bir zaman-frekans analiz yöntemi sunulmuştur. Harmonik ve araharmonikleri belirlemek için, ayırık dalgacık dönüşümü (ADD) yöntemi kullanılmıştır. Fakat ADD düşük frekanslarda ve özellikle temel bantta doğru spektral ayrışmayı ortaya çıkarsa da, yüksek frekanslarda doğruluk kaybına neden olmaktadır. Bu problemten kaçınmak için, güç sinyalleri, gerekli harmonik alt-bant içeriklerinin temel banda kaydırılmasına karşılık gelen, ADD'nin doğruluğunun en iyi olduğu karmaşık üstel dalga formları ile modüle edilmektedir. Önerilen ADD melez kombinasyonu ve karmaşık üstel modülasyon kullanılarak, EAO akımlarının her harmonik alt bandının zaman bölgesi dalga formu ideal değerlere yakın olarak tahmin edilebilmiştir.

[23]'te sunulan çalışmada, EAO tesisleri tarafından üretilen harmonik ve araharmonik bileşenleri analiz etmek için spektral model optimizasyon tabanlı bir yöntem sunulmuştur. Bu yöntem ile doğrusal olmayan en küçük kareler kullanılarak spektral model parametrelerini tahmin ederek Fourier analiz tabanlı yöntemlerin maruz kaldığı spektral sızıntı etkilerinin azaltılmasıdır.

Son yıllarda birçok farklı uygulama alanında kullanılan DÖ yöntemlerinin kendine ait özgünlükleri sayesinde ortaya çıkardığı başarımlarından dolayı, güç kalitesi olayların sınıflandırılması ve güç sistemi harmoniklerinin belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalarda da gün geçtikçe daha çok tercih edilmektedir. Bu nedenle ortaya konan literatürde ki çalışmalar dikkatli bir şekilde araştırılmıştır.

Derin öğrenme

Yapay sinir ağlarının (Artificial Neural Networks-YSA) yapısal olarak daha derinleşmiş ve genişlemiş hali olarak tanımlanan derin sinir ağları birçok problemin çözümünde kullanılmaktadır. İnsan beyni bilişsel bilimde iyi olduğu için YSA fikri oluşturulurken insanın merkezi sinir sisteminden esinlenilmiştir. YSA, insan beyni gibi deneyimlerle bilgiyi otomatik olarak verilerden çıkarmaktadır. YSA, son zamanlarda zamanla değişen sinyallere anında cevap verme yeteneği, sinyallerin doğasını öğrenme başarımı, genelleştirilebilirliği ve uygulanabilirliği nedeniyle araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Bu özellikleri sayesinde YSA, 1900'lerden beri harmonik ve araharmonik analiz için de yaygın olarak kullanılmaktadır [24-27].

[24]'te verilen çalışmada, harmoniklerin hızlı ve doğru tahmini için melez hızlı Fourier dönüşümü (FFT) uyarlamalı doğrusal nöron (FFT-ADALINE) algoritması önerilmiştir. FFT yöntemi, zaman alanından frekans alanına hızlı dönüşüm gerçekleştirebilir fakat ölçülen harmoniklerin herhangi bir değişikliğine hemen yanıt veremez. Bu arada, ADALINE öğrenme yeteneği nedeniyle hemen yanıt verme yeteneğine sahiptir, ancak hesaplama süresi ölçüm sinyalinin yaklaşık iki döngüsü kadardır. Önerilen yöntemde, yukarıda bahsedilen algoritmaların avantajları birleştirilerek, ölçülen harmoniklerin herhangi bir değişikliğine hemen yanıt verebildiği ve hesaplama süresinin ölçüm sinyalinin yarı döngüsüne indirildiği harmonik tahmin için kullanılmıştır.

[25]'te sunulan çalışmada, güç sistemlerindeki harmonik bileşenleri tahmin etmek için dalgacık analizine ve yapay sinir ağlarına dayanan yeni bir yaklaşım sunulmaktadır. Önerilen bu yöntemde, sinyallerden özellik vektörünü çıkarmak için dalgacık analizini kullanır ve sonrasında bu özellik vektörü YSA ile analiz edilmektedir. Bu iki yöntemin birleşimi birbirlerinin eksikliklerini telafi etmek ve frekans örtüştürmesini etkili bir şekilde çözmek için kullanılır.

[26]'da verilen çalışmada, sinir ağı algoritması kullanan alternatif bir yöntem, sinir ağına bozuk dalga biçimlerinin sadece yarım çevrim örneklenmiş değerlerini sağlayarak gürültülü ortamlarda hızlı ve hassas harmonik tespiti için tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir.

[27]'de sunulan çalışmada, harmonik analiz için DFP (Davidon-Fletcher-Powell) yöntemine dayanan bir sinir ağı algoritması önerilmiştir. DFP tabanlı YSA'da, temel frekansı belirlemek için sıfır geçiş noktası yöntemi kullanılmış ve daha sonra sinir ağlarının ağırlıklarını artırmak için DFP algoritması uygulanmıştır.

Bu geleneksel yapay zeka yöntemleri ile pratik uygulamalarda dikkate değer sonuçlar elde edilmiştir. Ancak öznetelik çıkarma ve büyük miktarda veri işleme kapasitesi açısından istenen seviyeye ulaşamamıştır.

Derin öğrenme mimarileri, veri işleme ve grafik işleme birimi teknolojilerinin gelişmesiyle sinyal ve görüntü işleme toplulukları için giderek daha popüler hale gelmiştir. 2000'li yılların başından bu yana, görüntülerdeki nesneleri ve bölgeleri tespit etmek, bölümlere ayırmak ve tanımlamak için DÖ'nün özel bir mimarisi olan Evrişimsel Sinir Ağı (Convolutional Neural Network - ESA) kullanılmıştır. DÖ tabanlı yöntemler, makine arıza teşhisi, güç transformatörü koruması ve güç kalitesinin sınıflandırılmasında umut verici sonuçlar ortaya koymaktadır. DÖ yönteminin kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde, genellikle GK parametrelerinin veya olayların sınıflandırıldığı görülmektedir [28-38]. Bununla birlikte, [39]'da DÖ kavramının, güç sistemi harmoniklerinin genliklerini ve fazlarını tahmin etmek için de kullanılabileceği gösterilmiştir.

[28]'de sunulan çalışmada, İletim hattı, fider ve transformatördeki gerilim düşüşleri ve kesintiler incelenmiştir. Bozulmanın başladığı ve iyileştiği noktaları belirlemek için maksimum örtüşme kesikli dalgacık dönüşümüne dayanan güç kalitesi algılama algoritması

kullanılmıştır. Denetleyici geri yayılım eğitimi ile geliştirilen yığılmış seyrek gürültü giderici otomatik kodlayıcı, sınıflandırıcı olarak önerilmektedir. Sonuçlar, önerilen yöntemin çeşitli tipteki GK hatalarını tespit etmek için uygun olduğunu ve yetersiz eğitim örneklerine rağmen yüksek tanıma doğruluğuna sahip olduğunu göstermektedir.

[29]'da verilen çalışmada, DÖ melez modeline dayanan bir yöntem önerilmektedir. ESA, gerilim düşümü sinyallerinin zaman serilerini ve uzamsal özelliklerini otomatik olarak elde etmek için iki boyutlu dönüşümden sonra gerilimi esnek bir şekilde almak için kullanılmıştır. Yığılmış seyrek otomatik kodlayıcı denetimsiz eğitimi ile elde edilen parametreler, derin ağırlıkların başlatmak, böylece modelin yakınsama hızını ve gürültüden etkilenmeme performansını arttırmak için kullanılmıştır.

[30]'da verilen çalışmada, karmaşık güç kalitesi bozukluklarını belirlemek için sıkıştırılmış algılama ve derin ESA'ya dayanan bir sınıflandırma modeli önerilmiştir. Sıkıştırılmış verileri doğrudan sınıflandırmak için derin öğrenme algoritması kullanılarak önerilen uçtan uca akıllı algoritmanın, sıkıştırma hatasını çözdüğü ve yüksek gürültünün bozulmasını ortadan kaldırabilen verileri sıkıştırmak için kullanılabileceği öngörülmüştür. Simülasyon ve ölçülen veriler, sıkıştırma ve derin öğrenme sınıflandırması güç kalitesi bozukluklarının fizibilitesini, sınıflandırma doğruluğunu ve sağlamlığını doğrulamıştır. Algoritma gürültülü ortamlarda iyi performans göstermekte ve önceden geri yükleme yöntemi olmadan doğrudan orijinal gürültü sinyali üzerinde çalışmaktadır.

[31]'de sunulan çalışmada, giriş güç sinyalinden çeşitli öznelilikleri çıkarmak ve daha sonra bunları tespit etmek ve çok sınıflı destek vektör sınıflandırıcısına beslemek için bir ESA modeli önerilmiştir. Çeşitli güç kalitesi bozukluklarını tespit etmek ve sınıflandırmak için etkili bir algoritma önerilmektedir. Simülasyon sonuçlarından elde edilen verilere göre, önerilen modelin normal ESA'ya göre daha iyi performans gösterdiği sahadan alınmış bir veri kümesi kullanılarak doğrulanmıştır. Bu çalışma, endüstriyel uygulamalar için sağlanan gücün kalitesi arttırmaya ve güç sistemlerinin çalışmasını ekonomik, verimli ve güvenli hale getirmeye çalışılmaktadır.

[32]'de verilen araştırma çalışmasında, EAO akımlarının zamanla değişen harmonik ve araharmonikleri için aktif güç filtrelerinin tepki ve reaksiyon sürelerini telafi etmek için yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Geçmişteki mevcut örneklerin bir penceresini alıp verileri analiz

etmek için kullanılan klasik yaklaşım yerine, EAO akımlarının gelecekteki örnekleri DÖ tabanlı bir yöntem kullanılarak önceden tespit edilmiş ve daha sonra gerçek zamanlı analiz yapma fırsatı sunulmuştur.

[33]'te sunulan çalışmada, güç kalitesi olaylarının zamanını, yerini ve türünü belirlemek için Long Short-Term Memory (LSTM) ve kayan zaman penceresine dayanan bir DÖ yöntemi önerilmiştir. Toplanan güç kalitesi dalgası ilk önce gri tonlamalı bir görüntüye dönüştürülür ve daha sonra özellikleri otomatik olarak öğrenmek için LSTM yığınlı derin öğrenme modeli oluşturulmuştur.

[34]'te verilen çalışmada, belirsiz çalışma koşulu altında gerilim düşüşü büyüklüklerinin aralıklarını tahmin etmek için ESA tabanlı bir gerilim düşüşü tahmin yaklaşımı önerilmektedir. Güç sisteminin yapısı, örüntü öğrenme girişlerine gömülür. Bir dizi çekirdeği giriş matrisi boyunca kaydırarak, evrimsel katmanlar güç sistemlerindeki çeşitli yerel alanlardan öznitelikleri çıkarır ve daha sonra bunları daha yüksek evrimsel katmanlara entegre eder. Ve böylece gerilim düşüşlerinin kategorilerini sınıflandırmak için kullanılan kalıplar çekirdeklerde saklanır ve eğitim sırasında güncellenir.

[35]'te verilen çalışmada yazarlar, gerilim düşüşlerinin otomatik özniteliklerinin çıkarılması ve sınıflandırılması için DÖ tabanlı bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntem, özel bir Recurrent Neural Networks (RNN) olan LSTM yöntemini kullanan bir mimariden oluşmuştur. Deney sonuçları önerilen yöntemin LSTM'deki öğrenilen özniteliklerden gelen gerilim düşüşlerini test kümesi üzerinde yüksek sınıflandırma doğruluğu ile sınıflandırabildiğini göstermiştir. Geliştirilen mimarinin, özniteliklerin öğrenilmesi ve gerilim düşüşlerinin sınıflandırılması için yeni olduğu gösterilmiştir.

[36]'da verilen çalışmada, derin evrimsel sinir ağları kullanılarak gerilim düşüşlerini sınıflandırmak için yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem ile özniteliklerin elle çıkarılması yerine gerilim düşüşlerinin özniteliklerini otomatik olarak öğrenmek için yeni bir etkili derin evrimsel sinir ağı mimarisi sunulmuştur.

[39]'da yapılan çalışmada yazarlar, güç sistemindeki harmonik bileşenlerin son zamanlarda çok fazla artmasıyla birlikte bu bileşenlerin genlik ve faz bilgilerinin hızlı ve doğru bir şekilde kestirilmesi için ESA mimarisine dayalı bir yöntem önermişlerdir.

Problemin tanımı

Elektrik iletim ve dağıtım sistemlerinde elektrik gücünün yüksek kalitede iletilmesi, bu sistemlerinin sağlıklı çalışması için çok önemlidir. Elektrik sisteminde, doğrusal olmayan yüklerin (özellikle EAO) çalışması nedeniyle, ortak bağlantı noktalarında akım ve gerilim harmonik ve araharmonik bileşenleri oluşmaktadır. Harmonik ve araharmoniklerin ana kaynağının tespit edilmesi ve sisteme ne kadar bileşen katkısı yapıldığının belirlenmesi son derece önemlidir. Böylece, güç kalitesinin bozulmasına karşı gerekli önlemleri almak için AGS, senkron statik dengeleyiciler ve enerji depolama sistemleri gibi ileri teknoloji dengeleme sistemlerinin kontrolörlerine referans sinyallerin hızlı ve doğru bir şekilde verilmesi sağlanacaktır. Pencereleme süresi, gerekli frekans çözünürlüğünü korurken zaman değişimini kaçırmayacak şekilde ayarlanmalıdır. Ayrıca, yüksek hesaplama karmaşıklığı içeren algoritmalar, doğru olmalarına rağmen tatmin edici sonuçlar vermeyecektir, çünkü işlem süresi pencere uzunluğunu aşacaktır, bu da AGS'nin harmonik ve araharmonikleri gerçek zamanlı olarak kullanmasına ve telafi etmesini önleyecektir. Ayrıca, bir AGS için faz tahmininin doğruluğu kritik öneme sahiptir, böylece fazdaki ciddi bir hata, karşılık gelen harmonik veya araharmonik faz benzerini yerleştirmek için güç tüketirken bastırılmak yerine harmonik veya araharmoniklerden birinin genliğinin yükseltilmesine bile neden olabilecektir. Bu nedenlerle, EAO akımının genliği ve fazındaki harmonik ve araharmoniklerin tahmin edilmesi zorlayıcı bir konu olmuştur. Bu kapsamda, güç sistemlerinin gerilim ve akımlarının zamanla değişen harmonik ve araharmonik bileşenlerinin genlik ve faz bilgilerinin hızlı ve doğru bir şekilde saptanması için evrişimli sinir ağlarının kullanımına dayanan bir yöntem önerilmiştir.

Tezin içeriği

Bu tezde yapılan çalışmalar iki kısımda ele alınabilir. İlk olarak, Türkiye Milli Güç Kalitesi projesi [20] kapsamında yapılan çalışmalardaki deneyimler ve ölçümler kullanılarak enerji sisteminde oluşabilecek harmoniklerin yapısına uygun gerçeğe yakın yapay veri üretimi sağlanmıştır. Böylece, literatüre gerçek verilere uygun harmonikli akım ya da gerilim verisi üretimine dair bir prosedür ile katkıda bulunulmuştur. Bu şekilde az sayıda saha verisi ile yapay sinir ağı sistemlerini eğitmek mümkün olmaktadır. İkinci kısımda ise, üretilen veri kümeleri üzerinde çalıştırılmak üzere bir ESA mimarisi önerilmiş, harmoniklerin genlik ve

faz bilgilerini kestirmek için regresyon (bağlanım) problemi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu tez çalışmasının öne çıkan katkılarını şu şekilde sıralayabiliriz:

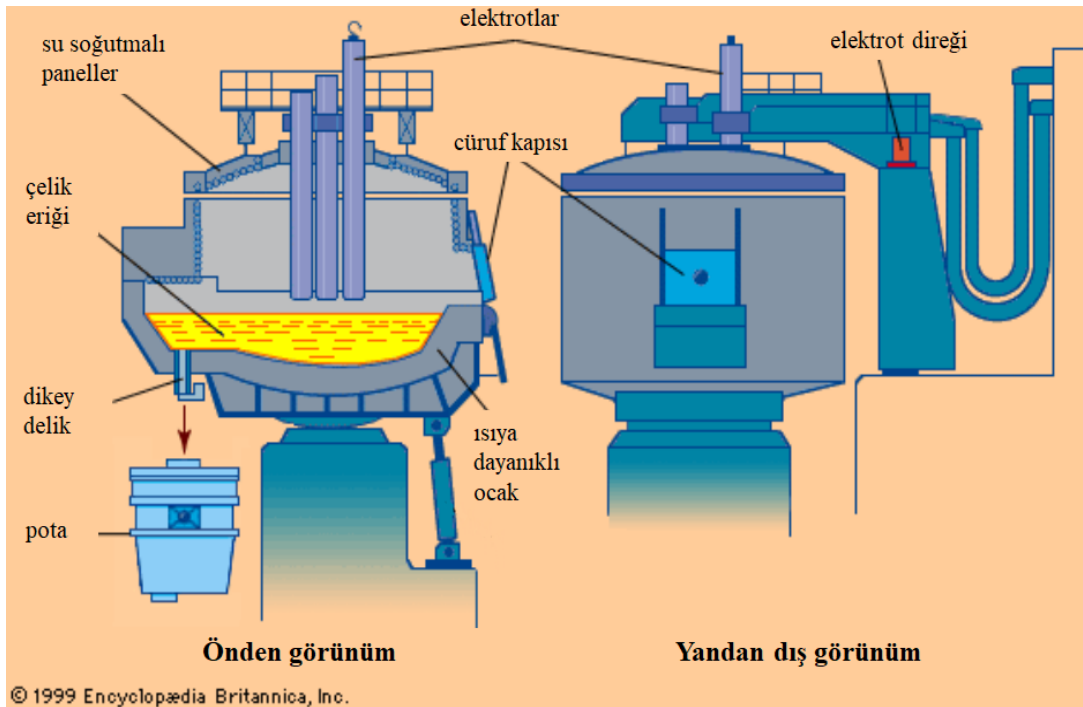
- DÖ yönteminin özel bir mimarisi olan ESA mimarisi tasarlanmıştır. Bu yöntem, EAO akımlarının harmoniklerinin faz ve genlik bilgilerini dalga formunu kullanarak herhangi bir frekans-alan özelliği hesaplanmadan doğrudan dalga örneklerinden çıkarmak için kullanılmıştır. Böylece işlem süresi azaltılmıştır.
- EAO akımlarının dökümden-döküme süresinden elde edilen istatistiklere dayanarak zamanla değişen harmonikler içeren büyük miktarda gerçekçi EAO akım verileri üretilmiş ve sistemin eğitiminde kullanılmıştır.
- EAO akım spektrumu için ayrıntılı bir istatistiksel analiz sunulmuştur.

Bu tez Giriş bölümü sonrasında beş ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler sırasıyla “Elektrik Ark Ocakları”, “Derin Öğrenme”, “Derin Öğrenme Yöntemi ile Harmonik Analizi”, “Deneysel Çalışmalar” ve “Sonuçlar ve Öneriler” olarak sıralanmıştır. 2. Bölüm’de EAO’lar hakkında daha detaylı bilgiler verilmiştir. 3. Bölüm’de DÖ hakkında genel bir bilgi verilmiştir. Ayrıca, bir DÖ uygulaması olan ve bu tezde kullanılan ESA mimarileri hakkında kapsamlı bilgiler verilmiştir. 4. Bölüm’de güç kalitesindeki harmonikleri tespit etmek için problemin belirlenmesi, probleme özgü ESA mimarisinin tasarlanması ve EAO akım verilerinin istatistiksel modellerinin belirlenmesi anlatılmıştır. Bu problem üzerine yapılan çalışmaların detayları 5. Bölüm’de verilmiştir. Son bölüm olan 6. Bölüm’de ise tezin sonuçları ve planlanan çalışmaların ne olduğu hakkında ayrıntılar verilmiştir.

2. ELEKTRİK ARK OCAKLARI

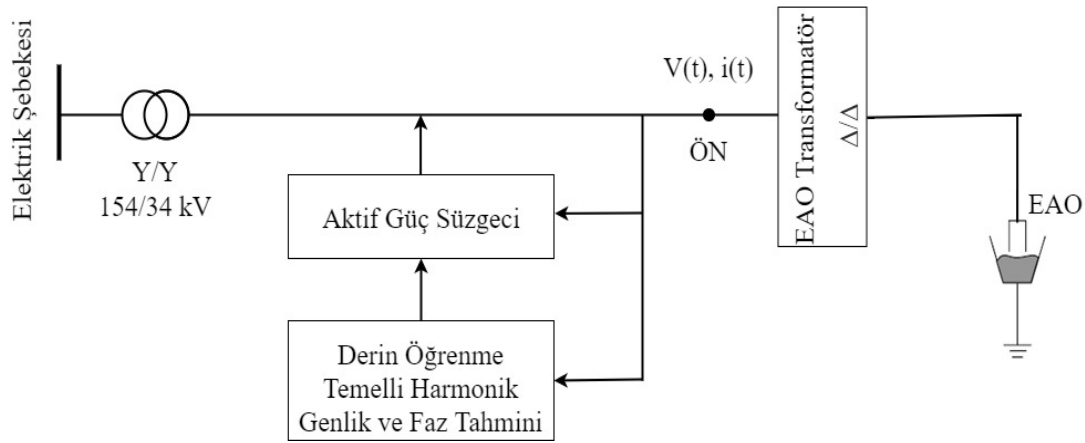
Elektrik ark ocakları, elektrik ark ile yüklü malzemeyi ısıtan ve hurda malzemeden çelik üretimi için kullanılan temel fırın tiplerinden birisidir. Yüklenen malzeme doğrudan elektrik arkına maruz kalır ve elektrotlarındaki yüksek akım malzeme üzerinden geçerek hurdayı eritmektedir.

Ayrıca EAO içindeki sıcaklık 2000 dereceye kadar yükselebilmektedir. Kapasitesi 240 MVA'e kadar çıkabilen karbon elektrotlar aracılığıyla hurda metalin eritilir. EAO'lar; yüksek elektrik talebi, yüksek ses seviyeleri, toz ve gaz dışı üretim, cüruf üretimi ve soğutma suyu talebi gibi olumsuz çevresel etkilere sahiptir. Öte yandan, EAO'ların genellikle çok değişken aşırı güç talebi EAO'yu besleyen elektrik sisteminin güç kalitesi üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Bu zararlı etkilere rağmen EAO'lar hurda malzemelerin yüksek verimli geri dönüştürücüleri olduğundan çelik demir endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.1'de tipik bir EAO sistemi gösterilmiştir. EAO, üç faza karşılık gelen üç elektroda sahiptir. Elektrotlar, bir vinç sistemi veya bir düzenleyici sistem tarafından kontrol edilen hidrolik silindirler tarafından otomatik olarak kaldırılıp ve indirmektedir [13].



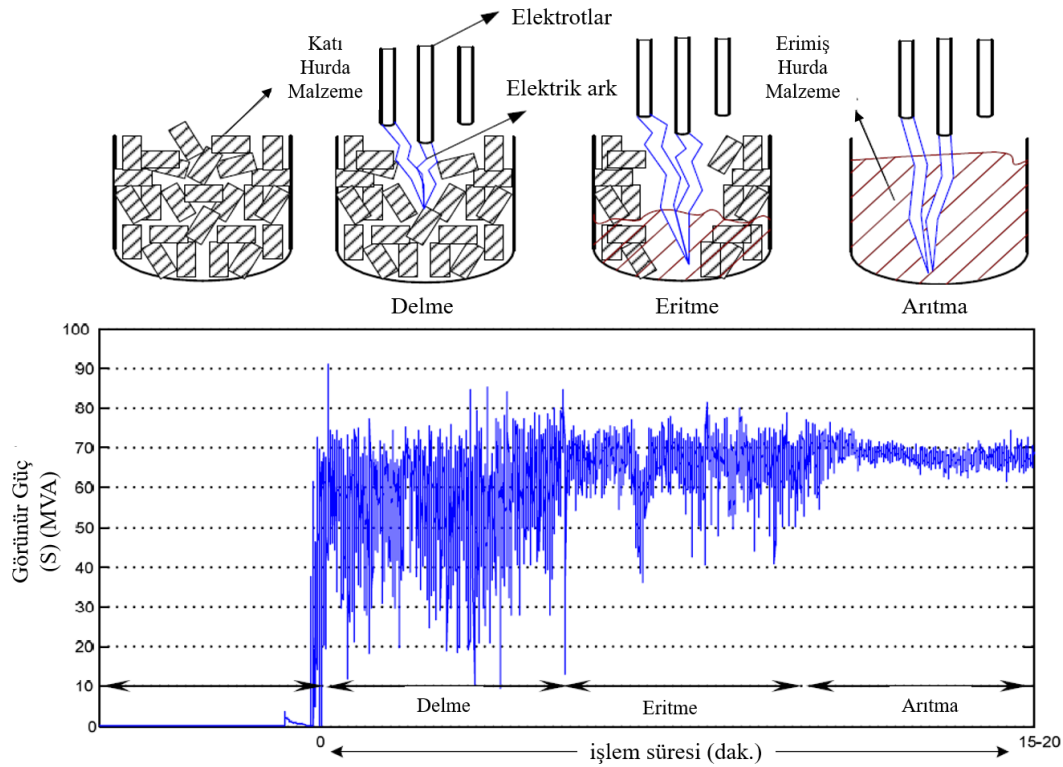
Şekil 2.1. Elektrik ark ocağı sistemi [13]

EAO'ları, demir eritme işleminin stokastik ve doğrusal olmayan yapısından ve onlarca MW'dan birkaç yüz MW'a kadar değişen büyük güç tüketiminden dolayı elektrik şebekesi için en sorunlu yüklerden biridir. Bu tür yükler, elektrik şebekelerinde zamanla değişen harmonik ve araharmonik bileşenlerini önemli ölçüde oluşturmaktadır. Bu da analiz sürecini oldukça zorlaştırmaktadır. Elektrik iletim şebekesinden beslenen bir EAO'nun tipik bir güç sistemi Şekil 2.2.'de gösterilmiştir. Bu sistem elektrik şebekesi, yüksek gerilim / orta gerilim güç trafosu, EAO transformatörü ve kablolardan oluşmaktadır. Ölçüm noktası şekilde ÖN ile gösterilmiştir. Tezde geliştirilen yöntemle elde edilen harmoniklerin genlik ve faz değerlerinin Şekil 2.2.'de gösterildiği gibi harmonik süzme işlemi için AGS sistemine verilmesi planlanmaktadır.



Şekil 2.2. EAO akım harmoniklerinin süzülmesi için önerilen harmonik genlik ve faz analiz sisteminin tüm sistem içindeki kullanımı

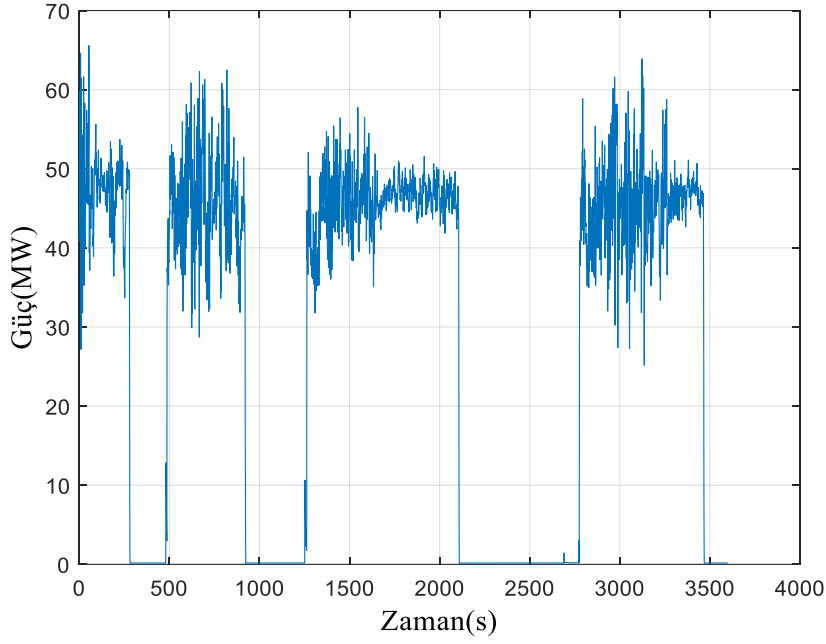
EAO'nun eritme işlemi üç aşamadan oluşur: Delme, eritme ve arıtma. Delme aşaması eritme işleminin ilk kısmıdır. Bu aşamada katı hurda metal fırına yüklenir ve eritmeye başlamak için hurdanın ortasında elektrik arkı başlatılır. GK üzerindeki en önemli bozukluklar bu aşamada görülür. Hurda ortasında bir delik elde edildiğinde, elektrik arkı daha kararlı hale gelir, ancak henüz erimemiş olan katı hurda nedeniyle, mevcut karakteristik hala kararsızdır. Bu kısma erime aşaması denir. Son aşama olan arıtma ise en kararlı aşamadır. Çünkü fırındaki tüm malzeme sıvıdır, böylece ark uzunluğu ve dolayısıyla akım talebi delme veya erime aşaması kadar değişiklik göstermez. Bu üç aşamanın görselleştirilmesi ve bu aşamalardaki güç değişimleri Şekil 2.3.'te verilmiştir [13].



Şekil 2.3. EAO'nun dökümden-döküme süresindeki *delme*, *eritme* ve *arıtma* aşamalarında EAO fabrikasını besleyen transformatörden ölçülen görünen güç eğrisi [13]

Bir EAO tarafından yapılan bir çelik üretim işleminde, pota tipik bir dökümden-döküme süresi boyunca üç kez hurda metal malzeme ile yüklenir. Ultra yüksek güçlü (UYG) fırınların dökümden-döküme süresi genellikle yaklaşık 60 dakikadır. Şekil 2.4.'te Türkiye Milli Güç Kalitesi projesi [20] aracılığıyla geliştirilen PQ^+ güç kalitesi çözümleyicileri kullanılarak sahada elde edilen gerilim ve akım ölçümlerinden (Şekil 2.2.'deki ÖN'den alınan) hesaplanan bir dökümden-döküme süresi boyunca bir EAO'nun aktif güç değişimini gösterilmiştir. Şekil 2.4, EAO sisteminin zamanla değişen ve aralıklı doğasını açıkça göstermektedir.

Bir AGS'nin, EAO akımlarında zamanla değişen harmoniklerin ve araharmoniklerin azaltılmasında veya ortadan kaldırılmasında etkili olması için, tespit veya tahmin algoritması hızlı ve doğru sonuçlar verecek şekilde oluşturulmalıdır. Pencereleme süresi, gerekli frekans çözünürlüğünü korurken zaman değişimini kaçırmamak için buna göre ayarlanmalıdır. Üstelik yüksek hesaplama karmaşıklığı içeren algoritmalar, doğru olmalarına rağmen tatmin edici sonuçlar vermeyecektir, çünkü işlem süresi pencere uzunluğunu aşacaktır, bu da AGS'nin harmonikleri ve araharmonikleri gerçek zamanlı olarak süzmesini önleyecektir.



Şekil 2.4. Türkiye Elektrik İletim Sistemi’nden alınmış, bir EAO fabrikasını besleyen fiderden alınan anlık gerçek güç tüketimi (Güç, akımların ve gerilimlerin 1-s RMS (Root Mean Square – Kök Ortalama Kare) değerleri kullanılarak hesaplanmıştır)

Ayrıca, bir AGS için faz tahmininin doğruluğu kritik öneme sahiptir. Çünkü fazdaki ciddi bir hata, harmonik veya araharmonik bileşenlerinin bastırılması yerine bu harmonik veya araharmonik bileşenlerinin genlik değerlerinin yükselmesine bile sebep olabilecektir. Bu nedenle, EAO akımının harmonik ve araharmonik bileşenlerinin genliğini ve fazını tahmin etmek zorlu bir konu olmuştur.

3. DERİN ÖĞRENME

Örüntü tanıma ile ilgilenen araştırmacıların ilk günlerden itibaren edindikleri amaç; öğrenme işleminde kullandıkları el yapımı özellikleri, verilerin kendisinden çıkarmasını sağlayacak algoritmalar geliştirmektir. YSA bu niyetle oluşturulan ve sürekli geliştirilen, verileri modellemek için kullanılan bir makine öğrenmesi algoritmalar bütünüdür. YSA'da kullanılan çok katmanlı ağlar doğrusal olmayan çok sınıflı problemlerin sınıflandırılabilmesini mümkün kılmıştır. Bunun için gizli katman adı verilen ara katmanlar kullanılmıştır. Ancak YSA'da kullanılan yapıların kolay anlaşılabilirliğine rağmen, 1980'lerin ortalarına kadar bu kavram tam olarak anlaşılamamıştır. Çok katmanlı mimariler basit olasılıksal eğim düşümü (stochastic gradient descent – SGD) ile eğitilebilmektedir. Geri yayılım (back-propagation) algoritması kullanılarak eğimlerin hesaplanabileceği ve işe yaradığı fikri 1970'ler ve 1980'ler boyunca birkaç farklı grup tarafından keşfedilmiştir. Çok katmanlı bir modül yığınının ağırlıklarına göre amaç fonksiyonun eğimini hesaplamak için geri yayılım prosedürü, türevler için zincir kuralının pratik bir uygulamasıdır. 1990'ların sonunda, sinir ağları ve geri yayılım algoritması büyük ölçüde makine öğrenimi toplulukları tarafından göz ardı edilmiştir. Ancak 2006 yılında Kanada İleri Araştırma Enstitüsü (CIFAR) tarafından bir araya gelen bir grup araştırmacı tarafından oluşturulan derin ileri beslemeli ağlar, yeniden sinir ağları yöntemlerine olan ilginin canlanmasına vesile olmuştur. Bu araştırmacılar, etiketli verilere ihtiyaç duymadan öznitelik bulucu katmanları oluşturabilen gözetimsiz öğrenme mantığını tanıtmışlardır [40].

Çok katmanlı algılayıcıların özel bir hali olan evrimsel sinir ağları ilk kez LeCun ve arkadaşları tarafından LeNet-5 olarak adlandırılan model ile el yazısı rakamların sınıflandırılmasının başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi ile popüler hale gelmiştir [41]. ESA yöntemi öznitelik çıkarımı gerektirmeyen bir derin öğrenme yöntemidir. Modelin girdisi olan verilerden ayırt edici özellik sağlayan özniteliklerin basitten karmaşığa doğru öğrenilmesine olanak sağlayan ESA, en çok tercih edilen DÖ yöntemlerinden birisidir. 2000'lerin başından bu yana, ESA görüntülerdeki nesnelerin ve bölgelerin algılanması, bölümlere ayrılması ve tanınmasında büyük bir başarıyla uygulanmıştır. Bunların tümü, trafik işareti tanıma, biyolojik görüntülerin bölümlere ayrılması ve doğal görüntülerde yüzlerin, metinlerin, yayaların ve insan bedenlerinin algılanması gibi etiketli verilerin nispeten bol olduğu çalışmalarda tercih edilmiştir. Bu başarılarına rağmen ESA, 2012

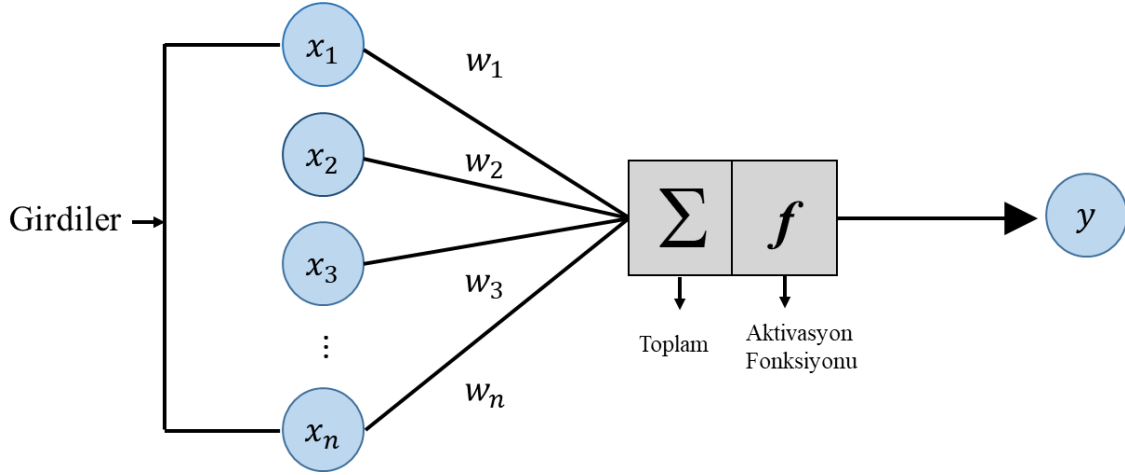
yılında gerçekleştirilen ImageNet Büyük Ölçekli Görsel Tanıma Yarışması'ndaki (ILSVRC) başarısına kadar makine öğrenimi ile ilgilenen topluluklar tarafından büyük ölçüde tercih edilmemiştir. Krizhevsky ve diğerleri tarafından önerilen LeNet'e benzeyen AlexNet adında bir derin yapay sinir ağı modeli bu yarışmada 1000 farklı sınıfın yer aldığı 1.2 milyon veri kümesini içeren görüntüleri başarılı bir şekilde sınıflandırmıştır. GİB'lerin, ReLU adı verilen aktivasyon fonksiyonunun, seyreltme (dropout) adı verilen bir düzenleme tekniğinin ve daha fazla eğitim örneği oluşturma yollarının ilk kez kullanıldığı AlexNet modeli, bu yarışmada o zamana kadarki bütün yöntemlerin üzerine olağanüstü sonuçlar elde edilmesinin sebeplerindendir [42]. AlexNet'in elde ettiği bu başarı makine öğrenmesi alanında bir devrim yaratmıştır. Facebook, Google ve Microsoft gibi büyük şirketler başta olmak üzere birçok şirket ve araştırmacı bu devrimi takip ederek DÖ uygulamalarına yatırım yapmaya başlamış, bu da beraberinde DÖ alanındaki gelişmelerin hızlı bir şekilde ilerlemesine imkân tanımıştır.

Bu bölümün devamında, DÖ'de kullanılan sinir ağlarının temelleri hakkında detaylı bilgiler verilecektir. Bölüm 3.1'de YSA'nın temel işlem birimi olan algılayıcılar, Bölüm 3.2'de ise çok katmanlı algılayıcı modeli tanıtılmıştır. Bölüm 3.3'te ve alt bölümlerinde bu tez kapsamında da kullanılan evrimsel sinir ağı modeli detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Son olarak, Bölüm 3.4'te önerilen evrimsel sinir ağı modelinin eğitim aşamasında kullanılan maliyet fonksiyonu, geri yayılım algoritması ve olasılıksal eğim düşümü yöntemi anlatılmıştır. Bölüm 3.5'te hiper parametrelerden bahsedilmiş ve tez kapsamında hangi hiper parametrelerin tercih edildiği bilgisi verilmiştir. Son olarak Bölüm 3.6 ile bu bölümün kısa bir özeti sunulmuştur.

3.1. Algılayıcı (Perceptron)

İlk kez 1958 yılında Rosenblatt tarafından beynin çalışma yapısını modelleyebilmek için yapılan çalışmalarda ortaya konmuş modern yapay zekânın temelini oluşturan yapıdır. Biyolojik sinir ağlarında, nöronlar temel hesaplama birimleridir. Nöronlar, dentritlerin ucundan bilgiyi alır ve bu bilgiler belirli bir eşik değerinin üzerinde elektrik sinyaline sahipse bir çıktı üretir. Böylece elektrik akımı dentritlerden aksonların diğer ucuna kadar bilgiyi ulaştırmış olur. Algılayıcılar bu biyolojik yapıdan esinlenerek modellenmiştir [43]. Algılayıcılar, belirli bir eşik değerinin üzerinde olma durumuna göre modellenmesi sayesinde ikili sınıflandırma yapabilecek esnekliğe sahiptir. Şekil 3.1.'de görselleştirilmiş

bir algılayıcı modeli sunulmuştur. Algılayıcı fonksiyonun cebirsel ifadesi ise Eş. 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Örnek bir algılayıcı modeli

$$y = f \left(w_0 + \sum_{i=1}^n x_i w_i \right) \quad (3.1)$$

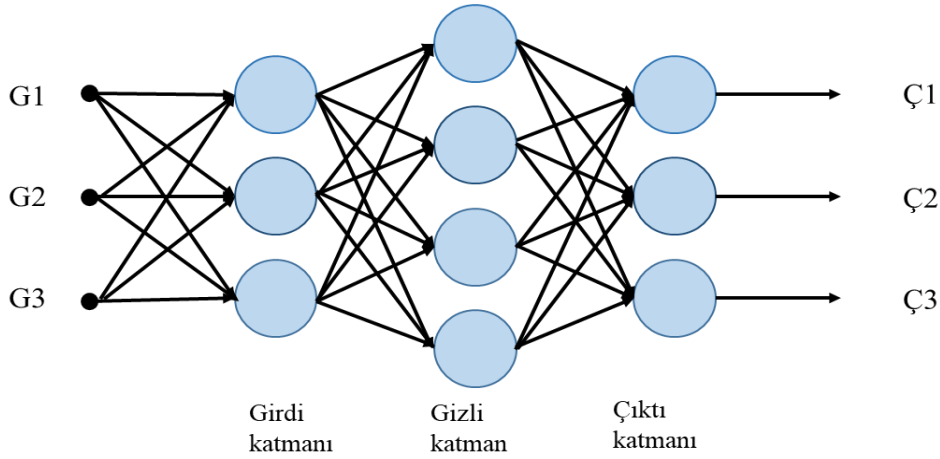
Eş. 3.1’de x_n ’ler girdileri; w_n ’ler algılayıcının ağırlık değerlerini; w_0 , yanlılık (bias) değerini ve y ise çıktı değerini göstermektedir. Çıktı değeri y , ağırlıklar ile girdilerin çarpımlarının toplanarak doğrusal olmayan bir $f(\cdot)$ etkinleştirme fonksiyonundan geçirilmesi ile elde edilir. Eş. 3.1’de verilen cebirsel ifade, ağırlık değerlerini $\mathbf{w} = [w_0 \ w_1 \ w_2 \ \dots \ w_n]^T$ vektöründe toplanıp girdi değerleri vektörünün başına da yanlılık değeri için 1 eklenirse aşağıda verildiği gibi bütünleşik bir halde yazılabilir:

$$y = f \left(\mathbf{w}^T \begin{bmatrix} 1 \\ \mathbf{x} \end{bmatrix} \right) \quad (3.2)$$

3.2. Çok Katmanlı Algılayıcı (Multi Layer Perceptron - MLP)

Algılayıcılar doğrusal olmayan problemlere çözüm üretirken yetersiz kaldıkları için çok katmanlı algılayıcılar önerilmiştir. MLP, çok sayıda gizli katmanların art arda sıralanması ile oluşan doğrusal olmayan problemlerin sınıflandırılmasında kullanılan bir yöntemdir. XOR fonksiyonu en bilindik doğrusal olmayan sınıflandırma problemidir. MLP bu problemi çözmek için bir gizli katman kullanır. Şekil 3.2.’de çok katmanlı algılayıcıların yapısı

gösterilmiştir. Algılayıcılardan farklı en belirgin özelliği gizli katmanların kullanılmasıdır. Girdi katmanı gelen verileri alarak gizli katmana gönderir. Gizli katmanların sayısı en az bir olmak koşuluyla problemin karmaşıklığına göre derinleşebilmektedir. Her katmanın çıkışı bir sonraki katmanın girdisi olmaktadır. Son olarak çıktı katmanında önceki katmanlardan gelen bilgiler işlenerek ağın çıkışı belirlenir.



Şekil 3.2. Üç girdili ve üç çıktılı, tek gizli katmana sahip olan çok katmanlı algılayıcının örnek yapısı

3.3. Evrişimsel Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks)

Evrişimsel sinir ağları birbiri ardına sıralanan çok katmanlı yapıları kullanarak verinin hiyerarşik bir şekilde çözülmesini sağlayan bir sinir ağı mimarisidir [44]. ESA'ların temel amacı, herhangi bir işleme gerek duymadan girdi verilerinden öznitelikler elde etmek ve bu öznitelikleri sınıflandırma veya regresyon işlemlerinde kullanmaktır. Tipik bir ESA yapısı genellikle bir girdi katmanı, evrişim katmanı, havuzlama katmanı, tam olarak bağlı katmanlar ve çıkış katmanından oluşur. Alt bölümlerde bu yapılar sırası ile anlatılacaktır.

3.3.1. Evrişim katmanı

ESA, ismini doğrusal bir cebirsel işlem olan evrişimden almaktadır. Ayrık zamanlı evrişim işleminin cebirsel ifadesi Eş. 3.3'te gösterilmektedir. Bu eşitlikte; süzgeç h , girdiler x ve çıkış y ile gösterilmiştir. ESA mimarilerine adını veren evrişim işleminin esas amacı harici bir işleme gerek kalmadan girdi verisinden öznitelikleri çıkarmaktır. ESA, verilerden öznitelikleri çıkarabilmek için süzgeçler kullanmaktadır. Özellik sezinleyiciler olarak da

adlandırılan süzgeçler, bir evrişim katmanında istenilen sayıda ve istenilen boyutta kullanılabilirler.

$$y[k] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[k]h[k-n] \quad (3.3)$$

Evrişim katman çıktısı olarak süzgeçlerin tespit edebildiği özellikleri içeren öznitelik haritaları elde edilmektedir. Öznitelik haritaları, uygulanan süzgecin veri ile ne kadar ilintili olduğunu göstermektedir. Öznitelik haritalarının boyutunu belirleyen birkaç parametre bulunmaktadır [45]:

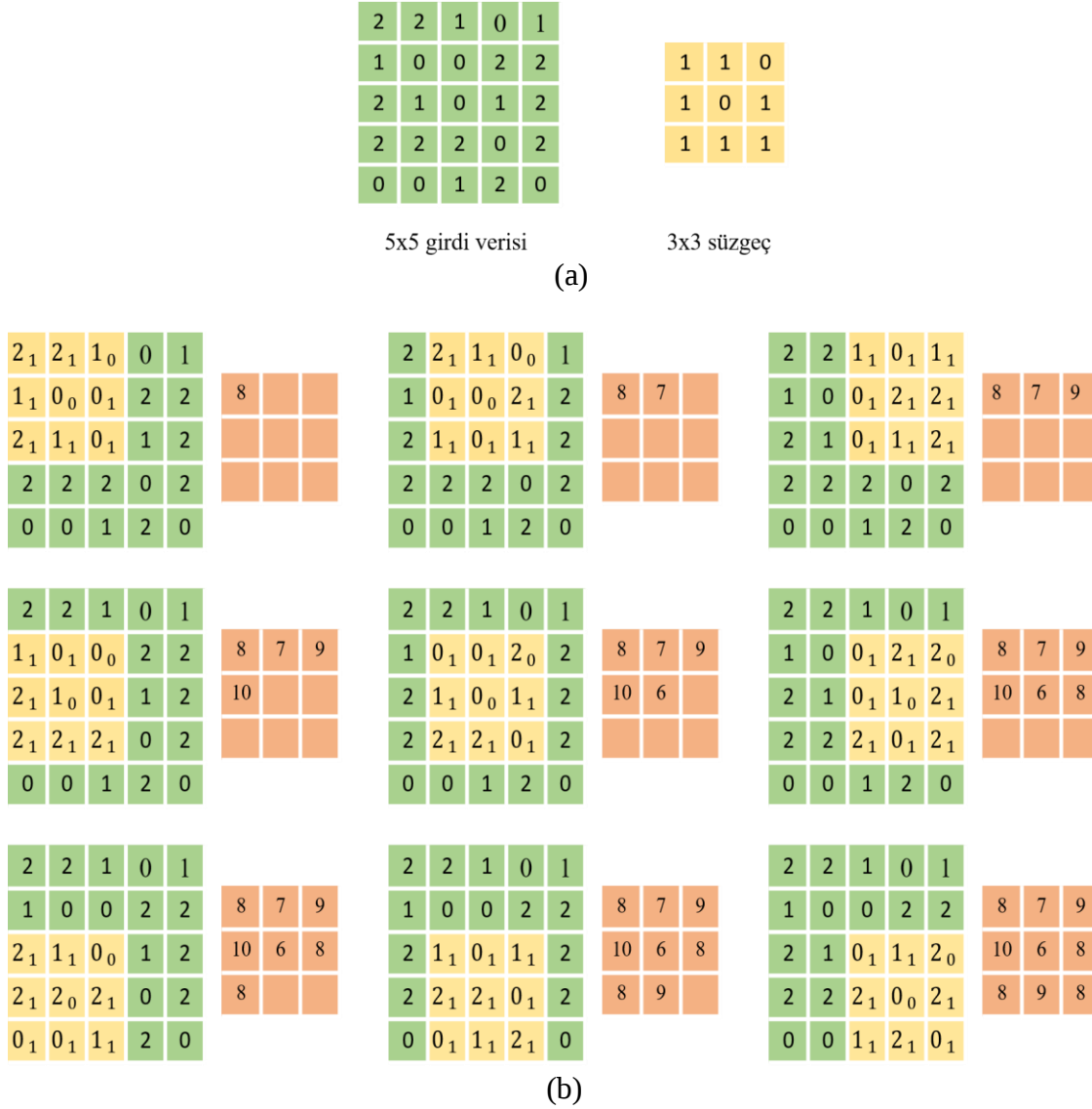
- Derinlik (D): Evrişim işleminde kullanılacak süzgeçlerin sayısını belirleyen parametredir.
- Atlama miktarı (A): Kullanılan süzgecin girdi üzerinde ne kadar kaydırılarak evrişim işleminin yapılacağını gösterir.

Evrişim işlemi sonucunda çıktı boyutunun ne olacağını belirleyen cebirsel ifade Eş. 3.4'te verilmiştir.

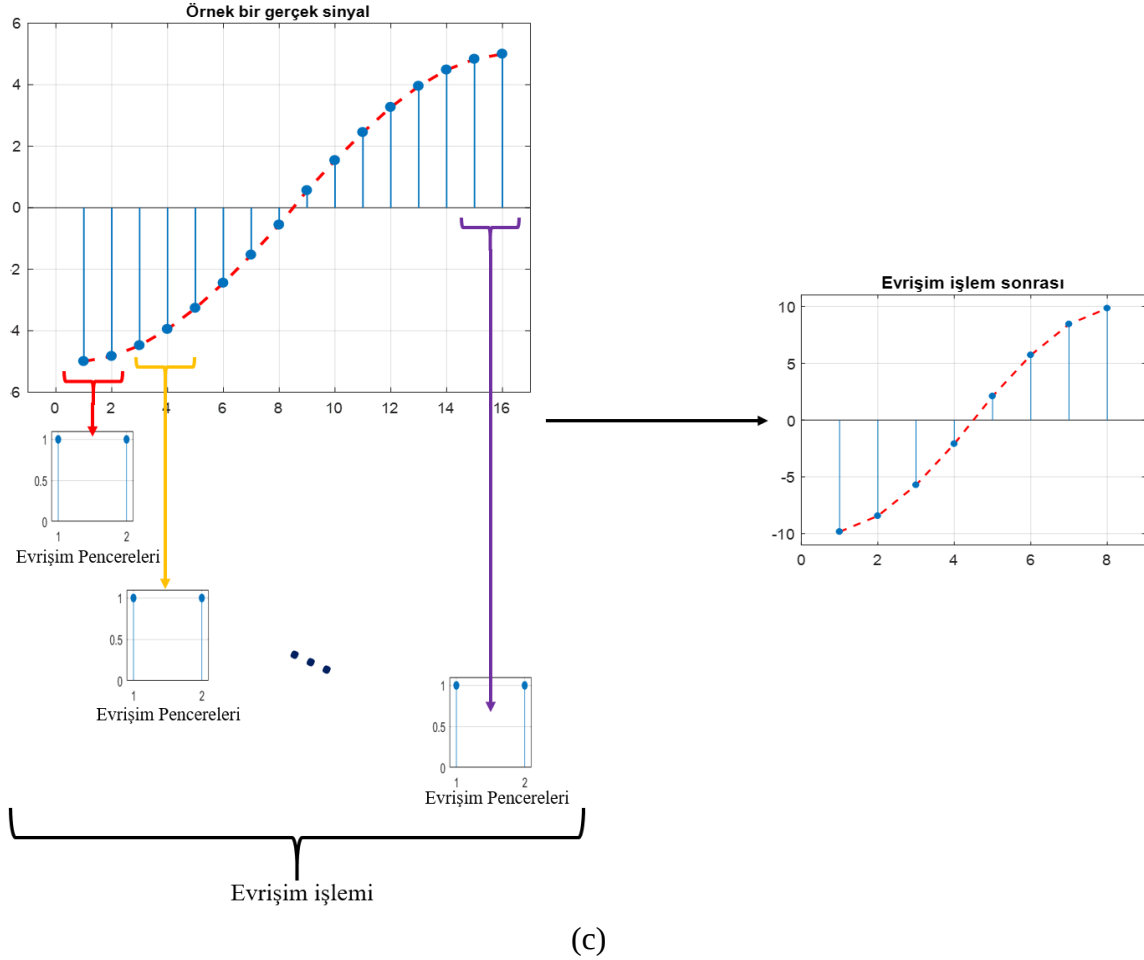
$$\zeta = \frac{G - S}{A} + 1 \quad (3.4)$$

Burada girdi boyutu, G ; kullanılan süzgeç boyutu, S ; atlama miktarı, A ve çıktı boyutu, ζ ile gösterilmiştir.

Şekil 3.3. (a)'da, 5×5 boyutunda örnek bir girdi verisi ve 3×3 boyutlarında örnek bir süzgeç kullanımı gösterilmiştir. Şekil 3.3. (b)'de evrişim işleminin uygulanması görselleştirilmiştir. Süzgeç girdi üzerinde atlama miktarı 1 olacak şekilde kaydırılmıştır. Eş. 3.4'te verilen cebirsel ifade kullanılarak çıktı verisinin boyutu $\left[\frac{5-3}{1} + 1 \right] = 3$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.3. (c)'de ise kullanılan veriyle evrişim işlemini daha iyi anlatabilmek için örnek bir gerçek veri kullanılmıştır. Burada atlama miktarı 2 olacak şekilde seçilmiş ve evrişim çıktısı sonucu gösterilmiştir.



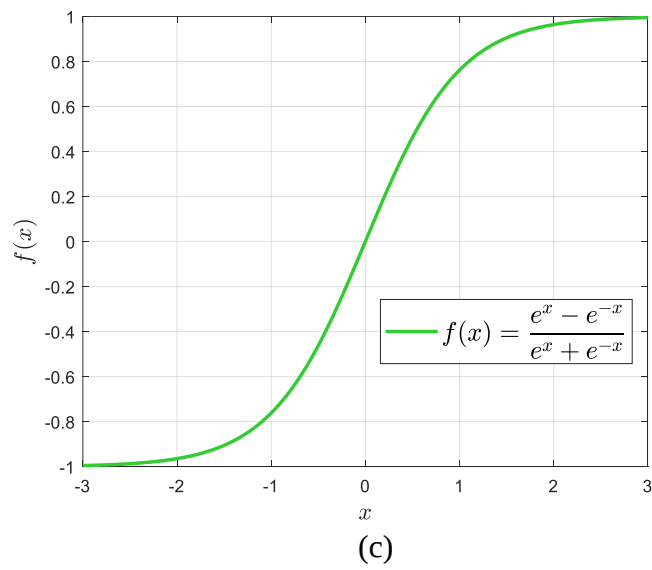
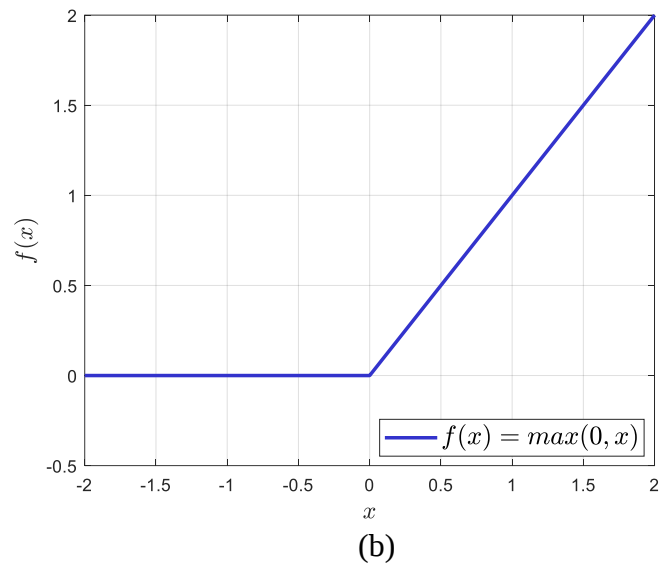
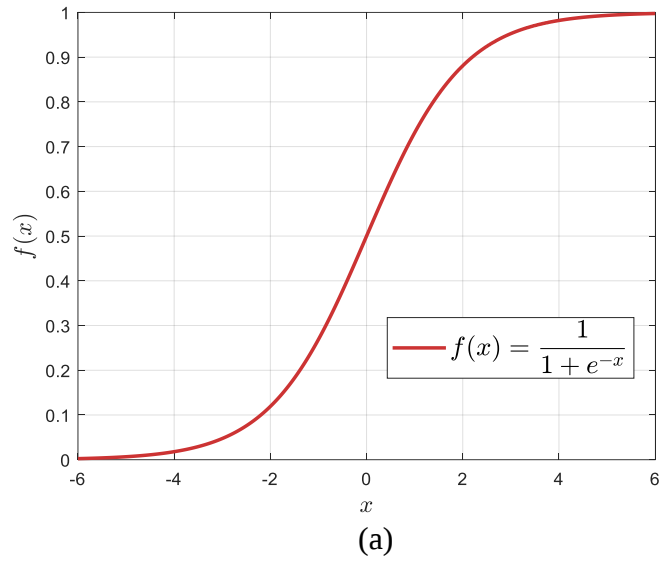
Şekil 3.3. İki boyutlu örnek bir evrişim işlemi için, (a) Girdi verisi 5×5 boyutlu yeşil matris süzgeç 3×3 boyutlu sarı matris olarak görselleştirilmiştir, (b) Girdi matrisi üzerindeki büyük indeksler girdi değerlerini, küçük indekste yer alan sayılar süzgecin değerlerini göstermektedir. Çıktı matrisi (turuncu matris) içerisindeki sayılar ise atlama miktarı 1 olacak şekilde kaydırılması ile oluşan evrişim işlemi sonuçlarını, (c) örnek bir gerçek veri üzerinde evrişim işleminin gösterilmesi



Şekil 3.3. (devam) İki boyutlu örnek bir evrişim işlemi için, (a) Girdi verisi 5×5 boyutlu yeşil matris süzgeç 3×3 boyutlu sarı matris olarak görselleştirilmiştir, (b) Girdi matrisi üzerindeki büyük indeksler girdi değerlerini, küçük indekste yer alan sayılar süzgecin değerlerini göstermektedir. Çıktı matrisi (turuncu matris) içerisindeki sayılar ise atlama miktarı 1 olacak şekilde kaydırılması ile oluşan evrişim işlemi sonuçlarını, (c) örnek bir gerçek veri üzerinde evrişim işleminin gösterilmesi

3.3.2. Aktivasyon katmanı

ESA mimarisinde matematiksel olarak eleman-elaman çarpımı, toplamı ve evrişim işlemleri yapılmaktadır. Bu yapılan işlemler doğrusal işlemlerdir. Ancak gerçek dünyada çoğu problem doğrusal olmayan yapıdadır, dolayısıyla bu işlemler doğrusal olmayan problemler için yetersiz kalabilmektedir. Doğrusal olmayan problem yapısına uyum sağlamak için aktivasyon veya etkinleştirme olarak adlandırılan fonksiyonlar kullanılmaktadır. ESA mimarilerinde evrişim katmanlarının çıktıları aktivasyon fonksiyonlarından geçirilerek doğrusal olmayan bir yapıya dönüştürülmeye çalışılmaktadır. Literatürde çeşitli aktivasyon fonksiyonları bulunmaktadır [41, 43]. Derin ağların eğitim sırasında eğiminin hesaplanabilmesi için türevlenebilir aktivasyon fonksiyonlarını kullanılması gerekmektedir.

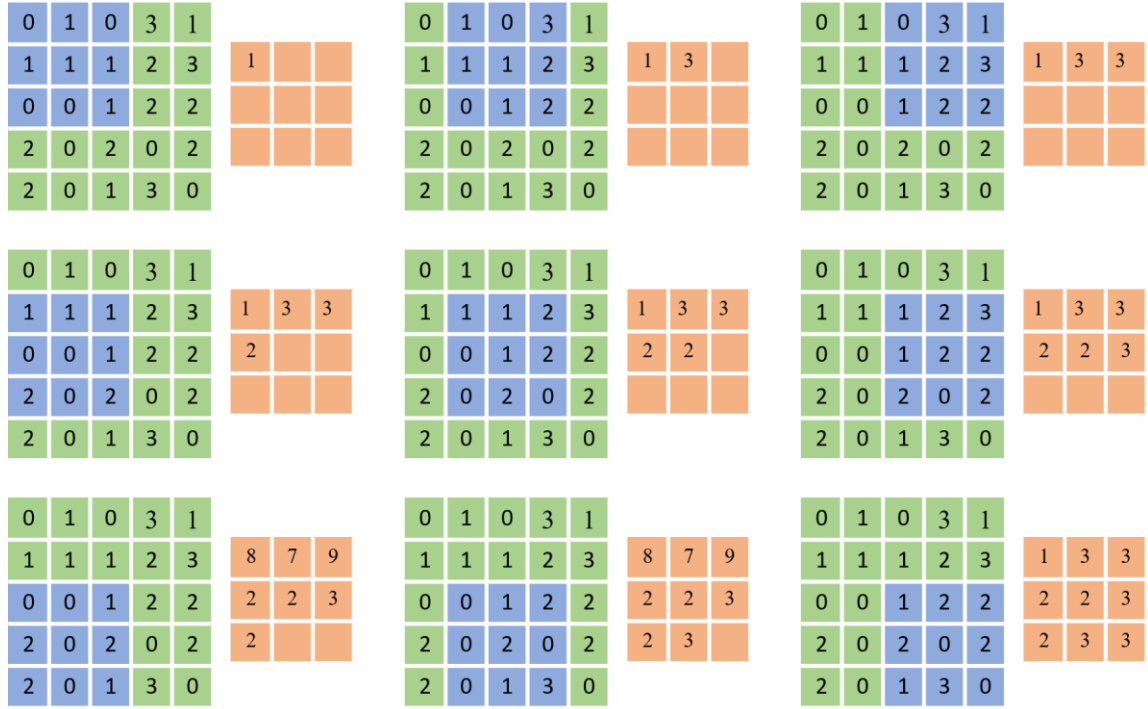


Şekil 3.4. Sıklıkla tercih edilen aktivasyon fonksiyonları, (a) Sigmoid fonksiyonu, (b) ReLU fonksiyonu, (c) Hiperbolik tanjant fonksiyonu (Tanh)

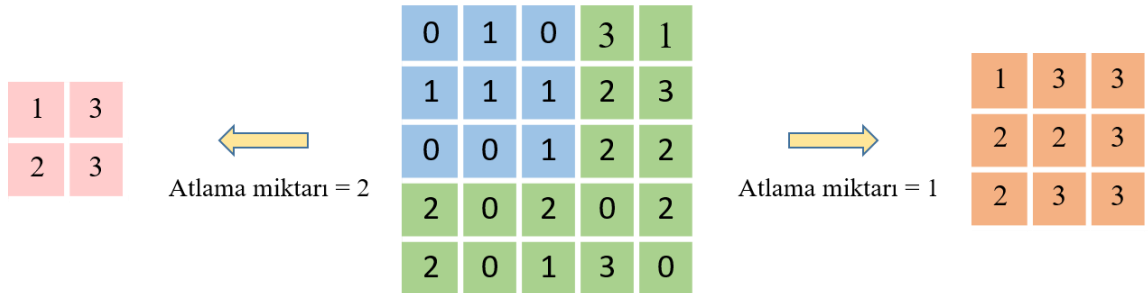
Bunun için en çok tercih edilen aktivasyon fonksiyonları Şekil 3.4.'te verilen tanh, sigmoid ve ReLU (Rectifier Linear Unit)'dur. ReLU fonksiyonun önemli özelliği, türevinin 0 ya da 1 olmasıdır. Büyük bir girdi değerinde bile türevi 1 olarak kalmaktadır. Bu özelliği sayesinde zincir kuralında çok sayıda türevlerin çarpımında oluşabilecek eğim kaybolma problemini (gradient vanishing problem) gidermede tercih edilmektedir. Ancak negatif değerler için ReLU'nun türev değeri 0 olduğu için bir dezavantaj oluşturur. Bu dezavantajın önüne geçmek için ReLU benzeri birçok aktivasyon fonksiyonu geliştirilmiştir.

3.3.3. Alt örnekleme katmanı (Pooling layer)

Uzamsal alt örnekleme (spatial pooling) olarak da adlandırılan alt örnekleme işlemi, öznitelik haritaları üzerinde önemli bilgilerin korunmasını sağlayarak öznitelik harita boyutlarının azaltılmasına olanak sağlamaktadır [45]. En çok tercih edilen alt örnekleme, matris üzerindeki elemanların en büyük olanını seçen en büyük alt örnekleme (max-pooling) yöntemidir. Buna ek olarak elemanların ortalamasını ya da minimum değerini alma gibi işlemlerin yapıldığı alt örnekleme yöntemleri de bulunmaktadır. Şekil 3.5.'te en büyük alt örnekleme işlemi için, 5×5 boyutunda girdi (yeşil), 3×3 boyutunda süzgeç (mavi) ve 3×3 boyutunda çıktı (turuncu) verisi görselleştirilmiştir. Süzgeç girdi üzerinde atlama miktarı 1 olacak şekilde kaydırılmıştır. Evrişim işleminde olduğu gibi Eş. 3.4'te verilen cebirsel ifade kullanılarak çıktı boyutu $\left\lceil \frac{5-3}{1} + 1 \right\rceil = 3$ olarak hesaplanmıştır. Farklı atlama miktarları seçildiğinde çıktı boyutunda da değişiklik meydana gelir. Şekil 3.6.'da farklı atlama miktarları için çıktı boyutunun değişimi gösterilmektedir. Atlama boyutu 1 seçildiğinde 3×3 boyutunda, atlama miktarı 2 seçildiğinde 2×2 boyutunda çıktı elde edilmektedir. Bu sayede farklı atlama miktarı seçimiyle parametre sayısı değişebilmektedir.



Şekil 3.5. En büyük alt örnekleme işleminin gösterilmesi



Şekil 3.6. Farklı atlama miktarı için elde edilen çıktı boyutundaki değişiklik

3.3.4. Tam bağlı katman (Fully-connected layer)

Tam bağlı (TB) katman aslında çok katmanlı bir algılayıcı ağıdır. Çok katmanlı algılayıcılar doğrusal olmayan problemlerin çözümüne olanak sağlamaktadır [45]. Evrişim ve alt örnekleme katmanlarından çıkarılan öznitelik haritaları, TB katman için girdi olarak kullanılır ve çıktı katmanındaki verilerin sınıflandırılmasına veya regresyonuna izin vermektedir.

3.3.5. Softmax fonksiyonu

TB katmanını genellikle *softmax* olarak adlandırılan bir aktivasyon fonksiyonu takip etmektedir. *Softmax* fonksiyonu, reel değerli bir vektörü girdi olarak alır ve toplamaları 1 olacak şekilde $[0-1]$ aralığına sıkıştırmaktadır.

$$\sigma(\mathbf{z}) = \frac{e^{z_i}}{\sum_{j=1}^L e^{z_j}}, \quad i = 1, \dots, L \quad (3.5)$$

Eş. 3.5'te $\mathbf{z}$ vektörü L boyutlu *softmax* fonksiyonunun girdi elemanlarından oluşan vektörü temsil etmektedir.

3.4. Maliyet Fonksiyonu, Geri Yayılım Algoritması ve Olasılıksal Eğim Düşümü

Maliyet fonksiyonları, ağıın ürettiği çıktı değerleri ile gerçek değerler arasındaki hatayı (veya mesafeyi) ölçen fonksiyonlardır. YSA problemlerinde çeşitli türlerde maliyet fonksiyonları mevcuttur. Regresyon problemleri için en küçük kareler hatası, sınıflandırma problemleri için ise çapraz entropi en çok tercih edilen fonksiyonlarıdır. Maliyet fonksiyonları eniyileme yapılan problem çıktısının arzu edilen sonuca ne kadar uzak kaldığının bilgisini vermektedir. Bu uzaklık YSA'daki hiper parametrelere bağlı bir şekilde yinelemeli olarak küçültülmektedir. Regresyon problemleri için kestirilen ve gerçek değer arasındaki hatayı hesaplayan maliyet fonksiyonunun cebirsel ifadesi Eş. 3.6'da verilmiştir.

$$L(\mathbf{y}, \mathbf{z}) = \frac{1}{2} \|\mathbf{y} - \mathbf{z}\|^2 \quad (3.6)$$

Burada, $\mathbf{y}$ vektörü gerçek değerleri, $\mathbf{z}$ vektörü ise bu gerçek değerlere karşılık geleceği öngörülen kestirim değerlerini ifade etmektedir.

Geri yayılım algoritması maliyet fonksiyonun eğimini hesaplamak için kullanılan zincir kuralının pratik bir uygulamasıdır. En üst katmandan başlayarak her katmanda bulunan ve o katmana ait olan ağırlıklar kullanılarak eğim hesaplanmaktadır ve buradaki hata bir alt katmana iletilmektedir. Bu işlem en alttaki katmana kadar devam etmektedir [40]. Bu işleyiş, maliyet fonksiyonundaki düşüş önemszenmeyecek noktaya gelinceye kadar devam etmektedir. Geri yayılım algoritması, maliyet fonksiyonunun hangi yönde değişmesi

gerektiği bilgisini vermektedir. Eş. 3.7’de verilen cebirsel ifadede w (ağırlık parametreleri) değerine göre türev, zincir kuralı kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\frac{\partial L(y, z)}{\partial w} = \frac{\partial L(y, z)}{\partial a} \times \frac{\partial a}{\partial z} \times \frac{\partial z}{\partial w} \quad (3.7)$$

Eğim düşümü, maliyet fonksiyonunu azaltmak için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem eğitim örneğinin eğimini alarak önceden belirlenmiş öğrenme adımı boyunca, artan eğimin tersi yönünde ilerleyerek fonksiyonun en küçük değerini bulmaya çalışmaktadır. Eğim düşümü için cebirsel ifade Eş. 3.8’deki gibi yazılmaktadır.

$$w_{i+1} = w_i - \eta \frac{\partial L(y, z)}{\partial w} \quad (3.8)$$

Eğim hesaplandıktan sonra YSA’da bulunan her bir parametre yinelemeli olarak güncellenir. Eş. 3.8’de, η öğrenme adımını ifade etmektedir. Öğrenme adımı, fazla büyük seçildiğinde hedefe ulaşamayabilir. Çok küçük seçildiği zaman da, algoritma çok küçük adımlarla ilerleyeceği için yakınsama çok uzun sürebilmektedir [46]. Bu nedenle öğrenme adımı parametresini seçmek son derece önemlidir. Eğim düşümünde tek seferde tüm veri kümesi ele alınarak eğim hesabı yapılmaktadır. Bu yüzden eğim düşümü yöntemi oldukça yavaştır. Ayrıca hafıza problemi oluşturacak büyüklükteki veri kümeleri için uyarlaması zahmetlidir. Bu eksikliklerine rağmen eğim düşümü yöntemi içbükey (convex) problemler için global minimum noktasını bulmayı garanti etmektedir [47]. Olasılıksal eğim düşümü yönteminde ise tüm eğitim verisinin kullanılması yerine paket sayısı kadar seçilen örnekler üzerinden ağırlık güncellenmesi yapılır. Pakette yer alan eğitim örneklerinin seçimi rasgele yapıldığı için bu yöntem olasılıksal ön adını alır. Paket sayısına bağlı olarak daha fazla yerel minimum noktasından kaçınarak global minimum noktasına daha hızlı bir şekilde yakınsamaya çalışır [47].

3.5. Hiper Parametreler

DÖ yöntemlerinde ağ yapısının en iyi sonuç verecek şekilde tasarlanması önemlidir. Problem yapısı, kullanılan veri kümesinin farklılığı gibi etkenlerden dolayı ağı tasarlayan kişiye bırakılan parametreler hiper parametre olarak adlandırılmaktadır. Uygun hiper

parametrelerin seçimi eğitim aşamasında maliyeti azaltan ve başarımı artıran faktörlerdir. Bu hiper parametreleri özet olarak aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz:

- Öğrenme Miktarı: Ağırlıkların değişim miktarını belirlemektedir. Eğitim düşümü algoritmaların yakınsamasını sağlamaktadır. Bu tez kapsamında çalışmalar sonucunda $\eta=0.0001$ olarak tercih edilmiştir.
- Aktivasyon Fonksiyonu: Doğrusal olmayan problemlerin çözümü için kullanılmaktadır. Problemin çözümüne göre farklı aktivasyon fonksiyonları tercih edilmektedir. Bu tez kapsamında çalışmalar sonucunda *Tanh* aktivasyon fonksiyonu tercih edilmiştir.
- Eniyileme Türleri: DÖ uygulamalarında sıklıkla SGD, Adagrad, RMSprop, Adadelat ve Adam gibi eniyileme algoritmaları tercih edilmektedir. Bu algoritmalar arasında başarımları ve hız bakımından farklılıklara göre tercih yapılmaktadır. Tez kapsamında, Adam (adaptive Moment Estimation) algoritması tercih edilmiştir. Adam algoritması; geçmiş eğimlerin karelerinin katlanarak azalan bir ortalamasını depolamanın yanı sıra, momentuma benzer şekilde, katlanan ortalama eğimlerin ortalamasını da tutmaktadır.
- Ağın Genişliği ve Derinliği: Derin öğrenme yöntemini diğer YSA uygulamalarından ayıran en önemli özelliklerinin başında artabilen katman sayısı gelmektedir. Katman sayısının fazla olması ağın derinliğini ifade etmektedir. Problemin farklılığına göre tasarlanan ağın derinliği değişmektedir. Katman sayısının artırılması belli bir noktadan sonra performansı etkilemektedir.
- Yineleme ve Paket boyutu: Çalışmalar sonucunda belirlenen paket boyutu kadar verinin ağ üzerinden ileri ve geri yönde geçmesine yineleme denir. Tez kapsamında belirlenen paket boyutu 128 ve yineleme sayısı 500000 olarak belirlenmiştir.
- Ağırlık Başlangıç Değerleri: Ağırlık başlangıç değerleri için farklı yöntemler mevcuttur. Bu tez kapsamında ağırlık değerleri normal dağılım ile belirlenmiştir. Bu şekilde rastgele ve farklı ağırlıkların olması, farklı güncelleme değerlerinin üretilmesini ve ağırlıkların birbirlerinden farklı şekilde ağa uyum sağlamasını olanak sağlamıştır [46].

Hangi hiper parametrenin seçildiğine dair yapılan detaylı çalışmalar Bölüm 4.2’de sunulmuştur.

3.6. Bölüm Özeti

Bu bölümde ilk olarak DÖ yönteminin temellerini oluşturan YSA hakkında kısaca bilgiler verilmiştir. Daha sonra tez kapsamında tasarlanan ESA mimarisi ve ESA mimarisinin yapı taşları kapsamlı bir şekilde anlatılmıştır. ESA mimarisi oluşturulurken mevcut problem dikkate alınarak seçilen hiper parametrelerin detayları anlatılmıştır.

4. DERİN ÖĞRENME YÖNTEMİ İLE HARMONİK ANALİZİ

Tezin bu bölümde, tez kapsamında kullanılan derin öğrenme yöntemi ile harmonik bileşenlerin genlik ve faz değerleri kestirilmeye çalışılmıştır. Bölüm 4.1’de problemin matematiksel modeli sunulmuştur. Bölüm 4.2’de probleme çözüm bulabilmek için önerilen ESA modelinin detayları anlatılmıştır. Bölüm 4.3’te saha verilerinden alınan EAO akım harmoniklerinin istatistiksel modelleri çıkarılarak verileri depolamak için fazla hafıza harcamadan veri çoğaltma işleminin detayları anlatılmıştır. Bölüm 4.4’te ise bu bölümde bahsedilen çalışmaların kısa bir özeti sunulmuştur.

4.1. Problemin Matematiksel Modeli

Periyodik sinyaller, temel frekansın tamsayı katlarında titreşen sinüzoidal bileşenlerden oluşmaktadır. Fourier serisi analizi genellikle periyodik sinyalleri sinüzoidal bileşenlerine ayrıştırmak için kullanılır ve Fourier serisi analizi, bu frekans bileşenlerine karşılık gelen genliklerinin ve fazlarının katsayıları vermektedir. Güç sistemlerinde farklı frekanstaki harmonik bileşenlerin genlik ve faz açıları Eş. 4.1’de verilen cebirsel ifade şeklinde modellenebilmektedir.

$$y(t) = A_0 + A_1 \sin(1w_0t + \Phi_1) + A_2 \sin(2w_0t + \Phi_2) + \dots + A_i \sin(iw_0t + \Phi_i) \quad (4.1)$$

Eş. 4.1’de verilen ifade bütün harmonik bileşenlerin toplamı şeklinde yazıldığında Eş. 4.2’de verilen ifadeye dönüşmektedir.

$$y(t) = A_0 + \sum_{i=1}^N A_i \sin(iw_0t + \Phi_i) \quad (4.2)$$

Bu eşitlikte w_0 , sinyalin temel frekansını ifade etmektedir. A_i ve Φ_i sırasıyla harmonik bileşenlerin genlik ve faz bilgilerini ve A_0 ise doğru akım (DA) bileşenini vermektedir. Trigonometrik özdeşlikler kullanılarak, Eş. 4.2’de verilen ifade Eş. 4.3’de verildiği gibi yeniden yazılabilmektedir.

$$y(t) = A_0 + \sum_{i=1}^N A_i [\cos(\Phi_i) \sin(iw_0 t) + \sin(\Phi_i) \cos(iw_0 t)] \quad (4.3)$$

Eş. 4.3'de, $a_i = A_i \cos(\Phi_i)$ ve $b_i = A_i \sin(\Phi_i)$ olarak tanımlandığında Eş. 4.3'de verilen ifade Eş. 4.4'te verilen ifadeye dönüşmektedir.

$$y(t) = A_0 + \sum_{i=1}^N [a_i \sin(iw_0 t) + b_i \cos(iw_0 t)] \quad (4.4)$$

i . harmonik bileşenin genliği $A_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2}$ şeklinde ve i . harmonik bileşenin faz açısı $\Phi_i = \tan^{-1} \left(\frac{b_i}{a_i} \right)$ şeklinde ifade edilmektedir. Eş. 4.4'te verilen cebirsel ifade gösterim kolaylığı için N sayıda harmonik bileşen içerecek şekilde bütünleşik bir yapıda Eş. 4.5'deki şekliyle gösterilebilir.

$$\mathbf{X} = [\sin(w_0 t) \cos(w_0 t) \sin(2w_0 t) \cos(2w_0 t) \cdots \sin(Nw_0 t) \cos(Nw_0 t)] \quad (4.5)$$

Benzer şekilde a_i ve b_i katsayıları bir araya getirilerek Eş. 4.6'da verilen ağırlık vektörü oluşturulur.

$$\mathbf{w} = [a_1 \ b_1 \ a_2 \ b_2 \ \cdots \ a_N \ b_N] \quad (4.6)$$

Daha sonra Eş. 4.4'te verilen model, Eş. 4.7'de gösterildiği haliyle Eş. 4.5 ve Eş. 4.6'da verilen cebirsel ifadeler kullanılarak yeniden yazılabilmektedir.

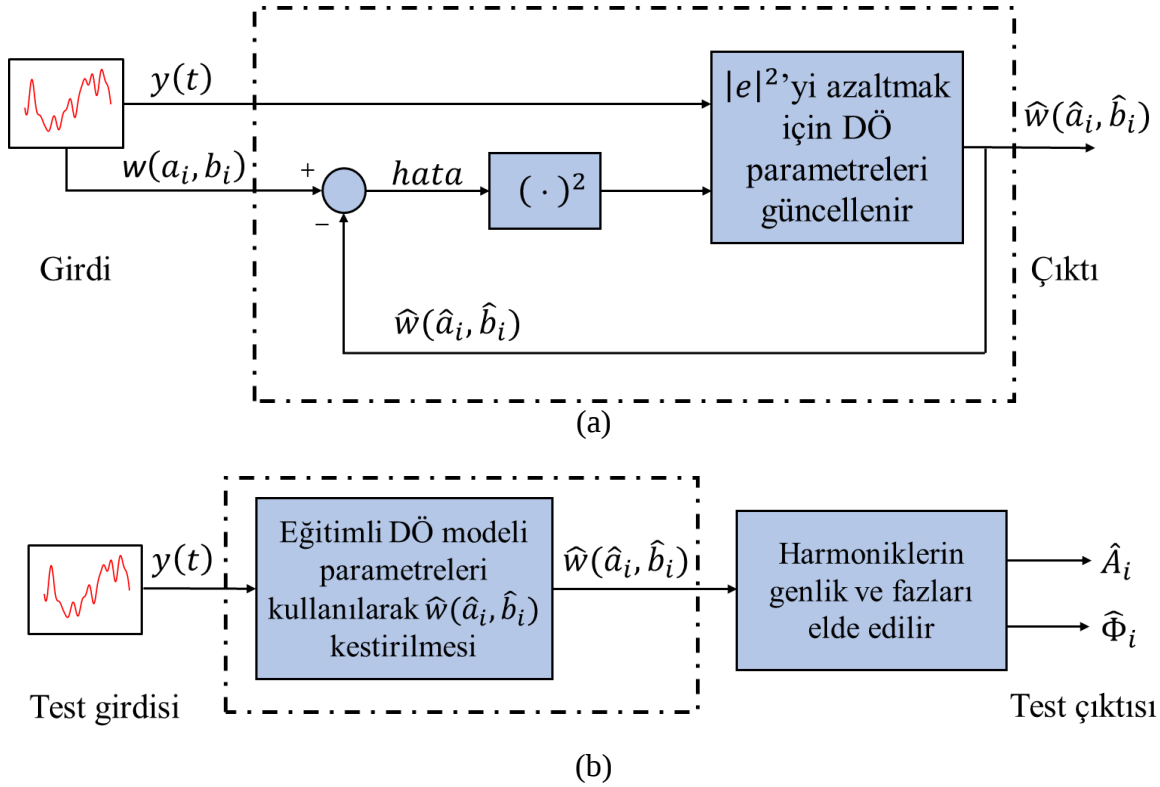
$$y(t) = A_0 + \mathbf{w}^T \mathbf{X} \quad (4.7)$$

Eş. 4.7'de verilen cebirsel ifadede $\mathbf{w}$ ve $\mathbf{X}$ değerleri a_i 'ler ve b_i 'ler cinsinden ifade edildiğinde, Eş. 4.4'teki ifadeye geri dönülebilmektedir. i harmonik sırayı ve $i=1$ temel bileşeni ifade etmektedir. Eş. 4.4'te ve Eş. 4.7'de verilen A_0 sabit değeri sinyalin DA bileşenini temsil etmektedir. Modelin DA bileşeni (A_0) genel ifadeyi kaybetmeden sıfır olarak kabul edilebilir. Çünkü DA bileşeni her analiz penceresi için sinyal bozulması

olmadan çıkarılabilir ve bu tez çalışmasında kullanılan güç sinyallerinin DA bileşeni yoktur. Dolayısıyla matematiksel model Eş. 4.8 verildiği şekliyle kullanılabilir.

$$y(t) = \mathbf{w}^T \mathbf{X} \quad (4.8)$$

Eş. 4.8’de verilen sinyal modeli, aslında a_i ’ler ve b_i ’lerin işlevi olan harmonik bileşenlerin genlik ve fazlarını kestirmek için kullanılmaktadır. Önerilen DÖ mimarisi ile temel frekans bileşeni ve diğer harmonik bileşenlerine karşılık gelen a_i ’ler ve b_i ’lerden oluşan w vektörü kestirilir. Kestirilen değerler $\hat{a}_i$ ve $\hat{b}_i$ olarak ifade edilir ve daha sonra harmoniklerin genlik ve faz değerleri bu değerler kullanılarak hesaplanır.



Şekil 4.1. Tez kapsamında önerilen DÖ tabanlı kestirim yönteminin (a) eğitim aşaması, (b) test aşamasının blok şeması verilmiştir

Şekil 4.1.’de hem eğitim hem de test aşamaları için önerilen DÖ tabanlı harmoniklerin genlik ve faz kestirimleri yöntemi gösterilmektedir. DÖ tabanlı kestiricinin girişi, eğitim aşamasına karşılık gelen a_i ’ler ve b_i ’lerle birlikte sinyal dalga formu örneklerinin bir penceresidir. Eğitim aşamasında, a_i ’ler ve b_i ’lerin gerçek değerleri ile $\hat{a}_i$ ’ler ve $\hat{b}_i$ ’ler ile ifade edilen kestirilen değerler arasındaki ortalama kare hatasını en aza indirerek DÖ parametrelerini,

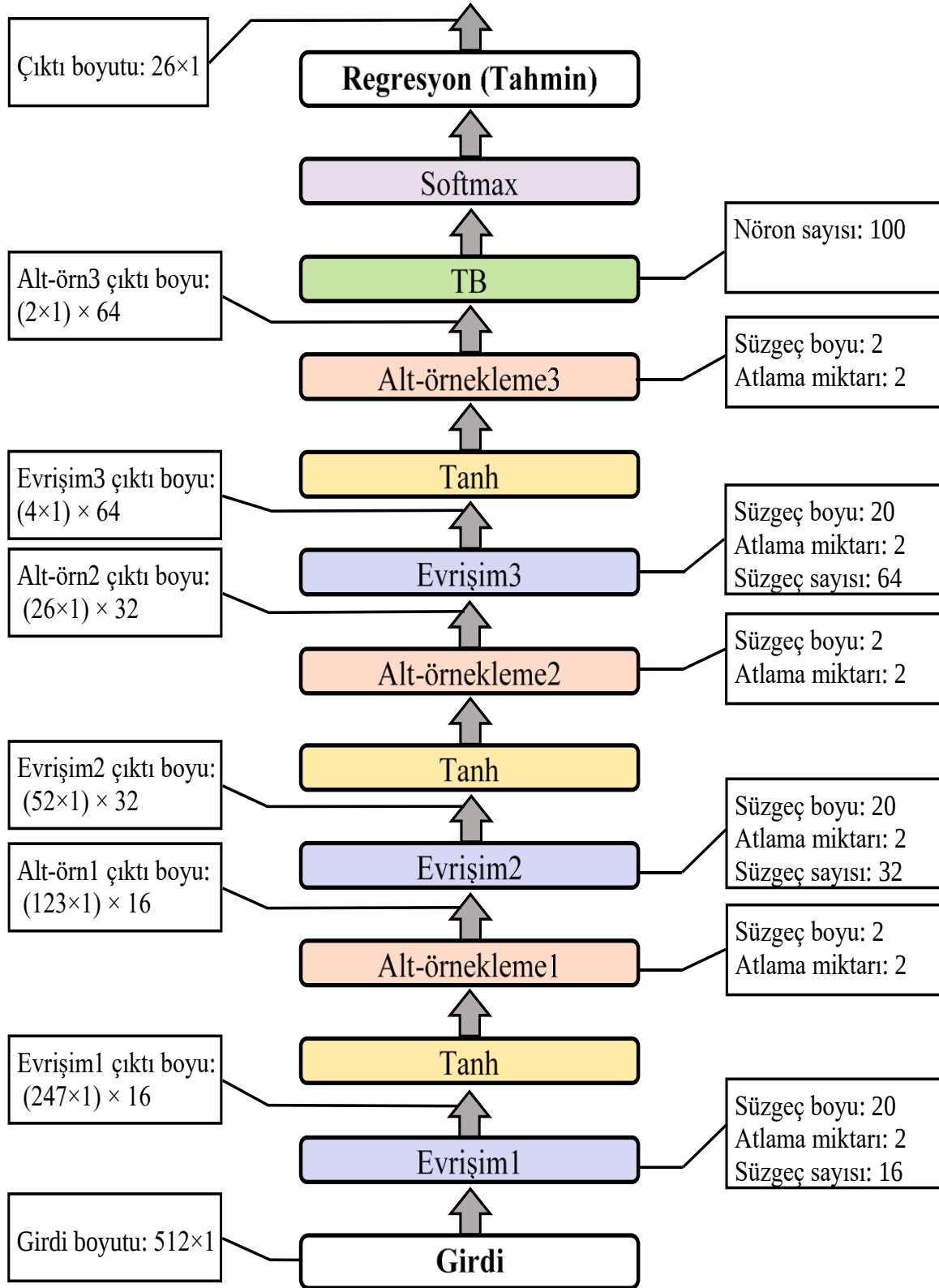
yani evrişim ve alt örnekleme süzgeçlerinin katsayıları güncellenir. Bu aşamada en iyi parametreler öğrenildikten sonra, test aşamasında Şekil 4.1.'de gösterildiğı gibi veri kümesindeki sinyal girdileri kullanılarak a_i 'ler ve b_i 'lerin kestirim değerleri çıkarılır.

4.2. Önerilen ESA Modeli

ESA'ların temel amacı, herhangi bir işlem yapılmadan girdi verilerinden öznitelikler elde etmek ve bu öznitelikleri sınıflandırma ve regresyon işlemlerinde kullanmaktır. Tez kapsamında önerilen ESA modeli Şekil 4.2.'de gösterilmiştir. Akım veya gerilimin 512 boyutlu örnek verileri ilk evrişim katmanına (Evrişim1) verilir. Örnekleme frekansı 25,6kHz olarak seçilerek, girdi örneklerinin sayısı, 50Hz temel frekansın tek bir iletim şebekesinden sürekli olarak veri toplayan ülke çapında güç kalitesi izleme sistemi [48] ile uyumlu hale getirilmiştir. Tek döngü veri penceresi (512), tüm frekans bileşenlerinin en az bir döngüsünü garanti ettiği için harmonik kestirimleri için en ideal uzunluk olarak kabul edilmektedir. Elbette daha uzun veri boyutları daha doğru sonuçlar vermektedir. Bununla birlikte, analiz penceresinin uzunluğu arttıkça, sinyal analiz penceresinde daha az durağan olma eğilimine girmektedir. Evrişim1 katmanında, 20x1 boyutlarında 16 farklı filtre kullanılmıştır. Evrişim1 katmanının çıkışında, 247x1 boyutunda 16 öznitelik haritası elde edilmiş ve öznitelik haritaları doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonundan geçmiştir. Girdi verilerinin hem pozitif hem de negatif bileşenleri göz önünde bulundurularak doğrusal olmayan bir etkinleştirme işlevi olarak *Tanh* kullanılmıştır. Eş. 4.9'da *Tanh* fonksiyonunun cebirsel ifadesi gösterilmiştir. Eşitlikte yer alan doğrusal olmayan durum, girdideki tüm öğelere ayrı ayrı uygulanmıştır.

$$\tanh(a) = \frac{e^a - e^{-a}}{e^a + e^{-a}} \quad (4.9)$$

Evrişim1 katmanını takip eden ilk alt örnekleme katmanı (Alt-örnekleme1) 2x1 boyutunda olacak şekilde seçilmiştir ve böylece veri boyutu 123x1 olarak azaltılmıştır. Bu çalışmada en büyük alt örnekleme kullanılmıştır.



Şekil 4.2. Önerilen evrişimsel sinir ağı mimarisi. Önerilen model üç evrişim katmanından ve üç alt örnekleme katmanından oluşmaktadır. Bunları ağın sonunda tam bağlı bir katman takip etmektedir.

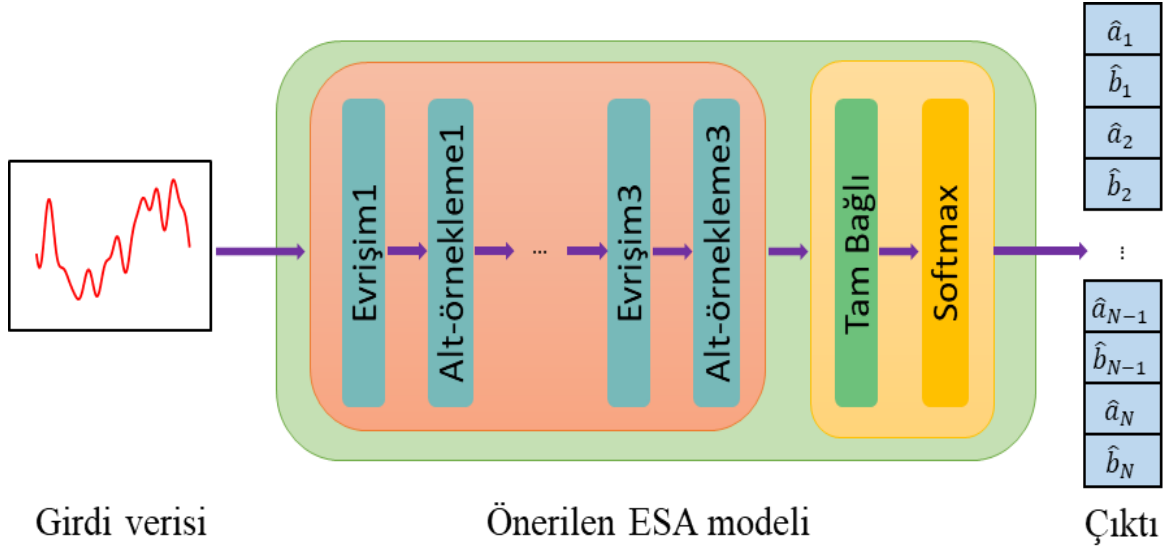
Aynı işlemler takip eden katmanlar (Evrişim2, Alt-örnekleme2, Evrişim3 ve Alt-örnekleme3) içinde tekrarlanmıştır. Alt-örnekleme3 olan son alt örnekleme katmanının sonunda, veri boyutu 2×1 'e düşürülmüştür. Evrişim ve alt örnekleme katmanlarından çıkarılan öznitelikler, regresyon için 100 nöron içeren bir tam bağlı katmana bağlanmıştır. Bu katman çıktısı *softmax* fonksiyonundan geçirilmiştir. *Softmax* fonksiyonun çıktısı, $\hat{a}_i$ ve $\hat{b}_i$ ile gösterilen a_i ve b_i katsayılarının kestirim değerleri olarak ifade edilen i 'nin harmonik sırasının temsil edildiği olasılık değerleri üretmektedir.

$$hata = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [(a_i - \hat{a}_i)^2 + (b_i - \hat{b}_i)^2]} \quad (4.10)$$

Eş. 4.10'da verilen cebirsel ifade (hata), eğitim aşamasında minimize edilecek maliyet fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Bu ifadedeki N harmonik sıraya karşılık gelmektedir. 512 pencere boyutlu veri kümesinden paket boyutu kadar rastgele seçilen örnekler, Şekil 4.2.'de gösterilen modele girdi olarak verilmiş ve parametreler Eş. 4.10'da tanımlanan hatayı en aza indirmek için güncellenmiştir.

Genel eğitim süreci, ileri yayılma ve geri yayılma algoritmalarından oluşmuştur. Mevcut model parametreleri ile girdi verilerinin gerçek regresyon sonuçları ileri yayılım algoritması ile hesaplanmıştır. Hatayı azaltmak ve model parametrelerini güncellemek için ise geri yayılım algoritması kullanılmıştır. Bu işlem, önceden belirlenmiş sayıda yinelemeye ulaşılan kadar tekrarlanmıştır. Öğrenme adımı $\eta = 0.0001$ olarak ayarlanmış ve ağda eğitilen tüm parametreler (modeldeki süzgeç katsayıları ve sabitler), $[-0.05, 0.05]$ aralığında rastgele değerlerle ilklendirilmiştir. Adam yöntemi, eğitim eniyileyici olarak kullanılmış ve paket boyutu 128 olarak seçilmiştir.

Eğitim aşaması en iyi DÖ parametrelerini verdiğiinde, önerilen yöntem Şekil 4.3.'de gösterildiği gibi akım veya gerilim verilerinin her bir 512 örnek girdi penceresine karşılık gelen $\hat{a}_i$ ve $\hat{b}_i$ değerlerini kestirmek için kullanıma hazır olmuştur. Bu kestirim değerleri kullanılarak harmonik bileşenler için genlikler ve fazlar hesaplanmıştır.



Şekil 4.3. Girdi-çıkı ilişkisinin gösterimi (Tez kapsamında $N=13$)

Çizelge 4.1. Önerilen ESA mimarisinin özellikleri

Katman adı	Tensor boyutu	Katman boyutu	Parametre sayısı
Girdi	(512×1)	512	0
Evrişim1	$(247 \times 1) \times 16$	3952	336
Alt-örn1	$(123 \times 1) \times 16$	1968	0
Evrişim2	$(52 \times 1) \times 32$	1664	672
Alt-örn2	$(26 \times 1) \times 32$	832	0
Evrişim3	$(4 \times 1) \times 64$	256	1334
Alt-örn3	$(2 \times 1) \times 64$	128	0
TB	(100×1)	100	12801
Softmax	(26×1)	26	2601
			17754

Çizelge 4.1.'de önerilen ESA katmanlarının özelliklerini listelenmiştir. Çizelge 4.1.'de gösterildiği gibi, evrişim katmanlarında öğrenilebilir parametreler (veya ayarlanabilir parametreler) bulunmaktadır. Öğrenilebilir parametre sayısı, filtrenin genişliğinin yükseklikle çarpılması ve her filtre için sapma teriminin toplanmasıyla hesaplanır. Evrişim

katmanlarındaki toplam parametre sayısı Eş. 4.11'de verilen cebirsel ifadeyle hesaplanmaktadır.

$$P_{Evrişim} = (G \times H + 1) \times C \quad (4.11)$$

Eş. 4.11, evrişim katmanlarının parametre sayılarını temsil etmektedir. G , H ve C sırasıyla süzgeçlerin genişliğini, süzgeçlerin yüksekliğini ve süzgeç sayısını göstermektedir. Örneğin, Evrişim1 için $G = 20$, $H = 1$ ve $C = 16$ seçildiğinde, parametre sayısı $P_{Evrişim} = (20 \times 1 + 1) \times 16 = 336$ olarak hesaplanmaktadır. Alt örnekleme katmanları yalnızca öznitelik haritalarının boyutunu küçültmek için kullanıldığından, bu katmanların öğrenilebilir parametreleri yoktur. Tam bağlı katmanda ve *softmax* fonksiyonunda, her nöron bir önceki katmandaki nöronlara bağlanır. Bu katmandaki parametre sayısı Eş. 4.12'de verilen ifadeyle hesaplanmaktadır.

$$P_{TB} = (D \times E) + 1 \quad (4.12)$$

Eş. 4.12'de D , TB katmandaki nöron sayısıdır. E , bir önceki katmandaki nöron sayısıdır ve yanlılık terimi 1'dir.

ESA mimarisi en iyi sonuçları verecek şekilde tasarlanmıştır. Uygun hiper parametrelerin seçimi maliyeti azaltacak ve başarıyı artıracak şekilde seçilmiştir. Bu hiper parametrelere öğrenme adımı, aktivasyon fonksiyonu, eniyileme türleri, ağırlık başlangıç değerleri ve yineleme ve paket boyutu örnek verilebilir. Çizelge 4.2.'de, önerilen DÖ yapısı için hiper parametrelerin etkilerinin araştırılmasını gösterilmiştir. Bu sonuçlar Bölüm 5'te daha ayrıntılı bir biçimde verilmiştir. Çizelge 4.2.'de görülebileceği gibi, paket boyutu 256'ya eşit olduğunda minimum genlik kestirim hatası elde edilir. Bununla birlikte, faz kestirim hatası, paket boyutu 128 ile karşılaştırıldığında daha büyüktür. Ek olarak, önerilen model, paket boyutu arttıkça daha fazla eğitim süresine ihtiyaç duymaktadır. Bu gerçekleri göz önünde bulundurarak, en iyi paket boyutu parametresi 128 olarak seçilmiştir.

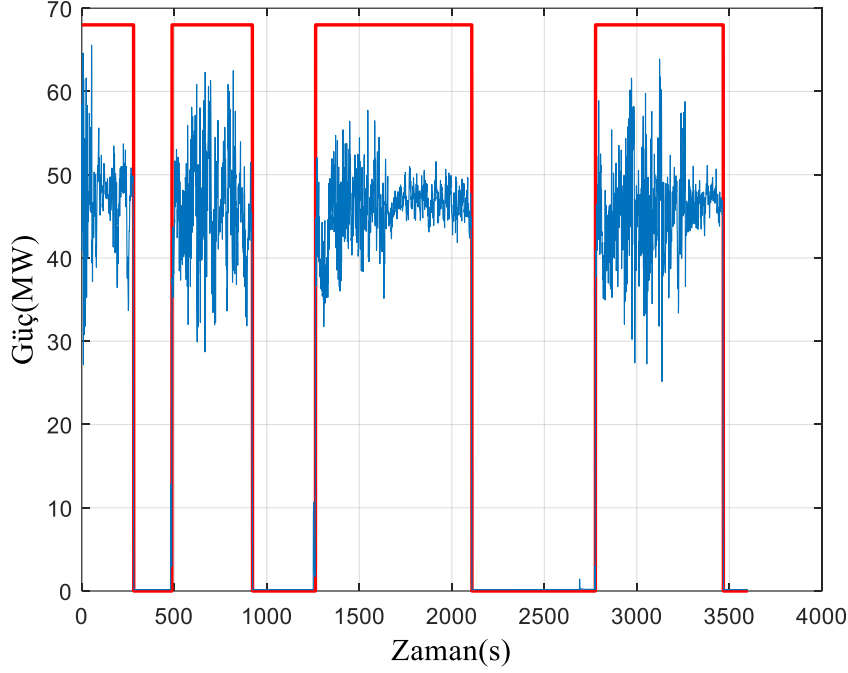
Çizelge 4.2. Önerilen ESA mimarisinde bazı DÖ hiper parametrelerinin araştırılması. En iyi sonuçları veren hiper parametreler italik harflerle gösterilmiştir

Parametreler	Veri kümesi	Test Hatası (%)		Kullanılan model parametresi
		$e_{A_i}(\%)$	$e_{\phi_i}(\%)$	
Aktivasyon fonksiyonu	Sigmoid	0,30	12,1936	$\eta=0.0001$
	ReLU	0,23	10,6393	Paket
	<i>Tanh</i>	0,14	4,5483	boyutu=128 Adam
Paket boyutu	32	0,19	9,8169	$\eta=0.0001$
	64	0,16	5,3351	Tanh
	128	0,14	4,5483	Adam
	256	0,12	5,7109	
Öğrenme adımı	0,01	687,38	104,0583	Paket
	0,001	0,16	7,1851	boyutu=128
	<i>0,0001</i>	0,14	4,5483	Tanh Adam
Eniyileyen	SGD	11,1765	94,2010	$\eta=0.0001$
	<i>Adam</i>	0,14	4,5483	Paket boyutu=128 Tanh

4.3. EAO Akım Harmoniklerinin İstatistiksel Olarak İncelenmesi

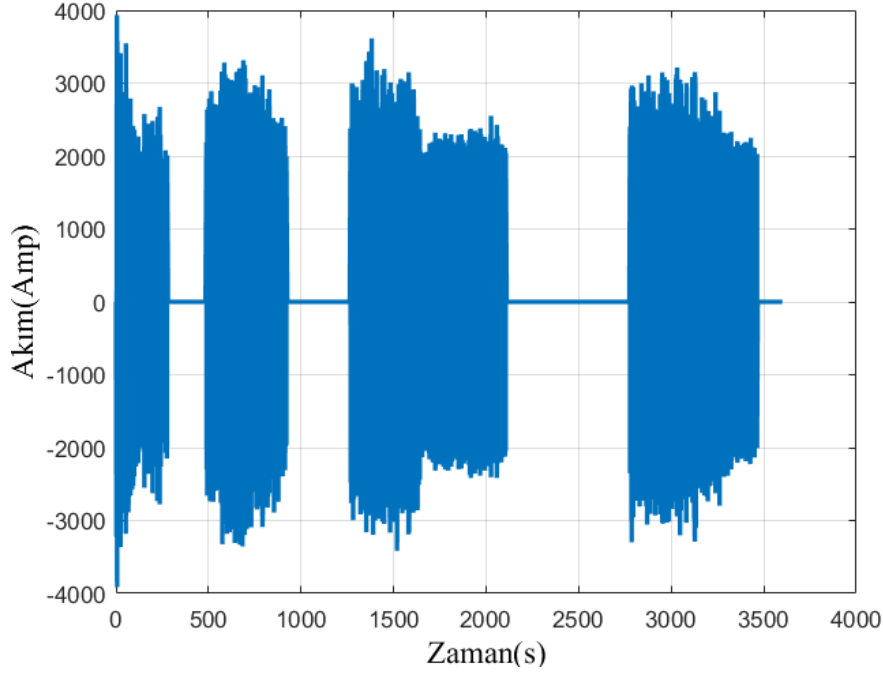
Bu bölümde, *Ege-Çelik* demir ve çelik fabrikasından elde edilen saha ölçümleri kullanılmıştır. Bu merkezin barasından alıcılara enerji iletimine yarayan 26 farklı fider (besleyici) incelenmiştir. Bu farklı fiderler arasındaki seçim akım ve gerilim değerleri kullanılarak elde edilen aktif güç değerlerine göre yapılmıştır. Elde edilen bazı fiderlerin sonuçları dökümden-döküme süresi boyunca delme, eritme ve aşındırma aşamalarını tam olarak yansıtmadığı için tercih edilmemiştir. 25,6kHz frekansta örneklenmiş ve Şekil 2.2.'de verilen EAO gösterimdeki ÖN'den alınan dökümden-döküme süresi boyunca elde edilen 3-faz EAO akım verileri kullanılmıştır. Akım verilerinde ortaya çıkan düşük enerjili ve EAO karakteristiğini yansıtmayan ara bölgeler ortadan kaldırılarak geri kalan veri kullanılmıştır. Yani bu akım verilerin koşullandırılması iki aşamadan oluşmuştur. İlk olarak, EAO tarafından tüketilen aktif güç, A-fazının akım ve gerilimlerinin bir saniyelik kök ortalama kare (Root Mean Square – RMS) değerleri kullanılarak Şekil 2.2'deki ÖN'den toplanan verilerden hesaplanmıştır. EAO'ya enerji verildiği kısımları belirlemek için bir eşik değeri

kullanılmıştır. Bu eşik değeri her bir fiderin özelliğine göre belirlenmiştir. Şekil 4.4.'te gösterildiği gibi, kırmızı dikdörtgenlerin içinde kalan veriler tutulurken dışında kalan parçalar EAO akım verisinden çıkarılmıştır. Aynı işlemler 3-faz akım verisinin B-fazı ve C-fazı için de tekrarlanmıştır.

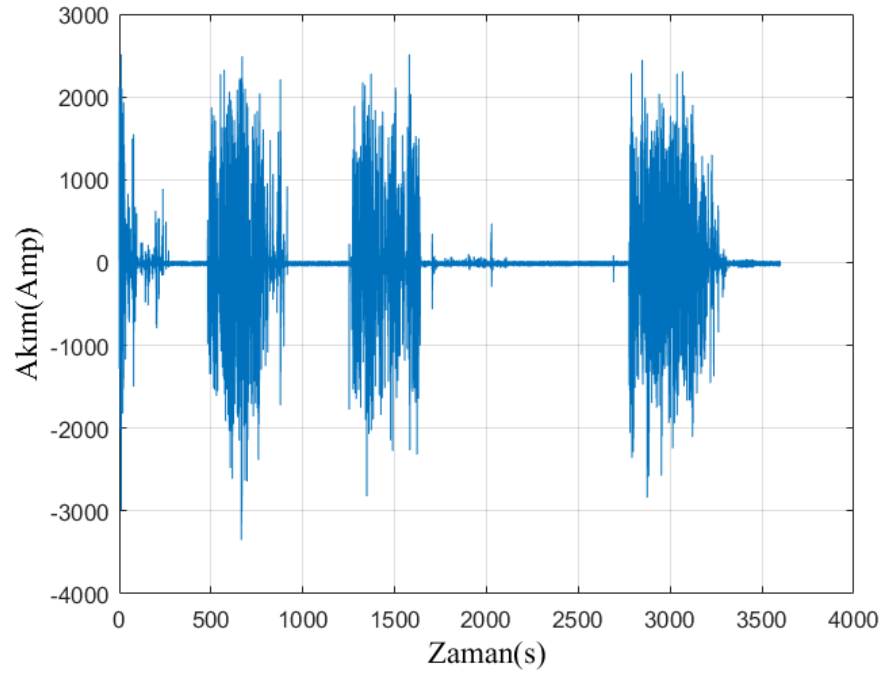


Şekil 4.4. Belirlenen bir eşik değerinin altında kalan kısımların uzaklaştırılması (Bu veri için eşik değer maksimum güç değerinin 5/1000 oranı olarak belirlenmiştir.)

Şekil 4.5.'te A-fazı için eşik değeri uygulandıktan sonra kalan EAO akım verisinin dalga formu gösterilmektedir. İkinci olarak, üç faz akım verisinin anlık değerlerinin toplamının sıfır olmadığı hat akımları, yani dengeli devre durumunun ihlal edildiği noktalar da Şekil 4.6.'da gösterildiği gibi uzaklaştırılmıştır.

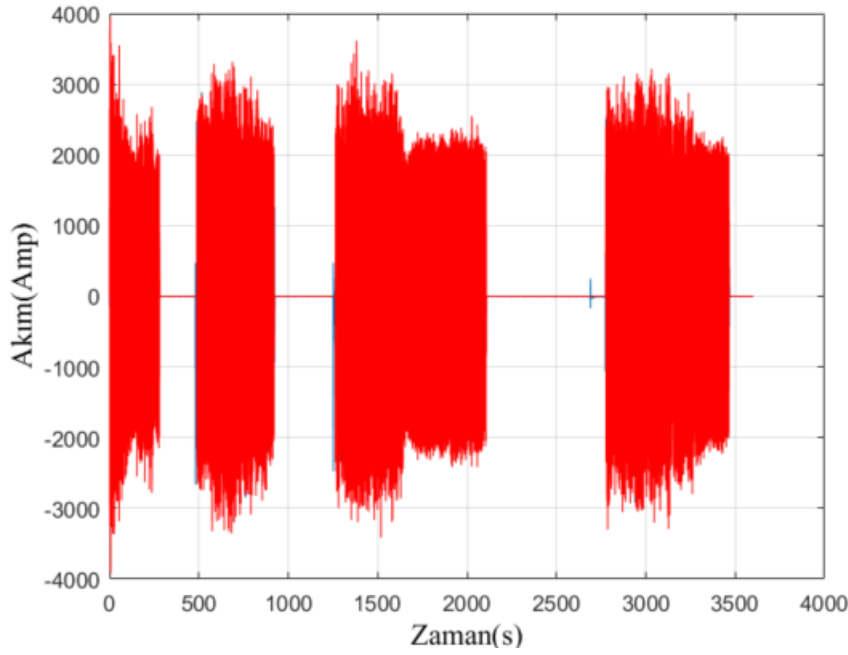


Şekil 4.5. Eşik değerinin EAO akım verisine uygulanması sonrası elde edilen dalga formu

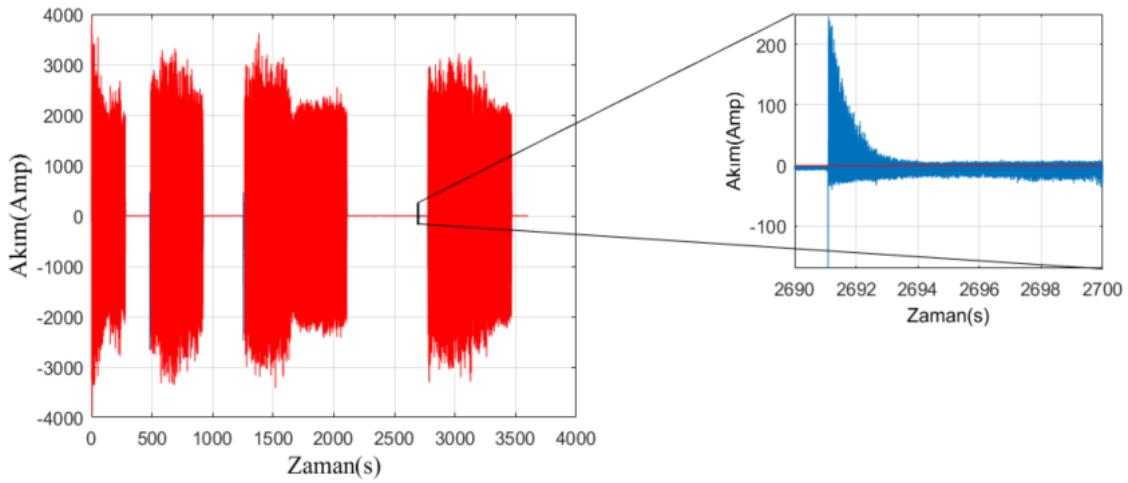


Şekil 4.6. Üç faz akımlarının toplamının gösterimi

Bu iki işlemten sonra, tutarsız geçici noktalardan temizlenen EAO akım verisi Şekil 4.7.'de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Şekil 4.8.'de verinin ilk halinde bulunan tutarsız geçici noktaları ve daha sonra veriden bu kısımlarının çıkarılmış hali daha detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Harmonik bileşenler içeren EAO akım verisinin (kırmızı çizgilerle gösterilen) işlenmeye hazır halinin gösterimi



Şekil 4.8. Tutarsız geçici durumlardan temizlenmiş akım verisinin daha detaylı gösterimi

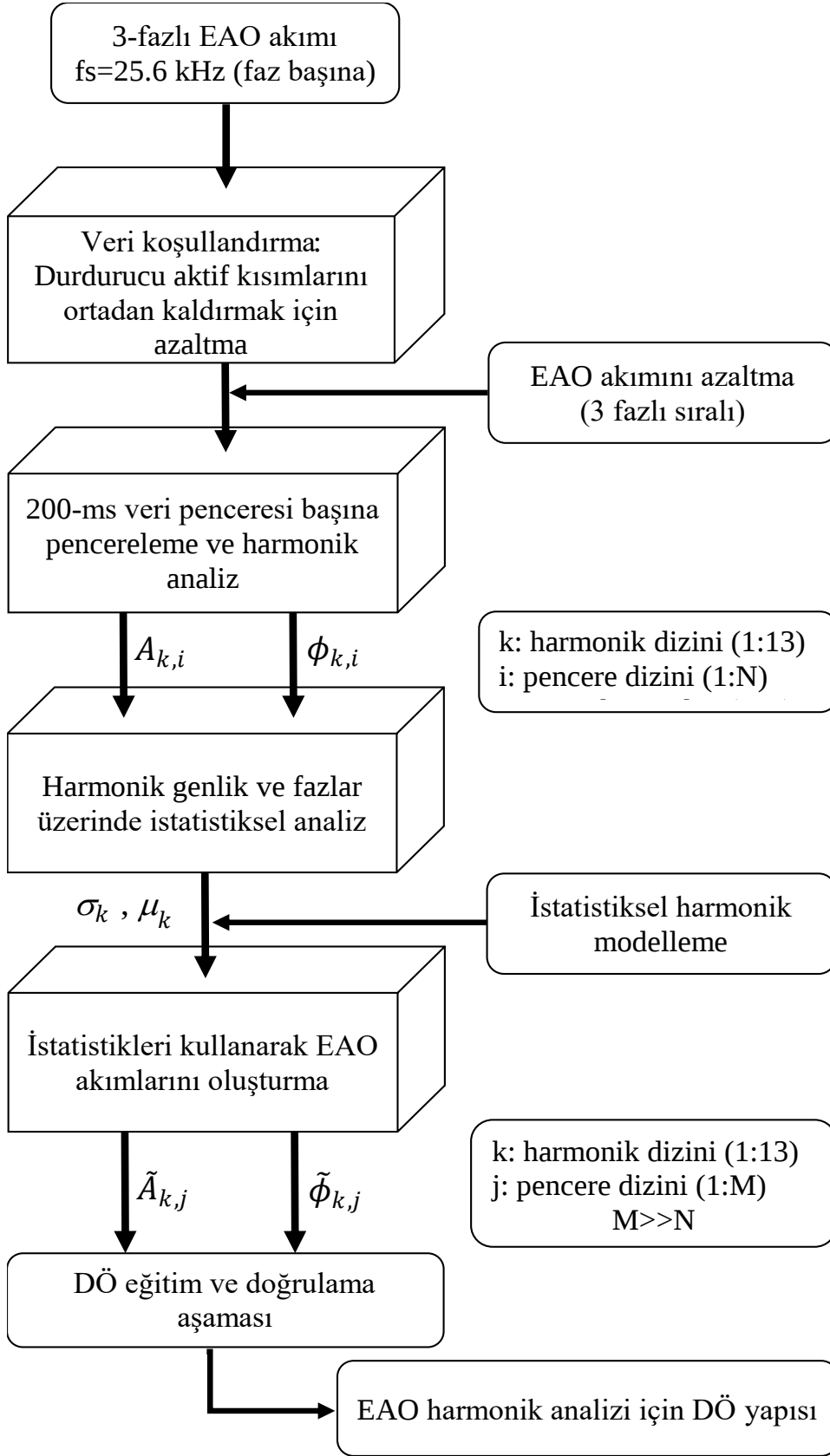
Şekil 4.7.'deki gibi temizlenmiş olarak elde edilen EAO akım verilerinin istatistiksel dağılımlarını kullanarak DÖ tabanlı kestirim sistemini eğitmek için üretilecek gerçeğe yakın saha verilerini oluşturmak için önerilen akış şeması Şekil 4.9.'da gösterilmektedir. Sahadan elde edilen akım verisinin uzunluğu, EAO'nun yaklaşık 60 dakika olan bir dökümden-döküme süresidir. EAO akımlarının üç fazının tümü, Şekil 4.9.'un ilk bloğunda gösterilen koşullandırmadan sonra tek fazlı akım verileri olarak sıralanmıştır. DFT yöntemi, temel bileşen ve 13'e kadar olan harmonik bileşenlerin genliklerini ve fazlarını elde etmek için 200 ms'lik örtüşmeyen pencerelerle ayrılmış verileri analiz etmek için kullanılmıştır. 200

ms, 50,0Hz temel frekansta çalışan bir güç sistemi için temel frekansın 10 döngüsüne karşılık gelmektedir. Şekil 4.9.'daki $A_{k,i}$ ve $\Phi_{k,i}$ değerleri, verinin i . penceresindeki k . harmonik bileşen için sırasıyla genlik ve fazlarını göstermektedir. Genlikler, Eş. 4.13'te verilen ifade kullanılarak temel frekans bileşeninin yüzdelerine dönüştürülürken, fazlar radyan cinsinden tutulmuştur.

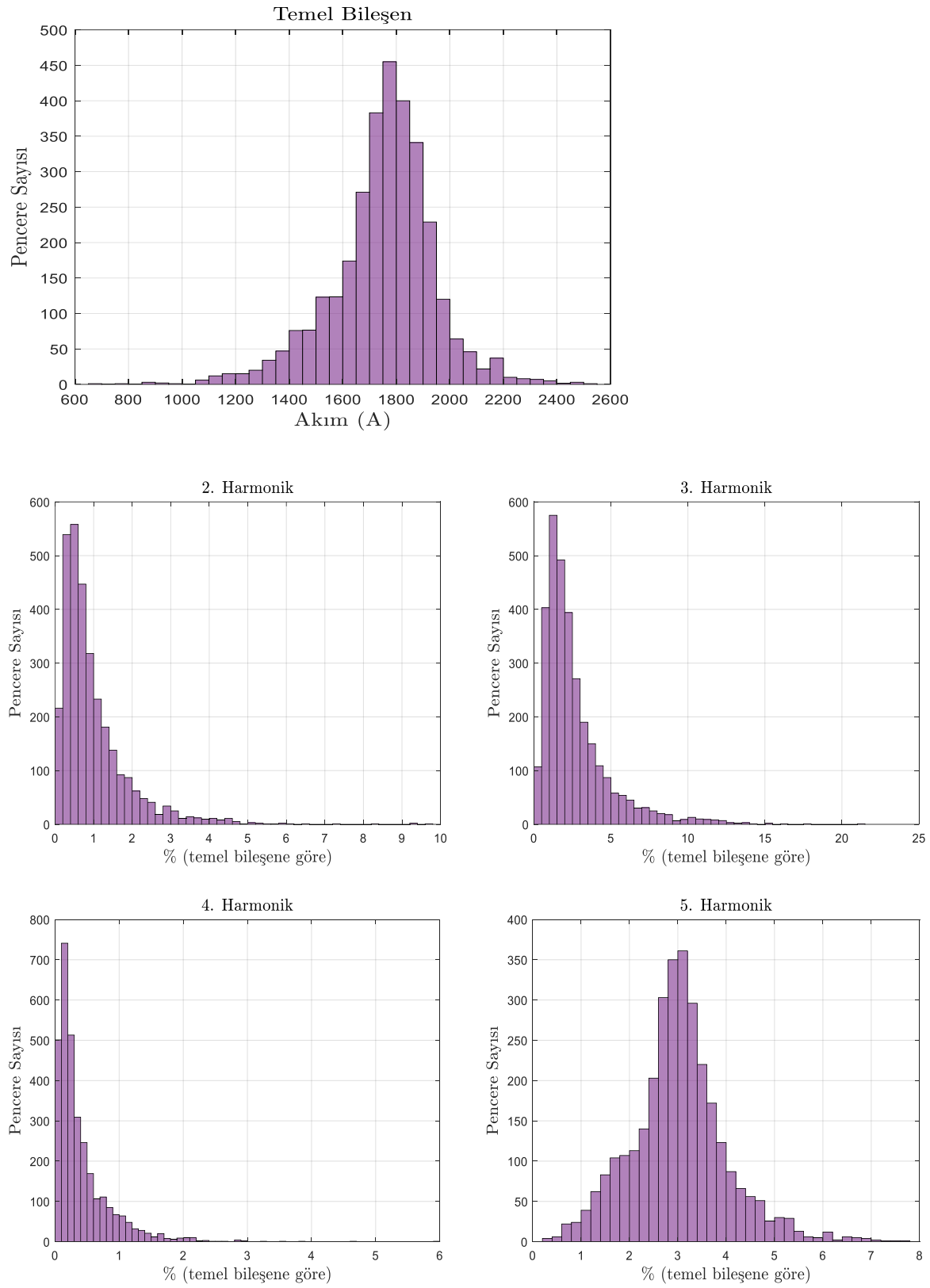
$$H(\%) = \frac{\text{Harmonik bileşenlerin (2 – 13) genlikleri}}{\text{Temel bileşenin genliği}} \times 100 \quad (4.13)$$

Bu, değişen temel frekans genliği durumlarında bile harmoniklerin önemini karşılaştırabilmelidir. Şekil 4.9.'da sunulan veriler için, toplam pencere sayısı N , 3135'tir. Daha sonra, bütün harmonikler için tüm bu pencereler üzerinde ayrı ayrı genlik dağılımları elde edilmektedir.

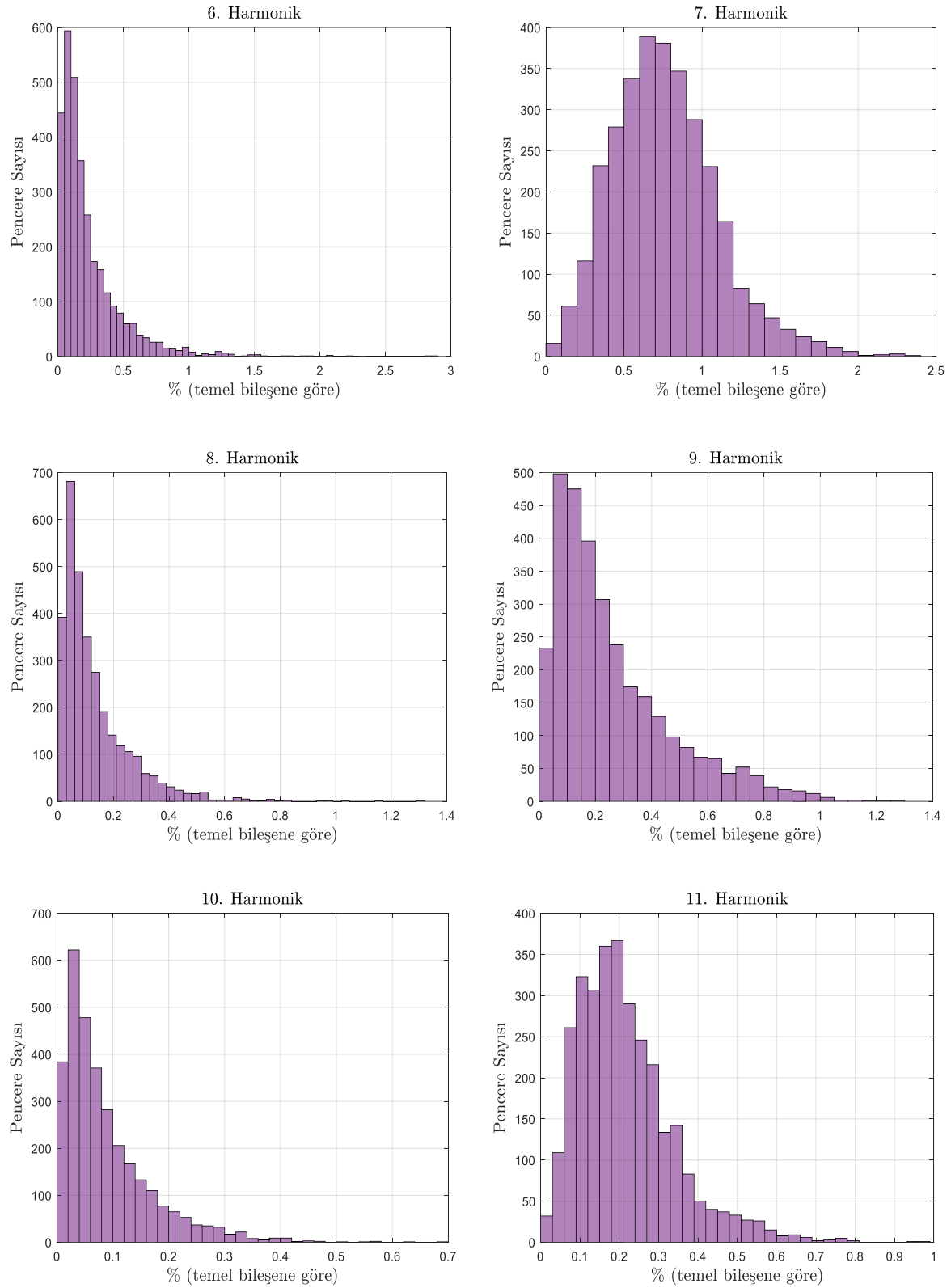
EAO akım verisinin temel bileşen ve harmonik bileşenlerinin genliklerinin histogramları Şekil 4.10.'da verilmiştir. Temel bileşen için elde edilen histogram binleri akımın genlik değerlerini göstermektedir. Diğer harmonik bileşenlerin dağılımı ise temel bileşene göre bir standardı göstermek adına yüzdeleri cinsinden ifade edilmiştir. Verilen histogramlarda, dikey eksen histogram binlerine karşılık gelen toplam veri sayısını göstermektedir. Bu deneysel histogramlara, 5. Bölüm'de verilen deneysel çalışmalar kısmında Normal (Gauss), Log-normal ve Rayleigh dağılımları yerleştirilmiştir. Bu dağılımlar daha sonra DÖ tabanlı harmonik analiz sisteminin eğitebilmek adına çok sayıda gerçek dağılıma sahip EAO akım verisini yeniden oluşturmak için kullanılacak olan parametre değerleri ile temsil edilmektedir. İstatistiksel modellerden elde edilen normal dağılımın parametreleri Çizelge 4.3'te ve Log-normal ile Rayleigh dağılımlarının parametreleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.



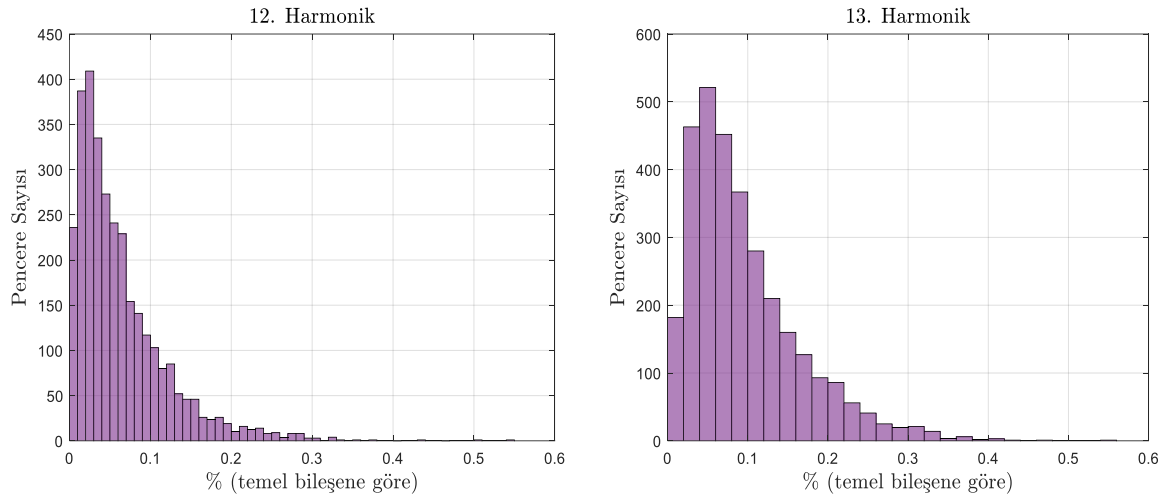
Şekil 4.9. Harmonik dağılımların elde edilmesinin ve DÖ tabanlı genlik ve faz kestirim sisteminin eğitimi için veri üretiminin akış şeması



Şekil. 4.10. EAO akım verisinin DFT ile elde edilen harmonik bileşen genliklerinin histogramları



Şekil. 4.10. (devam) EAO akım verisinin DFT ile elde edilen harmonik bileşen genliklerinin histogramları



Şekil. 4.10. (devam) EAO akım verisinin DFT ile elde edilen harmonik bileşen genliklerinin histogramları

Çizelge 4.3. EAO akım verisinin işlenmesi sonucu elde edilen deneysel genlik histogramına yerleştirilen normal dağılımların parametre değerleri

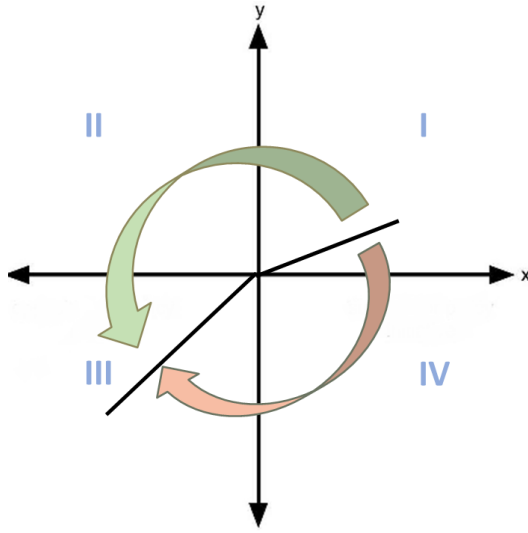
Harmonikler	Ortalama (μ)	Standart sapma (σ)
1.	1750,8	196,73
2.	0,9812	0,9047
3.	2,6539	2,2125
4.	0,4109	0,4404
5.	3,0222	0,9907
6.	0,2351	0,2511
7.	0,7656	0,3382
8.	0,1320	0,1259
9.	0,2605	0,2100
10.	0,0894	0,0803
11.	0,2159	0,1246
12.	0,0638	0,0568
13.	0,0955	0,0690

Çizelge 4.4. EAO akım verisinin işlenmesi sonucu elde edilen deneysel genlik histogramına yerleştirilen Log-normal ile Rayleigh dağılımlarının parametre değerleri

	Log-normal		Rayleigh
Harmonikler	Ortalama (μ)	Standart sapma (σ)	Beta (β)
2.	-0,3611	0,8573	0,9436
3.	0,6941	0,7660	2,4430
4.	-0,3471	0,9943	0,4259
5.	1,0443	0,3753	2,2489
6.	-1,9119	1,0135	0,2432
7.	-0,3790	0,5102	0,5918
8.	-2,4335	0,9547	0,1290
9.	-1,6881	0,8971	0,2366
10.	-2,8069	0,9501	0,0850
11.	-1,7065	0,6295	0,1763
12.	-3,1435	0,9579	0,0604
13.	-2,6173	0,7868	0,0833

4.4. Faz Düzenlemesi

Eş. 4.10’da cebirsel ifadesi verilen ve Bölüm 5’te deneysel sonuçlar kısmında elde edilen faz hatalarını düzenlemek için önerilen dönüşüm işlemine şekil 4.11’de gösterilmiş ve uygulanan prosedür Algoritma 1’de anlatılmıştır.



şekil. 4.11. Elde edilen faz hatalarını düzenlemek için kullanılan dönüşüm işleminin gösterilmesi

Algoritma 1: Hata kestirimi için faz dönüşüm işlemi

Girdi (ϕ_i°) : ESA mimarisine verilen girdi

 ıktı ($\hat{\phi}_i^\circ$) : ESA mimarisinden kestirilen

Eğer $\phi_i^\circ - \hat{\phi}_i^\circ > \pi$
Fark = $2\pi - (\phi_i^\circ - \hat{\phi}_i^\circ)$
De ilse $\phi_i^\circ - \hat{\phi}_i^\circ < \pi$
Fark = $(\phi_i^\circ - \hat{\phi}_i^\circ)$

Bu  nerilen dönüşüm işlemi sadece faz hatasını elde etmek için kullanılmıştır. Kestirilen faz hatası için herhangi bir dönüşüm işlemi yapılmamıştır.

4.5. Bölüm  zeti

Bu bölümde, ilk olarak harmoniklerin genlik ve faz bilgilerini kestirmek için tanımlanan matematiksel model sunulmuştur. Bu problemin c z m  için kullandığımız ESA

mimarisinin detayları verilmiştir. Mimariyi oluşturma sürecinde yapılan çalışmaların ayrıntıları açıklanmıştır. Hangi hiper parametrelerin seçildiği sonuçları ile verilmiştir. EAO verilerini ESA mimarisinde kullanabilmek için, bu veriler ön işleme tabi tutulmuştur. Verilerin istatistiksel analizi yapılmış ve daha fazla veri depolamaya gerek kalmadan gerçek verilere yakın daha fazla veri üretimi sağlanmıştır. Farklı dağılımlar incelenerek en iyi sonuç elde edilmeye çalışılmıştır. Son olarak faz hatasını hesaplamak için önerilen dönüşüm işleminin mantığı anlatılmıştır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tezin bu bölümünde, yapılan çalışmalar sunulmuştur. Sırasıyla, Bölüm 5.1’de sentetik veri kümeleri kullanılarak yapılan analizler sonucunda genlik ve faz değerlerinin kestirim sonuçları verilmiştir. Bu analizler farklı iki durum için yapılmıştır. İlk olarak temel frekansın $50,0\text{Hz}$ ’de sabit tutulduğu durum için elde edilen sonuçlar Bölüm 5.1.1’de verilmiştir. İkinci olarak temel frekansın sabit olmadığı $49,8\text{Hz} - 50,2\text{Hz}$ arasında rastgele değiştiği durum için ise elde edilen sonuçlar Bölüm 5.1.2’de verilmiştir. Bölüm 5.1.3’te önerilen yöntemin harmoniklerin süzülmesi üzerine uygulanması sonuçları verilmiştir. Önerilen yöntemle özellikle AGS gibi ileri teknoloji yöntemleri için başarılı sonuçların elde edilebileceği gösterilmiştir. Bölüm 5.2’de EAO akım verisinden elde edilen veri kümeleri kullanılarak yapılan analizler sonucunda genlik ve faz değerlerinin kestirim sonuçları verilmiştir. Son olarak Bölüm 5.3’te bu bölüm için verilen sonuçların özeti sunulmuştur.

Tez çalışması, Windows 10 Intel® Core i7-6700HQ 2.6 GHz, 16 GB DDR4 RAM bellek ve 4 GB Nvidia GeForce GTX 960M GPU ile donatılmış kişisel bir bilgisayarla gerçekleştirilmiştir. MATLAB® 2016a ham verilerin okunması, hazırlanması, ön işlemlerden geçirilmesi ve veri üretimi için kullanılmıştır. Önerilen ESA mimarisi, Python programlama dilinin 3.5.2 sürümünde açık kaynaklı makine öğrenimi TensorFlow kütüphanesinde [49] modellenmiştir. Tensorflow, kullanıcıların özellikle GİB’lerde çok boyutlu diziler için matematiksel ifadeleri kolayca tanımlamasına, optimize etmesine ve değerlendirmesine olanak sağlamaktadır. Bu GİB üzerinde bulunan 640 adet CUDA® (Compute Unified Device Architecture) çekirdeği sayesinde paralel hesaplama ile çalışmalar hızlandırılmıştır. Daha sonra, ESA mimarisinden elde edilen regresyon çıktıları sonrası işlemler için MATLAB® 2016a’ya geri aktarılmıştır.

5.1. Sentetik Veri Kümeleri Kullanılarak Yapılan Analizler

Deneyler iki farklı şekilde oluşturulmuş veri kümeleri üzerinde yapılmıştır. Veri kümeleri Bölüm 4.1’de verilen Eş. 4.5, Eş. 4.6 ve Eş. 4.7’de verilen cebirsel ifadeler kullanılarak üretilmiştir. Üretilen ilk veri kümesinde (VK-1), temel bileşenin frekans değeri $50,0\text{Hz}$ olarak alınmış ve diğer harmonik bileşenler bu temel frekansın pozitif tamsayı katlarında oluşturulmuştur. İkinci veri kümesinde (VK-2), temel bileşenin frekansı $49,8\text{Hz}$ ile $50,2\text{Hz}$

arasında eşit aralıklarla dağılmış frekans bileşenlerinden rastgele bir şekilde seçilmiş ve diğer harmonik bileşenler bu rastgele seçilen temel frekans değerinin pozitif tam sayı katlarında üretilmiştir. Elektrik şebekelerindeki temel frekansın tam olarak $50,0\text{Hz}$ veya $60,0\text{Hz}$ olması beklenmektedir. Ancak elektrik gücünün üretimi ve tüketimi arasındaki dengeye bağlı olarak aslında frekans değerleri beklenen değerlerin etrafında değişmektedir. Genellikle, $50,0\text{Hz}$ 'lik dengeli bir ağda frekans $49,98\text{Hz} - 50,02\text{Hz}$ arasında değişebilmektedir [48]. Bununla birlikte, güç sistemlerinde bir kesinti (black-out) meydana gelmeden önce daha ciddi koşulları simüle etmek için VK-2'deki temel bileşenin frekans değeri $49,8\text{Hz} - 50,2\text{Hz}$ aralığında değişebilecek şekilde seçilmiştir. Her iki veri kümesinde de, VK-1 için temel frekansın (50Hz) tam olarak bir döngüsü ve VK-2 için yaklaşık bir döngüyü kapsayacak şekilde verileri içermektedir. Verilerin örnekleme frekansı $25,6\text{kHz}$ olarak seçilmiş, böylece veri kümesindeki her bir örnek 512 örnekten oluşmaktadır. Örnekleme frekansının bu şekilde seçilmesinin amacı, veri kümesinin trafo merkezlerinden toplanan alan verileri ile tutarlı olmasını sağlamaktır [48]. Her iki veri kümesinde de, harmonik bileşenlerin sayısı elektrik iletim şebekelerindeki en önemli genlik değerlerine sahip olan ilk on üç harmonik bileşen dikkate alınarak $N = 13$ olarak belirlenmiştir.

Harmonik bileşenlerin genlikleri, temel bileşenin genlik değerlerinin yüzdeleri olarak önceden belirlenmiş aralıklar içinde rastgele üretilmiştir. Temel bileşenin genlik değeri $0,7 - 1,0 \text{ pu}$ arasında eşit aralıklarla dağılacak şekilde üretilmiştir. Harmonik bileşenlerin genlikleri, Çizelge 5.1.'de gösterildiği gibi temel bileşenin genlik değerinin yüzdeleri olarak üretilmiştir.

Çizelge 5.1.'de görüldüğü gibi, harmonik bileşenlerin genlik değerleri, önceden belirlenmiş temel frekans bileşeninin aralığının içine girmesine izin verilmektedir. Bu en büyük yüzdeler, elektrik iletim sisteminin genel davranışının gözlemlerine dayanarak belirlenmiştir [50]. Örneğin, 2. harmonik bileşen genellikle gerçek güç sistemindeki temel bileşenin %30'undan daha büyük değildir. Bu nedenle, temel bileşenin genliği $0,8 \text{ pu}$ olarak belirlendiğinde, 2. Harmonik bileşenin genlik değeri $0,001 - 0,24\text{pu}$ arasındaki eşit dağılımdan seçilmiştir. Ek olarak, harmonik bileşenlerin faz değerleri ise $0 - 2\pi$ radyan ($0 - 360^\circ$) arasındaki eşit dağılımdan rastgele seçilmiştir. Bu nedenle, eğitim aşaması için gerçek dünya verilerini simüle eden bir veri kümesi oluşturulmuştur.

Çizelge 5.1. VK-1 ve VK-2'deki veri kümeleri için frekans bileşenlerinin gerçeğe yakın genliklerinin oluşturulması. Genlikler, her harmonik için verilen aralık içindeki düzgün bir dağılımdan rastgele seçilmektedir

Harmonikler	Genlik Aralığı
1. (Temel bileşen - A_1)	0,7 pu – 1,0 pu
2.	0,001 pu – $0,3 \times A_1$
3.	0,001 pu – $0,5 \times A_1$
4.	0,001 pu – $0,2 \times A_1$
5.	0,001 pu – $0,7 \times A_1$
6.	0,001 pu – $0,1 \times A_1$
7.	0,001 pu – $0,5 \times A_1$
8.	0,001 pu – $0,1 \times A_1$
9.	0,001 pu – $0,2 \times A_1$
10.	0,001 pu – $0,1 \times A_1$
11.	0,001 pu – $0,2 \times A_1$
12.	0,001 pu – $0,1 \times A_1$
13.	0,001 pu – $0,2 \times A_1$

5.1.1. Sabit temel frekans için sonuçlar (VK-1)

Temel frekans değeri $50,0\text{Hz}$ 'de sabit olma koşuluyla veri küme sayısının önerilen yöntemin başarımına etkisini ölçmek için 100K (10^5), 200K ve 300K örnek veri içeren üç farklı veri kümesi oluşturulmuştur. Veri kümesindeki her bir veri, harmonikli akım veya gerilim dalga formunu temsil eden 512 örnekten oluşmaktadır. Önerilen ESA mimarisinin parametrelerini öğrenmek için 100K örnek veri içeren kümenin %60'ı (60K) eğitim aşamasında kullanılmıştır. Aynı veri kümesinin (eğitim aşaması dışında) %20'si, mimarinin anlık performansını değerlendirmek için doğrulama verisi olarak kullanılmıştır. 100K veri kümesinin geriye kalan %20'si (20K) ise test aşamasında kullanılmıştır.

200K ve 300K veri kümelerinde, aynı yüzdeler eğitim ve doğrulama aşamaları için de tercih edilmiştir. Bununla birlikte, 100K veri kümesinden üretilen 20K test verileri, 200K ve 300K veri kümeleri için de test verisi olarak kullanılmıştır. Bunu yapmadaki amaç, eğitim veri kümesinin sayısının artırılmasının önerilen yöntemin başarımı üzerindeki etkisini adil bir şekilde karşılaştırabilmek için yapılmıştır. Böylece, aynı test verileri kullanılarak önerilen modelin farklı eğitim veri sayısı için performansına olan etkisi incelenmiştir. ESA model

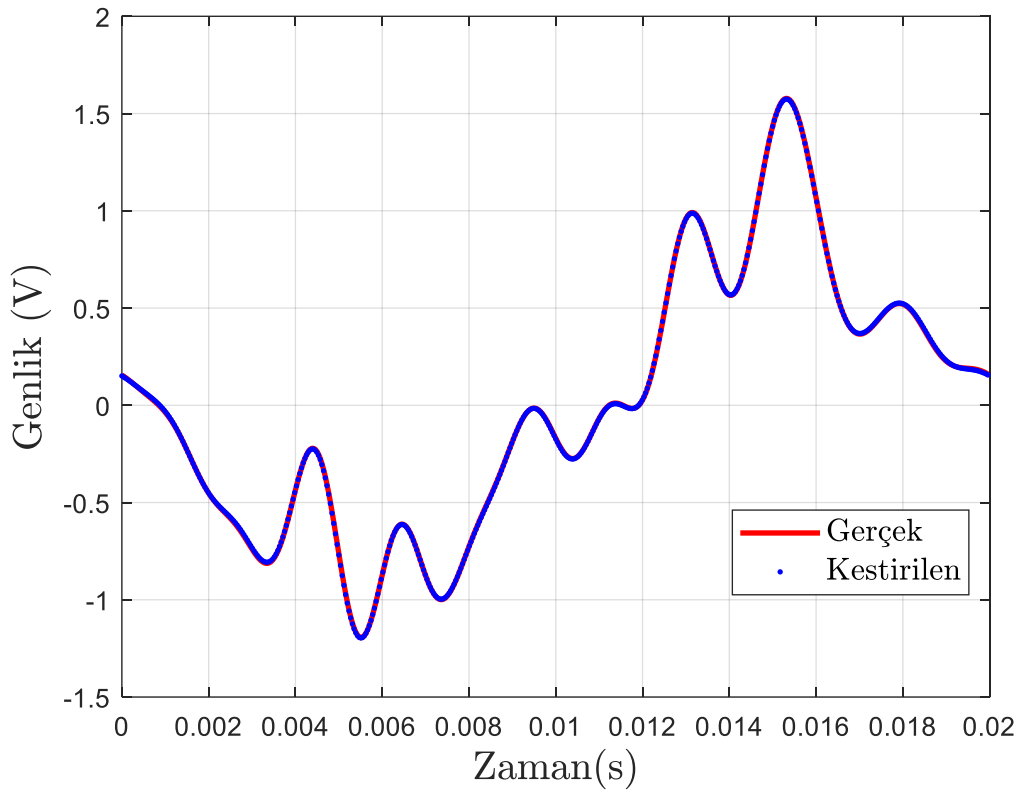
parametreleri, 100K, 200K ve 300K eğitim veri kümeleri için farklı başlatma parametreleri ve başlangıç veri grupları ile on kez koşturulmuştur. Aynı 20K test kümesi için on kez üretilen modelin test sonuçları Çizelge 5.2.'de listelenmiştir. Çizelgede yüzde olarak genlik hataları $e_{A_i}(\%)$ ile, faz hataları derece olarak $e_{\phi_i}(\circ)$ gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Farklı veri sayılarına sahip VK-1 test verileri için genlik ve faz değerlerinin kestirim hataları verilmiştir. Test kümesi tüm veri kümeleri için aynı 20K verisini sahip olacak şekilde belirlenmiştir. Genlik ve faz hataları test kümesi içerisindeki bütün örnekler için ortalama hataları göstermektedir. Genlik hataları kestirilecek genliğin yüzdeleri cinsinden, faz hataları ise derece olarak verilmektedir

Veri sayısı	100K		200K		300K	
	Eğitim 60K		Eğitim 120K		Eğitim 180K	
	Doğrulama 20K		Doğrulama 40K		Doğrulama 60K	
	Test 20K		Test 20K		Test 20K	
ESA koşturma	$e_{A_i}(\%)$	$e_{\phi_i}(\circ)$	$e_{A_i}(\%)$	$e_{\phi_i}(\circ)$	$e_{A_i}(\%)$	$e_{\phi_i}(\circ)$
1	0,15	6,9366	0,14	5,7842	0,13	5,0393
2	0,15	6,0238	0,13	5,3908	0,19	4,7023
3	0,16	6,3526	0,14	5,3940	0,12	5,6290
4	0,13	6,5998	0,11	5,0639	0,12	5,1331
5	0,14	6,0382	0,14	5,2694	0,14	6,1298
6	0,18	4,6053	0,13	5,6575	0,14	4,9779
7	0,14	6,4199	0,13	5,3090	0,13	5,7673
8	0,14	5,2558	0,13	5,5522	0,15	6,8765
9	0,14	6,0262	0,13	6,4418	0,15	5,2150
10	0,14	4,5483	0,14	5,8625	0,20	4,7050
Ortalama	0,147	5,88065	0,132	5,54253	0,147	5,41752

Çizelge 5.2.'de, genlik hatalarının test kümesi içerisindeki bütün örnekler için ortalama hata değerinin veri sayısı 100K'dan 300K'ya artırıldığı zaman çok değişmediği görülmektedir. Ancak, fazın ortalama hata değerleri biraz azalmaktadır. Bu nedenle, eğitim örneği sayısı 100K'nin üzerine çıktıkça performansa ciddi bir etkisinin olduğunu söylemek mümkün

değildir. Bu nedenle, bir sonraki bölüm olan zamanla değişen frekans durumu için hata hesaplamaları sadece 100K veri kümesi için gerçekleştirmiştir. Zamanla değişen frekans durumu için hata hesaplamaları sadece 100K veri seti için gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.2.'de verilen genlik için ortalama yüzde hatasının %0,15'in altında ve ortalama faz hatasının yaklaşık 6°'nin altında olduğu gösterilmiştir. 100K verileri için üretilen örnek bir dalga formu ile Eş. 4.4.'te verilen cebirsel ifade kullanılarak kestirilen $\hat{a}_i$ ve $\hat{b}_i$ 'den yeniden oluşturulan dalga formu Şekil 5.1.'de birlikte verilmiştir.



Şekil 5.1. Sabit temel frekans durumu için ESA mimarisinden kestirilmiş genliklerden ve fazlardan elde edilmiş dalga formu ve 512 örnekli gerçek sinyalin dalga formu

Şekil 5.1.'de verilen örnek için kestirilen değerlerle birlikte gerçek genlik ve faz değerleri de Çizelge 5.3.'te listelenmiştir. Çizelge 5.3.'te gösterildiği gibi, farklı harmonik bileşenler için kestirilen genlik ve faz değerleri gerçek değerlere önemli ölçüde yakındır. Ayrıca Şekil 5.1.'den kestirilen dalga formunun harmoniklerin süzme amacı için yeterince iyi olduğu görülmektedir.

5.1.2. Temel frekans sapması için sonuçlar (VK-2)

VK-2 verileri, güç sistemlerindeki temel frekansın gerçek zamanla değişen özelliklerini yansıtmaktadır. Temel frekans, güç talebi ve üretimine bağlı olarak bir tolerans bandı içinde sapmaktadır. Tipik bir 50,0Hz güç sistemlerinde, temel frekans sistem arızalanmadan önce 49,8Hz – 50,2Hz arasında sapabilmektedir. Bu nedenle, VK-2'deki her bir 512 örnek veri için frekans değeri, 49,8Hz – 50,2Hz'den eşit dağıtılmış bir dizi frekanstan seçilmiştir. Faz değerleri ise, VK-1'e benzer şekilde, harmonik bileşenlerin 0 - 2π radyan (0 - 360°) eşit bir şekilde dağıtılmış değerler kümesinden rastgele seçilmiştir.

Çizelge 5.3. Şekil 5.1.'de gösterilen 13 harmonik bileşene sahip 512-örnekli veri için gerçek ve kestirilen genlik ve faz değerleri

Harmonikler	A_i	$\hat{A}_i$	Φ_i°	$\hat{\Phi}_i^\circ$
1.	0,8621	0,8623	279,2768	279,3914
2.	0,1168	0,1153	161,7976	161,3621
3.	0,1069	0,1071	88,6480	88,8428
4.	0,1614	0,1593	336,9336	336,3549
5.	0,0613	0,0600	36,0333	35,8099
6.	0,0577	0,0571	239,6396	239,8058
7.	0,1770	0,1776	147,3819	146,8491
8.	0,0195	0,0197	78,5582	79,8818
9.	0,1650	0,1630	344,5023	344,5253
10.	0,0367	0,0374	150,9858	150,2123
11.	0,0672	0,0674	139,0970	138,6157
12.	0,0674	0,0664	280,7207	279,4716
13.	0,0140	0,0143	27,3874	25,9779

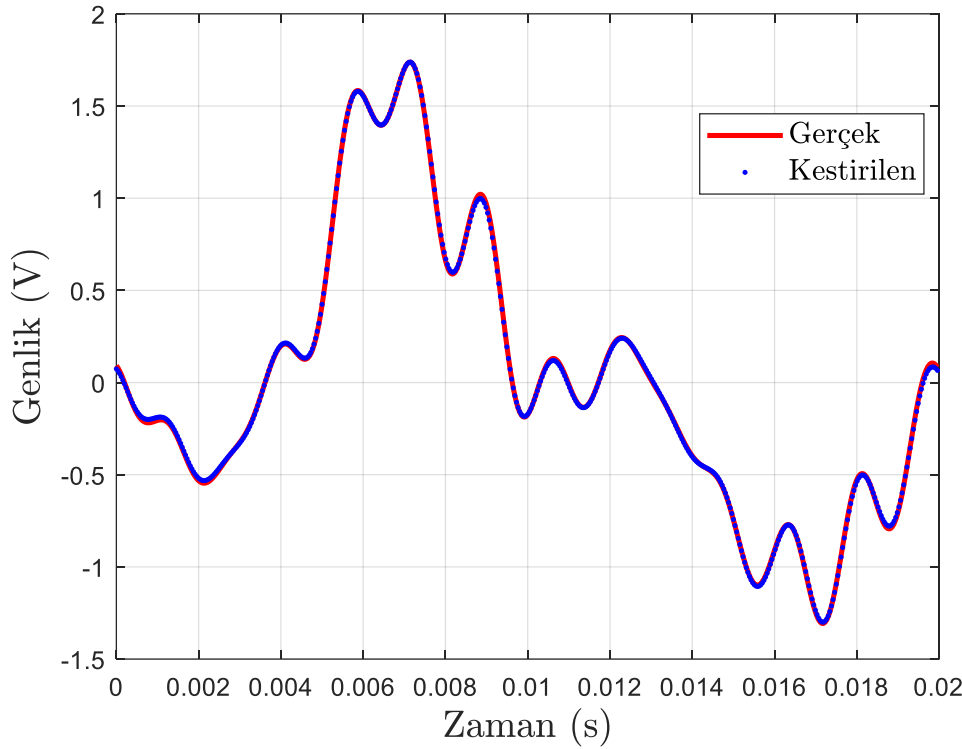
Tezin bu kısmında veri boyutu Bölüm 5.1.1.'de açıklanan deneyime dayanarak 100K olarak üretilmiştir. Üretilen 100K verilerin %60'ı eğitim aşamasında kullanılmıştır. Verilerin %20'si doğrulama verisi olarak kullanılmış ve geri kalanı (20K zamanla değişen frekans test seti) test aşaması için kullanılmıştır. ESA parametreleri, on farklı ESA çıktısı elde etmek için farklı başlangıç ESA parametreleri ve farklı başlangıç veri kümesi kullanılarak tekrar on kez yeniden üretilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.4'te sunulmuştur. Çizelgede yüzde olarak genlik hataları $e_{A_i}(\%)$ ile, faz hataları derece olarak $e_{\phi_i}(\circ)$ gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. VK-2'de üretilen 100K verileri için genlik ve faz değerleri kestirim hataları. Toplam test veri sayısı 20K'dır. Genlik hatası, kestirilecek genliğin yüzdeleri cinsinden, faz hatası ise derece cinsinden verilmiştir

ESA koşturma	$e_{A_i}(\%)$	$e_{\phi_i}(\circ)$
1	0,21	9,1843
2	0,22	11,926
3	0,23	7,4382
4	0,24	7,3913
5	0,19	7,3398
6	0,19	9,0294
7	0,19	9,9476
8	0,21	7,7985
9	0,19	7,5427
10	0,19	10,661
Ortalama	0.206	8.8259

Çizelge 5.4.'te görüldüğü gibi, zamanla değişen frekans değerleri durumunda, genlik ve faz kestirimlerinin hata değerleri beklendiği gibi sabit frekans durumundan daha yüksek çıkmıştır. Fakat elde edilen sonuçlar hala tatmin edici seviyededir. Çizelge 5.4.'te genlik için ortalama yüzde hatasının %0,21'in altında ve ortalama faz hatasının yaklaşık 9°'nin altında olduğu görülmektedir.

Şekil 5.2.'de, gerçek dalga ve kestirilen dalga formunun önemli ölçüde çakıştığını ve böyle bir kestirimin süzme amacıyla başarılı bir şekilde kullanılabileceği görülmektedir. Şekil 5.2.'de verilen örnek için kestirilen genlik ve faz değerleri ile gerçek genlik ve faz değerleri Çizelge 5.5.'te listelenmiştir. Çizelge 5.5.'te görülebileceği üzere, genliklerin ve fazların kestirim değerleri, değişen temel frekans durumunun tüm harmonik bileşenleri için gerçek değerlere oldukça yakındır. Frekansın zamanla değişen durumu önerilen modelin performansını ciddi bir şekilde etkilememektedir. Bu, ESA mimarisinin bir avantajıdır. Literatürdeki araştırma çalışmalarının çoğunda, kestirim algoritmalarını frekans değişimlerine karşı sağlamlaştırmak için fazladan çabaya ihtiyaç olduğu bildirilmiştir [7]. Önerilen yöntemde, değişen temel frekansa sahip bir eğitim kümesi oluşturmak yeterli olacaktır.



Şekil 5.2. Değişen temel frekans durumu için harmoniklerin ESA mimarisinden kestirilmiş genliklerden ve fazlardan elde edilmiş dalga formu ve 512 örnekli gerçek sinyalin dalga formu

VK-2 için elde edilen sonuçları diğer yöntemlerin sonuçlarıyla karşılaştırmak için literatürde mevcut, MSRF tabanlı [15] ve klasik DFT tabanlı harmonik analiz yöntemleri kullanılmıştır. Frekansı değişen veri kümesinin 20K test verileri için genlik ve faz kestirim hataları Çizelge 5.6.'da sunulmuştur. Çizelge 5.6.'da önerilen yöntemin temel frekans değişimlerinde faz ve genlik kestirimlerini önemli ölçüde iyileştirdiği görülmektedir. Önerilen yöntemin bir

avantajı, eğitim aşaması tamamlandığında, faz ve genlik kestirimlerinin elde edilmesi, sabit öğrenilen parametrelerle sinyal örneklerinin çarpma ve toplama problemi haline gelmesidir. Karmaşık üslü çarpma işlemi yoktur. Çizelge 5.6.'da ayrıca harmonik analiz yöntemlerinin hesaplama sürelerini (milisaniye cinsinden) sunulmuştur. Çizelge 5.6.'da bildirilen süreler, 20ms veri penceresi başına çalışma süresine karşılık gelmektedir. Çizelge 5.6.'da görüldüğü gibi, 20ms-verinin analizi önerilen yöntemle 1,2ms sürmektedir ve bu da gerçek zamanlı harmonik süzme uygulamaları için fırsat sunmaktadır. DFT Matlab programının FFT fonksiyonu kullanılarak yapıldığı için çok daha hızlı sonuç vermiştir. Ancak hataların daha fazla olduğu görülmektedir. Önerilen yöntemin analiz süresinin DFT analizi süresine kadar düşürülmesi mümkün olabilir. Bu çizelgede verilen süre Matlab ve Python ortamlarındaki toplam süredir. Ve kodlar süre açısından tam olarak optimize edilmemiştir. Kodlar tek bir ortamda ve sürenin azaltılması hedeflenerek yazıldığında analiz süresinin DFT ile karşılaştırılabilir derecede azalacağı öngörülmektedir.

Çizelge 5.5. Şekil 5.2.'de gösterilen 13 harmonik bileşene sahip 512-örnekli veri için gerçek ve kestirilen genlik ve faz değerleri

Harmonikler	A_i	$\hat{A}_i$	ϕ_i°	$\hat{\phi}_i^\circ$
1.	0,8919	0,8867	129,3694	129,6668
2.	0,1958	0,1928	263,0631	263,1051
3.	0,4402	0,4356	355,3153	355,6556
4.	0,0555	0,0545	110,6306	114,4544
5.	0,0291	0,0301	16,2162	16,6936
6.	0,0815	0,0825	328,6486	330,4164
7.	0,0874	0,0899	69,9099	70,0686
8.	0,0423	0,0402	168,6486	169,0380
9.	0,0186	0,0160	35,6757	34,7286
10.	0,0112	0,0122	41,8018	43,8079
11.	0,1745	0,1740	352,0721	353,0648
12.	0,0406	0,0381	161,8018	164,2697
13.	0,1379	0,1360	277,8378	277,4755

Çizelge 5.6. Farklı yöntemler için VK-2'de üretilen 20K test verileri üzerinde genlik ve faz kestirim hataları. Genlik hataları, kestirilecek genliğin yüzdeleri cinsinden, faz hatası ise derece cinsinden verilmiştir. Ayrıca, veri başına algoritmaların hesaplama süreleri (milisaniye cinsinden) son sütunda verilmiştir

	$e_{A_i}(\%)$	$e_{\phi_i}(^\circ)$	Geçen süre (ms)
DFT	1,06	30,1605	0,08
MSRF	1,06	21,1937	42,5
Önerilen yöntem	0,206	8,8259	1,2

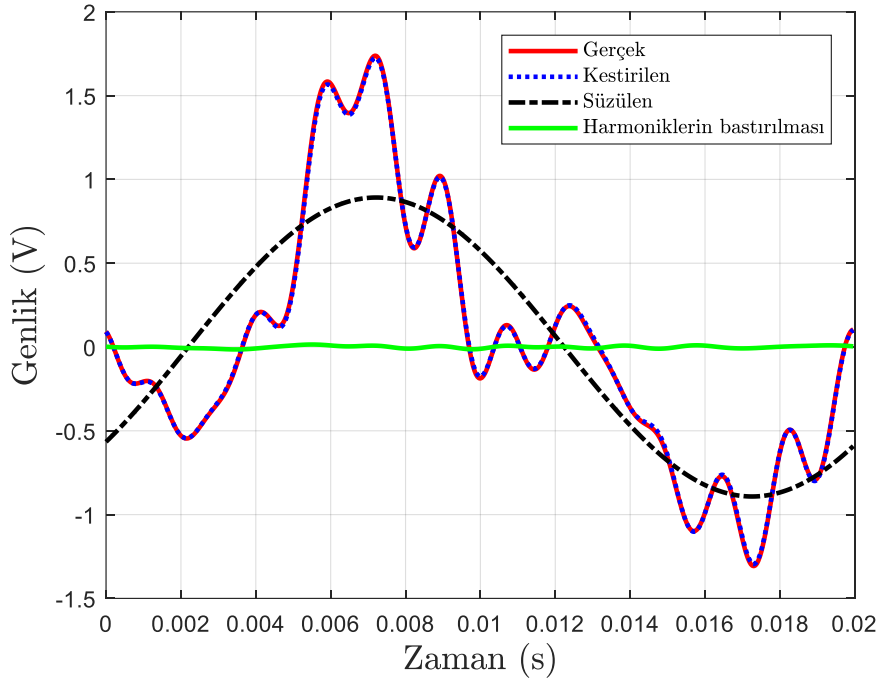
Ayrıca DFT'nin doğruluğunu düzeltecek herhangi bir işlem yapılmamıştır. Çünkü önerilen yöntemde frekans kayması olsa bile 512-örnek olarak eğitim aşaması yapılarak sonuçlar elde edilmiştir. DFT işleminde frekans kayması olduğunda işlem yükünü artıracak bazı işlemlerin yapılması gerekmektedir. Fakat yapılacak bu işlemler de DFT işlem süresini artıracaktır. Tez çalışmasında önerilen yöntem ile frekans kayması olsa bile 512-örnekli olacak şekilde analizler yapıldığı için DFT ve MSRF ile karşılaştırma yapılırken örnek sayısı aynı olacak şekilde analizler yapılmıştır.

5.1.3. Önerilen yöntemin aktif süzgeç olarak kullanılması

Aktif güç süzgeçleri (AGS), doğrusal olmayan yükler tarafından meydana gelen istenmeyen harmonikleri süzmek için kullanılmaktadır. AGS, simülasyon tabanlı ortamda DÖ yöntemin uygulanabilirliğini göstermek için harmonik bileşenlerin kestirilen genlik ve faz değerleri kullanılarak uygulanmaktadır. ESA tabanlı yöntem kullanılarak 512 örnekli bir pencere (20ms) için harmonikleri süzülmüş sinyalin bir örneği Şekil 5.3.'te gösterilmiştir.

Süzme işleminden sonra kalan dalga formu yeşil renkli çizgiyle, harmonikleri süzülen dalga formu ise siyah kesik çizgi ile gösterilmektedir. Yeşil renkle gösterilen sinyalin zamana bağlı değişimi incelendiğinde olabildiğince sıfıra yaklaştığı yani başarılı bir şekilde harmoniklerin bastırıldığı görülmektedir. Benzer şekilde siyah renkle gösterilen sinyalin ise harmoniklerin bastırıldıktan sonra elde edilen temel bileşeni göstermektedir. Şekil 5.3.'te verilen örnek sinyalin harmonik süzme işlemini nicel olarak değerlendirmek için, temel

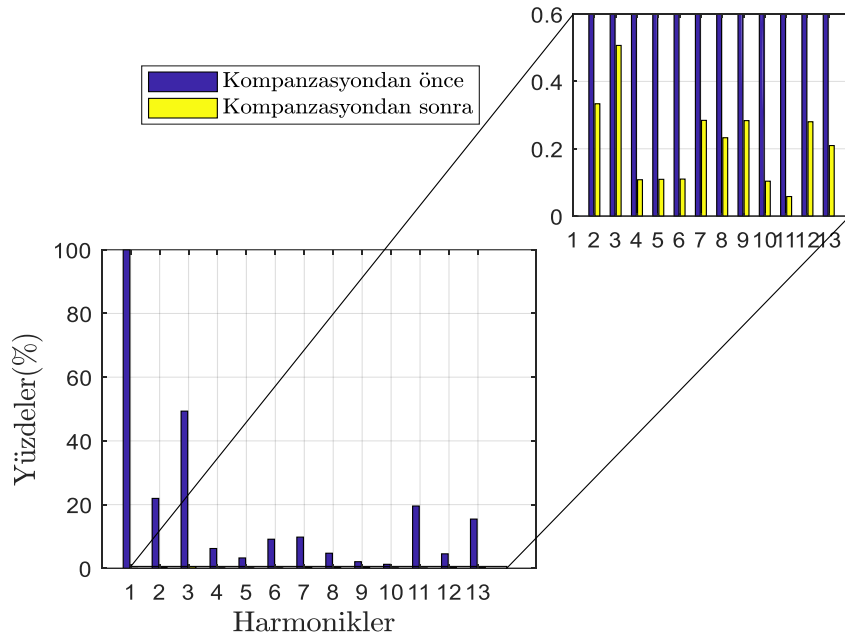
bileşenin yüzdesi şeklinde verilen harmonik bileşenler mavi bin ile süzme işlemi sonrası kalan harmonik bileşenler ise sarı bin olarak Şekil 5.4.(a)'da gösterilmiştir.



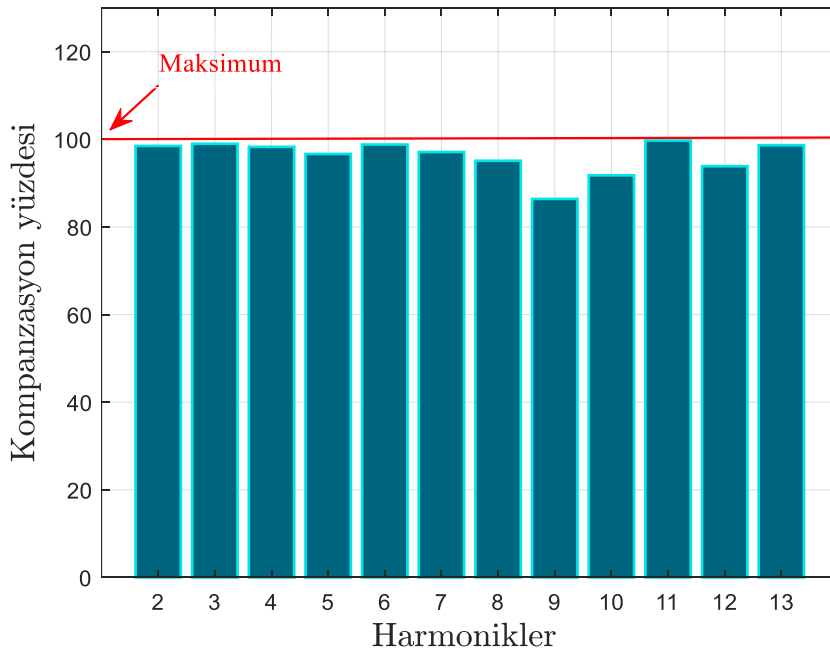
Şekil 5.3. Önerilen yöntem kullanılarak harmoniklerin süzülmesinin örneği (Harmonik bileşenlerin 180° faz kaymalı dalga formunun eklenmesi). Yeşil renkli dalga formu, süzme işleminden sonra kalan harmonik bileşenlerin toplamını göstermektedir

Ek olarak bu örnek için Şekil 5.4.(b)'de her harmonik bileşenin yüzde olarak süzülme miktarı verilmiştir. Şekil 5.4.(a) ve Şekil 5.4.(b)'de tüm harmonik bileşenlerin örnek dalga formu için başarılı bir şekilde bastırılabilirdiği görülmektedir. Bütün 20K test kümesi için elde edilen ortalama harmonik süzme yüzdeleri Şekil 5.4.(c)'de ve telafi yüzdeleri ise Şekil 5.4.(d)'de verilmiştir.

Her iki şekilde tüm harmonik bileşenlerin etkili bir şekilde süzülebileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, Şekil 5.4.(c)'de verilen bütün harmonik bileşenlerin dağılım yüzdeleri, önerilen veri oluşturma yöntemi ile üretilen verilerin, gerçek EAO akımlarının harmonik bileşeni dağılımına oldukça benzediğini doğrulamaktadır. 2., 3. ve 5. harmonik bileşenler genellikle bir EAO tesisi tarafından üretilen akımların harmonik bileşenlerinden baskın olanlarıdır. Bununla birlikte, burada AGS uygulamasının sahadaki performansının, AGS kurulumunun simülasyon ortamında test edilemeyen tepki ve reaksiyon sürelerine de bağlı olduğuna dikkat edilmelidir.

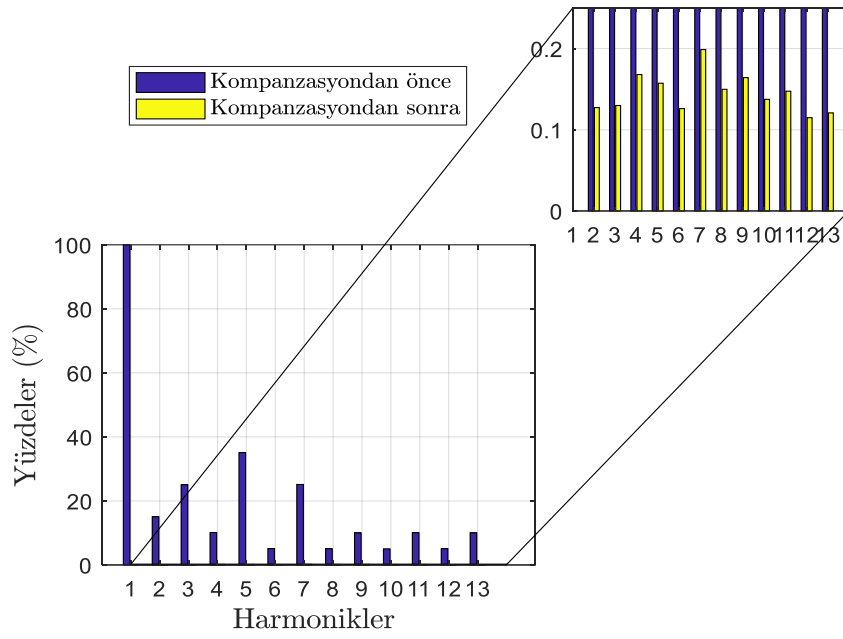


(a)

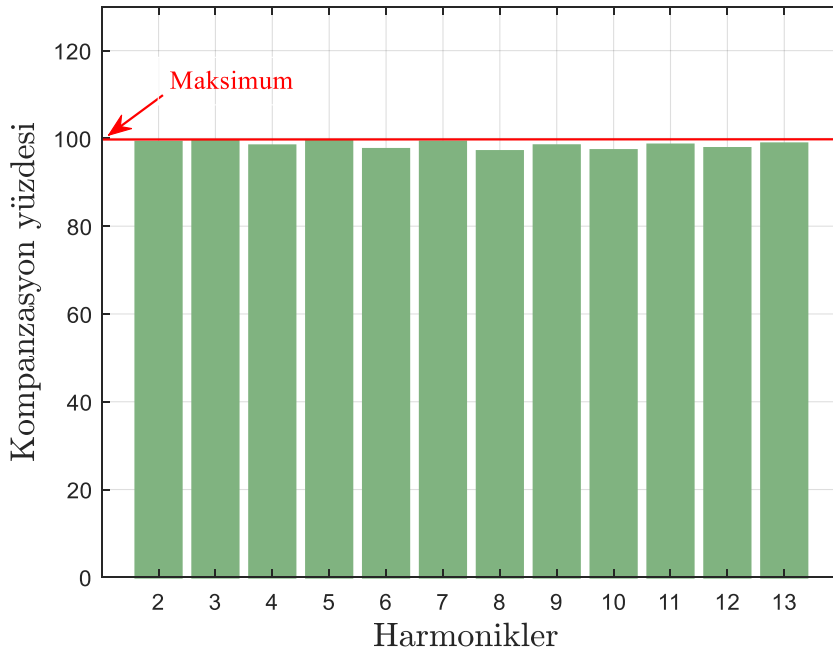


(b)

Şekil 5.4. Süzme işlemi sonuçları, (a) Şekil 5.3.'te verilen örnek bir sinyal için, harmonik bileşenlerin temel bileşen açısından yüzdeleri ve harmonik süzme işlemi sonrası yüzdeleri, (b) bu verilen örnek sinyalin her harmonik bileşen için harmonik süzme yüzdeleri, (c) 20K test kümesinin tamamı için harmonik bileşenlerin temel bileşen açısından yüzdeleri ve süzme işlemi sonrası yüzdeleri, (d) tüm test kümesindeki her harmonik bileşen için harmonik süzme yüzdeleri



(c)



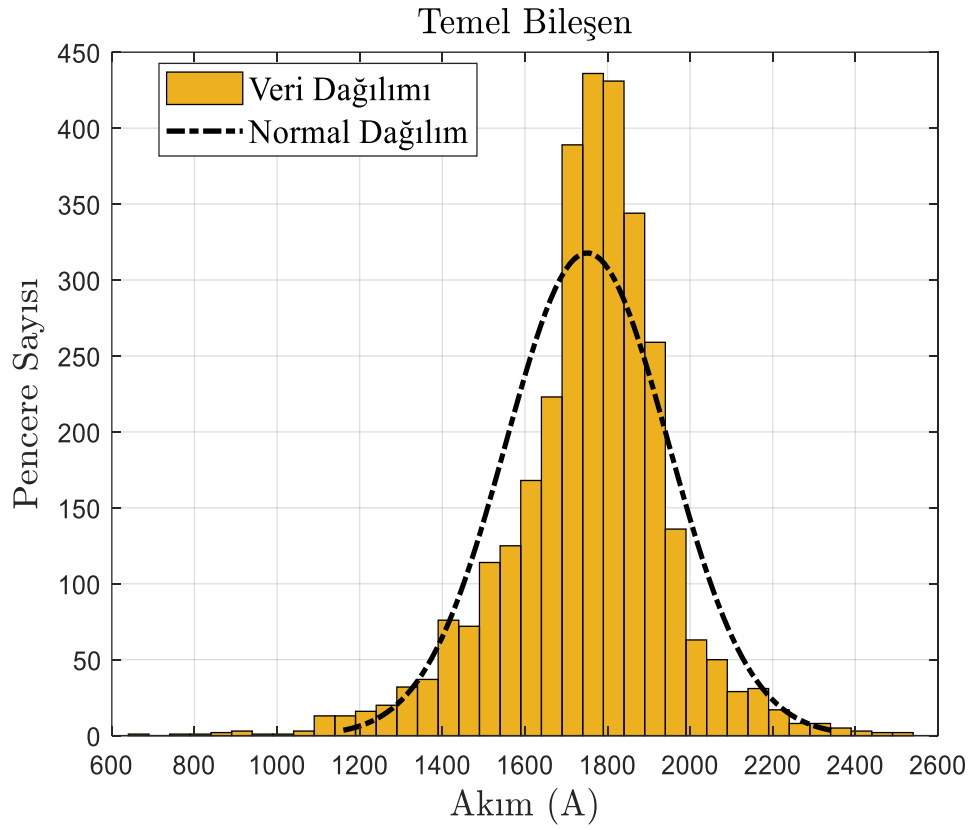
(d)

Şekil 5.4. (devam) Süzme işlemi sonuçları, (a) Şekil 5.3.'te verilen örnek bir sinyal için, harmonik bileşenlerin temel bileşen açısından yüzdeleri ve harmonik süzme işlemi sonrası yüzdeleri, (b) bu verilen örnek sinyalin her harmonik bileşen için harmonik süzme yüzdeleri, (c) 20K test kümesinin tamamı için harmonik bileşenlerin temel bileşen açısından yüzdeleri ve süzme işlemi sonrası yüzdeleri, (d) tüm test kümesindeki her harmonik bileşen için harmonik süzme yüzdeleri

5.2. Saha Verileri Kullanılarak Yapılan Analizler

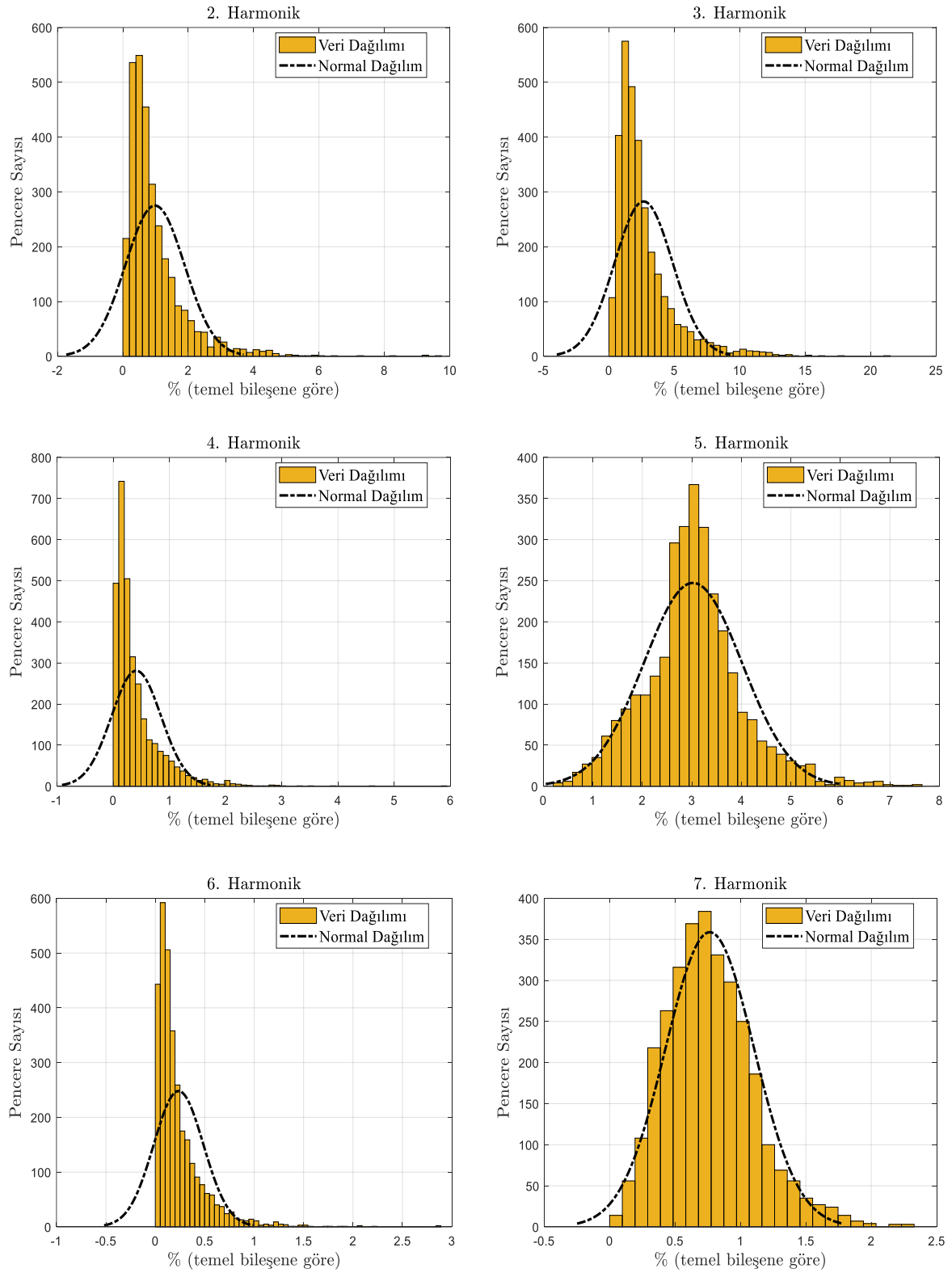
Tezin bu kısmında, Türkiye Milli Güç Kalitesi Projesi ile geliştirilen güç kalitesi çözümleyicileri [48] kullanılarak elde edilen EAO akımlarının harmonik dağılımları kullanılarak daha fazla EAO akım verilerinin üretilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Burada amaç gerçek EAO akım verilerinin istatistiksel olarak modellenmesini sağlayarak istenilen sayıda gerçeğe yakın verilerin oluşturulmasıdır. Bu sayede eğitim aşamasında daha iyi performans elde edebilmek için daha fazla veriye ihtiyaç duyan ESA gibi modellerin talepleri karşılanabilecektir. Veri depolama açısından her zaman kolay bir iş olmayan iletim sisteminden daha fazla ham veri toplamak yerine, gerçekçi EAO verilerini üretmek ve EAO akımlarının zamanla değişen ve stokastik (olasılıksal) özelliklerini taklit eden bu verilere eklemeler yapılabilecektir. Böylelikle, örneğin bir dökümden-döküme süresi için toplanan verilerle, benzer harmonik davranışa sahip üç dökümden-döküme süresi uzunluğundaki eğitim verisi oluşturmak mümkün olacaktır.

Bölüm 4.3'te detaylı bir şekilde anlatılan EAO akım harmonik bileşenlerinin Eş. 4.8'de verilen model dikkate alınarak 100K'lık veri kümesi oluşturulmuştur. Veri kümesinin örnekleme frekansı (f_s) 25,6KHz olarak seçilmiştir. Veri oluşturma kısmında ilk olarak, temel frekans değeri 50.0Hz olarak ayarlanmış $\mathbf{X}$ matrisi, temel frekansın pozitif tam sayı katlarını içerecek şekilde oluşturulmuştur. İkinci olarak, Şekil 5.5.'te gösterilen histogramlarına uyan ortalamalar ve değişimlerle temsil edilen normal dağılımın parametreleri kullanılarak Eş. 4.8'de verilen ağırlık vektörü $\mathbf{w}$ 'yı üretmek için kullanılmıştır. İlk 13 harmonik, bir elektrik iletim şebekesinde en büyük genlik değerlerine sahip olduğundan [20], harmonik bileşen sayısı olarak seçilmiştir. Harmonik bileşenlerin genlikleri, üretilen bu dağılımlardan rastgele seçilmiştir. Ek olarak, harmonik bileşenlerin fazları da $[-\pi, \pi]$ radyan arasından tekdüze (uniform) dağılımdan rastgele seçilmiştir. Ağırlık vektörleri a_i ve b_i 'nin değerleri, harmonik bileşenlerin genlikleri ve fazları kullanılarak elde edilmiştir. Üretilen her dalga formu yine 20 ms uzunluğundadır ve yeni eğitim veri kümesi EAO tesisini besleyen transformatör alt istasyonundan toplanan orijinal alan verisinin (100K / 3135) yaklaşık 32 katında oluşturulmuştur. Yani gerçeğe yakın örnek sayısı yaklaşık 32 kat artırılmıştır. Normal dağılım ile rastgele üretilen $\mathbf{w}$ değerleri negatif değerler içerdiği fakat deneysel veri histogramlarında negatif değerler olmadığı için bu değerler 0,001 değerine çekilmiştir.

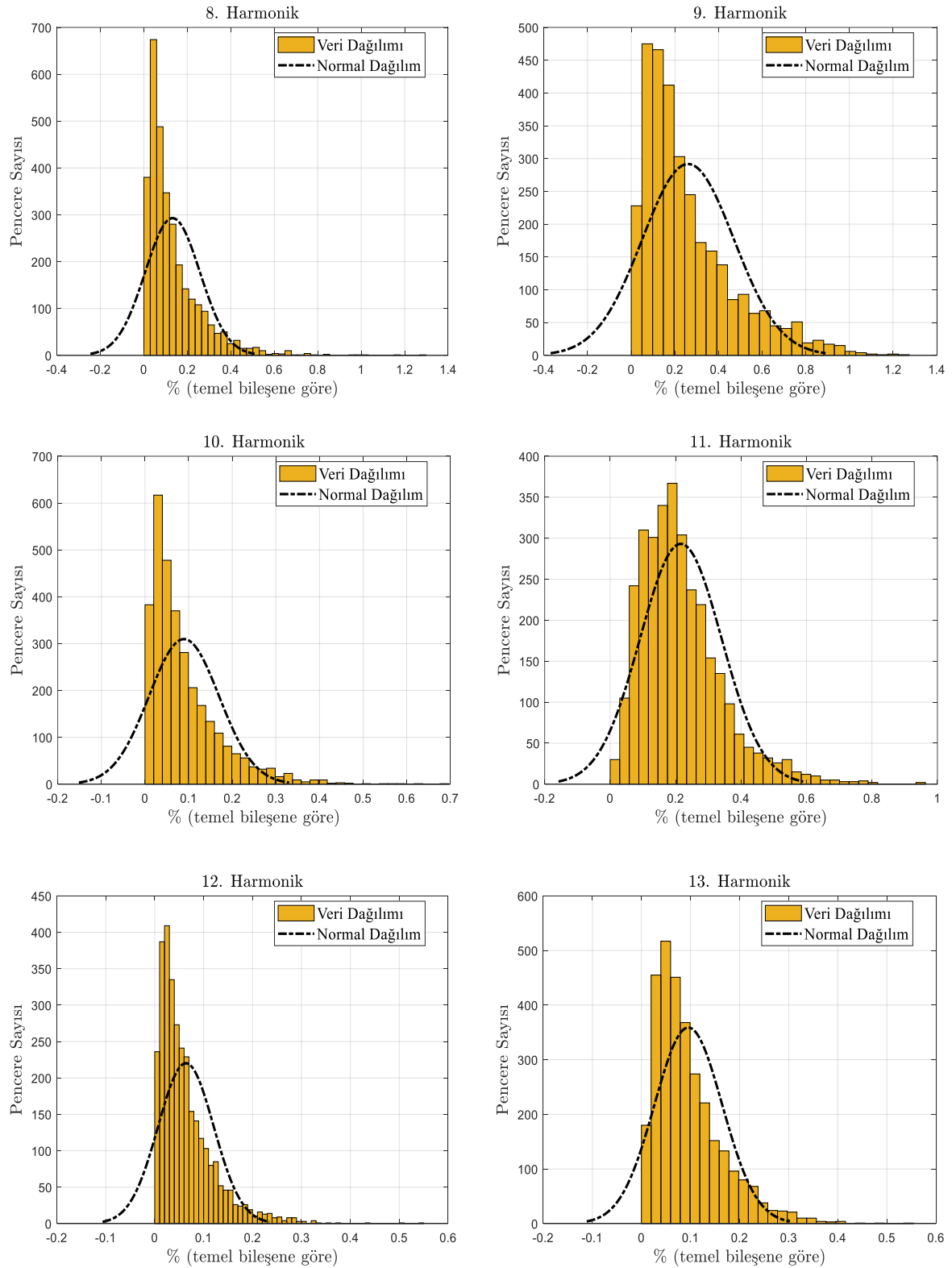


Şekil 5.5. EAO akımlarının DFT ile elde edilen harmonik bileşen genliklerini histogramları ve histogramların üzerine oturtulan normal dağılımların gösterimi

Veri kümesindeki her örnek, on üç harmonik bileşenli EAO akım dalga formunu temsil eden 512 boyutlu bir sinyalden oluşmuştur. Veri kümesinin %80'i eğitim aşaması için kullanılmıştır (100K-verilerinin %60'ı, mimarinin tüm parametrelerini öğrenmek için kullanılmış, 100K-verilerinin %20'si, ağın anlık performansını gözlemlemek için bir doğrulama seti olarak kullanılmıştır). Verilerin geri kalanı (100K verilerin % 20'si) test aşaması için kullanılmıştır.

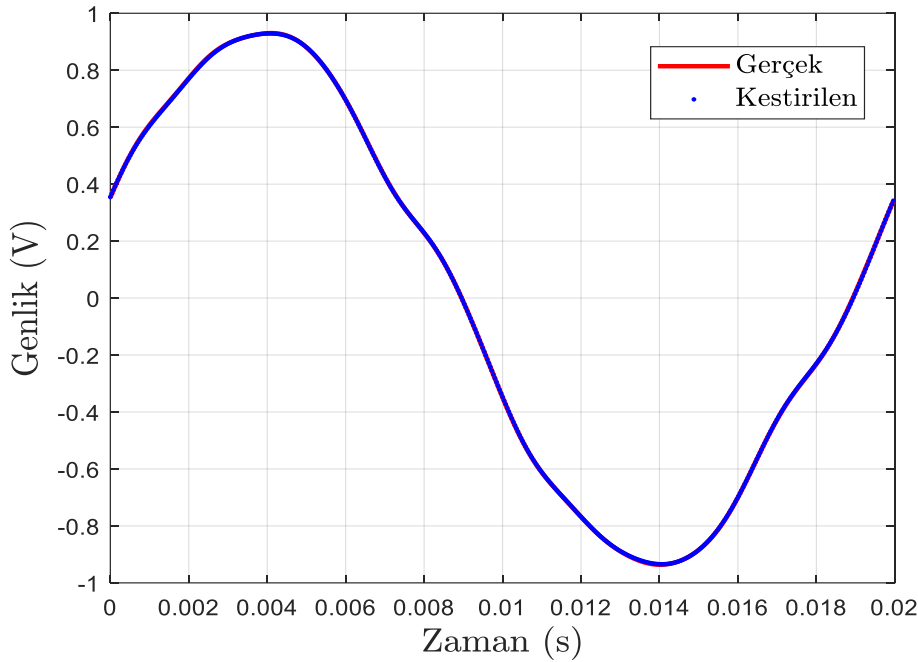


Şekil 5.5. (devam) EAO akımlarının DFT ile elde edilen harmonik bileşen genliklerinin histogramları ve histogramların üzerine oturtulan normal dağılımların gösterimi



Şekil 5.5. (devam) EAO akımlarının DFT ile elde edilen harmonik bileşen genliklerinin histogramları ve histogramların üzerine oturtulan normal dağılımların gösterimi

Şekil 5.6.'da, kestirilen $\hat{a}_i$ ve $\hat{b}_i$ değerleri kullanılarak yeniden oluşturulan sinyal ile veri kümesindeki gerçek örnek dalga formu gösterilmiştir. Şekilden de görülebileceği üzere gerçek ve yeniden oluşturulmuş dalga formları çok iyi eşleşmektedir. Bu örnek için on üç harmonik bileşenin gerçek ve kestirilen genlik değerleri de Çizelge 5.7.'de verilmiştir. Kestirilen genlik değerlerinin gerçek değerlere oldukça yakın olduğu çizelgede görülmektedir. Önerilen ESA mimarisinin başarısını göstermek için, tüm sürecin genlik ve faz kestirim ortalama hataları Çizelge 5.8.'de gösterilmiştir. Çizelge 5.8.'de gösterilen en iyi faz değeri, orijinal dalga formu ile gerçekçi karşılaştırma elde etmek için önemli ölçüde küçük gerçek genlik değerlerine karşılık gelen faz kestirimleri dikkate alınmadan hesaplanmıştır.



Şekil 5.6. Gerçek ve yeniden oluşturulmuş örnek akım dalga formlarının karşılaştırılması

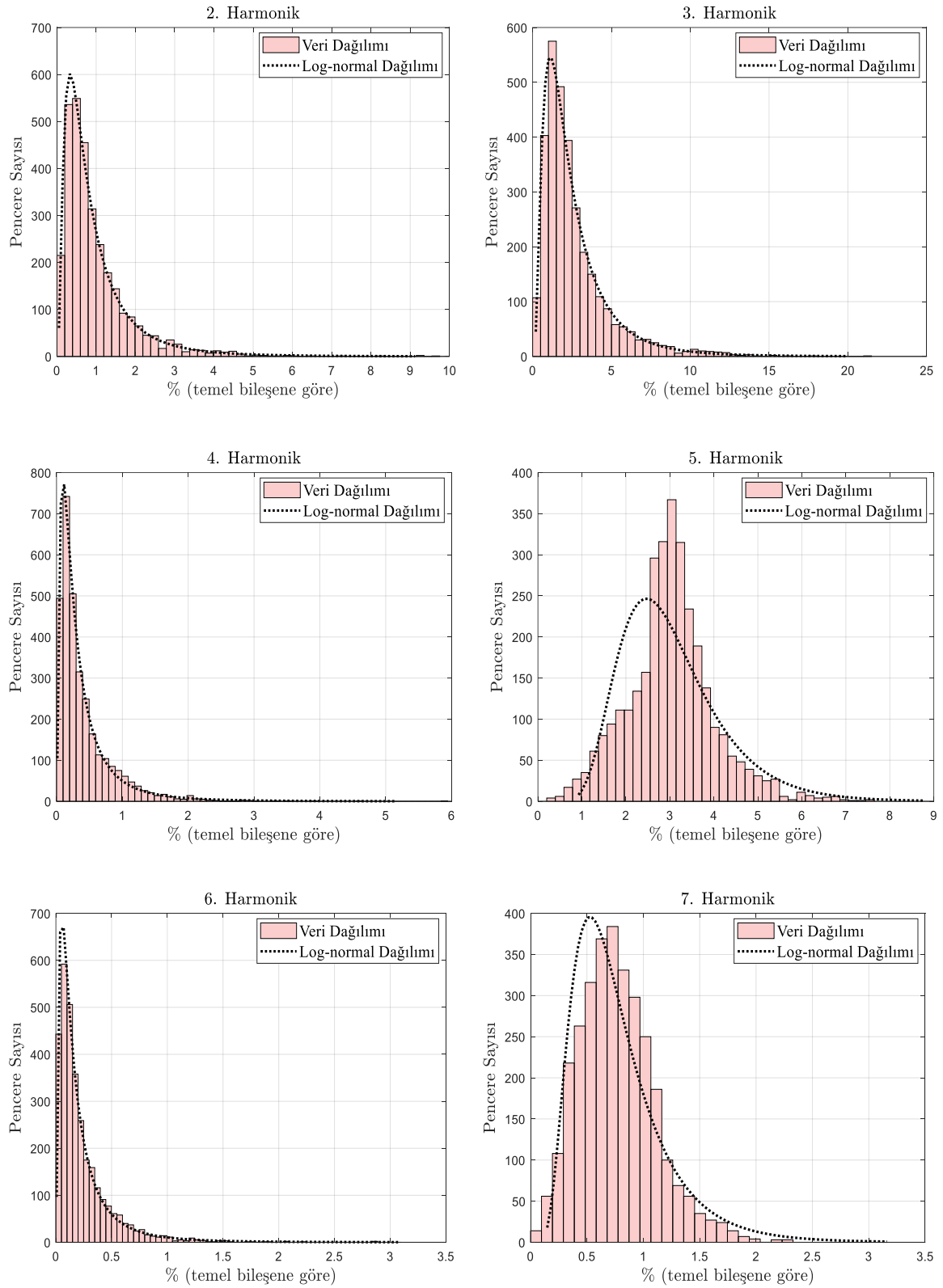
Deneysel veri histogramlarında hem negatif değerler olmadığı için hem de daha iyi bir dağılımın veri histogramlarına oturmasını sağlamak için normal dağılım haricinde farklı dağılımlar araştırılmıştır. Veri histogramlarına oturtulan Log-normal ve Rayleigh dağılımları sırasıyla Şekil 5.7. ve Şekil 5.8.'de gösterilmektedir. Normal dağılım parametreleri kullanılarak veri kümesi oluşturmak için izlenen süreç bu iki farklı dağılım içinde gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.7. Şekil 5.6.'da gösterilen on üç harmonik bileşenli 512 boyutlu örnek veri için gerçek ve kestirilen genlik değerleri

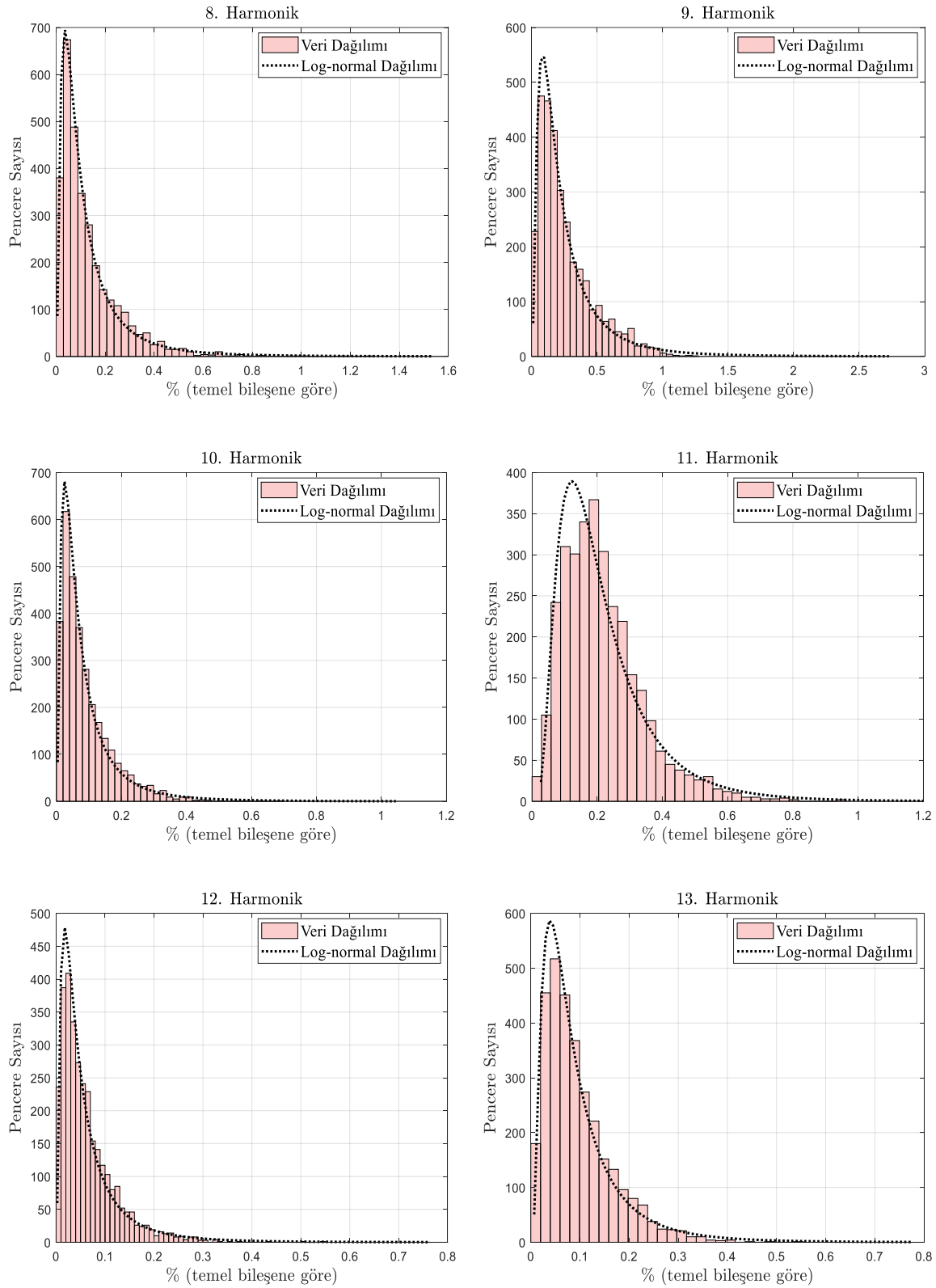
Harmonikler	A_i	$\hat{A}_i$
1	0,9216	0,9205
2	0,0019	0,0017
3	0,0160	0,0162
4	0,0010	0,0013
5	0,0328	0,0330
6	0,0022	0,0021
7	0,0143	0,0146
8	0,0013	0,0011
9	0,0004	0,0006
10	0,0013	0,0008
11	0,0027	0,0024
12	0,0003	0,0005
13	0,0007	0,0005

Çizelge 5.8. Üretilen veri kümesi için genlik ve faz ortalama kestirim hataları. Genlik hatası kestirilecek genliklerin yüzdesi cinsinden, faz hatası ise derece cinsinden verilmiştir

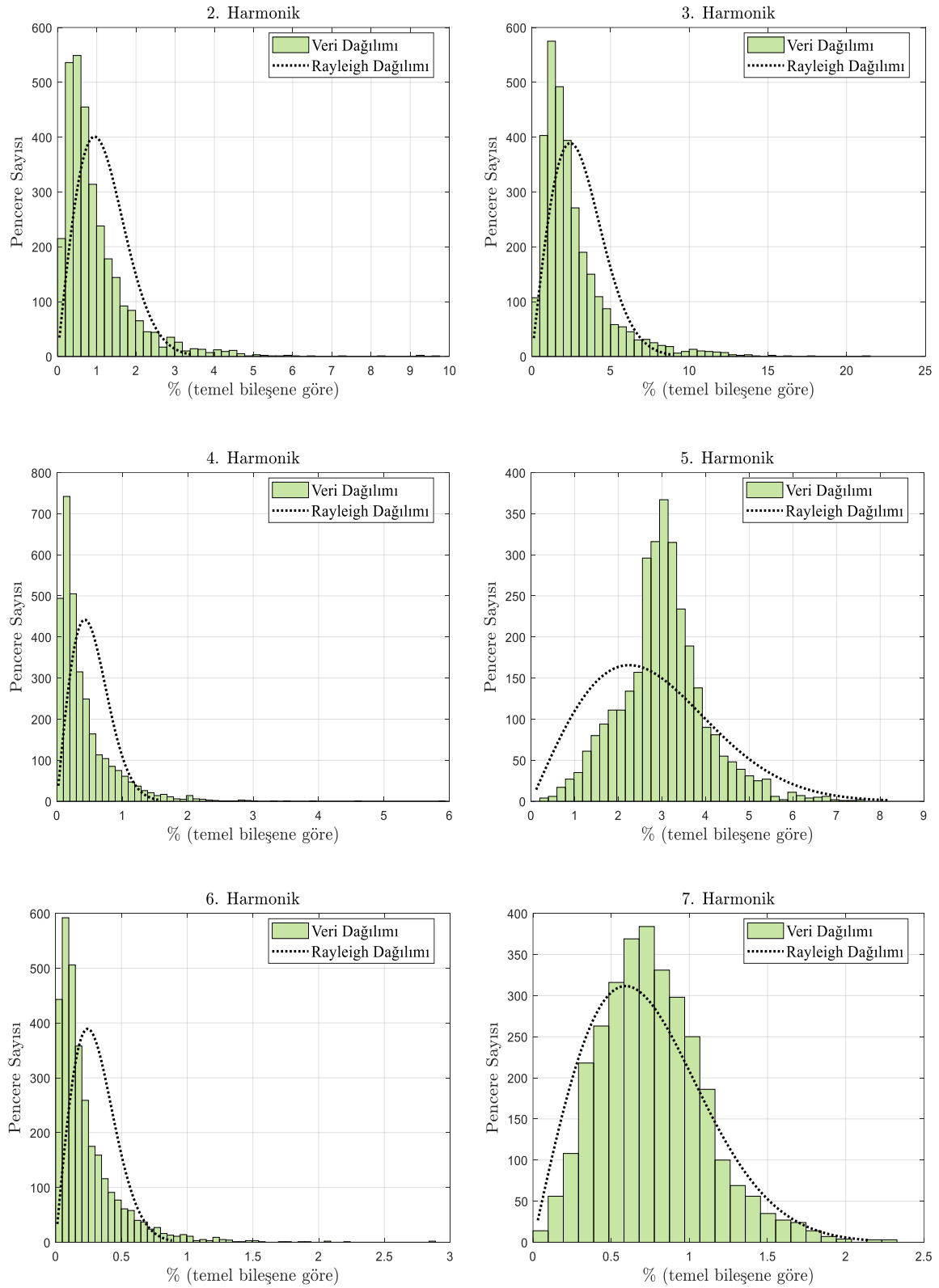
ESA koşturma	$e_{A_i}(\%)$	$e_{\phi_i}(^\circ)$
En iyi	0,0472	1,7449



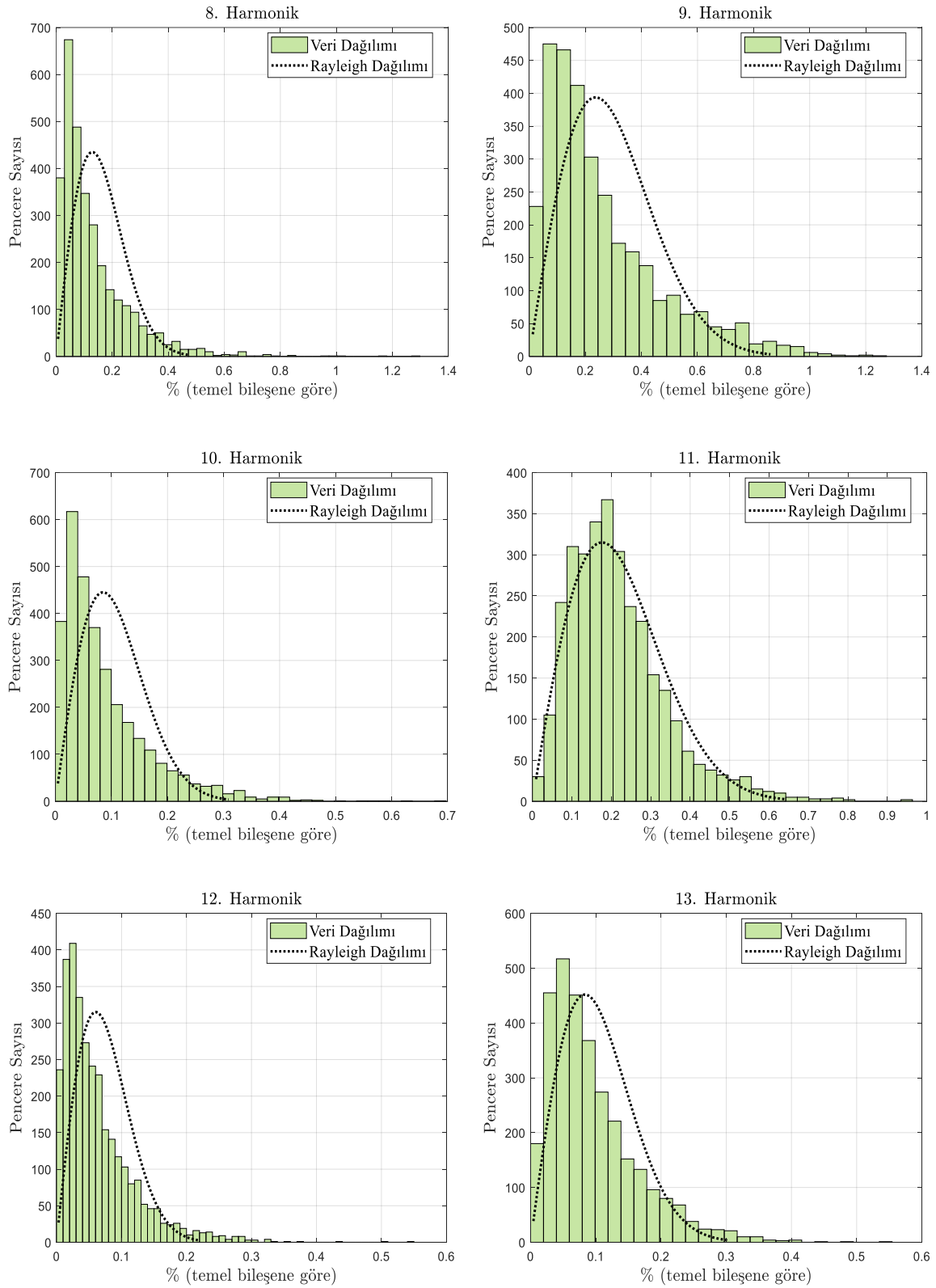
Şekil 5.7. EAO akımlarının DFT ile elde edilen harmonik bileşen genliklerini histogramları ve histogramların üzerine oturtulan Log-normal dağılımların gösterimi



Şekil 5.7. (devam) EAO akımlarının DFT ile elde edilen harmonik bileşen genliklerinin histogramları ve histogramların üzerine oturtulan Log-normal dağılımların gösterimi



Şekil 5.8. EAO akımlarının DFT ile elde edilen harmonik bileşen genliklerinin histogramları ve histogramlar üzerindeki Rayleigh dağılımlarının gösterimi



Şekil 5.8. (devam) EAO akımlarının DFT ile elde edilen harmonik bileşen genliklerinin histogramları ve histogramların üzerine oturtulan Rayleigh dağılımların gösterimi

Önerilen ESA mimarisinin bu farklı dağılımlar kullanılarak üretilen veriler üzerindeki genlik ve faz kestirim ortalama hataları Çizelge 5.9.'da gösterilmiştir. Çizelge 5.9.'da gösterilen en iyi faz değeri, orijinal dalga formu ile gerçekçi karşılaştırma elde etmek için önemli ölçüde küçük gerçek genlik değerlerine karşılık gelen faz kestirimleri dikkate alınmadan hesaplanmıştır.

Çizelge 5.9. Log-normal ve Rayleigh dağılımları kullanılarak oluşturulan veriler üzerinde elde edilen genlik ve faz ortalama kestirim hataları. Genlik hatası kestirilecek genliklerin yüzdesi cinsinden ve faz hatası ise derece cinsinden verilmiştir

	$e_{A_i}(\%)$	$e_{\phi_i}(^\circ)$
Log-normal	0,0501	1,9775
Rayleigh	0,0548	2,3521

5.3. Bölüm Özeti

Bu bölümde, ilk olarak daha önceki tecrübeler kullanılarak üretilen yapay veriler üzerinde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Üretilen bu veriler temel frekansın sabit olduğu ve iletim hatlarında daha çok karşılaşılan temel frekansın sapması durumları için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Her iki durum için de kestirilen genlik ve faz değerleri gerçek genlik ve faz değerlerine yakın olarak elde edilmiştir. Önerilen yöntemin gerçek zamanlı uygulamalar için kullanılabileceğini göstermek için harmonik süzme üzerine uygulanması gösterilmiştir. İkinci olarak, EAO'dan toplanan saha verilerinin istatistiksel analizi çıkarılmıştır. Bu analizler kullanılarak gerçek veriler ile benzer özellikleri gösteren daha fazla veri üretilmiştir. Bu sayede çok fazla hafıza kullanımı gerektiren verilerin depolanması yerine gerçek verilere yakın daha fazla verinin üretilmesi sağlanmıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde, öncelikle, güç sistemlerinin akım ve genliklerin zamanla değişen harmonik bileşenlerinin genlik ve faz bilgilerinin hızlı ve doğru bir şekilde kestirilmesi için evrişimli sinir ağlarının kullanımına dayanan bir yöntem önerilmiştir. Harmonik analizi ve ESA'yi birleştiren literatür çoğunlukla harmonik genliklerin sınıflandırılmasına odaklanılmıştır. Bununla birlikte, bu tez kapsamında, güç sistemi harmoniklerinin hem genliklerinin hem de fazlarının doğru bir şekilde kestirilmesi amaçlanmıştır, böylece aktif güç süzgeçleri ve STATCOM'lar gibi güç sistemi harmonik kompensatörlerine referans sinyalleri olarak verilebilir. Bu nedenle, harmonik bileşenlerin hem genliklerinin hem de fazlarının kestirimi bu araştırma çalışmasında vurgulanmıştır. Bu, gerçek elektrik iletim sisteminin davranışını yansıtmak üzere üretilen güç sistemi harmonik verileri için özel olarak tasarlanmış bir ESA yapısı kullanılarak elde edilmiştir. Sabit temel frekans durumu için harmonik genlik ve fazların kestirim hatası sırasıyla %0,21 ve 7°'yi aşmadığı, güç sistemlerinin normal çalışma koşulları açısından daha gerçekçi olan zamanla değişen temel frekans durumlarında ise %0,24 ve 12°'yi aşmamıştır. Ayrıca 20ms-verinin analizi önerilen yöntemle 1,2ms sürmektedir ve bu da gerçek zamanlı harmonik süzme uygulamaları için fırsat sunmaktadır. Gerçek ve kestirilmiş dalga formlarının karşılaştırılması, önerilen yöntemin özellikle aktif güç süzgeç uygulamalarında güç sistemi harmoniklerinin bastırılması için kullanılabileceğini göstermiştir. Literatürdeki bazı güncel harmonik analiz yöntemleriyle karşılaştırıldığında, hem kestirim doğruluğu hem de hesaplama süresi açısından iyileştirilmiş bir sistemin sunulduğu gösterilmiştir. Önerilen yöntem, elektrik şebekesinin belirli bir kısmındaki güç sistemi harmoniklerinin tipik davranışını öğrenme avantajına sahiptir ve bu nedenle mevcut diğer yöntemlerin sonuçlarının geliştirilmesi de tercih edilebilir. ESA yapısı, şebekeden toplanan verilerden akıllı yöntemlerle de arttırılabilen yeterli miktarda girdi verisi ile eğitildikten sonra, yöntem harmonik genlik ve fazları daha doğru bir şekilde kestirmiştir. ESA yapısının düşük hesaplama karmaşıklığı sayesinde, güç sistemlerinin temel frekansının bir döngüsü içinde kestirimler elde edilmiş, bu da güç sistemlerinin gerçek zamanlı harmonik kestirim ve süzme uygulamaları için fırsat vermiştir. Ayrıca ESA yapısından dolayı azalan hesaplama karmaşıklığının avantajı da sunulmuştur.

Ayrıca tez çalışması kapsamında, EAO akım verilerinin harmonik davranışı, EAO tesislerini besleyen iletim sistemi seviyesindeki transformatörlerden elde edilen saha verileri

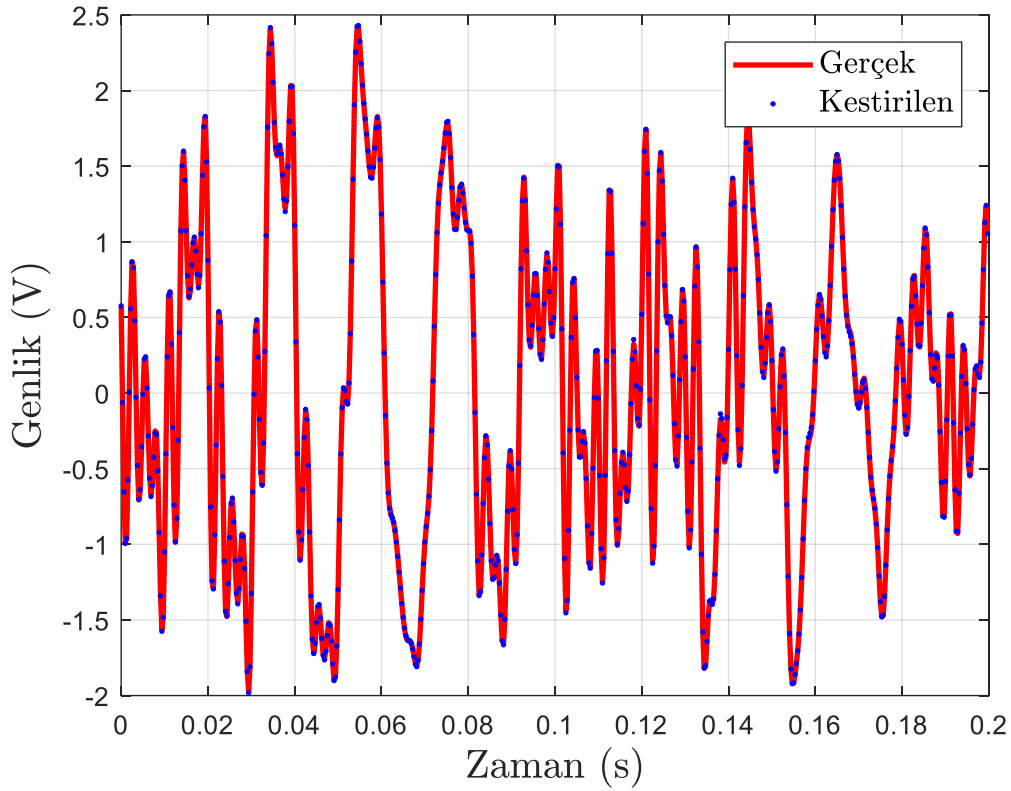
kullanılarak istatistiksel bir dağılım olarak elde edilmiştir. Uygun istatistiksel dağılımlardan elde edilen parametrelere dayanarak, EAO davranışına benzer şekilde 32 kat daha fazla daha fazla miktarda EAO akım verisi üretilmiştir. EAO fabrikalarını besleyen transformatör merkezlerinden, ham veri toplamak hem pahalı hem de pratik değildir, Çünkü özel izinler gerektirmektedir. Bu şekilde daha önceden toplanan sadece 1 saatlik akım ham verisi ile uzunca bir veri oluşturulup ESA mimarisini eğitmek mümkün olmuştur. Böylece harmonik bileşenlerin genlik ve faz değerleri, üretilen EAF akım dalga formları tarafından eğitilmiş önerilen DÖ tabanlı algoritma ile kestirilmiştir. Elde edilen genlik ve faz kestirim hataları sırasıyla %0,0472 ve $1,7449^\circ$ olarak elde edilmiştir. Son olarak herhangi bir öznitelik hesaplamadan, harmonik bileşenlerin genlik ve faz değerlerini doğrudan zaman-alan dalga formu örneklerinden kestirmek mümkün olmuştur.

Bu tez kapsamında genlik ve faz kestirim sonuçları tek döngü (512-örnek) üretilen veriler üzerinde elde edilmiştir. Alt grup harmonik bileşen değerlerini 5Hz çözünürlükte (temel bileşen için 45Hz ve 55Hz) kestirmek için üretilen verilerin örnekleme frekansı (f_s) 25,6KHz olmalıdır. Fakat Bölüm 5'te bahsedilen bilgisayarın özelliklerinden dolayı üretilen verilerin örnek sayısı artırılmamıştır. Bu nedenle örnekleme frekans değeri azaltılarak 10-döngü (640-örnek) için veriler üretilmiştir.

Çizelge 6.1'de alt grup analizi için yapay verilerin üretilmesi gösterilmiştir. Veri kümesindeki her veri, harmonikli akım veya gerilim dalga formunu temsil eden 640 örnekli verilerdir. 100K örnek sayısı içeren veri kümesinin %60'ı eğitim aşamasında önerilen ESA mimarisinin parametrelerini öğrenmek için kullanılmıştır. Aynı veri kümesinin (eğitim aşaması dışında) %20'si, mimarinin anlık performansını değerlendirmek için doğrulama verisi olarak kullanılmıştır. 100K veri kümesinin geri kalan %20'si (20K) ise test aşamasında kullanılmıştır. Gerçek veri ve kestirilen veri arasındaki ilişki Şekil 6.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Alt grup verileri için frekans bileşenlerinin gerçek benzeri sentetik genliklerinin oluşturulması. Genlikler, her harmonik için verilen aralık içindeki düzgün bir dağılımdan rastgele seçilmektedir

Harmonikler	Genlik Aralığı
1. (Temel bileşen - A_1)	0,7 pu – 1,0 pu
1. harmonik alt grup	$0,001 \text{ pu} - \max(1.\text{har}) \times (1 \text{ pu} - 0,5 \text{ pu})$
1. harmonik alt grup	$0,001 \text{ pu} - \max(1.\text{har}) \times (1 \text{ pu} - 0,5 \text{ pu})$
2. harmonik	$0,001 \text{ pu} - 0,3 \times A_1$
2. harmonik alt grup	$0,001 \text{ pu} - \max(2.\text{har}) \times (1 \text{ pu} - 0,5 \text{ pu})$
2. harmonik alt grup	$0,001 \text{ pu} - \max(2.\text{har}) \times (1 \text{ pu} - 0,5 \text{ pu})$
3. harmonik	$0,001 \text{ pu} - 0,5 \times A_1$
3. harmonik alt grup	$0,001 \text{ pu} - \max(3.\text{har}) \times (1 \text{ pu} - 0,5 \text{ pu})$
3. harmonik alt grup	$0,001 \text{ pu} - \max(3.\text{har}) \times (1 \text{ pu} - 0,5 \text{ pu})$
4. harmonik	$0,001 \text{ pu} - 0,2 \times A_1$
4. harmonik alt grup	$0,001 \text{ pu} - \max(4.\text{har}) \times (1 \text{ pu} - 0,5 \text{ pu})$
4. harmonik alt grup	$0,001 \text{ pu} - \max(4.\text{har}) \times (1 \text{ pu} - 0,5 \text{ pu})$
5. harmonik	$0,001 \text{ pu} - 0,7 \times A_1$
5. harmonik alt grup	$0,001 \text{ pu} - \max(5.\text{har}) \times (1 \text{ pu} - 0,5 \text{ pu})$
5. harmonik alt grup	$0,001 \text{ pu} - \max(5.\text{har}) \times (1 \text{ pu} - 0,5 \text{ pu})$
6. harmonik	$0,001 \text{ pu} - 0,1 \times A_1$
6. harmonik alt grup	$0,001 \text{ pu} - \max(6.\text{har}) \times (1 \text{ pu} - 0,5 \text{ pu})$
6. harmonik alt grup	$0,001 \text{ pu} - \max(6.\text{har}) \times (1 \text{ pu} - 0,5 \text{ pu})$
7. harmonik	$0,001 \text{ pu} - 0,5 \times A_1$
7. harmonik alt grup	$0,001 \text{ pu} - \max(7.\text{har}) \times (1 \text{ pu} - 0,5 \text{ pu})$
7. harmonik alt grup	$0,001 \text{ pu} - \max(7.\text{har}) \times (1 \text{ pu} - 0,5 \text{ pu})$



Şekil 6.1. ESA mimarisinden kestirilmiş genliklerden ve fazlardan elde edilmiş dalga formu ve gerçek sinyalin dalga formu

Şekil 6.1.'deki kestirilen değerlerle birlikte gerçek genlik ve faz değerleri de Çizelge 6.2.'te listelenmiştir. Çizelge 6.2.'te gösterildiği gibi, hem genlik hem de faz değerlerinin kestirilen değerleri, tüm harmonik alt gruplar için gerçek değerlere önemli ölçüde yakındır.

Çizelge 6.3'te 20K test verisi için elde edilen genlik ve faz değerleri kestirim hataları sunulmuştur. Elde edilen kestirim hatalarına bakıldığı zaman yapılan çalışmanın geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Çizelge 6.2. Şekil 6.1.'de gösterilen 7 harmonik bileşene sahip veri için gerçek ve kestirilen genlik ve faz değerleri

Harmonikler	A_i	$\hat{A}_i$	Φ_i°	$\hat{\Phi}_i^\circ$
1. harmonik	0,7904	0,7879	189,1892	189,0416
1. harmonik alt grup	0,500	0,5037	323,6036	323,3942
1. harmonik alt grup	0,7860	0,7847	25,9459	25,8186
2. harmonik	0,0979	0,0993	147,7477	145,5245
2. harmonik alt grup	0,0567	0,0584	117,8378	120,3532
2. harmonik alt grup	0,1655	0,1646	279,6396	278,7589
3. harmonik	0,0286	0,0317	25,2252	25,0780
3. harmonik alt grup	0,2786	0,2806	312,7928	312,5293
3. harmonik alt grup	0,1576	0,1595	182,3423	182,9422
4. harmonik	0,0875	0,0847	198,1982	199,1443
4. harmonik alt grup	0,1272	0,1304	321,0811	321,5290
4. harmonik alt grup	0,0273	0,0290	86,4865	91,1135
5. harmonik	0,3321	0,3309	215,8559	215,7039
5. harmonik alt grup	0,0313	0,0298	32,0721	31,3259
5. harmonik alt grup	0,2852	0,2834	298,3784	298,8038
6. harmonik	0,0459	0,0471	207,2072	208,0558
6. harmonik alt grup	0,0078	0,0076	49,0090	47,1894
6. harmonik alt grup	0,0279	0,0264	185,5856	187,5272
7. harmonik	0,3183	0,3223	289,7297	289,2594
7. harmonik alt grup	0,0027	0,0012	3,9640	43,1131
7. harmonik alt grup	0,3198	0,3214	345,5856	345,7547

Çizelge 6.3. Alt grup analizi için üretilen 20K test verileri için genlik ve faz değerleri kestirim hatası verilmiştir. Genlik hatası, kestirilecek genliğin yüzdeleri cinsinden, faz hatası ise derece cinsinden verilmiştir

ESA koşturma	$e_{A_i}(\%)$	$e_{\phi_i}(^{\circ})$
En iyi	0,32	10,4160

Bu sonuçlar ışığında, örnekleme frekans değerini artırabileceğimiz ve bu örnek sayısını işleyebilecek donanıma sahip bir bilgisayar yardımıyla bu sorunun üstesinden gelinebileceği düşünülmektedir. Ayrıca farklı derin öğrenme ağ modelleri araştırılarak yaşadığımız problemlerin üstesinden de gelinebileceği tartışılmıştır.

Son yıllarda literatürde çeşitli derin öğrenme ağ modelleri hakkında çok hızlı yenilikler meydana gelmektedir. Bu modeller arasında akla ilk gelen tekrarlayan sinir ağı (Recurrent Neural Network-RNN) modelidir. Bu modelde çıktı sadece o andaki girdi verisi ile değil, diğer girdi verisine de bağlı olarak elde edilmektedir. Örneğin t anındaki girdi verisinin yanında $t-1$ anından gelen gizli katman çıktısı da gizli katmanın t anındaki girdisidir. $t-1$ anında girdi için verilen karar t anında verilecek olan kararı etkilemektedir. İstatistiksel veri ve zamana bağlı sensörler gibi belli bir sıra ile gelen verileri anlamak için tercih edilmektedir. Diğer bir ağ modeli, RNN yapısının özel bir hali olan uzun kısa süreli bellek (Long Short-Term Memory - LSTM) modelidir. 1997 yılında eğitim kaybolma problemini çözmek için geliştirilmiştir. Ve sonrasında çok geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur [51]. Çekişmeli üretici ağlar (Generative Adversial Networks – GAN) bir YSA modeli ilk olarak 2014 yılında ortaya çıkmıştır. Üretici ve ayırt edici adı verilen iki farklı sinir ağından oluşmaktadır. Üretici ağ, gerçeğe yakın yeni veriler üretirken ayırt edici ağ ise sahte ve gerçek verileri birbirinden ayırt etmeye çalışmaktadır. Şu an için en popüler ağ modellerinden biri olan GAN ile var olan verileri kullanarak gerçeğe çok yakın yeni veriler üretilmekte ve var olan verileri farklı bir forma dönüştürebilmektedir [52].

Sonuç olarak, bu tez kapsamında yapılan çalışmanın ilerletilebilmesi için yapılabilecekler şöyle özetlenebilir:

- Harmoniklerin birbiri ile olan istatistikleri de düşünülerek kestirim başarımının artırılması planlanmaktadır.

- Gerçek EAO akım verilerine uygun olacak şekilde ani basamak değişimleri uygun veri üretilerek eğitim yapılacaktır.
- EAO ham verisinin delme, eritme ve artıma kısımlarının ayrı ayrı istatistiksel analizi yapılarak eğitim aşamasından geçtikten sonra kestirim başarımının iyileştirilmesi düşünülmektedir.
- Yukarıda bahsedilen işlemlerin hiçbirisi test süresini etkilemeyecektir. Çünkü bu işlemler eğitim aşamasının süresiyle ilintilidir.
- Alt grup harmonik bileşenlerinin genlik ve faz değerlerinin iyileştirilmesi için hem donanım hem de yazılım açısından çalışmalar yapılması planlanmaktadır. Ayrıca bahsedilen bu ağ yöntemleri tez kapsamında ele alınan bazı çalışmalar için daha detaylı bir şekilde incelenecektir. EAO verilerinin özelliklerine benzer yeni verilerin üretilmesi düşünülmektedir. Böylece EAO verilerini depolamak için fazla hafıza harcamadan veri çoğaltma işleminin yapılacağı öngörülmektedir. Ve bu amaçlar doğrultusunda değerlendirmeler yapılacaktır.

KAYNAKLAR

1. Unsar, O., Salor, O., Cadirci, I., and Ermis, M. (2014). Identification of harmonic current contributions of iron and steel plants based on time-synchronized field measurements—Part I: At PCC. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 50(6), 4336-4347.
2. Ünsar, Ö. (2010). *Elektrik sistemi ortak bağlantı noktalarında harmonik akım katkılarının ölçüme dayalı olarak belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
3. IEC Standard 61000-4-30, (2005). Electromagnetic Compatibility (EMC). Testing and Measurement Techniques-Power Quality Measurement Methods, 4-30.
4. IEEE Standard 1159 (1995). IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality.
5. Günlü, E. (2015). *Sentetik yeniden örnekleme ile güç sinyallerinde harmonik ve araharmoniklerin çözümlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
6. Yang, J. Z., Yu, C. S., and Liu, C. W. (2005). A new method for power signal harmonic analysis. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 20(2), 1235-1239.
7. Salor, Ö. (2009). Spectral correction-based method for interharmonics analysis of power signals with fundamental frequency deviation. *Electric power systems research*, 79(7), 1025-1031.
8. Chang, G. W., Chen, C. I., Liu, Y. J., and Wu, M. C. (2008). Measuring power system harmonics and interharmonics by an improved fast Fourier transform-based algorithm. *IET generation, transmission & distribution*, 2(2), 192-201.
9. Zhang, F., Geng, Z., and Yuan, W. (2001). The algorithm of interpolating windowed FFT for harmonic analysis of electric power system. *IEEE transactions on power delivery*, 16(2), 160-164.
10. Lin, H. C., and Lee, C. S. (2001). Enhanced FFT-based parametric algorithm for simultaneous multiple harmonics analysis. *IEE proceedings-Generation, Transmission and Distribution*, 148(3), 209-214.
11. Wen, P., Shou, Q. Y., and Zhou, E. (1994, December). *An improved interpolated FFT algorithm and its application in power harmonics measurement*. In Proceedings of 1994 IEEE International Conference on Industrial Technology-ICIT'94 (pp. 273-277). IEEE.
12. Tsao, T. P., Wu, R. C., and Ning, C. C. (2001). The optimization of spectral analysis for signal harmonics. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 16(2), 149-153.
13. Göl, M. (2009). *A new field-data based EAF model applied to power quality studies*. Yüksek Lisans Tez, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Ankara.
14. Cano-Plata, E. A., Ustariz-Farfan, A. J., and Soto-Marin, O. J. (2015). Electric arc furnace model in distribution systems. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51(5), 4313-4320.

15. Uz-Logoglu, E., Salor, O., and Ermis, M. (2015, October). *Online characterization of interharmonics and harmonics of AC electric arc furnaces by multiple synchronous reference frame analysis*. In 2015 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (pp. 1-11). IEEE.
16. Balouji, E., Salor, Ö., and Ermis, M. (2018). Exponential smoothing of multiple reference frame components with GPUs for real-time detection of time-varying harmonics and interharmonics of EAF currents. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 54(6), 6566-6575.
17. Chang, G. W., Liu, Y. J., Huang, H. M., and Chu, S. Y. (2006, June). *Harmonic analysis of the industrial power system with an AC electric arc furnace*. In 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting (pp. 4-pp). IEEE.
18. Beites, L. F., Mayordomo, J. G., Hernández, A., and Asensi, R. (2001). Harmonics, interharmonics and unbalances of arc furnaces: a new frequency domain approach. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 16(4), 661-668.
19. Ye, X. M., and Liu, X. H. (2009, July). *The harmonic detection based on wavelet transform and FFT for electric arc furnaces*. In 2009 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (pp. 408-412). IEEE.
20. Salor, O., Gultekin, B., Buhan, S., Boyrazoglu, B., Inan, T., Atal, T., ... and Akkaya, Y. (2009). Electrical power quality of iron and steel industry in Turkey. *IEEE Transactions on industry applications*, 46(1), 60-80.
21. Sezgin, E., and Salor, Ö. (2019). Analysis of power system harmonic subgroups of the electric arc furnace currents based on a hybrid time-frequency analysis method. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 55(4), 4398-4406.
22. Uz-Logoglu, E., Salor, O., and Ermis, M. (2019). Real-time detection of interharmonics and harmonics of AC electric arc furnaces on GPU framework. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 55(6), 6613-6623.
23. Vatankulu, Y. E., Şentürk, Z., and Salor, O. (2017). Harmonics and interharmonics analysis of electrical arc furnaces based on spectral model optimization with high-resolution windowing. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 53(3), 2587-2595.
24. Goh, Z. P., Radzi, M. A. M., Von Thien, Y., Hizam, H., and Wahab, N. I. A. (2016). Hybrid FFT-ADALINE algorithm with fast estimation of harmonics in power system. *IET Signal Processing*, 10(8), 855-864.
25. Maofa, G., Xiaocong, L., Longqing, C., Liming, G., and Guoliang, L. (2011, July). *Harmonic analysis approach based on wavelet transform and neural network*. In 2011 4th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT) (pp. 574-576). IEEE.
26. Lin, H. C. (2007). Intelligent neural network-based fast power system harmonic detection. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 54(1), 43-52.

27. Liu, Q. J., and Qin, S. S. (2010, March). *A DFP-neural networks algorithm for analysis of power system harmonics*. In 2010 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (pp. 1-4). IEEE.
28. Xiao, F., Lu, T., Wu, M., and Ai, Q. (2019). Maximal overlap discrete wavelet transform and deep learning for robust denoising and detection of power quality disturbance. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 14(1), 140-147.
29. Zheng, Z., Qi, L., Wang, H., Pan, A., and Zhou, J. (2019). Recognition method of voltage sag causes based on two-dimensional transform and deep learning hybrid model. *IET Power Electronics*, 13(1), 168-177.
30. Wang, J., Xu, Z., and Che, Y. (2019). Power Quality Disturbance Classification Based on Compressed Sensing and Deep Convolution Neural Networks. *IEEE Access*, 7, 78336-78346.
31. Aggarwal, A., Das, N., Arora, M., and Tripathi, M. M. (2019, April). *A novel hybrid architecture for classification of power quality disturbances*. In 2019 6th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT) (pp. 1829-1834). IEEE.
32. Balouji, E., Backstrom, K., McKelvey, T., and Salor, O. (2020). Deep Learning Based Harmonics and Interharmonics Pre-Detection Designed for Compensating Significantly Time-varying EAF Currents. *IEEE Transactions on Industry Applications*.
33. Deng, Y., Jia, H., Li, P., Tong, X., and Li, F. *A Deep Learning Method based on Long Short Term Memory and Sliding Time Window for Type Recognition and Time Location of Power Quality Disturbance*. In 2018 Chinese Automation Congress (CAC) (pp. 1764-1768). IEEE.
34. Liao, H., Milanović, J. V., Rodrigues, M., and Shenfield, A. (2018). Voltage sag estimation in sparsely monitored power systems based on deep learning and system area mapping. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 33(6), 3162-3172.
35. Balouji, E., Gu, I. Y., Bollen, M. H., Bagheri, A., and Nazari, M. (2018, May). *A LSTM-based deep learning method with application to voltage dip classification*. In 2018 18th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP) (pp. 1-5). IEEE.
36. Bagheri, A., Gu, I. Y., Bollen, M. H., and Balouji, E. (2018). A robust transform-domain deep convolutional network for voltage dip classification. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 33(6), 2794-2802.
37. Deng, Y., Wang, L., Jia, H., Tong, X., and Li, F. (2019). A Sequence-to-Sequence Deep Learning Architecture Based on Bidirectional GRU for Type Recognition and Time Location of Combined Power Quality Disturbance. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(8), 4481-4493.
38. Mohan, N., Soman, K. P., and Vinayakumar, R. (2017, December). *Deep power: Deep learning architectures for power quality disturbances classification*. In 2017 International Conference on Technological Advancements in Power and Energy (TAP Energy) (pp. 1-6). IEEE.

39. Severoğlu, N., and Salor, Ö. (2018, May). *Harmonic analysis in power systems using convolutional neural networks*. In 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) (pp. 1-4). IEEE.
40. LeCun, Y., Bengio, Y., and Hinton, G. (2015). Deep learning. *nature*, 521(7553), 436-444.
41. LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., and Haffner, P. (1998). Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*, 86(11), 2278-2324.
42. Krizhevsky, A., Sutskever, I., and Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In *Advances in neural information processing systems* (pp. 1097-1105).
43. Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological review*, 65(6), 386.
44. Goodfellow, I., Bengio, Y., and Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT press.
45. İnternet: Convolutional Neural Networks for visual recognition, <https://cs231n.github.io/convolutional-networks>, Son Erişim Tarihi: 12.08.2020.
46. Kurt, F. (2018). *Evrişimli Sinir Ağlarında Hiper Parametrelerin Etkisinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
47. Ruder, S. (2016). An overview of gradient descent optimization algorithms. *arXiv preprint arXiv:1609.04747*.
48. Demirci, T., Kalaycıoğlu, A., Küçük, D., Salor, Ö., Güder, M., Pakhuylu, S., ... and Bilgen, S. (2011). Nationwide real-time monitoring system for electrical quantities and power quality of the electricity transmission system. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 5(5), 540-550.
49. Abadi, M., Agarwal, A., Barham, P., Brevdo, E., Chen, Z., Citro, C., ... and Ghemawat, S. (2016). Tensorflow: Large-scale machine learning on heterogeneous distributed systems. *arXiv preprint arXiv:1603.04467*.
50. Küçük, D., Salor, Ö., Güder, M., Demirci, T., İnan, T., Akkaya, Y., ... and Ermiş, M. (2013). Assessment of extensive countrywide electrical power quality measurements through a database architecture. *Electrical Engineering*, 95(1), 1-19.
51. İnternet: Recurrent Neural Network Nedir?, <https://medium.com/@hamzaerguder/recurrent-neural-network-nedir-bdd3d0839120>, Son Erişim Tarihi: 12.08.2020.
52. İnternet: Generative Adversarial Networks (GAN) Nedir?, <https://medium.com/@cihanongun/generative-adversarial-networks-gan-nedir-5cc6a48a6870>, Son Erişim Tarihi: 12.08.2020.

EKLER

EK-1. Sözlük dizini

Algılayıcı	: Perceptron
Alt örnekleme katmanı	: Pooling layer
Arıtma	: Refining
Atlama miktarı	: Stride
Bağlanım	: Regression
Değişinti	: Variance
Delme	: Boring
Derinlik	: Depth
Dışbükey	: Convex
Eğim kaybolma problemi	: Gradient vanishing problem
En büyük alt örnekleme katmanı	: Maximum pooling layer
Eniyileme	: Optimization
Eritme	: Melting
Evrişim	: Convolutional
Geçici rejim durumları	: Transient
Geri yayılım	: Backpropagation
İklendirme	: Initialization
Kesinti	: Black-out
Kırpışma	: Flicker
Paket boyutu	: Batch size
Seyreltme	: Dropout
Süzme	: Compensation
Tekdüze	: Uniform
Uzamsal alt örnekleme	: Spatial pooling
Yanlılık	: Bias
Yineleme	: Iteration

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SEVEROĞLU KÜÇÜK, Nagihan
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 05.06.1989, Erzurum
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 582 33 19
 e-mail : nagihanseveroglu@gazi.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği	Devam ediyor
Yüksek lisans	Atatürk Üniversitesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği	2014
Lisans	Atatürk Üniversitesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği	2012
Lise	Erzurum Mecidiye Anadolu Lisesi	2007

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014 - Halen	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- Severoğlu, N., and Salor, Ö. (2018, May). *Harmonic analysis in power systems using convolutional neural networks*. In 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) (pp. 1-4). IEEE.
- Severoglu, N., and Salor, O. (2020). Amplitude and phase estimations of power system harmonics using deep learning framework. *IET Generation, Transmission & Distribution*, Kabul tarihi: 10.06.2020.

3. Severoğlu, N., and Salor, Ö. (2020). *Statistical Models of EAF Harmonics Developed for Harmonic Estimation Directly from Waveform Samples Using Deep Learning Framework*. 2020 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Kabul tarihi: 04.06.2020.

Hobiler

Kort tenisi, gönüllü çalışmalar, yürüyüş.



GAZİ GELECEKTİR..