

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

**MİKROŞEBEKELER İÇİN KORUMA RÖLESİ  
KOORDİNASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Muhammet Oğuz KORKMAZ**

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK ELEKTRONİK  
MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet KÜÇÜKER**

**Ağustos 2018**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKROŞEBEKELER İÇİN KORUMA RÖLESİ  
KOORDİNASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammet Oğuz KORKMAZ

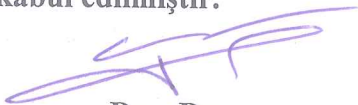
Enstitü Anabilim Dalı

: ELEKTRİK-ELEKTRONİK  
MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı

: ELEKTRİK

Bu tez 13.08.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Doç. Dr.  
Cenk YAVUZ  
Jüri Başkanı



Dr. Öğr. Üyesi  
Ahmet KÜÇÜKER  
Üye



Dr. Öğr. Üyesi  
Barış BORU  
Üye

## BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Muhammet Oğuz KORKMAZ

30.07.2018

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında ilmi ve birikimi ile bana yol gösteren, rehberlik eden, zaman ayıran değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Ahmet KÜÇÜKER'e şükranlarımı sunuyorum.

Sınırsız sevgi ve destekle daima yanımda olan, varlık sebebim canım aileme minnettarım. Anneme, babama ve kardeşlerim İlteriş ile Batuhan'a içtenlikle teşekkür ediyorum.

Her zaman her koşulda yanımda olan, bu yoğun çalışmam sırasında da yardım ve desteklerini benden esirgemeyen kıymetlim Ece Sema TÜRKGÜLÜ'ne teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
TABLolar LİSTESİ .....	ix
ÖZET .....	x
SUMMARY .....	xi

### BÖLÜM 1.

GİRİŞ .....	1
-------------	---

### BÖLÜM 2.

#### KLASİK ŞEBEKELERDE KORUMA VE MİKRO ŞEBEKELERDE

KORUMA PROBLEMLERİ.....	8
2.1. Klasik Şebekelerde Koruma .....	8
2.1.1. Termik koruma .....	8
2.1.2. Manyetik koruma .....	10
2.1.3. Kaçak akım koruması .....	11
2.2. Mikro Şebekelerde Koruma Problemleri .....	13
2.2.1. Yetersiz arıza akımı .....	13
2.2.2. Enerji kalitesi .....	13
2.2.3. Çift yönlü enerji akışı .....	14
2.2.4. Gerilim ve frekans dalgalanmaları .....	14
2.2.5. Yüksek empedans hatası .....	14

### BÖLÜM 3.

YÜRÜYEN DALGA TABANLI KORUMA .....	15
3.1. Yürüyen Dalga Tabanlı Arıza Yeri Tespit Metotları .....	15
3.1.1. A tipi tespit metodu .....	15
3.1.2. B tipi tespit metodu .....	16
3.1.3. C tipi tespit metodu .....	17
3.1.4. D tipi tespit metodu .....	18
3.1.5. E tipi tespit metodu .....	19
3.2. Yürüyen Dalgaların Hızı .....	20
3.3. Yürüyen Dalgaların Tespiti .....	20
3.3.1. Yürüyen dalgaların ölçüm noktalarına ulaşması .....	21
3.3.2. Ölçüm baraları üzerinden gerilim ölçümü .....	21
3.3.3. Ölçüm cihazlarının zaman senkronizasyonu .....	21
3.3.4. Verilerin tutulması .....	21
3.3.5. Verilerin işlenmesi .....	22

### BÖLÜM 4.

BENZETİM ÇALIŞMASI .....	25
4.1. Arıza Sinyali Analizi .....	27
4.2. Arıza Bölgesi Tespiti .....	35
4.3. Arıza Yeri Tespiti .....	36
4.3.1. Arıza zamanının belirlenmesi .....	36
4.3.2. Arıza ile ölçüm noktaları arasındaki mesafe .....	37
4.4. Hata Payı .....	38
4.5. Arızanın İzole Edilmesi .....	39

### BÖLÜM 5.

BENZETİM ÇALIŞMASI SONUÇLARI .....	46
5.1. Farklı Arıza Senaryolarında Koruma Algoritmasının Tepkisi .....	46
5.1.1. Üç faz toprak arızası .....	46
5.1.2. Üç faz arızası .....	48
5.1.3. Faz faz arızası .....	49

5.1.4. Faz toprak arızası .....	50
5.2. İzole Edilen Hat Üzerindeki Elemanlara Göre Koruma Algoritmasının Tepkisi .....	52
5.2.1. Arızanın yükün bulunduğu alanda meydana gelmesi .....	52
5.2.2. Arızanın DEÜK'ün olduğu alanda meydana gelmesi .....	54
5.2.3. Arızanın DEÜK'ün ve yükün olduğu alanda meydana gelmesi..	56
5.2.4. Arızanın sadece iletim hattının bulunduğu alanda meydana gelmesi .....	58
5.3. Her Bölgede Farklı Arıza Mesafelere Göre Koruma Algoritmasının Tepkisi .....	60
5.3.1. Birinci bölge benzetim sonuçları .....	60
5.3.2. İkinci bölge benzetim sonuçları .....	61
5.3.3. Üçüncü bölge benzetim sonuçları .....	61
5.4. Değişken Yük Durumlarına ve Demeraj Akımlarına Koruma Algoritmasının Tepkisi .....	62
BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE ÖNERİLER .....	70
KAYNAKLAR .....	72
ÖZGEÇMİŞ .....	76

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Amper
C	: Kapasitans
db4	: Daubechies 4
DEÜK	: Dağıtık enerji üretim kaynağı
DWT	: Ayrık zamanlı Wavelet dönüşümü
Hz	: Hertz
L	: Endüktans
RMS	: Kareköklerinin ortalaması
V	: Volt



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Minyatür devre kesici termik açma eğrisi [21].....	9
Şekil 2.2. Manyetik devre kesici [21] .....	11
Şekil 2.3. Kaçak akım yokken kaçak akım koruma rölesi [22] .....	12
Şekil 2.4. Kaçak akım varken kaçak akım koruma rölesi [22] .....	12
Şekil 3.1. A tipi tespit metodu [19] .....	16
Şekil 3.2. B tipi tespit metodu [19] .....	17
Şekil 3.3. C tipi tespit metodu [19] .....	18
Şekil 3.4. D tipi arıza tespit metodu [19] .....	19
Şekil 3.5. E tipi tespit metodu [19] .....	20
Şekil 3.6. Farklı frekanslara sahip sinyallerin birbirinden ayrılması [29] .....	22
Şekil 3.7. Dördüncü dereceden asimetrik Wavelet ağacı .....	23
Şekil 3.8. Db4 Wavelet fonksiyonunun şekli [27] .....	23
Şekil 3.9. İletim hattı üzerinde oluşan yürüyen dalga [26] .....	24
Şekil 4.1. Matlab mikro şebeke benzetimi .....	26
Şekil 4.2. Dördüncü dereceden wavelet frekans açılımı .....	32
Şekil 4.3. Ölçüm noktasındaki algoritmalar .....	33
Şekil 4.4. Wavelet analizi algoritması .....	33
Şekil 4.5. Arıza zamanı tespit algoritması .....	34
Şekil 4.6. Bütün ölçüm noktalarından zaman verilerinin geldiğinin analizi .....	35
Şekil 4.7. Bölge tespit algoritması .....	35
Şekil 4.8. Arıza ile ölçüm noktası arasında mesafe ölçüm algoritması .....	36
Şekil 4.9. Arıza durum göstergesi .....	38
Şekil 4.10. Tetiklenme durumuna göre çalışan bölge algoritmaları .....	39
Şekil 4.11. Birinci bölgenin röle koordinasyon algoritması .....	40
Şekil 4.12. İkinci bölgenin röle koordinasyon algoritması .....	41
Şekil 4.13. Üçüncü bölgenin röle koordinasyon algoritması .....	42

Şekil 4.14. Arıza bilgisi için kullanılan NAND yapısı .....	43
Şekil 4.15. Şalterlere trip komutunu AND kapısı üretmektedir .....	44
Şekil 4.16. İzole edilen alanda kalan DEÜK'leri devreden çıkarmak için OR kapısı kullanılmaktadır .....	45
Şekil 5.1. A, B, C fazı ve toprak kısa devre simülsayonunun üç faz gerilim grafığı (koruma algoritması aktif değil) .....	47
Şekil 5.2. A, B, C fazı ve toprak kısa devre benzetiminin üç faz gerilim grafığı (koruma algoritması aktif) .....	47
Şekil 5.3. A, B, C fazı kısa devre benzetiminin üç faz gerilim grafığı (koruma algoritması aktif değil) .....	48
Şekil 5.4. A, B, C fazı kısa devre benzetiminin üç faz gerilim grafığı (koruma algoritması aktif) .....	49
Şekil 5.5. A ve B fazı kısa devre benzetiminin üç faz gerilim grafığı (koruma algoritması aktif değil) .....	49
Şekil 5.6. A ve B fazı kısa devre benzetiminin üç faz gerilim grafığı (koruma algoritması aktif) .....	50
Şekil 5.7. A fazı ve toprak kısa devre benzetiminin üç faz gerilim grafığı (koruma algoritması aktif değil) .....	51
Şekil 5.8. A fazı ve toprak kısa devre benzetiminin üç faz gerilim grafığı (koruma algoritması aktif) .....	51
Şekil 5.9. Sadece yük gurubunun olduğu alanda meydana gelen arıza .....	52
Şekil 5.10. Sadece yük bulunan arızalı alanın üç faz gerilim grafığı .....	53
Şekil 5.11. Sadece yük bulunan arızalı alanın dışında kalan şebekenin üç faz gerilim grafığı .....	53
Şekil 5.12. Sadece DEÜK'ün bulunduğu alanda meydana gelen arıza .....	54
Şekil 5.13. Sadece DEÜK bulunduğu arızalı alanın üç faz gerilim grafığı .....	55
Şekil 5.14. Sadece DEÜK bulunduğu arızalı alanın dışında kalan şebekenin üç faz gerilim grafığı .....	55
Şekil 5.15. DEÜK'ün ve yükün bulunduğu alanda arızanın meydana gelmesi .....	56
Şekil 5.16. DEÜK'ün ve yükün bulunduğu arızalı alanın üç faz gerilim grafığı ..	57
Şekil 5.17. DEÜK'ün ve yükün bulunduğu arızalı alanın dışında kalan şebekenin üç faz gerilim grafığı .....	57

Şekil 5.18. Sadece iletim hattının bulunduğu alanda arızanın meydana gelmesi ..	58
Şekil 5.19. Sadece iletim hattının bulunduğu arızalı alanın üç faz gerilim grafiği...	59
Şekil 5.20. Sadece iletim hattının bulunduğu arızalı alanın dışında kalan şebekenin üç faz gerilim grafiği .....	59
Şekil 5.21. Yükün önündeki şalter açık olduğundan yük ile şebeke arasında bağlantı yok .....	63
Şekil 5.22. Yük ile şebekeyi birbirinden ayıran şalterin kapatılmasıyla, yükün şebekeye bağlanması .....	63
Şekil 5.23. Demeraj akımının şebeke gerilimi üzerine etkisi .....	64
Şekil 5.24. Şebekeden demeraj akımı çekilirken A fazının dördüncü dereceden Wavelet grafiği .....	65
Şekil 5.25. Demeraj akımı çekilirken A fazının dördüncü dereceden Wavelet grafiği .....	65
Şekil 5.26. Arıza sırasında A fazının dördüncü dereceden Wavelet grafiği .....	66
Şekil 5.27. Arıza sırasında A fazının dördüncü dereceden Wavelet grafiği .....	66
Şekil 5.28. Ring şebekeye 50 km uzaklıktaki yükte meydana gelen arıza .....	67
Şekil 5.29. Ring şebekeye 50 km uzaklıktaki yükte meydana gelen arızanın izole edilmesi .....	68
Şekil 5.30. Ring şebekeye 50 km uzaklıktaki yükte meydana gelen arızanın Wavelet grafiği .....	69

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Benzetim parametreleri .....	25
Tablo 4.2. Db4 wavelet katsayıları .....	31
Tablo 4.3. NAND kapısının işlevi .....	43
Tablo 4.4. AND kapısının işlevi .....	44
Tablo 4.5. OR kapısının işlevi .....	45
Tablo 5.1. Birinci bölge farklı arıza durumlarıyla ve farklı arıza mesafeleriyle yapılan testlerin sonuçları .....	60
Tablo 5.2. İkinci bölge farklı arıza durumlarıyla ve farklı arıza mesafeleriyle yapılan testlerin sonuçları .....	61
Tablo 5.3. Üçüncü bölge farklı arıza durumlarıyla ve farklı arıza mesafeleriyle yapılan testlerin sonuçları .....	62

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Mikro şebeke, ring şebeke, röle koordinasyonu, yürüyen dalga, Wavelet dönüşümü

Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talebin artmasıyla birlikte elektrik şebekelerine çok sayıda dağıtık enerji üretim kaynağı (DEÜK) bağlanmaya başlamıştır. DEÜK'lerin kullanımının artması, klasik elektrik şebekelerinde sorunlara neden olduğundan mikro şebekeler tercih edilmektedir. Mikro şebekeler, DEÜK'leri ve yükleri koordine ederek şebekenin daha etkili çalışmasını sağlamaktadır.

Mikro şebekelerde kullanılan DEÜK'lerle, klasik şebekelerde kullanılan üreteçler arasında ciddi farklılıklar bulunmaktadır. DEÜK'ler çoğunlukla invertör tabanlıdır ve şebekede bir arıza meydana gelmesi durumunda genellikle yüksek miktarda arıza akımı üretememektedir. Ayrıca enerji üretme kapasiteleri düşük olduğundan şebekedeki arz talep dengesinde yaşanan değişimlerden daha çok etkilenmektedir. Klasik şebekelerde kullanılan arıza akımına dayalı koruma fonksiyonları mikro şebekelerde etkisiz kalabildiğinden mikro şebekeler için farklı koruma fonksiyonları geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, ring şebeke yapısına sahip mikro şebekelerde yürüyen dalga tabanlı arıza yeri tespit yöntemi geliştirilmiştir. Yürüyen dalga tabanlı arıza yeri tespitinde hattın bir veya iki ucundan alınan ölçümler kullanılmaktadır. Ring şebeke yapılarında kullanılan hatların ise bir başı veya sonu bulunmamaktadır. Yürüyen dalga tabanlı korumanın ring şebekelerde kullanılabilmesi için şebeke üç bölgeye ayrılmıştır. Ayrılan her bölgeye ayrı ayrı D tipi arıza yeri tespit algoritması uygulanmıştır ve bu algoritmaların kendi aralarında uyumlu çalışması sağlanarak ring şebeke yapısına sahip mikro şebekelerde arıza yeri tespiti sağlanmıştır. Arıza yeri tespit edildikten sonra koruma algoritması arızayı izole edecek şekilde ilgili şalterlere açma komutu göndererek arızayı enerjisiz bırakmaktadır.

Geliştirilen koruma fonksiyonu Matlab/Simulink ortamında test edilmiştir. Yapılan testlerde arıza yerinin 46,39 metrelik bir hata payı ile tespit edilebildiği saptanmıştır. Arıza yeri tespit edildikten sonra ilgili şalterlere açma komutu gönderilerek arızanın enerjisiz bırakılması sağlanmıştır.

# PROTECTION RELAY COORDINATION FOR MICROGRIDS

## SUMMARY

Keywords: Microgrid, network, relay coordination, travelling wave, Wavelet transform

With the increase in demand for renewable energy sources, a large number of distributed generators (DG) have been connected to electrical grids. Since the increase in the use of DGs causes problems in traditional electrical grids, microgrids are preferred. Microgrids help the grids work more efficiently by coordinating DGs and loads.

There are critical differences between the DGs that are used in microgrids, and the generators that are used in traditional grids. Generally, DGs are inverter based and unable to produce vast amounts of fault current when a fault occurs in the grid. In addition, due to their relatively low energy generating capacities, they are more affected by the changes that occur regarding the supply and demand balance in the grid. Since current-based protection functions which are used in traditional grids may remain ineffective in microgrids, different protection functions are developed for microgrids.

In this study, a traveling wave-based fault location detection system for looped microgrids was developed. In traveling wave-based fault location detection, measurements that are taken from one or both ends of the line are used. However, there is no beginning or end of the lines in looped grids. To allow the use of traveling wave-based protection in loop distribution systems, the system is separated into three zones. To each three separate zone a type D fault locator method was applied, and by ensuring that these algorithms worked in accordance, fault location detection was carried out in a looped microgrid. After the detection of fault location, the protection algorithm isolates the fault and sends a “power on” command to related switches and thus leaves the fault without energy.

The developed protection function is tested in Matlab/Simulink setting. In the performed tests it was determined that the fault location could be detected with an error rate of 46.39 meters. After the fault location was detected, a “power on” command was sent to the related switches to ensure that the fault was left without energy.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Yenilenebilir enerji üreticilerinin verimliliklerinin artması ve maliyetlerinin düşmesiyle birlikte yenilenebilir enerji kaynakları olan talep artmaktadır. Özellikle fiyat avantajının getirdiği ulaşılabilirlik sayesinde tüketiciler tarafından da tercih edilmektedir. Tüketiciler, kendilerine mesafe olarak yakın (örneğin evinin çatısı, bahçesi vb.) ve düşük enerji üretme kapasitesine sahip çok sayıda enerji kaynağını şebekeye bağlamaya başlamışlardır [1,2].

Bu kaynaklar, şebekeye farklı noktalardan bağlanabildikleri için dağıtık enerji üretim kaynağı (DEÜK) olarak adlandırılmaktadır [3]. DEÜK'lerin koordine edilmesi ve şebekenin ideal çalışma aralığında tutulması, tek yönlü olan klasik şebeke yapısında oldukça zordur [4]. Bu durumu yönetebilmek için yeni akıllı şebeke yaklaşımları gerekmektedir.

Mikro şebekeler, DEÜK'lerin şebeke için oluşturduğu dezavantajları avantaja çevirmeyi amaçlayan akıllı şebekelerdir. DEÜK'lerle tüketicileri koordine ederek kendi içinde ikinci bir şebeke oluşturmaktadır. DEÜK'lerin ürettiği enerji ile tüketicilerin enerji ihtiyacı karşılanmaktadır. Bu sayede ana şebekede meydana gelebilecek olası bir elektrik kesintisinde ada moduna geçerek tüketicilerin elektriksiz kalmasının önüne geçmektedir [5].

Mikro şebeke üzerindeki DEÜK'lerde, tüketicilerin enerji talebinden daha yüksek miktarda enerji üretilirse fazladan enerji ana şebekeye gönderilerek değerlendirilmektedir. Tüketiciler, üretilen enerjiden daha fazla enerji talebinde bulunmaları halinde ise mikro şebeke ihtiyaç duyulan enerjiyi ana şebekeden çekerek karşılamaktadır. Fakat mikro şebeke ile ana şebeke arasında bağlantı olmaması

durumunda (ada modunda çalışma) mikro şebeke, enerji açığı kadar yükü devre dışı bırakarak şebekenin çökmesini engellemektedir.

Mikro şebekeler, klasik şebekelere göre daha verimli çalışmaktadır. Klasik şebekelerde yaşanan kayıpların büyük bir kısmı enerjinin iletimi ve dağıtım sırasında yaşanmaktadır [6]. Mikro şebekeler, DEÜK'ler ile tüketicilerin arasındaki mesafeyi minimum seviyede tutarak iletim ve dağıtım kayıplarını ciddi oranda azaltmaktadır. Ayrıca klasik şebekelerde üretilen enerjinin, iletim hattına gönderilmeden önce geriliminin yükseltilmesi, tüketiciye dağıtılmadan önce de geriliminin düşürülmesi gerekmektedir. Mikro şebekelerde genellikle alçak gerilim kullanılması bu trafo kayıplarının önüne geçmektedir.

Mikro şebekelerde kullanılan DEÜK'lerin büyük bir kısmı invertör tabanlıdır. İnvörtörler, şebeke üzerinde bir arıza oluşması durumunda genellikle yüksek miktarda arıza akımı üretememektedir. Bu nedenle arıza akımına göre koruma yapan rölelerin arızayı tespit edip şebekeyi arızadan izole etmesi zorlaşmaktadır [7].

Mikro şebekelerde bir arızanın meydana gelmesi durumunda arızanın olduğu noktadan başlayarak bütün şebekeye yayılan yürüyen dalgalar meydana gelmektedir. Yürüyen dalgalar, arıza nedeniyle oluşabileceği gibi şebekedeki üreteçlerin ve yüklerin şebekeye bağlanıp şebekeden ayrılması sırasında da oluşabildiğinden yürüyen dalga tabanlı koruma yapan rölelerde yanlış açmaya neden olabilmektedir. Bu durumun engellenebilmesi için yapılan bir çalışmada şebekede bir arızanın olup olmadığının anlaşılabilmesi için bara gerilimleri kullanılmıştır. Şebekede arızanın olduğu tespit edildikten sonra yürüyen dalgalar kullanılarak arızanın yeri tespit edilmiştir [5].

Kanada'da Memorial Üniversitesinde yapılan bir çalışmada laboratuvar ortamında kurulan mikro şebekede Wavelet tabanlı koruma test edilmiştir. Arıza tespitinde db4 dalgacığı kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda db4 dalgacığının hatayı doğru ve güvenilir bir şekilde tespit edebildiği görülmüştür [1].



Mikro şebekelerde dijital koruma üzerine yapılan bir çalışmada çoklu dijital rölelerin kendi aralarında haberleşme yaparak şebekede koruma yapması amaçlanmıştır. Röleler, üzerlerinden akan akımları ölçüp şebekedeki geçici durumları yakalamaya çalışmaktadır. Geçici durumlar, yüksek frekanslı, hızlıca ortadan kaybolan, periyodik olmayan ve üst üste binen sinyallerdir. Bu nedenle bu tür sinyallerin tespit edilebilmesi için Wavelet fonksiyonlarından faydalanılmıştır. Birinci dereceden Wavelet fonksiyonları kullanılarak şebekede arızanın olup olmadığı analiz edilmektedir. İkinci dereceden Wavelet fonksiyonları ise şebekede meydana gelen arızaların yer tespiti için kullanılmaktadır [4].

Şebekelerde en çok kullanılan ölçme yöntemlerinden birisi de Fourier algoritmasıdır. Fourier algoritması, zaman domeninde ölçülen sinyalleri, frekans domenine dönüştürerek sinyal analizinin yapılabilmesini sağlamaktadır. Tam dalga Fourier algoritması sayesinde ölçümlerdeki DC bileşenler ve harmonikler analiz edilebilmektedir fakat tam dalga Fourier algoritmaları arıza yeri tespiti için yetersizdir. Ayrıca değişken frekanslı sinyallerin ve non-integer harmoniklerin tespit edilmesi, Fourier algoritmalarıyla mümkün değildir. Bu sorunların çözülebilmesi için yapılan bir çalışmada Wavelet tabanlı koruma algoritması önerilmiştir. Chaari Wavelet algoritması kullanılarak geliştirilen bir algoritma sayesinde ölçülen sinyallerin genlik ve faz bilgileri analiz edilmiştir. Bu bilgilerden faydalanılarak, invertör tabanlı şebekelerde koruma algoritması geliştirilmesi amaçlanmıştır [8].

Diferansiyel enerji tabanlı mikro şebeke koruması üzerine yapılan bir çalışmada baralardan toplanan akım verilerine S dönüşümü uygulanmıştır. Bu sayede, toplanan verilerde zaman frekans dönüşümü yapılmıştır. Diferansiyel enerjinin ölçüldüğü sistemde, arıza meydana geldiği zaman sinyalin enerjisindeki artıştan faydalanılmıştır. Bu alanın hangi zamana denk geldiğini ölçebilmek için Gaussian pencereleme metodu kullanılmıştır [9].

Şebekelerde meydana gelen arızaların oluşturduğu yürüyen dalgaların boyutları, arızanın meydana geldiği noktadaki koşullara bağlı olarak değişmektedir. Arızanın olduğu sırada arızaya maruz kalan fazın o anki faz açısı, arıza direnci, arızanın ölçüm

noktasına olan uzaklığı gibi etkenler arızanın oluşturduğu yürüyen dalganın boyutlarını değiştirmektedir. Bu nedenle arıza tespiti için yürüyen dalganın polarite bilgisinin kullanıldığı bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistemde şebekeden tek nokta üzerinden ölçüm alınmaktadır. Alınan ölçümler matematiksel morfoloji ile incelenerek yürüyen dalganın polarite ve zaman bilgisi elde edilmektedir. Bu yöntem pek çok şebeke modeline, farklı arıza ve yük durumlarına uyum sağlayabilmektedir. Üstelik koruma algoritması çok hızlı tepki vermektedir ve iletişim sırasında çok düşük bant genişliği kullanmaktadır [10].

Mikro şebekelerde hata analizinin ve adaptif mesafe korumasının amaçlandığı bir çalışmada Kompleks Wavelet dönüşümleri kullanılarak arıza analizi yapılmaktadır. Röle koordinasyonunun adaptif olarak yapılabilmesi içinse karınca kolonisi algoritmasından faydalanılmıştır [11].

Karar ağacı algoritmasının kullanıldığı bir yöntemde ise önce Wavelet dönüşümleri kullanarak arızanın enerji, entropi ve standart sapma değerleri tespit edilmiştir. Daha sonra elde edilen veriler karar ağacı algoritmasında işlenerek röle koordinasyonu sağlanmıştır [12].

Ayrık zamanlı Wavelet transfer fonksiyonu kullanılarak yapılan bir çalışmada, mikro şebekelerde geçici arıza analizinin yapılması amaçlanmıştır. Mikro şebekeden ölçülen akım ve gerilim değerleri kübik şerit enterpolasyon yöntemi ile işlenerek geçici arıza durum sinyalinin genliği arttırılmıştır. Daha sonra bu sinyaller Karrenbauer ve dördüncü seviye db10 Wavelet dönüşümüne girmiştir. Burada, yüksek frekanslı sinyallerin enerjileri ve Maxima ekstraksiyonu elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler sayesinde arıza karakteristikleri tespit edilebilmiştir [13].

Hat üzerinde meydana gelen bir arızanın yeri, empedans tabanlı arıza yeri tespit algoritması kullanılarak bulunabilir. Hat üzerindeki kaynak gerilimleri, arıza gerilimleri, kaynak akımları, arıza akımları, arıza direnci ve hat empedans değeri kullanılarak empedans tabanlı arıza yeri tespiti yapılmaktadır [24]. Hattın uzunluğu arttıkça empedans metodundan elde edilen sonuçların doğruluk oranı düşmektedir.

Uzun hatlarda da empedans tabanlı arıza yeri tespit metodunun doğru sonuçlar verebilmesi için yapılan bir çalışmada kısa-orta büyüklükteki hatlar için farklı, uzun hatlar için farklı algoritmaların kullanılması önerilmiştir [25].

Yürüyen dalga tabanlı arıza yeri tespit algoritmaları, empedans tabanlı arıza yeri tespit algoritmalarına göre daha etkin çalışmaktadır. Empedans tabanlı algoritmalar, hata direncinden ve yük akışından etkilenmektedir. Ayrıca hassasiyetleri yürüyen dalga tabanlı algoritmalara göre daha düşüktür [28].

Empedans tabanlı arıza yeri tespit algoritmasıyla yürüyen dalga tabanlı arıza yeri tespit algoritmasının karşılaştırıldığı bir çalışmada yürüyen dalga tabanlı algoritmanın hata payının, empedans tabanlı algoritmaya göre daha düşük olduğu görülmektedir. Yürüyen dalga tabanlı algoritmanın hata payı %0,5'in altındayken empedans tabanlı arıza yeri tespit algoritmasının hata payı yaklaşık %2 civarındadır [23].

Ada modunda çalışan bir mikro şebeke için kapsamlı bir koruma stratejisi önerilen bir çalışmada mikro işlemci tabanlı akıllı röleler kullanılmıştır. Şebekedeki yüklerin ve dağıtılmış üreteçlerin gereksiz yere şebekeden ayrılmasını önlemek amaçlanmıştır. Koruma şeması beş parçadan oluşmaktadır. Bunlardan ilki geçici enerji hesaplayıcısı ve işaret hesaplayıcısı kullanarak arıza yönünü tespit etmektedir. İkincisi, ileri ve geri yönlü transfer fonksiyonları kullanarak aşırı akım koruması yapmaktadır. Üçüncüsü, sürekli Wavelet transfer fonksiyonu kullanıp çıkan sonuçları işaret hesaplayıcısına göndererek yüksek empedans hatasını tespit etmektedir. Dördüncüsü, faz açısını ve frekansı hesaplayarak senkronizasyonu kontrol etmektedir. Son eleman ise sistemdeki röleleri denetleyerek rölelerde herhangi bir arızanın olup olmadığını denetlemektedir [7].

Mikro şebeke koruması üzerine yapılan bir araştırmada geçici polarite kıyaslama metodu kullanılmıştır. Şebekede arızanın olup olmadığına karar verebilmek için şebekeden alınan ölçümlere Mallat algoritması uygulanarak tek boyutlu ayrık zaman Wavelet transfer dönüşümleri yapılır ve yüksek frekanslı geçici hata bilgisi elde edilir.

Elde edilen bu verilerdeki polarite bilgileri birbirleriyle kıyaslanarak hatanın yeri tespit edilmektedir [2].

Dairesel şebeke yapısına sahip mikro şebekelerde arızanın yerini tespit edebilmek için hibrit bir algoritma üzerine yapılan bir çalışmada şebeke analizinin yapılabilmesi için DEÜK'lerin gerilimlerinden faydalanılmıştır. DEÜK'lerden alınan gerilim ölçümleri Wavelet transfer fonksiyonuyla ve optimize edilmiş çoklu destek vektör makinesiyle işlenerek arızanın olup olmadığı tespit edilmektedir. Arıza tespit edildikten sonra en düşük voltaj düşümüne sahip olan DEÜK üzerinden şebekeye 333 Hz bir harmonik sinyal gönderilmektedir. Bu sinyalin diğer DEÜK'lere ulaşmasıyla birlikte DEÜK'lerden yeniden voltaj ölçümleri yapılmaktadır. Alınan bu ölçümler yeniden çoklu destek vektör makinesiyle işlenmekte ve elde edilen veriler bir mantık algoritmasında değerlendirilerek arızanın yeri tespit edilmektedir [14].

Çoklu destek vektör makinesinin ve Wavelet dönüşümünün kullanıldığı başka bir çalışmada mikro şebekedeki arızaların tespit edilip sınıflandırılması amaçlanmıştır. Mikro şebeke hem ana şebekeye bağlıyken hem de ada modunda çalışırken yapılan testlerde, geliştirilen algoritmanın mikro şebekeyi koruduğu gözlenmiştir [30].

Wavelet fonksiyonlarından en uygun olanı seçilerek, mikro şebekelerde hata sınıflandırmasının yapılabilmesi için yeni bir yaklaşım denenmiştir. Şebekeden alınan akım ve gerilim değerlerine ayrık Wavelet fonksiyonu uygulanırken akım ve gerilim dalga formlarının içinde bazı belirgin özellikler gizli kalmaktadır. Bu belirgin özellikleri ayıklamak için Parçacık Sürü Optimizasyonu kullanılmaktadır. Bu metod sayesinde şebekeden alınan ölçümlere, hangi ayrık Wavelet transfer dönüşümü uygulanırsa en çok belirgin özelliğe ulaşılacağına karar verilmektedir. Dört farklı teknik ayrı ayrı denenerek performansları istatistiksel olarak kıyaslanmaktadır. Bu teknikler; destek vektör makinesi, Naïve Bayes, K- en yakın komşu ve karar ağacı yöntemidir [15].

Mikro şebekelerde yüksek empedans tespiti yapabilmek için yapılan bir çalışmada Azami Çakışık Ayrık Wavelet Dönüşümü ve Karar Ağacı yöntemi kullanılmıştır. Aşırı

akım röleleri doğrusal olmayan, rastgele, geniş çapta değişken ve küçük arıza akımlarını tespit edememektedir. Bu yüzden yüksek empedans hatasını, hata olmayan durumlardan ayırabilmek için zaman frekans bilgisi gerekmektedir. Yapılan çalışmalarda ilk önce ölçülen hata akımının içindeki detayları ve yaklaşıklık katsayısını hesaplamak için Azami Çakışık Ayrık Wavelet Dönüşümü kullanılmaktadır. Hesaplanan detaylar ve yaklaşıklık katsayıları bazı istatistiksel özellikleri tahmin etmek için kullanılmaktadır. Bu özellikler kullanılarak karar ağacı geliştirilir ve bu sayede yüksek empedans hatasının doğru bir şekilde sınıflandırılması sağlanmaktadır. Önerilen şema, farklı operasyon şartlarında test edilerek yüksek empedans hatasına karşı etkili bir koruma sağlayarak mikro şebekeyi güvende tuttuğu görülmüştür [16].

Mikro şebekelerle ilgili yapılan çalışmalarda genellikle, mikro şebeke üzerinde birçok noktadan alınan ölçümler kullanılarak arıza tespiti yapılmaktadır. Akıllı koruma sistemlerinde kullanılan mikro işlemci tabanlı koruma elemanlarının fiyatı klasik şebekelerde kullanılan koruma elemanlarına kıyasla daha pahalı olduğundan şebeke üzerindeki ölçüm noktalarının sayısındaki artışla birlikte maliyetler de yükselmektedir.

Bu çalışmada, 3 adet ölçüm noktası kullanarak hem arıza tespiti hem de arıza yeri tespiti yapılabilmektedir. Ayrıca, ölçüm noktalarının sayısı az tutularak maliyetlerin düşürülmesi hedeflenmiştir.

Yürüyen dalga tabanlı arıza yeri tespiti, genellikle iletim hatlarında kullanılmaktadır. Dağıtım şebekeleri için de yürüyen dalga tabanlı arıza yeri tespit yöntemleri geliştirilmiştir fakat bu yöntemler radyal şebekeler için geçerlidir. Bu çalışmada önerilen yöntemle birlikte, ring şebeke yapısına sahip şebekelerde de yürüyen dalga tabanlı korumanın yapılması sağlanmıştır.

## **BÖLÜM 2. KLASİK ŞEBEKELERDE KORUMA VE MİKRO ŞEBEKELERDE KORUMA PROBLEMLERİ**

Elektrik şebekelerinde meydana gelen arızalar can ve mal güvenliği için büyük tehdit oluşturmaktadır. Arıza sırasında oluşan aşırı akımlar, şebeke üzerindeki yükleri termik ve dinamik olarak zorlamaktadır. Bu arızaların hızlı tespit edilebilmesi, arıza yerinin doğru bir şekilde saptanması ve olabildiğince küçük bir alanda izole edilerek şebekenin geri kalanından ayrılması önemlidir.

### **2.1. Klasik Şebekelerde Koruma**

Klasik şebekelerde arıza tespiti, şebeke üzerinden akan akımlar kullanılarak yapılmaktadır. Şebeke üzerinden uzun süre yüksek akım çekilmesi durumunda termik koruma, şebekede kısa devre olması durumunda manyetik koruma ve şebekede kaçak akım olması durumunda kaçak akım koruması devreye girmektedir.

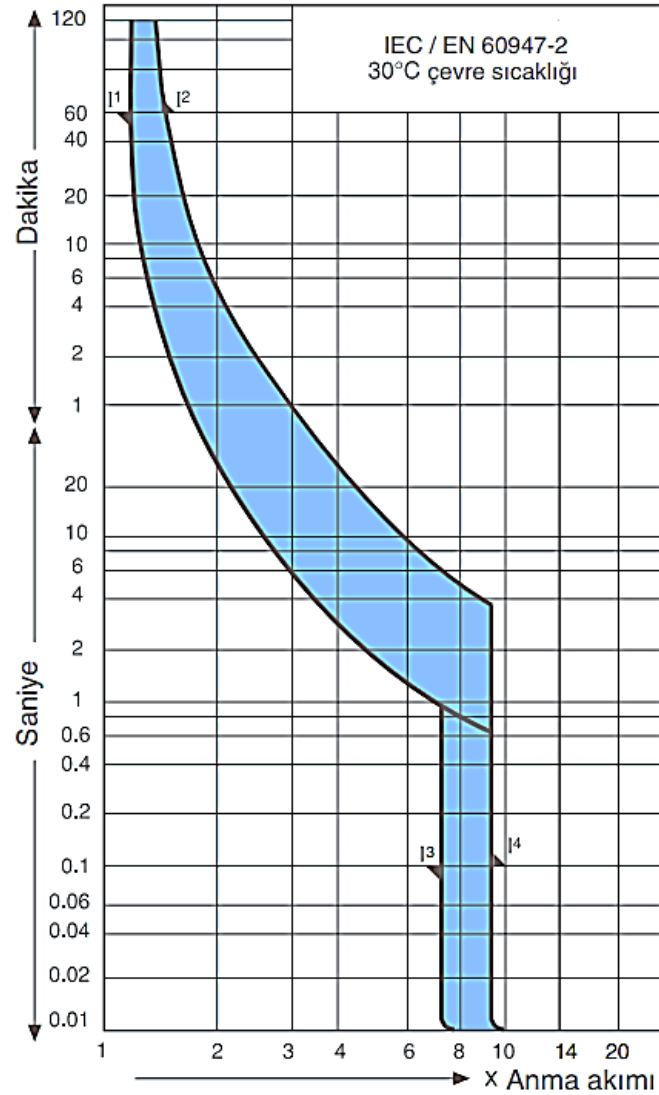
Günümüzde yaygınlaşmaya başlayan elektronik devre kesicileri, termik ve manyetik koruma fonksiyonlarını mikrokontrolcüler sayesinde gerçekleştirmektedir. Mekanik ekipmanlar yerine mikrokontrolcü kullanılması, şebeke üzerinde daha hassas arıza tespitinin yapılmasını sağlarken arıza bilgilerinin de tutulabilmesini sağlamıştır.

#### **2.1.1. Termik koruma**

Tüketicinin hattın nominal değerinde akım çekmesi hat sıcaklığının artmasına neden olmaktadır. Bu durum kısa süreler için kabul edilebilirdir. Örneğin bir motorun devreye girmesi sırasında demeraj akımını çekmesi veya hat üzerindeki bir elektrikli cihazın yük altında kısa süreli yüksek akım çekmesi koruma elemanının açma yapmasının istenmediği durumlardır. Bu durumlar, kısa süreli olduğu için hat üzerinde

herhangi bir arızaya neden olmasa da uzun süre hattan nominal akımın üzerinde akım çekilmesi hattın sıcaklığının fazla yükselmesine neden olacağından tehlike arz etmektedir. Termik koruma, hattın aşırı ısınmasını engelleyerek arızaların önüne geçmektedir. Termik koruma için kullanılan elemanlar, termik devre kesiciler ve eriyen telli sigortalardır.

Termik devre kesiciler, hattın nominal akımını referans alarak çalışmaktadır. Hat üzerinden geçen akım ile nominal akımın oranına göre devreyi açma süreleri değişmektedir. Termik bir devre kesicinin açma karakteristiği aşağıda verilmiştir (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Minyatür devre kesici termik açma eğrisi [21]

Termik devre kesicilerin içinde, üzerinden geçen akımla birlikte ısınan bimetal şerit, sabit kontak, hareketli kontak, kesme mekanizması ve perde bulunmaktadır. Bimetal şerit, genleşme katsayıları farklı iki metalin birleşmesinden oluşmaktadır. Perde ise bimetal şeritle kesme mekanizması arasındaki mesafeyi ayarlayan elemandır. Hattan, nominal akım değerinin üzerinde bir akım geçirildiğinde bimetal şerit ısınmaya başlamaktadır. Bimetal şeritin sıcaklığı arttıkça üzerindeki metaller farklı oranlarda genişmekte ve bimetal bükülmektedir. Bimetalin bükülmesiyle birlikte perdeyle arasındaki mesafe kapanmaktadır ve bimetal şerit perdeye dokunduğunda, kesici mekanizmasını harekete geçirerek hareketli kontak ile sabit kontağı birbirinden ayırıp enerji akışını kesmektedir.

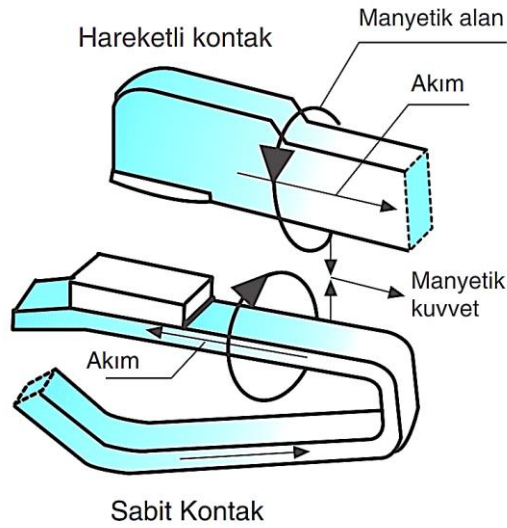
Eriyen telli sigortaların içindeyse belirli noktalarından zayıflatılmış bakır levha bulunmaktadır. Bakır levha üzerinden geçen akım, levhanın sıcaklığını arttırmaktadır. Levha sıcaklığının belirli bir değerin üzerine çıkması, levha üzerindeki zayıflatılmış noktaların kopmasına neden olarak sigorta üzerindeki enerji akışını kesmektedir.

### **2.1.2. Manyetik koruma**

Elektrik şebekelerinde kısa devre arızası meydana gelmesi durumunda arızalı noktadan, nominal akımın çok üzerinde arıza akımı aktığından arızalı bölgenin hiç zaman kaybedilmeden şebekeden izole edilmesi gerekmektedir. Bu tür arızalara hızlı tepki verebilmek için genellikle manyetik koruma cihazları kullanılmaktadır. Manyetik koruma cihazları, kısa devre arızası sırasında oluşan yüksek arıza akımını kullanarak çalışmaktadır. Termik koruma elemanları, sıcaklık artışını kullanarak koruma yaptıklarından arıza temizleme süresi uzamaktadır.

Manyetik koruma elemanları, sabit ve hareketli kontakları üzerinde oluşan manyetik alanı kullanarak devreyi hızlıca kesebilmektedir. Şebekede bir arıza sonucunda oluşan şiddetli akım, sabit ve hareketli kontaklar üzerinde şiddetli manyetik alan meydana getirmektedir (Şekil 2.2.). Bu manyetik alan, mekanik bir açtırma düzeneğini tetikleyerek kontakları birbirinden ayırmaktadır ve kontaklar üzerindeki enerji akışını kesmektedir.





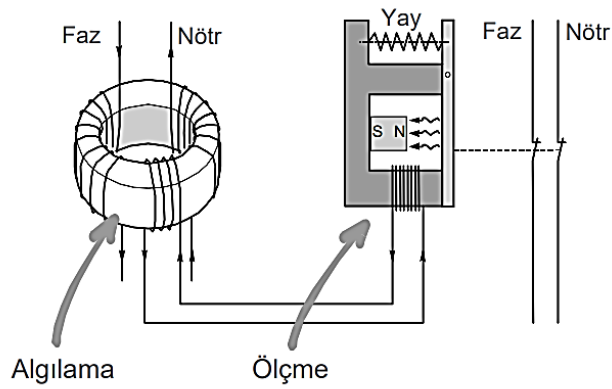
Şekil 2.2. Manyetik devre kesici [21]

Manyetik devre kesicilerinde, sabit kontağın U şeklinde olması kesiciye limitör özelliği kazandırmaktadır. Arıza akımı, sabit kontak üzerinde ters çevrilerek zıt manyetik kuvvet oluşturmaktadır. Bu sayede arıza akımını %90'a kadar sınırlandırılarak arıza akımının termik ve dinamik etkileri azaltılmıştır.

### 2.1.3. Kaçak akım koruması

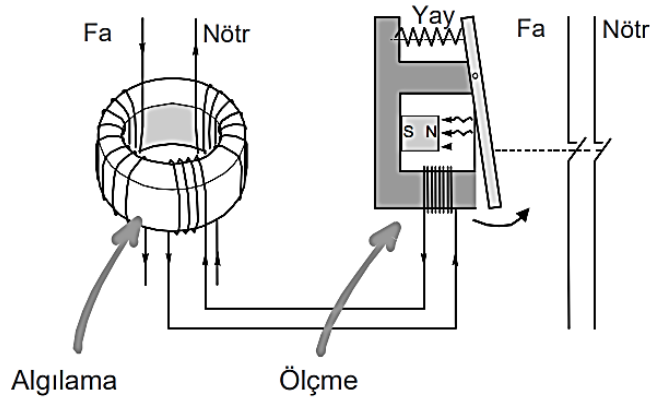
Kirchoff akım kanununa göre bir devreye giren akım miktarı ile devreden çıkan akım miktarı birbirine eşit olmalıdır. Eğer devreye giren ve devreden çıkan akım miktarları birbirine eşit değilse bu durumda devrede kaçak akımın var olduğu sonucu çıkarılmaktadır.

Devreye giren ve devreden çıkan akım miktarlarını ölçebilmek için bir toroidde birbirine ters olacak şekilde sarılmış faz ve nötr sargılarından faydalanılmaktadır. Fazdan giren elektrik akımı devreyi tamamlayarak nötr üzerinden şebekeye geri dönmektedir. Faz ve nötr sargılarından akan akım birbirine eşit ise toroid üzerinde oluşturdukları manyetik akı da birbirine eşit olmaktadır ve birbirini elimine etmektedir (Şekil 2.3.). Toroid üzerindeki toplam manyetik akı sıfır olduğundan ölçüm sargısı üzerinde herhangi bir akım oluşmamaktadır ve devre elektrik iletimine devam etmektedir.



Şekil 2.3. Kaçak akım yokken kaçak akım koruma rölesi [22]

Sargılardan akan akımların birbirinden farklı olması durumunda toroid üzerindeki birbirini götüren akının dengesi bozulmaktadır ve toroid üzerindeki akı, algılama sargısında bir akımın oluşmasına neden olmaktadır. Bu akım, şalterin kumanda devresine iletilerek devrenin açılmasını sağlamaktadır (Şekil 2.4.).



Şekil 2.4. Kaçak akım varken kaçak akım koruma rölesi [22]

Kaçak akım rölelerinde belirli bir akım değerine kadar kaçak akımın akmasına izin verilir. Evlerde kullanılan hayat koruma rölelerinde bu değer 30mA iken yangından koruma rölelerinde bu değer genellikle 300mA seviyesindedir. Belirli bir değere kadar kaçak akım rölesinin tepki vermemesinin nedeni, hiçbir maddenin direncinin sonsuz olmamasıdır. Gerilimle temas eden bütün yüzeyler üzerinden, çok küçük de olsa bir kaçak akım toprağa akmaktadır.

## 2.2. Mikro Şebekelerde Koruma Problemleri

Mikro şebekeler, yapısında enerji üretimini, iletimini ve dağıtımını barındıran düşük kapasiteye sahip kompakt şebekelerdir. Bütün enerji sürecini bünyesinde barındırdığı için normal şebekeye göre daha kompleks koruma fonksiyonlarına ihtiyaç duymaktadır.

### 2.2.1. Yetersiz arıza akımı

Ana şebekeye bağlı çalışan mikro şebekelerde kısa devre arızası olması durumunda ana şebekeden ve DEÜK'lerden yüksek miktarda arıza akımı sağlanmaktadır. Şiddetli arıza akımı, manyetik korumayı devreye sokarak arızayı izole edecektir fakat ada modunda çalışan mikro şebekelerde DEÜK'ler genellikle yüksek miktarda arıza akımı üretememektedir. Özellikle de invertörler anlık olarak yüksek akım talebine cevap veremediklerinden manyetik korumanın devreye girebilmesi için gerekli olan yüksek miktardaki arıza akımı oluşmayabilir. Bu durumda manyetik koruma devreye girmemektedir [14].

### 2.2.2. Enerji kalitesi

DEÜK'ler, mikro şebekeye bağlanırken güç elektroniği devrelerine ihtiyaç duymaktadır. Solar paneller, yakıt pilleri, doğru akımla çalışan rüzgâr türbinleri gibi DEÜK'lerin ürettiği doğru akım, şebekeye gönderilmeden önce invertörler kullanılarak alternatif akıma dönüştürülmektedir. Hidroelektrik santraller, içten yanmalı jeneratörler, gaz türbinleri gibi alternatif güç üreten DEÜK'lerde ise frekans sabit olmadığı için şebekeye bağlanırken bir dönüştürücüye ihtiyaç duymaktadır. Bu dönüşümlerde çok sayıda güç elektroniği devresi kullanılmaktadır [3]. Bu devreler, şebekelerde yüksek miktarda harmoniğe neden olmaktadır. Özellikle de invertörlerin ürettiği tam katsayıya sahip olmayan (non-integer) harmoniklerin tespit edilmesi oldukça zordur [8].

Harmonikler, RMS akımının artmasına neden olduğu için iletkenler üzerinde ısıtıcı etkisi vardır. Bu akımlardan dolayı motor, trafo ve benzeri aksamalar aşırı ısınmakta hatta arızalanmaktadır. RMS akımı, elektronik kartların ve ölçüm yapan cihazların yanlış çalışmasına neden olduğu için mikro şebekelerde koruma yapmayı zorlaştırmaktadır.

### **2.2.3. Çift yönlü enerji akışı**

Klasik şebekelerde güç akışı, enerji üretim santrallerinden yük gurubuna doğru tek yönlü olarak gerçekleşmektedir. Mikro şebekelerde ise yük gurubunun içinde de enerji üreteçleri vardır. Bu nedenle enerji akışı çift yönlüdür. Enerji akışının çift yönlü olması, arıza tespiti için ölçüm yapan koruma cihazlarını yanılabilmektedir ve yanlış açmalara veya gerektiğinde açma yapılamamasına yol açmaktadır [7].

### **2.2.4. Gerilim ve frekans dalgalanmaları**

Mikro şebekelerde kullanılan DEÜK'lerin gücü, klasik şebekelere kullanılan büyük senkron üreteçlere göre çok daha azdır. Bu nedenle mikro şebekeler üzerinde meydana gelen büyük yük değişiklikleri, şebeke geriliminde ve frekansında büyük dalgalanmalara neden olabilmektedir [8].

### **2.2.5. Yüksek empedans hatası**

Endüstriyel alanlarda kullanılan mikro şebekelerde, genellikle uzun hatların kullanılıyor olması yüksek empedans hatasına neden olabilmektedir. Hattın uzunluğunun artması, hattın empedansını da arttırdığından yürüyen dalgaların şiddetini azaltmaktadır. Bu durum, arızanın tespitini zorlaştırmakta ve hata sinyalinin ölçüm noktasına geç ulaşmasına neden olmaktadır. Arıza sinyalinin ölçüm noktalarına ulaşma süresiyle arızanın izole edilme süresi doğru orantılıdır [7].

## **BÖLÜM 3. YÜRÜYEN DALGA TABANLI KORUMA**

Yürüyen dalga tabanlı koruma yöntemi ilk olarak 1950'li yıllarda enerji nakil hatlarında meydana gelen arızaların yerinin tespit edilebilmesi için geliştirilmiştir. Sonraki yıllarda iletişim ekipmanlarının kullanılmasıyla birlikte yürüyen dalga verileri uzak terminallere iletilebilmiştir ve merkezi tabanlı korumaya geçilmiştir.

Yürüyen dalga tabanlı koruma yapılırken sayısal koruma röleleri kullanılmaktadır. Sayısal koruma röleleri, genellikle yerel terminalden aldıkları akım, gerilim ve hat empedansı değerlerini kullanmaktadır. Aldıkları bu verileri arıza yeri tespit algoritmalarını kullanarak arızanın yerini tahmin etmektedir. Uzak terminalden aldıkları verilerle arıza yeri tespiti yapan sayısal koruma röleleri de mevcut olduğu gibi yerel ve uzak terminallerden alınan verileri birlikte kullanarak koruma yapan sayısal koruma röleleri de mevcuttur [17].

### **3.1. Yürüyen Dalga Tabanlı Arıza Yeri Tespit Metotları**

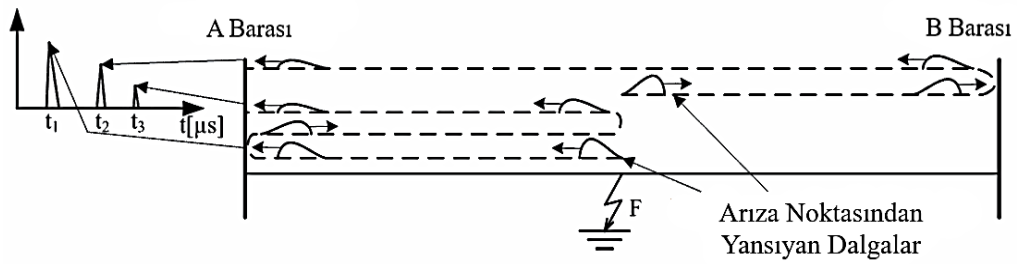
Yürüyen dalgalardan faydalanarak arıza yeri tespiti yapan 5 farklı metot vardır. Bu metotlar A, B, C, D ve E metotları olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde A, D ve E metotları kullanılmaktadır [18,19].

#### **3.1.1. A tipi tespit metodu**

A tipi arıza yeri tespit metodunda hattın sadece bir ucundan ölçüm alınmaktadır (Şekil 3.1.). Hat üzerinde bir arıza meydana geldiği zaman, arıza yeri tespit cihazına önce arızanın meydana getirdiği yürüyen dalga daha sonra arıza noktasından yansıyan yürüyen dalga ulaşmaktadır. Bu iki dalga arasındaki süre farkı kullanılarak arıza yeri tespiti yapılmaktadır. Arıza yeri, Denklem 3.1 kullanılarak hesaplanmaktadır.

x; Arızanın ölçüm noktasına olan mesafesi  
 t1; A barasına ilk ulaşan yürüyen dalganın  
 t2; Arıza noktasından yansıyan dalganın ölçüm noktasına ulaşma süresi  
 v; Yürüyen dalganın hızı  
 olmak üzere,

$$x = \frac{t_2 - t_1}{2} \times v \quad (3.1)$$



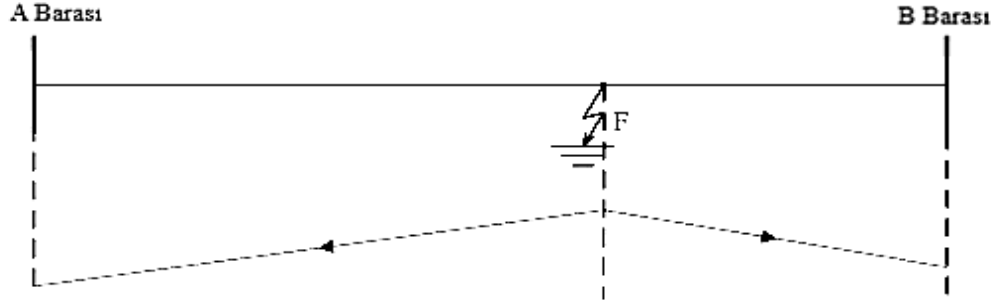
Şekil 3.1. A tipi tespit metodu [19]

### 3.1.2. B tipi tespit metodu

B tipi, arıza yeri tespit metodunda, hattın iki ucundaki ölçüm cihazlarının birbiriyle haberleşmesiyle arıza yeri tespiti yapılmaktadır (Şekil 3.2.). Arıza sonucu oluşan yürüyen dalga hattın sonundaki ölçüm cihazında tespit edildiği andan itibaren ölçüm cihazı üzerindeki sayaç çalıştırılmaktadır. Yürüyen dalga diğer ölçüm cihazına ulaştığında ise cihaz bir sinyal göndererek sinyalin kendisine ulaştığını üzerinde sayaç bulunan ölçüm cihazına bildirmektedir. Gönderilen sinyal üzerinde sayaç olan ölçüm cihazına ulaştığı zaman sayaç durdurulmaktadır. Sayaçların ölçtüğü süreler Denklem 3.2'de kullanılarak arıza yeri tespiti yapılmaktadır.

x; Hat üzerinde arızanın yeri  
 t; Ölçüm cihazı üzerindeki sayacın değeri  
 v; Yürüyen dalganın hızı  
 olmak üzere,

$$x = \frac{t x v}{2} \quad (3.2)$$



Şekil 3.2. B tipi tespit metodu [19]

### 3.1.3. C tipi tespit metodu

C tipi, arıza tespit metodunda, hat üzerinde arıza tespit edildiğinde arızanın olduğu yöne doğru bir sinyal gönderilmektedir (Şekil 3.3.). Bu sinyalin arıza üzerinden geri yansıma süresi Denklem 3.3’de kullanılarak arıza yeri hesaplanmaktadır.

$x$ ; Hat üzerinde arızanın yeri

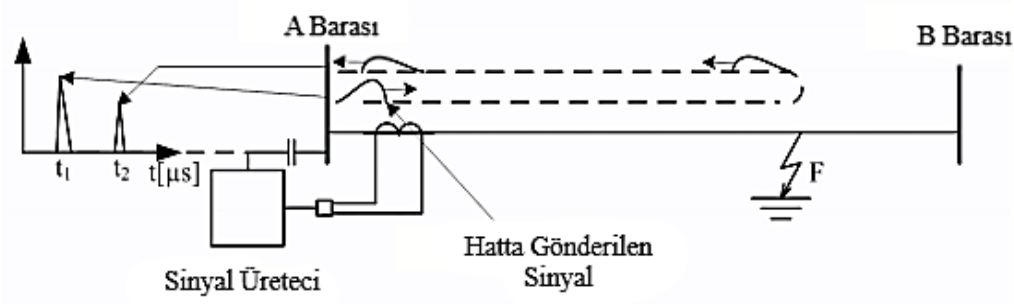
$t_1$ ; Ölçüm cihazı üzerinden gönderilen sinyalin gönderilme zamanı

$t_2$ ; Arıza üzerinden yansıyor geri dönen sinyalin geri dönme zamanı

$v$ ; Yürüyen dalganın hızı

olmak üzere,

$$x = \frac{(t_2 - t_1) x v}{2} \quad (3.3)$$



Şekil 3.3. C tipi tespit metodu [19]

### 3.1.4. D tipi tespit metodu

D tipi arıza yeri tespit metodunda hattın iki ucundan ölçüm yapılarak arıza yeri tahmini yapılmaktadır (Şekil 3.4.). Hat üzerinde bir arızanın meydana gelmesi durumunda arıza noktasında oluşan yürüyen dalgalar hattın iki ucunda bulunan ölçüm noktalarına doğru harekete geçmektedir. Arıza noktası, hangi ölçüm noktasına daha yakın ise o ölçüm noktasına daha önce ulaşmaktadır. İki ölçüm noktasına da ulaşan sinyaller, zamansal olarak tespit edilip Denklem 3.4’de kullanılmaktadır.

$x$ ; Hat üzerinde arızanın yeri

$L$ ; Hattın toplam uzunluğu

$t_1$ ; Yürüyen dalganın A barasına ulaşma süresi

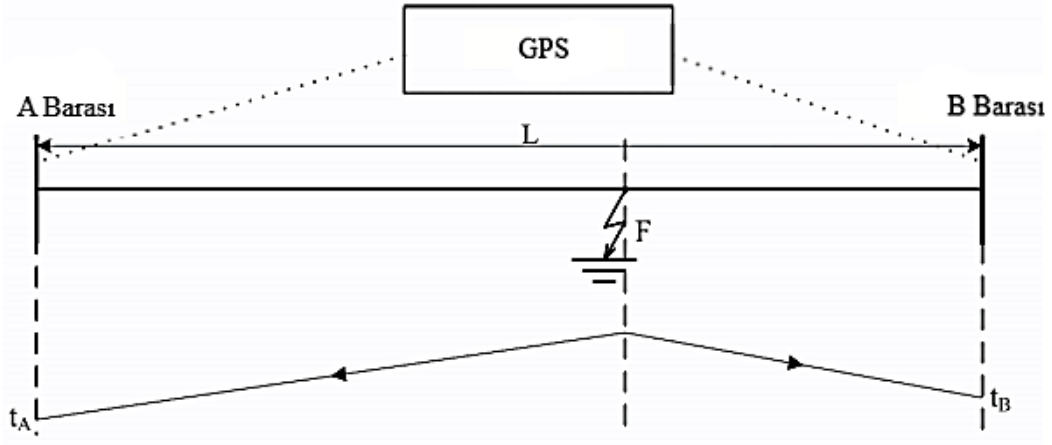
$t_2$ ; Yürüyen dalganın B barasına ulaşma süresi

$v$ ; Yürüyen dalganın hızı

olmak üzere,

$$x = \frac{L + (t_2 - t_1) * v}{2} \quad (3.4)$$





Şekil 3.4. D tipi arıza tespit metodu [19]

İki ölçüm noktası arasındaki zaman senkronizasyonunun sağlanabilmesi için GPS sinyallerinden faydalanılmaktadır.

### 3.1.5. E tipi tespit metodu

E tipi, arıza tespit metodunda, A tipi, arıza yeri tespit metodunda olduğu gibi hattın tek tarafından ölçüm alınmaktadır (Şekil 3.5.). E tipi, A tipinden farklı olarak arızaların ürettiği yürüyen dalgalar yerine iletim hattındaki devre kesiciyi kapatarak oluşan dalgaları kullanmaktadır. Devre kesicinin kapatılmasıyla oluşan yürüyen dalga ile o dalganın arıza noktasından yansımalarının süreleri tespit edilip Denklem 3.5’de yerine yazılarak arıza yeri tespit edilmektedir.

$x$ ; Arızanın ölçüm noktasına olan uzaklığı

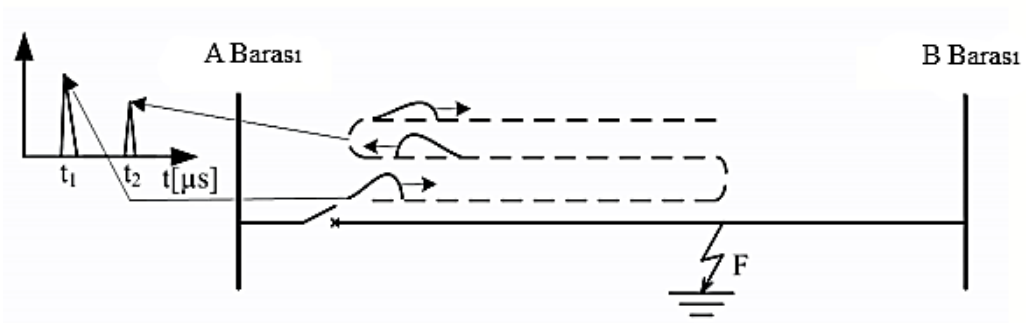
$t_1$ ; Devre kesicinin kapatılmasıyla oluşan dalganın ölçüm noktasına ulaşma süresi

$t_2$ ; Arıza noktasından yansiyıp ölçüm noktasına ulaşan sinyalin süresi

$v$ ; Yürüyen dalganın hızı

olmak üzere,

$$x = \frac{t_2 - t_1}{2} * v \quad (3.5)$$



Şekil 3.5. E tipi tespit metodu [19]

### 3.2. Yürüyen Dalgaların Hızı

Yürüyen dalga, arızanın olduğu yerden başlayarak hattın her iki yönüne doğru hareket etmektedir. Yürüyen dalganın hareket hızı genellikle ışık hızına yakındır ve hattın endüktans-kapasitans parametrelerine bağlıdır. Bir hat üzerindeki yürüyen dalganın hız formülü Denklem 3.6 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$v = \frac{1}{\sqrt{L \times C}} \quad (3.6)$$

Denklem 3.6'daki L, hattın kilometre başına endüktansını, C ise hattın kilometre başına kapasitansını ifade etmektedir.

### 3.3. Yürüyen Dalgaların Tespiti

Arıza sırasında oluşan yürüyen dalgaların tespit edilebilmesi için dalgalar önce ölçüm noktalarına ulaşmalıdır. Ölçüm noktalarına ulaşan sinyaller ölçülerek zaman etiketleriyle birlikte kayıt edilmelidir. Kaydedilen ölçümler veri paketleri halinde Wavelet dönüşümüne sokularak arızanın olup olmadığı tespit edilmektedir. Eğer arıza varsa ölçüm noktalarından alınan veriler arıza yeri tespit algoritmalarında işlenerek arızanın yeri tespit edilmektedir.

### 3.3.1. Yürüyen dalgaların ölçüm noktalarına ulaşması

Şebeke üzerinde bir arıza meydana gelmesi durumunda arıza noktasından başlayarak şebekeye yayılan yürüyen dalgalar meydana gelmektedir [13]. Arıza sinyalinin ölçüm noktalarına ulaşma süresiyle arızanın izole edilme süresi doğru orantılıdır. Arıza noktasında oluşan bir yürüyen dalga'nın ölçüm noktasına ulaşma süresi Denklem 3.7'de verilmiştir.

*Dalga'nın Ulaşma Süresi*

$$= \frac{\text{Arızaya Olan Uzaklık}}{\text{Dalga'nın Hızı}} \quad (3.7)$$

### 3.3.2. Ölçüm baraları üzerinden gerilim ölçümü

Yürüyen dalgaların çok hızlı hareket etmesi ve ölçüm noktalarına ulaşma süreleri arasındaki farkın çok az olması yüksek hızda ölçüm yapılmasını gerektirmektedir. Şebekeden alınan akım ve gerilim ölçümleri en az 1 MHz hızında olmalıdır [17,18].

### 3.3.3. Ölçüm cihazlarının zaman senkronizasyonu

Arıza yeri tespit cihazları, yürüyen dalgaların arıza yerine ulaşma sürelerini kullanarak çalışmaktadır. Bu nedenle ölçüm noktalarında ölçülen verilerin yüksek zaman çözünürlüğüne sahip olmaları gerekmektedir. Örneğin, zaman senkronizasyonundaki 1 mikro saniyelik bir fark, tespit edilen arıza yerinin yaklaşık 150 metre hatalı bulunmasına neden olmaktadır. Ölçüm cihazları arasındaki senkronizasyon hatalarının önlenmesi için GPS alıcılarından faydalanılmaktadır [18].

### 3.3.4. Verilerin tutulması

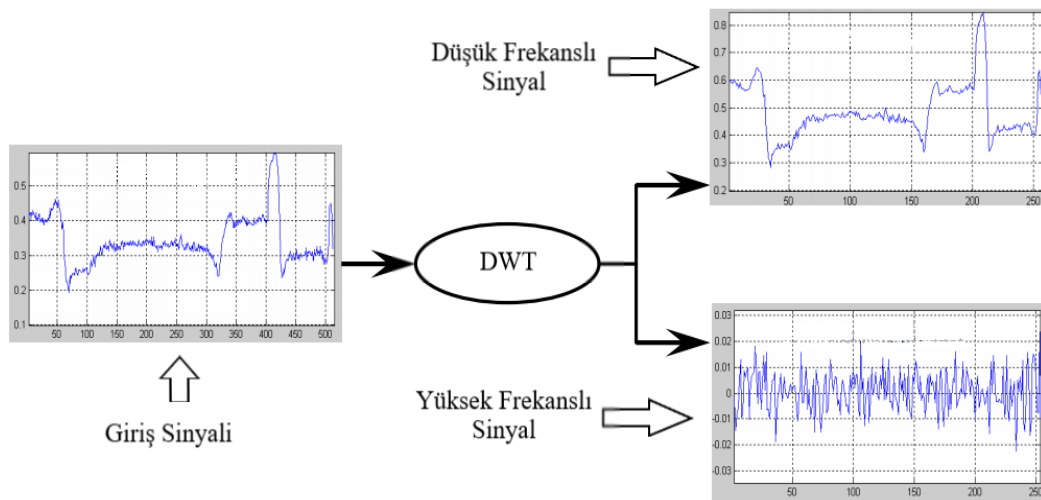
Yürüyen dalgaların tespiti genellikle Wavelet fonksiyonları kullanılarak yapılmaktadır. Wavelet fonksiyonlarında analiz yapabilmek için verilerin önceden gruplandırılıp, topluca analiz edilmesi gerekmektedir. Verileri gruplandırılmasında

hafıza birimlerinden yararlanılmıştır. Wavelet fonksiyonunun seviyesi  $n$  olmak üzere, gruplandırılacak verilerin miktarı,  $2^n$  formülü ile belirlenmektedir.

### 3.3.5. Verilerin işlenmesi

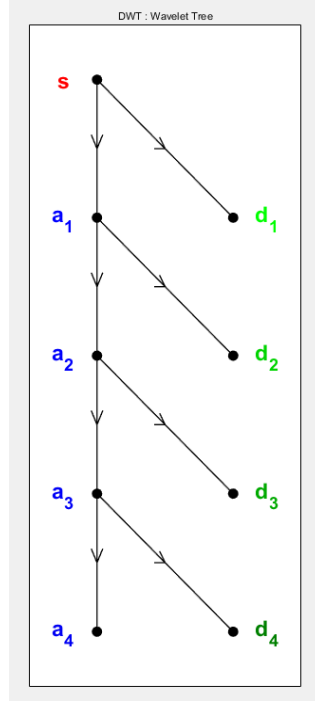
Elektrik şebekeleri sürekli değişken bir yapıya sahip olduğundan gerilim dalgalanmalarına maruz kalmaktadır. Şebeke üzerindeki yüklerin oluşturduğu elektronik gürültü, iletkenlerin maruz kaldıkları manyetik etkileşimler, bulut ile yer yüzeyi arasında oluşan statik elektriklenme gibi etkenler parazitlenmeye neden olarak sinyal kalitesini düşürmektedir. Bu gerilim dalgalanmaları ile arızalar tarafından oluşturulan yürüyen dalgaların birbirinden ayrılabilmesi arızanın doğru tespit edilebilmesi için önemlidir.

İç içe geçmiş farklı frekanslara sahip bir sinyale Şekil 3.6.'daki gibi ayırık zamanlı Wavelet dönüşümü (DWT) uygulanarak düşük frekanslı ve yüksek frekanslı sinyallerin birbirinden ayrılması sağlanmaktadır.



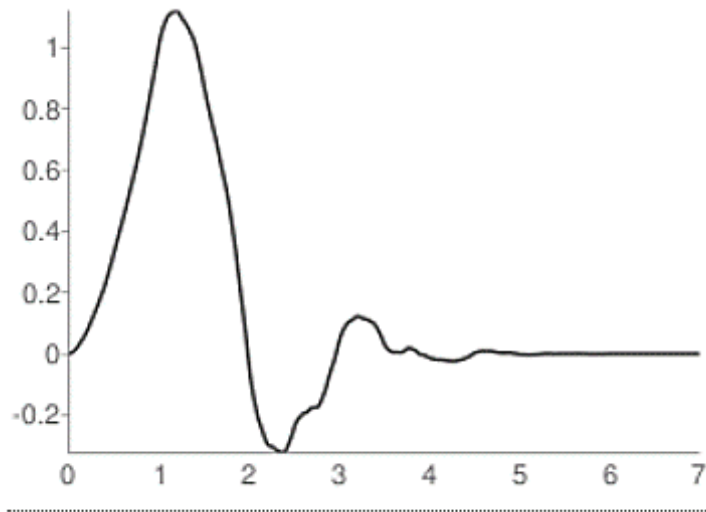
Şekil 3.6. Farklı frekanslara sahip sinyallerin birbirinden ayrılması [29]

Birinci dereceden DWT uygulandıktan sonra elde edilen düşük frekanslı sinyallere yeniden DWT uygulanarak frekans çözünürlüğü artırılabilir. Şekil 3.7'deki Wavelet ağacında giriş sinyaline 4 defa ayrıştırma işlemi uygulanarak 4. seviyeden asimetrik Wavelet dönüşümü elde edilmiştir.

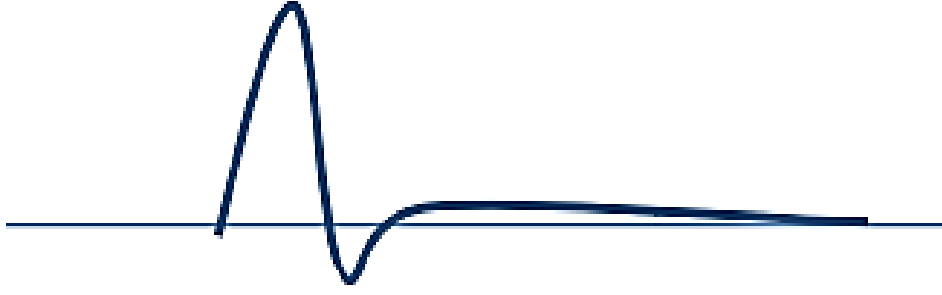


Şekil 3.7. Dördüncü dereceden asimetrik Wavelet ağacı

Elektrik sinyalleri içinden yürüyen dalganın tespit edilebilmesi için genellikle db4 Wavelet fonksiyonu kullanılmaktadır. İletim hattı üzerinde oluşan yürüyen dalga ile db4 Wavelet fonksiyonu büyük oranda örtüşmektedir. Db4 Wavelet fonksiyonu Şekil 3.8.'de, iletim hattı üzerinde oluşan bir yürüyen dalganın şekli, Şekil 3.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Db4 Wavelet fonksiyonunun şekli [27]



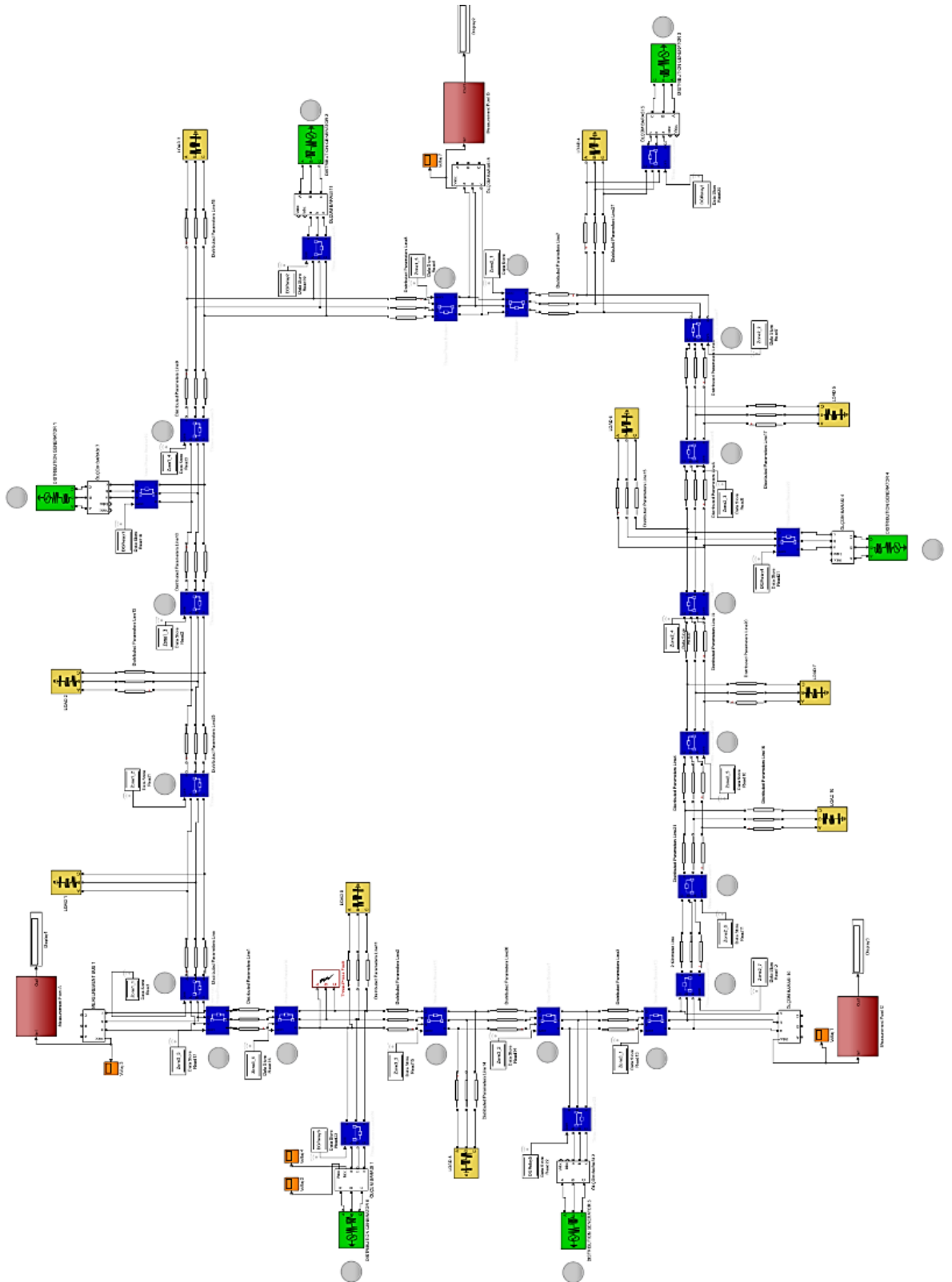
Şekil 3.9. İletim hattı üzerinde oluşan yürüyen dalga [26]

## BÖLÜM 4. BENZETİM ÇALIŞMASI

Bu çalışmada geliştirilen koruma algoritmasını test edebilmek için Matlab Simulink ortamında bir mikro şebeke benzetimi oluşturulmuştur (Şekil 4.1.). Kurulan benzetim, IEEE 9 baralı şebeke benzetimi üzerinde değişiklikler yapılarak tasarlanmıştır. Benzetim parametreleri Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Benzetim parametreleri

Hat parametreleri	Değeri	Birimi
Hattın öz empedansı	$0,9337 \times 10^{-3}$	H / Km
Hattın öz kapasitansı	$12,74 \times 10^{-9}$	F / Km
Yürüyen dalganın hızı	289942,318	Km / Saniye
Örnekleme hızı	$100 \times 10^6$	Örnek / Saniye
DEÜK'lerin toplam gücü	$6 \times 5 = 30$	kVA
Yük miktarı	$10 \times 2,5 = 25$	kW
Endüktif reaktif güç	$10 \times 0,1 = 1$	kVAr
Kapasitif reaktif güç	$10 \times 0,1 = 1$	kVAr
3 faz hat gerilimi	380	V
Birinci bölgenin hat uzunluğu	5	Km
İkinci bölgenin hat uzunluğu	5,4	Km
Üçüncü bölgenin hat uzunluğu	4	Km
Arızanın hata direnci	20	Ohm
Arızanın toprak direnci	5	Ohm
Ölçüm yöntemi	4. seviye	Db4
Hafıza birimi	16	Adet / Ölçüm



Şekil 4.1. Matlab mikro şebeke benzetimi



#### 4.1. Arıza Sinyali Analizi

Klasik şebekelerde, alternatif akım analizlerinde genellikle Fourier dönüşümünden faydalanılmaktadır. Fourier dönüşümünde, zaman tespitinin yapılabilmesi için sabit pencereler metodunu kullandığından ölçüm aralığı sabittir. Bu nedenle Fourier dönüşümü, sabit frekanslı sinyalleri analiz edebilmek için uygun olsa da değişken frekanslı sinyalleri analiz etmek için uygun değildir. Wavelet dönüşümünde ise boyutları farklı olan pencereler kullanıldığından frekansı sabit olmayan sinyaller de analiz edilebilmektedir [33].

Koruma fonksiyonunda kullandığımız db4 Wavelet fonksiyonunun hesaplarının yapılabilmesi için 3 vektöre ihtiyaç duyulmaktadır. Bu vektörler;

- 1) Wavelet dönüşümünün seviyesine göre veri guruplarına bölünen ölçüm vektörleri
- 2) Ortalama değer sinyali (A) elde edilirken kullanılan ölçek vektörleri (V)
- 3) Detay sinyali (D) elde edilirken kullanılan dalgacık vektörleri (W)

Ölçek vektörleri, aşağıdaki katsayılar kullanılarak oluşturulmaktadır [20].

$$\alpha_1 = \frac{1 + \sqrt{3}}{4\sqrt{2}} = 0,4829629131$$

$$\alpha_2 = \frac{3 + \sqrt{3}}{4\sqrt{2}} = 0,8365163037$$

$$\alpha_3 = \frac{3 - \sqrt{3}}{4\sqrt{2}} = 0,224143868$$

$$\alpha_4 = \frac{1 - \sqrt{3}}{4\sqrt{2}} = -0,1294095226$$

Ölçek vektörlerinin enerjisi 1'e eşittir (Denklem 4.1) ve vektördeki elemanların toplamı  $\sqrt{2}$ 'ye eşittir (Denklem 4.2).

$$\alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 + \alpha_4^2 = 1 \quad (4.1)$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 = \sqrt{2} \quad (4.2)$$

Ölçek vektörleri aşağıdaki gibi oluşturulmaktadır [20].

$$V_1^1 = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, \dots, 0)$$

$$V_2^1 = (0, 0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, 0, 0, 0, 0, 0, \dots, 0)$$

$$V_3^1 = (0, 0, 0, 0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, 0, 0, 0, 0, \dots, 0)$$

...

$$V_{\frac{N}{2}-1}^1 = (0, 0, 0, 0, 0, \dots, 0, 0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4)$$

$$V_{\frac{N}{2}}^1 = (\alpha_3, \alpha_4, 0, 0, 0, 0, \dots, 0, 0, 0, 0, \alpha_1, \alpha_2)$$

Ölçek vektörler aşağıdaki gibi genelleştirilebilmektedir Birinci dereceden ölçek vektörlerini elde edebilmek için Denklem 4.3, ikinci dereceden ölçek vektörlerini elde etmek için Denklem 4.4 kullanılmaktadır [20].

$$V_m^1 = \alpha_1 V_{2m-1}^0 + \alpha_2 V_{2m}^0 + \alpha_3 V_{2m+1}^0 + \alpha_4 V_{2m+2}^0 \quad (4.3)$$

$$V_m^2 = \alpha_1 V_{2m-1}^1 + \alpha_2 V_{2m}^1 + \alpha_3 V_{2m+1}^1 + \alpha_4 V_{2m+2}^1 \quad (4.4)$$

Dalgacık vektörleri ise aşağıdaki katsayılar kullanılarak oluşturulmaktadır [20].

$$\beta_1 = \frac{1 - \sqrt{3}}{4\sqrt{2}} = -0,1294095226$$

$$\beta_2 = \frac{-3 + \sqrt{3}}{4\sqrt{2}} = -0,224143868$$

$$\beta_3 = \frac{3 + \sqrt{3}}{4\sqrt{2}} = 0,8365163037$$

$$\beta_4 = \frac{-1 - \sqrt{3}}{4\sqrt{2}} = 0,4829629131$$

Dalgacık vektörlerinin enerjisi 1'e eşittir (Denklem 4.5). Dalgacık vektörlerinin elemanlarının toplamı 0'a eşittir (Denklem 4.6) [20].

$$\beta_1^2 + \beta_2^2 + \beta_3^2 + \beta_4^2 = 1 \quad (4.5)$$

$$\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 = 0 \quad (4.6)$$

Dalgacık vektörleri aşağıdaki gibi oluşturulmaktadır [20].

$$W_1^1 = (\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, \dots, 0)$$

$$W_2^1 = (0, 0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, 0, 0, 0, 0, 0, \dots, 0)$$

$$W_3^1 = (0, 0, 0, 0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, 0, 0, 0, 0, \dots, 0)$$

...

$$W_{\frac{N}{2}-1}^1 = (0, 0, 0, 0, 0, 0, \dots, 0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4)$$

$$W_{\frac{N}{2}}^1 = (\beta_3, \beta_4, 0, 0, 0, 0, \dots, 0, 0, 0, 0, \beta_1, \beta_2)$$

Dalgacık vektörleri aşağıdaki gibi genelleştirilebilmektedir Birinci dereceden dalgacık vektörünü elde edebilmek için Denklem 4.7, ikinci dereceden dalgacık vektörünü elde etmek için Denklem 4.8 kullanılmaktadır [20].

$$W_m^1 = \beta_1 V_{2m-1}^0 + \beta_2 V_{2m}^0 + \beta_3 V_{2m+1}^0 + \beta_4 V_{2m+2}^0 \quad (4.7)$$

$$W_m^2 = \beta_1 V_{2m-1}^1 + \beta_2 V_{2m}^1 + \beta_3 V_{2m+1}^1 + \beta_4 V_{2m+2}^1 \quad (4.8)$$

Ölçek ve dalgacık vektörleri elde edildikten sonra ortalama değer sinyali (Denklem 4.9) ve detay sinyali (Denklem 4.10) hesaplanmaktadır [20].

$$A^1 = (f \cdot V_1^1) V_1^1 + (f \cdot V_2^1) V_2^1 + \dots + \left( f \cdot V_{\frac{N}{2}}^1 \right) V_{\frac{N}{2}}^1 \quad (4.9)$$

$$D^1 = (f \cdot W_1^1) W_1^1 + (f \cdot W_2^1) W_2^1 + \dots + \left( f \cdot W_{\frac{N}{2}}^1 \right) W_{\frac{N}{2}}^1 \quad (4.10)$$

$A^1$  ve  $D^1$  değerlerinin bulunmasıyla birlikte 1. seviye db4 Wavelet dönüşümü tamamlanmıştır. İkinci seviye ortalama değer sinyalinin bulunabilmesi için  $V_m^2$

(Denklem 4.11) ve ikinci seviye detay sinyalinin elde edilebilmesi için  $W_m^2$  (Denklem 4.12) vektörleri kullanılmaktadır [20].

$$A^2 = (f \cdot V_1^2)V_1^2 + (f \cdot V_2^2)V_2^2 + \dots + \left(f \cdot V_{\frac{N}{4}}^2\right)V_{\frac{N}{4}}^2 \quad (4.11)$$

$$D^2 = (f \cdot W_1^2)W_1^2 + (f \cdot W_2^2)W_2^2 + \dots + \left(f \cdot W_{\frac{N}{4}}^2\right)W_{\frac{N}{4}}^2 \quad (4.12)$$

Ters dönüşümün yapılabilmesi için detay sinyalinin ve ortalama sinyalinin toplanması yeterlidir. Birinci seviyede Wavelet dönüşümü yapıldıktan sonra ters dönüşüm ifadesi Denklem 4.13'de verilmiştir [20].

$$f = A^1 + D^1 \quad (4.13)$$

İkinci seviye Wavelet dönüşümü yapıldıktan sonra ters dönüşüm formülü Denklem 4.14'de verilmiştir [20].

$$f = A^2 + D^2 + D^1 \quad (4.14)$$

Ölçek vektörünün oluşturulması için gerekli olan  $\alpha$  değerleri Tablo 4.2.'de verilmektedir. Kullanılan algorithmada arıza tespiti, 4. seviye db4 Wavelet fonksiyonuyla yapıldığından 16 adet verinin birden işlenmesi için D16 sütunundaki değerler kullanılmaktadır.

Ölçek fonksiyonunda kullanılan  $\alpha$  değerleri kullanılarak dalgacık fonksiyonu için gerekli olan  $\beta$  değerleri elde edilebilir.  $\alpha$  ile  $\beta$  değerleri arasındaki ilişki Denklem 4.15'de verilmiştir [20].

$$\beta_k = (-1)^k \times \alpha_{N-1-k} \quad (4.15)$$

Tablo 4.2. Db4 Wavelet katsayıları [34]

D2	D4	D8	D16
0.7071067	0.4829629	0.2303778	0.0544158
0.7071067	0.8365163	0.7148465	0.3128715
	0.2241438	0.6308807	0.6756307
	-0.1294095	-0.0279837	0.5853546
		-0.1870348	-0.0158291
		0.0308413	-0.2840155
		0.0328830	4.7248457 e-4
		-0.0105974	0.1287474
			-0.0173693
			-0.0440882
			0.0139810
			0.0087460
			-4.8703529 e-3
			-3.9174037 e-4
			6.7544940 e-4
			-1.1747678 e-4

Örnekleme aralığının  $10^{-8}$  saniye olması nedeniyle 3 ölçüm noktasındaki 3 fazın her birinden saniyede  $100 \times 10^6$  adet örnek alınmaktadır. Alınan örnekler önce hafıza birimlerinde 16'şar veri paketleri halinde depolandığı için örnekleme frekansı Denklem 4.16'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\frac{1}{\text{Tutulan örnek sayısı} \times \text{örnekleme aralığı}} = \frac{1}{16 \times 10^{-8}} = 6,25 \text{ MHz} \quad (4.16)$$

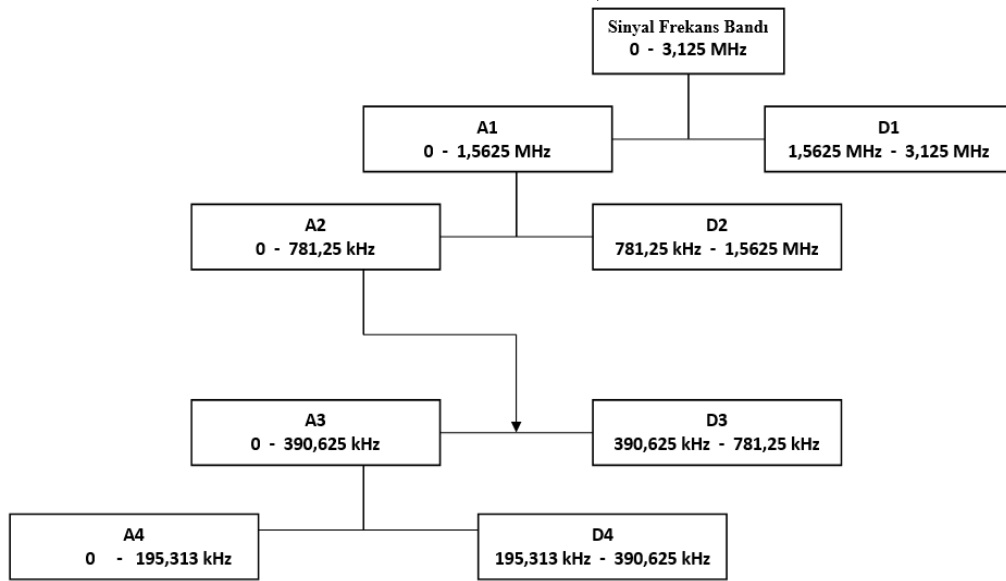
Denklem 4.15'de bulunan örnekleme frekansı 6,25 MHz'dir. Nyquist teoremine göre örnekleme frekansı, ölçülen sinyalin en az 2 katı olmalıdır. Örnekleme frekansı bütün benzetim zamanı boyunca sabit olduğundan Denklem 4.17'deki Nyquist teoreminde

yerine koyarsak ölçülebilir maksimum sinyal frekansı 3,125 MHz olarak bulunmaktadır.

$$f_{\text{örnekleme}} \geq 2 \times f_{\text{sinyal}} \Rightarrow 6,25 \times 10^6 \geq 2 \times f_{\text{sinyal}} \quad (4.17)$$

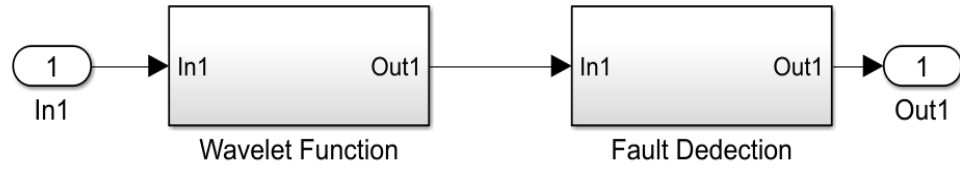
$$f_{\text{maksimum sinyal}} = 3,125 \text{ MHz}$$

Ölçülebilir maksimum sinyal frekansı 3,125 MHz olduğu için sinyal frekans genişliği 0 – 3,125 MHz olarak belirlenmiştir. Wavelet fonksiyonu frekans bandını sürekli ortadan ikiye bölerek frekans çözünürlüğü sağlamaktadır [32]. 0 – 3,125 MHz frekans aralığına sahip sinyalin 4. dereceye kadar Wavelet frekans açılımı Şekil 4.2.'de verilmiştir.



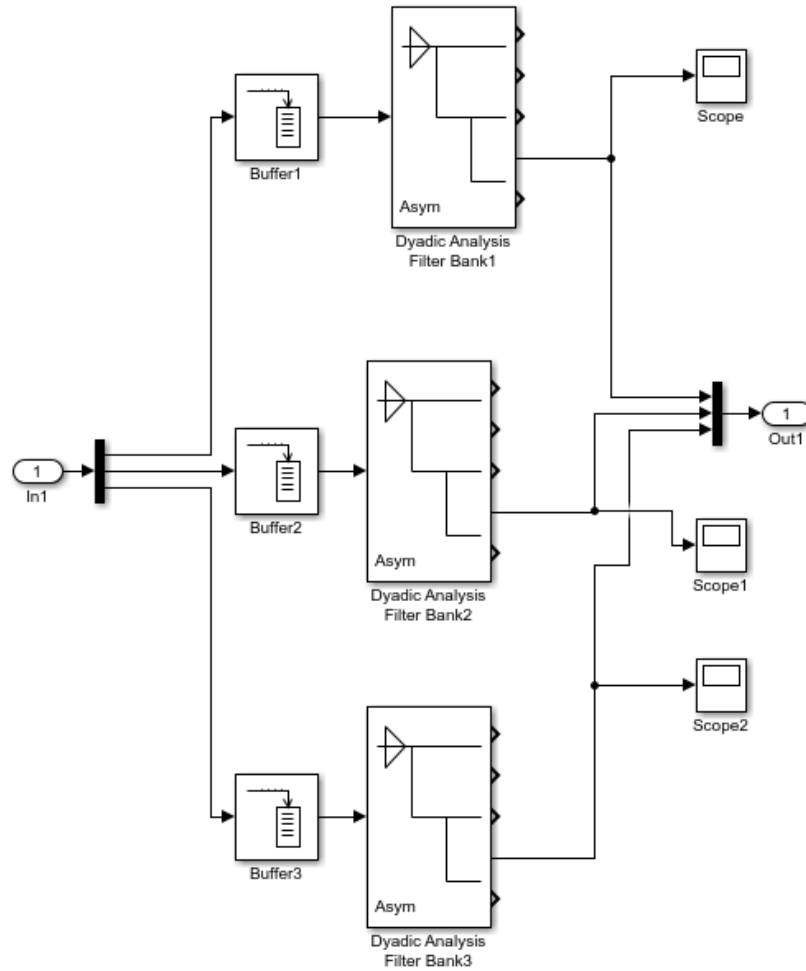
Şekil 4.2. Dördüncü dereceden Wavelet frekans açılımı

İletim hatlarındaki yürüyen dalgaların frekansları oldukça değişkendir. Yürüyen dalgaların frekansı 20 kHz ile 2 MHz arasında değişebilmektedir [31]. Bu çalışmada D4 frekans aralığındaki yürüyen dalgalar kullanılmıştır. D4 frekans aralığındaki sinyallerin frekansları yaklaşık olarak 200 kHz ile 400 kHz arasındadır. Alınan örnekler önce Wavelet fonksiyonunda daha sonra arıza tespit algoritmasında işlenmektedir. Her ölçüm noktasında Şekil 4.3.'deki algoritmalar bulunmaktadır.



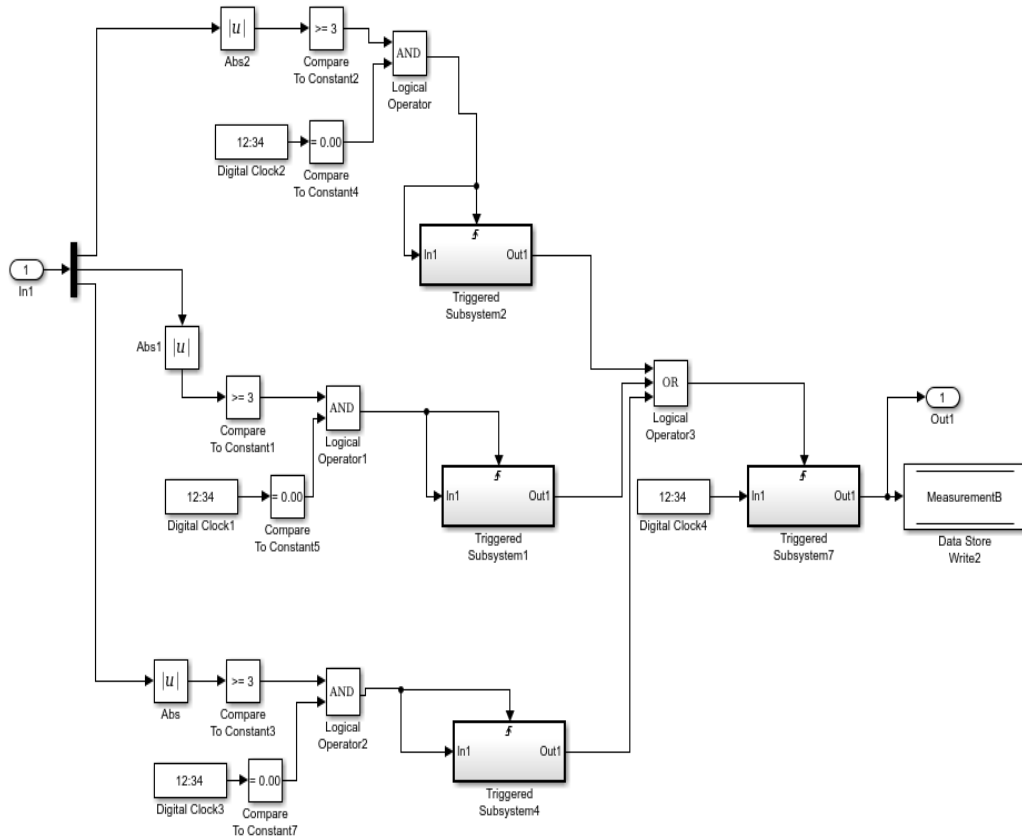
Şekil 4.3. Ölçüm noktasındaki algoritmalar

Alınan örneklere 4. seviyeden Wavelet dönüşümü uygulanacağından örnekler önce 16'şar veri paketlerine dönüştürülmektedir. Daha sonra her bir veri paketine Wavelet dönüşümü uygulanarak yürüyen dalga tespiti yapılmaktadır (Şekil 4.4.).



Şekil 4.4. Wavelet analizi algoritması

Tespit edilen yürüyen dalgalar, arıza tespit fonksiyonuna gönderilmektedir. Burada yürüyen dalganın genliği kontrol edilerek yürüyen dalganın arıza nedeniyle mi yoksa arıza olmayan geçici durumlar nedeniyle mi oluştuğu kontrol edilmektedir. Sınır değerinin üzerinde bir değer tespit edilmesi durumunda şebeke üzerinde bir arızanın oluştuğu kabul edilmektedir ve arıza zamanının kaydı tutulmaktadır (Şekil 4.5.).



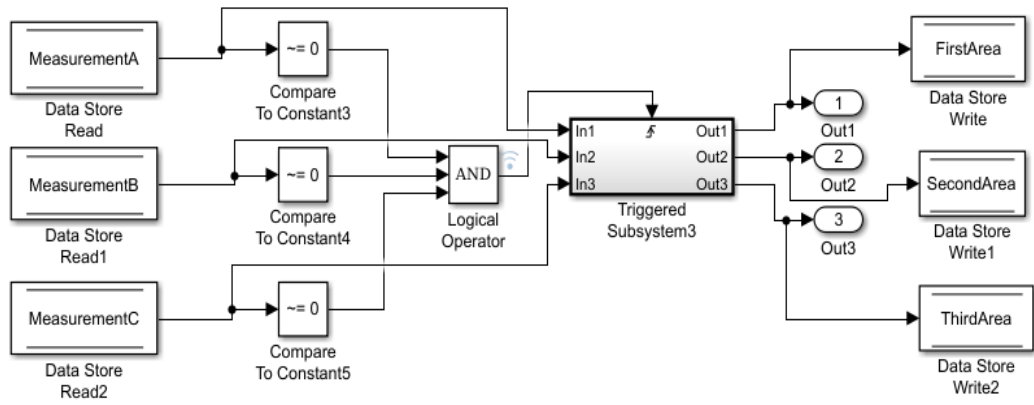
Şekil 4.5. Arıza zamanı tespit algoritması

Şekil 4.5.'deki işlemler bütün ölçüm noktalarında uygulanmaktadır. Ölçüm noktalarının arızaya olan uzaklıklarının farklı olması nedeniyle ölçüm noktalarında tutulan arıza kayıtlarının zamanları da farklıdır. Bu zaman bilgileri, arızanın hangi bölgede meydana geldiğinin tespit edilebilmesi için arıza bölgesi tespit fonksiyonuna gönderilmektedir.

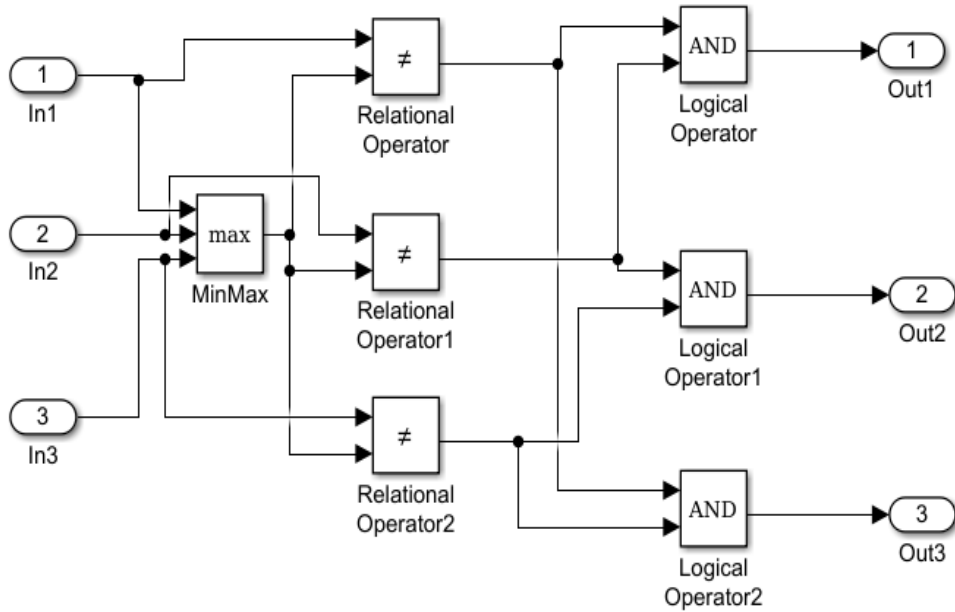


## 4.2. Arıza Bölgesi Tespiti

Mikro şebekede arıza yerinin kesin bir biçimde bulunabilmesi için şebeke 3 bölgeye ayrılmıştır. Arıza bölgesi tespit fonksiyonu önce 3 ölçüm noktasından arıza zamanı verilerinin gelmesini beklemektedir (Şekil 4.6.).



Şekil 4.6. Bütün ölçüm noktalarından zaman verilerinin geldiğinin analizi

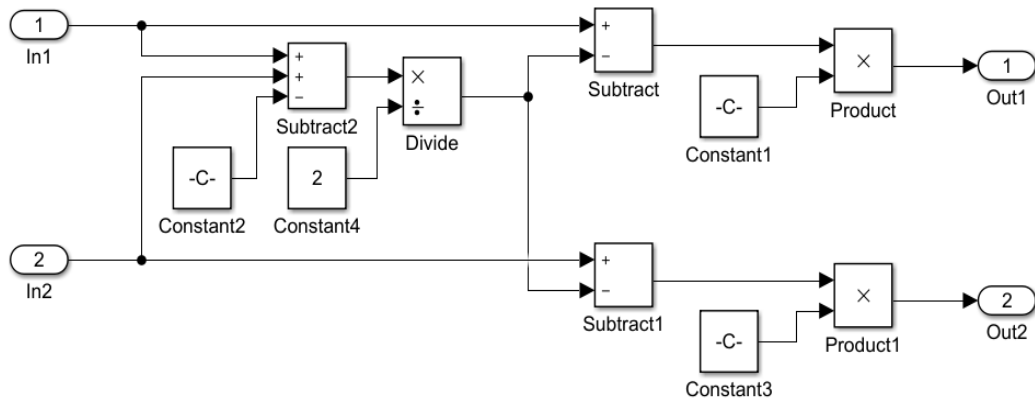


Şekil 4.7. Bölge tespit algoritması

Arıza bölgesine, arıza zaman bilgileri ulaştıktan sonra bu üç bilgi zamansal olarak karşılaştırılmaktadır ve en büyük arıza zamanına sahip nokta belirlenmektedir. Bu nokta, arızaya en uzak noktadır ve karar mekanizması tarafından elenerek geriye en kısa arıza zamanlarına sahip arıza noktaları bırakılmaktadır. Bu sayede arızanın bu iki nokta arasında olduğu sonucuna varılarak arıza bölgesi tespiti yapılmaktadır (Şekil 4.7.).

### 4.3. Arıza Yeri Tespiti

Mikro şebekede, arızanın meydana geldiği bölge tespit edildikten sonra o bölgenin arıza yeri tespit algoritmasını harekete geçiren bir sinyal üretilmektedir. Tetiklenen arıza yeri tespit algoritması, o bölgede bulunan iki ölçüm noktasından alınan zaman bilgilerini kullanarak arızanın yerini tespit etmektedir (Şekil 4.8.).



Şekil 4.8. Arıza ile ölçüm noktası arasında mesafe ölçüm algoritması

#### 4.3.1. Arıza zamanının belirlenmesi

Arıza ile ölçüm noktaları arasındaki mesafenin hesaplanabilmesi için arızanın meydana geldiği zamanın bilinmesi gerekmektedir. Şebeke üzerinde oluşan yürüyen dalganın hızını hesaplamak için Denklem 3.6 kullanılmaktadır. Şebekenin kilometre başına düşen endüktans ve kapasitans değerleri Denklem 4.18'de kullanıldığında yürüyen dalganın hızı saniyede 298942,318 kilometre olarak hesaplanmaktadır.

$$v = \frac{1}{\sqrt{L \times C}} \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{0,9337 \times 10^{-3} \times 12,74 \times 10^{-9}}} \quad (4.18)$$

$$\Rightarrow v = 298942,318 \frac{\text{kilometre}}{\text{saniye}}$$

Yürüyen dalganın, hat üzerinde 1 kilometre ilerlerken katettiği süre (t), Denklem 4.19 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$t = \frac{1}{298942,318} = 3,345 \times 10^{-6} \frac{\text{saniye}}{\text{kilometre}} \quad (4.19)$$

Denklem 4.18'de yapılan hesaplamada, yürüyen dalganın 1 kilometrelik yolu 3,345 mikro saniyede geçtiği hesaplanmıştır. Ölçüm noktaları arasındaki hattın uzunluğu sabit olduğu için hat mesafesi ile 3,345 mikro saniye çarpılarak yürüyen dalganın hattı katettiği süre hesaplanabilmektedir.

Yürüyen dalganın o bölgedeki ölçüm noktalarına ulaştığı sürelerin toplamından yürüyen dalganın hat üzerinde katettiği yolun süresi çıkartılıp elde edilen değer ikiyle bölündüğünde arızanın meydana geldiği süre elde edilmiş olur.

#### 4.3.2. Arıza ile ölçüm noktaları arasındaki mesafe

Arıza ile ölçüm noktası arasındaki uzaklığın hesaplanabilmesi için arızanın meydana getirdiği yürüyen dalganın ölçüm noktasına ne kadar sürede ulaştığının bulunması gerekmektedir. Bu süre hesaplanırken ölçüm noktasında ölçülen arıza zamanından arızanın meydana geldiği zaman çıkarılmaktadır. Elde edilen bu süre ile yürüyen dalganın hızının çarpılması, arıza ile ölçüm noktası arasındaki mesafeyi vermektedir (Denklem 4.20).

t1; Yürüyen dalganın ölçüm noktasına ulaşma zamanı

t2; Arızanın meydana gelme zamanı

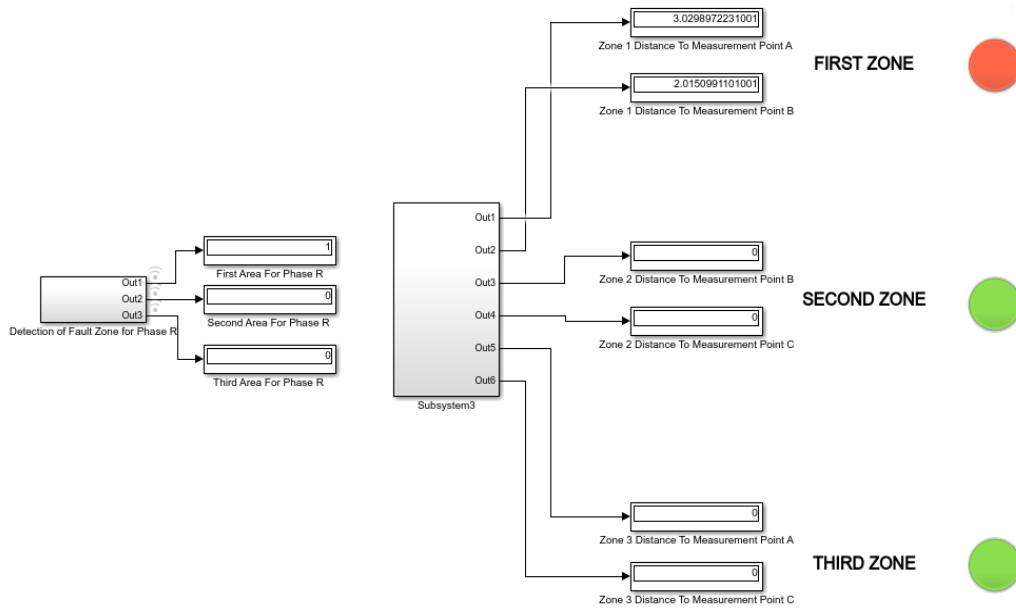
v; Yürüyen dalganın hızı

x; Arıza ile ölçüm noktası arasındaki mesafe

olmak üzere;

$$x = (t1 - t2) * v \quad (4.20)$$

Arızanın hangi bölgede olduğunun ve arıza mesafesinin gösterilebilmesi için Şekil 4.9.'deki gösterge tasarlanmıştır. Arızanın olmadığı bölgelerin gösterkesi yeşili gösterirken arızanın olduğu bölge kırmızı renk ile gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Arıza durum göstergesi

#### 4.4. Hata Payı

Benzetim için kurulan sistemde yürüyen dalganın hızı 289942,318 km/saniye olarak hesaplanmıştır. Benzetimde, saniyede 100 milyon örnek alındığından iki örnek arasındaki zaman farkı 10 nanosaniyedir. Ölçülen veriler 16'şar veri gurupları halinde tutulduğu için koruma algoritması 160 nanosaniyede bir değerlendirme yapmaktadır. Hata payını belirlemek için Denklem 4.21 kullanılmıştır.

$$\text{Hata Payı} = \text{Yürüyen Dalganın Hızı} \times \text{Değerlendirme Zaman Aralığı} \quad (4.21)$$

$$\text{Hata Payı} = 289942,318 \frac{\text{km}}{\text{saniye}} \times 160 \times 10^{-9} \text{ saniye}$$

$$\text{Hata Payı} = 46,39 \times 10^{-3} \text{ km}$$

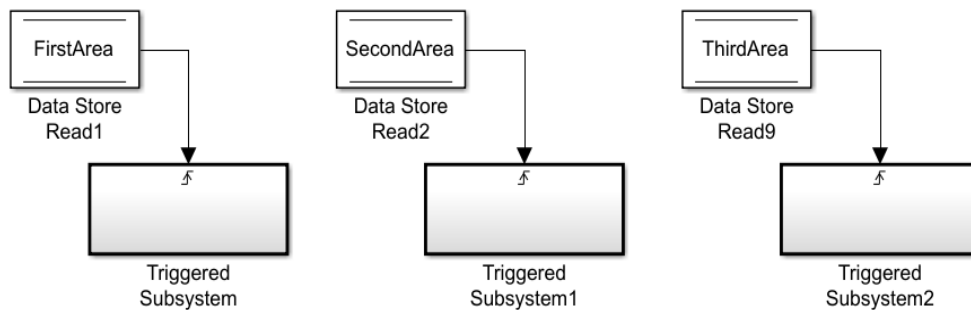
Yapılan hesaplama göre sistemdeki arıza yeri tespiti yapılırken bulunan sonuçların hata payı maksimum 46,39 metredir.

#### 4.5. Arızanın İzole Edilmesi

Elektrik şebekelerinde meydana gelen arızaların olabildiğinde küçük bir alanda izole edilmesi gerekmektedir. Arızaya en yakın şalter veya şalterler devreyi kesip arızayı enerjisiz bırakarak can ve mal güvenliğini sağlamaktadır.

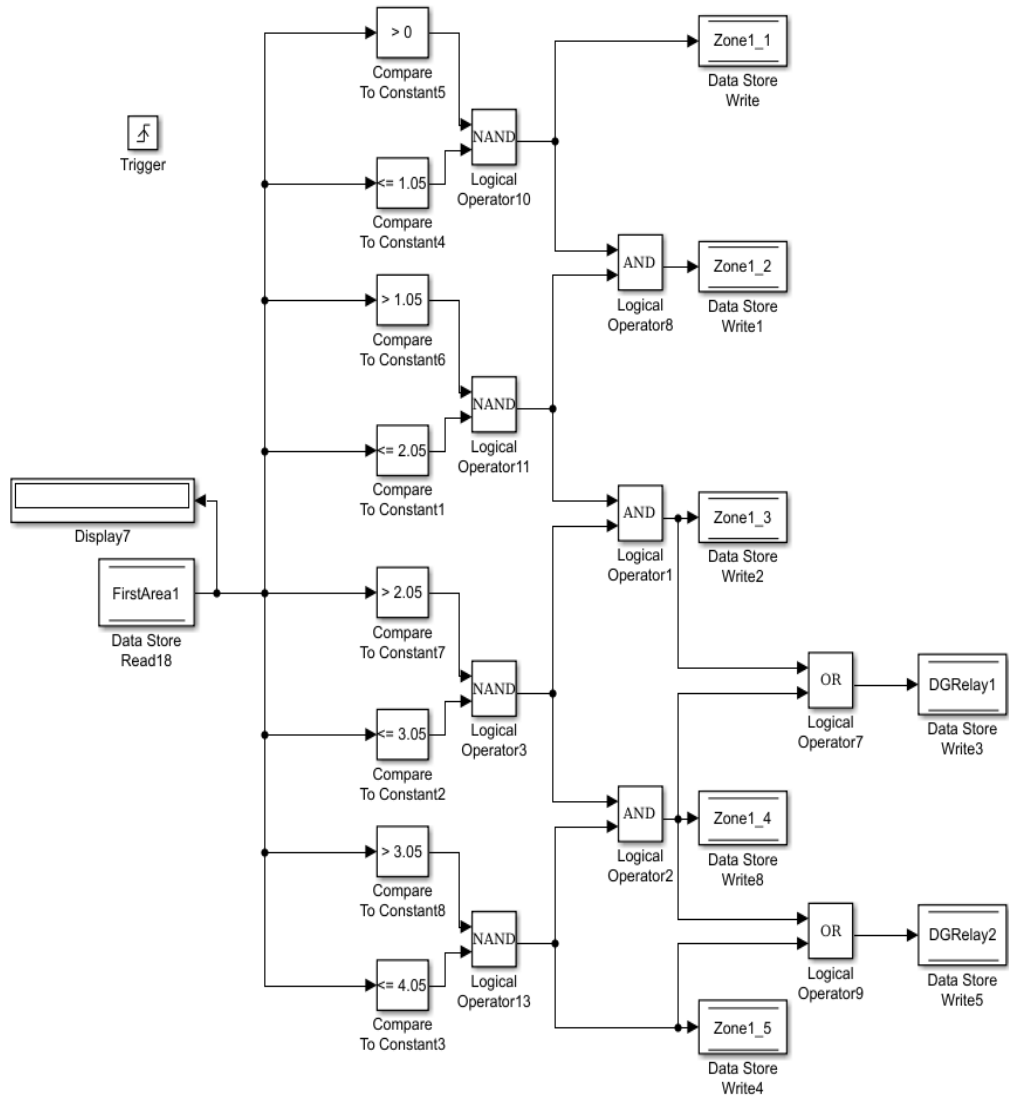
Ring şebeke yapısına sahip mikro şebekelerde arızanın izole edilebilmesi için arıza iki yönden de enerjisiz bırakılmalıdır. Ayrıca izole edilen bölge içerisinde bir DEÜK varsa arızayı beslemeye devam edeceği için DEÜK ile şebekenin bağlantısı kesilmelidir.

Yapılan çalışmada arıza yeri tespiti yapıldıktan sonra arızanın izole edilebilmesi için röle koordinasyon algoritması geliştirilmiştir. Röle koordinasyon algoritması kendi içinde üçe ayrılmıştır. Bu sayede her bölge için ayrı ayrı koruma yapılabilmektedir (Şekil 4.10.).



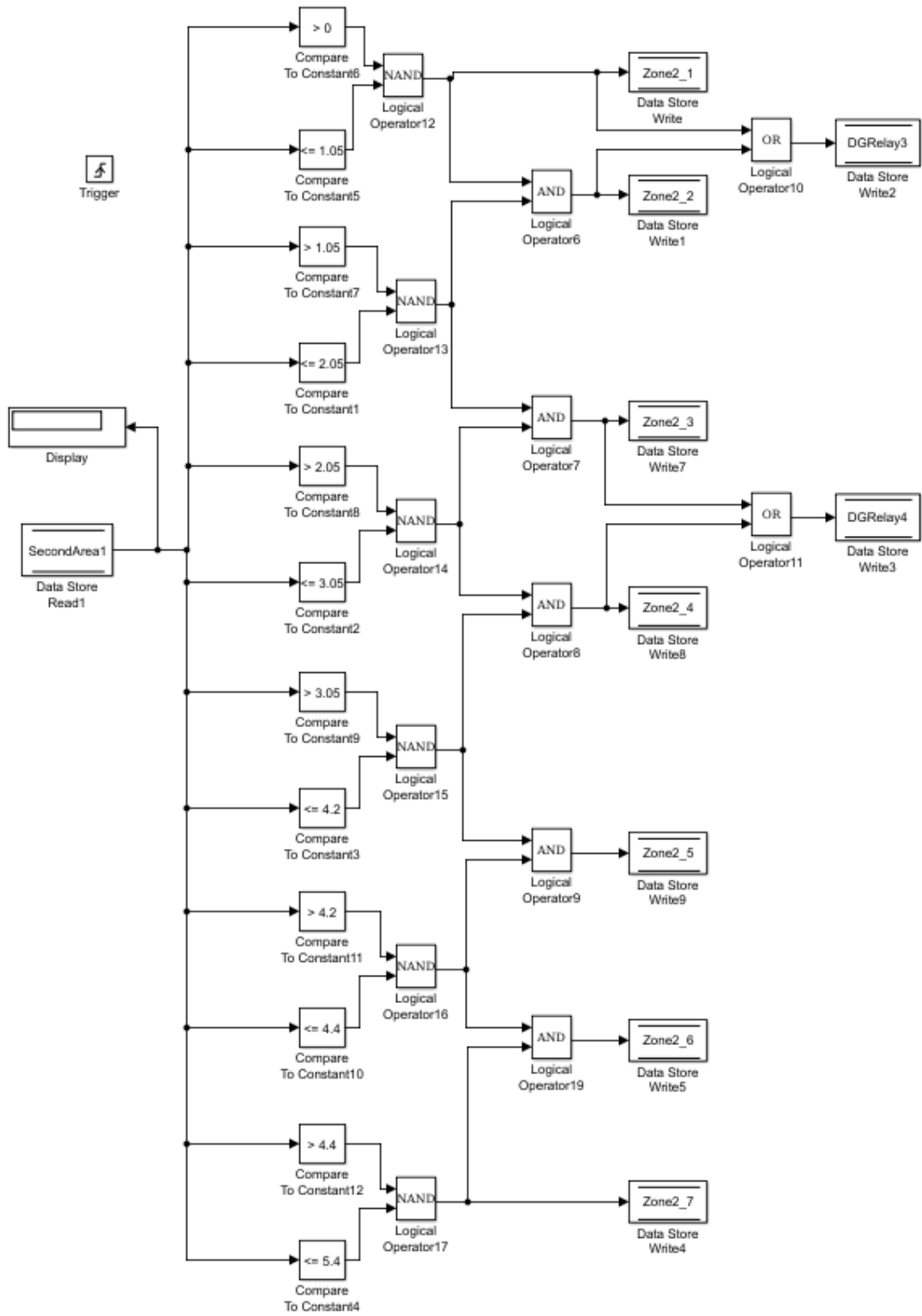
Şekil 4.10. Tetiklenme durumuna göre çalışan bölge algoritmaları

Her bölge, kendisine bir ölçüm noktasını referans olarak çalışmaktadır. Birinci bölge A ölçüm noktasını, ikinci bölge B ölçüm noktasını ve üçüncü bölge C ölçüm noktasını referans almaktadır. A noktasını referans olarak birinci bölgede koruma yapan algoritma Şekil 4.11.'de gösterilmiştir.



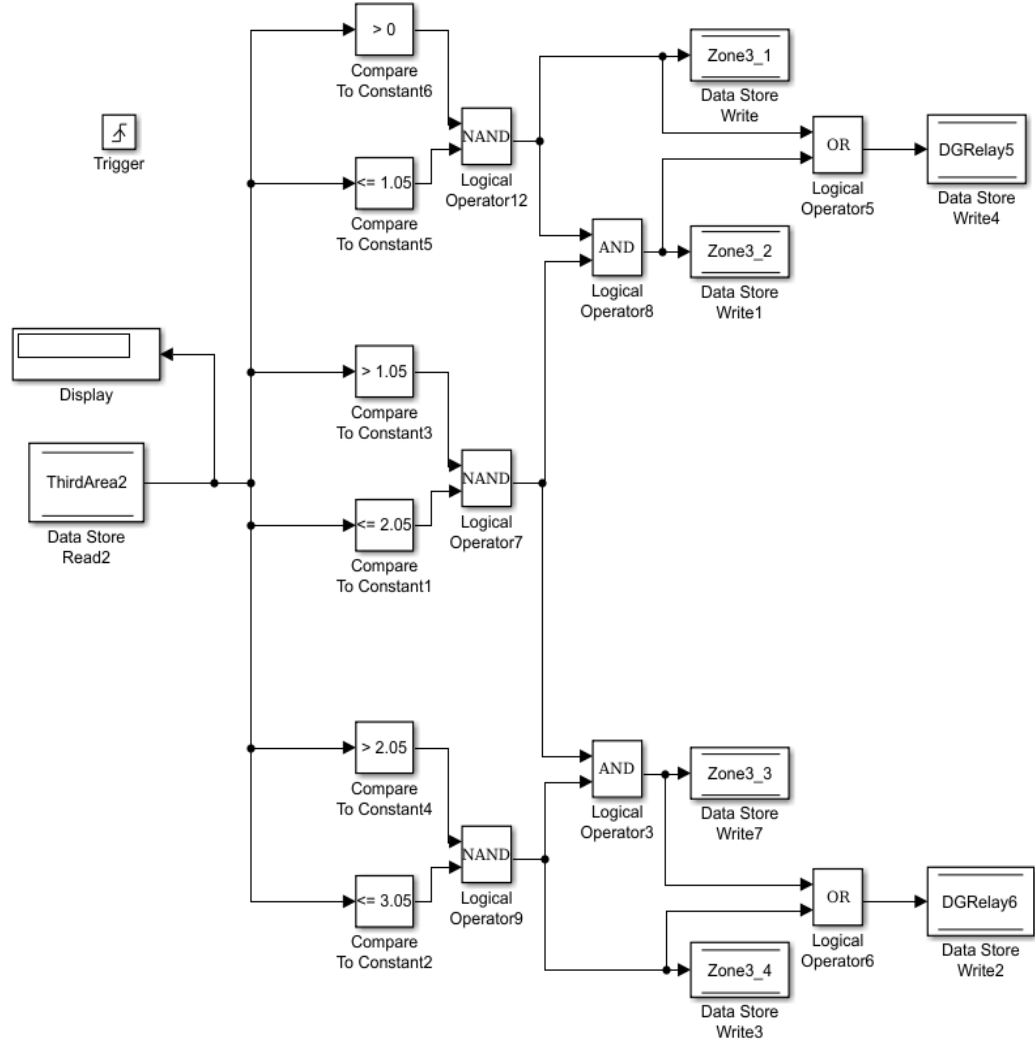
Şekil 4.11. Birinci bölgenin röle koordinasyon algoritması

B noktasını referans olarak ikinci bölgede koruma yapan algoritma Şekil 4.12.'deki gibidir.



Şekil 4.12. İkinci bölgenin röle koordinasyon algoritması

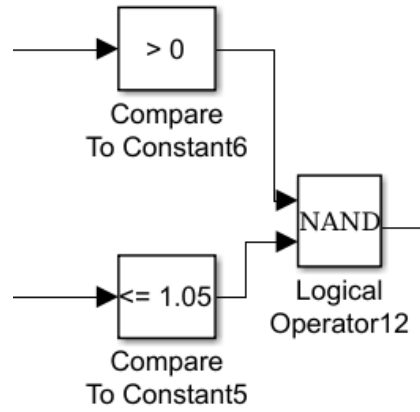
C noktasını referans olarak üçüncü bölgede koruma yapan algoritma Şekil 4.13.'de verilmiştir.



Şekil 4.13. Üçüncü bölgenin röle koordinasyon algoritması

Referans alınan ölçüm noktası ile arızanın meydana geldiği nokta arasındaki mesafe bilgisi kullanılarak arızanın hangi aralıkta izole edileceği tespit edilmektedir (Şekil 4.14.).





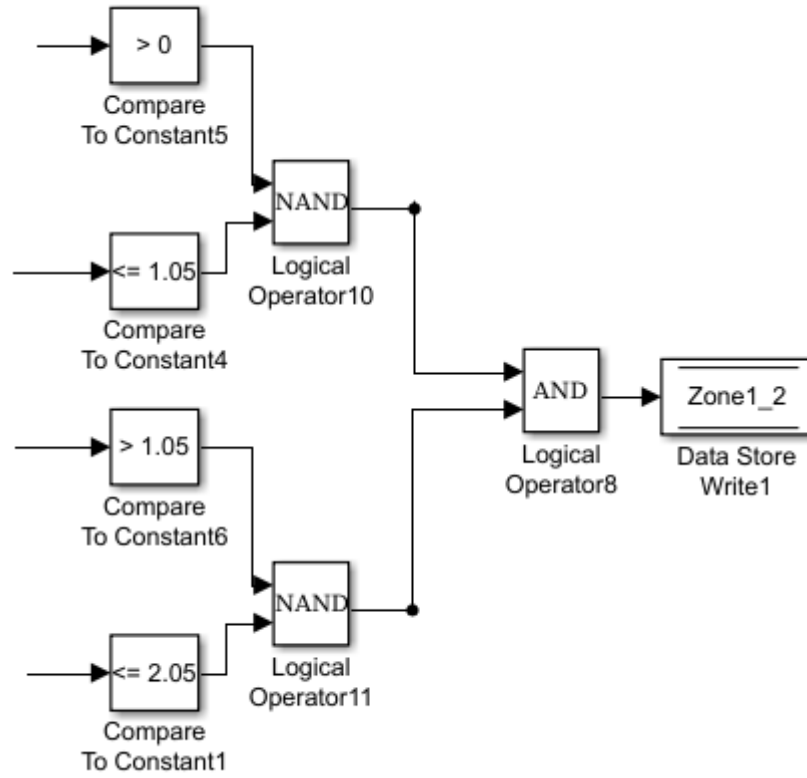
Şekil 4.14. Arıza bilgisi için kullanılan NAND yapısı

Alınan ölçümün hangi aralıkta olduğu Tablo 4.3.'de gösterildiği gibi VEDEĞİL (NAND) kapısıyla belirlenmektedir.

Tablo 4.3. NAND kapısının işlevi

NAND	Birinci Koşul	İkinci Koşul	Sonuç	Yapılan Eylem
Arıza Yok	0	0	1	Arıza Bilgisi Gönderme
Tek Şart Sağlanıyor	0	1	1	Arıza Bilgisi Gönderme
Tek Şart Sağlanıyor	1	0	1	Arıza Bilgisi Gönderme
İki Şart Sağlanıyor	1	1	0	Arıza Bilgisi Gönder

NAND kapılarından çıkan sonuçlar VE (AND) kapısıyla işlenmekte ve çıkan sonuçlar şalterlere gönderilmektedir (Şekil 4.15.).



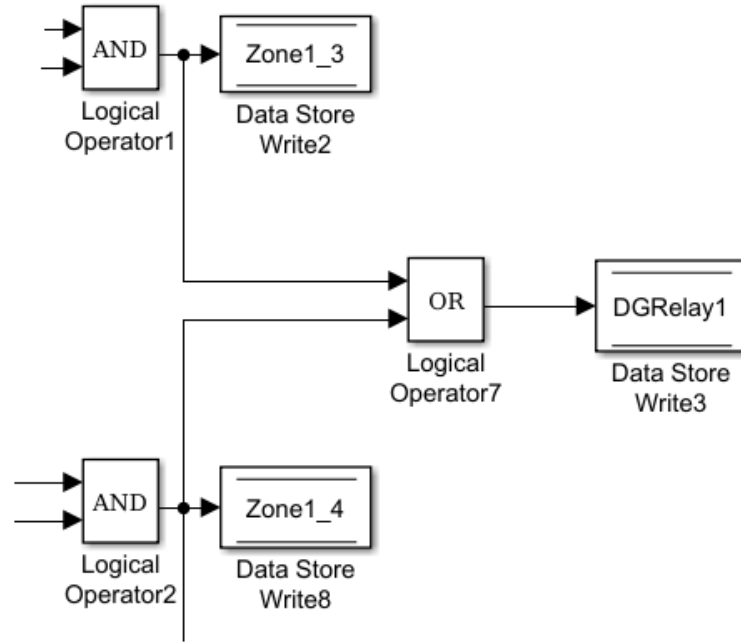
Şekil 4.15. Şalterlere trip komutunu AND kapısı üretmektedir

AND kapısı bir şalterin açılıp açılmamasına Tablo 4.4.'deki gibi karar vermektedir. Herhangi bir koşulun sağlanmaması şalterin açılması için yeterlidir.

Tablo 4.4. AND kapısının işlevi

AND	Birinci Koşul	İkinci Koşul	Sonuç	Yapılan Eylem
Arıza Yok	1	1	1	Şalter İletimde
Tek Şart Sağlanıyor	0	1	0	Şalter İletimde Değil
Tek Şart Sağlanıyor	1	0	0	Şalter İletimde Değil
İki Şart Sağlanıyor	0	0	0	Şalter İletimde Değil

Mikro şebekelerde izole edilen bölgenin içinde DEÜK olma ihtimali vardır. Eğer izole edilen bölgede DEÜK varsa devreyi kesen şalterlerin bilgisi kullanılarak DEÜK'ün o bölgeden izole edilmesi sağlanmaktadır (Şekil 4.16.).



Şekil 4.16. İzole edilen alanda kalan DEÜK'leri devreden çıkarmak için OR kapısı kullanılmaktadır

DEÜK'ü şebekeden izole etmek için Tablo 4.5.'de kullanılan VEYA (OR) kapısı kullanılmıştır.

Tablo 4.5. OR kapısının işlevi

OR	Birinci Koşul	İkinci Koşul	Sonuç	Yapılan Eylem
Arıza Yok	1	1	1	DEÜK Devrede
Tek Şart Sağlanıyor	0	1	1	DEÜK Devrede
Tek Şart Sağlanıyor	1	0	1	DEÜK Devrede
İki Şart Sağlanıyor	0	0	0	DEÜK Devrede Değil

## **BÖLÜM 5. BENZETİM ÇALIŞMASI SONUÇLARI**

Önerilen koruma algoritması, Matlab/SIMULINK ortamında test edilmiştir. Yapılan benzetim çalışmasında, koruma algoritmasının verdiği tepkiler 4 ana başlık halinde toplanmıştır.

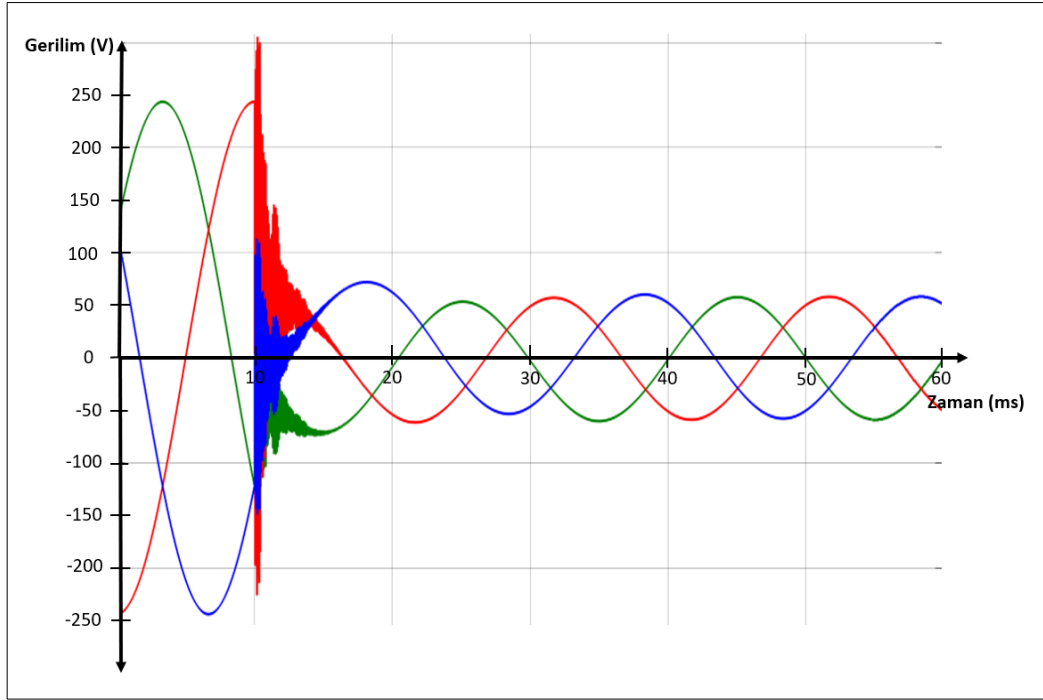
- 1) Farklı arıza senaryolarında koruma algoritmasının tepkisi
- 2) İzole edilen hat üzerindeki elemanlara göre koruma algoritmasının tepkisi
- 3) Her bölgede farklı mesafelere göre koruma algoritmasının tepkisi
- 4) Değişken yük durumlarına ve demeraj akımlarına koruma algoritmasının tepkisi

### **5.1. Farklı Arıza Senaryolarında Koruma Algoritmasının Tepkisi**

Mikro şebekeye, farklı noktalardan faz-faz, faz-toprak, üç faz ve üç faz toprak arıza senaryoları uygulanmıştır. Farklı arıza senaryolarına göre koruma algoritmasının tepkisi incelenmiştir. Arızalar test edilirken benzetim programı 60 milisaniye çalıştırmıştır ve arızalar 10. milisaniyede uygulanmıştır.

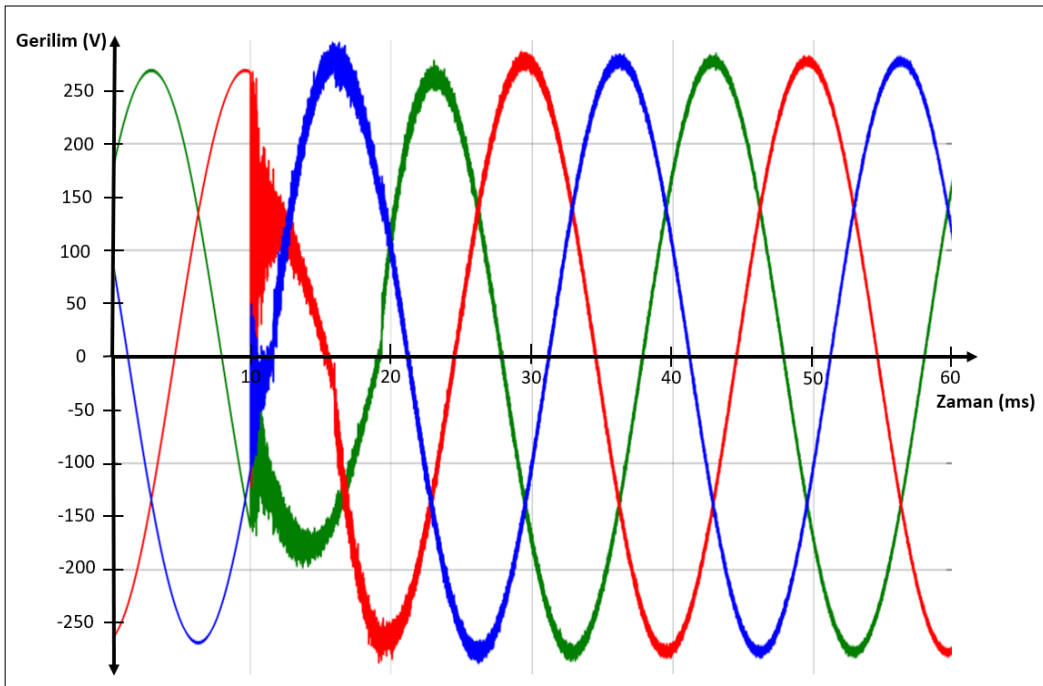
#### **5.1.1. Üç faz toprak arızası**

Üç faz toprak arızasının benzetiminin yapılabilmesi için mikro şebekede A, B, C fazlarıyla toprak birleştirilmiştir. Mikro şebeke üzerinde herhangi bir koruma fonksiyonunun olmaması durumunda üç faz şebeke geriliminin grafiği Şekil 5.1.'deki gibidir.



Şekil 5.1. A, B, C fazı ve toprak kısa devre simülasyonunun üç faz gerilim grafiği (koruma algoritması aktif değil)

Üç faz toprak kısa devre arızası benzetiminde, koruma fonksiyonu aktifleştirildiği zaman mikro şebeke üzerindeki üç faz gerilim grafiği Şekil 5.2.'deki gibidir.

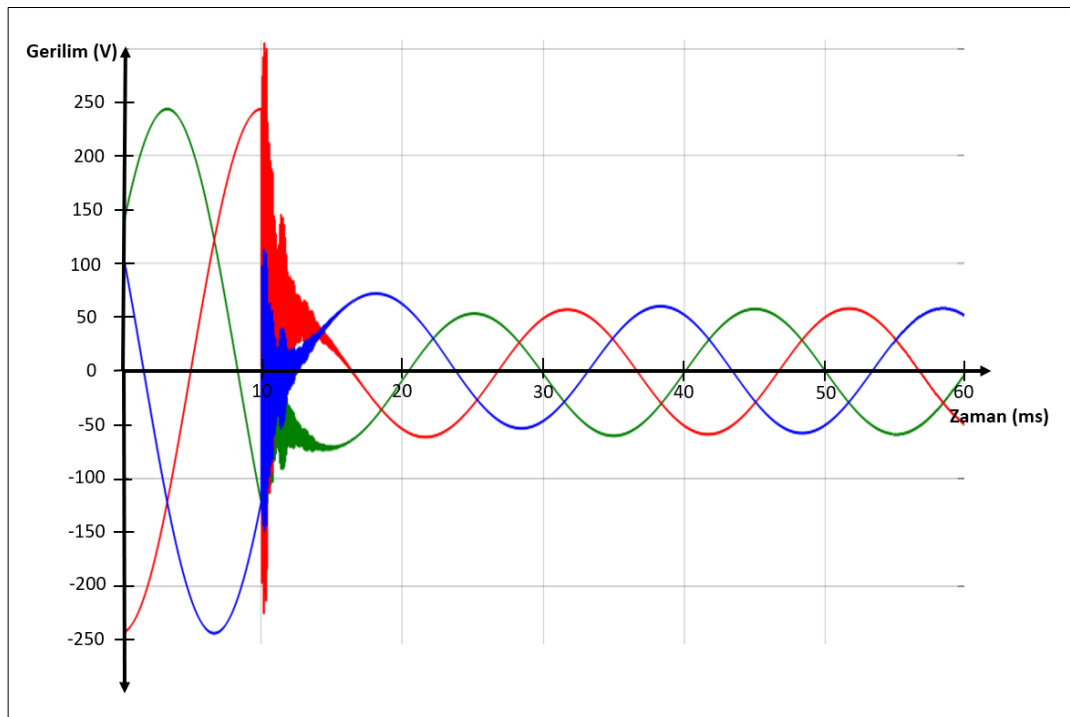


Şekil 5.2. A, B, C fazı ve toprak kısa devre benzetiminin üç faz gerilim grafiği (koruma algoritması aktif)

Üç faz toprak arızasında devreye giren koruma algoritması arızalı bölgeyi izole ederek şebekenin geri kalanının çalışmaya devam etmesini sağlamıştır.

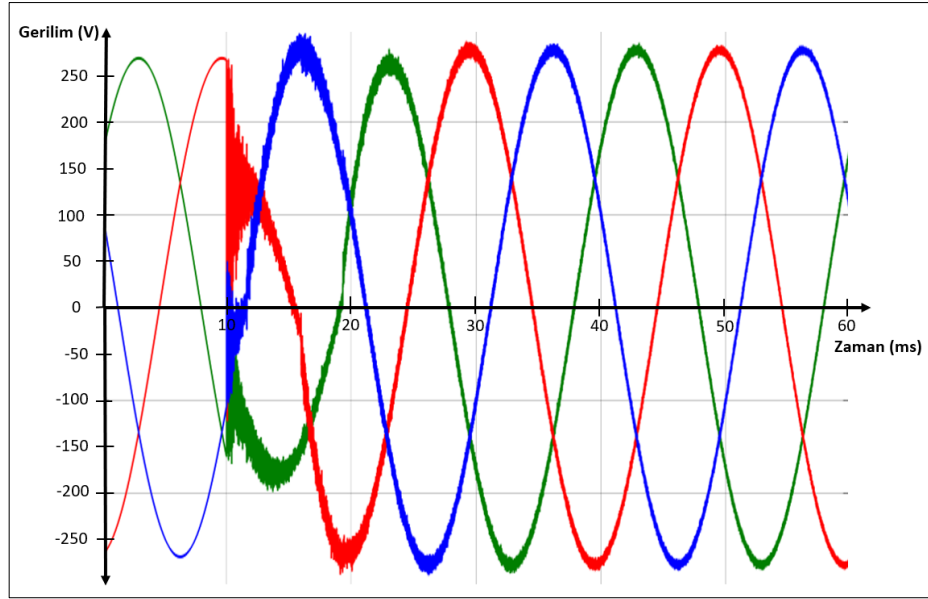
### 5.1.2. Üç faz arızası

Üç faz arızasının benzetiminin yapılabilmesi için mikro şebekedeki A, B ve C fazları kısa devre yapılarak arıza gerçekleştirilmiştir. Arızanın izole edilmediği durumda şebeke üzerinden ölçülen üç faz gerilim grafiği Şekil 5.3.'de verilmiştir.



Şekil 5.3. A, B, C fazı kısa devre benzetiminin üç faz gerilim grafiği (koruma algoritması aktif değil)

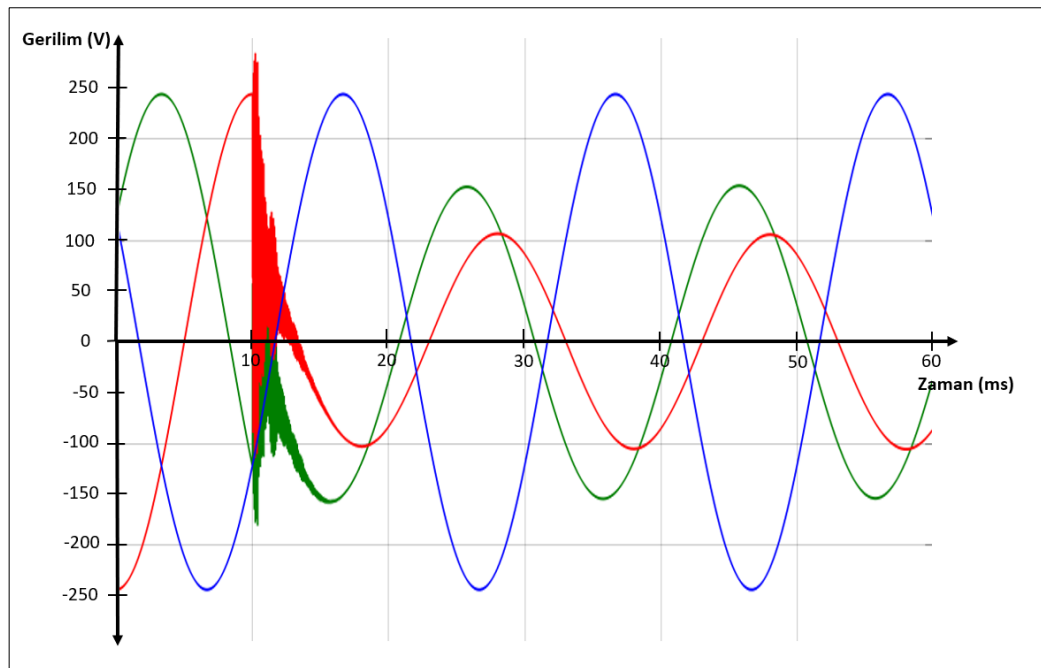
Koruma algoritması devredeyken şebekeye üç faz kısa devre arızası uygulandığında şebeke üzerinden alınan üç faz gerilim grafiği Şekil 5.4.'deki gibidir.



Şekil 5.4. A, B, C fazı kısa devre benzetiminin üç faz gerilim grafiği (koruma algoritması aktif)

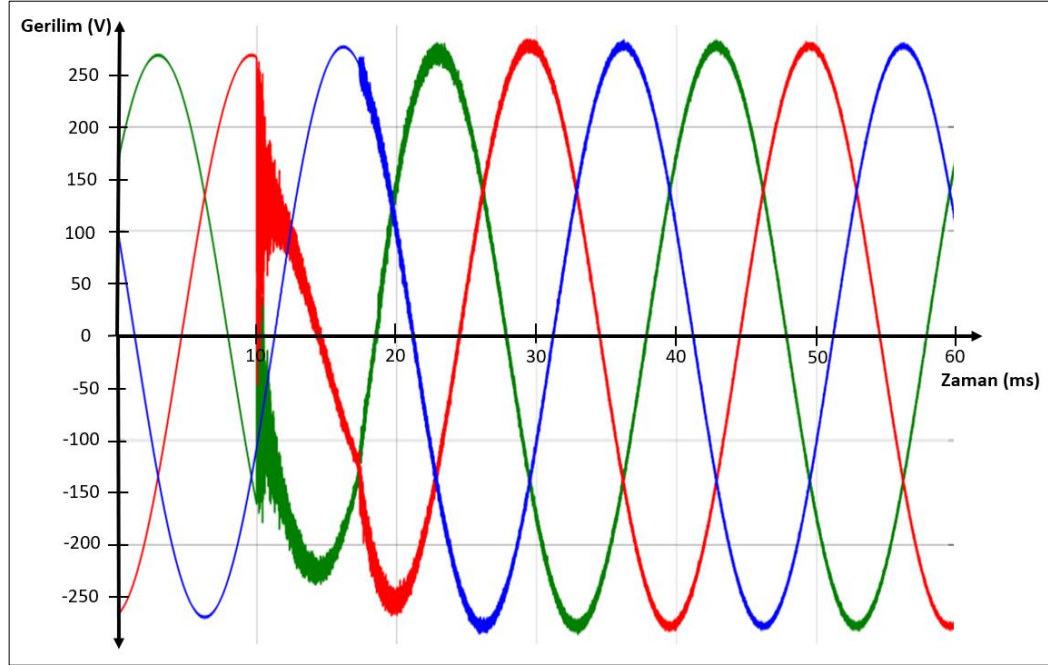
### 5.1.3. Faz faz arızası

Faz faz arızasının simüle edilebilmesi için mikro şebekedeki A ve B fazları kısa devre yapılarak arıza gerçekleştirilmiştir. Arızanın izole edilmediği durumda şebeke üzerinden ölçülen üç faz gerilim grafiği Şekil 5.5.'de verilmiştir.



Şekil 5.5. A ve B fazı kısa devre benzetiminin üç faz gerilim grafiği (koruma algoritması aktif değil)

Koruma algoritması devredeyken şebekeye faz faz kısa devre arızası uygulandığında şebeke üzerinden alınan üç faz gerilim grafiği Şekil 5.6.'daki gibidir.

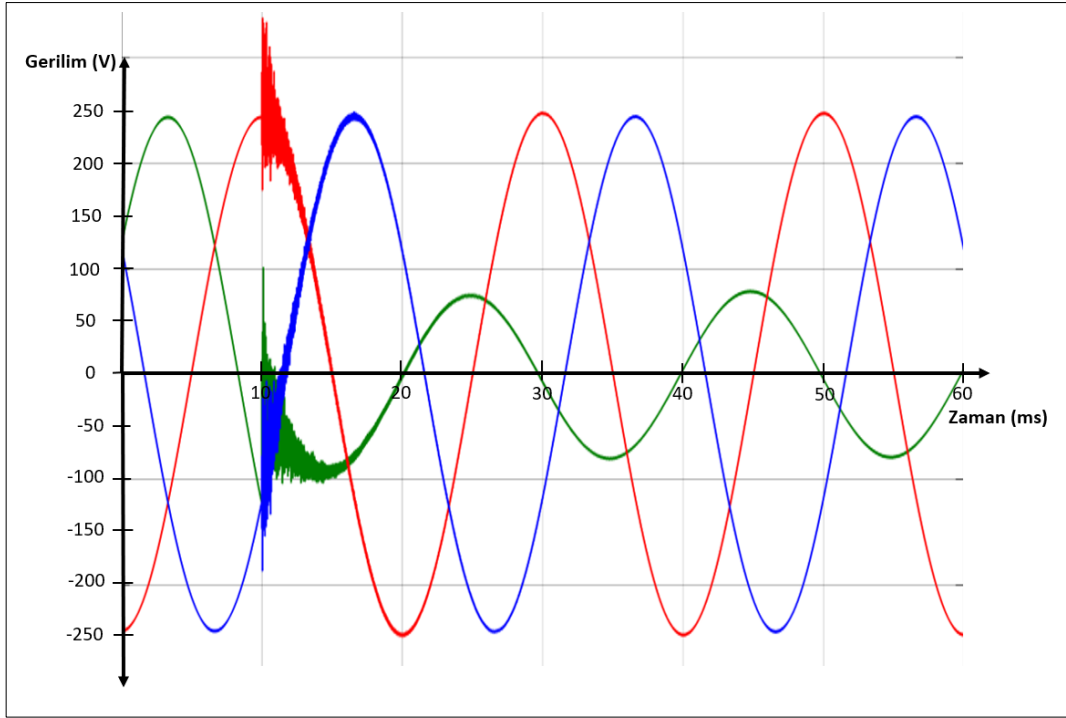


Şekil 5.6. A ve B fazı kısa devre benzetiminin üç faz gerilim grafiği (koruma algoritması aktif)

#### 5.1.4. Faz toprak arızası

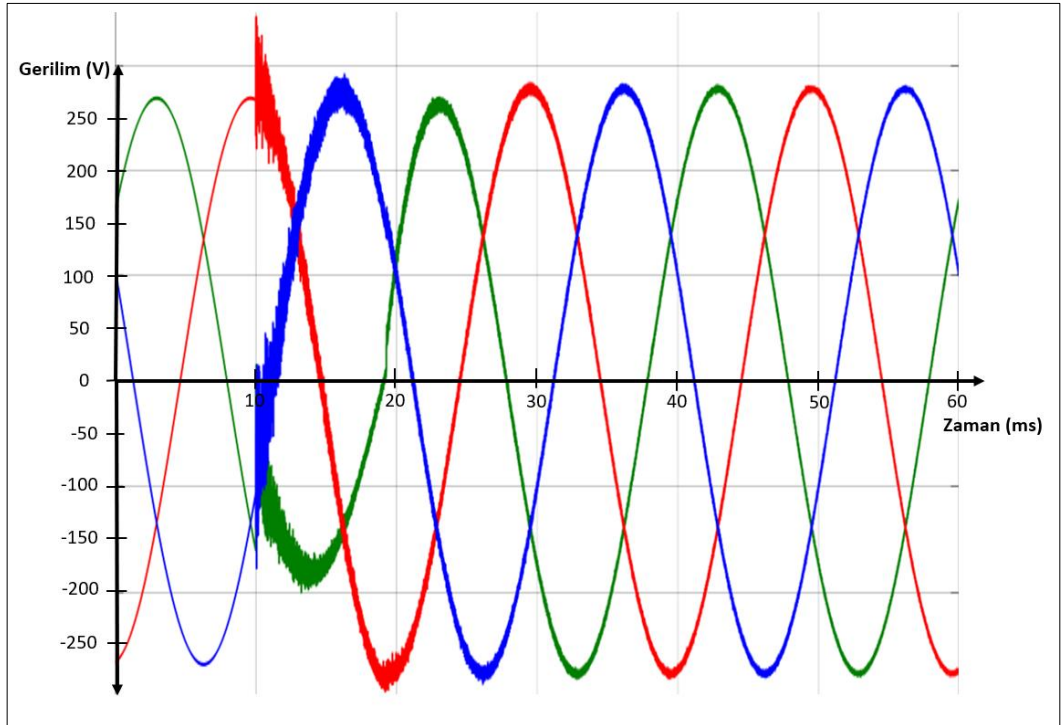
Faz toprak arızası simule edilirken A fazı ile toprak kısa devre yapılmıştır. Arızanın izole edilmediği durumda şebeke üzerinden ölçülen üç faz gerilim grafiği Şekil 5.7.'de verilmiştir.





Şekil 5.7. A fazı ve toprak kısa devre benzetiminin üç faz gerilim grafiği (koruma algoritması aktif değil)

Koruma algoritması devredeyken şebekeye faz toprak kısa devre arızası uygulandığında şebeke üzerinden alınan üç faz gerilim grafiği Şekil 5.8.'deki gibidir.



Şekil 5.8. A fazı ve toprak kısa devre benzetiminin üç faz gerilim grafiği (koruma algoritması aktif)

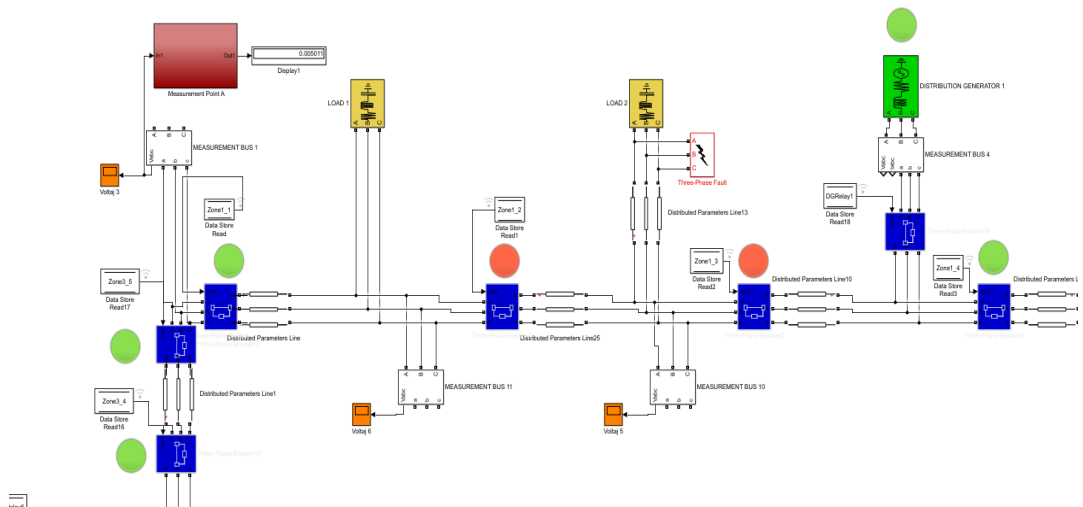
## 5.2. İzole Edilen Hat Üzerindeki Elemanlara Göre Koruma Algoritmasının Tepkisi

Günümüzde elektrik şebekelerinde kullanılan koruma algoritmalarının temel amacı bir arıza meydana geldiği zaman arızayı enerjisiz bırakarak şebekeyi korumaktır. Klasik şebeke yapılarında enerji akışı genellikle elektrik üreteçlerinden yüklerle doğru tek yönlü olarak gerçekleşmektedir. Yük gurubunda bir arıza meydana gelmesi durumunda arızanın olduğu bölgenin enerjisi kesilerek arıza izole edilebilmektedir.

Mikro şebekelerde ise enerji akışı çift yönlüdür. Arızanın meydana geldiği yer, şebekeden izole edilse bile eğer izole edilen yerde bir DEÜK varsa arıza enerjisiz kalmamaktadır. Bu çalışmada geliştirilen koruma algoritması, izole edilen alandaki DEÜK'leri de devre dışı bırakarak arızanın enerjisiz kalmasını sağlamaktadır.

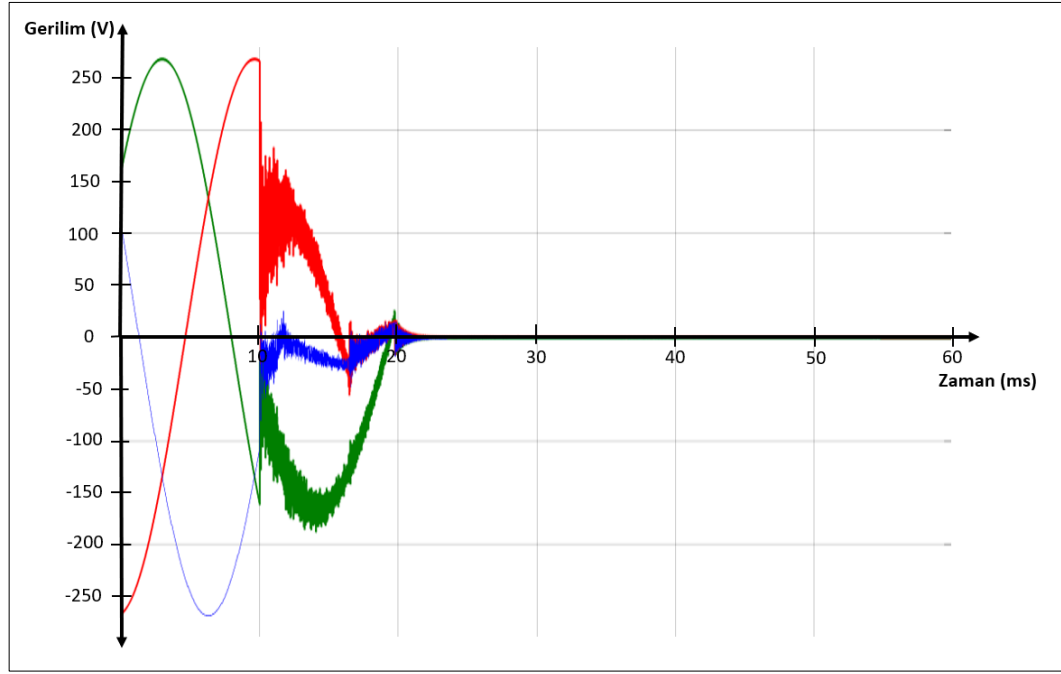
### 5.2.1. Arızanın yükün bulunduğu alanda meydana gelmesi

Mikro şebekede arızanın meydana geldiği alanda sadece yük varsa o alanı şebekenin geri kalanından izole etmek arızayı enerjisiz bırakmak için yeterlidir. Şekil 5.9.'da mikro şebeke üzerinde sadece yükün olduğu bir alanda meydana gelen arızanın benzetimi verilmiştir.

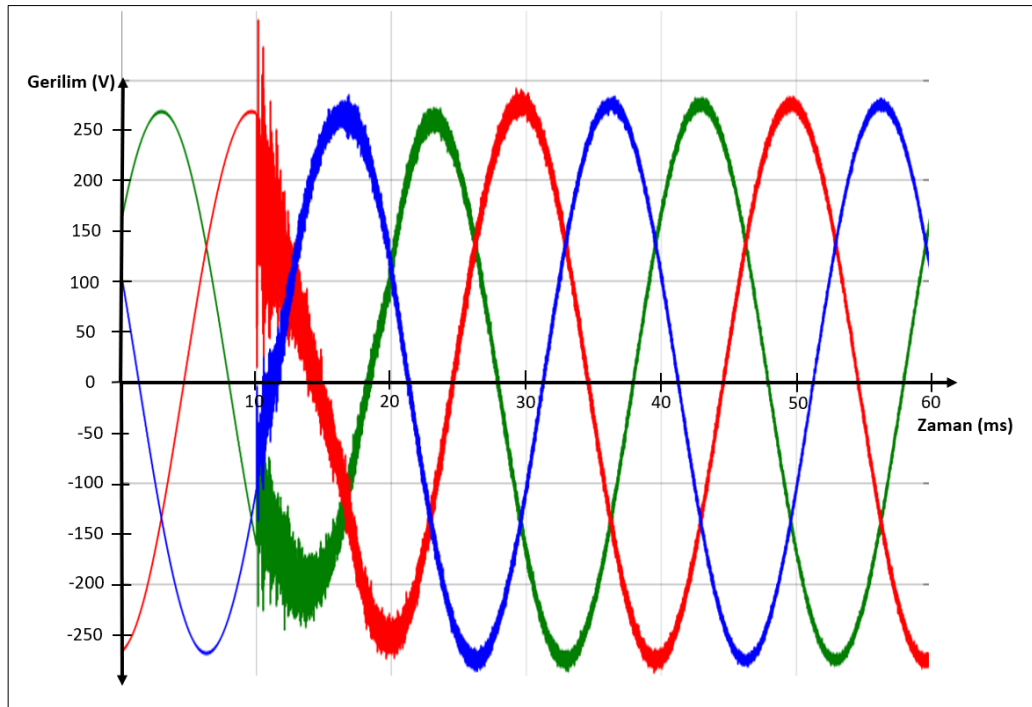


Şekil 5.9. Sadece yük gurubunun olduğu alanda meydana gelen arıza

Arızanın olduğu alandan alınan ölçümler Şekil 5.10.'da gösterilmektedir. Yapılan benzetimlerde, arıza meydana geldikten sonra koruma algoritmasının devreye girerek arızayı izole ettiği görülmüştür.



Şekil 5.10. Sadece yük bulunan arızalı alanın üç faz gerilim grafiği



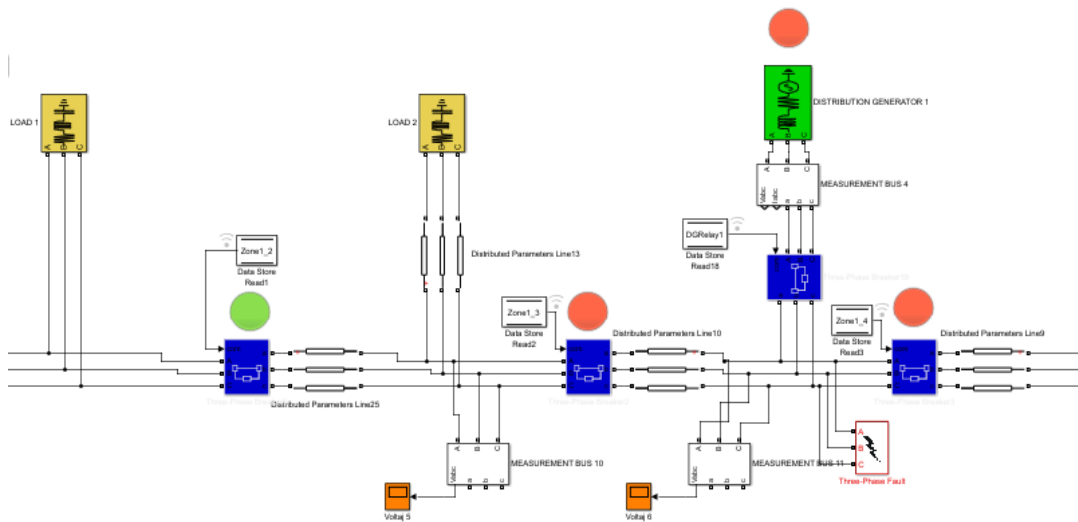
Şekil 5.11. Sadece yük bulunan arızalı alanın dışında kalan şebekenin üç faz gerilim grafiği

Arızanın meydana geldiği alan izole edildikten sonra şebekenin gerilim grafiği Şekil 5.11.'de verilmiştir. Arıza, izole edildikten sonra şebekenin geri kalanının çalışmaya devam ettiği görülmektedir.

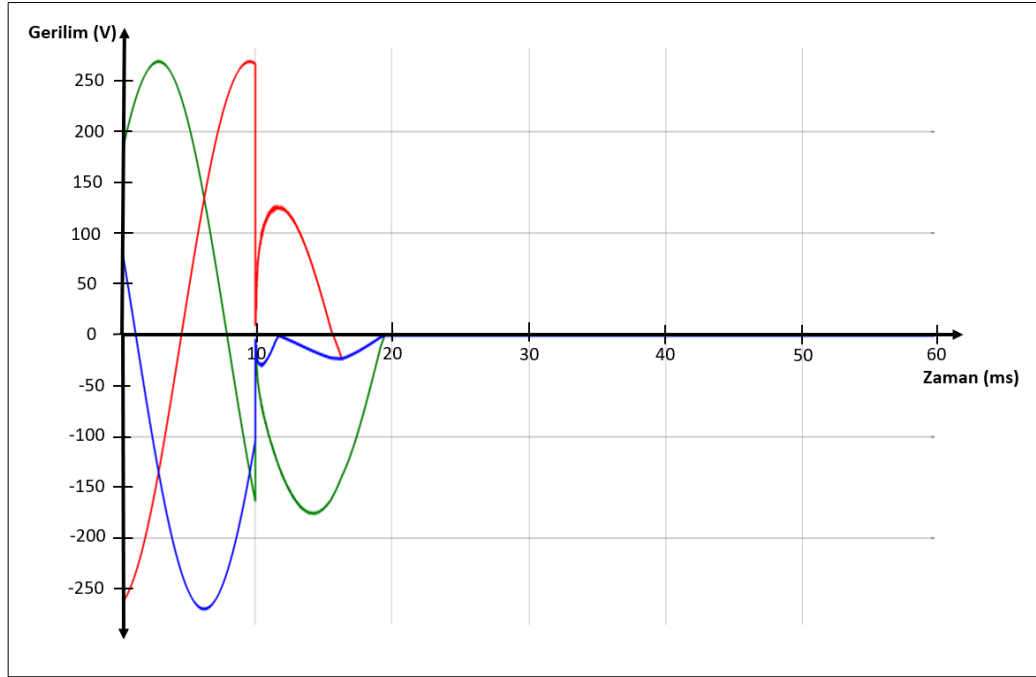
### 5.2.2. Arızanın DEÜK'ün olduğu alanda meydana gelmesi

DEÜK'ün bulunduğu alanda arıza meydana gelmesi durumunda arıza, şebekeden izole edilmeli ve DEÜK ile arızanın bağlantısı kesilerek arıza enerjisiz bırakılmalıdır. Şekil 5.12.'de sadece DEÜK'ün olduğu bir alanda meydana gelen arızanın benzetimi verilmiştir.

Arızanın bulunduğu alan, koruma algoritması tarafından şebekeden izole edilmiştir. DEÜK ile şebekeyi bağlayan hat üzerine de koruma rölesi yerleştirilmiştir. Koruma rölesi, DEÜK'ün de içinde bulunduğu alanı, şebekenin geri kalanından izole ederken DEÜK'ü de devreden çıkararak arızayı tamamen enerjisiz bırakmıştır. İzole edilen alandan alınan gerilim grafiği Şekil 5.13.'de verilmiştir. Bu grafiğe göre izole edilen alanda herhangi bir yük bulunmadığı için herhangi bir rezonans gerçekleşmemiştir. Arızalı alanın gerilim değeri arızalı alan enerjisiz bırakıldıktan hemen sonra sıfıra inmiştir.

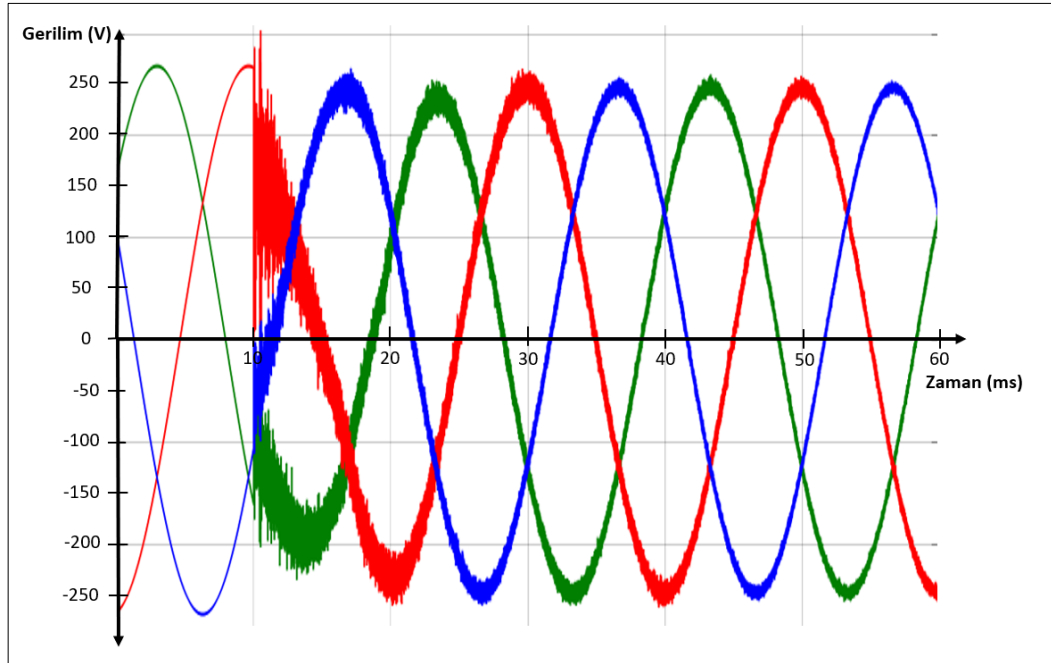


Şekil 5.12. Sadece DEÜK'ün bulunduğu alanda meydana gelen arıza



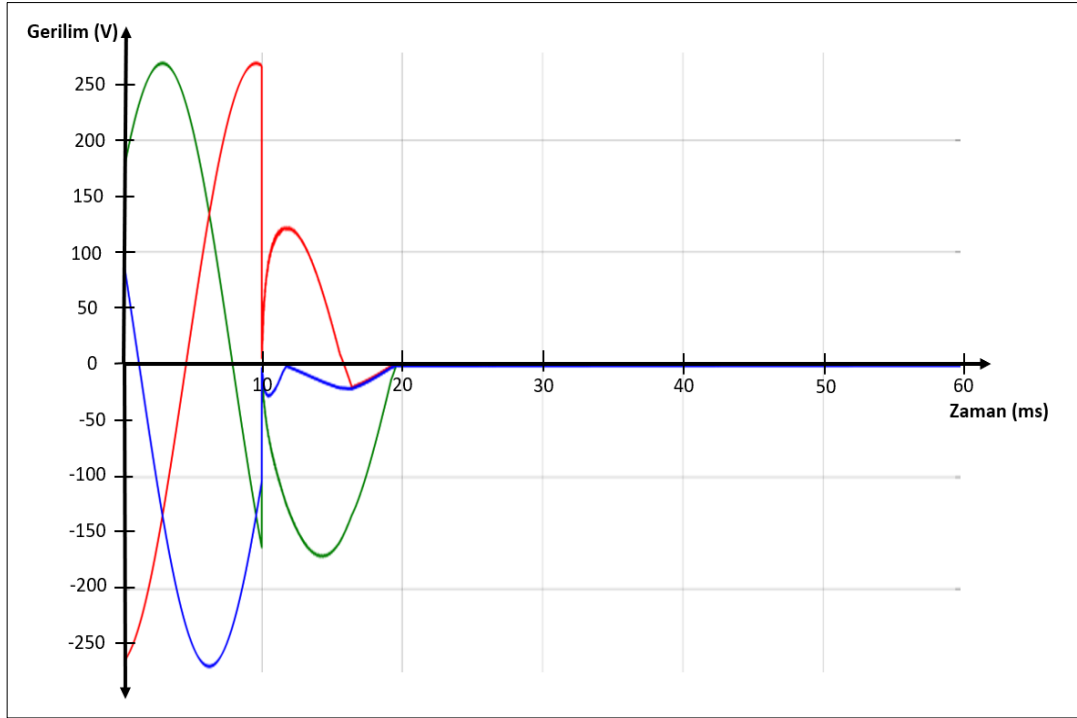
Şekil 5.13. Sadece DEÜK bulunduğu arızalı alanın üç faz gerilim grafiği

Arızalı alan, şebekenin geri kalanından izole edildikten sonra şebekenin üç faz gerilim grafiği Şekil 5.14.'deki gibidir.



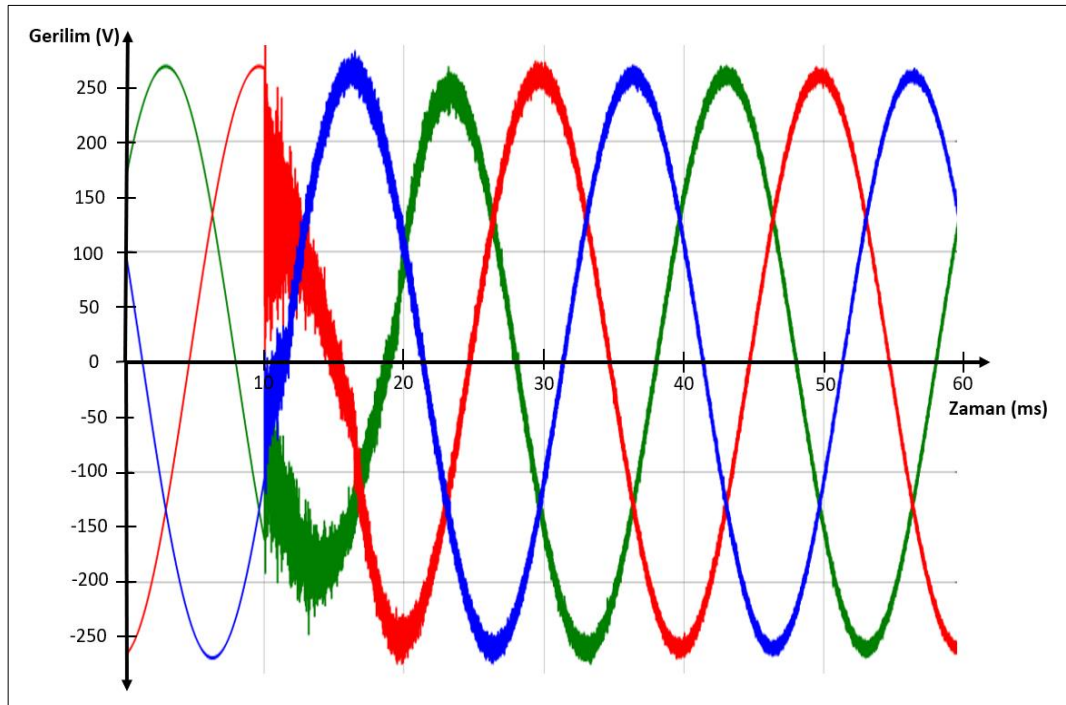
Şekil 5.14. Sadece DEÜK bulunduğu arızalı alanın dışında kalan şebekenin üç faz gerilim grafiği





Şekil 5.16. DEÜK'ün ve yükün bulunduğu arızalı alanın üç faz gerilim grafiği

Arızalı alanın şebekeden izole edilmesi esnasında şebekeden alınan üç faz gerilimin grafiği Şekil 5.17.'de gösterilmiştir.

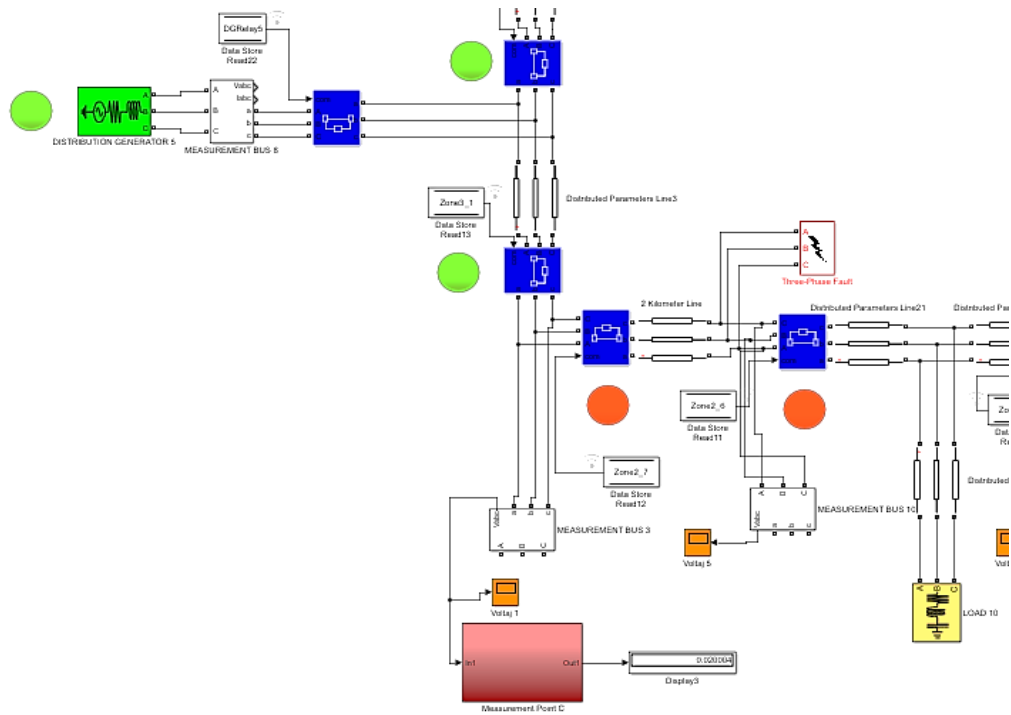


Şekil 5.17. DEÜK'ün ve yükün bulunduğu arızalı alanın dışında kalan şebekenin üç faz gerilim grafiği

Şekil 5.17. incelendiğinde arızalı alan dışında şebekenin geri kalanının normal bir şekilde çalışmaya devam ettiği görülmüştür. Algoritma, arızayı şebekeden izole etmiştir. Ayrıca Şekil 5.16.'da görüldüğü gibi DEÜK ile arızalı alan arasındaki bağlantıyı keserek arızanın enerjisiz bırakılmasını sağlamıştır.

#### 5.2.4. Arızanın sadece iletim hattının bulunduğu alanda meydana gelmesi

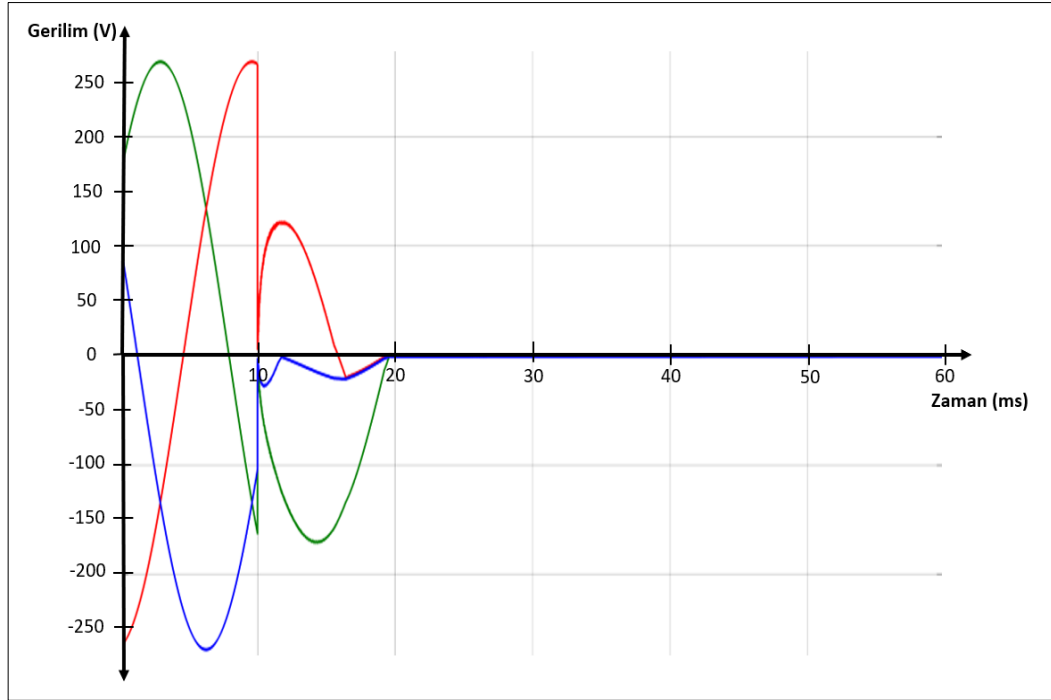
Arızanın meydana geldiği alanda herhangi bir yük veya DEÜK bulunmadığından arıza, iletim hattı üzerinde meydana gelmiştir. Arızanın benzetimi Şekil 5.18.'de verilmiştir.



Şekil 5.18. Sadece iletim hattının bulunduğu alanda arızanın meydana gelmesi

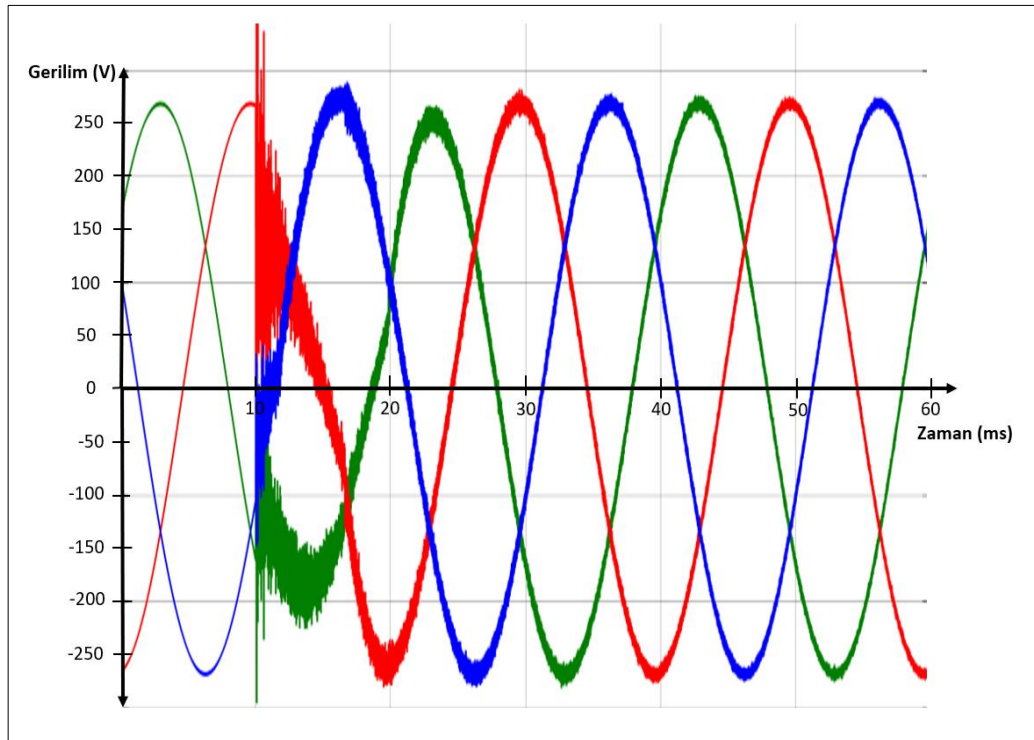
Sadece iletim hattının bulunduğu arızalı alanın üç faz gerilim grafiği Şekil 5.19.'da gösterilmiştir.





Şekil 5.19. Sadece iletim hattının bulunduğu arızalı alanın üç faz gerilim grafiği

Arızalı alanın şebekeden izole edilmesi esnasında şebekeden alınan üç faz gerilimin grafiği Şekil 5.20.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.20. Sadece iletim hattının bulunduğu arızalı alanın dışında kalan şebekenin üç faz gerilim grafiği

İletim hattı üzerinde meydana gelen arızalarda da koruma algoritması devreye girerek mikro şebekeyi korumaktadır.

### 5.3. Her Bölgede Farklı Arıza Mesafelere Göre Koruma Algoritmasının Tepkisi

Bu çalışmada geliştirilen koruma algoritması, mikro şebekeyi üç bölgeye ayırarak her bölge için ayrı ayrı koruma yapmaktadır. Her bölge için farklı arıza tiplerinde ve farklı arıza mesafelerinde benzetimler gerçekleştirilmiştir. Benzetim sonuçlarıyla, olması gereken değerler karşılaştırılarak hata oranları tespit edilmiştir.

#### 5.3.1. Birinci bölge benzetim sonuçları

Birinci bölgede yapılan testlerin sonuçları Tablo 5.1.'de verilmiştir. Birinci bölgedeki en yüksek hata oranı %0,5133 olarak ölçülmüştür.

Tablo 5.1. Birinci bölge farklı arıza durumlarıyla ve farklı arıza mesafeleriyle yapılan testlerin sonuçları

BİRİNCİ BÖLGE	Arızanın A Noktasına Olan Uzaklığı (km)	Arızanın A Noktasına Olan Uzaklığı (km)	Hata Oranı
A – G	1,000000	1,000300	%0,0300
B – G	1,000000	1,000300	%0,0300
C – G	1,000000	1,000300	%0,0300
A – B	2,000000	2,000601	%0,0301
A – C	2,000000	2,000601	%0,0301
B – C	2,000000	2,000601	%0,0301
A – B – G	3,000000	3,015400	%0,5133
A – C – G	3,000000	3,015400	%0,5133
B – C – G	3,000000	3,015400	%0,5133
A – B – C	4,000000	4,015701	%0,3925
A–B–C–G	4,000000	4,015701	%0,3925

### 5.3.2. İkinci bölge benzetim sonuçları

İkinci bölgede yapılan testlerin sonuçları Tablo 5.2.'de verilmiştir. İkinci bölgedeki en yüksek hata oranı %1,4798 olarak ölçülmüştür.

Tablo 5.2. İkinci bölge farklı arıza durumlarıyla ve farklı arıza mesafeleriyle yapılan testlerin sonuçları

İKİNCİ BÖLGE	Arızanın B Noktasına Olan Uzaklığı (km)	Arızanın B Noktasına Olan Uzaklığı (km)	Hata Oranı
A – G	1,000000	1,014798	%1,4798
B – G	1,000000	1,014798	%1,4798
C – G	2,000000	2,029596	%1,4798
A – B	2,000000	2,029596	%1,4798
A – C	3,000000	3,044394	%1,4798
B – C	4,000000	4,030198	%0,7549
A – B – G	4,000000	4,030198	%0,7549
A – C – G	4,200000	4,233158	%0,7895
B – C – G	4,200000	4,233158	%0,7895
A – B – C	4,400000	4, 407123	%0,1619
A–B–C–G	4,400000	4, 407123	%0,1619

### 5.3.3. Üçüncü bölge benzetim sonuçları

Üçüncü bölgede yapılan testlerin sonuçları Tablo 5.3.'de verilmiştir. Üçüncü bölgedeki en yüksek hata oranı %1,4798 olarak ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde hata oranının maksimum 44,39 metre olduğu görülmektedir. Bu değer hesapladığımız 46,39 metrelik hata payının altındadır.

Tablo 5.3. Üçüncü bölge farklı arıza durumlarıyla ve farklı arıza mesafeleriyle yapılan testlerin sonuçları

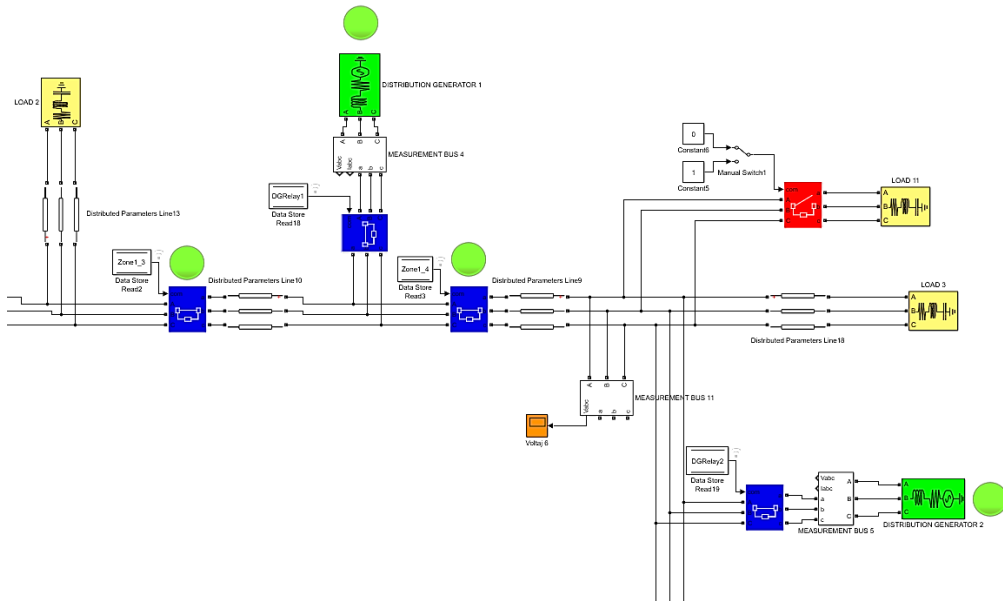
ÜÇÜNCÜ BÖLGE	Arızanın C Noktasına Olan Uzaklığı (km)	Arızanın C Noktasına Olan Uzaklığı (km)	Hata Oranı
A – G	1,000000	1,014798	%1,4798
B – G	1,000000	1,014798	%1,4798
C – G	1,000000	1,014798	%1,4798
A – B	1,000000	1,014798	%1,4798
A – C	2,000000	2,029596	%1,4798
B – C	2,000000	2,029596	%1,4798
A – B – G	2,000000	2,029596	%1,4798
A – C – G	3,000000	3,044394	%1,4798
B – C – G	3,000000	3,044394	%1,4798
A – B – C	3,000000	3,015400	%0,5133
A–B–C–G	3,000000	3,015400	%0,5133

#### 5.4. Değişken Yük Durumlarına ve Demeraj Akımlarına Koruma Algoritmasının Tepkisi

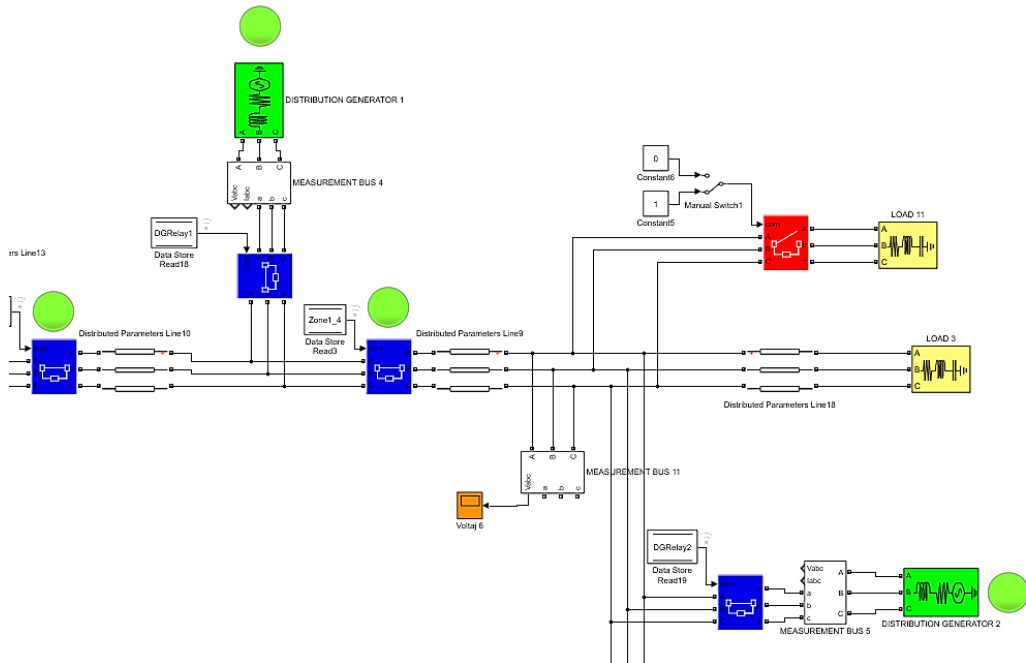
Şebekeye bağlı olan yüklerdeki ani değişimler, mikro şebeke üzerinde gerilim dalgalanmalarına neden olmaktadır. Ayrıca elektrik motoru, trafo gibi yüksek demeraj akımına sahip elemanların çektikleri yüksek akım, gerilim dalgalanmalarına neden olmaktadır. Bu gerilim dalgalanmalarının, arıza nedeniyle oluşan gerilim dalgalanmalarından ayrılması gerekmektedir.

Koruma algoritmasında seçiciliğin sağlanabilmesi için bir sınır değeri belirlenmiştir. Bu sınır değerinin altında kalan Wavelet dalgalarının, arıza olarak algılanmaması sağlanmıştır. Sınır değeri, şebekenin ihtiyaçlarına göre yeniden ayarlanarak optimum koruma uyarı sağlanabilmektedir.

Şebekeye aktif gücü 5 kW olan bir yük Şekil 5.21.'deki gibi bağlanmıştır. Yük ile şebekeyi birbirine bağlayan şalter sıfır konumunda olduğu için yüke elektrik gitmemektedir. Yük ilk defa elektrik çekeceği için benzetime demeraj akımı çekerek başlamaktadır.



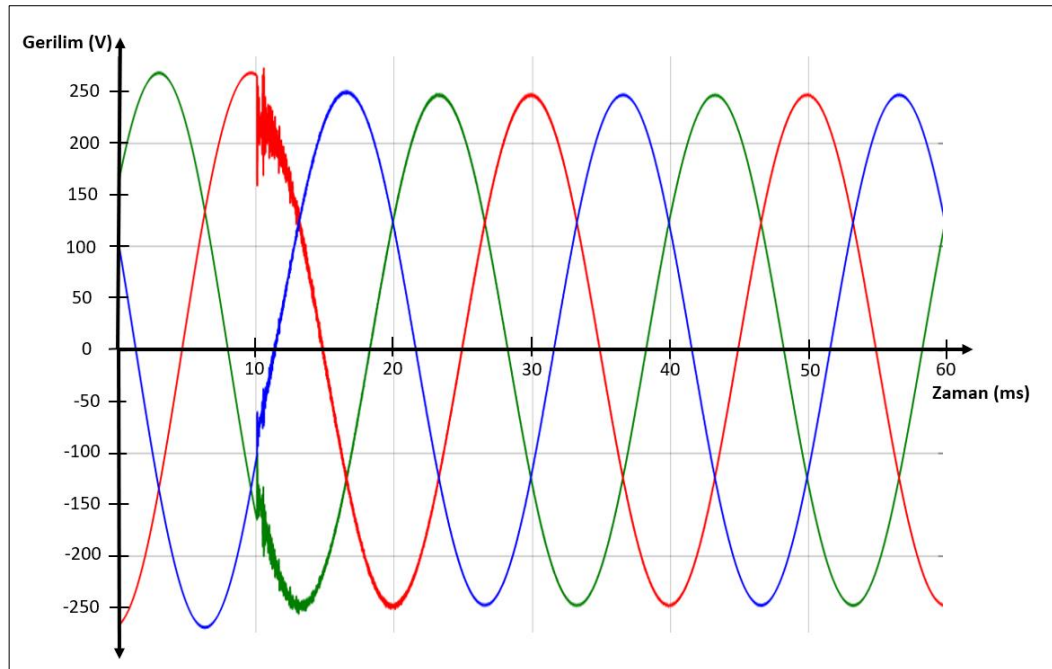
Şekil 5.21. Yükin önündeki şalter açık olduğundan yük ile şebeke arasında bağlantı yok



Şekil 5.22. Yükle şebekeyi birbirinden ayıran şalterin kapatılmasıyla, yükün şebekeye bağlanması

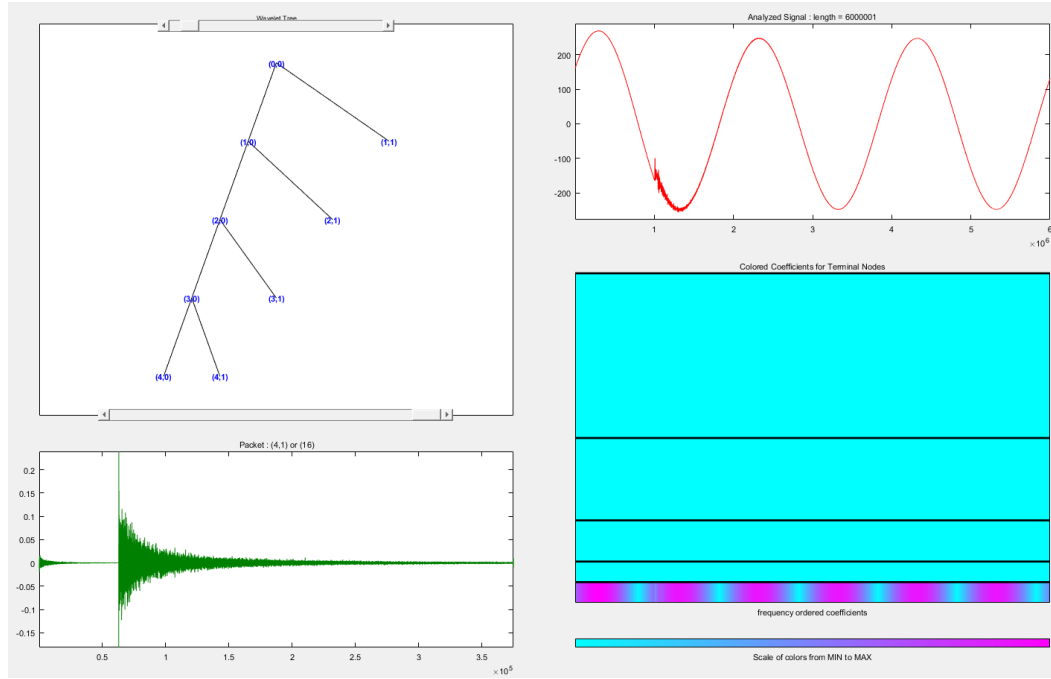
Yük ile şebekeyi birbirinden ayıran şalter kapatıldığında yük, şebekeden enerji çekmeye başlamaktadır. Yük, benzetimin başlangıcından itibaren ilk defa şebekeye bağlandığı için bir demeraj akımı çekmektedir. Demeraj akımı, koruma algoritması tarafından arıza olarak algılanmamıştır. Şekil 5.22.'de görüldüğü gibi herhangi bir şaltere açma komutu göndermemiştir.

Yük tarafından çekilen demeraj akımının etkisi Şekil 5.23.'deki gibidir. Çekilen demeraj akımı şebeke üzerinde gerilim dalgalanmalarına neden olsa da elde edilen veirler, koruma algoritmasının sınır değerlerini aşmamıştır.

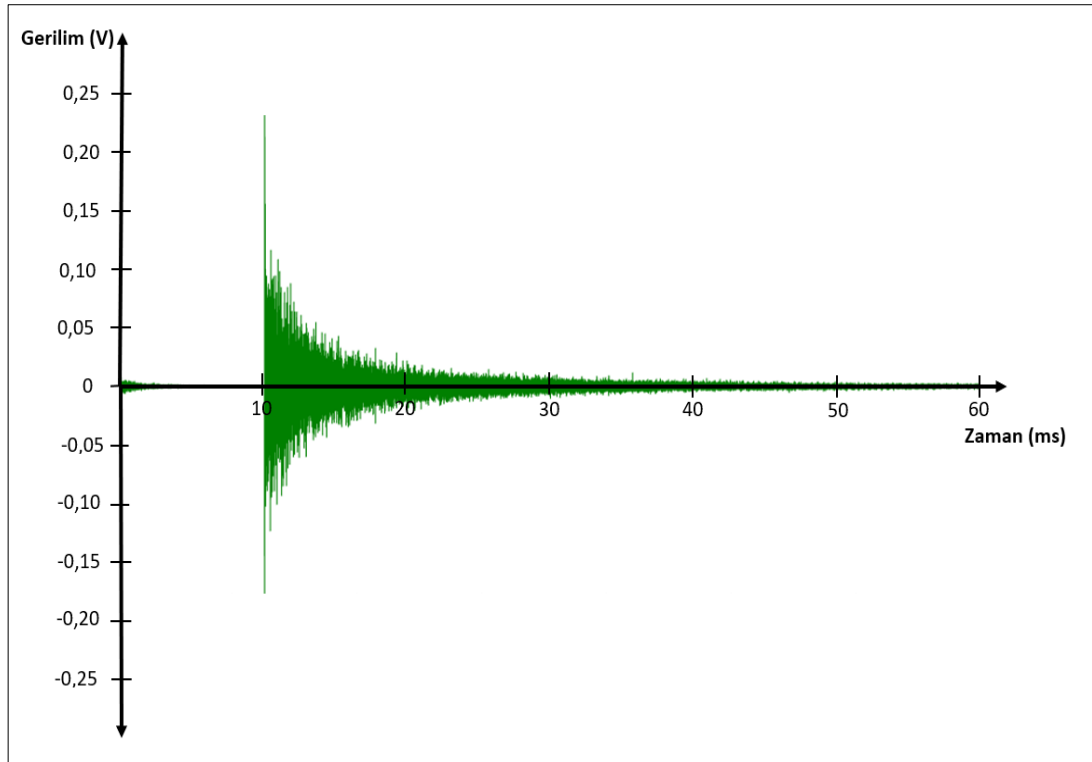


Şekil 5.23. Demeraj akımının şebeke gerilimi üzerine etkisi

Şebeke üzerinden demeraj akımı çekilirken şebekenin A fazının dördüncü dereceden db4 Wavelet dönüşümü Şekil 5.24.'deki gibi olmaktadır. Wavelet grafiğinin büyütülmüş hali Şekil 5.25.'de verilmiştir. Şekil 5.25.'de görüldüğü gibi şebekeden demeraj akımı çekilirken dördüncü dereceden Wavelet dönüşümünden çıkan sonucun genliği, yaklaşık 0,25 civarındadır.

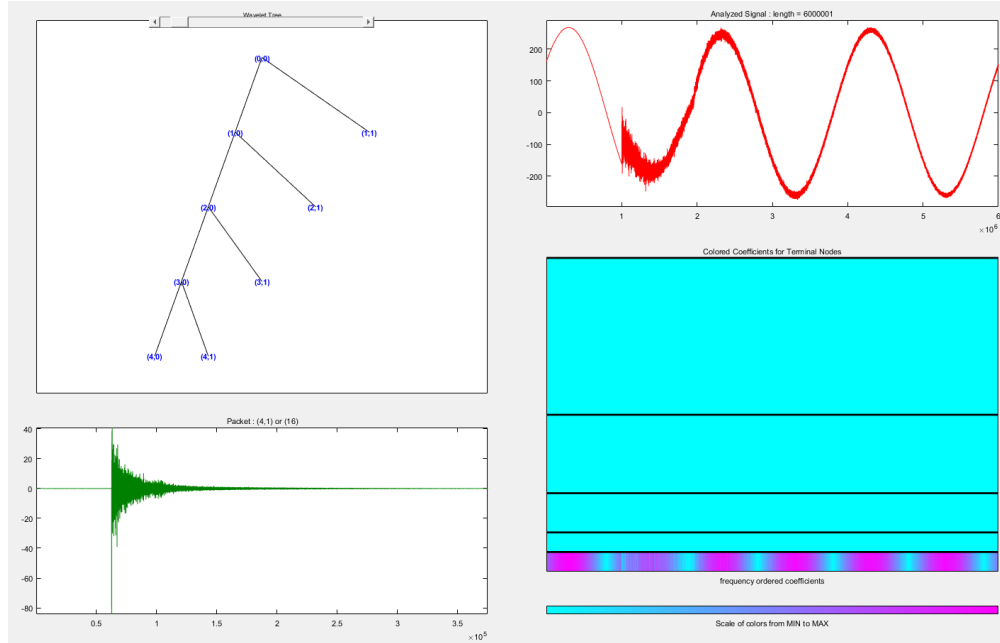


Şekil 5.24. Şebekeden demeraj akımı çekilirken A fazının dördüncü dereceden Wavelet grafiği

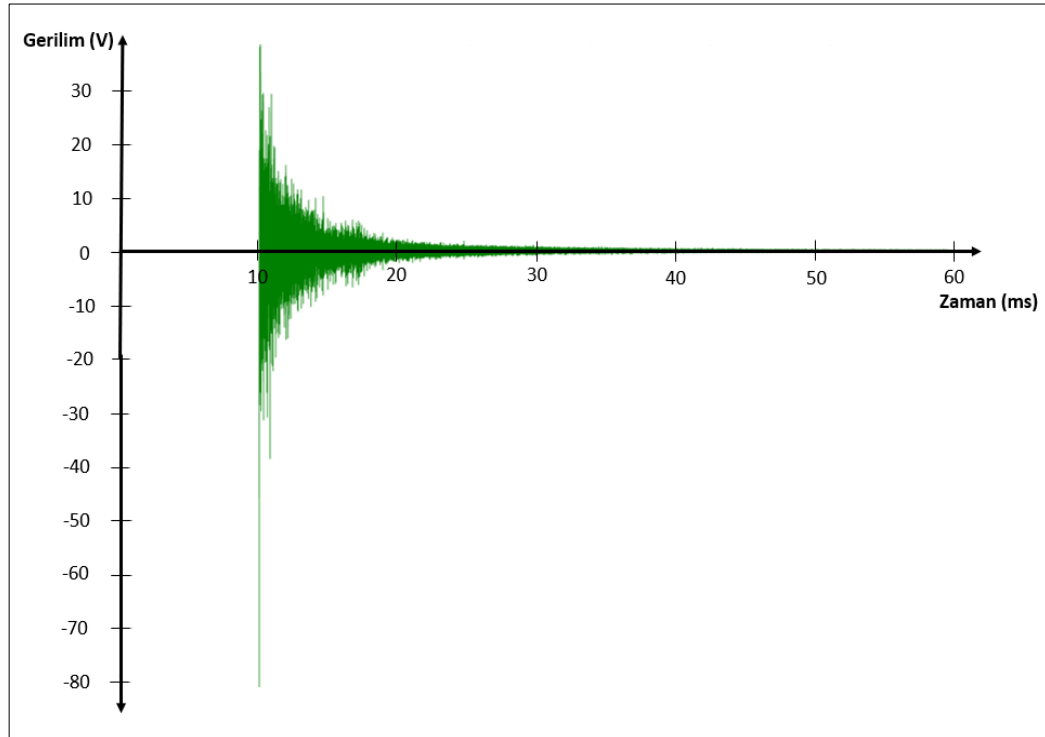


Şekil 5.25. Demeraj akımı çekilirken A fazının dördüncü dereceden Wavelet grafiği

Arıza sırasında şebekeden ölçülen A fazının gerilimine, Wavelet dönüşümü uygulandığında sonuç Şekil 5.26.'deki gibi olmaktadır. Arıza sırasında ölçülen A fazı geriliminin Wavelet grafiğinin büyütülmüş hali Şekil 5.27.'deki gibidir



Şekil 5.26. Arıza sırasında A fazının dördüncü dereceden Wavelet grafiği



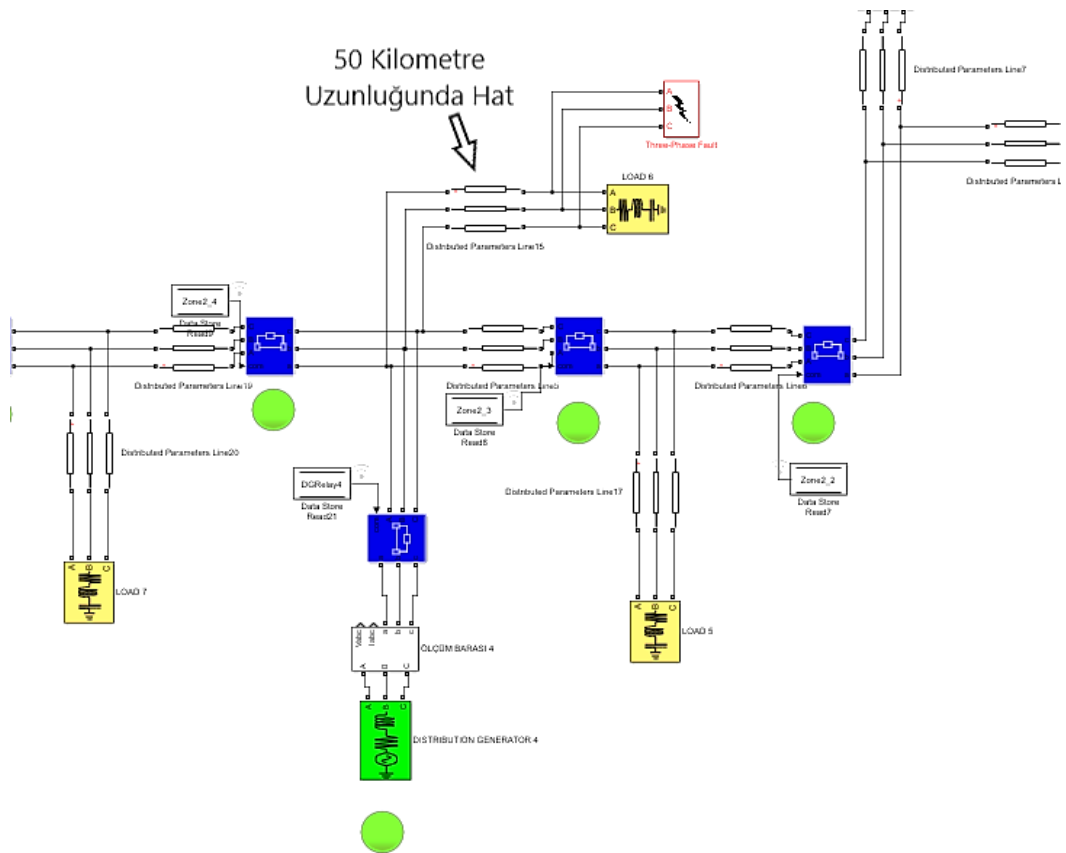
Şekil 5.27. Arıza sırasında A fazının dördüncü dereceden Wavelet grafiği



Arıza sırasında ölçülen gerilimin Wavelet dönüşümünden çıkan sonucu yaklaşık -80 civarındadır. Wavelet dönüşümünden çıkan sonuçların, mutlak değeri alınarak genlik değerlerine göre değerlendirilmektedir. Koruma algoritması, Wavelet sonucunun genliğinin 3 ve üzerinde çıkan değerlere tepki verecek şekilde ayarlanmıştır.

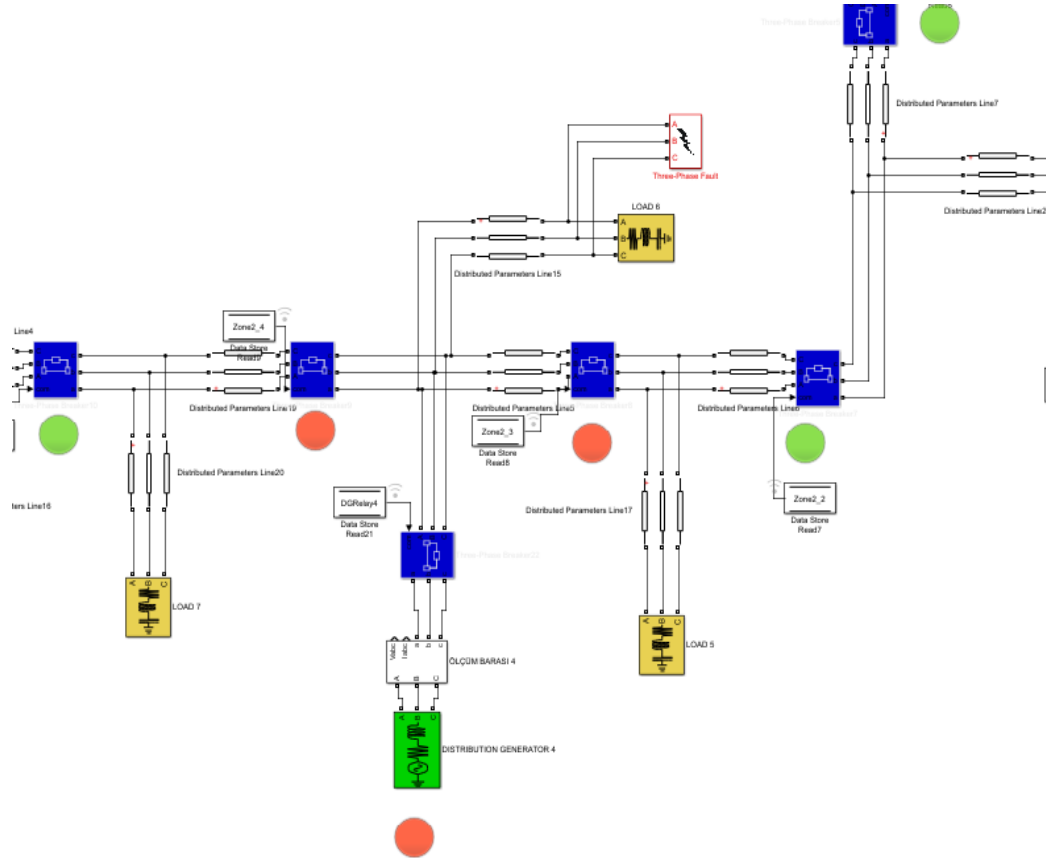
Arıza nedeniyle oluşan Wavelet değeri, demeraj gerilim dalgalanması nedeniyle oluşan Wavelet genlik değerinden yaklaşık 320 kat daha fazladır. Bu nedenle kullandığımız koruma algoritmasının seçiciliği yüksektir.

Koruma algoritması, mikro şebekeye uzun bir hat kullanılarak bağlanan yükler ve DEÜKler için de koruma sağlamaktadır. Şekil 5.28.'de 50 kilometre uzunluğunda iletim hattı kullanılarak mikro şebekeye bağlanan bir yük üzerinde arıza meydana getirilmiştir. Arızanın ürettiği yürüyen dalgalar önce ring şebekeye, oradan da ölçüm noktalarına ulaşmaktadır.



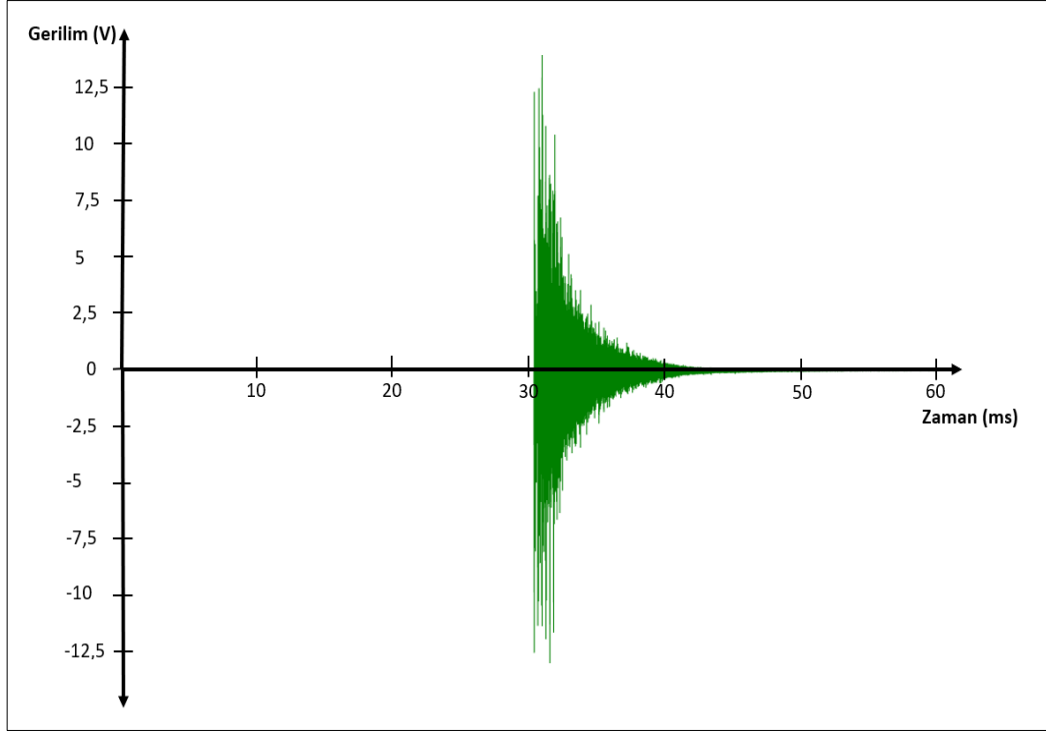
Şekil 5.28. Ring şebekeye 50 km uzaktaki yükte meydana gelen arıza

Koruma algoritması, arızayı enerjisiz bırakabilmek için arızanın da içinde bulunduğu alanı şebekeden ayırmıştır. Şekil 5.29.'da da görüldüğü gibi arıza mikro şebekeden tamamen izole edilmiştir. İzole edilen alanın içinde kalan DEÜK de devreden çıkartılarak arıza tamamen enerjisiz bırakılmıştır.



Şekil 5.29. Ring şebekeye 50 km uzaklıktaki yükte meydana gelen arızanın izole edilmesi

Arızanın dördüncü dereceden Wavelet dönüşüm grafiği Şekil 5.30.'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde Wavelet sonucunun genlik değeri yaklaşık 15 civarında olduğu görülmüştür. Bunun temel nedeni hattın uzunluğu arttıkça hat empedansının da artmasıdır.



Şekil 5.30. Ring şebekeye 50 km uzaklıktaki yükte meydana gelen arızanın Wavelet grafiği

## **BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER**

Bu çalışmada önerilen koruma algoritması, farklı arıza senaryolarında, farklı hat elemanları üzerinde meydana gelen arızalarda, farklı bölgelerde meydana gelen arızalarda ve değişken yük durumlarında test edilmiştir.

Farklı arıza senaryolarına göre yapılan benzetim çalışmalarında, şebeke üzerindeki fazların birbirleriyle ve/veya toprakla temas durumları incelenmiştir. Yapılan testlerde, koruma algoritmasının, farklı arıza türlerinden etkilenmeyerek arızaların yerini doğru tespit ettiği ve arızaları izole ettiği gözlemlenmiştir.

Farklı hat elemanları üzerinde meydana gelen arızalarda, koruma algoritmasının tepkisinin incelenebilmesi için, DEÜK ve/veya yük üzerinde arızalar meydana getirilerek benzetim çalışmaları yapılmıştır. Şebeke üzerinde, DEÜK'ün bulunmadığı bir alanda meydana gelen arızalarda, arızanın enerjisiz bırakılabilmesi için şebeke ile arızanın bağlantısının kesilmesi gerekmektedir. Yapılan benzetim çalışmalarında koruma algoritmasının, arızalı nokta ile şebekenin bağlantısını keserek arızayı izole ettiği gözlemlenmiştir. DEÜK bulunan bir alanda arıza meydana gelmesi durumunda ise arızalı alan ile şebekenin geri kalanının bağlantısının kesilmesi, arızayı enerjisiz bırakmak için yeterli değildir. Arızalı alan içerisinde kalan DEÜK, arızayı besleyerek arızanın devam etmesine neden olmaktadır. Benzetim çalışmalarına göre koruma algoritması, hem arızalı alanla şebekeyi birbirinden ayırarak hem de arızalı bölgenin içinde kalan DEÜK'leri devre dışı bırakarak arızanın tamamen enerjisiz kalmasını sağlamıştır.

Mikro şebeke üzerinde kullanılan koruma algoritması, mikro şebekeyi üç bölgeye ayırarak koruma yapmaktadır. Yapılan benzetim çalışmalarıyla, bütün bölgeler ve bu bölgelerdeki bütün şalterler test edilmiştir. Koruma algoritması, ölçüm noktalarına

farklı senaryolarla ve farklı uzaklıklarla uygulanan bütün arızaları tespit edip, izole ederek mikro şebekeyi korumuştur.

Elektrik şebekelerinde kullanılan koruma algoritmalarının, geçici durumlara karşı seçici davranması gerekmektedir. Şebeke üzerindeki yük durumu değiştiğinde veya şebekeden demeraj akımı çekildiğinde şebeke geriliminde dalgalanma meydana gelmektedir. Yapılan benzetim çalışmalarında, koruma algoritmasının bu geçici durumları arıza olarak görmeyerek, yanlış açmaların önüne geçtiği gözlemlenmiştir.

Ring şebeke yapısına sahip mikro şebekeler için önerilen koruma algoritmasının geliştirilebilmesi için arıza tespit ve sinyal değerlendirme algoritmalarında iyileştirme yapılabilir. Bu çalışmada kullanılan koruma algoritmasında, dördüncü dereceden Wavelet dönüşümü kullanılmıştır. Wavelet dönüşümünün dördüncü dereceden olması, 16 verinin önceden hafızaya alınıp işlenmesini gerektirdiğinden zaman kaybına neden olmaktadır. Daha düşük seviyeden Wavelet dönüşümlerinin kullanılması, ön belleğe alınması gereken veri miktarını düşüreceği için algoritmanın daha hızlı çalışmasını sağlayacaktır.

Mikro şebeke üzerinde arıza tespitinin yapılabilmesi için db4 Wavelet dönüşümünden faydalanılmıştır. Diğer Daubechies Wavelet dönüşümlerinin yanısıra Haar, Symlet, Coiflets, Bior, ReverseBior gibi dönüşümler de test edilerek algoritmanın daha iyi çalışmasını sağlayacak sonuçlar elde edilebilir.

Koruma algoritması, Wavelet dönüşümünden elde edilen sonuçları işlerken önceden belirlenmiş bir sınır değerini referans almaktadır. Wavelet dönüşümünün sonucu, sınır değerinin üstündeyse şebekede arızanın olduğu varsayılmaktadır. Genel durumlar için sınır değere göre arıza tahmini yapmak işe yarası da yüksek empedans hatası gibi spesifik durumlarda yanlış şalter açması veya gerektiğinde şalterin açılmaması durumları gözlenebilir. Seçiciliğin artırılması ve koruma algoritmasının güvenilirliğinin artırılması için derin öğrenme algoritmalarından faydalanılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Saleh, S. A., Ahshan, R., Abu-Khaizaran, M. S., Alsayid, B., ve Rahman, M. A., Implementing and testing d – q wpt-based digital protection for micro-grid systems. IEEE Transactions on Industry Applications, 50(3), 2173-2185, 2014.
- [2] Ma, X., Li, B., Wang, Q., Bo, Z., Zhang, M., ve Ma, X., Research on microgrid protection based on transient polarity comparison. Electricity Distribution CIGRE, 2016 China International Conference 1-5, 2016.
- [3] Dağ, O., Elektrik güç sistemlerinde mikro şebeke uygulamaları ve harmonik kaynak yer tespiti. Arel Üniversitesi, 2013.
- [4] Saleh, S. A., ve Ahshan, R., Digital multi-relay protection for micro-grid systems. In Industry Applications Society Annual Meeting (IAS) 1-8, 2012.
- [5] Shi, S., Jiang, B., Dong, X., ve Bo, Z., Protection of microgrid. 10th IET International Conference on Developments in Power System Protection, China, 2010.
- [6] Yaşar, C., Aslan, Y., ve Biçer, T., Bir dağıtım transformatörü bölgesindeki kayıpların incelenmesi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, (022), 9-22, 2010.
- [7] Lai, K., Illindala, M. S., ve Haj-ahmed, M. A., Comprehensive protection strategy for an islanded microgrid using intelligent relays. Industry Applications Society Annual Meeting, 1-11, 2015.
- [8] Yi, H., Xuehao, H., ve Dongxia, Z., Study on applying wavelet transform to the protection algorithm of microgrid dominated by inverter-interfaced DGs. Power System Technology (POWERCON), 2010 International Conference 1-6, 2010.
- [9] Samantaray, S. R., Joos, G., ve Kamwa, I., Differential energy based microgrid protection against fault conditions. Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 1-7, 2012.

- [10] Li, X., Dyško, A., ve Burt, G. M., Traveling wave-based protection scheme for inverter-dominated microgrid using mathematical morphology. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(5), 2211-2218, 2014.
- [11] Jin, L., Jiang, M., ve Yang, G., Fault analysis of microgrid and adaptive distance protection based on complex wavelet transform. *Power Electronics and Application Conference and Exposition (PEAC)*, 360-364, 2014.
- [12] Mishra, D. P., Samantaray, S. R., ve Joos, G., A combined wavelet and data-mining based intelligent protection scheme for microgrid. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 7(5), 2295-2304, 2016.
- [13] Zhou, L., Niu, G., Qi, Z. P., Gao, G. H., ve Xu, Y. G., Fault transient analysis in microgrid using discrete wavelet transform. *Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT), 5th International Conference 1025-1029*, 2015.
- [14] Beheshtaein, S., Savaghebi, M., Vasquez, J. C., ve Guerrero, J. M., A hybrid algorithm for fault locating in looped microgrids. *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 1-6, 2016.
- [15] Abdelgayed, T., Morsi, W., ve Sidhu, T., A new approach for fault classification in microgrids using optimal wavelet functions matching pursuit. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2017.
- [16] Kar, S., ve Samantaray, S. R., High impedance fault detection in microgrid using maximal overlapping discrete wavelet transform and decision tree. *Electrical Power and Energy Systems (ICEPES), International Conference 258-263*, 2016.
- [17] Marx, S., Johnson, B. K., Guzmán, A., Skendzic, V., ve Mynam, M. V., Traveling wave fault location in protective relays: Design, testing, and results. *Proceedings of the 16th Annual Georgia Tech Fault and Disturbance Analysis Conference, Atlanta*, 2013.
- [18] Krzysztof, G., Kowalik, R., ve Rasolomampionona, D., Regular paper traveling wave fault location in power transmission systems: an overview. *J. electrical Systems*, 7(3), 287-296, 2011.
- [19] Krzysztof, G., Kowalik, R., ve Rasolomampionona, D., Travelling wave fault location in hv lines. *Warsaw University of Technology 5-12*, 2013.
- [20] Hernández, E., & Weiss, G., A first course on wavelets. CRC press, Chapter 2, 64-92, 1996.

- [21] Federal Elektrik, Minyatür devre kesicileri kataloğu.
- [22] Schneider Electric, Kaçak akım koruma röleleri Türkçe tanıtma ve kullanma klavuzu.
- [23] Jonnalagadda, A. R., ve Hagos, G., Review of performance of impedance based and travelling wave based fault location algorithms in double circuit transmission lines. *J. Electr. Electron. Eng.*, 3(4), 65, 2015.
- [24] Sun, K., Chen, Q., Gao, Z., Liu, D., ve Zhang, G., Generalized impedance-based fault distance calculation method for power distribution systems. *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, pp. 1-4, 2014.
- [25] Kumar, R., ve Kumar, S., A novel technique for impedance relay to locate fault in long transmission line. *Engineering and Computational Sciences (RAECS)*, pp. 1-6, 2014.
- [26] Soeth, A. B., de Souza, P. R. F., Custódio, D. T., ve Voloh, I., Traveling wave fault location on HVDC lines. *Protective Relay Engineers (CPRE), 71st Annual Conference* 1-16, 2018.
- [27] <http://wavelets.pybytes.com/wavelet/db4/>, Erişim Tarihi: 18.07.2018.
- [28] Bustamante-Mparsakis, X., Maun, J. C., Dzienis, C., ve Jurisch, A., Travelling wave fault location based on pattern recognition. *PowerTech, Manchester*, 1-6, 2017.
- [29] Sunil, B. M., ve Raj, C. P., Analysis of wavelet for 3d-dwt volumetric image compression. *Emerging Trends in Engineering and Technology (ICETET), 2010 3rd International Conference*, 180-185, 2010.
- [30] Manohar, M., Koley, E., ve Ghosh, S., A reliable fault detection and classification scheme based on wavelet transform and ensemble of SVM for microgrid protection. *2017 3rd International Conference on Applied and Theoretical Computing and Communication Technology (iCATccT)*, 24-28, 2017.
- [31] Schweitzer, E. O., Guzmán, A., Mynam, M. V., Skendzic, V., Kasztenny, B., ve Marx, S., Locating faults by the traveling waves they launch. *Protective Relay Engineers, 67th Annual Conference*, 95-110, 2014.
- [32] <http://visual.cs.utsa.edu/research/projects/davis/visualizations/wavelet/frequency-bands/>, Erişim Tarihi: 18.07.2018.



- [33] Arı, N., Özen, Ş., & Çolak, Ö. H. (2008). Dalgacık teorisi. Palme Yayıncılık, Ankara, 23-27, 2008.
- [34] [https://en.wikipedia.org/wiki/Daubechies\\_wavelet.](https://en.wikipedia.org/wiki/Daubechies_wavelet.), Erişim Tarihi: 18.07.2018.

## ÖZGEÇMİŞ

Muhammet Oğuz Korkmaz, 29.05.1991 de Elazığ' da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kıbrıs'ta tamamladı. 2009 yılında Özel Harput Lisesi'nden mezun oldu. Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünü bitirdi. Eğitimi süresince Hyundai Assan ve TEİAŞ'ta stajlarını tamamladı. 2016 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesinde Elektrik Elektronik yüksek lisans eğitimine başladı.